

CALCUL APPROCHE DE LA PERIODE DES STRUCTURES DE BATIMENTS

Par

Mohamed KHAOUA

Maître de Recherche au C.G.S. (Alger)

Résumé

L'article propose une méthode de calcul approché de la période des structures de bâtiments en adoptant une déformée empirique. La procédure qui découle de l'analyse dynamique fournit une excellente approximation et ne nécessite pas le recours à l'ordinateur. Elle est susceptible de combler une lacune du règlement RPA 88 et reste applicable aux structures irrégulières.

Mots clés : période propre - fréquence propre - déformée - force sismique.

1 INTRODUCTION

Le calcul des structures sollicitées par des efforts sismiques passe obligatoirement par l'évaluation, aussi précise que possible, de leur période ou, ce qui revient au même, leurs fréquences propres.

L'importance de ce paramètre réside dans le fait qu'il s'exprime en fonction des seules caractéristiques de la structure à savoir les masses et, le cas échéant, les excentricités dans le cas des structures irrégulières.

En outre, la fréquence propre intervient, associé à d'autres paramètres, dans l'amplitude des forces sismiques qui affectent la structure et ses différentes composantes. Par conséquent, la fiabilité du calcul sismique des structures ne vaut que par celle de leurs fréquences.

Or, un des points faibles des codes et règlements de calcul parasismique réside dans l'imprécision des méthodes de détermination des périodes.

Certes, des formules empiriques sont proposées ; mais les conditions restrictives de leurs applications sont telles que ces formules sont sinon inopérantes, du moins très éloignées de la réalité, dans la plupart des projets courants. Pour pallier cet inconvénient, on recourt à l'analyse

dynamique qui requiert une spécialisation du concepteur et des moyens de calcul performants, donc des coûts élevés, souvent injustifiés.

La question se pose, alors, de savoir s'il est possible d'évaluer la période propre d'une structure dont le niveau de fiabilité soit acceptable tout en limitant les coûts du calcul.

La présente étude a pour objet de tenter d'apporter une réponse à cette question.

La méthode de détermination des fréquences propres exposée ci-après, découle de la théorie de l'analyse dynamique des structures dont il est utile de rappeler quelques principes.

2 EQUATIONS DE L'ANALYSE MODALE

Nous savons qu'un système dynamique à plusieurs degrés de liberté oscille suivant plusieurs modes, chaque mode est caractérisé par une fréquence (valeur propre) et un ensemble de paramètres (vecteur propre) fixant l'amplitude des déplacements des masses dans le mode. Ceci résulte de l'équation caractéristique du système :

$$\| K_{rp} \alpha_r - (M_r \alpha_r^2 \omega^2) \delta_{rp} \| = 0 \quad (1)$$

où :

K_{rp} sont les rigidités du système

M_r les masses

ω les fréquences propres

δ_{rp} le symbole de Kronecker tel que

$$\begin{cases} \delta_{rp} = 1 \text{ si } r = p \\ \delta_{rp} = 0 \text{ si } r \neq p \end{cases}$$

Les coefficients d'excentricité définis comme suit :

$$\alpha_r = 1 + (z_g^2 K_y) / (R_x + y_g^2 K_z)$$

si l'accélération au sol est dirigée suivant l'axe horizontal Oy.

$$\alpha_r = 1 + (y_g^2 K_z) / (R_x + z_g^2 K_y)$$

si l'accélération au sol est dirigée suivant l'axe horizontal Oz.

$$\alpha_r = 1 + (y_g^2 K_x) / R_z + (z_g^2 K_x) / R_y$$

si l'accélération au sol est dirigée suivant l'axe vertical Ox.

- y_g et z_g sont les coordonnées du centre des masses rapportées au centre des rigidités.
- K_y , K_z et K_x sont respectivement les rigidités de niveau associées aux déplacements suivant Oy, Oz et Ox.
- R_x est la rigidité de niveau associée à la rotation suivant Ox (effet de torsion des étages) ; R_y et R_z sont les rigidités de niveau associées aux rotations suivant Oy et Oz (effet de basculement des étages).

