

## SDLX301 - Bâtiment à plancher-colonnes dissymétrique soumis à une excitation horizontale

---

### Résumé :

Il s'agit de l'étude tridimensionnelle d'un bâtiment à 3 planchers sur 9 colonnes, encastré à la base des colonnes, avec masse excentrée, soumis à une excitation sismique horizontale en déplacement. La répartition excentrée des masses des planchers permet de briser la symétrie, de coupler les directions géométriques principales et de générer un effet de torsion. Les valeurs de référence sont obtenues avec le code CASTEM 2000 et SAMCEF, qui possèdent des méthodes légèrement différentes.

Les colonnes sont modélisées par des poutres, et les planchers par des éléments de coque plane. Les huit premiers modes propres sont conservés pour les calculs de recombinaison modale. Objectif : tester les déplacements, les efforts intérieurs, et les réactions à l'encastrement d'une colonne pour les recombinaisons modales CQC, SRSS, DSC. Précision des résultats : comparaison entre codes. Des tolérances fortes sont admises pour certains champs calculés dont les valeurs sont de plusieurs ordres de grandeur plus faibles.

## 1 Problème de référence

---

Ce cas test est inspiré du rapport cité en référence [bib1].

### 1.1 Géométrie

Le bâtiment étudié est composé de 3 planchers et de 9 colonnes encastrées dans les planchers.

Section des colonnes  $A$  à  $I$  :  $0.20\text{ m} \times 0.40\text{ m}$

$I$

Aire des colonnes  $A$  à  $I$  :  $8.00\ 10^{-2}\text{ m}^2$

Inerties des colonnes  $A$  à  $I$  :  $I_x = 2.667\ 10^{-4}\text{ m}^4$

(dans le repère global)  $I_y = 1.066\ 10^{-3}\text{ m}^4$

$J = 7.45\ 10^{-4}\text{ m}^4$

Coefficients de section réduite :  $A_Y = A_Z = 1.2$

Épaisseur des planchers :  $0.2\text{ m}$

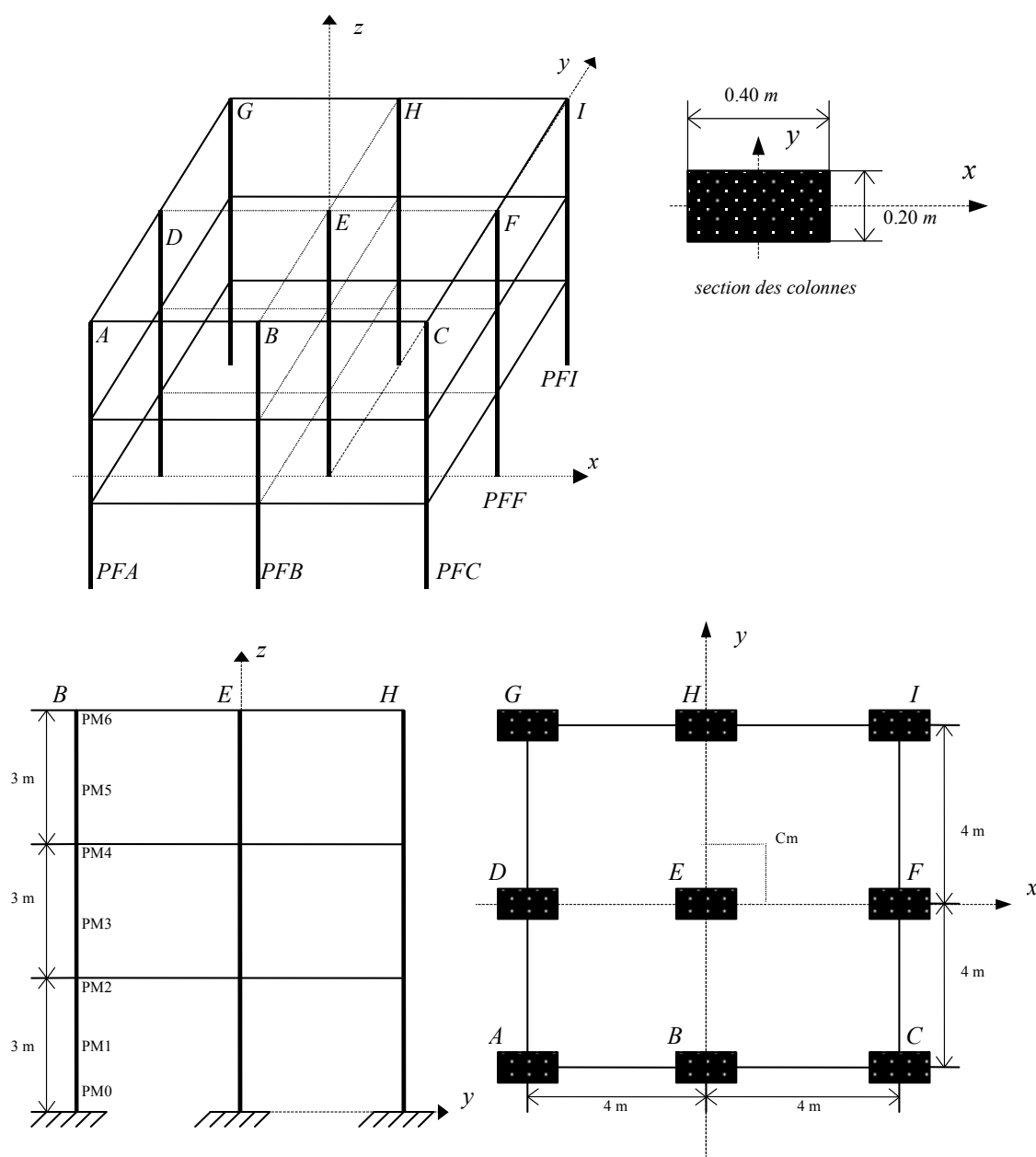


Figure 1-a : Schéma du bâtiment.

## 1.2 Propriétés des matériaux

Afin d'obtenir le centre de masse  $C_m$ , excentré par rapport au centre géométrique de  $0,3071 m$ , un matériau de densité  $\rho_2 = 1,848 \rho_1$  est affecté à  $1/4$  de la surface de chaque plancher (  $PLAN21$ ,  $PLAN22$  et  $PLAN23$  ).

Colonnes et parties  $PLAN11$ ,  $PLAN21$  et  $PLAN31$  des planchers :

Module d'Young :  $E_1 = 4,0 E + 10 Pa$  Coefficient de  $\nu_1 = 0,15$   
Poisson :

Masse volumique :  $\rho_1 = 2500 kg/m^3$

Parties  $PLAN12$ ,  $PLAN22$  et  $PLAN32$  des planchers :

Module d'Young :  $E_2 = 4,0 E + 10 Pa$  Coefficient de  $\nu_2 = 0,15$   
Poisson :

Masse volumique :  $\rho_2 = 4620 kg/m^3$

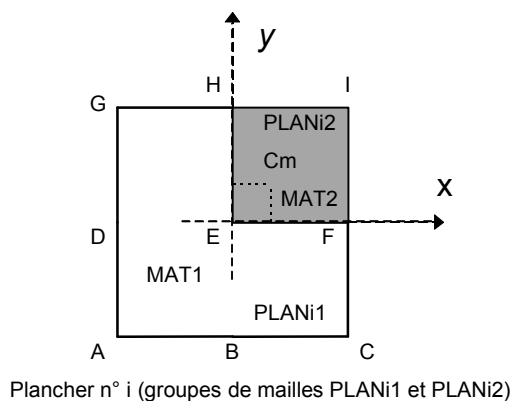


Figure 1-b : Schéma du bâtiment.

## 1.3 Conditions aux limites et chargement

### Condition aux limites

Les colonnes sont encastrées au niveau de la fondation.

### Chargement

Le séisme est appliqué dans la direction  $x$ .

Le spectre de réponse d'oscillateurs en déplacement est obtenu par superposition de quatre spectres de déplacement. Chacun de ces spectres de déplacement correspond à la réponse d'un oscillateur à un degré de liberté aux excitations sinusoïdales définies dans le tableau 1-a ci dessous :

$$SD(f, \xi) = \sum_{i=1}^4 \frac{K_i}{4\pi^2 f^2 \sqrt{\left(1 - \frac{f_i^2}{f^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{f_i^2}{f^2}}}$$

En particulier, les fréquences et amortissements retenus sont proches des quatre premiers modes de la structure.

|         | Fréquence<br>$f_i (Hz)$ | Amplitude<br>$K_i (m)$ | Amortissement $\xi$ |
|---------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| sinus 1 | 1.51                    | 0.15                   | 0.05                |
| sinus 2 | 2.05                    | 0.25                   | 0.05                |
| sinus 3 | 2.34                    | 0.25                   | 0.05                |
| sinus 4 | 4.86                    | 0.30                   | 0.05                |

**Tableau 1-a : Caractéristiques des excitations utilisées.**

Les modes négligés sont représentés par un pseudo-mode.

