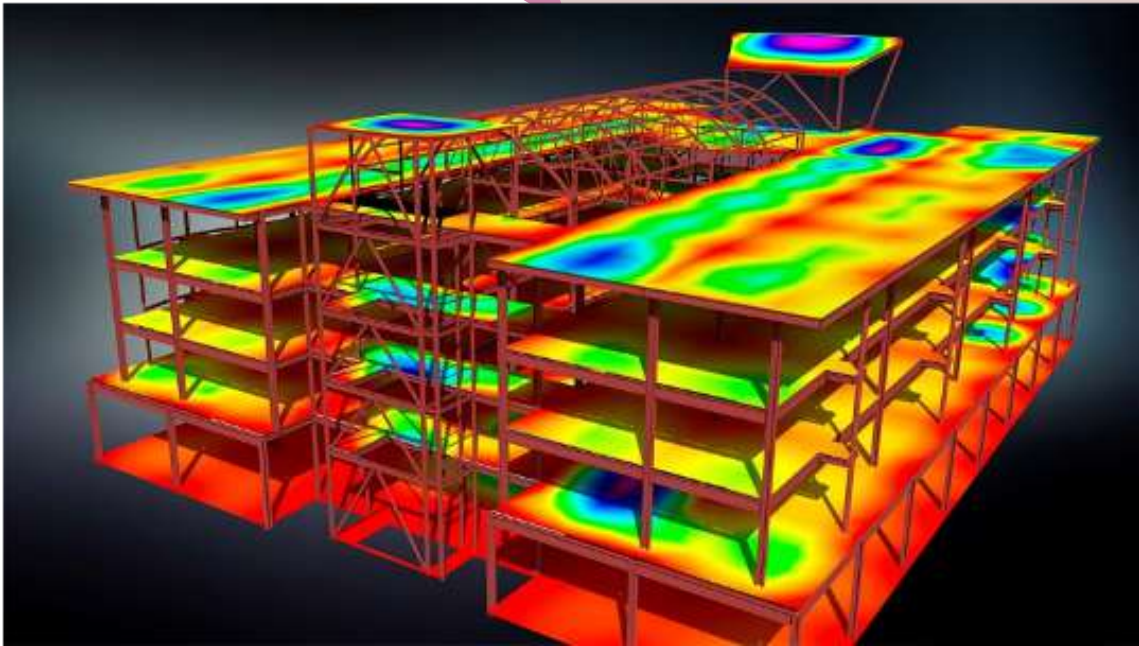


Modélisation des structure

Projet Robot Robot Structural
Analysis



RÉALISÉ PAR

ACIKYUZ Sertav - DIEVAL Victor
BAT3 FISA

1/ Introduction : objectif global

Dans ce rapport, nous concevrons un bâtiment de quatre étages en béton armé. Nous étudierons ensuite les différentes possibilités de conception sans réaliser de dimensionnement. Tout d'abord, nous concevrons une structure poteaux-poutres et étudierons sa résistance sous différentes combinaisons de charges. Nous y ajouterons ensuite des voiles afin de comparer les deux structures ainsi que leur résistance aux combinaisons de charges. Nous étudierons également les fondations.

2/ Données et hypothèses

Avant d'expliquer le travail effectué, il est important de définir le cadre et le contexte du projet, les hypothèses ainsi que les données d'entrées sur lesquelles nous nous sommes basés.

Notamment les éléments suivants :

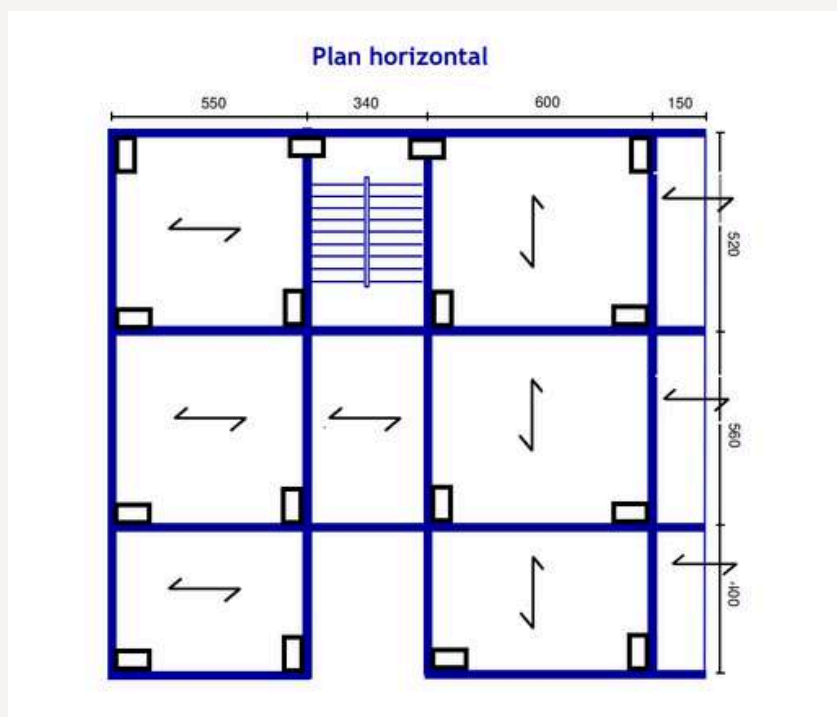
- Bâtiment de catégorie II : habitations
- Localisation : Nice
- Type de sol : B
- Structure : poteaux-poutres
- Eurocodes 0, 1, 2, 7 et 8 et Normes Françaises
- Matériaux : béton armé :
 - Béton C25/30
 - Acier B450C
- Cours MS
- Hauteur nette des étages : 3m

3/ Structure poteaux poutres

Avant d'analyser la résistance d'une structure à différentes combinaisons de charges, il est évident qu'il faut la modéliser correctement. Cela est l'objet de cette partie.

3.1. Choix de conception

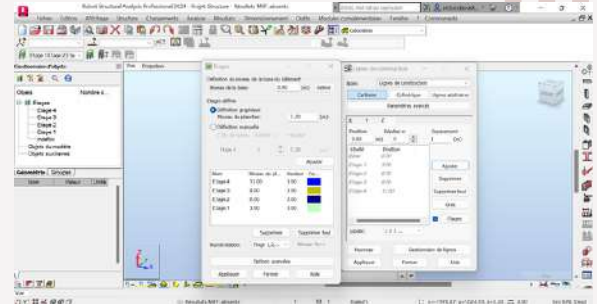
Nous avons dans un premier temps déterminer l'orientation de nos poteaux à partir du plan fournis ci-dessous. Au lieu de positionner tous les poteaux dans la même direction, nous avons varié leur orientation. Cela empêche que la structure soit trop rigide ou trop faible dans une direction spécifique, améliorant ainsi sa capacité à résister à des forces dans les deux sens. De plus, nous avons veillé à ce que l'arrangement des poteaux soit correctement répartie. Il y a autant de poteaux dans un sens que dans l'autre. Cette répartition aide à distribuer les forces de manière égale sur la structure ainsi qu'à résister autant dans les deux sens latéraux, ce qui contribue à sa stabilité générale.



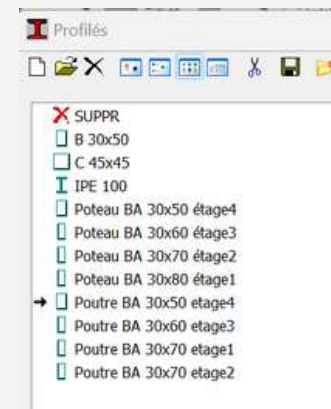
Une fois cette étape terminée, nous avons défini l'orientation de l'armature du plancher. Dans notre cas on a choisi des armatures longitudinales dans une direction ce qui signifie que les dalles sont sollicitées sur 2 poutres. Généralement les armatures ont été placées dans la direction où la distance entre les poutres est minimale afin de réduire la flexion.

3.2 Modélisation 3D

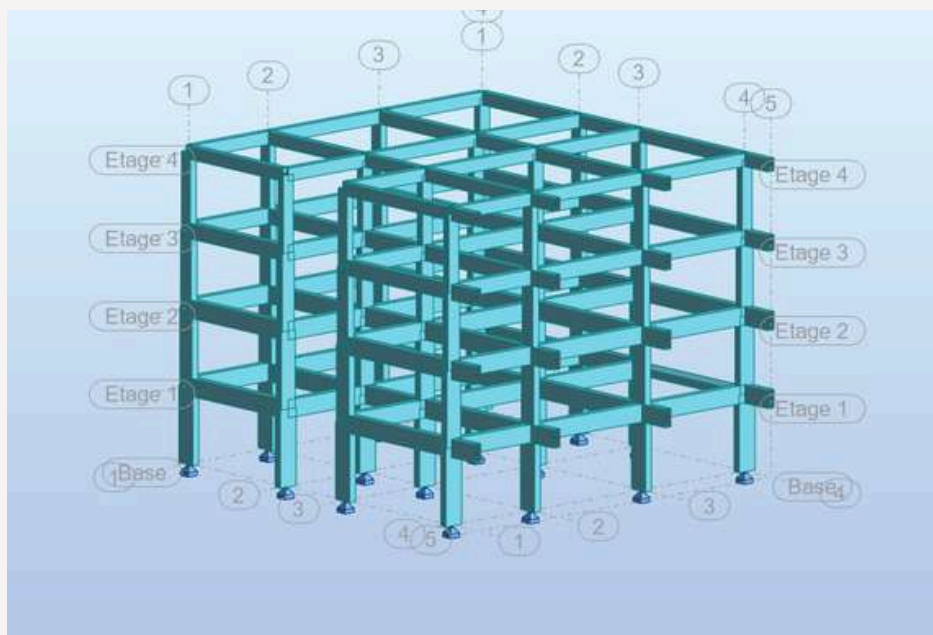
Après avoir effectué les premiers réglages tels que les normes, les unités de mesures, les matériaux... Nous avons tracé les lignes de construction et définis les étages à une hauteur nette de 3m.