Il est évident que lorsque les masses sont symétriques et centrées $\alpha_r = 1$.

La solution du système d'équation (recherche des valeurs propres) (1) fournit les fréquences ω_r^2 dont on se sert pour déterminer, aisément, les vecteurs propres.

L'étape suivante consiste à calculer la réponse du système, à une sollicitation extérieure qui se manifeste, généralement, sous forme d'une accélération du sol. Pour cela on résout l'équation modale du système qui se présente sous la forme :

$$\ddot{A}_n \sum_r M_r \phi_{rn}^2 \alpha_r^2 + A_n \sum_r \sum_p K_{rp} \phi_{rn} \phi_{pn} \alpha_r = -\ddot{u}_s \sum_r M_r \phi_{rn} \alpha_r \quad (2)$$

où :

- A_n est le déplacement modal
- $\ddot{u}_s$ l'accélération du sol
- ϕ_{rn} les composantes du vecteur propre de la matrice caractéristique du système
- M_r , α_r et K_{rp} ont la signification précisée précédemment.

On peut écrire l'équation (2) sous la forme :

$$\ddot{A}_n + \omega_n^2 A_n = -\ddot{u}_s f(t) \Gamma_n$$

où nous avons posé :

$$\begin{aligned} \omega_n^2 &= (\sum_r \sum_p K_{rp} \phi_{rn} \phi_{pn} \alpha_r) / (\sum_r M_r \phi_{rn}^2 \alpha_r^2) \\ \Gamma_n &= (\sum_r M_r \phi_{rn} \alpha_r) / (\sum_r M_r \phi_{rn}^2 \alpha_r^2) \\ \ddot{u}_s &= \ddot{u}_{so} f(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Γ_n est le facteur de participation modale et $f(t)$ la fonction de temps de l'accélération du sol.

3 METHODE APPROCHEE DE CALCUL DES FREQUENCES

On voit, d'après les relations ci-dessus, que la détermination de ω_n et Γ_n requiert la connaissance préalable des ϕ_{rn} qui, rappelons le, caractérisent la déformation de la structure dans les différents modes n.

Or dans la grande majorité des cas, nous nous contentons des caractéristiques du 1er mode ou mode fondamental, les modes supérieurs étant peu significatifs.

Si l'on néglige les modes supérieurs et l'on ne prend en compte que le 1er mode, on pose :

$$\begin{aligned} \omega_n^2 &= \omega_1^2 = \omega^2 \\ \Gamma_n &= \Gamma_1 = \Gamma \\ \phi_{rn} &= \phi_{r1} = \phi_r \end{aligned}$$

l'indice "n" identifiant le mode est superflu. Les équations (3) s'écrivent, alors :

$$\omega^2 = (\sum_r \sum_p K_{rp} \phi_r \phi_p \alpha_r) / (\sum_r M_r \phi_r^2 \alpha_r^2) \quad (4a)$$

$$\Gamma = (\sum_r M_r \phi_r \alpha_r) / (\sum_r M_r \phi_r^2 \alpha_r^2) \quad (4b)$$

La seule inconnue est ϕ_r amplitude du déplacement de la masse r, rapportée à une masse de rang arbitraire, en général la masse du niveau le plus élevé. La connaissance de l'allure de la déformée permet de résoudre entièrement le problème.

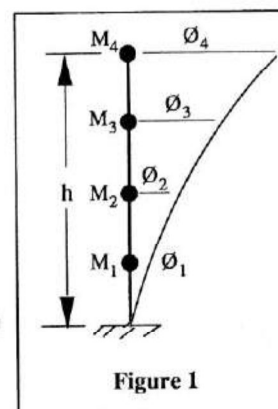


Figure 1

Une bonne estimation nous est donnée en assimilant le bâtiment à une console, encastrée à la base, dont le sommet subit un déplacement unitaire. L'équation de la déformée est :

$$\phi(x) = (x^2/h^2)(3 - 2x/h)$$

qui vérifie bien les conditions aux extrémités. On peut déduire le coefficient de forme pour une masse r telle que $x = h_r$, h_r étant la hauteur de la masse au dessus de la base. Ainsi :