## 2 Solutions de référence

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour les solutions de référence

Les calculs pris pour référence sont réalisés avec les codes CASTEM 2000 et SAMCEF. La solution de référence n'est pas donnée par les résultats de [bib1] car il manquait dans cette référence certaines caractéristiques géométriques et de matériau pour refaire à l'identique le modèle de la structure étudiée. Certaines données retenues dans ce cas test sont donc différentes de celles du rapport [bib1], ce qui ne permet pas de comparaison des résultats.

### 2.2 Résultats de référence

- Fréquences calculées avec CASTEM 2000 et SAMCEF,
- Spectre de réponse en déplacement pour un amortissement de  $\xi = 5\%$ ,
- Déplacements par recombinaison modale CQC, SRSS, DSC pour la colonne B (calculés en prenant en compte les 8 premiers modes – essentiellement torsion du bâtiment et flexion des colonnes, mais les planchers sont peu fléchis),
- Dynamiques et la pseudo mode pour la correction statique,
- Efforts à l'encastrement de la colonne B et de la colonne centrale  $E$ ,
- Efforts intérieurs le long de la colonne  $B$ .

### 2.3 Incertitude sur la solution

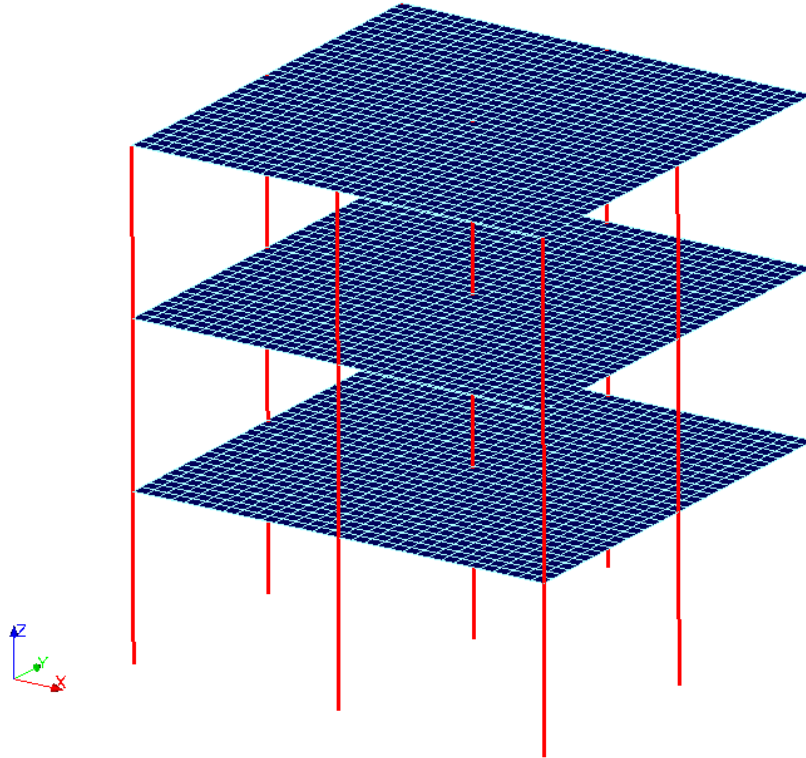
Comparaison entre codes

### 2.4 Références bibliographiques

- [1] M. MONTAY : Calcul dynamique des structures en zone sismique. Université libre de Bruxelles, 1982.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation et du maillage



Le maillage du modèle calculé avec *Code\_Aster* est constitué de 3357 nœuds et de 3387 mailles dont 135 éléments de poutre droite de Timoshenko (dont 12 *SEG2* par colonne, soit 108 pour les colonnes) et 3072 éléments plaque *DKT* (1024 par plancher). Afin d'assurer la continuité des degrés de liberté *DRZ* de rotation propre des poutres avec la rotation autour de la normale des plaques (non assurée automatiquement par *Code\_Aster*) des éléments de poutres sont ajoutés localement au bord des plaques *DKT*, au niveau des 27 raccords colonne-plancher (groupe de mailles 'JONCTIONS' dans le fichier de commande), pour assurer la transmission des rotations *DRZ* liées au mouvement plan de la plaque en rotation dans le plan  $(x, y)$ .

Le maillage du modèle calculé avec CASTEM 2000 est constitué de 3765 nœuds et de 7368 éléments dont 108 éléments poutre droite de Timoshenko et 6960 éléments de coque *DKT*.

Le maillage du modèle calculé avec SAMCEF est constitué de 3360 nœuds et de 3180 éléments dont 108 éléments poutre droite de Mindlin et 3072 éléments de coque de Mindlin.

## 3.2 Résultats de la modélisation A

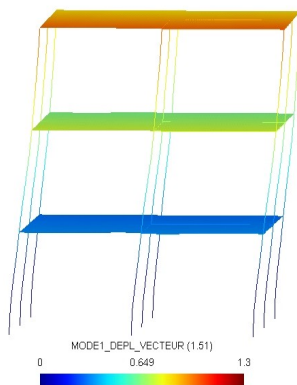
### 3.2.1 Remarques

Pour un nœud  $i$  donné, l'effort généralisé pour l'élément  $i-1$  et pour l'élément  $i$  est comparé respectivement dans les tableaux élément "bas" et élément "haut".  
Les efforts sont donnés dans le repère local des éléments de poutre (repère principal d'inertie).

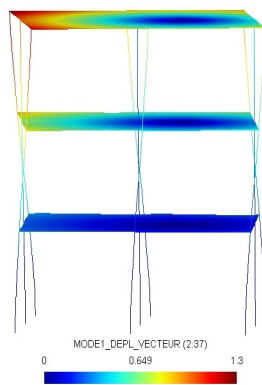
### 3.2.2 Calcul de la base modale

Fréquences propres en  $Hz$

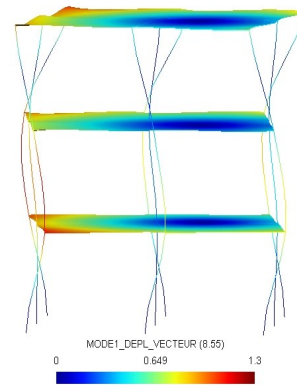
| Mode | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF | Écart en % |
|------|------------|----------------|------------|--------|------------|
| 1    | 1.512      | 1.512          | 0.036      | 1.495  | 1.11       |
| 2    | 2.052      | 2.050          | 0.125      | 2.014  | 1.93       |
| 3    | 2.365      | 2.343          | 0.916      | 2.291  | 3.24       |
| 4    | 4.848      | 4.859          | 0.237      | 4.823  | 0.522      |
| 5    | 7.488      | 7.521          | 0.448      | 7.415  | 0.99       |
| 6    | 8.388      | 8.426          | 0.456      | 8.355  | 0.392      |
| 7    | 8.547      | 8.543          | 0.037      | 8.438  | 1.30       |
| 8    | 15.185     | 15.405         | 1.428      | 15.186 | 0.004      |



Visualisation : Mode n° 1 ;



Mode n° 3 ;



Mode n° 7.

Masses modales effectives en  $kg$

| Mode et direction | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|-------------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| 1 X               | 2,129E+01  | 2.300E+01      | -7,451     | 2.070E+01 | 2,846      |
| Y                 | 1,115E+05  | 1.113E+05      | 0,127      | 1.102E+05 | 1,186      |
| Z                 | 5,203E-02  | 6.698E-02      | -22,319    | 5.816E-02 | -10,531    |
| 2 X               | 9,559E+04  | 9.365E+04      | 2,068      | 9.294E+04 | 2,847      |
| Y                 | 1,532E+02  | 1.817E+02      | -15,689    | 1.683E+02 | -8,967     |
| Z                 | 1,002E-02  | 1.440E-02      | -30,405    | 1.500E-02 | -33,186    |
| 3 X               | 1,063E+04  | 1.238E+04      | -14,202    | 1.201E+04 | -11,509    |
| Y                 | 4,954E+02  | 5.181E+02      | -4,399     | 5.010E+02 | -1,119     |
| Z                 | 6,074E-03  | 9.450E-03      | -35,736    | 8.390E-03 | -27,609    |
| 4 X               | 9,222E-01  | 9.372E-01      | -1,606     | 8.338E-01 | 10,599     |
| Y                 | 1,434E+04  | 1.438E+04      | -0,296     | 1.438E+04 | -0,247     |
| Z                 | 1,553E-01  | 2.066E-01      | -24,850    | 1.791E-01 | -13,286    |
| 5 X               | 1,606E+04  | 1.582E+04      | 1,514      | 1.594E+04 | 0,749      |
| Y                 | 1,537E+01  | 1.751E+01      | -12,252    | 1.491E+01 | 3,096      |
| Z                 | 3,026E-02  | 4.386E-02      | -31,012    | 4.668E-02 | -35,178    |

