

CHAPITRE 2

MODELISATION DES STRUCTURES

2.1. Introduction

Pour l'évaluation du comportement global de structures en béton armé par l'analyse pushover, plusieurs modèles analytiques bidimensionnels, sont considérés dans cette étude. Le programme SAP2000 est considéré comme l'un des programmes qui facilitent l'exécution de ce type d'analyse, dans ce chapitre, les principes et les caractéristiques de ce programme lors de l'analyse pushover sont détaillées.

Et ce chapitre clarifie en détail, les modèles analytiques utilisés dans cette étude avec des informations sur les différents modes de chargements utilisés dans l'analyse pushover, pour la représentation la distribution probable des forces d'inertie imposée aux modèles lors des séismes.

2.2. Analyse Pushover avec SAP2000[15]

L'analyse statique non linéaire ou l'analyse Pushover pourrait être exécutée directement par des logiciels spéciaux qui peuvent modéliser le comportement non linéaire pour les éléments de la structure qui résistent aux charges latérales. Parmi ces logiciels, le logiciel SAP2000 [15].

Le programme d'analyse structurelle SAP2000 est un logiciel basé sur la méthode des éléments finis pour la modélisation et l'analyse.

L'analyse Pushover est une caractéristique très puissante offerte dans la version non-linéaire de SAP 2000, et elle peut être exécutée sur les deux modèles structuraux bidimensionnels et tridimensionnels.

L'analyse Pushover peut comprendre tout nombre de cas de Pushover et chaque cas peut avoir une distribution différente de charge latérale sur la structure. Un cas de Pushover peut commencer à partir des conditions initiales zéro ou à partir de la fin d'un cas de Pushover précédent [50].

SAP 2000 exécute l'analyse Pushover en contrôlant soit la force ou soit en contrôlant le déplacement.

Le figure 2-1 ci-dessous illustre la boîte de dialogue, des données d'analyse pushover ,elle représente la phase la plus importante dans l'analyse pushover au moyen de SAP2000 et elle comprend les options suivantes:

The image shows a software dialog box titled "Static Pushover Case Data". It is divided into several sections:

- Pushover Case Name:** A text field containing "PUSH2".
- Options:**
 - Radio buttons: "Push to Load Level Defined by Pattern" (unselected), "Push to Displ. Magnitude" (selected).
 - Input fields: "0,2013" (next to "Push to Displ. Magnitude"), "10" (Minimum Saved Steps), "50" (Maximum Null Steps), "500" (Maximum Total Steps), "10" (Maximum Iterations/Step), "1,000E-04" (Iteration Tolerance), "0,01" (Event Tolerance).
 - Checkboxes: "Use Conjugate Displ. for Control" (checked), "Save Positive Increments Only" (checked).
 - Dropdowns: "U1" (Monitor), "6" (at Joint), "PUSH1" (Start from Previous Pushover).
- Member Unloading Method:**
 - Radio buttons: "Unload Entire Structure" (selected), "Apply Local Redistribution", "Restart Using Secant Stiffness".
- Geometric Nonlinearity Effects:**
 - Radio buttons: "None" (selected), "P-Delta", "P-Delta and large Displacements".
- Load Pattern:**
 - Table with columns "Load" and "Scale Factor":

Load	Scale Factor
PUSH1	1.
PUSH1	1.
 - Buttons: "Add", "Modify", "Delete", "OK", "Cancel".

Figure 2-1 boîte de dialogue des données d'analyse pushover

Le bouton d'option '**Push to load level defined by Pattern**' est utilisé pour effectuer l'analyse dans laquelle la force est contrôlée.

Cette option est utile pour l'application de la charge gravitaire sur la structure.

L'analyse Pushover procède typiquement à la valeur de chargement totale qui est la somme de toutes les charges incluses dans la boîte '**Load pattern**'

Le bouton '**the push to displacement magnitude**' est utilisé pour effectuer l'analyse dans laquelle le déplacement est contrôlé.

Cette option est utile pour l'application de la charge latérale sur la structure.

L'analyse Pushover procède typiquement au déplacement spécifié dans la direction de contrôle spécifiée au nœud de contrôle spécifié [50].

Les paramètres dans la partie droite de la zone '**options**' (figure 2.1) contrôlent l'analyse Pushover :

- Les options '**minimum saved steps**' et '**maximum total steps**' sont utilisées pour contrôler le nombre de points réellement sauvegardés dans l'analyse Pushover.

Seulement les étapes aboutissant aux changements significatifs dans la forme de courbe de Pushover sont sauvegardés pour la sortie.

- L'option '**the maximum null steps**' est un compteur cumulatif durant toute l'analyse pour prendre en compte la non-convergence dans une étape en raison de la sensibilité numérique dans la solution ou une défaillance catastrophique dans la structure.

Les options '**iteration tolerance**' et '**maximum iteration/step**' sont des paramètres de contrôle pour vérifier l'équilibre statique à la fin de chaque étape d'une analyse Pushover.

La charge non équilibrée est calculée comme étant la différence entre les charges extérieurement appliquées et les forces internes dans les éléments, si le rapport entre la charge non équilibrée et la charge appliquée dépasse la valeur de l'option '**itération tolérance**' la charge non équilibrée est appliquée sur la structure dans une deuxième itération pour cette étape. Ces itérations continuent jusqu'à ce que la valeur de la charge non équilibrée est compatible avec la valeur de l'option '**itération tolérance**' ou le nombre maximal d'itérations spécifié dans l'option '**maximum iteration/step**' atteint.

