



Réhabilitation avec isolateurs sismiques

Phase A Etude de faisabilité *Calcul dynamique*



Indice B : 20 / 04 / 2020



Réhabilitation avec isolateurs sismiques

Phase A Etude de faisabilité *Calcul dynamique*

Sommaire

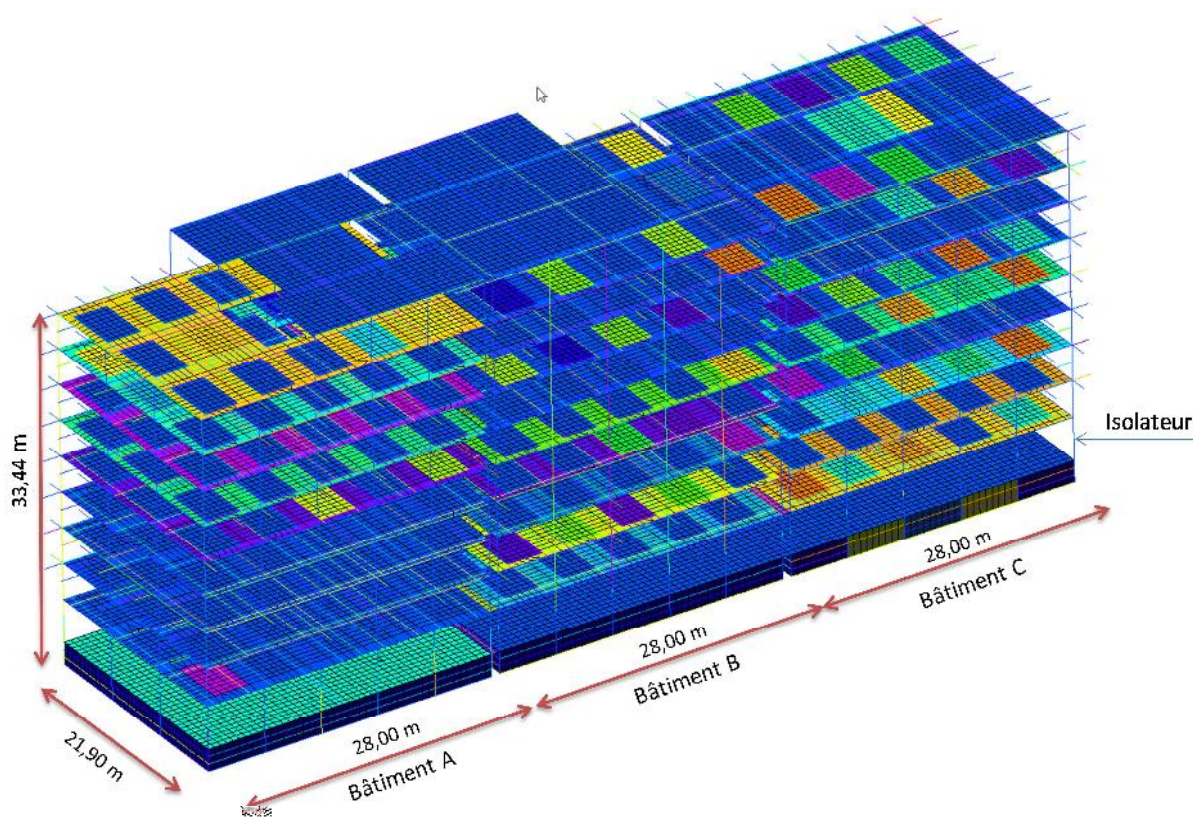
1. Introduction.....	3
2. Chargements et combinaisons.....	4
3. Modèle des blocs A-B-C	7
4. Modèle des blocs A-B-C	8
5. Modes propres.....	12
6. Résultats de calcul.....	15
6.1 Cas de charges gravitaires.....	17
6.2 Résultats de toutes les combinaisons	18
6.2.1 Efforts dans les poteaux sous les isolateurs.....	18
6.2.2 Efforts de coupure dans les planchers	221
7. Action du vent cyclonique.....	22
8. Bilan des études dynamiques.....	27

1. Introduction

Cette note décrit l'étude de faisabilité d'un renforcement parasismique de la structure de CGSS, par ajout d'appareils d'isolation parasismique. La solution proposée peut être optimisée lors des études d'exécution en même temps que la réactualisation de l'étude de 2008 du spectre spécifique du site accompagné des accélérogrammes correspondants.

Le modèle étudié est celui correspondant aux trois blocs A, B, C du CGSS. Les structures sont considérées dans la configuration suivante :

- Les 3 blocs sont séparés de leur fondation avec la mise en place d'isolateurs parasismiques
- Les 3 blocs sont reliés entre eux, au niveau des planchers haut et bas du niveau RdC



2. Chargements et combinaisons

Les chargements considérés sont :

- Gravitaire : G et Q (charges d'exploitation $Q_0 = 350 \text{ kN/m}^2$, $Q_1 = 1\,000 \text{ kN/m}^2$)
- Séisme : spectre spécifique de site proposé par GEOTER (note de 2008), correspondant à la période de retour de 225, en considérant les deux séismes, horizontal et vertical

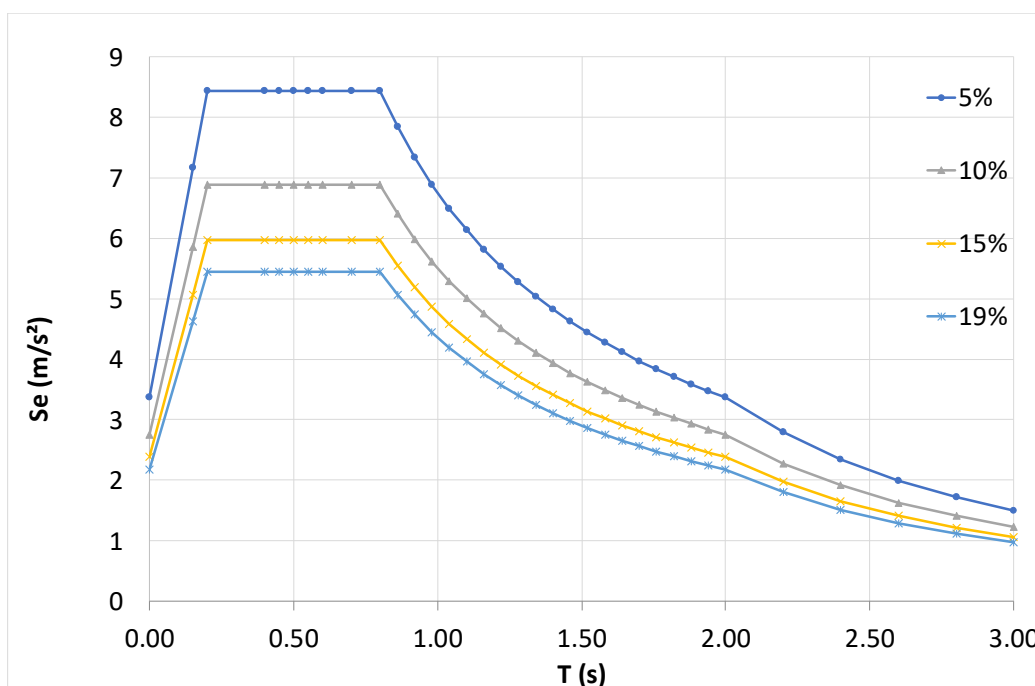


Figure 1 ; Spectre de séisme horizontal pour différentes valeurs d'amortissement

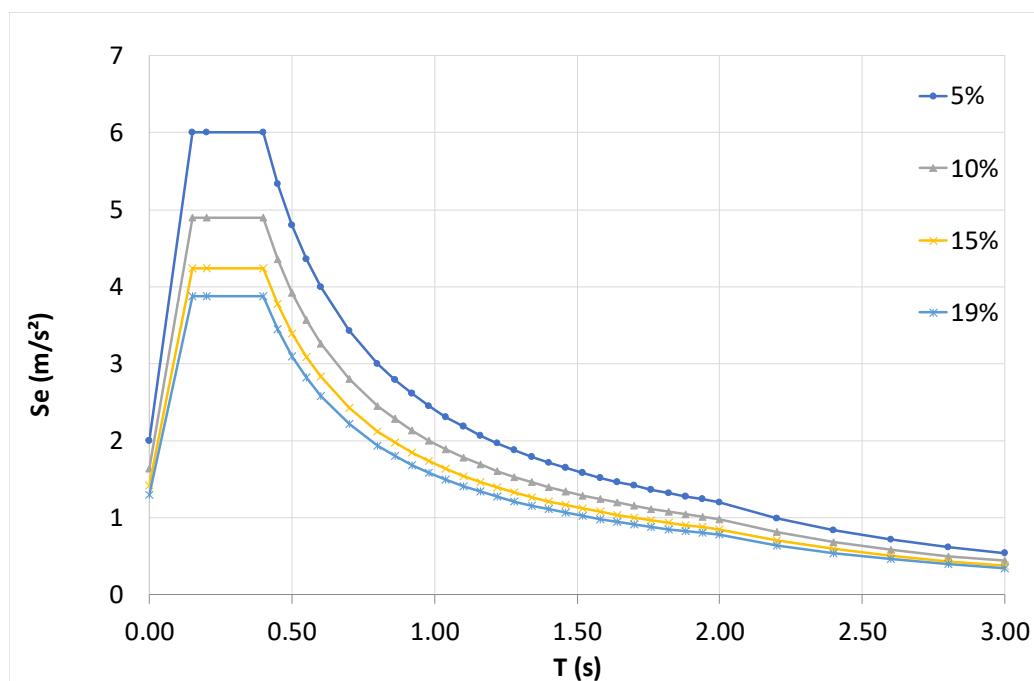


Figure 2 ; Spectre de séisme vertical pour différentes valeurs d'amortissement

Les combinaisons considérées sont :

LABEL	TYPE	G	Q0	Q1	EX	EY	EZ
1	ELS	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
2	ELU	1.35	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00
3	ELA	1.00	0.77	0.90	1.00	0.30	0.30
4	ELA	1.00	0.77	0.90	1.00	0.30	-0.30
5	ELA	1.00	0.77	0.90	-1.00	0.30	0.30
6	ELA	1.00	0.77	0.90	-1.00	0.30	-0.30
7	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	1.00	0.30
8	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	1.00	-0.30
9	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	1.00	0.30
10	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	1.00	-0.30
11	ELA	1.00	0.77	0.90	1.00	-0.30	0.30
12	ELA	1.00	0.77	0.90	1.00	-0.30	-0.30
13	ELA	1.00	0.77	0.90	-1.00	-0.30	0.30
14	ELA	1.00	0.77	0.90	-1.00	-0.30	-0.30
15	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	-1.00	0.30
16	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	-1.00	-0.30
17	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	-1.00	0.30
18	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	-1.00	-0.30
19	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	0.30	1.00
20	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	0.30	-1.00
21	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	0.30	1.00
22	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	0.30	-1.00
23	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	-0.30	1.00
24	ELA	1.00	0.77	0.90	0.30	-0.30	-1.00
25	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	-0.30	1.00
26	ELA	1.00	0.77	0.90	-0.30	-0.30	-1.00

Tableau 1. Combinaisons d'actions

3. Modèle des blocs A-B-C

Le modèle est composé d'éléments poutres pour représenter les poutres et poteaux en béton armé, et des éléments coque pour les planchers.