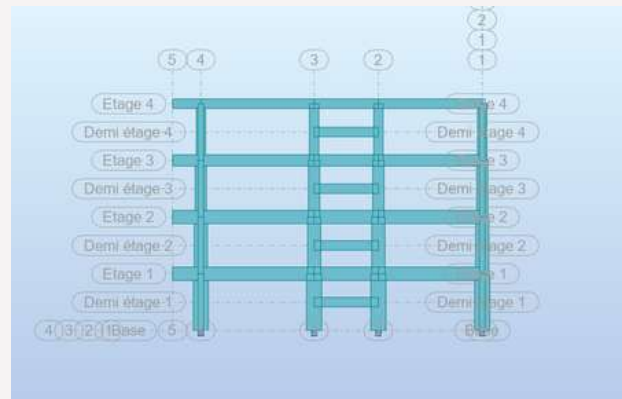
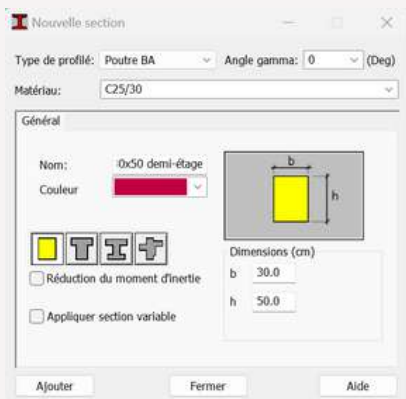
Ensuite, nous avons créé les profilés. Les poteaux et les poutres sont de dimensions différentes selon les étages. Voici la liste des profilés que nous avons créé :



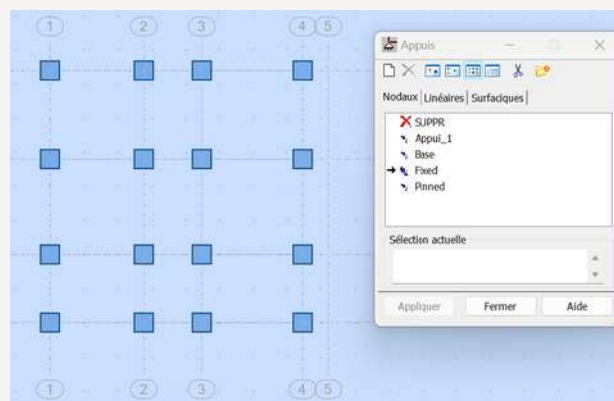
Puis, nous avons modélisé la structure poteaux-poutres avec ces éléments attribués à chaque étage :



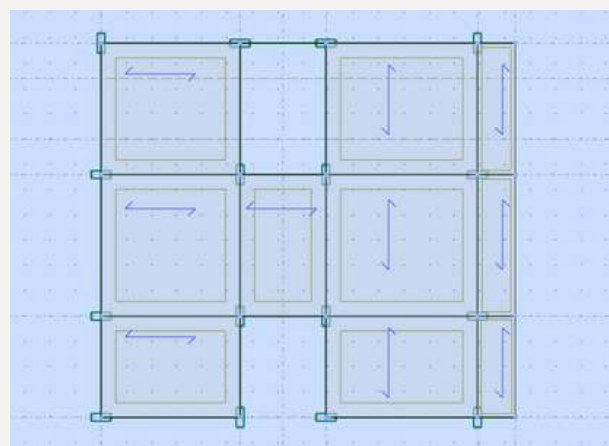
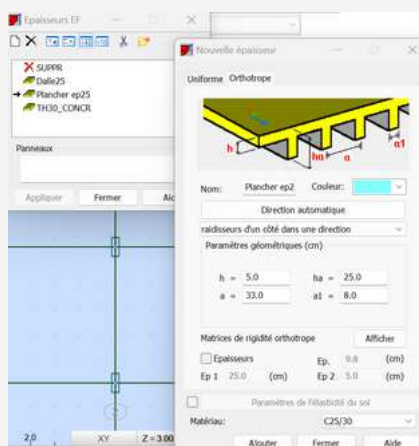
Nous avons ensuite créé des lignes de construction aux demi-étages afin d'y placer des poutres 30x50cm dans la cage d'escalier. Elles permettront de supporter les paliers de demi-étages ainsi qu'une partie des escaliers.



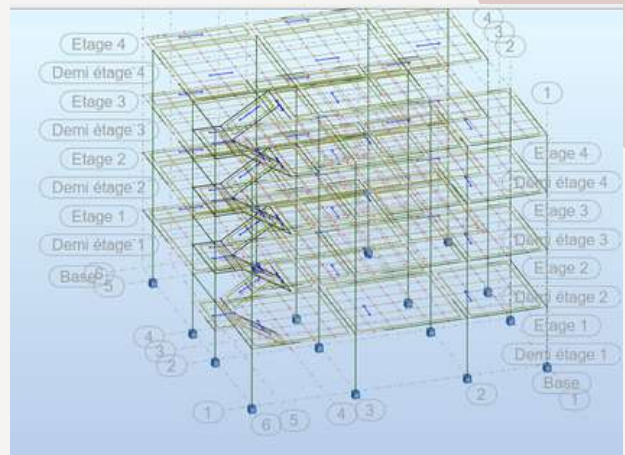
Sous les poteaux du rez-de-chaussée, nous avons placé des encastresments représentant les fondations de notre bâtiment. Nous les modéliserons par la suite dans ce projet.



De plus, après avoir paramétré un plancher de 25cm d'épaisseur, nous les avons placés afin qu'ils soient dans le même sens sur une même partie de la structure de manière à poser sur le côté le plus long. Et cela a chaque étage.

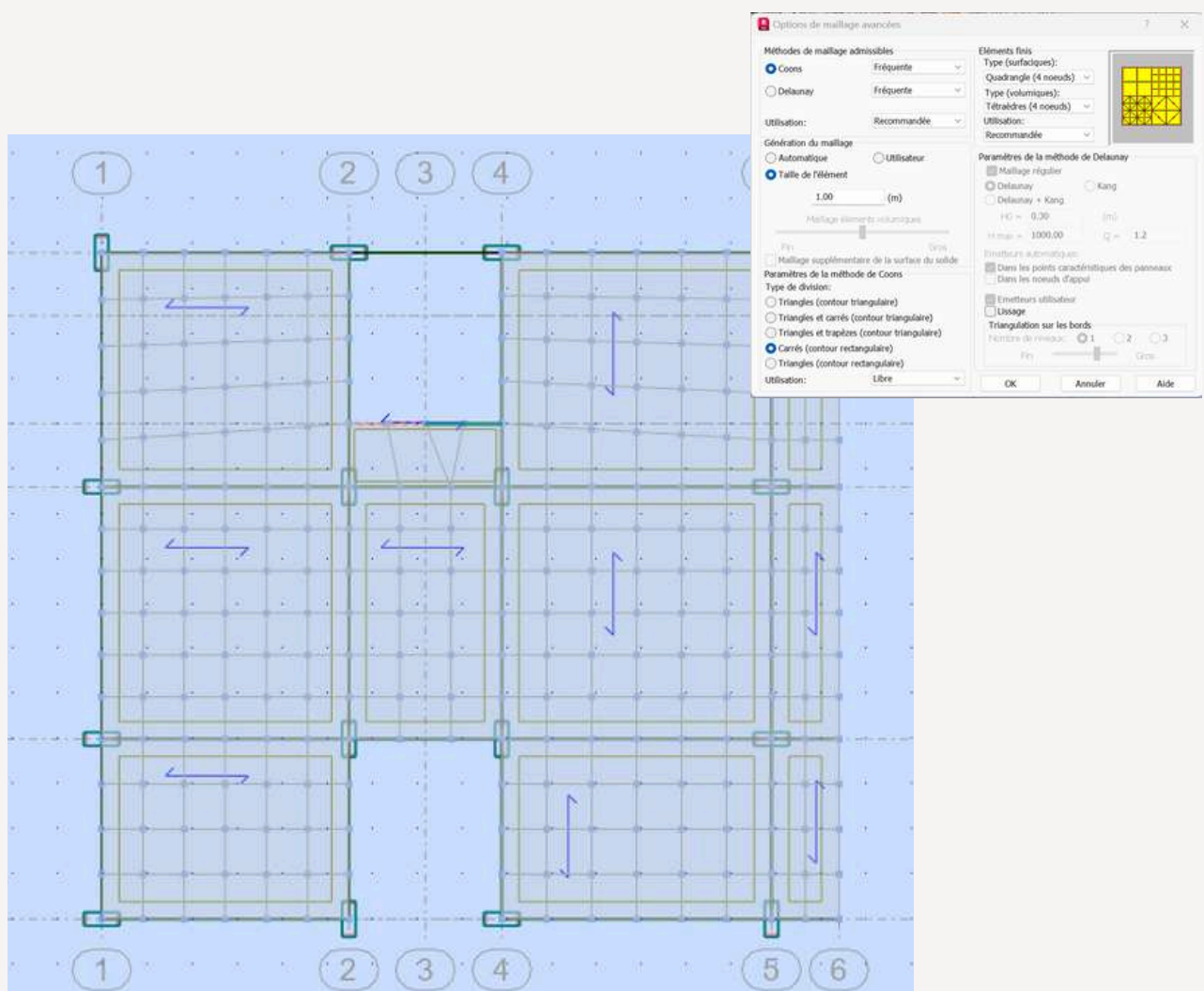


Pour finir, nous avons également modélisé les rampes et les paliers des escaliers.



Maillage

Afin de réaliser les calculs sur le logiciel Robot sans que cela ne prenne trop de temps, nous avons paramétré le maillage de Coons de forme carré et de taille 1m. Cela permet d'obtenir de très bon résultats sans avoir besoin d'une très grande puissance de calcul.