|       |   |            |            |          |            |         |
|-------|---|------------|------------|----------|------------|---------|
| 6     | X | 1,829E+02  | 3.9466E+02 | -53,662  | 1.901E+03  | -90,380 |
|       | Y | 3,771E+03  | 3.622E+03  | 4,112    | 1.300E+03  | 190,089 |
|       | Z | 1,282E-01  | 1.809E-01  | -29,145  | 1.336E-01  | -4,028  |
| 7     | X | 2,064E+03  | 2.1461E+03 | -3,842   | 5.331E+02  | 287,105 |
|       | Y | 9,264E+01  | 2.7942E+02 | -66,846  | 2.627E+03  | -96,474 |
|       | Z | 1,449E-02  | 1.222E-02  | 18,522   | 2.709E-02  | -46,519 |
| 8     | X | 4,932E+03  | 4.948E+03  | -0,346   | 4.974E+03  | -0,851  |
|       | Y | 1,130E+00  | 1.121E+00  | 0,752    | 1.035E+00  | 9,143   |
|       | Z | 5,731E+01  | 1.5420E+02 | -62,836  | 5.098E+01  | 12,411  |
| Cumul | X | 1,2948E+05 | 1,2936E+05 | 0,092%   | 1,2832E+05 | 0,905%  |
|       | Y | 1,3037E+05 | 1,3030E+05 | 0,053%   | 1,2919E+05 | 0,911%  |
|       | Z | 5,7706E+01 | 1,5473E+02 | -62,706% | 5,1448E+01 | 12,16%  |

**Remarque :**

La norme d'erreur des modes calculés par la méthode de Sorensen de Code\_Aster est toujours inférieure à  $10^{-9}$ .

**Remarque :**

La masse totale du bâtiment est de  $132552\text{ kg}$  ; la forte orientation selon y des modes est due à la relative moindre inertie selon y des colonnes. La masse modale effective cumulée dans la direction x du séisme obtenue par Code\_Aster représente 97.678 % de la masse totale.

**Remarque :**

Les différences entre modélisations et logiciels sont assez fortes dans la direction z , car elle est peu sollicitée dans ces modes.

## 3.2.3 Réponse spectrale - méthode CQC

### → Déplacements - colonne *B* (en mètre)

| Altitude Z<br>(m)                      | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|----------------------------------------|------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| PM1 : 1.5                              | X          | 1.829E-03  | 1.717E-03      | 6.466      | 1.641E-03 | 11.439     |
|                                        | Y          | 2.303E-04  | 2.276E-04      | 1.190      | 1.730E-03 | -86.686    |
|                                        | Z          | 1.882E-06  | 1.763E-06      | 6.728      | 2.112E-05 | -91.087    |
| PM2 : 3.0<br>1 <sup>er</sup> plancher  | X          | 5.411E-03  | 5.108E-03      | 5.935      | 5.255E-03 | 2.968      |
|                                        | Y          | 5.709E-04  | 5.679E-04      | 0.526      | 3.304E-03 | -82.722    |
|                                        | Z          | 3.764E-06  | 3.526E-06      | 6.729      | 4.223E-05 | -91.087    |
| PM3 : 4.5                              | X          | 9.762E-03  | 9.243E-03      | 5.608      | 9.551E-03 | 2.209      |
|                                        | Y          | 9.277E-04  | 9.246E-04      | 0.331      | 8.594E-03 | -89.205    |
|                                        | Z          | 4.750E-06  | 4.452E-06      | 6.671      | 5.540E-05 | -91.426    |
| PM4 : 6.0<br>2 <sup>ème</sup> plancher | X          | 1.409E-02  | 1.336E-02      | 5.462      | 1.381E-02 | 2.047      |
|                                        | Y          | 1.259E-03  | 1.255E-03      | 0.296      | 1.229E-02 | -89.756    |
|                                        | Z          | 5.736E-06  | 5.379E-06      | 6.633      | 6.857E-05 | -91.634    |
| PM5 : 7.5                              | X          | 1.780E-02  | 1.689E-02      | 5.352      | 1.747E-02 | 1.890      |
|                                        | Y          | 1.486E-03  | 1.482E-03      | 0.224      | 1.539E-02 | -90.347    |
|                                        | Z          | 6.014E-06  | 5.642E-06      | 6.598      | 7.376E-05 | -91.846    |
| PM6 : 9.0<br>3 <sup>ème</sup> plancher | X          | 2.085E-02  | 1.980E-02      | 5.319      | 2.057E-02 | 1.383      |
|                                        | Y          | 1.661E-03  | 1.657E-03      | 0.223      | 1.789E-02 | -90.713    |
|                                        | Z          | 6.293E-06  | 5.905E-06      | 6.567      | 7.896E-05 | -92.029    |

### → Réaction en *N* et Moment en *N.m* à l'encastrement de la colonne *B* (groupe nœud 'PFE')

| Réaction ou<br>moment | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|-----------------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| Fx                    | 3.445E+04  | 3.325E+04      | 3.590      | 3.362E+04 | 2.460      |
| Fy                    | 1.644E+03  | 1.629E+03      | 0.916      | 2.265E+03 | -27.405    |
| Fz                    | 4.015E+03  | 3.761E+03      | 6.729      | 5.000E+03 | -19.694    |
| Mx                    | 2.986E+03  | 2.975E+03      | 0.348      | 4.145E+03 | -27.967    |
| My                    | 8.488E+04  | 8.135E+04      | 4.336      | 8.225E+04 | 3.208      |
| Mz                    | 1.8460E-03 | 1.772E-01      | -98.958    | 2.165E+01 | -99.99     |

→ Réaction en  $N$  et Moment en  $N.m$  à l'encastrement de la colonne centrale  $E$  ( groupe nœud 'PFE' )

| Réaction/Moment | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|-----------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| Fx              | 5.799E+04  | 5341E+04       | 8.552      | 5.056E+04 | 14.686     |
| Fy              | 2.080E+03  | 2.071E+03      | 0.428      | 2.849E+03 | -26.994    |
| Fz              | 2.471E+02  | 4.067E+02      | -39.247    | 1.978E+03 | -87.504    |
| Mx              | 3.419E+03  | 3.417E+03      | 0.044      | 4.728E+03 | -27.691    |
| My              | 1.202E+05  | 1.116E+05      | 7.705      | 1.074E+05 | 11.913     |
| Mz              | 1.842E-03  | 1.770E-01      | -98.959    | 2.591E+01 | -99.99     |

→ Efforts généralisés de la colonne  $B$  (en repère local)

Tableau élément « bas » (voir remarque [§ 4.1])

| Altitude Z (m)            | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------------|------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| PM1 : 1.5                 | N (N)      | 4.015E+03  | 3.7618E+03     | 6.728      | 5.000E+03 | -19.702    |
| PM1_BAS                   | Vy (N)     | 1.640E+03  | 1.627E+03      | 0.770      | 2.260E+03 | -27.445    |
|                           | Vz (N)     | 3.441E+04  | 3.323E+04      | 3.528      | 3.320E+04 | 3.634      |
|                           | MT (N.m)   | 1.846E-03  | 1.756E-01      | -98.949    | 2.160E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 3.325E+04  | 3.151E+04      | 5.522      | 3.320E+04 | 0.154      |
|                           | Mfz (N.m)  | 5.215E+02  | 5.333E+02      | -2.227     | 7.650E+02 | -31.835    |
| PM2 : 3.0                 | N (N)      | 4.015E+03  | 3.761E+03      | 6.727      | 4.999E+03 | -19.689    |
| 1 <sup>er</sup> plancher  | Vy (N)     | 1.618E+03  | 1.610E+03      | 0.482      | 2.230E+03 | -27.450    |
| PM2_BAS                   | Vz (N)     | 3.420E+04  | 3.308E+04      | 3.371      | 3.286E+04 | 4.073      |
|                           | MT (N.m)   | 1.846 E-03 | 1.645E-01      | -98.879    | 2.160E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.830E+04  | 1.824E+04      | 0.228      | 1.750E+04 | 4.603      |
|                           | Mfz (N.m)  | 1.925E+03  | 1.891E+03      | 1.771      | 2.620E+03 | -26.542    |
| PM3 : 4.5                 | N (N)      | 2.104E+03  | 1.976E+03      | 6.448      | 2.636E+03 | -20.176    |
| PM3_BAS                   | Vy (N)     | 1.381E+03  | 1.368E+03      | 0.952      | 1.930E+04 | -28.439    |
|                           | Vz (N)     | 3.061E+04  | 3.000E+04      | 2.010      | 2.993E+04 | 2.265      |
|                           | MT (N.m)   | 1.594E-03  | 1.402E-01      | -98.863    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.434E+03  | 1.390E+03      | 3.161      | 1.440E+03 | -0.385     |
|                           | Mfz (N.m)  | 1.295E+02  | 1.342E+02      | -3.554     | 1.890E+02 | -31.483    |
| PM4 : 6.0                 | N (N)      | 2.104E+03  | 1.976E+03      | 6.450      | 2.636E+03 | -20.187    |
| 2 <sup>ème</sup> plancher | Vy (N)     | 1.324E+03  | 1.315E+03      | 0.618      | 1.850E+03 | -28.458    |
| PM4_BAS                   | Vz (N)     | 2.993E+04  | 2.941E+04      | 1.751      | 2.931E+04 | 2.119      |
|                           | MT (N.m)   | 1.594E-03  | 1.049E-01      | -98.481    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 4.583E+04  | 4.471E+04      | 2.480      | 4.430E+04 | 3.445      |
|                           | Mfz (N.m)  | 2.157E+03  | 2.126E+03      | 1.456      | 2.990E+03 | -27.858    |
| PM5 : 7.5                 | N (N)      | 5.956E+02  | 5.629E+02      | 5.817      | 7.749E+02 | -23.133    |
| PM5_BAS                   | Vy (N)     | 7.279E+02  | 7.312E+02      | -0.453     | 1.040E+03 | -30.006    |
|                           | Vz (N)     | 1.935E+04  | 1.934E+04      | 0.039      | 1.934E+04 | 0.039      |
|                           | MT (N.m)   | 9.470E-04  | 6.137E-02      | -98.457    | 2.660E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.234E+04  | 1.184E+04      | 4.184      | 1.210E+04 | 2.006      |
|                           | Mfz (N.m)  | 2.511E+02  | 2.578E+02      | -2.607     | 3.800E+02 | -33.921    |