Le comportement des matériaux est considéré élastique linéaire.

A la base, la fondation est représentée par des conditions aux limites de type encastrement (déplacements et rotations bloqués).

Les isolateurs sont des éléments discrets (ponctuels) dont les rigidités et amortissements sont calés selon les propriétés des appareils mis en œuvre :

$d_{bd} = 222 \text{ mm}$

Amortissement équivalent : 19 %

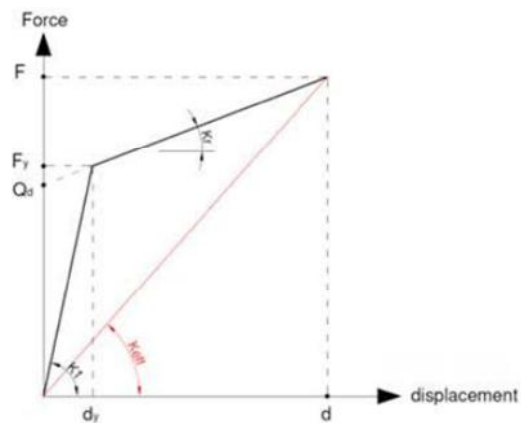
$F_{\text{horizontal}} = 302 \text{ kN}$ à la limite de rupture

LRB-N Ø550*126

$Q_d = 95 \text{ kN}$ à la limite élastique

$K_r = 0.93 \text{ kN/mm}$

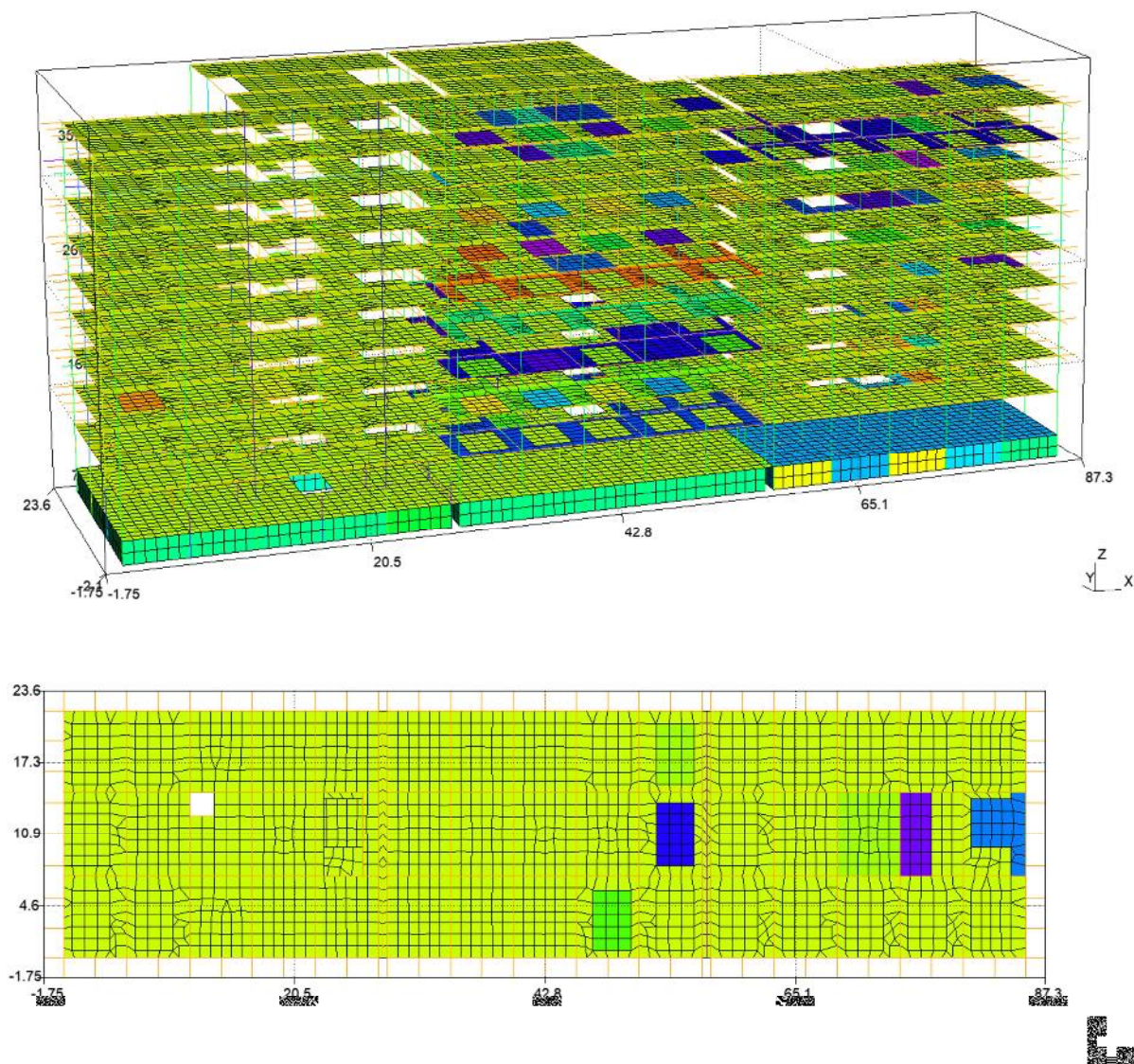
Capacité de déplacement : 270 mm

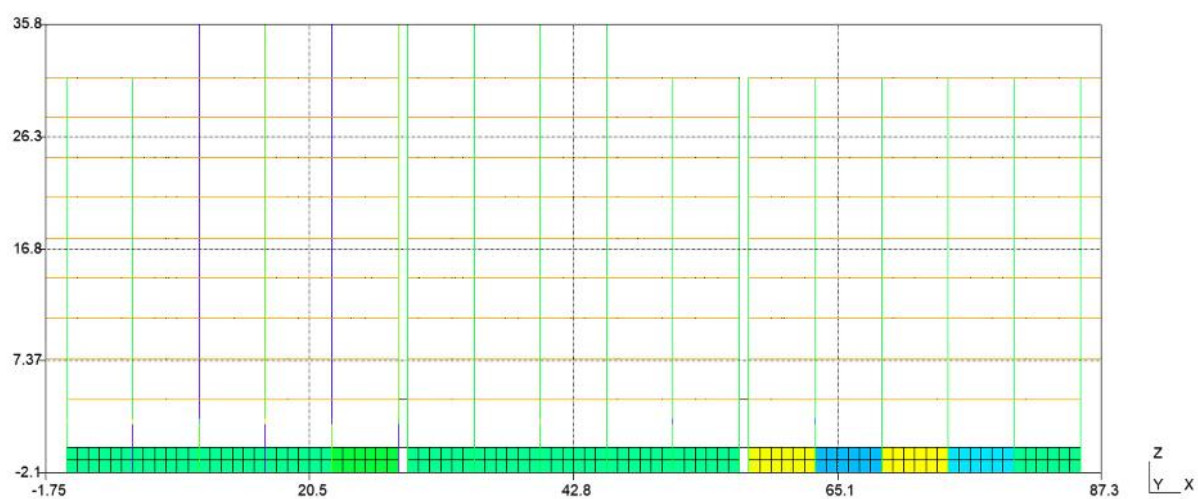
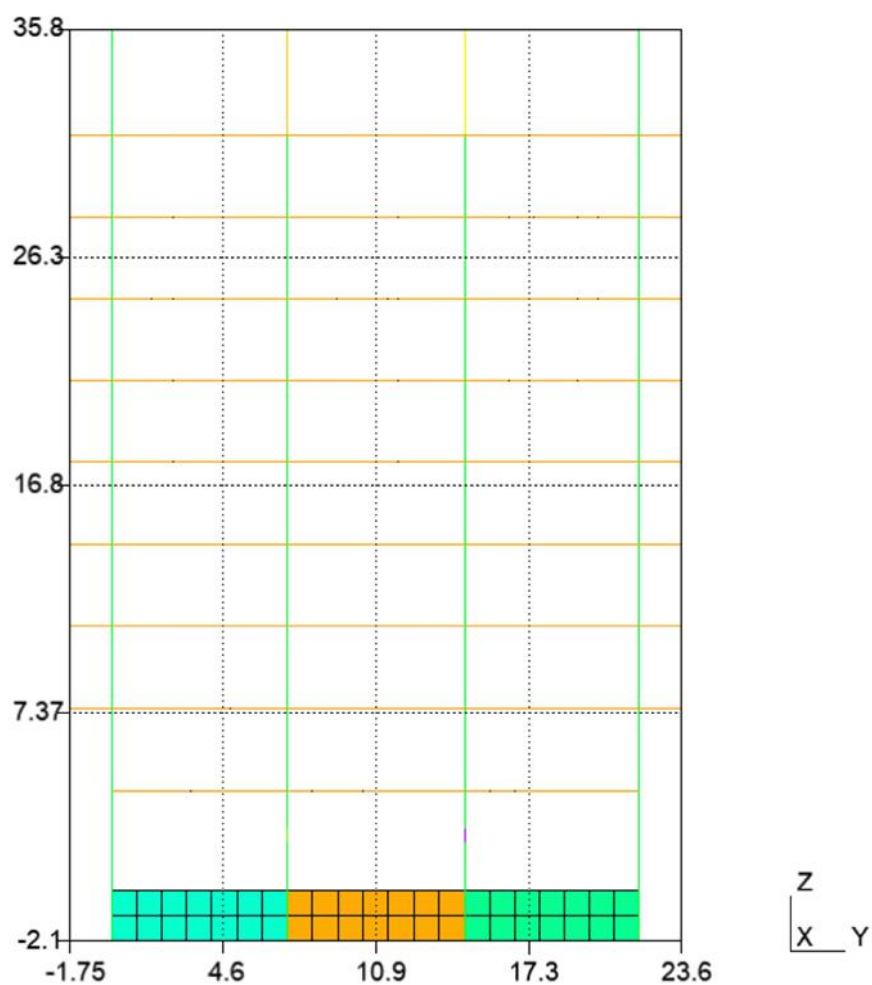