$$\phi_r = (h_r^2/h^2)(3 - 2h_r/h) \quad (5)$$

Par exemple, pour une structure comportant quatre planchers où la hauteur de chaque étage est de 3 m ($h = 12$ m), on a les valeurs suivantes :

h_r	3	6	9	12
ϕ_r	5/12	1/2	27/32	1

Par ailleurs, on remplace, dans le numérateur de la relation (4a), les rigidités K_p par les rigidités d'étage K_r plus faciles à calculer ; on obtient, alors :

$$\omega^2 = \frac{(\sum_r K_r (\varnothing_r - \varnothing_{r-1})^2 \alpha_r)}{(\sum_r M_r \varnothing_r^2 \alpha_r^2)} \quad (6a)$$

$$\Gamma = \frac{(\sum_r M_r \varnothing_r \alpha_r)}{(\sum_r M_r \varnothing_r^2 \alpha_r^2)} \quad (6b)$$

4 CALCUL DES FORCES SISMQUES

Pour le calcul des forces sismiques, on s'inspire des méthodes de l'analyse dynamique en ne considérant qu'un seul mode.

On sait, de ce fait, que la force sismique de niveau a pour expression :

$$F_r = M_r \alpha_r^2 \sqrt{\sum_r (S_a \Gamma_r \varnothing_{rn})^2}$$

Pour un seul mode :

$$F_r = M_r S_a \alpha_r^2 \Gamma \varnothing_r \quad (7)$$

$\varnothing_r$ et Γ sont calculés à l'aide des expressions (5) et (6b).

Connaissant la fréquence ω , déduite de (6a), on calcule la période :

$$T = 2\pi/\omega$$

La méthode du spectre de réponse établit la correspondance entre l'accélération spectrale S_a et les coefficients sismiques :

$$S_a = A B D Q$$

D est fonction de la période T.

La répartition des forces dans les éléments de la structure ne soulève aucune difficulté et se fait selon les méthodes classiques.

▲ Application :

Soit, à titre d'exemple, une structure de bâtiment représentée en plan sur la figure 2 avec les données suivantes :

- ✓ Nombre de poteaux par étage 8
- ✓ Dimensions des poteaux 30 x 30
- ✓ Distance entre poteaux 4 m
- ✓ Nombre de planchers 4
- ✓ Hauteur des étages 4 m
- ✓ Masse répartie par plancher :
 - 1er 1,2 tm
 - 2°, 3° et 4° 1 tm

Les coefficients sismiques ont été choisis tels que :

$$A = 0,20 \quad B = 0,25 \quad Q = 1$$

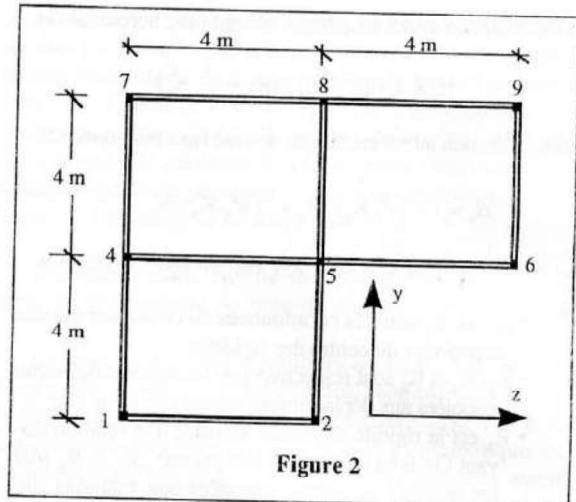


Figure 2

Le coefficient d'amplification dynamique D est lu sur le spectre du RPA 88 pour un sol ferme.

Le module d'Young et le coefficient de Poisson du béton utilisés dans le calcul sont :

$$E = 3,5 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2 \quad \nu = 0,25$$

Les calculs peuvent être effectués à l'aide d'une calculatrice d'un modèle courant.

Les résultats, pour les trois directions de l'accélération du sol sont donnés en annexe I. A titre de comparaison nous communiquons, en annexe II les résultats du calcul dynamique obtenus pour les mêmes données.