La constante '**event tolerance**' pour tous les éléments est employée pour déterminer quand un événement se produit réellement pour une rotule

La non-linéarité géométrique peut être considérée à partir des effets de P-delta ou des effets de P-delta plus de grands déplacements [50]. (figure 2-1).

Des modes de charge latérale modale et uniforme peuvent être directement définis par SAP 2000 en plus de n'importe quel cas de charge latéral statique défini par l'utilisateur.

Le mode de charge modale est défini pour n'importe quel mode 'd'Eigen' ou 'Ritz'. Tandis que le mode de charge uniforme est défini par l'accélération uniforme agissant dans l'une des trois directions globales (acc dir X, acc dir Y, acc dir Z)

La case '**membre unloading method**' est utilisé pour résoudre le problème du déchargement de rotule, il y a trois méthodes incluses dans le programme utilisées pour résoudre ce problème, ces méthodes sont : '**unload entire structure**', '**apply local redistribution**' et '**restart using secant stiffness**'.

Bien que les courbes Pushover obtenus à partir de chaque méthode aient la même capacité de l'effort à la base et le même déplacement latéral maximal, l'analyse Pushover est généralement exécutée en utilisant la méthode de déchargement '**unload entire structure**' ave l'option '**save positive increments only**' car cette méthode est la méthode la plus efficace et utilise un nombre modéré d'étapes totales et nulles.

2.3. Les propriétés des rotules dans SAP 2000

Dans SAP 2000, le comportement linéaire des éléments d'ossature est déterminé par les dimensions des sections et les propriétés des matières assignées à ces éléments. Les caractéristiques non linéaires force-déplacement pour les éléments d'ossature individuels sont modélisées comme des rotules plastiques représentées par une série de segments de droite.

Dans cette étude, les rotules plastiques sont situées aux extrémités des éléments parce que ce site représente la zone des contraintes maximales pour les poteaux et les poutres.

La courbe de déformation plastique est une courbe force-déplacement (moment-rotation) qui donne la valeur de plastification et déformation plastique après plastification. Cette courbe se compose de cinq points comme illustré dans la figure (2-2) :

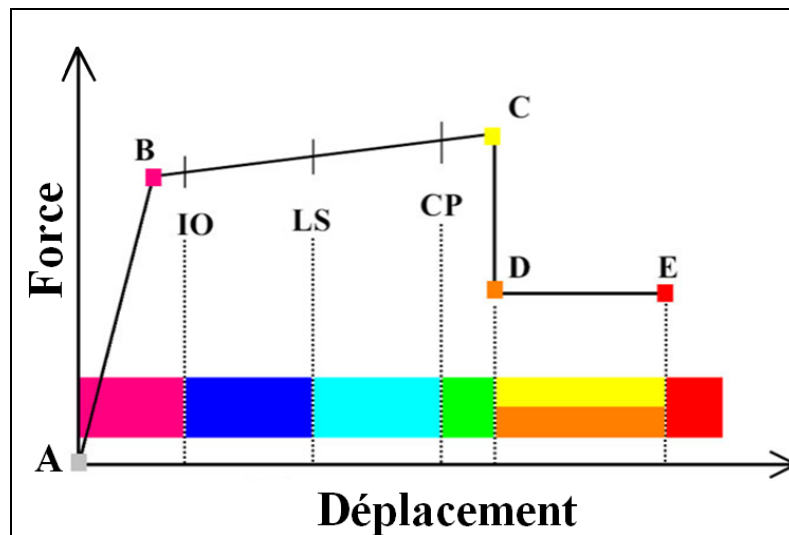


Figure 2-2 : Courbe force-déplacement ou moment- rotation pour une définition de rotule utilisée dans SAP2000 (courbe de déformation plastique)

Le point (A) représente l'origine

Le point (B) représente l'état de plastification

Le point (C) représente la capacité ultime pour l'analyse Pushover

Le point (D) représente la résistance résiduelle pour 'analyse Pushover

Le point (E) représente l'échec total.

Avant d'atteindre le point B, la déformation est linéaire et se produit dans l'élément d'ossature lui-même, et non dans la rotule.

La déformation plastique au-delà du point B se produit dans la rotule en plus de n'importe quelle déformation élastique pouvant se produire dans l'élément, la résistance résiduelle à partir de D à E permet aux éléments d'ossature de supporter des charges de gravité

L'utilisateur peut spécifier des mesures additionnelles de déformation aux points IO (le début d'exploitation), LS (l'état d'exploitation sécuritaire) et CP (l'état de dommage), ceux-ci sont des mesures informationnelles qui sont rapporté dans les résultats d'analyse et utilisées pour la conception basé sur la performance, n'ayant aucun d'effet sur le comportement de la structure

Selon FEMA-273 [24] :

- Le niveau IO (début d'exploitation)

Indique que l'état des dommages suite au séisme est très limité, les systèmes de résistances des forces horizontales et verticales de la construction conservent à peu près leur résistance et rigidité antérieur au séisme. Le danger sur la vie présenté par les dommages structurels est très faible, malgré cela, certaines réparations structurelles simples doivent avoir lieu qui ne sont pas généralement exigibles avant la réutilisation de la construction.

- Le niveau LS (l'état d'exploitation sécuritaire)

Indique que l'état des dommages après le séisme subit par la structure est importante, mais, il existe une marge contre l'effondrement, certains éléments et composants structurels sont très endommagés, mais ceci n'entraîne pas la chute de débris importants tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la construction. Les dommages peuvent avoir lieu durant le séisme, mais le danger sur la vie résultant de ces dommages est faible, l'utilisation de la construction peut être interdit jusqu'à réparation.