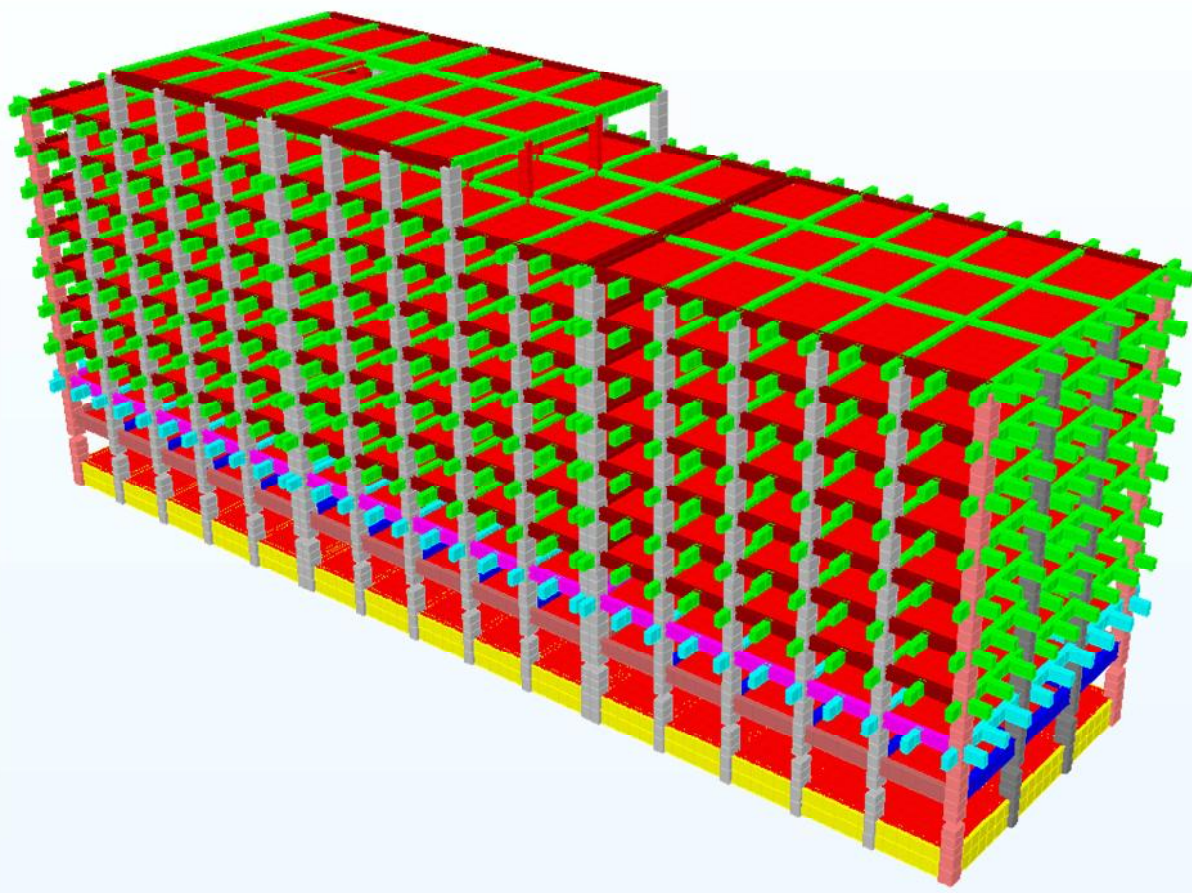
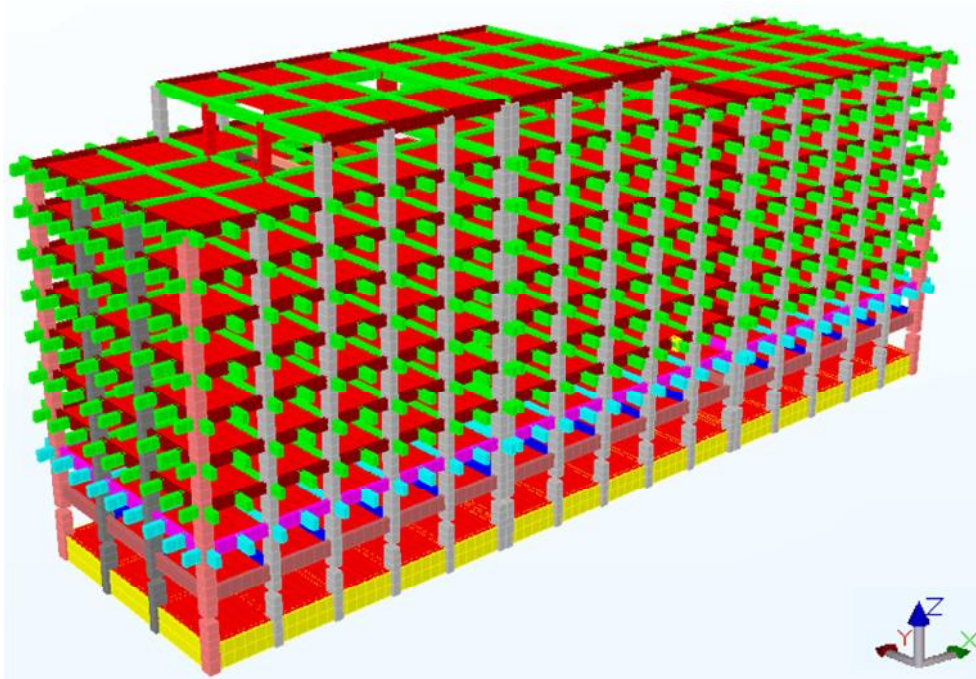
Paramètres du modèle numérique :

- | | |
|----------------------------|---|
| - Rigidité horizontale | $k_X = k_Y = K_{\text{eff}} = 302_{\text{kN}} / 222_{\text{mm}} = 1.36 \text{ MN/m}$ par appareil |
| - Rigidité verticale | $k_V = k_Z = 13\,600 \text{ MN/m}$ (infiniment rigide) par appareil |
| - Amortissement horizontal | $A_X = A_Y = 19 \%$ |
| - Amortissement vertical | $A_V = k_Z = 5 \%$ |