Ces résultats appellent deux remarques essentielles :

- ♦ Les périodes propres de la structure données par la méthode approchée sont très voisines de celles du mode fondamental données par la méthode dynamique, l'écart est de 8% environ.
- ♦ Les forces sismiques de niveau et leur répartition dans les éléments sont sensiblement différentes : elles sont nettement plus faibles aux étages inférieurs pour devenir plus grands aux étages supérieurs. Il est probable que ces écarts auront une influence minime sur les efforts à la base de la structure (moments et efforts tranchants) qui, seuls, définissent la capacité d'une structure à résister aux effets d'un séisme.

5 CONCLUSION

La méthode s'applique aux structures irrégulières ; l'introduction des coefficients α_r et le choix d'un exemple de structure excentrée montrent qu'il n'est pas nécessaire, dans nombre de cas, de recourir à l'analyse dynamique ⑦

ETAPES DU CALCUL

I - ACCELERATION HORIZONTALE // OY

ETAGE	M_r	$K_r (\theta_r - \theta_{r-1})^2 \alpha_r^2$	$M_r \theta_r \alpha_r$	$M_r \theta_r^2 \alpha_r^2$
1	57.600	2154.042	9.051	1.422
2	48.000	10425.565	24.135	12.136
3	48.000	10425.565	40.728	34.558
4	48.000	2154.042	48.217	48.543
Σ	201.600	25159.215	122.185	96.659
$\omega = 16.133 \quad T = 0.39 \text{ s} \quad \Gamma = 1.264$				

II - ACCELERATION HORIZONTALE // OZ

ETAGE	M_r	$K_r (\theta_r - \theta_r)^2 \alpha_r^2$	$M_r \theta_r \alpha_r$	$M_r \theta_r^2 \alpha_r^2$
1	57.600	2154.226	9.051	1.422
2	48.000	10426.456	24.137	12.138
3	48.000	10426.456	40.732	34.564
4	48.000	2154.226	48.275	48.551
Σ	201.600	25161.35	122.195	96.675
$\omega = 16.133 \quad T = 0.39 \text{ s} \quad \Gamma = 1.264$				

III - ACCELERATION VERTICALE // OX

ETAGE	M_r	$K_r (\theta_r - \theta_r)^2 \alpha_1^2$	$M_r \theta_r \alpha_r$	$M_r \theta_r^2 \alpha_r^2$
1	57.600	205778.547	9.206	1.471
2	48.000	995968.000	24.548	12.555
3	48.000	995968.000	41.425	34.751
4	48.000	205778.516	49.097	50.219
Σ	201.600	2403493.063	124.276	99.996
$\omega = 155.035 \quad T = 0.04 \text{ s} \quad \Gamma = 1.243$				

ANNEXE I METHODE APPROCHEE

I - ACCELERATION HORIZONTALE // OY

♦ Caractéristiques Géométriques

Etage	M _i t	Y _g m	Z _g m	α _r
1	57.600	-0.335	0.333	1.006
2	48.000	-0.335	0.332	1.006
3	48.000	-0.335	0.332	1.006
4	48.000	-0.335	0.332	1.006

♦ Caractéristiques de Forme

Etage	φ _r
1	0.16
2	0.50
3	0.84
4	1.00

♦ Forces Sismiques

Etage	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	0.967	-0.005	-0.320
2	2.577	-0.015	-0.852
3	4.349	-0.025	-1.438
4	5.155	-0.029	-1.704