- Le niveau CP (l'état des dommages)

Il indique que la construction est sur le point de faire face à un effondrement partiel ou total, comme il indique que le grand dommage subit par les éléments structurels et non structurels avec la probabilité d'une très grande dégradation dans la rigidité des systèmes de résistance de chargement latéral avec la présence d'une marge infime contre l'effondrement, à ce niveau et en présence d'une grande dégradation des systèmes de résistances des chargement latéral, il est impératif pour les éléments principaux des systèmes de résistance aux forces de gravité doit continuer à résister. Il peut exister un grand danger à cause de la chute des débris structurels et il n'est pas pratique techniquement de réparer la structure, sécuritairement il est inutilisable, par l'existence de répliques. Qui peut entraîner l'effondrement de la construction.

- Il y a trois types de propriété de rotule dans SAP 2000 : les propriétés de rotule par défaut, les propriétés de rotule définies par l'utilisateur et les propriétés de rotule engendrées.

Seulement, les propriétés de rotule par défaut et les propriétés de rotule définies par l'utilisateur peuvent être assignées aux éléments d'ossature

Quand ces propriétés de rotules (par défaut et définies par l'utilisateur) sont assignées à un élément d'ossature, le programme crée automatiquement une nouvelle propriété de rotule engendrée pour chaque rotule. Les propriétés de rotule par défaut ne peuvent être modifiées et dépendent de la section.

Quand les propriétés de rotule par défaut sont utilisées, le programme combine ses critères par défaut intégrés avec les propriétés de section définie pour chaque élément pour produire les propriétés de rotule finales. Les propriétés de rotule par défaut intégrées pour les membres en acier et en béton sont basées sur des critères de FEMA-273[24] et l'ATC-40[2]. Les propriétés de rotule définies par l'utilisateur peuvent être basées sur les propriétés par défaut ou ils peuvent être complètement définies par l'utilisateur.

Quand les propriétés définies par l'utilisateur ne sont pas basées sur les propriétés par défaut, alors les propriétés peuvent être Affichées et modifiées, les propriétés de rotule engendrées sont utilisées dans l'analyse, ils peuvent être affichés, mais non modifiés.

Dans cette étude, seulement deux types de rotule basées sur les propriétés par défaut sont utilisés, pour simuler la formation de rotule plastique lors du comportement non- linéaire de la structure.

Le premier type est la rotule de moment (M3) est assignée aux poutres, et le deuxième type est la rotule (PM2M3) qui combine entre la rotule axiale et la rotule de moment assignée aux poteaux, les propriétés de rotule de ce type sont basées sur la surface d'interaction qui représente où se produit la première plastification pour les combinaisons différentes de la force axiale, le moment secondaire, le moment principal agissant sur la section.

2.4. Propriétés des rotules par défaut des sections en béton

Les propriétés des rotules par défaut assigné aux sections en béton, sont basées sur les normes ATC-40 [2] et FEMA-273[24] , qui prend en considération les paramètres essentiels qui contrôlent le comportement. En s'appuyant sur ces paramètres, dans cette étude les rotules de moment par défaut assignées à toutes les poutres ont la même capacité de rotation plastique et les rotules par défaut PMM assignées à tous les poteaux ont aussi la même capacité de rotation plastique, et cela sans tenir compte des dimensions de la section. La rotation plastique est prise en tant que zéro pour les rotules de moment et les rotules PMM, par défaut.

Les relations moment-rotation par défaut et les diagrammes interactions du modèles (5-1) sont présentées dans le tableau 2-1 et la figure 2-3 successivement. Les facteurs de proportionnalité des rotations sont pris comme unité, alors que les facteurs de proportionnalité pour des capacités de moment des poutres sont présentés dans le tableau 2-2.

Point	Moment/SF	Poutres	Poteaux
		Rotation/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.035	-0.025
D-	-0.2	-0.02	-0.015
C-	-1.1	-0.02	-0.015
B-	-1	0	0
A	0	0	0
B	1	0	0
C	1.1	0.02	0.015
D	0.2	0.02	0.015
E	0.2	0.035	0.025

Tableau 2-1 : Relation moment-rotation des rotules par défaut (M) et (PMM) des sections en béton.

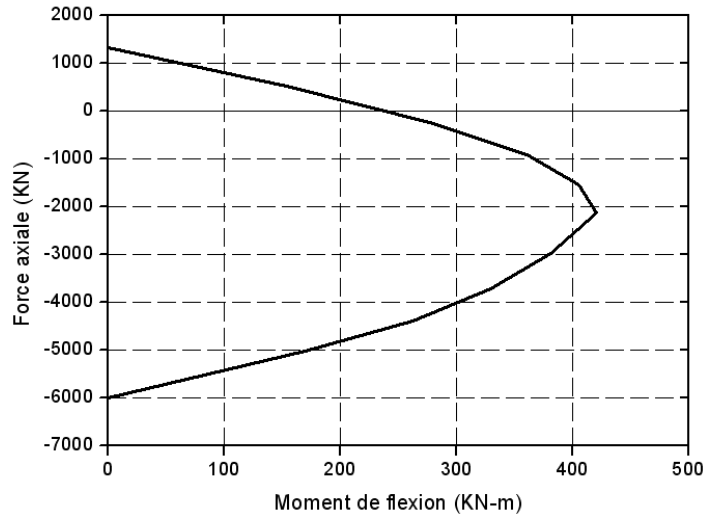


Figure 2-3 : Diagramme d'interaction P-M du modèles (5-1)

	Rotules de moment (M) par défaut	
	+M_{SF} (KN)	-M_{SF} (KN)
Poutres	160.476	206.811

Tableau 2-2 : les facteurs de proportionnalité de capacité de moment des rotules de moment M par défaut du modèle (5-1).