4. Modèle des blocs A-B-C







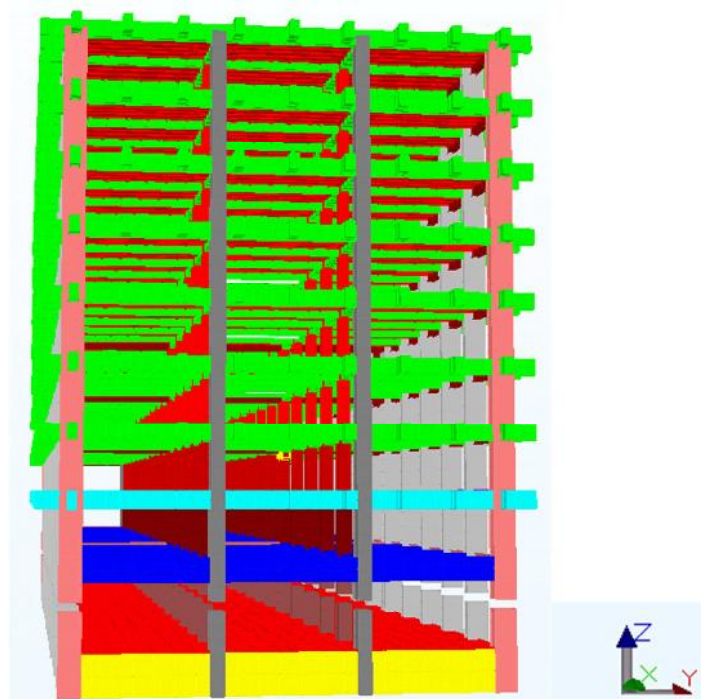


Figure 3. Rendu volumique des éléments de structures

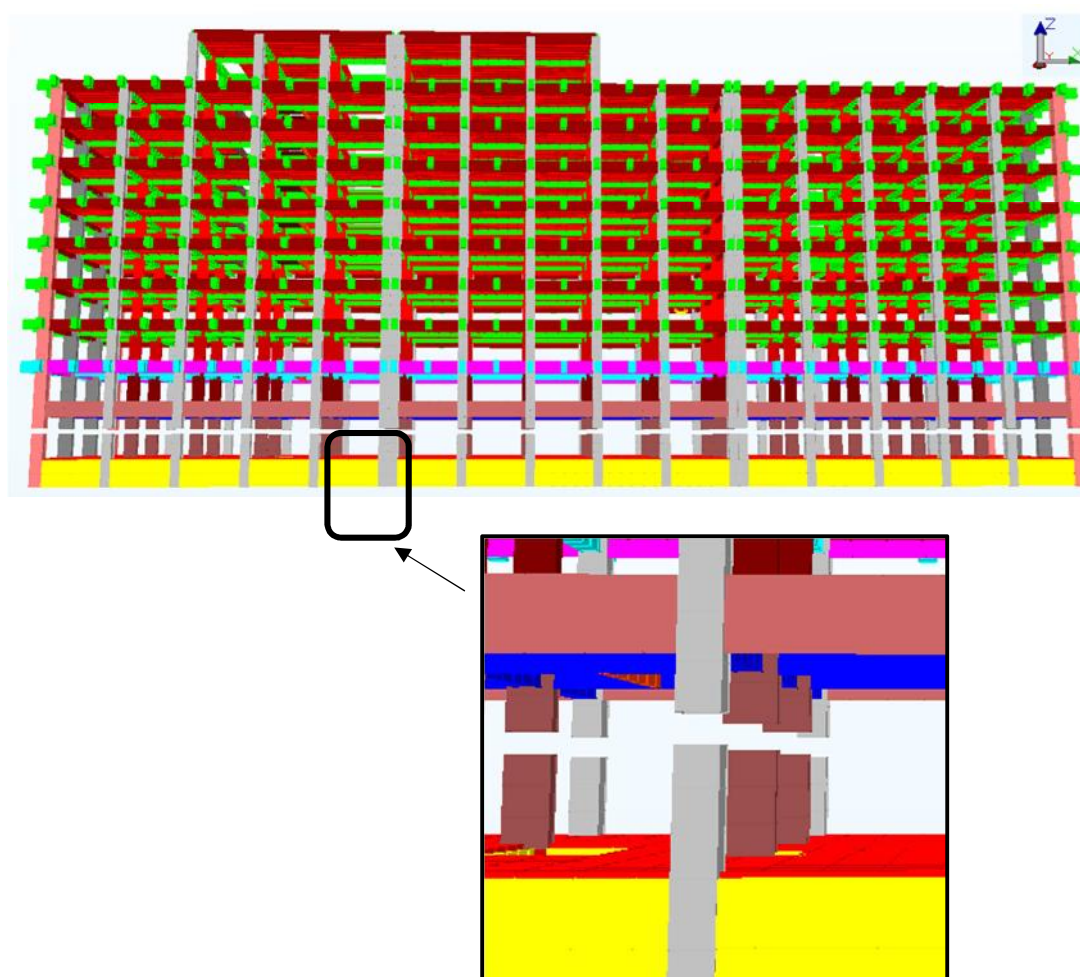


Figure 4. Emplacement des appareils d'isolation parasismique

5. Modes propres

Pour chaque direction, est fourni ci-après, le tableau des modes propres et leur repérage sur le spectre sismique.

Analyse modale cas : EX Dir X



sixense
NecS

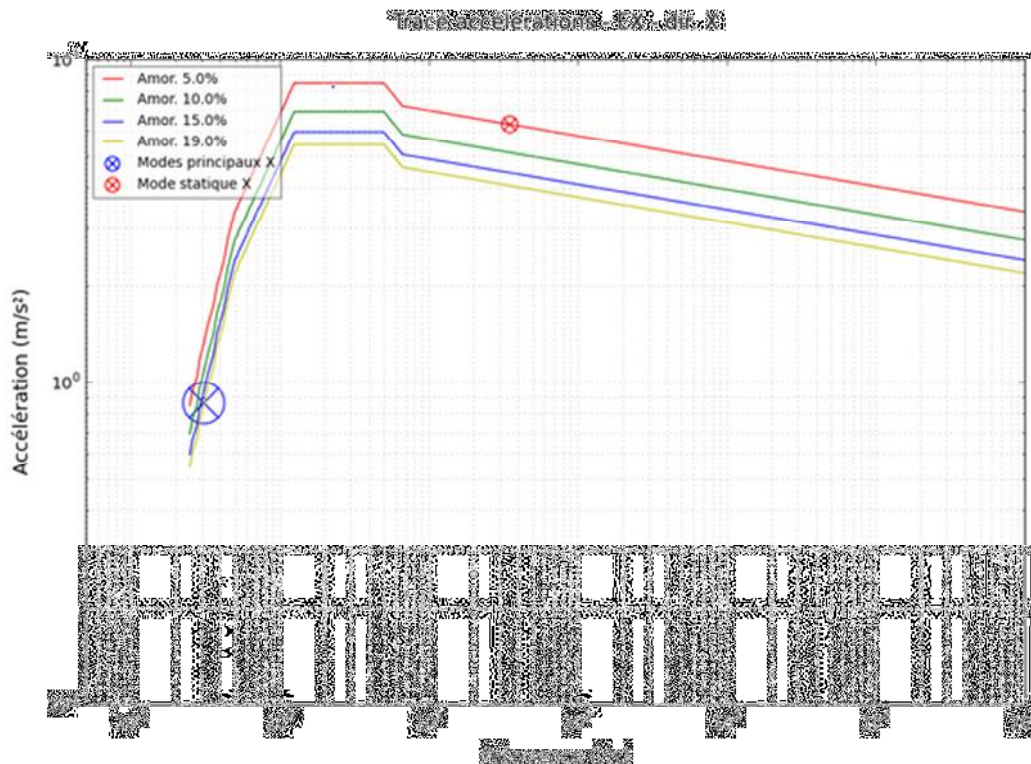
N°	Fréq. (Hz)	Période (s)	Amort. (%)	Spectre (m/s²)	Masse modale effective			Masse modale effective			Cumul masse modale		
					Dir. X (%)	Dir. Y (%)	Dir. Z (%)	Dir. X (tonnes)	Dir. Y (tonnes)	Dir. Z (tonnes)	Dir. X (%)	Dir. Y (%)	Dir. Z (%)
1	0.30	3.29	17.95	0.84	0.0	72.3	0.0	1.29	20538.96	0.00	0.0	72.3	0.0
2	0.31	3.24	18.24	0.86	86.4	0.0	0.0	24556.48	4.90	0.00	86.4	72.3	0.0
3	0.31	3.19	18.05	0.89	0.0	14.1	0.0	8.49	4002.91	0.00	86.4	86.4	0.0
30	7.53	0.13	5.02	7.10	0.0	0.0	1.0	0.04	0.00	286.13	86.5	86.5	1.1
31	7.61	0.13	5.00	7.10	0.0	0.0	18.0	0.01	0.00	5114.23	86.5	86.5	19.0
32	7.93	0.13	5.00	7.07	0.0	0.0	14.6	0.00	0.00	4157.04	86.5	86.5	33.7
33	8.12	0.12	5.02	7.06	0.0	0.0	4.6	0.00	0.02	1319.32	86.5	86.5	38.3
34	8.21	0.12	5.01	7.05	0.0	0.0	11.2	0.00	0.01	3187.82	86.5	86.5	49.5
48	9.71	0.10	5.00	6.96	0.0	0.0	1.5	0.00	0.00	421.17	86.5	86.5	54.4
53	10.29	0.10	5.00	6.93	0.0	0.0	2.3	0.00	0.00	654.97	86.5	86.5	57.6
56	10.73	0.09	5.00	6.91	0.0	0.0	3.4	0.00	0.00	954.85	86.5	86.5	61.8
58	10.91	0.09	5.00	6.90	0.0	0.0	2.7	0.00	0.00	770.22	86.5	86.5	64.6
62	11.10	0.09	5.00	6.89	0.0	0.0	1.3	0.00	0.00	382.11	86.5	86.5	66.0
576	20.53	0.05	5.00	6.57	0.0	0.0	1.2	0.00	0.00	341.09	86.5	86.5	83.4

Cumul des MME des modes calculés (1637)

Correction statique

Cumul des MME + correction statique

* MME : Masses modales effectives



Modes et spectre suivant les directions X et Y (horizontal)

Analyse modale cas : EZ Dir Z

sixense
Necs

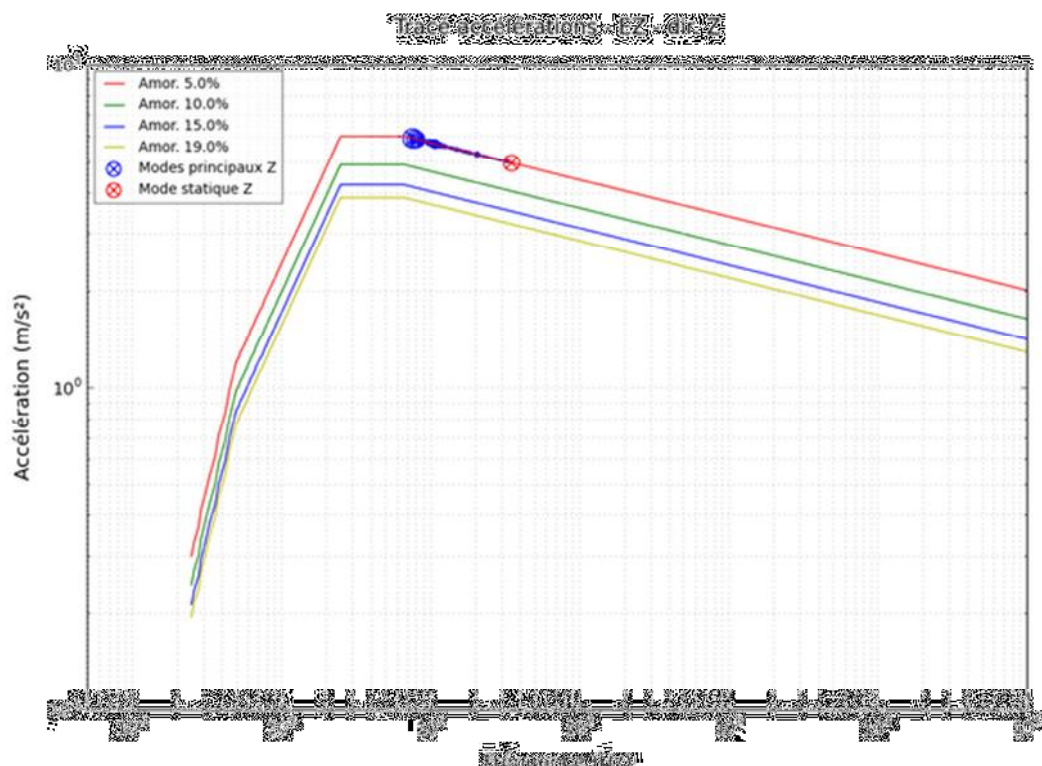
N°	Fréq. (Hz)	Période (s)	Amort. (%)	Spectre (m/s ²)	MME		Cumul MME
					Dir. Z (%)	Dir. Z (tonnes)	Dir. Z (%)
30	7.53	0.13	5.02	5.91	1.0	286.13	1.1
31	7.61	0.13	5.00	5.91	18.0	5114.23	19.0
32	7.93	0.13	5.00	5.88	14.6	4157.04	33.7
33	8.12	0.12	5.02	5.86	4.6	1319.32	38.3
34	8.21	0.12	5.01	5.86	11.2	3187.82	49.5
48	9.71	0.10	5.00	5.75	1.5	421.17	54.4
53	10.29	0.10	5.00	5.71	2.3	654.97	57.6
56	10.73	0.09	5.00	5.68	3.4	954.85	61.8
58	10.91	0.09	5.00	5.67	2.7	770.22	64.6
62	11.10	0.09	5.00	5.66	1.3	382.11	66.0
576	20.53	0.05	5.00	5.28	1.2	341.09	83.4