**Tableau élément « haut » (voir remarque [§ 4.1])**

| Altitude Z (m)            | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------------|------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| PM0 : 0.0                 | N (N)      | 4.015E+03  | 3.762E+03      | 6.729      | -         | -          |
| PM0_HAUT                  | Vy (N)     | 1.644E+03  | 1.629E+03      | 0.928      | -         | -          |
|                           | Vz (N)     | 3.444E+04  | 3.325E+04      | 3.593      | -         | -          |
|                           | MT (N.m)   | 1.846E-03  | 1.770E-01      | -98.957    | -         | -          |
|                           | Mfy (N.m)  | 8.488E+04  | 8.135E+04      | 4.336      | -         | -          |
|                           | Mfz (N.m)  | 2.986E+02  | 2.975E+02      | 0.348      | -         | -          |
| PM1 : 1.5                 | N (N)      | 4.015E+03  | 3.762E+03      | 6.728      | 5.000E+03 | -19.702    |
| PM1_HAUT                  | Vy (N)     | 1.640E+03  | 1.621E+03      | 1.149      | 2.250E+03 | -27.123    |
|                           | Vz (N)     | 3.440E+04  | 3.318E+04      | 3.683      | 3.300E+04 | 4.258      |
|                           | MT (N.m)   | 1.846E-03  | 1.717E-01      | -98.925    | 2.160E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 3.325E+04  | 3.150E+04      | 5.529      | 3.260E+04 | 1.997      |
|                           | Mfz (N.m)  | 5.215E+02  | 5.331E+02      | -2.183     | 7.640E+02 | -31.746    |
| PM2 : 3.0                 | N (N)      | 2.104E+03  | 1.976E+03      | 6.454      | 2.640E+03 | -20.289    |
| 1 <sup>er</sup> plancher  | Vy (N)     | 1.419E+03  | 1.386E+03      | 2.319      | 1.950E+03 | -27.233    |
| PM2_HAUT                  | Vz (N)     | 3.103E+04  | 3.020E+04      | 2.733      | 3.010E+04 | 3.094      |
|                           | MT (N.m)   | 1.595E-03  | 1.540E-01      | -98.965    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 4.591E+04  | 4.485E+04      | 2.354      | 4.500E+04 | 2.022      |
|                           | Mfz (N.m)  | 1.976E+03  | 1.935E+03      | 2.095      | 2.730E+03 | -27.610    |
| PM3 : 4.5                 | N (N)      | 2.104E+03  | 1.976E+03      | 6.453      | 2.640E+03 | -20.297    |
| PM3_HAUT                  | Vy (N)     | 1.381E+03  | 1.344E+03      | 2.739      | 1.900E+03 | -27.309    |
|                           | Vz (N)     | 3.061E+04  | 2.974E+04      | 2.917      | 2.970E+04 | 3.062      |
|                           | MT (N.m)   | 1.594E-03  | 1.237E-01      | -98.712    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.434E+03  | 1.391E+03      | 3.109      | 1.440E+03 | -0.385     |
|                           | Mfz (N.m)  | 1.295E+02  | 1.345E+02      | -3.741     | 1.900E+02 | -31.843    |
| PM4 : 6.0                 | N (N)      | 5.960E+02  | 5.630E+02      | 5.847      | 7.750E+02 | -23.103    |
| 2 <sup>ème</sup> plancher | Vy (N)     | 7.978E+02  | 7.660E+02      | 4.147      | 1.080E+03 | -26.130    |
| PM4_HAUT                  | Vz (N)     | 2.023E+04  | 1.976E+04      | 2.358      | 1.970E+04 | 2.696      |
|                           | MT (N.m)   | 9.477E-04  | 8.407E-02      | -98.873    | 2.670E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.751E+04  | 1.762E+04      | -0.636     | 1.790E+04 | -2.179     |
|                           | Mfz (N.m)  | 8.967E+02  | 8.675E+02      | 3.363      | 1.280E+03 | -29.945    |
| PM5 : 7.5                 | N (N)      | 5.956E+02  | 5.627E+02      | 5.842      | 7.750E+02 | -23.143    |
| PM5_HAUT                  | Vy (N)     | 7.279E+02  | 6.933E+02      | 4.987      | 9.930E+02 | -26.693    |
|                           | Vz (N)     | 1.935E+04  | 1.886E+04      | 2.561      | 1.890E+04 | 2.360      |
|                           | MT (N.m)   | 9.470E-04  | 3.736E-02      | -97.466    | 2.660E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.234E+04  | 1.184E+04      | 4.167      | 1.210E+04 | 2.006      |
|                           | Mfz (N.m)  | 2.511E+02  | 2.579E+02      | -2.664     | 3.810E+02 | -34.095    |

## 3.2.4 Réponse spectrale - méthode SRSS

Déplacements – colonne  $B$  (en  $m$ )

| Altitude $Z$<br>(m)       | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF   | Écart en % |
|---------------------------|------------|------------|----------------|------------|----------|------------|
| PM1 : 1.5                 | X          | 1.593E-03  | 1.4749E-03     | 7.998      | 1.40E-03 | 13.779     |
| N982                      | Y          | 2.767E-04  | 2.795E-04      | -1.050     | 1.47E-03 | -81.179    |
|                           | Z          | 2.253E+06  | 2.156E-06      | 4.469      | 1.95E-05 | -88.447    |
| PM2 : 3.0                 | X          | 4.714E-03  | 4.386E-03      | 7.475      | 4.46E-03 | 5.707      |
| 1 <sup>er</sup> plancher  | Y          | 6.854E-04  | 6.969E-04      | -1.653     | 4.12E-03 | -83.364    |
| N1245                     | Z          | 4.506E-06  | 4.312E-06      | 4.469      | 3.90E-05 | -88.447    |
| PM3 : 4.5                 | X          | 8.508E-03  | 7.939E-03      | 7.169      | 8.13E-03 | 4.655      |
| N1530                     | Y          | 1.113E-03  | 1.133E-03      | -1.797     | 7.32E-03 | -84.798    |
|                           | Z          | 5.684E-06  | 5.443E-06      | 4.412      | 5.12E-05 | -88.898    |
| PM4 : 6.0                 | X          | 1.229E-02  | 1.148E-02      | 7.043      | 1.18E-02 | 4.153      |
| 2 <sup>ème</sup> plancher | Y          | 1.510E-03  | 1.538E-03      | -1.842     | 1.05E-02 | -85.621    |
| N1815                     | Z          | 6.862E-06  | 6.574E-06      | 4.374      | 6.33E-05 | -89.159    |
| PM5 : 7.5                 | X          | 1.552E-02  | 1.451E-02      | 6.956      | 1.49E-02 | 4.187      |
| N2106                     | Y          | 1.780E-03  | 1.815E-03      | -1.902     | 1.31E-02 | -86.410    |
|                           | Z          | 7.195E-06  | 6.896E-06      | 4.338      | 6.80E-06 | -89.419    |
| PM6 : 9.0                 | X          | 1.820E-02  | 1.701E-02      | 6.944      | 1.75E-02 | 3.981      |
| 3 <sup>ème</sup> plancher | Y          | 1.990E-03  | 2.028E-03      | -1.902     | 1.52E-02 | -86.908    |
| N2355                     | Z          | 7.528E-06  | 7.217E-06      | 4.303      | 7.27E-06 | -89.646    |