Finalement, après ces explications, nous résumons les étapes à suivre pour l'exécution de l'analyse pushover des structures au moyen du programme SAP2000, ces étapes se présentent comme suit :

Etape 1: Création d'un modèle représentant la structure, les charges verticales(les charges permanentes, les charges d'exploitation), les propriétés et les dimensions des éléments sont définies et assignés pour le modèle.

Etape 2 : les propriétés des rotules du portique sont définies et assignées aux éléments du portique.

Etape 3: les cas de charges indispensables pour l'analyse pushover sont définis, ces cas incluent :

- les charges de gravité, ou autre charges pouvant influencer sur la structure avant l'application des charges sismiques horizontales.
- Les charges horizontales utilisées pour la poussée de la structure.

Etape 4: Définition des cas de l'analyse statique non linéaire utilisés dans l'analyse pushover, ces cas comprennent :

- Un ou plusieurs cas qui commencent de zéro comme première condition avec l'application des charges de gravité et cela par l'utilisation l'option contrôle de charge.
- Un ou plusieurs cas pushover qui commencent à partir des cas précédents soit les cas de charges de gravité, ces cas doivent être appliquées lors de l'option contrôle de déplacement; le déplacement est contrôlé habituellement au sommet de la structure et utilisé pour l'illustration de la courbe pushover.

Etape 5: Exécution des cas pushover au moyen du programme.

Etape 6: dans l'ultime étape, le programme SAP2000 dessine la courbe pushover, la forme déformée qui fait apparaître les rotules plastiques, les forces et les moments et autres résultats concernant l'analyse pushover dont nous avons besoin.

2.5. Description des modèles analytiques

Pour l'évaluation du comportement sismique des constructions en béton armé au moyen de la méthode pushover, et pour la maîtrise et l'application des techniques de cette méthode, nous utilisons plusieurs modèles analytiques qui représentent des structures en portique en Algérie.

Au moment de la création de ces modèles analytiques, plusieurs facteurs sont pris en considération, le plus important est la création de modèle analytique dont l'évaluation de son comportement sismique est aisé, pour cela, nous choisissons des portiques bidimensionnels et pour lesquelles l'évaluation de leur comportement sismiques est chose facile. L'autre point important est le choix de modèles couvrant un vaste domaine de périodes fondamentales et en même temps représentant la majorité des portiques qui peuvent être rencontrés dans les constructions en Algérie, pour cette raison, nous avons modéliser des portiques de 02, 05 et 08 niveaux et 02 et 04 travées, la longueur de la travée est pris égale à quatre (04) mètres pour tous les modèles considérés. Concernant la hauteur des niveaux, elle est prise égale à trois (03) mètres sauf les pour les premiers niveaux, elle est changeante pour chaque portique entre trois (03) et cinq (05) mètres et cela dans le but de vérifier le changement dans le comportement global de la construction dans la probabilité de la présence d'un étage souple, et pour connaître les conséquences du

changement de hauteur du premier niveau sur la courbe de pushover (courbe de capacité). Pour la distinction de ce portiques, nous les avons nommés comme présentés dans le tableau suivant :

Nom du modèle	Nombre de niveaux	Nombre de travées	Hauteur du niveau un (m)
(2-1)	2	2	3
(2-2)	2	2	5
(2-3)	2	4	3
(2-4)	2	4	5
(5-1)	5	2	3
(5-2)	5	2	5
(5-3)	5	4	3
(5-4)	5	4	5
(8-1)	8	2	3
(8-2)	8	2	5
(8-3)	8	4	3
(8-4)	8	4	5

Tableau 2-3 : distinction des modèles

Ces modèles sont conçus conformément au règlement parasismique algérien RPA2003 [47], et sont considérés comme portiques de constructions à usage d'habitation existants dans une zone à forte magnitude sismique, la zone 3.

En réalité, le règlement parasismique Algérien [47] (RPA2003) conditionne que dans cette zone, le nombre de niveau ne dépasse les deux (02) niveaux, et conditionne également l'évitement de la présence d'un niveau d'une grande hauteur par rapport aux autres niveaux (le danger de l'existence d'un étage souple) avec ce système de contreventement, mais pour les objectifs de l'étude, nous avons choisi ces modèles dans le respect des autres conditions du code.

Les charges de conception verticales des modèles, sont les charges permanentes et les charges d'exploitation qui sont la somme des charges verticales des dalles prises comme des charges réparties uniformément, les charges permanentes sont égales à 25 Kn /ml, concernant les niveaux courants, et égales à 20 kn/ml pour le dernier niveau. Les charges d'exploitation sont égales à 2,5 kn/ml et 1,5 kn/ml respectivement pour les niveaux

courants et pour le dernier niveau, les masses concentrées à chaque niveau sont calculées, et cela pour l'exécution des analyses des vibrations libres pour déterminer les caractéristiques dynamiques des modèles (période élastique, mode propre.....)

L'analyse des vibrations libres est effectuée au moyen du programme SAP2000, les détails des dimensions des poutres et poteaux et leur ferrailage des modèles (2-1), (5-1), (5-2) (8-1) additivement aux caractéristiques dynamiques de ces modèles sont représentés dans les Tableaux (2-4),(2-5) ,(2-6),(2-7),(2-8),(2-9),(2-10) et (2-11) successivement. Pour les autres modèles, leurs détails sont donnés dans l'annexe B.