4/ Analyse statique : ELU

Dans cette partie nous ajouterons des charges permanentes ainsi que d'exploitation afin d'analyser la structure à l'ELU.

Pour cela, nous commençons par ajouter deux cas de charges en plus du permanent déjà existant. Le cas d'exploitation pour les étages types et un autre pour la couverture

Nous considérons notre bâtiment en tant que habitations donc de catégorie A1 selon l'Eurocode 0.

4.1. Charges permanentes

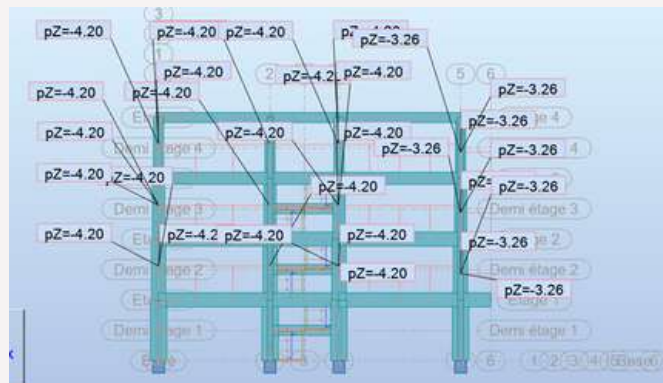
Dans la charge permanente, seul le poids propre de la structure est pris en compte. Il faut donc y ajouter les charges permanentes autres qui seront distribuées sur chacune des poutres selon la surface d'affectation. A partir du cours, nous prendrons en compte les éléments suivants :

Pour le plancher : 4.2kN/m^2

- Carrelage
- Mortier de pose
- Pente (enduit)
- Isolant
- Enduits
- Cloisons amovibles
- Briques

Pour les balcons : 3.26kN/m^2

- Carrelage
- Mortier de pose
- Pente (enduit)
- Isolant
- Enduits
- Briques



pour les murs extérieurs : 7.8kN/m

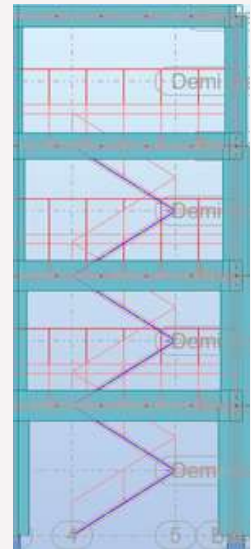
- Briques
- Enduits intérieur et extérieur
- Isolant
- Ouvertures

Pour les escaliers : 3.41kN/m^2

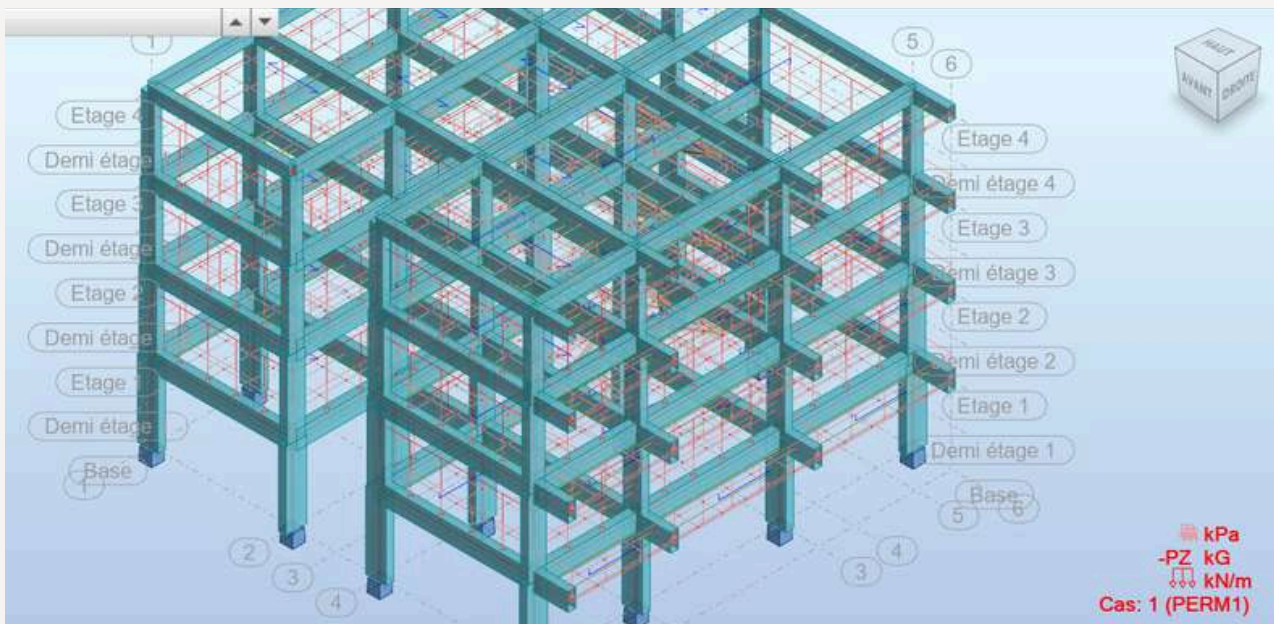
- Carrelage
- Marches
- Enduits
- Balustrade

Pour les paliers des escaliers : 1.2kN/m^2

- Carrelage
- Enduits
- Mortier



On applique ensuite toutes les charges surfaciques sur Robot :



4.2. Charges d'exploitation

De même pour les charges d'exploitation, nous avons pris en compte et ajouté les éléments suivant :

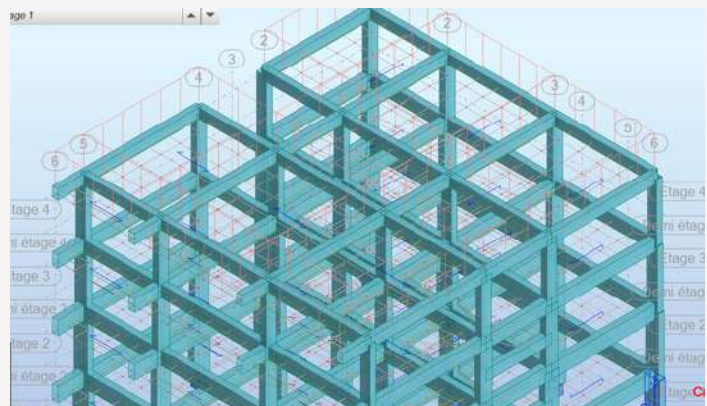
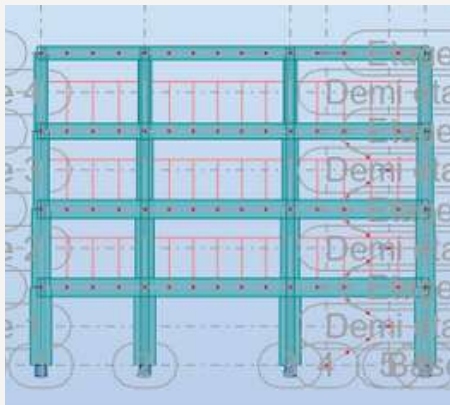
Exploitation étage type :

- Exploitation plancher type 2kN/m²
- Exploitation escalier 3kN/m²
- Exploitation balcons 4kN/m²

Exploitation de la couverture : 2kN/m²

- Toiture non exploitable mais perspective d'aménagements futurs

Nous avons pris les données issues de l'Eurocode et non des normes NF pour certains éléments afin de prendre le cas le plus stricte en terme de charges permanentes et d'exploitation.



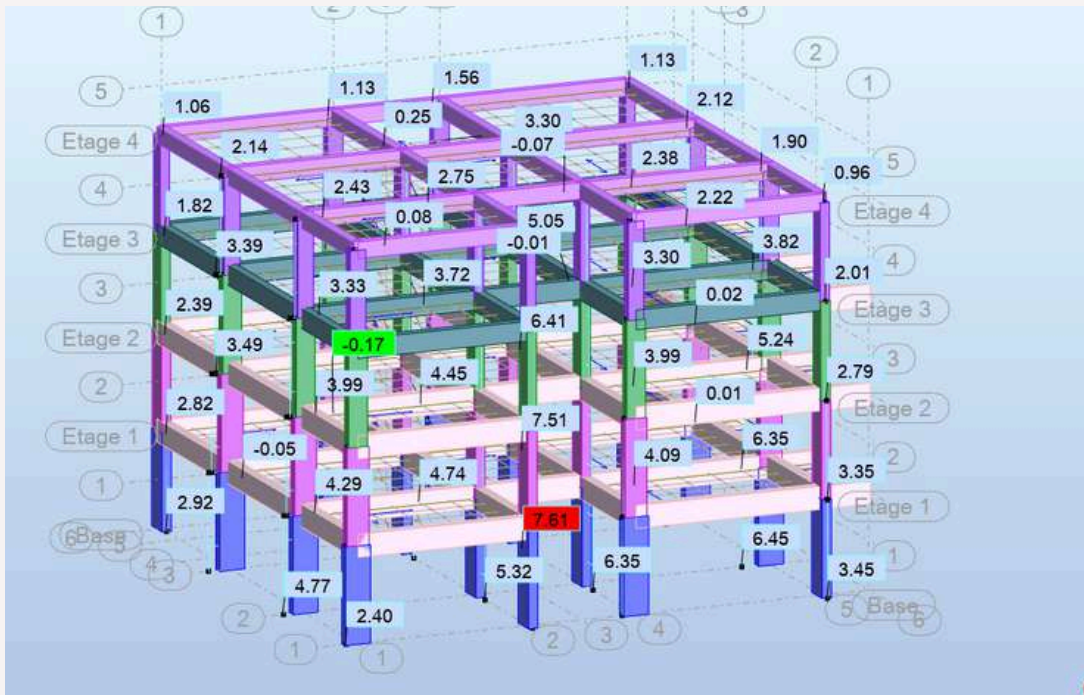
Voici donc un tableau récap des charges que nous avons appliqué sur la structure :