Réaction en  $N$  et Moment en  $N.m$  à l'encastrement de la colonne  $B$  (nœud N758).

| Réaction/Momen<br>t | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| Fx                  | 2.999E+04  | 2.854E+04      | 5.040      | 2.883E+04 | 4.006      |
| Fy                  | 1.977E+03  | 2.006E+03      | -1.434     | 1.914E+03 | 3.336      |
| Fz                  | 4.806E+03  | 4.600E+03      | 4.468      | 4.254E+03 | 12.973     |
| Mx                  | 3.587E+03  | 3.657E+03      | -1.902     | 3.510E+03 | 2.203      |
| My                  | 7.393E+04  | 6.985E+04      | 5.830      | 7.011E+04 | 5.448      |
| Mz                  | 2.240E-03  | 1.772E-01      | -98.736    | 1.989E+01 | -99.99     |

Réaction en  $N$  et Moment en  $N.m$  à l'encastrement de la colonne centrale  $E$  (nœud N885).

| Réaction/Momen<br>t | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| Fx                  | 5.591E+04  | 5.094E+04      | 9.754      | 4.797E+04 | 16.558     |
| Fy                  | 2.499E+03  | 2.545E+03      | -1.818     | 2.413E+03 | 3.571      |
| Fz                  | 2.472E+02  | 4.068E+02      | -39.240    | 1.972E+03 | -87.462    |
| Mx                  | 4.106E+03  | 4.196E+03      | -2.161     | 4.008E+03 | 2.454      |
| My                  | 1.159E+05  | 1.064E+05      | 8.897      | 1.019E+05 | 13.769     |
| Mz                  | 2.236E-03  | 1.770E-01      | -98.737    | 2.288E+01 | -99.99     |

Efforts généralisés de la colonne B

Tableau élément « bas » (voir remarque [§4.1])

| Altitude Z (m)            | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------------|------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| PM1 : 1.5                 | N (N)      | 4.806E+03  | 4.600E+03      | 4.469      | 4.250E+03 | 13.082     |
| M3158, N982               | Vy (N)     | 1.972E+03  | 2.003E+03      | -1.580     | 1.910E+03 | 3.233      |
|                           | Vz (N)     | 2.995E+04  | 2.853E+04      | 4.979      | 2.830E+04 | 5.832      |
|                           | MT (N.m)   | 2.240E-03  | 1.756E-01      | -98.725    | 1.990E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 2.898E+04  | 2.706E+04      | 7.088      | 2.780E+04 | 4.261      |
|                           | Mfz (N.m)  | 6.254E+02  | 6.536E+02      | -4.319     | 6.500E+02 | -3.781     |
| PM2 : 3.0                 | N (N)      | 4.806E+03  | 4.600E+03      | 4.467      | 4.250E+03 | 13.078     |
| 1 <sup>er</sup> plancher  | Vy (N)     | 1.944E+03  | 1.980E+03      | -1.839     | 1.890E+03 | 2.867      |
| M3160, N1245              | Vz (N)     | 2.977E+04  | 2.840E+04      | 4.825      | 2.800E+04 | 6.326      |
|                           | MT (N.m)   | 2.240E-03  | 1.646E-01      | -98.639    | 1.990E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.590E+04  | 1.566E+04      | 1.513      | 1.510E+04 | 5.284      |
|                           | Mfz (N.m)  | 2.317E+03  | 2.334E+03      | -0.746     | 2.200E+03 | 5.327      |
| PM3 : 4.5                 | N (N)      | 2.515E+03  | 2.414E+03      | 4.184      | 2.240E+03 | 12.268     |
| M3162                     | Vy (N)     | 1.664E+03  | 1.694E+03      | -1.789     | 1.620E+03 | 2.703      |
|                           | Vz (N)     | 2.670E+04  | 2.578E+04      | 3.551      | 2.560E+04 | 4.291      |
|                           | MT (N.m)   | 1.935E-03  | 1.402E-01      | -98.621    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.246E+03  | 1.152E+03      | 8.141      | 1.120E+03 | 11.269     |
|                           | Mfz (N.m)  | 1.564E+02  | 1.656E+02      | -5.535     | 1.600E+02 | -2.217     |
| PM4 : 6.0                 | N (N)      | 2.514E+03  | 2.413E+03      | 4.183      | 2.240E+03 | 12.253     |
| 2 <sup>ème</sup> plancher | Vy (N)     | 1.592E+03  | 1.626E+03      | -2.151     | 1.560E+03 | 2.033      |
| M3164, N1815              | Vz (N)     | 2.611E+04  | 2.528E+04      | 3.308      | 2.500E+04 | 4.461      |
|                           | MT (N.m)   | 1.934E-03  | 1.049E-01      | -98.156    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 3.993E+04  | 3.840E+04      | 3.962      | 3.780E+04 | 5.635      |
|                           | Mfz (N.m)  | 2.598E+03  | 2.630E+03      | -1.242     | 2.520E+03 | 3.085      |
| PM5 : 7.5                 | N (N)      | 7.130E+02  | 6.904E+02      | 3.270      | 6.590E+02 | 8.197      |
| M3166, N2106              | Vy (N)     | 8.779E+02  | 9.099E+02      | -3.521     | 8.730E+02 | 0.564      |
|                           | Vz (N)     | 1.693E+04  | 1.663E+04      | 1.802      | 1.650E+04 | 2.635      |
|                           | MT (N.m)   | 1.150E-03  | 6.137E-02      | -98.128    | 2.500E+01 | -99.99     |
|                           | Mfy (N.m)  | 1.075E+04  | 1.017E+04      | 5.675      | 1.030E+04 | 4.382      |
|                           | Mfz (N.m)  | 3.034E+02  | 3.201E+02      | -5.243     | 3.200E+02 | -5.199     |

Tableau élément « haut » (voir remarque [§ 4.1])

| Altitude Z (m)                            | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|-------------------------------------------|------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| PM0 : 0.0                                 | N (N)      | 4.806E+03  | 4.600E+03      | 4.468      | -         | -          |
| M3157, N758                               | Vy (N)     | 1.977E+03  | 2.006E+03      | -1.429     | -         | -          |
|                                           | Vz (N)     | 2.998E+04  | 2.854E+04      | 5.043      | -         | -          |
|                                           | MT (N.m)   | 2.240E-03  | 1.770E-01      | -98.735    | -         | -          |
|                                           | Mfy (N.m)  | 7.393E+04  | 6.986E+04      | 5.830      | -         | -          |
|                                           | Mfz (N.m)  | 3.587E+03  | 3.657E+03      | -1.902     | -         | -          |
| PM1 : 1.5                                 | N (N)      | 4.806E+03  | 4.600E+03      | 4.469      | 4.250E+03 | 13.082     |
| M3159, N982                               | Vy (N)     | 1.972E+03  | 1.995E+03      | -1.176     | 1.900E+03 | 3.776      |
|                                           | Vz (N)     | 2.995E+04  | 2.848E+04      | 5.140      | 2.810E+04 | 6.580      |
|                                           | MT (N.m)   | 2.240E-03  | 1.717E-01      | -98.696    | 1.990E+01 | -99.99     |
|                                           | Mfy (N.m)  | 2.898E+04  | 2.706E+04      | 7.096      | 2.780E+04 | 4.261      |
|                                           | Mfz (N.m)  | 6.254E+02  | 6.533E+02      | -4.276     | 6.500E+02 | -3.781     |
| PM2 : 3.0                                 | N (N)      | 2.515E+03  | 2.414E+03      | 4.191      | 2.240E+03 | 12.280     |
| 1 <sup>er</sup> plancher<br>M3161, N1245  | Vy (N)     | 1.709E+03  | 1.716E+03      | -0.403     | 1.640E+03 | 4.231      |
|                                           | Vz (N)     | 2.706E+04  | 2.595E+04      | 4.269      | 2.570E+04 | 5.304      |
|                                           | MT (N.m)   | 1.935E-03  | 1.540E-01      | -98.744    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                                           | Mfy (N.m)  | 4.009E+04  | 3.856E+04      | 3.969      | 3.850E+04 | 4.131      |
|                                           | Mfz (N.m)  | 2.380E+03  | 2.397E+03      | -0.703     | 2.300E+03 | 3.481      |
| PM3 : 4.5                                 | N (N)      | 2.515E+03  | 2.413E+03      | 4.193      | 2.240E+03 | 12.268     |
| M3163, N1530                              | Vy (N)     | 1.664E+03  | 1.664E+03      | -0.025     | 1.600E+03 | 3.987      |
|                                           | Vz (N)     | 2.670E+04  | 2.555E+04      | 4.469      | 2.530E+04 | 5.534      |
|                                           | MT (N.m)   | 1.935E-03  | 1.237E-01      | -98.437    | 2.570E+01 | -99.99     |
|                                           | Mfy (N.m)  | 1.246E+03  | 1.153E+03      | 8.084      | 1.120E+03 | 11.269     |
|                                           | Mfz (N.m)  | 1.564E+02  | 1.659E+02      | -5.734     | 1.610E+02 | -2.824     |
| PM4 : 6.0                                 | N (N)      | 7.134E+02  | 6.906E+02      | 3.299      | 6.590E+02 | 8.255      |
| 2 <sup>ème</sup> plancher<br>M3165, N1815 | Vy (N)     | 9.610E+02  | 9.506E+02      | 1.087      | 9.100E+02 | 5.607      |
|                                           | Vz (N)     | 1.769E+04  | 1.700E+04      | 4.099      | 1.680E+04 | 5.325      |
|                                           | MT (N.m)   | 1.150E-03  | 8.407E-02      | -98.632    | 2.500E+01 | -99.99     |
|                                           | Mfy (N.m)  | 1.537E+04  | 1.516E+04      | 1.330      | 1.540E+04 | -0.197     |
|                                           | Mfz (N.m)  | 1.092E+03  | 1.1021E+03     | -0.959     | 1.060E+03 | 2.974      |
| PM5 : 7.5                                 | N (N)      | 7.130E+02  | 6.902E+02      | 3.297      | 6.580E+02 | 8.362      |
| M3167, N2106                              | Vy (N)     | 8.779E+02  | 8.644E+02      | 1.561      | 8.310E+02 | 5.647      |
|                                           | Vz (N)     | 1.693E+04  | 1.622E+04      | 4.345      | 1.610E+04 | 5.174      |
|                                           | MT (N.m)   | 1.149E-03  | 3.736E-02      | -96.925    | 2.490E+01 | -99.99     |
|                                           | Mfy (N.m)  | 1.075E+04  | 1.017E+04      | 5.654      | 1.030E+04 | 4.382      |
|                                           | Mfz (N.m)  | 3.034E+02  | 3.202E+02      | -5.282     | 3.210E+02 | -5.494     |