Fréq.	Pér.	Γ
16.13	0.39	1.26

♦ Répartition des Forces

Niveau	Elément	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	1	0.006	0.006	-0.067
	2	0.112	-0.042	-0.042
	3	0.120	0.006	-0.026
	4	0.120	-0.002	-0.001
	5	0.120	-0.010	-0.042
2	6	0.128	0.006	-0.042
	7	0.128	-0.002	-0.050
	8	0.128	-0.010	-0.026
	9	0.128	-0.067	-0.067
	10	0.298	0.017	-0.178
3	11	0.005	-0.005	-0.112
	12	0.017	-0.017	-0.068
	13	0.019	-0.019	-0.134
	14	0.017	-0.017	-0.068
	15	0.341	-0.026	-0.178
4	16	0.502	0.029	-0.300
	17	0.502	-0.008	-0.189
	18	0.539	0.029	-0.115
	19	0.539	-0.008	-0.005
	20	0.539	-0.045	-0.189
5	21	0.576	0.029	-0.226
	22	0.576	-0.008	-0.115
	23	0.576	-0.045	-0.300
	24	0.595	0.035	-0.355
	25	0.595	-0.005	-0.224
6	26	0.639	0.035	-0.005
	27	0.639	-0.009	-0.157
	28	0.639	-0.009	-0.224
	29	0.683	-0.009	-0.268
	30	0.683	-0.035	-0.355

II - ACCELERATION HORIZONTALE // OZ

♦ Caractéristiques Géométriques

Etage	M _i t	Y _g m	Z _g m	α _r
1	57.600	-0.335	0.333	1.006
2	48.000	-0.335	0.332	1.006
3	48.000	-0.335	0.332	1.006
4	48.000	-0.335	0.332	1.006

♦ Caractéristiques de Forme

Etage	φ _r
1	0.16
2	0.50
3	0.84
4	1.00

♦ Forces Sismiques

Etage	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	-0.005	0.967	-0.322
2	-0.015	2.578	-0.859
3	-0.025	4.350	-1.459
4	-0.029	5.155	-1.717

Fréq.	Pér.	Γ
16.13	0.39	1.26

♦ Répartition des Forces

Niveau	Elément	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	1	-0.010	0.128	-0.067
	2	-0.010	0.120	-0.042
	3	-0.002	0.128	-0.026
	4	-0.002	0.120	-0.001
	5	-0.002	0.112	-0.042
2	6	0.007	0.128	-0.051
	7	0.007	0.120	-0.026
	8	0.007	0.112	-0.067
	9	-0.027	0.341	-0.179
	10	-0.027	0.319	-0.113
3	11	-0.005	0.341	-0.069
	12	-0.005	0.319	-0.003
	13	-0.017	0.297	-0.013
	14	-0.017	0.341	-0.135
	15	-0.017	0.319	-0.069
4	16	-0.045	0.576	-0.302
	17	-0.045	0.539	-0.190
	18	-0.008	0.576	-0.116
	19	-0.008	0.539	-0.005
	20	-0.008	0.502	-0.190
5	21	0.029	0.576	-0.228
	22	0.029	0.539	-0.116
	23	0.029	0.502	-0.302
	24	-0.053	0.683	-0.358
	25	-0.053	0.639	-0.228
6	26	-0.009	0.683	-0.138
	27	-0.009	0.639	-0.006
	28	-0.009	0.595	-0.226
	29	0.035	0.683	-0.270
	30	0.035	0.639	-0.138

ANNEXE II

METHODE DYNAMIQUE

III - ACCELERATION VERTICALE

♦ Caractéristiques Géométriques

Etage	M _t t	Yg m	Zg m	α _r
1	57.600	-0,335	0,333	1,023
2	48.000	-0,335	0,332	1,023
3	48.000	-0,335	0,332	1,023
4	48.000	-0,335	0,332	1,023

♦ Caractéristiques de Forme

Etage	Φ _r
1	0,16
2	0,50
3	0,84
4	1,00

♦ Caractéristiques Propres

Freq.	Per	T
153,04	0,04	1,24

♦ Forces Statiques

Etage	Force // OX	Moment // OY	Moment // OZ
1	0,517	0,205	0,207
2	1,544	0,547	0,551
3	2,775	0,973	0,990
4	3,289	1,094	1,102