Cas	Type de charge	Liste											
1.PERM1	poids propre	1A180 182A	Structure enti	-Z	Coef=1.00	Normal	MEMO:						
1.PERM1	force nodale		FX=0.00	FY=0.0	FZ=0.0	CX=0.0	CY=0.0	CZ=0.0	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	MEMO:	
1.PERM1	(EF) surfacique uniforme	1 182 184 18	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-4.20	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			
1.PERM1	(EF) surfacique uniforme	210 214 215	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-3.26	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			
1.PERM1	charge uniforme	32A34 41 44	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-7.80	global	non projetés	absolues	AL=0.0	BE=0.0	GA=0.0	DY=0.0	DZ=0.0
1.PERM1	(EF) surfacique uniforme	45 183 193 1	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-3.41	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			
1.PERM1	(EF) surfacique uniforme	2 16 30 192 2	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-1.20	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			
2 EXPL et	(EF) surfacique uniforme	1 182 184 18	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-2.00	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			
2 EXPL et	(EF) surfacique uniforme	210 214 215	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-4.00	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			
2 EXPL et	(EF) surfacique uniforme	2 16 30 45 18	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-3.00	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			
3 EXPL c	(EF) surfacique uniforme	234A241 250	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-2.00	global	non projetés	absolues	Limitations	MEMO:			

4.3. Analyse des résultats : ELU

Nous avons ensuite créé les combinaisons de charges à l'ELU. Après avoir fait les calculs, nous obtenons les résultats suivant :

A. Contrainte normale N/A :



La contrainte max ne doit pas dépasser la résistance limite en compression. Dans notre cas la contrainte maximum est de 7.61 MPa.

Nous devons donc vérifier que : $(1.075 N/(bH)) / \sigma_0 < 0.5 < 0.65$ car nous n'avons pas encore appliqué les charges accidentelles, nous le ferons par la suite et vérifierons que l'inégalité est bien respectée sous 0.65. En attendant, nous prenons 0.5 bien inférieur pour garder une marge de sécurité.

$$N/(bH) = 7.61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_0 = 0.85 f_{cd} = 14 \text{ Mpa}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

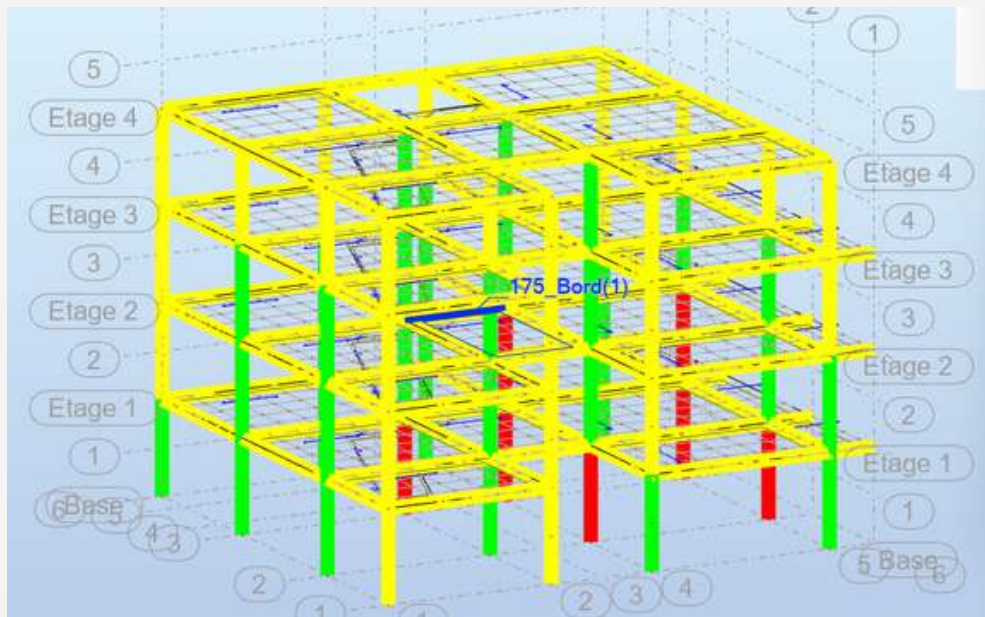
$$f_{cd} = 16.6 \text{ Mpa}$$

$$\text{Finalement, } (1.075 N/(bH)) / \sigma_0 = 0.58$$

Remarque :

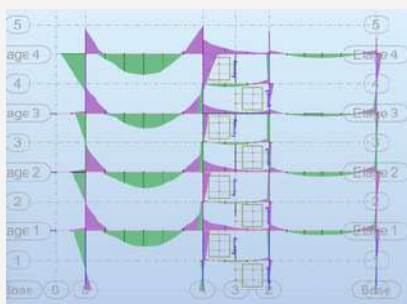
L'inégalité n'est pas vérifiée à l'ELU, or, l'Eurocode impose que cette inégalité soit vérifiée avec 0.65 à l'ACC. La limite de 0.5 reste arbitraire mais cela nous indique qu'il faudrait potentiellement redimensionner la structure, ou repartir les charges différemment.

Cartographie des barres : ELU

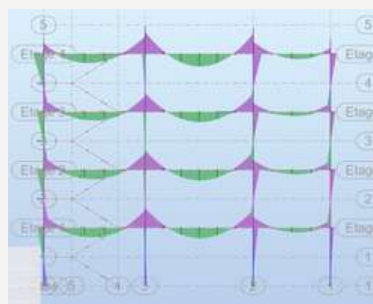


B. Diagramme des efforts : M_y à l'ELU

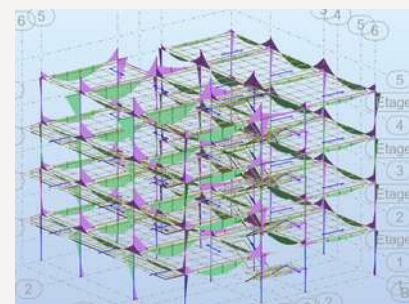
$M_y \text{ max} = 182\text{kNm}$
 $M_y \text{ min} = -213\text{kNm}$



Selon Ux

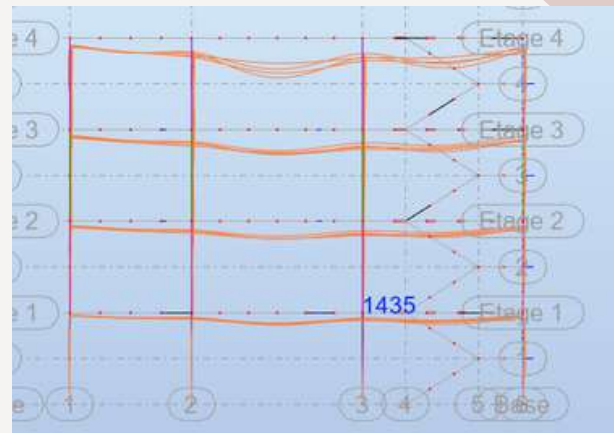
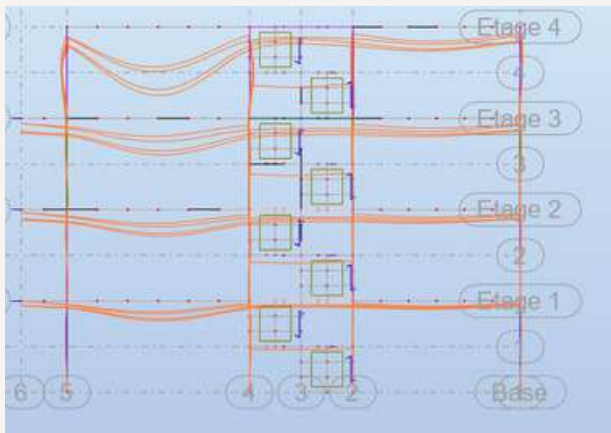


Selon Uy

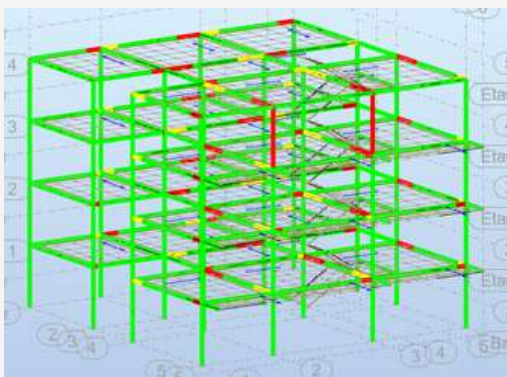


Vue 3D

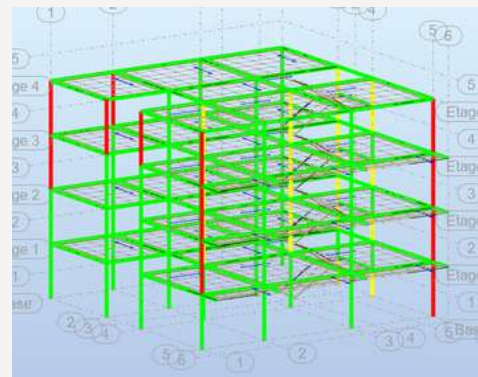
C. Déformée : ELU



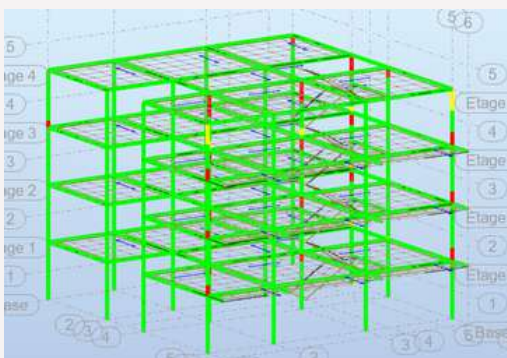
D. Cartographie : F_z , F_y , M_z , M_y à l'ELU