## 3.2.5 Réponse spectrale - méthode ROSENBLUETH DSC

Pour cette méthode, nous avons utilisé un temps de simulation de 30 secondes.

Déplacements - colonne  $B$  (en  $m$ )

| Altitude Z (m)            | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF   | Écart en % |
|---------------------------|------------|------------|----------------|------------|----------|------------|
| PM1 : 1.5                 | X          | 1.858E-03  | 1.746E-03      | 6.396      | 1.643E-3 | 13.110     |
| N982                      | Y          | 2.230E-04  | 2.197E-04      | 1.493      | 1.732E-3 | -87.124    |
|                           | Z          | 1.823E-06  | 1.703E-06      | 7.048      | 2.113E-5 | -91.372    |
| PM2 : 3.0                 | X          | 5.499E-03  | 5.194E-03      | 5.864      | 5.241E-3 | 4.917      |
| 1 <sup>er</sup> plancher  | Y          | 5.528E-04  | 5.4825E-04     | 0.827      | 4.845E-3 | -88.590    |
| N1245                     | Z          | 3.646E-06  | 3.406E-06      | 7.048      | 4.225E-5 | -91.370    |
| PM3 : 4.5                 | X          | 9.919E-03  | 9.398E-03      | 5.534      | 9.560E-3 | 3.751      |
| N1530                     | Y          | 8.983E-04  | 8.927E-04      | 0.631      | 8.603E-3 | -89.558    |
|                           | Z          | 4.601E-06  | 4.300E-06      | 6.991      | 5.453E-5 | -91.699    |
| PM4 : 6.0                 | X          | 1.432E-02  | 1.359E-02      | 5.386      | 1.383E-2 | 3.548      |
| 2 <sup>ème</sup> plancher | Y          | 1.219E-03  | 1.212E-03      | 0.596      | 1.23E-2  | -90.087    |
| N1815                     | Z          | 5.557E-06  | 5.195E-06      | 6.953      | 6.861E-5 | -91.901    |
| PM5 : 7.5                 | X          | 1.808E-02  | 1.717E-02      | 5.273      | 1.748E-2 | 3.434      |
| N2106                     | Y          | 1.439E-03  | 1.431E-03      | 0.525      | 1.54E-2  | -90.657    |
|                           | Z          | 5.827E-06  | 5.450E-06      | 6.918      | 7.381E-5 | -92.105    |
| PM6 : 9.0                 | X          | 2.119E-02  | 2.013E-02      | 5.239      | 2.059E-2 | 2.892      |
| 3 <sup>ème</sup> plancher | Y          | 1.609E-03  | 1.600E-03      | 0.524      | 1.79E-2  | -91.015    |
| N2355                     | Z          | 6.097E-06  | 5.704E-06      | 6.886      | 7.901E-5 | -92.283    |

Réaction en  $N$  et Moment en  $N.m$  à l'encastrement de la colonne  $B$  (nœud N758).

| Réaction/Momen<br>t | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| Fx                  | 3.501E+04  | 3.381E+04      | 3.524      | 3.368E+04 | 3.938      |
| Fy                  | 1.592E+03  | 1.572E+03      | 1.223      | 2.270E+03 | -29.885    |
| Fz                  | 3.889E+03  | 3.633E+03      | 7.050      | 5.007E+03 | -22.330    |
| Mx                  | 2.891E+03  | 2.872E+03      | 0.647      | 4.154E+03 | -30.410    |
| My                  | 8.626E+04  | 8.273E+04      | 4.267      | 8.236E+04 | 4.738      |
| Mz                  | 1.787E-03  | 1.772E-01      | -98.992    | 2.170E+01 | -99.99     |

Réaction en  $N$  et Moment en  $N.m$  à l'encastrement de la colonne centrale  $E$  (nœud N885).

| Réaction/Momen<br>t | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| Fx                  | 5.827E+04  | 5.374E+04      | 8.432      | 5.061E+04 | 15.148     |
| Fy                  | 2.014E+03  | 1.999E+03      | 0.724      | 2.855E+03 | -29.471    |
| Fz                  | 2.471E+02  | 4.067E+02      | -39.252    | 1.979E+03 | -87.515    |
| Mx                  | 3.310E+03  | 3.298E+03      | 0.343      | 4.738E+03 | -30.136    |
| My                  | 1.208E+05  | 1.122E+05      | 7.586      | 1.075E+05 | 12.386     |
| Mz                  | 1.783E-03  | 1.770E-01      | -98.993    | 2.601E+01 | -99.99     |

Efforts généralisés de la colonne *B*

Tableau élément « bas » (voir remarque paragraphe [§4.1])