Il convient de signaler uniquement que les valeurs de ferrailage pour les buts de l'étude sont établis sans exécution d'étude dynamique, mais elles étaient basées sur l'expérience en ingénierie en tenant en compte les conditions limites du RPA2003 [47] avec omission de l'existence d'irrégularités verticales.

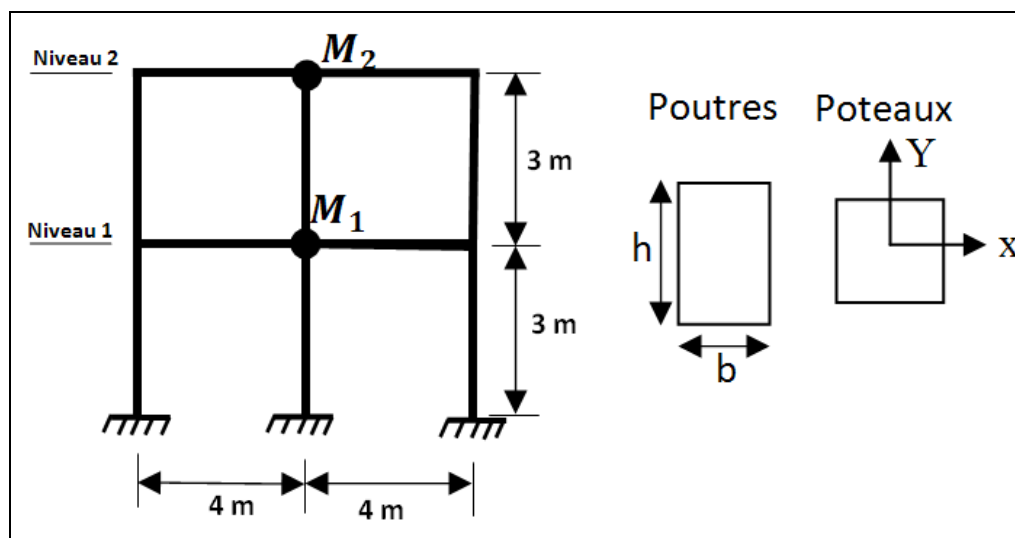


Figure 2-4: Configuration du modèle 2-1

Niveau	Poutres				Masse (t)	G (KN/m)	Q (KN/m)
	Dimensions (cm)		Valeurs de ferraillage (mm ²)				
	Profondeur (h)	Largeur (b)	Nappe supérieure	Nappe inférieure			
1	40	30	8.64	4.62	38.4	25	2.5
2	40	30	8.64	4.62	32.25	20	1.5
Niveau	Poteau		Nombre de barres		Section de barre (cm ²)		
	Dimensions (cm)						
	x-dir	y-dir	x-dir	y-dir			
1-2	35	35	3	3	2.01		

Tableau 2-4 : Propriétés des sections et chargement du modèle 2-1

Propriétés modales	Mode	
	1	2
Période (sec)	0.3966	0.1324
Facteur de participation modal	0.9	0.1
Facteur de masse modal	7.98	2.64

Tableau 2-5: Propriétés dynamiques du modèle 2-1

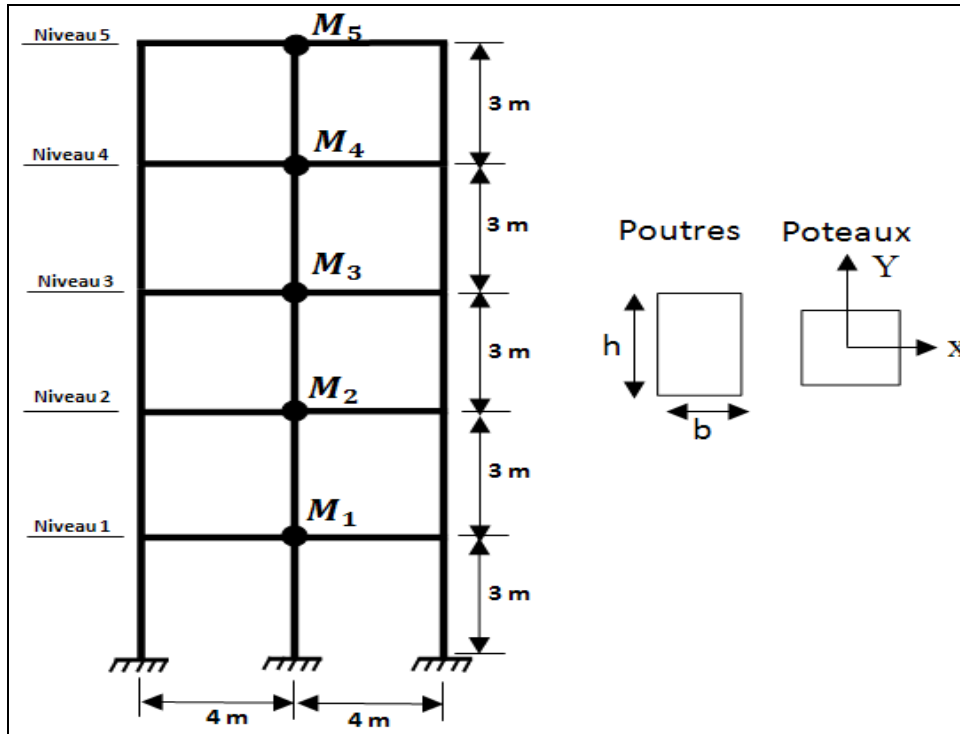


Figure 2-4: Configuration du modèle 5-1

Niveau	Poutres				Masse (t)	G (KN/m)	Q (KN/m)
	Dimensions (cm)		Valeurs de ferrailage (mm ²)				
	Profondeur (h)	Largeur (b)	Nappe supérieure	Nappe inférieure			
1-4	50	30	12.06	9.17	41.175	25	2.5
5	50	30	12.06	9.17	35.025	20	1.5
Niveau	Poteau		Nombre de barres		Section de barre (cm ²)		
	Dimensions (cm)						
	x-dir	y-dir	x-dir	y-dir			
1-5	45	45	5	5	2.01		