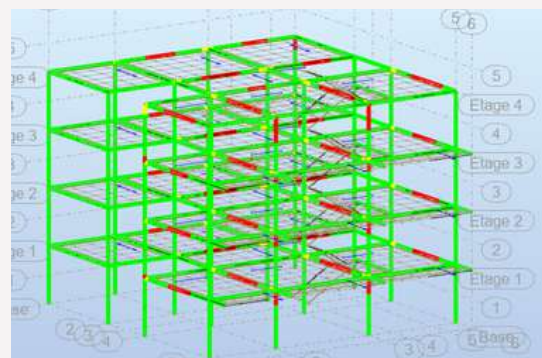
F_z



F_y



M_z



M_y

E. Tableau récapitulatif : ELU

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	2088,67	40,08	252,47	17,92	183,90	61,39
Barre	6	52	117	79	53	59
Noeud	11	52	37	78	72	78
Cas	ELU/1	ELU/1	ELU/1	ELU/4	ELU/1	ELU/1
MIN	-43,66	-48,05	-253,45	-16,48	-240,25	-70,97
Barre	152	50	151	79	151	52
Noeud	4	66	10	73	10	71
Cas	ELU/1	ELU/1	ELU/1	ELU/4	ELU/1	ELU/1

5/ Analyse dynamique : ACC

Dans cette partie, nous effectuerons une analyse modale du bâtiment. Nous obtiendrons son poids, prenant les charges permanentes et d'exploitation en compte. Nous obtiendrons également ses paramètres de rigidité. De cette manière, nous pourrons les comparer par la suite, lors de l'ajout de voiles. Enfin, nous analyserons le spectre de réponse sismique du bâtiment.

5.1. Analyse modale

Après avoir défini les préférences de tâches, nous avons traduit les charges permanentes et d'exploitation en masses dynamiques :

- La charge permanente avec un coefficient de 1
- La charge d'exploitation des étages avec un coefficient 0.15
- La charge d'exploitation de la couverture avec un coefficient 0.3

Nous avons trouvé ces coefficients à partir des données suivantes d'après l'EC8 :

Poids d'un bâtiment pour l'analyse sismique

- **Poids du bâtiment : Eurocode 8 Section 3.2.4**
 - Charges permanentes G
 - Charges d'exploitation Q

$$W = \sum_{j=1}^n G_j + \sum_{i=1}^m \phi \psi_{2i} Q_i$$

$\psi_2 = 0.3$ EC8 Table A1.1
 $\phi = 0.5 - 1$ EC8 Table 4.2

Pour les charges permanentes G, nous avons donc un coefficient 1, alors que les charges d'exploitations sont multipliées par phi et psy.

Dans notre cas, psy = 0.3 et phi = 0.5

Notre bâtiment sera des habitations, d'après l'EC8, phi = 0.5 car chaque étage sera occupé indépendamment des autres (voir tableau ci-dessous).

$$\psi_{Ei} = \phi \cdot \psi_{2i} \quad (4.2)$$

NOTE The values to be ascribed to ϕ for use in a country may be found in its National Annex. The recommended values for ϕ are listed in Table 4.2.

Table 4.2: Values of ϕ for calculating ψ_{Ei}

Type of variable action	Storey	ϕ
Categories A-C*	Roof	1.0
	Storeys with correlated occupancies	0.8
	Independently occupied storeys	0.5
Categories D-F* and Archives		1.0

* Categories as defined in EN 1991-1-1:2002.

Voici donc la liste des masses dynamiques ajoutées :

Cas convertis	Dir. - conversion	Coefficient	Dir. - masses	Cas n°
→ 1	Z -	1.00	XYZ	Masse dynamiq...
2	Z -	0.15	XYZ	Masse dynamiq...
3	Z -	0.30	XYZ	Masse dynamiq...

Avant de lancer l'analyse modale, nous la paramétrons :

- Nous négligeons la densité car le poids propre est pris en compte
- Nous définissons une excentricité accidentelle de 5% dans les directions x et y
- 90% de masse participante

Après avoir calculé, nous obtenons les résultats dynamiques suivants :

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masses Cumulées UZ [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]	Masse Modale UZ [%]	Tot.mas.UX [kg]	Tot.mas.UY [kg]	Tot.mas.UZ [kg]
1/ 1	2.12	0.47	52.72	6.75	0.00	52.72	6.75	0.00	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 2	2.31	0.43	66.42	68.79	0.00	13.69	62.04	0.00	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 3	2.57	0.39	77.60	78.17	0.00	11.18	9.38	0.00	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 4	5.85	0.17	85.30	80.01	0.00	7.70	1.83	0.00	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 5	6.31	0.16	88.54	88.95	0.00	3.25	8.94	0.00	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 6	7.03	0.14	90.22	90.54	0.00	1.68	1.60	0.00	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 7	9.75	0.10	91.34	90.77	6.41	1.12	0.23	6.41	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 8	10.10	0.10	91.77	93.05	9.04	0.43	2.28	2.63	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 9	10.60	0.09	94.01	94.00	9.63	2.24	0.95	0.59	1383543.54	1383543.54	1383543.54
1/ 10	10.74	0.09	94.78	94.21	11.09	0.76	0.21	1.46	1383543.54	1383543.54	1383543.54

De ce tableau, nous pouvons voir que la masse participante dépasse les 90% au mode 8. Nous obtenons également les paramètres de rigidité de la structure sur la ligne du mode 1.

A savoir :

- La fréquence = 2.12 Hz
- La période = 0.47 s

Nous pouvons vérifier la période car l'Eurocode nous donne la formule suivante pour la calculer :

$$T_1 = C H^{3/4}$$

- H : hauteur de la structure en mètres
- C = 0.075 pour une structure poteau-poutre en béton armé
- C = 0.085 pour une structure poteau-poutre en acier
- C = 0.05 pour les autres types de structure (voiles en BA, maçonnerie)
- Pour les structures avec des voiles (plans connus) :

$$C = 0.075 / \sqrt{A_c}$$

$$A_c = \sum_{i=1}^{n_{voiles}} A_i (0.2 + (l_{wi}/H))^2$$

Dans notre cas,

$$C = 0.075$$

$$H = 12\text{m}$$

Nous pouvons donc nous attendre à ce que la période de vibration du bâtiment vaut $T = 0.48\text{ s}$

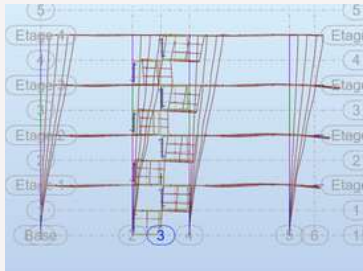
La période de vibration calculée par Robot est donc quasi égale à celle prévue par l'EC8.

Nous pouvons également déduire de ce tableau que le mode 1 est une translation d'axe x. En effet, la valeur de la masse déplacée selon x est très importante alors que celle selon y est assez faible. Une légère torsion est donc entraînée mais reste négligeable face à la translation.

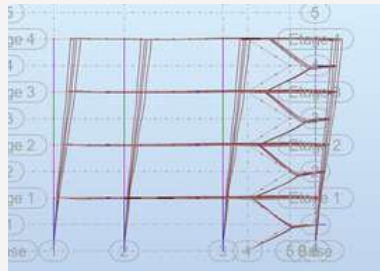
Inversement pour le mode 2, on en déduit une translation d'axe y.

Enfin, le mode 3 correspond quant à lui à une torsion car les masses déplacées selon x et y sont équivalentes. Nous empêcherons cette torsion par l'ajout de voiles.

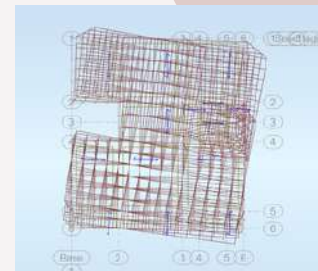
Ces déplacements sont plus explicites dans les vues avec le déplacement des nœuds :



MODE 1
 $f = 2.12 \text{ Hz}$
 Translation selon x



MODE 2
 $f = 2.31 \text{ Hz}$
 Translation selon y



MODE 3
 $f = 2.57 \text{ Hz}$
 Torsion

Remarque :

La période obtenue sur Robot correspond à celle calculée grâce à l'EC8, les deux premiers modes correspondent à des translations et ont une fréquence similaire. De plus le troisième mode est une torsion. Nous pouvons en conclure que la structure a correctement été modélisée, ces résultats correspondent à nos attentes. Nous pouvons donc analyser les spectres de réponse sismiques.

Centre de masse et de rigidité

Juste avant, nous avons affiché les centres de masse et de raideur, ainsi qu'un tableau des étages nous donnant les positions de ces points ainsi que l'excentricité théorique et accidentelle. Nous avons également la masse de chaque étage, et celle du bâtiment par conséquent.

Remarque :

Une excentricité inférieure ou égale à 1 mètre est considérée comme négligeable

Ici, nous voyons que l'excentricité est relativement grande sur l'axe y. Cela est dû au vide représentant plus de 5% de la surface du bâtiment ainsi que l'escalier en extrémité du bâtiment. Nous pourrions donc placer des voiles du côté où il y a le vide et dans l'axe y, dans lequel l'excentricité est la plus importante. Cela de manière à diminuer l'excentricité.