| Altitude Z (m)                         | Composante          | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|----------------------------------------|---------------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| PM1 : 1.5                              | N (N)               | 3.889E+03  | 3.633E+03      | 7.048      | 5.007E+03 | -22.327    |
|                                        | Vy (N)              | 1.588E+03  | 1.570E+03      | 1.070      | 2.266E+03 | -29.938    |
|                                        | Vz (N)              | 3.497E+04  | 3.380E+04      | 3.461      | 3.325E+04 | 5.172      |
|                                        | MT (N.m)            | 1.786E-03  | 1.756E-01      | -98.983    | 2.169E+01 | -99.99     |
|                                        | Mfy (N.m)           | 3.378E+04  | 3.204E+04      | 5.445      | 3.264E+04 | 3.507      |
|                                        | Mfz (N.m)           | 5.050E+02  | 5.149E+02      | -1.933     | 7.659E+02 | -34.067    |
| PM2 : 3.0<br>1 <sup>er</sup> plancher  | N (N)               | 3.889E+03  | 3.632E+03      | 7.047      | 5.007E+03 | -22.330    |
|                                        | Vy (N)              | 1.566E+03  | 1.554E+03      | 0.785      | 2.235E+03 | -29.911    |
|                                        | M3160, N1245 Vz (N) | 3.476E+04  | 3.364E+04      | 3.304      | 3.290E+04 | 5.646      |
|                                        | MT (N.m)            | 1.786E-03  | 1.646E-01      | -98.915    | 2.167E+01 | -99.99     |
|                                        | Mfy (N.m)           | 1.861E+04  | 1.858E+04      | 0.181      | 1.752E+04 | 6.243      |
|                                        | Mfz (N.m)           | 1.863E+03  | 1.825E+03      | 2.075      | 2.623E+03 | -28.960    |
| PM3 : 4.5<br>M3162, N1530              | N (N)               | 2.039E+03  | 1.910E+03      | 6.770      | 2.641E+03 | -22.799    |
|                                        | Vy (N)              | 1.338E+03  | 1.321E+03      | 1.255      | 1.934E+03 | -30.834    |
|                                        | Vz (N)              | 3.109E+04  | 3.050E+04      | 1.931      | 2.997E+04 | 3.751      |
|                                        | MT (N.m)            | 1.543E-03  | 1.402E-01      | -98.900    | 2.573E+01 | -99.99     |
|                                        | Mfy (N.m)           | 1.441E+03  | 1.397E+03      | 3.154      | 1.447E+03 | -0.374     |
|                                        | Mfz (N.m)           | 1.253E+02  | 1.295E+02      | -3.277     | 1.900E+02 | -34.035    |
| PM4 : 6.0<br>2 <sup>ème</sup> plancher | N (N)               | 2.039E+03  | 1.910E+03      | 6.767      | 2.640E+03 | -22.780    |
|                                        | Vy (N)              | 1.282E+03  | 1.270E+03      | 0.924      | 1.859E+03 | -31.030    |
|                                        | M3164, N1815 Vz (N) | 3.040E+04  | 2.990E+04      | 1.675      | 2.935E+04 | 3.594      |
|                                        | MT (N.m)            | 1.542E-03  | 1.049E-01      | -98.53     | 2.573E+01 | -99.99     |
|                                        | Mfy (N.m)           | 4.656E+04  | 4.546E+04      | 2.413      | 4.436E+04 | 4.969      |
|                                        | Mfz (N.m)           | 2.089E+03  | 2.053E+03      | 1.759      | 2.999E+03 | -30.340    |
| PM5 : 7.5<br>M3166, N2106              | N (N)               | 5.775E+02  | 5.441E+02      | 6.129      | 7.773E+02 | -25.708    |
|                                        | Vy (N)              | 7.058E+02  | 7.068E+02      | -0.143     | 1.045E+03 | -32.457    |
|                                        | Vz (N)              | 1.964E+04  | 1.965E+04      | -0.056     | 1.937E+04 | 1.389      |
|                                        | MT (N.m)            | 9.165E-04  | 6.137E-02      | -98.51     | 2.669E+01 | -100.00    |
|                                        | Mfy (N.m)           | 1.254E+04  | 1.205E+04      | 4.116      | 1.210E+04 | 3.652      |
|                                        | Mfz (N.m)           | 2.431E+02  | 2.488E+02      | -2.314     | 3.815E+02 | -36.283    |

Tableau élément « haut » (voir remarque paragraphe [§4.1])

| Altitude $Z(m)$                 | Composante | Code_Aster | CASTEM<br>2000 | Écart en % | SAMCEF    | Écart en % |
|---------------------------------|------------|------------|----------------|------------|-----------|------------|
| <i>PM0 : 0.0</i>                | N (N)      | 3.889E+03  | 3.633E+03      | 7.050      | —         | —          |
| <i>M3157 , N758</i>             | Vy (N)     | 1.592E+03  | 1.573E+03      | 1.229      | —         | —          |
|                                 | Vz (N)     | 3.501E+04  | 3.382E+04      | 3.527      | —         | —          |
|                                 | MT (N.m)   | 1.787E-03  | 1.770E-01      | -98.991    | —         | —          |
|                                 | Mfy (N.m)  | 8.626E+04  | 8.273E+04      | 4.267      | —         | —          |
|                                 | Mfz (N.m)  | 2.891E+03  | 2.872E+03      | 0.647      | —         | —          |
| <i>PM1 : 1.5</i>                | N (N)      | 3.889E+03  | 3.633E+03      | 7.048      | 5.007E+03 | -22.327    |
| <i>M3159 , N982</i>             | Vy (N)     | 1.587E+03  | 1.564E+03      | 1.451      | 2.255E+03 | -29.596    |
|                                 | Vz (N)     | 3.497E+04  | 3.375E+04      | 3.620      | 3.306E+04 | 5.773      |
|                                 | MT (N.m)   | 1.786E-03  | 1.718E-01      | -98.96     | 2.168E+01 | -99.99     |
|                                 | Mfy (N.m)  | 3.378E+04  | 3.204E+04      | 5.452      | 3.263E+04 | 3.539      |
|                                 | Mfz (N.m)  | 5.050E+02  | 5.147E+02      | -1.891     | 7.655E+02 | -34.033    |
| <i>PM2 : 3.0</i>                | N (N)      | 2.039E+03  | 1.910E+03      | 7.358      | 2.641E+03 | -22.791    |
| <i>M3161 , N1245</i>            | Vy (N)     | 1.374E+03  | 1.339E+03      | 2.625      | 1.374E+03 | -29.711    |
|                                 | Vz (N)     | 3.153E+04  | 3.071E+04      | 2.659      | 3.017E+04 | 4.493      |
|                                 | MT (N.m)   | 1.543E-03  | 1.540E-01      | -98.99     | 2.572E+01 | -99.99     |
|                                 | Mfy (N.m)  | 4.663E+04  | 4.559E+04      | 2.271      | 4.51E+04  | 3.363      |
|                                 | Mfz (N.m)  | 1.914E+03  | 1.869E+02      | 2.396      | 2.742E+03 | -30.190    |
| <i>PM3 : 4.5</i>                | N (N)      | 2.039E+03  | 1.909E+03      | 6.775      | 2.641E+03 | -22.799    |
| <i>M3163 , N1530</i>            | Vy (N)     | 1.338E+03  | 1.298E+03      | 3.049      | 1.902E+03 | -29.670    |
|                                 | Vz (N)     | 3.110E+04  | 3.023E+04      | 2.843      | 2.969E+04 | 4.734      |
|                                 | MT (N.m)   | 1.543E-03  | 1.237E-01      | -97.75     | 2.573E+01 | -99.99     |
|                                 | Mfy (N.m)  | 1.442E+03  | 1.398E+03      | 3.095      | 4.440E+04 | 0.110      |
|                                 | Mfz (N.m)  | 1.253E+02  | 1.298E+02      | -3.464     | 1.904E+02 | -34.174    |
| <i>PM4 : 6.0</i>                | N (N)      | 5.778E+03  | 5.442E+02      | 6.158      | 7.775E+02 | -25.689    |
| <i>2<sup>ème</sup> plancher</i> | Vy (N)     | 7.731E+03  | 7.402E+02      | 4.444      | 1.087E+03 | -28.875    |
| <i>M3165 , N1815</i>            | Vz (N)     | 2.054E+04  | 2.008E+04      | 2.267      | 1.977E+04 | 3.887      |
|                                 | MT (N.m)   | 9.172E-04  | 8.407E-02      | -98.909    | 2.670E+01 | -100.00    |
|                                 | Mfy (N.m)  | 1.776E+04  | 1.789E+04      | -0.745     | 1.797E+04 | -1.176     |
|                                 | Mfz (N.m)  | 8.696E+02  | 8.388E+02      | 3.663      | 1.284E+03 | -32.273    |
| <i>PM5 : 7.5</i>                | N (N)      | 5.775E+02  | 5.440E+02      | 6.153      | 7.771E+02 | -25.689    |
| <i>M3167 , N2106</i>            | Vy (N)     | 7.058E+02  | 6.704E+02      | 5.279      | 9.968E+02 | -29.191    |
|                                 | Vz (N)     | 1.964E+04  | 1.916E+04      | 2.466      | 1.891E+04 | 3.848      |
|                                 | MT (N.m)   | 9.165E-04  | 3.736E-02      | -97.547    | 2.669E+01 | -100.00    |
|                                 | Mfy (N.m)  | 1.254E+04  | 1.204E+04      | 4.099      | 1.211E+04 | 3.566      |
|                                 | Mfz (N.m)  | 2.431E+02  | 2.490E+02      | -2.369     | 3.816E+02 | -36.299    |

## 4 Résultats de la modélisation B

### 4.1 Remarques

Cette modélisation est réalisée pour tester l'option `PLAQ_POUT_ORTH` du mot clef `LIAISON_ELEM` de la commande `AFFE_CHAR_MECA`.