Cumul des MME des modes calculés (1637) 87.27 24805.55

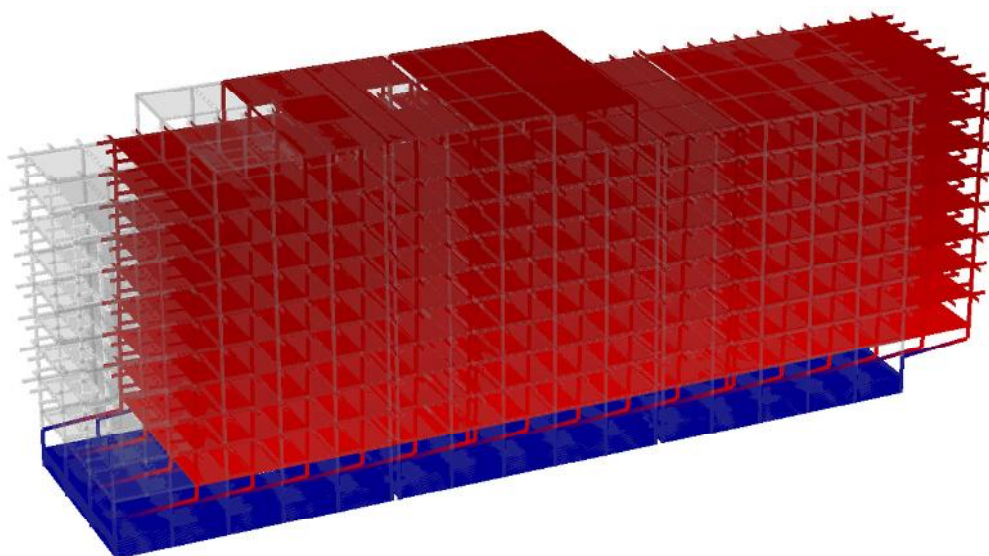
Correction statique 12.73 3618.48

Cumul des MME + correction statique 100.00 28424.03

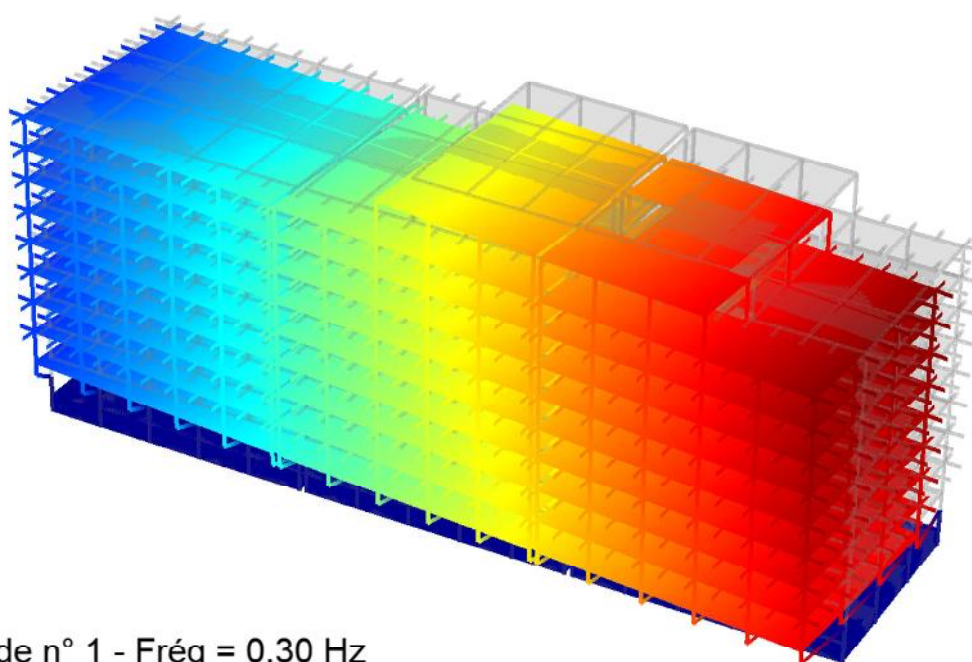
* MME : Masses modales effectives



Modes et spectre suivant la direction Z (verticale)



Mode fondamental suivant la direction X



Mode n° 1 - Fréq = 0.30 Hz

15

Mode fondamental suivant la direction Y



6. Résultats de calcul

Ces résultats concernent, soit les cas de charges élémentaires (Q, G) soit les combinaisons sismiques (G + 0,77 Q + E).

E = combinaison de Newmark

$$\begin{array}{rclclcl}
 E_X & + & 0.3E_Y & + & 0.3E_Z \\
 0.3E_X & + & E_Y & + & 0.3E_Z \\
 E_X & + & E_Y & + & 0.3E_Z
 \end{array}$$

Les résultats présentés ci-après sont :

- 1- les efforts de coupe relevés en sous-face des appareils d'appui.

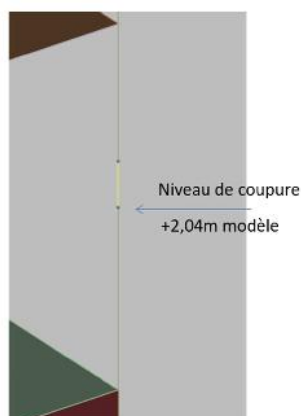


Figure 5. Lieu de coupe des efforts dans les poteaux supportant les appareils d'appui

Le schéma suivant indique les références des files des poteaux pour lesquels les résultats sont obtenus :