Cas/Etage	Nom	Masse [kg]	G (x,y,z) [m]	R (x,y,z) [m]	ex0 [m]	ey0 [m]	ex2 [m]	ey2 [m]	ex1 [m]	ey1 [m]
7/ 1	Etage 1	365612.60	8.12 7.65 2.83	7.85 9.44 2.68	0.27	1.78	0.82	0.74	0.82	0.74
7/ 2	Etage 2	361092.99	8.13 7.64 5.85	7.80 9.80 5.71	0.33	2.16	0.82	0.74	0.82	0.74
7/ 3	Etage 3	348816.30	8.16 7.65 8.86	7.74 10.18 8.72	0.41	2.53	0.82	0.74	0.82	0.74
7/ 4	Etage 4	308021.65	7.43 7.67 11.86	7.66 10.59 11.69	0.23	2.92	0.75	0.74	0.75	0.74

A noté que le bâtiment cumule une masse totale de 1 383 tonnes.

5.2. Analyse sismique

On crée un cas de charge sismique, on y renseigne **$A_g = 1,6\text{m/s}^2$** car nous sommes à Nice en zone 4. Nous renseignons également le coefficient de comportement q :

$$q = q_0 k_w \geq 1,5$$

Nous sommes dans un cas de ductilité moyenne (DCM), d'après le tableau suivant issu de l'EC8, nous avons $q_0 = 3,0\alpha_u/\alpha_1$

Table 5.1: Basic value of the behaviour factor, q_0 , for systems regular in elevation

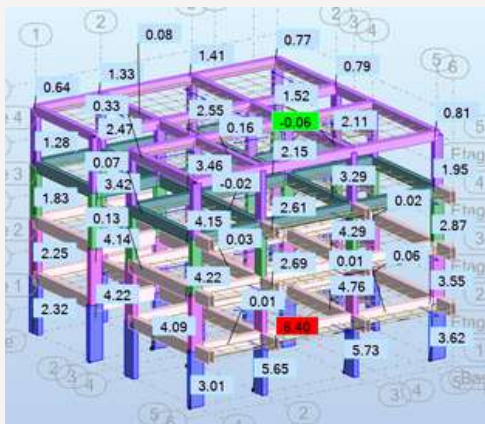
STRUCTURAL TYPE	DCM	DCH
Frame system, dual system, coupled wall system	$3,0\alpha_u/\alpha_1$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$
Uncoupled wall system	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$
Torsionally flexible system	2,0	3,0
Inverted pendulum system	1,5	2,0

Avec $\alpha_u/\alpha_1=1,3$ car notre bâtiment est composé de plusieurs étage et est droit dans son élévation. (donnée par l'EC8)

De plus $k_w = 1$ pour le système poteaux-poutres.

Nous obtenons finalement un coefficient de comportement **$q = 3,9$** .

Après avoir ajouté les combinaisons de charges ELU et ACC et avoir recalculé, nous regardons à nouveau les contraintes normales dans le cas ACC.



Nous devons donc vérifier que : $(1.075 \text{ N}/(bH)) / \sigma_0 < 0.65$ puisque nous sommes à l'ACC.

$$N/(bH) = 6.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_0 = 0.85 f_{cd} = 14 \text{ Mpa}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16.6 \text{ Mpa}$$

$$\text{Finalement, } (1.075 \text{ N}/(bH)) / \sigma_0 = 0.49 < 0.65$$

Donc la contrainte max ne dépasse pas la contrainte limite en compression.

Remarque :

L'inégalité est vérifiée à l'ACC selon l'Eurocode avec une structure poteaux-poutres.

Cartographie des barres : N/A à l'ACC

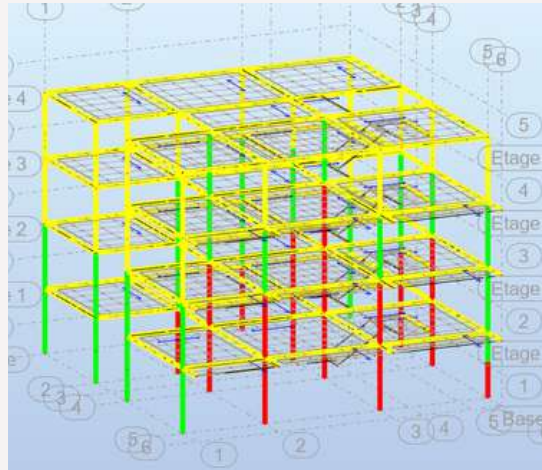
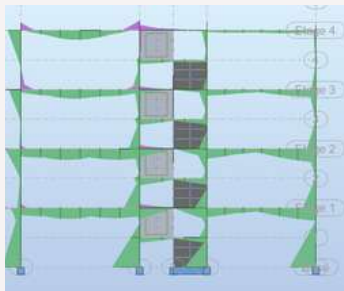
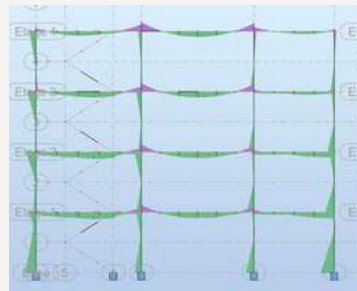


Diagramme des efforts : M_y à l'ACC

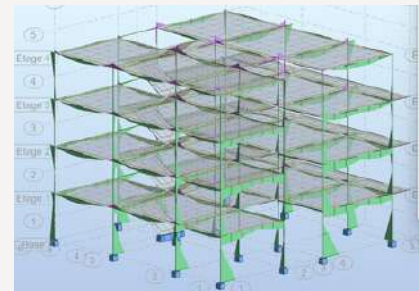
$M_y \text{ max} = 303\text{kNm}$
 $M_y \text{ min} = -111\text{kNm}$



Selon Ux

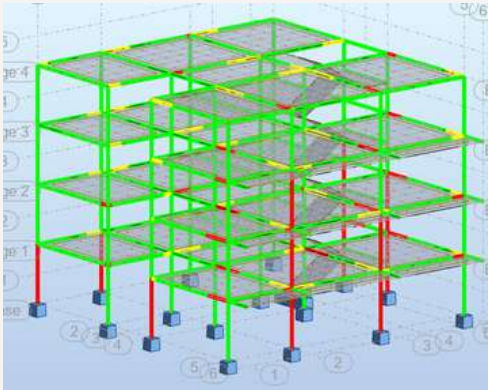


Selon Uy

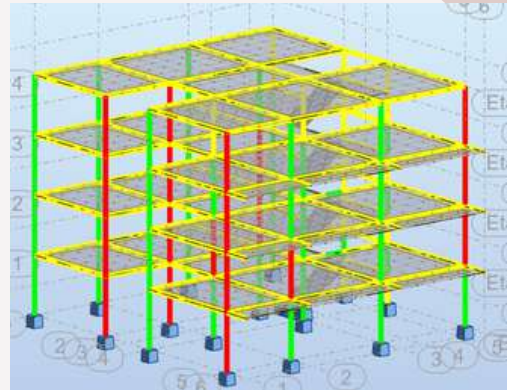


Vue 3D

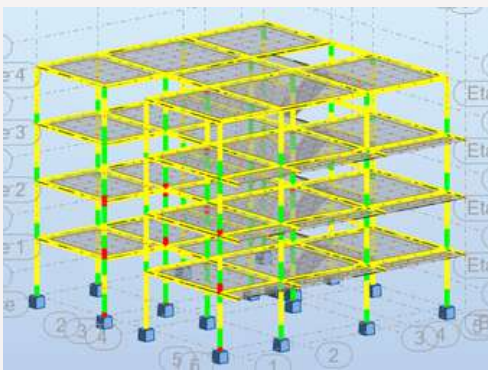
Cartographie : Fz, Fy, Mz, My



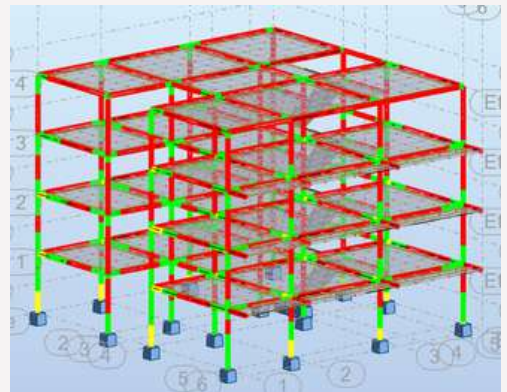
Fz



Fy



Mz



My

Tableau récap : ACC

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	1667,91	65,53	195,98	35,22	333,02	104,83
Barre	6	19	117	199	14	27
Noeud	11	6	37	96	27	43
Cas	ACC/18	ACC/30	ACC/14	ACC/18	ACC/102	ACC/14
MIN	-86,60	-113,23	-202,73	-35,35	-319,52	-105,02
Barre	157	19	2	199	4	27
Noeud	6	6	3	97	7	22
Cas	ACC/82	ACC/82	ACC/78	ACC/82	ACC/42	ACC/78

On affiche ensuite la note de calcul complète.

On y trouve le centre de gravité de la structure :

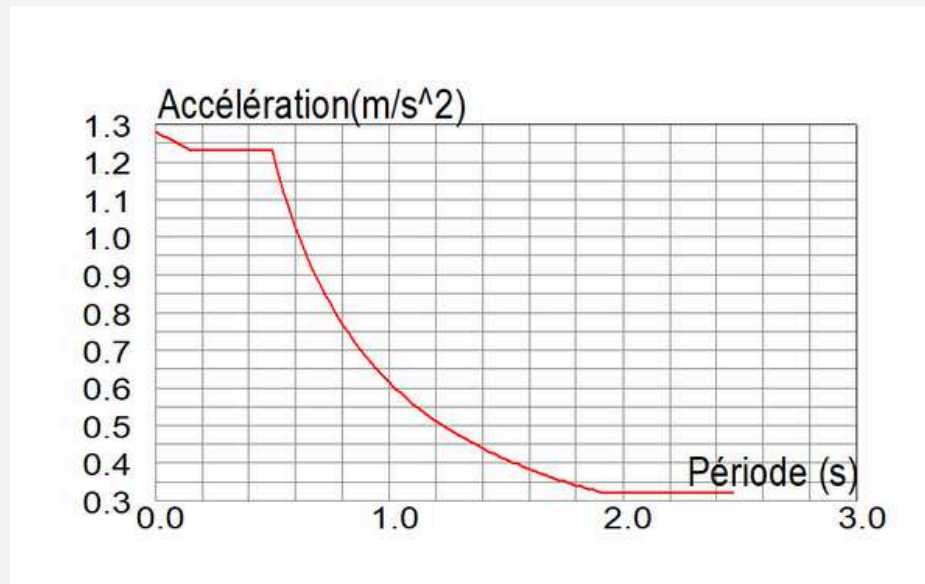
X= 8.241 m

Y= 7.663 m

Z= 6.804 m

On y retrouve également la masse du bâtiment : 1 383 tonnes

Ainsi que le spectre de réponse de dimensionnement.