♦ Répartition des Forces

Niveau	Elément	Force // OX	Moment // OY	M ₀
1	1	0,077	0,012	-0,009
	2	0,059	0,007	0,007
	4	0,077	0,004	0,028
	4	0,077	0,001	0,001
2	4	0,077	0,007	0,060
	6	0,077	0,007	0,065
	8	0,077	0,028	0,004
	9	0,077	0,010	0,012
3	1	0,206	0,031	-0,024
	2	0,206	0,138	0,018
	4	0,206	-0,011	0,074
	5	0,206	0,004	0,004
4	6	0,206	0,018	0,159
	7	0,206	0,172	0,172
	8	0,206	0,074	0,111
	9	0,206	-0,025	0,033
3	1	0,347	0,052	-0,040
	2	0,347	0,266	0,030
	4	0,347	-0,018	0,125
	5	0,347	0,006	0,006
4	6	0,347	0,030	0,268
	7	0,347	0,291	0,291
	8	0,347	0,124	-0,018
	9	0,347	-0,043	0,005
4	1	0,411	0,061	-0,048
	2	0,411	0,316	0,035
	4	0,411	-0,021	0,149
	5	0,411	0,007	0,007
7	6	0,411	0,035	0,318
	7	0,411	0,345	0,345
	8	0,411	-0,021	-0,021
	9	0,411	-0,051	0,065

I - ACCELERATION HORIZONTALE // OY

♦ Caractéristiques Géométriques

Etage	M _t t	Yg m	Zg m	α _r
1	57.600	-0,335	0,333	1,006
2	48.000	-0,335	0,332	1,006
3	48.000	-0,335	0,332	1,006
4	48.000	-0,335	0,332	1,006

♦ Caractéristiques de Forme

Etage	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
1	1,000	1,000	1,000	1,000
2	1,857	0,879	-6,608	-2,129
3	2,492	-0,063	-0,895	2,066
4	2,830	-0,946	0,763	-0,847

♦ Caractéristiques Propres

Mode	Freq.	Per.	Fac. part.
1	14,729	0,427	0,442
2	41,200	0,153	0,371
3	62,848	0,100	0,155
4	79,075	0,079	0,027

♦ Forces Statiques

Etage	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	3,087	-0,018	-1,020
2	3,541	-0,020	-1,171
3	4,261	-0,024	-1,409
4	5,094	-0,029	-1,684

♦ Répartition des Forces

Niveau	Elément	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	1	0,356	0,021	-0,213
	2	0,356	-0,005	-0,134
	4	0,383	0,021	-0,082
	4	0,383	-0,005	-0,003
2	4	0,383	0,032	-0,134
	6	0,409	0,021	-0,160
	8	0,409	-0,005	-0,082
	9	0,409	-0,032	-0,213
3	1	0,409	0,024	-0,244
	2	0,409	-0,006	-0,154
	4	0,439	0,024	-0,094
	5	0,439	-0,006	-0,004
4	6	0,439	-0,036	-0,154
	7	0,469	0,024	-0,184
	8	0,469	-0,006	-0,094
	9	0,469	-0,036	-0,244
3	1	0,492	0,029	-0,293
	2	0,492	-0,008	-0,185
	4	0,528	0,029	-0,113
	5	0,528	-0,008	-0,005
4	6	0,528	-0,044	-0,185
	7	0,564	0,029	-0,221
	8	0,564	-0,033	-0,133
	9	0,564	-0,044	-0,293
4	1	0,588	0,034	-0,351
	2	0,588	-0,009	-0,221
	4	0,631	0,034	-0,135
	5	0,631	-0,009	-0,005
6	6	0,631	-0,032	-0,221
	7	0,674	0,034	-0,264
	8	0,674	-0,009	-0,135
	9	0,674	-0,032	-0,351

ANNEXE II

METHODE DYNAMIQUE

I-ACCELERATION HORIZONTALE // OY

Caractéristiques Géométriques

Etage	M _p t	Y _g m	Z _g m	α _r
1	57.600	-0.335	0.333	1.023
2	48.000	-0.335	0.332	1.023
3	48.000	-0.335	0.332	1.023
4	48.000	-0.335	0.332	1.023

Caractéristiques de Forme

Etage	θ _r
1	0.16
2	0.50
3	0.84
4	1.00

Caractéristiques Propres

Fréq.	Per	T
155.04	0.04	1.24

Forces Sismiques

Etage	Force // OX	Moment // OY	Moment // OZ
1	0.617	0.205	0.207
2	1.544	0.247	0.351
3	2.775	0.224	0.920
4	3.289	1.094	1.102