### 4.2 Caractéristiques de la modélisation

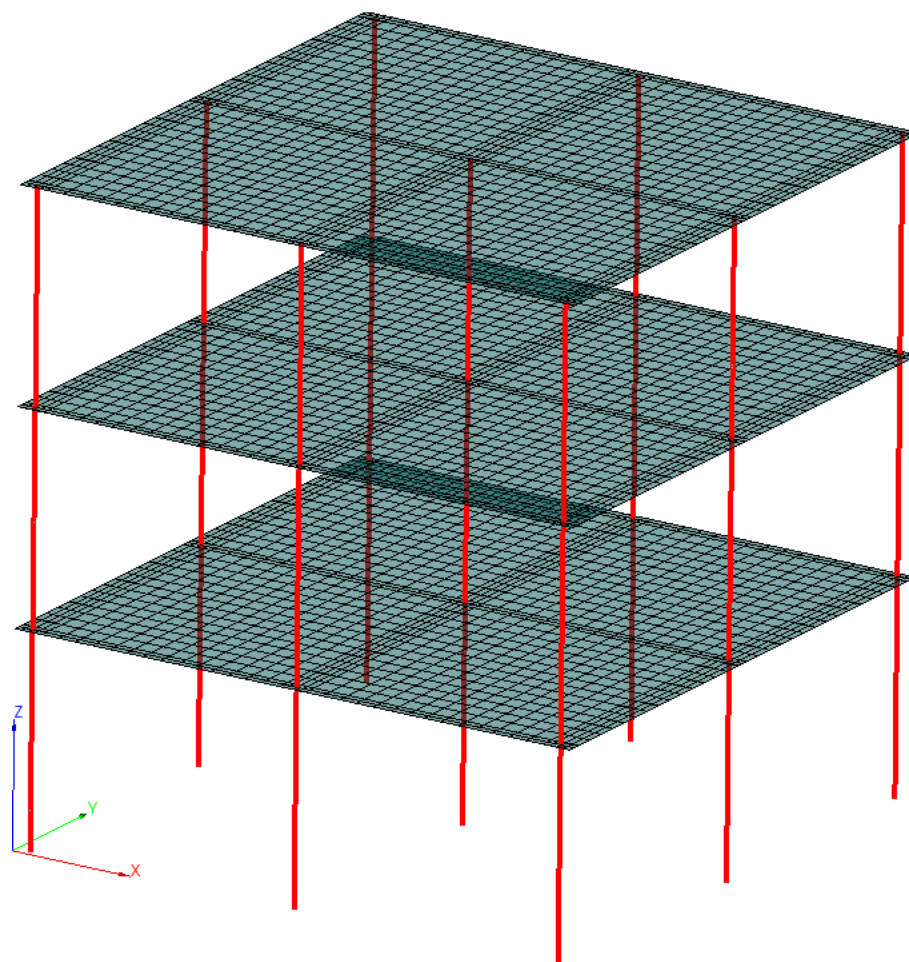


Figure 4-a : Maillage du bâtiment.

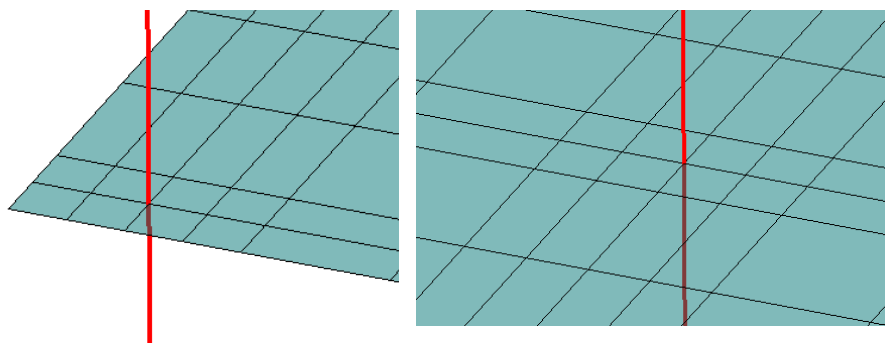


Figure 4-b : Détail du maillage autour des poteaux de rive et central.

Le maillage est un peu différent de celui de la modélisation A. Les entre-axes des poteaux sont respectés, mais une bordure d'une ½ largeur de poteau est ajouté à la dalle. D'autre choix de modélisation sont possibles.

## 4.3 Calcul des fréquences propres

Les fréquences sont données en  $Hz$ .

| Mode | Fréquence $Hz$ |
|------|----------------|
| 1    | 1.83439E+00    |
| 2    | 2.73610E+00    |
| 3    | 3.10015E+00    |
| 4    | 5.51120E+00    |
| 5    | 8.73582E+00    |
| 6    | 8.94514E+00    |
| 7    | 1.00630E+01    |
| 8    | 1.58920E+01    |

Cette modélisation est un test de non régression, il ne faut donc pas comparer les fréquences à celles obtenues par les autres codes.

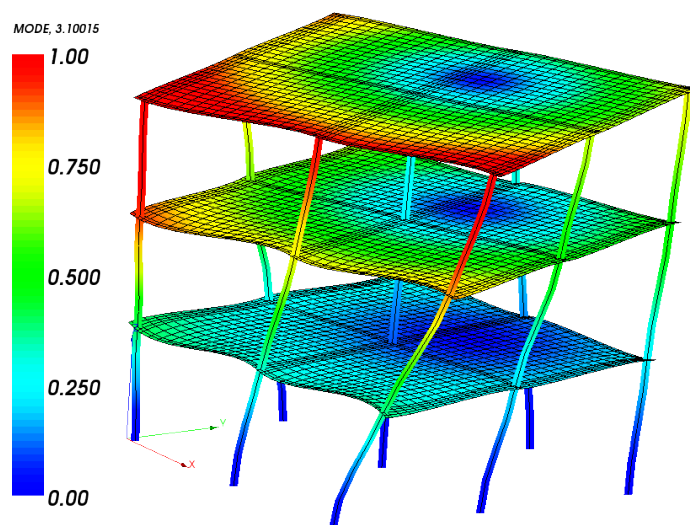


Figure 4-c : 3<sup>ème</sup> mode propre, modélisation B.

## 5 Synthèse des résultats

### Comparaison avec CASTEM 2000 :

Les écarts sur les fréquences propres calculées avec CASTEM 2000 et Aster sont inférieurs à 1,4 %. Le mode double a été séparé en deux modes proches (6 et 7) dont l'un est un mode prépondérant selon l'axe  $y$  (mode 6) et l'autre selon  $x$  (mode 7) ; l'écart sur les masses modales effectives (en %) très élevé selon  $x$  pour le mode 6 et selon  $y$  pour le mode 7, n'est pas pertinent étant donné le faible poids de ces directions dans les modes considérés.

Les écarts obtenus sur le calcul avec la méthode spectrale, pour les déplacements restent globalement inférieurs à 8 %, les écarts sur les réactions à l'encastrement des colonnes B et E sont globalement inférieurs à 11 % (sans tenir compte du moment de réaction selon  $z$ ), et les écarts sur les efforts généralisés restent globalement inférieurs à 7 % (sans tenir compte du moment de torsion).

Des tolérances fortes sont admises pour certains champs calculés dont les valeurs sont de plusieurs ordres de grandeur plus faibles.

### Comparaison avec SAMCEF :

La méthode de résolution adoptée dans SAMCEF est basée sur la méthode dite du nœud de terre. Cette méthode consiste à lier à un nœud unique tous les nœuds qui sont solidaires de la fondation. Ce nœud est affecté d'une masse en translation qui vaut 1000 fois la masse de la structure. Les déplacements reportés dans les tableaux ne sont pas corrigés des effets de masses résiduelles qui sont des résultats également disponibles.

Les écarts sur les fréquences propres calculées avec SAMCEF et Aster sont inférieurs à 3,2 %. Le type d'élément de coque utilisé (déformable ou non à l'effort tranchant) influence le résultat, il en va de même de la finesse du maillage des planchers. Des écarts sur les fréquences propres allant jusqu'à 10 % ont été observés en prenant initialement un maillage plus grossier pour les planchers, constitué de 345 nœuds et de 516 éléments dont 108 éléments de poutre droite de Timoshenko et 408 éléments coque DKT. Les modes 6 et 7 représentent un mode double dont le pourcentage de masse modale effective ne dépasse pas 4 % dans la direction  $x$  et 2 % dans la direction  $y$ .

Les écarts obtenus sur le calcul avec la méthode spectrale, pour les déplacements dans la direction de l'excitation restent globalement inférieurs à 10,5 %. Pour les réactions à l'encastrement de la colonne  $B$ , ces écarts sont globalement inférieurs à 30 %. Ils atteignent 80 % pour la colonne  $E$ , toutefois pour la réaction selon l'axe  $x$  et le moment selon l'axe  $y$ , ils restent inférieurs à 18 %. La réaction de torsion des colonnes n'est pas nulle. Les écarts à propos des efforts généralisés dans la direction de l'excitation restent globalement inférieurs à 26 %. En revanche, un couplage différent entre les directions de l'excitation introduit des écarts importants sur les efforts dans les directions transverses à l'excitation.

Des tolérances fortes sont admises pour certains champs calculés dont les valeurs sont de plusieurs ordres de grandeur plus faibles.

### Remarques :

- la forme de la fonction décrivant le spectre en déplacement dépend fortement des fréquences propres  $f_i$  pour lesquelles les pics de déplacement sont donnés. En conséquence, un décalage des fréquences propres calculées perturbe la réponse sismique en entrée des données et ne permet pas une comparaison efficace des calculs,
- les résultats d'efforts généralisés sont exprimés dans le repère local des poutres et corrigés des effets statiques.