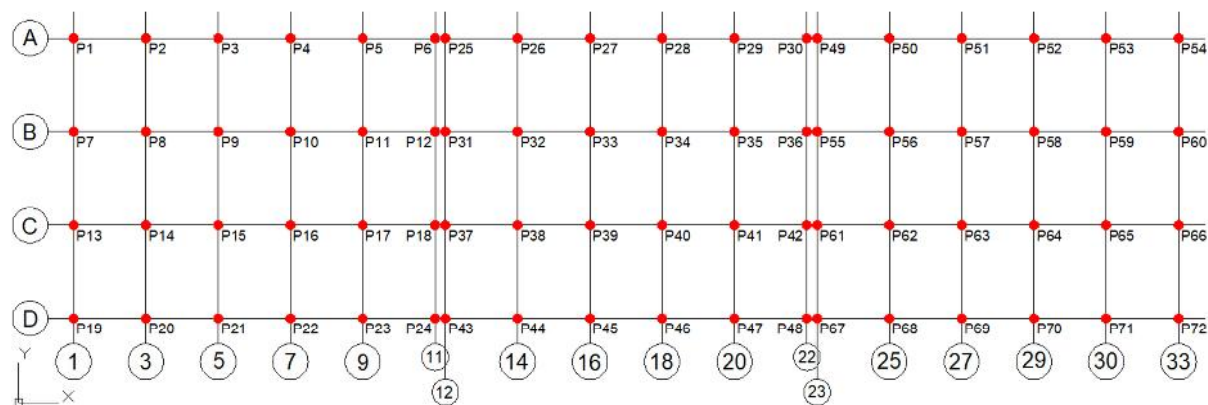


Figure 6. Repérage des files des poteaux

2- les efforts de coupure dans les planchers reliant les blocs entre eux

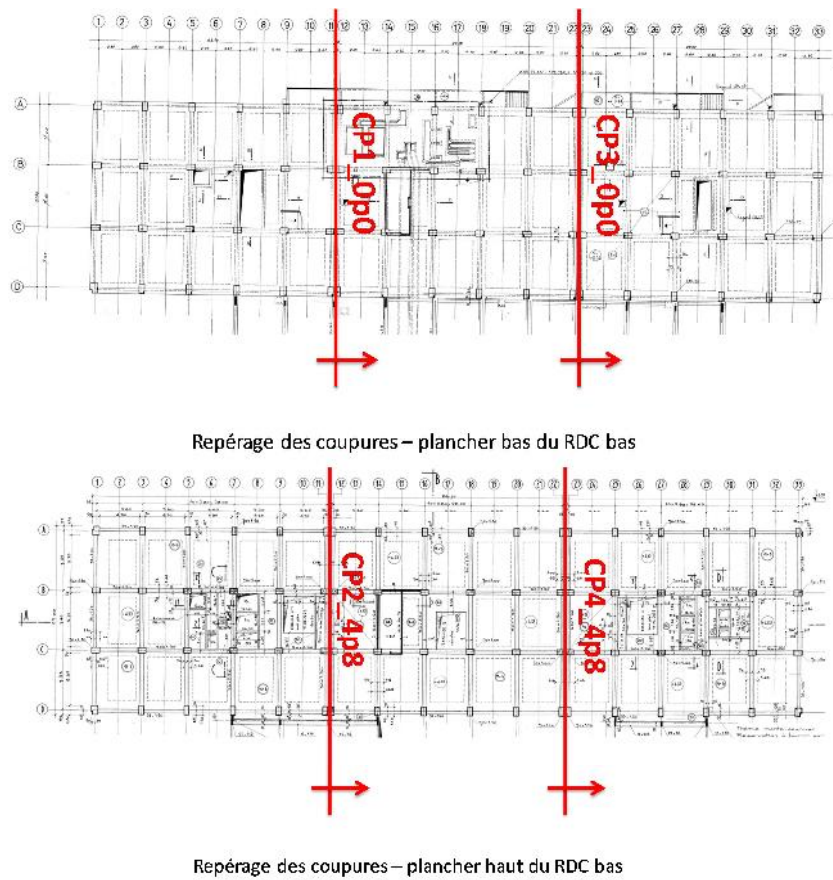


Figure 7. Lieu de coupure des efforts dans les planchers haut et bas du RdC

6.1 Cas de charges gravitaires

F_z (G = poids propre + autres charges permanentes) = 234,8 MN

F_z (Q= charges d'exploitation) = 58 MN

F_z (G + 0.3 Q) = 252 MN

Bâtiment A	Poteaux	FZ (MN) - G+PP	FZ (MN) - Q
	P1	2,53	0,33
	P2	3,07	0,66
	P3	3,32	0,68
	P4	3,42	0,67
	P5	3,39	0,66
	P6	2,32	0,35
	P7	3,34	0,73
	P8	3,90	1,43
	P9	3,95	1,31
	P10	3,87	0,92
	P11	3,80	0,95
	P12	2,37	0,44
	P13	3,34	0,73
	P14	3,91	1,44
	P15	4,10	1,38
	P16	3,87	0,93
	P17	3,97	1,03
	P18	2,49	0,50
	P19	2,53	0,33
	P20	3,06	0,66
	P21	3,32	0,68
	P22	3,42	0,67
	P23	3,39	0,66
	P24	2,31	0,34
	Total bâtiment A	78,97	18,46
Bâtiment B	Poteaux	FZ (MN) - G+PP	FZ (MN) - Q
	P25	2,33	0,35
	P26	3,40	0,66
	P27	3,43	0,68
	P28	3,33	0,68
	P29	3,08	0,67
	P30	2,12	0,34
	P31	2,83	0,65
	P32	4,29	1,21
	P33	4,34	1,25
	P34	4,18	1,46
	P35	3,97	1,47
	P36	2,73	0,71
	P37	2,85	0,66
	P38	4,29	1,21
	P39	4,27	1,21
	P40	4,08	1,40
	P41	3,97	1,47
	P42	2,73	0,71
	P43	2,33	0,35
	P44	3,40	0,66
	P45	3,44	0,68
	P46	3,33	0,68
	P47	3,08	0,67
	P48	2,12	0,34
	Total bâtiment B	79,91	20,16
Bâtiment C	Poteaux	FZ (MN) - G+PP	FZ (MN) - Q
	P49	2,13	0,34
	P50	3,07	0,67
	P51	3,26	0,71
	P52	2,54	0,54
	P53	3,22	0,70
	P54	2,49	0,34
	P55	2,72	0,69
	P56	3,74	1,26
	P57	3,55	1,08
	P58	4,03	1,27
	P59	3,87	1,20
	P60	3,20	0,70
	P61	2,73	0,70
	P62	3,85	1,37
	P63	3,75	1,28
	P64	3,94	1,25
	P65	3,85	1,20
	P66	3,20	0,70
	P67	2,12	0,33
	P68	3,06	0,66
	P69	3,07	0,67
	P70	3,07	0,67
	P71	3,03	0,65
	P72	2,47	0,34
	Total bâtiment C	75,96	19,34