Répartition des Forces

Niveau	Elément	Force // OX	Moment // OY	M ₀
1	1	0.077	0.012	-0.069
	2	0.077	0.059	0.007
	3	0.077	0.004	0.028
	4	0.077	0.001	0.001
	5	0.077	0.007	0.060
	6	0.077	0.005	0.004
	7	0.077	0.005	0.004
	8	0.077	0.010	0.012
	9	0.077	0.010	0.012
2	1	0.206	0.091	-0.024
	2	0.206	0.138	0.018
	3	0.206	-0.011	0.074
	4	0.206	0.004	0.004
	5	0.206	0.018	0.139
	6	0.206	0.172	0.111
	7	0.206	0.074	0.035
	8	0.206	-0.025	0.005
	9	0.206	0.052	-0.040
3	1	0.347	0.052	0.030
	2	0.347	0.266	0.125
	3	0.347	-0.018	0.006
	4	0.347	0.006	0.268
	5	0.347	0.030	0.291
	6	0.347	0.291	-0.018
	7	0.347	0.124	0.005
	8	0.347	-0.043	-0.048
	9	0.347	0.005	0.035
4	1	0.411	0.061	0.048
	2	0.411	0.318	0.149
	3	0.411	-0.020	0.007
	4	0.411	0.007	0.318
	5	0.411	0.035	0.345
	6	0.411	0.345	-0.021
	7	0.411	0.147	0.065
	8	0.411	-0.051	-0.065
	9	0.411	0.051	0.065

Caractéristiques Géométriques

Etage	M _p t	Y _g m	Z _g m	α _r
1	57.600	-0.335	0.333	1.006
2	48.000	-0.335	0.332	1.006
3	48.000	-0.335	0.332	1.006
4	48.000	-0.335	0.332	1.006

Caractéristiques de Forme

Etage	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
1	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.857	0.879	-6.608	-2.129
3	2.492	-0.063	-0.895	2.066
4	2.830	-0.946	0.763	-0.847

Caractéristiques Propres

Mode	Fréq.	Per.	Fac. part.
1	14.729	0.427	0.442
2	12.280	0.135	0.171
3	62.848	0.151	0.151
4	79.075	0.079	0.027

Forces Sismiques

Etage	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	3.987	-0.018	-1.020
2	3.981	-0.020	-1.171
3	4.264	-0.024	-1.409
4	5.094	-0.029	-1.684

Répartition des Forces

Niveau	Elément	Force // OY	Force // OZ	Moment // OX
1	1	0.356	0.021	-0.213
	2	0.356	0.005	-0.114
	3	0.356	0.001	-0.082
	4	0.356	0.001	0.001
	5	0.356	0.005	-0.003
	6	0.356	0.002	-0.134
	7	0.409	0.021	-0.160
	8	0.409	-0.005	-0.082
	9	0.409	-0.032	-0.213
2	1	0.409	0.024	-0.244
	2	0.409	0.006	-0.134
	3	0.439	0.004	-0.094
	4	0.439	0.006	-0.004
	5	0.439	0.006	-0.154
	6	0.439	0.002	-0.184
	7	0.469	0.006	-0.094
	8	0.469	-0.006	-0.094
	9	0.469	-0.036	-0.244
3	1	0.492	0.029	-0.293
	2	0.492	0.008	-0.185
	3	0.492	0.029	-0.113
	4	0.528	0.008	-0.005
	5	0.528	0.008	-0.185
	6	0.528	0.004	-0.221
	7	0.564	0.029	-0.221
	8	0.564	0.006	-0.113
	9	0.564	-0.044	-0.293
4	1	0.588	0.034	-0.351
	2	0.588	0.009	-0.221
	3	0.631	0.034	-0.135
	4	0.631	0.009	-0.005
	5	0.631	0.052	-0.221
	6	0.631	0.034	-0.264
	7	0.674	0.034	-0.135
	8	0.674	-0.009	-0.135
	9	0.674	-0.052	-0.351