Conclusion :

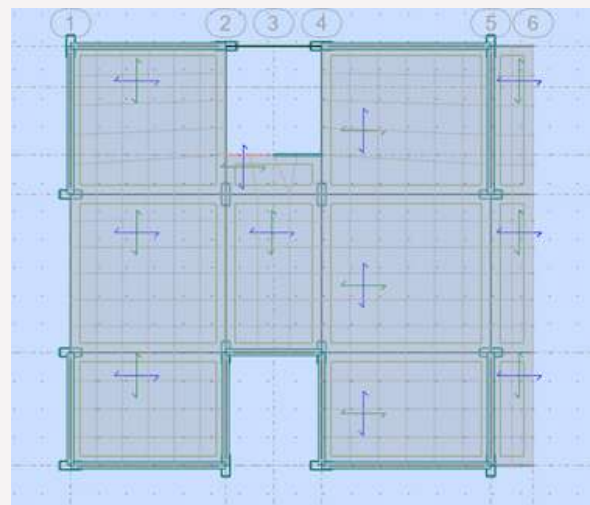
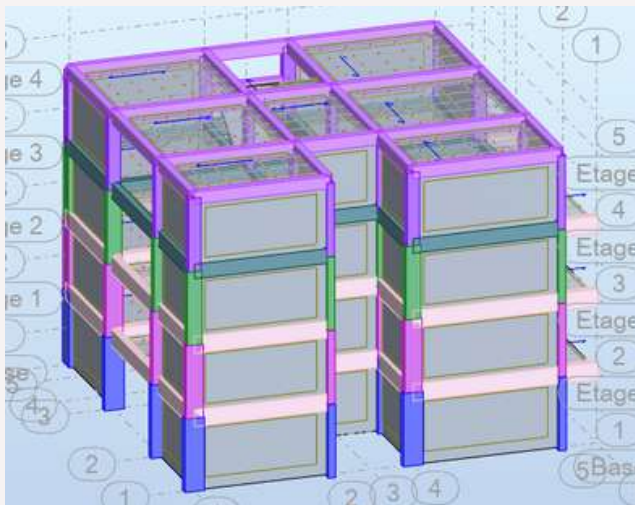
Nous pouvons désormais ajouté des voiles de manière à bloquer la torsion ainsi qu'à rapprocher le centre de masse de la structure de son centre de raideur. Ces deux idées sont liées.

6/ Structure avec voiles

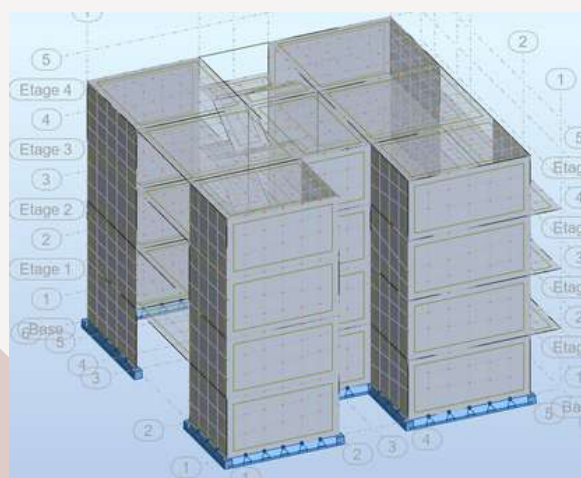
6.1. Modélisation 3D

Tout d'abord, nous modélisons des voiles de 30cm d'épaisseur en C25/30. Nous les plaçons d'abord dans les angles de manière à empêcher la torsion. Puis nous en avons rajouté sur les contours de la face avant où le vide est présent afin d'augmenter la masse de ce côté là. Egalement, l'ajout de voiles dans le sens où l'excentricité du bâtiment est la plus grande, à savoir, selon axe y, diminuera cette dernière.

Nous les avons placé tel que sur les images suivantes :



Après avoir modéliser les voiles, nous avons placé des appuis encastres linéaires simulant les fondations le long des voiles du RDC, que nous modéliserons par la suite. Nous avons également paramétré le maillage.



6.2. Analyse modale

Avant de vérifier l'analyse modale, comme précédemment :

- Nous négligeons la densité car le poids propre est pris en compte
- Nous définissons une excentricité accidentelle de 5% dans les directions x et y
- Nous modifions le nombre de mode à 50 pour atteindre 90% de masse participante car celle-ci n'était pas atteinte avant

Après avoir calculé, nous obtenons les résultats dynamiques suivants :

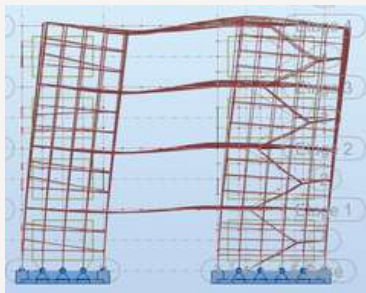
Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masses Cumulées UZ [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]	Masse Modale UZ [%]	Tot.mas.UX [kg]	Tot.mas.UY [kg]	Tot.mas.UZ [kg]
7I 1	8.52	0.12	0.09	69.89	0.03	0.09	69.89	0.03	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 2	9.65	0.10	72.28	69.97	0.05	72.19	0.08	0.02	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 3	10.70	0.09	72.60	70.21	3.50	0.32	0.24	3.45	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 4	12.65	0.08	72.65	70.82	4.15	0.04	0.61	0.65	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 5	13.61	0.07	72.82	70.95	5.61	0.17	0.13	1.45	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 6	13.90	0.07	72.99	71.06	10.36	0.17	0.12	4.76	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 7	14.14	0.07	72.99	71.10	12.43	0.00	0.04	2.07	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 8	15.87	0.06	72.99	71.11	19.87	0.00	0.01	7.44	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 9	16.89	0.06	73.08	71.54	20.82	0.09	0.43	0.95	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 10	17.10	0.06	73.12	71.54	21.60	0.05	0.00	0.78	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 11	17.21	0.06	73.12	71.55	23.59	0.00	0.01	1.98	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 12	18.15	0.06	73.68	71.55	24.70	0.56	0.00	1.11	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 13	19.15	0.05	74.14	71.59	24.97	0.46	0.04	0.27	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 14	19.34	0.05	77.45	71.64	25.08	3.31	0.05	0.10	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 15	20.12	0.05	84.63	71.64	25.08	7.18	0.00	0.00	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 16	20.31	0.05	84.80	71.97	25.30	0.16	0.33	0.22	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 17	20.42	0.05	85.12	72.07	27.10	0.33	0.10	1.80	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 18	21.17	0.05	85.14	72.11	29.56	0.02	0.04	2.46	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 19	22.32	0.04	85.34	73.03	29.93	0.19	0.92	0.37	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 20	22.78	0.04	85.38	73.10	31.37	0.04	0.07	1.44	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 21	23.26	0.04	85.41	73.79	31.38	0.03	0.69	0.01	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 22	23.84	0.04	85.53	75.54	31.38	0.12	1.74	0.01	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 23	24.12	0.04	85.85	75.79	31.67	0.31	0.26	0.29	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 24	24.40	0.04	86.66	80.52	32.02	0.81	4.72	0.34	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 25	24.84	0.04	86.89	87.50	32.57	0.23	6.99	0.55	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 26	24.92	0.04	87.14	87.83	32.60	0.25	0.33	0.03	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 27	25.54	0.04	87.21	88.48	32.69	0.06	0.65	0.10	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 28	26.51	0.04	87.58	88.49	33.51	0.37	0.00	0.81	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 29	26.88	0.04	87.58	88.49	34.38	0.01	0.01	0.87	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 30	27.01	0.04	88.02	88.50	34.77	0.43	0.01	0.39	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 31	27.47	0.04	88.04	88.52	34.83	0.02	0.02	0.07	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 32	27.67	0.04	88.09	88.55	39.05	0.05	0.03	4.21	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 33	28.20	0.04	88.38	88.59	39.06	0.30	0.04	0.02	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 34	28.41	0.04	88.41	88.59	39.22	0.03	0.00	0.15	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 35	28.45	0.04	88.60	88.63	39.23	0.19	0.03	0.01	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 36	29.33	0.03	88.66	88.67	39.86	0.06	0.04	0.64	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 37	29.40	0.03	88.78	88.67	40.33	0.12	0.00	0.47	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 38	30.60	0.03	89.07	88.68	40.39	0.29	0.01	0.05	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 39	30.94	0.03	89.61	88.77	40.53	0.54	0.09	0.15	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 40	31.38	0.03	89.69	88.85	40.63	0.08	0.08	0.10	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 41	31.91	0.03	89.70	89.64	41.00	0.01	0.79	0.37	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 42	32.14	0.03	89.90	89.83	42.14	0.20	0.19	1.14	1772152.30	1772152.30	1772152.30
7I 43	32.57	0.03	90.44	89.83	43.86	0.54	0.00	1.72	1772152.30	1772152.30	1772152.30

De ce tableau, nous pouvons voir que la masse participante dépasse les 90% au mode 43. Nous obtenons également les paramètres de rigidité de la structure sur la ligne du mode 1.