Tableau 2. Effort de coupure en sous-face des appareils d'appui

6.2 Résultats de toutes les combinaisons

6.2.1 Efforts dans les poteaux sous les isolateurs

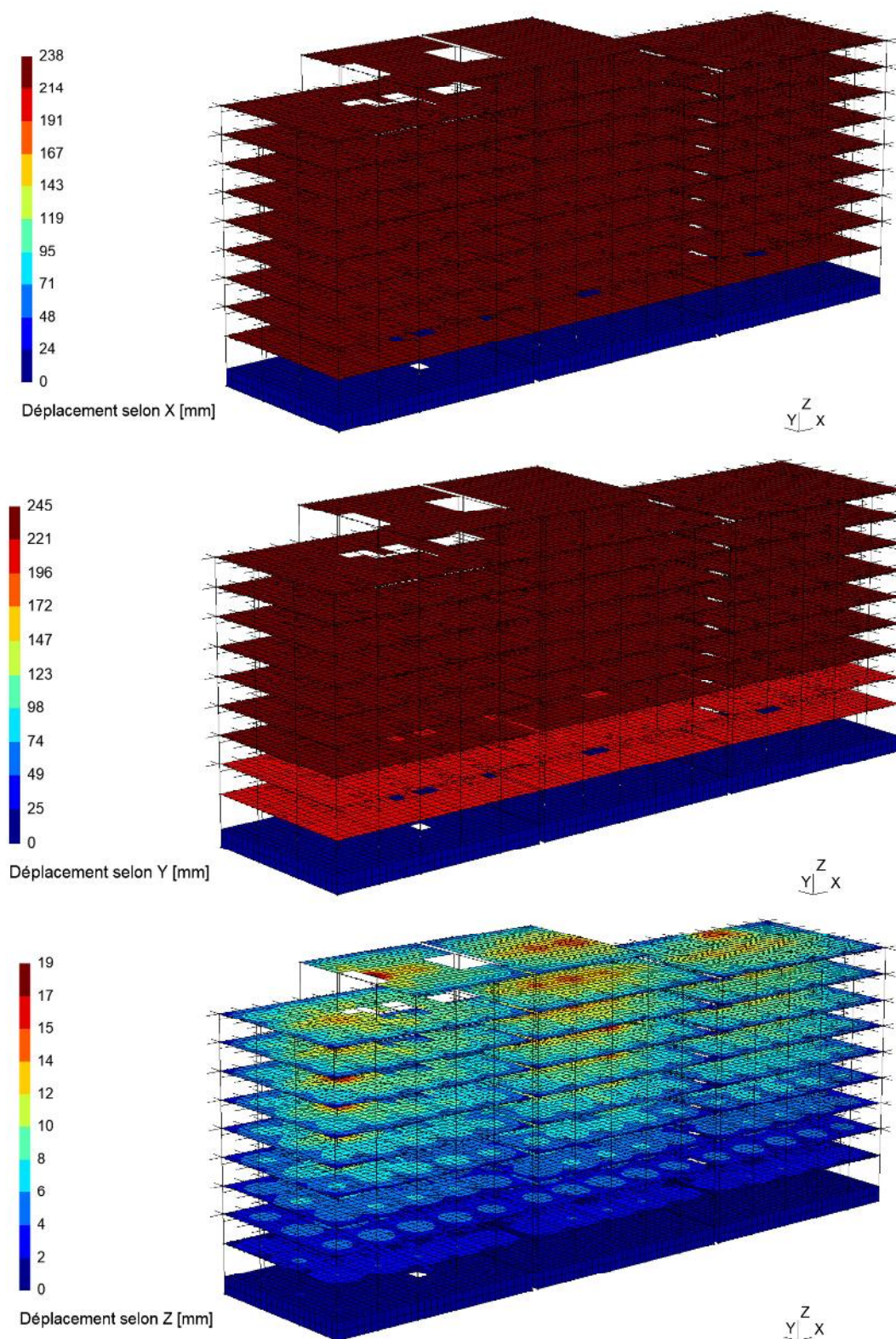


Figure 8. Cartographie des déplacements - Enveloppe des combinaisons

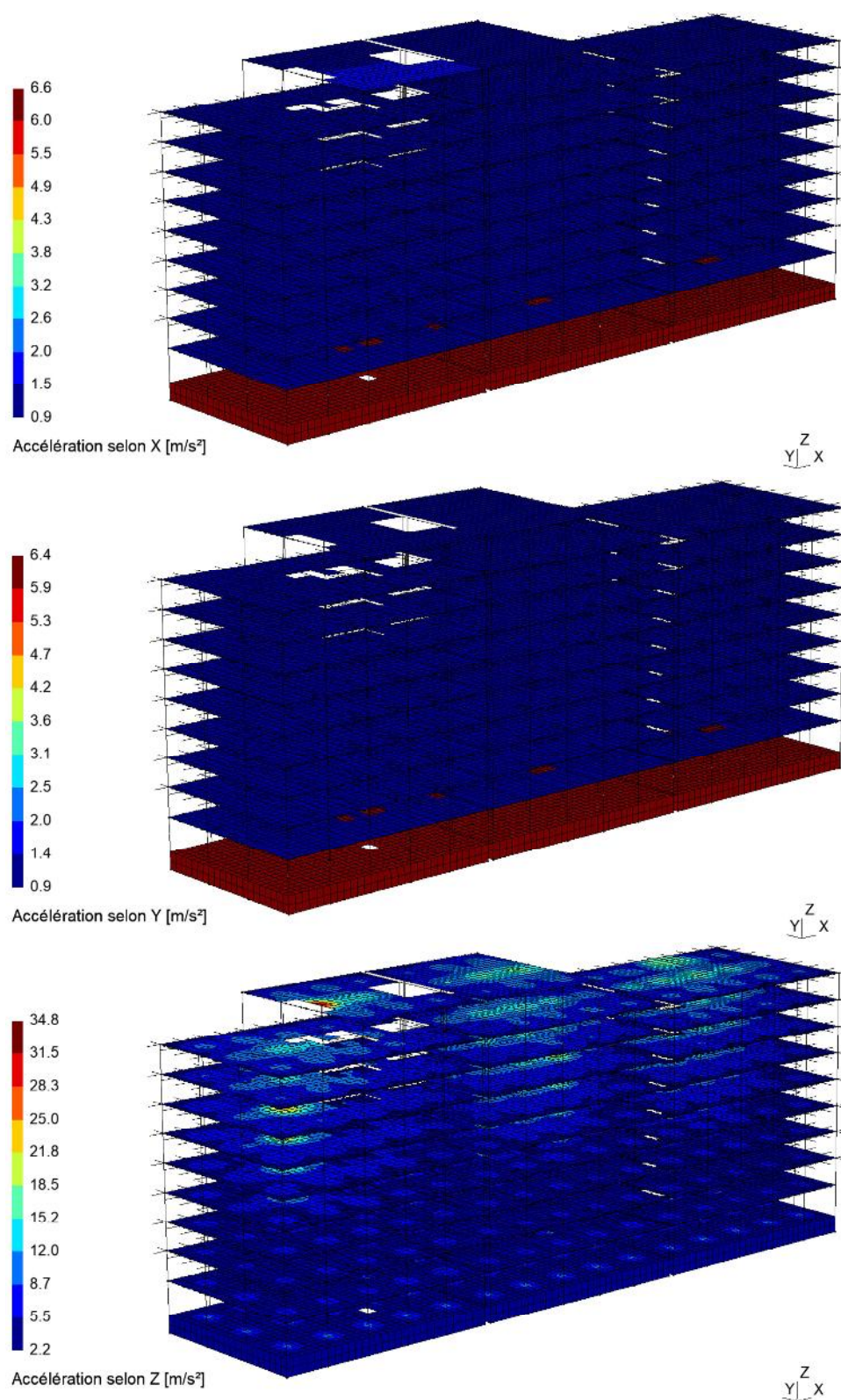
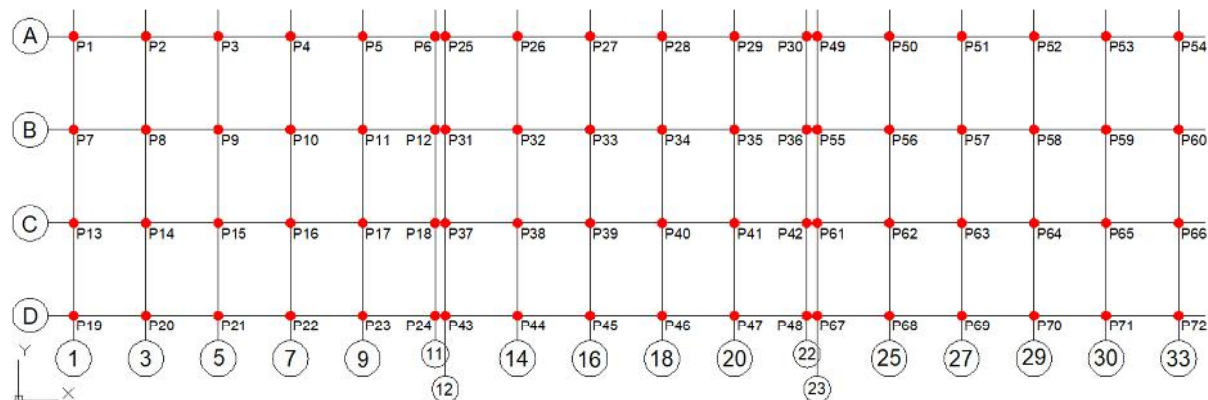


Figure 9. Cartographie des accélérations – Enveloppe des combinaisons

Le tableau ci-dessous indique les efforts dans les poteaux en sous-face des appareils d'appui. Seules les valeurs des efforts axiaux (N) et tranchants (VX, VY) sont indiquées. $N < 0$ indique un effort de compression dans les poteaux.



Poteau	FX (kN)	FY (kN)	Nmin	Nmax(kN)
P1	±295	±291	-4602	-1408
P10	±294	±290	-6585	-2416
P11	±295	±289	-6192	-2607
P12 + P31	±588	±578	-8889	-3771
P13	±294	±290	-5703	-2237
P14	±295	±290	-7020	-2674
P15	±295	±290	-7610	-2383
P16	±294	±290	-6658	-2386
P17	±294	±289	-6435	-2684
P18 + P37	±588	±578	-9104	-3845
P19	±295	±291	-4601	-1397
P2	±295	±291	-5141	-2202
P20	±295	±291	-5144	-2177
P21	±295	±291	-5647	-2285
P22	±295	±290	-5752	-2374
P23	±294	±290	-5543	-2405
P24 + P43	±588	±580	-8325	-2838
P25 + P6	±588	±580	-8313	-2827
P26	±295	±290	-5596	-2376
P27	±294	±290	-5813	-2320
P28	±294	±290	-5695	-2290
P29	±295	±290	-5234	-2264
P3	±295	±291	-5631	-2327
P30 + P49	±588	±578	-7696	-2629
P32	±295	±289	-7248	-2880
P33	±294	±289	-7690	-2588
P34	±294	±289	-7773	-2554
P35	±295	±289	-7222	-2934

Poteau	FX (kN)	FY (kN)	Nmin	Nmax(kN)
P36 + P55	±588	±577	-9558	-4072
P38	±295	±289	-7243	-2880
P39	±294	±289	-7575	-2531
P4	±295	±290	-5743	-2407
P40	±294	±289	-7618	-2481
P41	±295	±289	-7212	-2930
P42 + P61	±588	±577	-9584	-4077
P44	±295	±290	-5601	-2382
P45	±294	±290	-5810	-2327
P46	±294	±290	-5691	-2299
P47	±294	±290	-5235	-2272
P48 + P67	±588	±578	-7683	-2610
P5	±294	±290	-5525	-2407
P50	±294	±290	-5166	-2211
P51	±294	±290	-5487	-2112
P52	±294	±290	-4622	-1931
P53	±295	±290	-5221	-2148
P54	±295	±290	-4489	-1433
P56	±294	±289	-6599	-2642
P57	±294	±289	-6541	-2237
P58	±294	±289	-7196	-2408
P59	±295	±289	-6697	-2767
P60	±294	±290	-5480	-2299
P62	±294	±289	-6863	-2660
P63	±294	±289	-6894	-2376
P64	±294	±289	-6965	-2559
P65	±295	±289	-6657	-2811
P66	±294	±290	-5470	-2286
P68	±294	±290	-5140	-2185
P69	±294	±290	-5315	-2205
P7	±294	±290	-5709	-2256
P70	±294	±290	-5286	-2276
P71	±295	±290	-5023	-2221
P72	±295	±290	-4440	-1395
P8	±295	±290	-6991	-2694
P9	±295	±290	-7370	-2368

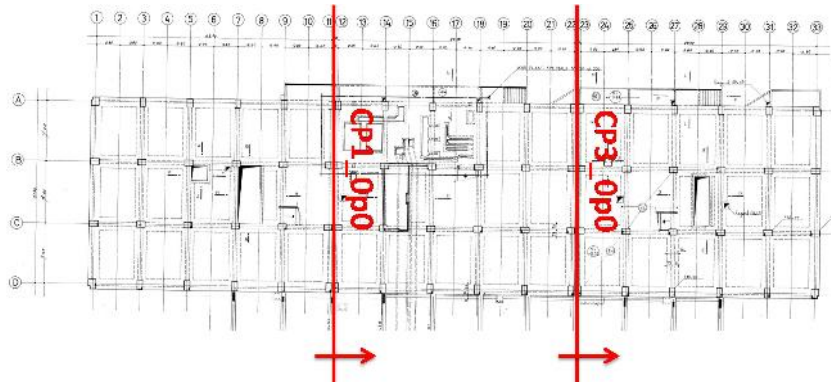
Tableau 3. Efforts extrêmes (maximum des valeurs absolues) des efforts

Le torseur global est ainsi de **21 194 kN**, à comparer à la capacité totale des appareils d'appui de $72 \times 302 \text{ kN} = \mathbf{21\,744 \text{ kN}}$.

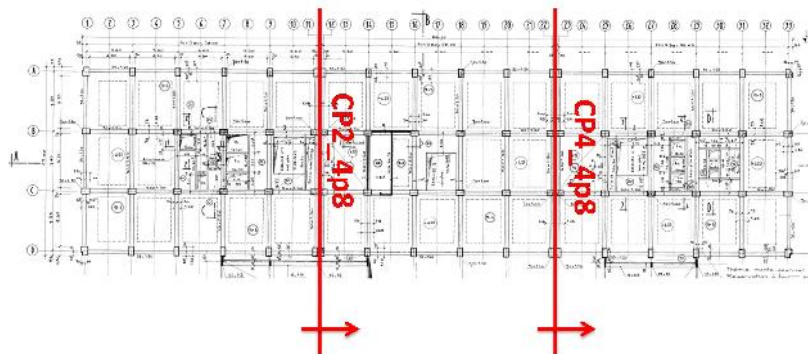
6.2.2 Efforts de coupe dans les planchers

Les résultats sont exprimés dans le repère global :

- $N > 0$ indique l'état de traction
- $N < 0$ indique l'état de compression
- M_z correspond au moment autour de l'axe du ciel normal au plancher



Repérage des coupures – plancher bas du RDC bas



Repérage des coupures – plancher haut du RDC bas

Coupure	N (kN)	V _z (kN)	V _y (kN)	MZ (kN.m)
CP1_0p0	299	508	23	324
CP2_4p8	879	1 868	298	7 032
CP3_0p0	278	554	25	355
CP4_4p8	581	1 447	340	5 053

7. Action du vent cyclonique

Les paramètres liés au site sont :

Caractéristiques du vent	
Direction	Toutes les directions
Région de vent	Ostre-mer - Guadeloupe
Valeur fondamentale de la pression de base	36.00 m/s
Coefficient de direction	X+:1.00 X-:1.00 Y+:1.00 Y-:1.00
Coefficient de saison	1.00
Catégorie de terrain	0
Coefficient orographique	1.00
Coefficient de turbulence	1.00
Pression de base	0.79 kN/m ²
Coefficient d'exposition	3.67

En appliquant les dispositions des Eurocodes (EN-1991-1-4 et EN-1991-1-4/NA) :

DONNEES

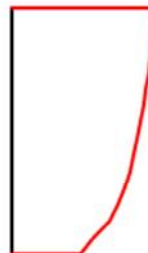
Région **Autre**
 Vitesse de référence du vent $V_{b,0}$ **36** m/s
 $C_s C_d =$ **1.00**
 $V_b =$ **36** m/s
 Rugosité du sol **0**
 Base de la construction $z_b =$ **0.00** m
 Sommet $z_s =$ **30.00** m
 Incrément, tableau résultat **2.00** m