Tableau 2-6 : Propriétés des sections et chargement du modèle 5-1

Propriétés modales	Mode		
	1	2	3
Période (sec)	0.7017	0.2227	0.1242
Facteur de participation modal	0.83	0.11	0.04
Facteur de masse modale	-12.85	-4.63	-2.84

Tableau 2-7 : Propriétés dynamiques du modèle 5-1

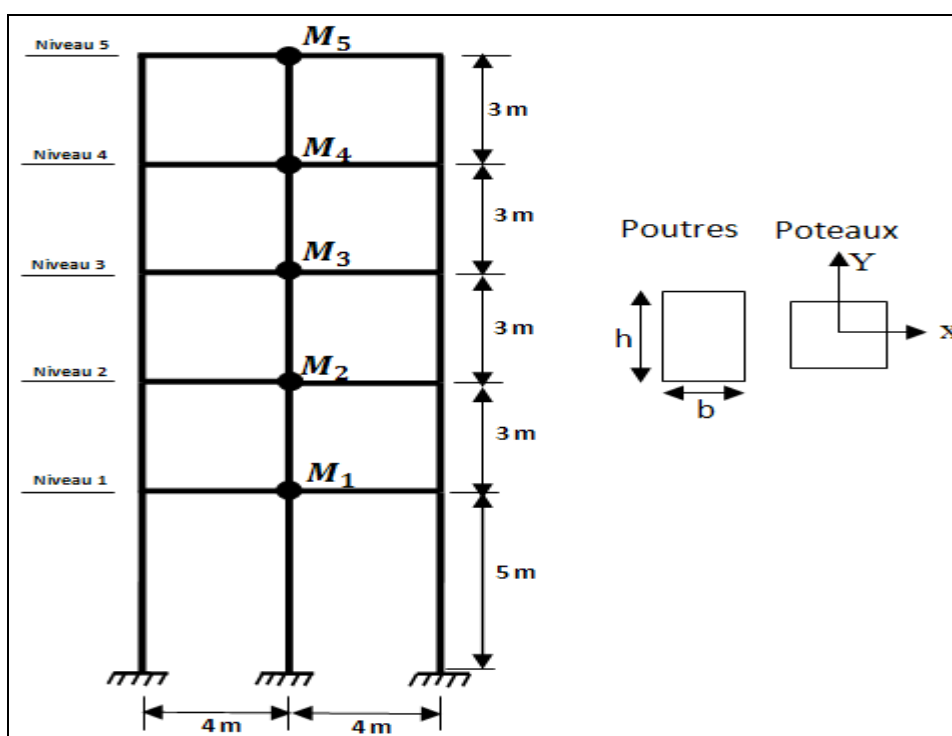


Figure 2-4: Configuration du modèle 5-2

Niveau	Poutres				Masse (t)	G (KN/m)	Q (KN/m)
	Dimensions (cm)		Valeurs de ferrailage (mm ²)				
	Profondeur (h)	Largeur (b)	Nappe supérieure	Nappe inférieure			
1	50	30	12.06	9.17	44.05	25	2.5
2-4	50	30	12.06	9.17	41.175	25	2.5
5	50	30	12.06	9.17	35.025	20	1.5
Niveau	Poteau		Nombre de barres		Section de barre (cm ²)		
	Dimensions (cm)						
	x-dir	y-dir	x-dir	y-dir			
1-5	45	45	5	5	2.01		

Tableau 2-8 : Propriétés des sections et chargement du modèle 5-2

Propriétés modales	Mode		
	1	2	3
Période (sec)	0.9367	0.2824	0.1469
Facteur de participation modal	0.93	0.056	0.009
Facteur de masse modale	13.74	3.37	1.33