Coefficient de traînée $c =$ **1.00**
 Majoration complémentaire
 (choisie librement par l'utilisateur) **1.00**

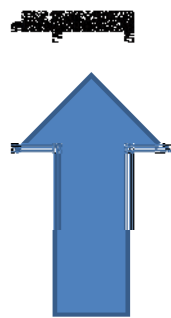
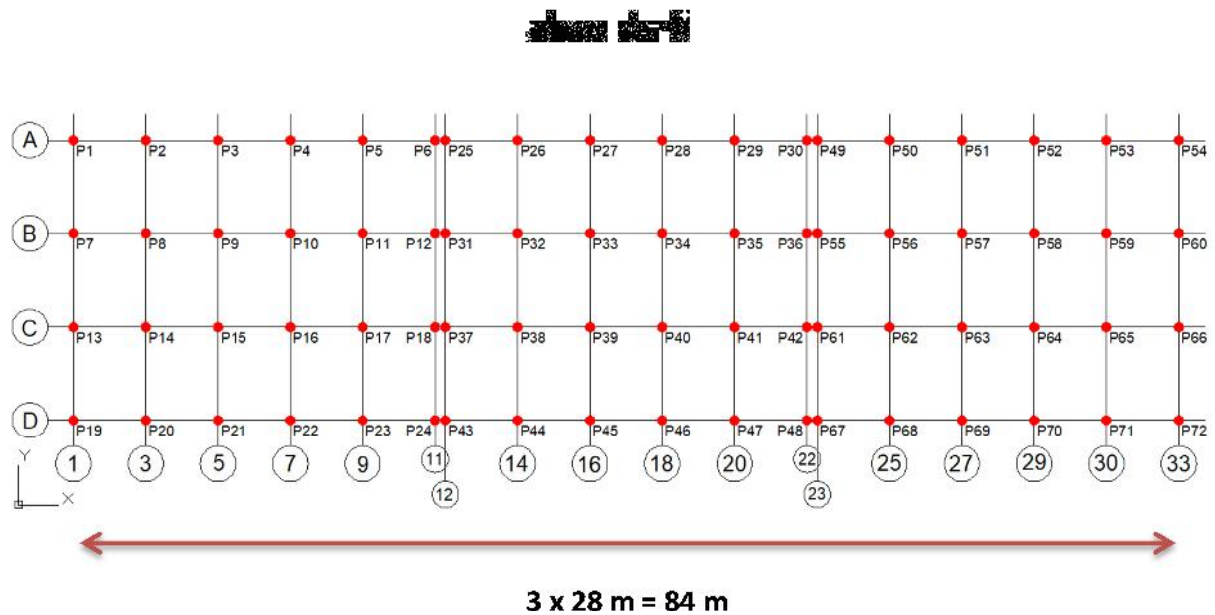
RESULTATS

Longueur de rugosité $z_0 =$ **0.005** m
 Pression constante sous $z_{min} =$ **1.00** m
 Facteur de terrain $k_r =$ **0.162**
 Coefficient de turbulence $k_l =$ **1.000**

Niveau (m)	Largeur (m)	$C_r(z)$	$V_m(z)$ (m/s)	$l_v(z)$	$q_p(z)$ (daN/m ²)
0.00	0.00	0.86	30.85	0.19	135.27
2.00	0.00	0.97	34.88	0.17	161.59
4.00	0.00	1.08	38.92	0.15	189.90
6.00	0.00	1.15	41.28	0.14	207.39
8.00	0.00	1.19	42.95	0.14	220.21
10.00	0.00	1.23	44.25	0.13	230.39
12.00	0.00	1.26	45.31	0.13	238.86
14.00	0.00	1.28	46.21	0.13	246.13
16.00	0.00	1.31	46.99	0.12	252.51
18.00	0.00	1.32	47.67	0.12	258.20
20.00	0.00	1.34	48.29	0.12	263.33
22.00	0.00	1.36	48.84	0.12	268.02
24.00	0.00	1.37	49.35	0.12	272.33
26.00	0.00	1.38	49.81	0.12	276.32
28.00	0.00	1.40	50.25	0.12	280.04
30.00	0.00	1.41	50.65	0.11	283.53

Profil de $q_p(z)$ 

Les pressions et bilan des efforts de vent, sur les façades avec la plus grande exposition au vent sont :



$C_{pi} = +0.2$ ou -0.3

Pression de calcul = $q_{pz} (C_{pe} - C_{pi})$

$$-0.518 + 0.3 = \mathbf{-0.218}$$

$$-0.518 - 0.2 = \mathbf{-0.718}$$

$$1.1 + 0.218 = \mathbf{1.318}$$

$$0.6 + 0.718 = \mathbf{1.318}$$

$$0.8 + 0.3 = \mathbf{1.1}$$

$$0.8 - 0.2 = \mathbf{0.6}$$

La force totale qu'exerce le vent cyclonique, calculée à partir du profil de pression est :

$$\text{à l'ELU} \quad 1.5 \times 1.318 \times [q_{pz}(z) \times h(z)] \times 84 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 11\,873 \text{ kN}$$

$$\text{à l'ELS} \quad 1.0 \times 1.318 \times [q_{pz}(z) \times h(z)] \times 84 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 7\,915 \text{ kN}$$

La capacité des appareils d'appui (64 + 8) est estimée à :

$$\text{à l'ELU} \quad 302 \text{ kN} \times (64 + 8) = 19\,328 \text{ kN}$$

$$\text{à l'ELS} \quad 95 \text{ kN} \times (64 + 8) = 6\,840 \text{ kN}$$

On constate que :

→ **A l'ELU**, le torseur global dû au vent cyclonique (11 873 kN) est inférieur à celui de l'action sismique (21 194 kN), et par conséquent inférieure à la résistance maximal des appareils d'appui (21 744 kN) ;

→ **A l'ELS**, l'action du vent (7 915 kN) dépasse la limite élastique (6 840 kN)

En conclusion, il est nécessaire de d'adapter la solution pour éviter la plastification des appuis sous l'action du vent cyclonique.

7. Bilan des études

On adopte un appareil d'appui de taille supérieure avec les caractéristiques suivantes :

$d_{bd} = 199 \text{ mm}$

Amortissement équivalent : 31 %

$F_{horizontal} = 399 \text{ kN}$ à la limite de rupture

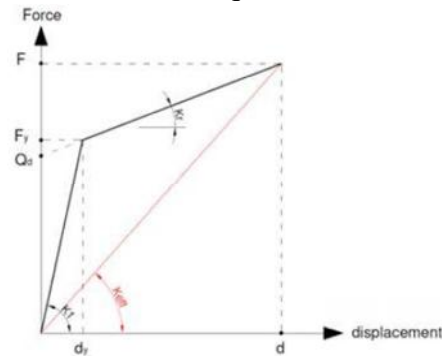
LRB-N Ø750*112

$Q_d = 211 \text{ kN}$ à la limite élastique

$K_r = 1.00 \text{ kN/mm}$

Capacité de déplacement : 280 mm

Coefficient de fiabilité $\gamma = 1,2$



Avec cet appareil, le seuil de fonctionnement élastique est bien plus important, à $211 \text{ kN/appui} \times 72 \text{ appuis} = 15\,192 \text{ kN}$, bien supérieure à la demande de l'action du vent cyclonique à l'ELS.

Vis-à-vis de l'action du séisme, le calcul du point de fonctionnement est le suivant :

- Rigidité horizontale $k_X = k_Y = K_{eff} = 302_{\text{kN}} / 241_{\text{mm}} = 1.36 \text{ MN/m}$ par appareil
- Période fondamentale $T = 3.33 \text{ s}$
- Accélération spectrale $S_a = 0.65 \text{ m/s}^2$

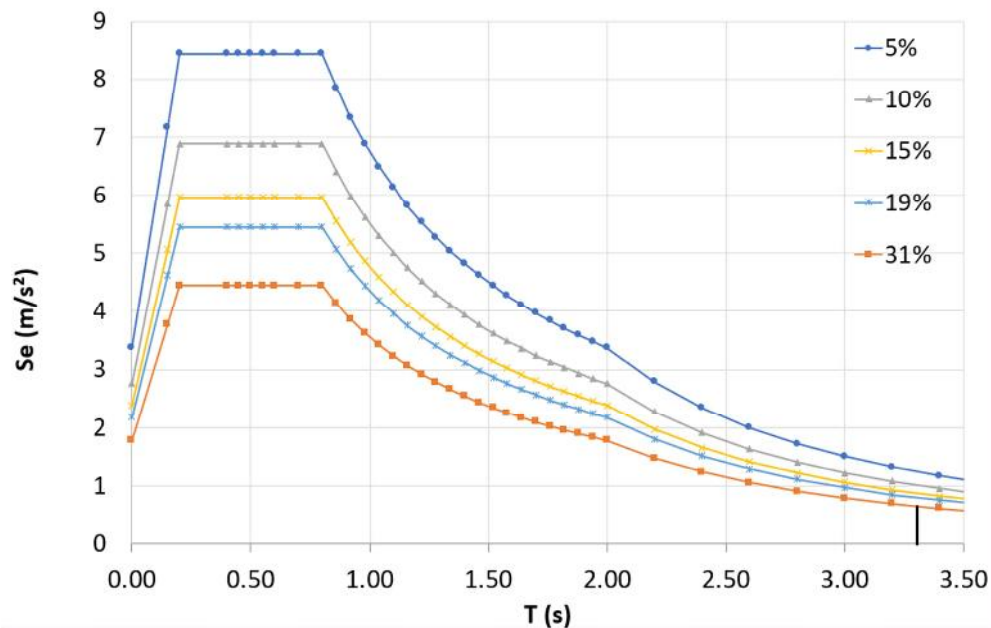


Figure 10. Spectre horizontal pour les amortissements allant jusqu'à 31 %

Compte tenu d'un amortissement plus fort, on aboutit à une action sismique légèrement plus faible. On peut ainsi considérer les résultats indiqués au § 6.2 valable pour cette étude de faisabilité, et envisager une optimisation du projet lors des études d'exécution.