Tableau 2-9 : Propriétés dynamiques du modèle 5-2

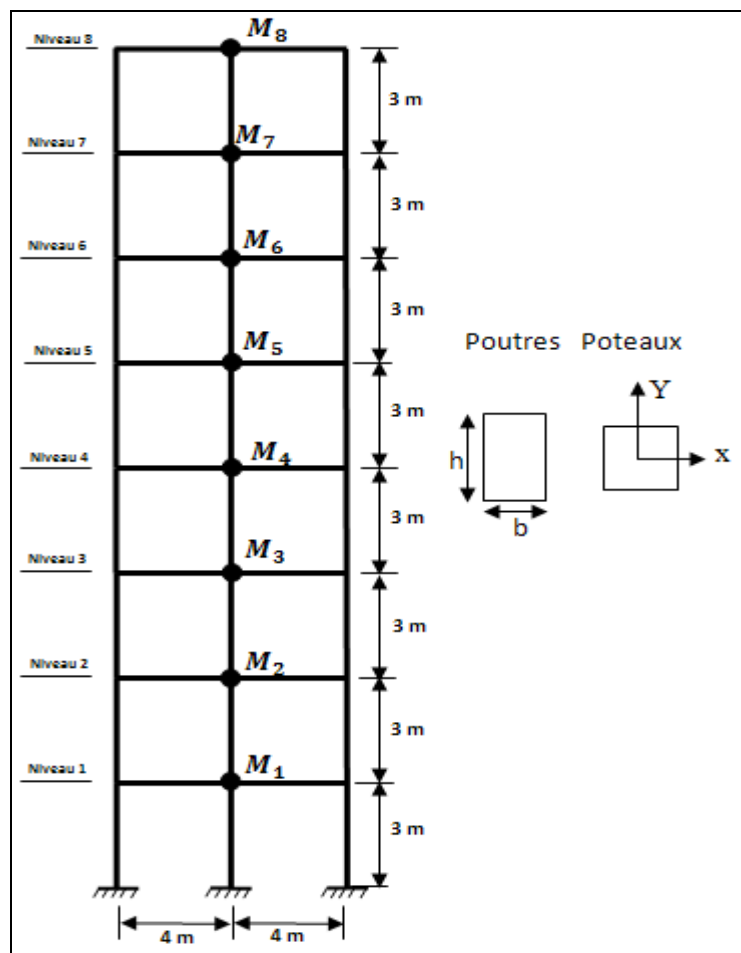


Figure 2-4: Configuration du modèle 8-1

Niveau	Poutres				Masse (t)	G (KN/m)	Q (KN/m)
	Dimensions (cm)		Valeurs de ferrailage (mm^2)				
	Profondeur (h)	Largeur (b)	Nappe supérieure	Nappe inférieure			
1-7	40	60	18.84	15.70	46.15	25	2.5
8	40	60	18.84	15.70	40	20	1.5
Niveau	Poteau		Nombre de barres		Section de barre (cm^2)		
	Dimensions (cm)		x-dir	y-dir			
	x-dir	y-dir					
1-8	55	55	4	4	3.14		

Tableau 2-10 : Propriétés des sections et chargement du modèle 8-1

Propriétés modales	Mode		
	1	2	3
Période (sec)	0.8401	0.2696	0.1506
Facteur de participation modal	0.80	0.11	0.04
Facteur de masse modale	17.09	-6.34	-3.73

Tableau 2-11 : Propriétés dynamiques du modèle 8-1

2.6. L'effort tranchant à la base de conception

Les méthodes de calculs proposées dans le Règlement Parasismique Algérien (RPA2003) [47] sont au nombre de trois (03), qui sont :

- La méthode statique équivalente.
- La méthode d'analyse modale spectrale.
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme.

Dans cette étude, pour le calcul de la force latérale de conception ou l'effort tranchant à la base de conception, nous utilisons la méthode du spectre de réponse (méthode d'analyse modale spectrale), car nous avons dans cette étude des modèles irréguliers (des modèles dont la hauteur du niveau un est égale à cinq mètres) et la méthode statique équivalente ne peut être appliquée selon le code dans un cas similaire de ces modèles, alors que la méthode du spectre de réponse est utilisée dans tous les cas. L'analyse par l'utilisation de la méthode du spectre de réponse, est une analyse dynamique élastique utilisant les valeurs de réponse maximales correspondant aux modes de vibrations ayant des participations importantes dans la réponse globale de la structure et détermine le nombre de modes de façon à incorporer dans les calculs de réponse plus de 90 % de la masse de la structure dans chaque direction principale, et les calculs des réponses modales maximales sont obtenus par utilisation des coordonnées verticales de la courbe du spectre de réponse approprié correspondant aux périodes de vibration des modes, et delà, les participations modales maximales sont additionnées par des méthodes statistiques pour obtenir la réponse des structures globales d'une façon approximative, soit l'addition des valeurs maximales des forces dans les éléments, des déplacements et l'effort tranchant d'étage par l'une des

méthode reconnue statistiquement. Le programme SAP2000 aide et facilite l'exécution de cette méthode.

On doit faire attention en cette méthode que par application du spectre de réponse sur la structure signifie l'application de vibration virtuelle similaire à celui résultant d'une secousse tellurique et non pas l'application d'une force horizontale sur la structure, il résulte de cette application un effort tranchant à la base engendrant des spectres de réponse élastique (moments, forces internes, déplacements).

Conformément au RPA2003 [47] , le spectre de calcul représentant l'action sismique est représenté comme suit :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases} \quad (2-1)$$

Où :

A : Coefficient d'accélération de zone.

η : Facteur de correction d'amortissement $\eta = \sqrt{7/(2+\xi)}$

ξ : Pourcentage d'amortissement critique.

R : Coefficient de comportement de la structure.

T_1, T_2 : Périodes caractéristiques associées à catégories de site.

Q : Facteur de qualité.

Dans notre étude et vu l'existence de modèles réguliers et irréguliers, le coefficient de comportement de la structure R est variable, alors que le facteur Q , malgré la présence de cette différence, est considéré comme constant. Alors, nous obtenons deux formes de spectres de réponse :

- spectre de réponse des modèles réguliers

$$A = 0.25, R = 3.5, Q = 1.2, \eta = 0.9.$$

En absence des données fiable sur le site, on considère que la catégorie de site est S_3 d'où $T_1 = 0.15 \text{ sec}$, et $T_2 = 0.5 \text{ sec}$

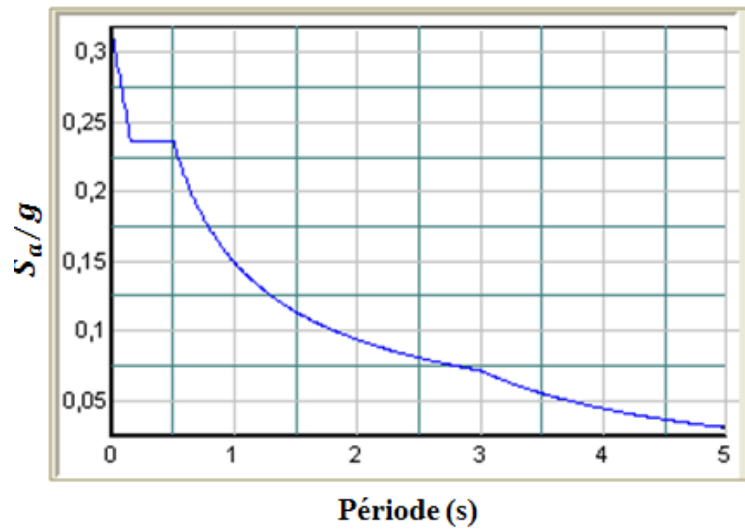


Figure 2-6 : Forme du spectre de réponse des modèles réguliers.

- spectre de réponse des modèles irréguliers

$$A = 0.25, R = 2, Q = 1.2, \eta = 0.9.$$

La même chose pour les modèles réguliers $T_1 = 0.15 \text{ sec}$, et $T_2 = 0.5 \text{ sec}$

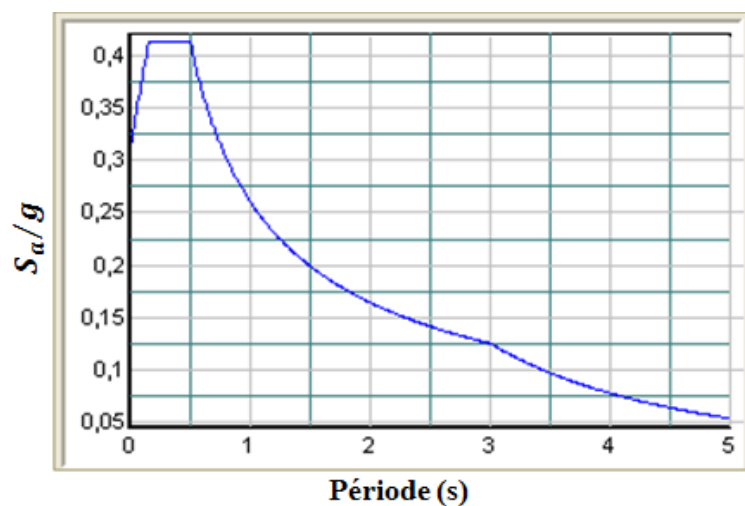


Figure 2-7 : Forme du spectre de réponse des modèles irréguliers.

L'effort tranchant de conception obtenu pour tous les modèles, est illustrée dans le tableau suivant :

Modèle	L'effort tranchant à la base de conception (KN)
2-1	148.45
2-2	235
2-3	278.76
2-4	434.32
5-1	311.63
5-2	506.227
5-3	573.42
5-4	942.65
8-1	491.70
8-2	847.65
8-3	921.06
8-4	1583.381

Tableau 2-12 : Tableau résumant les valeurs de l'effort tranchant à la base de conception des modèles

2.7. Le mode de chargement latéral

Le choix du mode de chargement latéral pour la détermination exacte du déplacement cible, est considéré comme un pas important dans l'analyse pushover et cela pour son utilisation dans la représentation la distribution probable des forces d'inertie imposées sur les structures au moment des séismes [42].

Il est clair que la distribution des forces d'inertie est variée selon la magnitude du séisme et avec le temps lors de ce séisme. Pour cela plusieurs modes de chargement sont proposés pour l'application de l'analyse pushover. Dans cette étude, trois modes de chargement latéral sont proposés, ces modes seront expliqués brièvement dans ce qui suit (les efforts tranchants d'étages sont normalisés au moyen de l'effort tranchant à la base pour obtenir un effort tranchant total équivalent à l'unité) [53] :

2.7.1. Mode de chargement latéral du code

Ce mode est défini dans le règlement parasismique algérien RPA 2003[47] , la force latérale à chaque niveau F_i est calculée par la relation suivante :

$$F_i = (V - F_t) \frac{w h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \quad (2-2)$$

Où :

V : L'effort tranchant à la base

h : Hauteur du niveau i en commençant par la base

n : Le nombre total de niveaux

F_t : Le chargement sismique supplémentaire ajoutée au niveau n et donnée par la relation suivante : $F_t = 0.07 TV$ où t est la période fondamentale de la structure, $F_t = 0$ quand $T \leq (0, 7s)$.

2.7.2. Mode de chargement uniforme

La force latérale à chaque niveau est proportionnelle à la masse de ce niveau, d'un autre sens :

$$F_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$$

Où :

F_i : La force latérale au niveau i

m_i : La masse au niveau i

2.7.3. Mode de chargement du premier mode élastique (modal)

Dans ce mode de chargement, la force latérale à chaque niveau est proportionnelle à l'amplitude du premier mode élastique et la masse de ce niveau, dans un autre sens.

$$F_i = \frac{m_i \Phi_i}{\sum m_i \Phi_i}$$

Où :

Φ_i : Amplitude du premier mode élastique au niveau i .

m_i : La masse au niveau i .