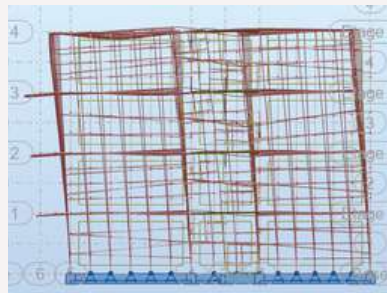
A savoir :

- La fréquence = 8.52 Hz
- La période = 0.12 s

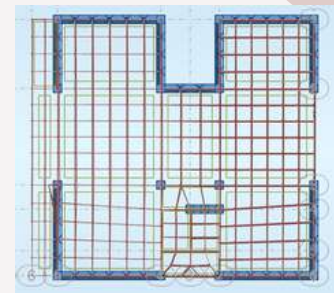
Nous regardons ensuite les déplacements selon les modes :



MODE 1
 $f = 8.52 \text{ Hz}$
 Translation selon x



MODE 2
 $f = 9.65 \text{ Hz}$
 Translation selon y



MODE 3
 $f = 10.70 \text{ Hz}$
 Torsion

Remarque : Nous voyons que l'ajout de voiles augmente la fréquence de vibration et diminue par conséquent sa période. Cette caractéristique nous intéressera par la suite lors de l'étude des fondations. Nous voyons également que les modes 1 et 2 restent des translations respectives selon x et y. De plus le mode 3 présente une torsion complètement bloquée comme cela était prévu.

Centre de masse et de rigidité

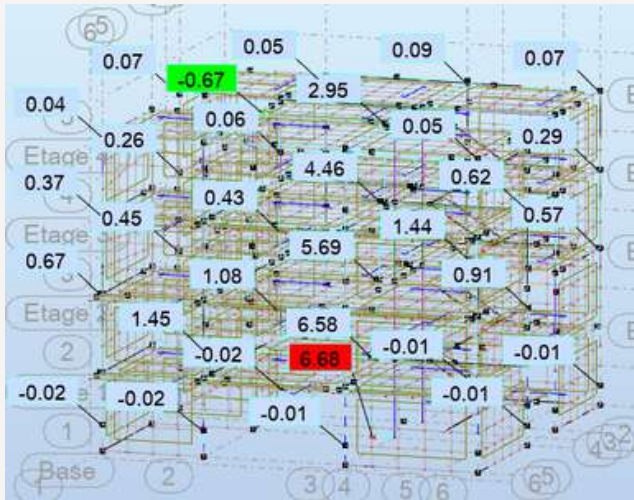
En comparaison avec la structure sans voile, nous voyons dans le tableau ci-dessous que les excentrement ont grandement diminués. La structure avec voile est donc plus stable et résistante face à la torsion. Les excentrement étant inférieures à 1 m sont ici négligeables. Cela signifie que le centre de masse de la structure est très proche de son centre de raideur.

Cas/Etage	Nom	Masse [kg]	G (x,y,z) [m]	R (x,y,z) [m]	ex0 [m]	ey0 [m]	ex2 [m]	ey2 [m]	ex1 [m]	ey1 [m]
7/ 1	Etage 1	462068.32	7.93 7.41 2.55	7.39 7.27 2.23	0.53	0.14	0.82	0.74	0.82	0.74
7/ 2	Etage 2	457548.71	7.94 7.40 5.56	7.39 7.27 5.24	0.54	0.12	0.82	0.74	0.82	0.74
7/ 3	Etage 3	445272.01	7.95 7.40 8.55	7.39 7.27 8.22	0.56	0.12	0.82	0.74	0.82	0.74
7/ 4	Etage 4	407263.26	7.43 7.39 11.53	7.39 7.27 11.14	0.04	0.12	0.75	0.74	0.75	0.74

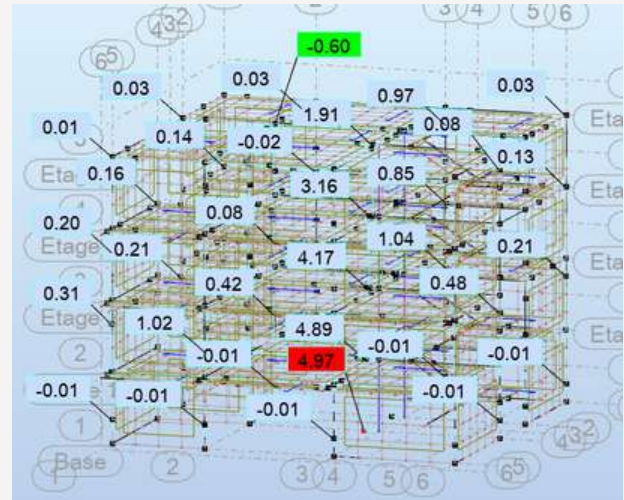
A noter que le bâtiment cumule une masse totale de 1 772 tonnes soit 400 tonnes de plus que la structure poteaux poutres.

6.3. Analyse sismique

Après calcul, nous obtenons les résultats suivants :



Contrainte normale à l'ELU



Contrainte normale à l'ACC

Remarque :

Nous pouvons en déduire que les charges sont mieux réparties. Les voiles en périphéries, à la base du bâtiment, reprennent plus de charges et les distribuent sur les appuis linéaires.

De plus, nous vérifions à l'ACC que $(1.075 \text{ N/(bH)}) / \sigma_0 = 0.38 < 0.65$

Avec $\text{N/(bH)} = 4.97 \text{ MPa}$

La contrainte max ne dépasse donc pas la résistance limite en compression, il n'est donc pas nécessaire de redimensionner les éléments de la structure. Sur ce point, la structure poteaux poutres sans les voiles était suffisante.

Efforts tranchants sur poteaux et voiles

Dans le cas de charge sismique, nous avons affiché les tableaux suivants :

Dans la direction x :

Cas/Etage	FX [kN]	FY [kN]	FX sur les poteaux [kN]	FX sur les voiles [kN]	FY sur les poteaux [kN]	FY sur les voiles [kN]
8/ 1	1629.33	64.65	183.36	1445.97	8.41	56.24
8/ 2	1474.28	57.65	90.74	1383.54	3.84	53.80
8/ 3	1142.12	43.45	78.89	1063.23	3.29	40.15
8/ 4	628.35	25.01	43.88	584.47	2.35	22.66

Dans la direction y :

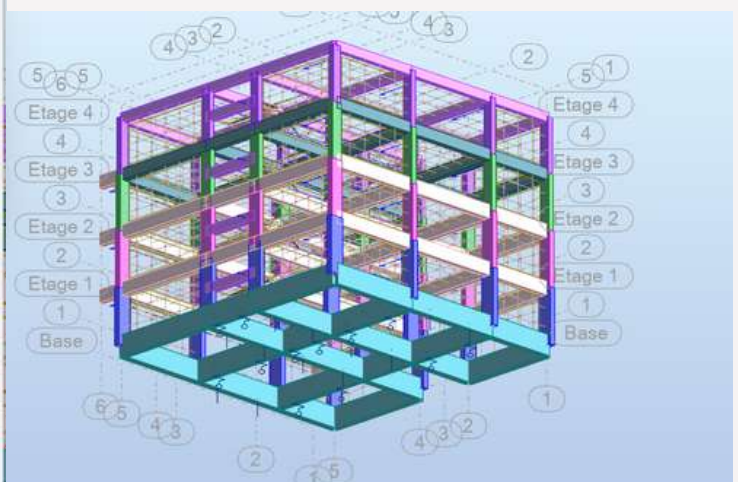
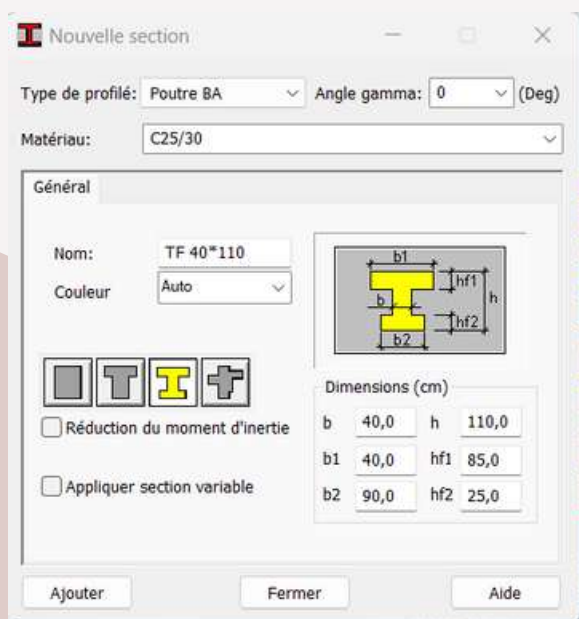
Cas/Etage	FX [kN]	FY [kN]	FX sur les poteaux [kN]	FX sur les voiles [kN]	FY sur les poteaux [kN]	FY sur les voiles [kN]
9/ 1	64.65	1586.40	9.40	55.25	206.68	1379.72
9/ 2	58.34	1439.20	3.35	54.99	104.72	1334.48
9/ 3	46.04	1132.07	3.34	42.70	81.74	1050.33
9/ 4	27.37	642.16	2.76	24.61	41.25	600.90

Nous voyons que dans la direction x, 89% des efforts tranchant sont sur les voiles. Dans la direction y, c'est 87% des efforts tranchants qui sont repris par les voiles. Nous en déduisons donc que la structure est de type mixte mur porteurs.

7/ Fondations

Dans cette partie, nous effectuerons des analyses afin de déterminer le type de fondation nécessaire pour notre bâtiment. Étant donné que notre bâtiment se situe à Nice, dans une zone sismique, nous avons un choix de fondations restreint dû à cette contrainte. Il nous reste deux options pour les fondations : les semelles filantes ou le radier.

Dans un premier temps, nous allons analyser le comportement de notre bâtiment avec des fondations en semelles filantes.



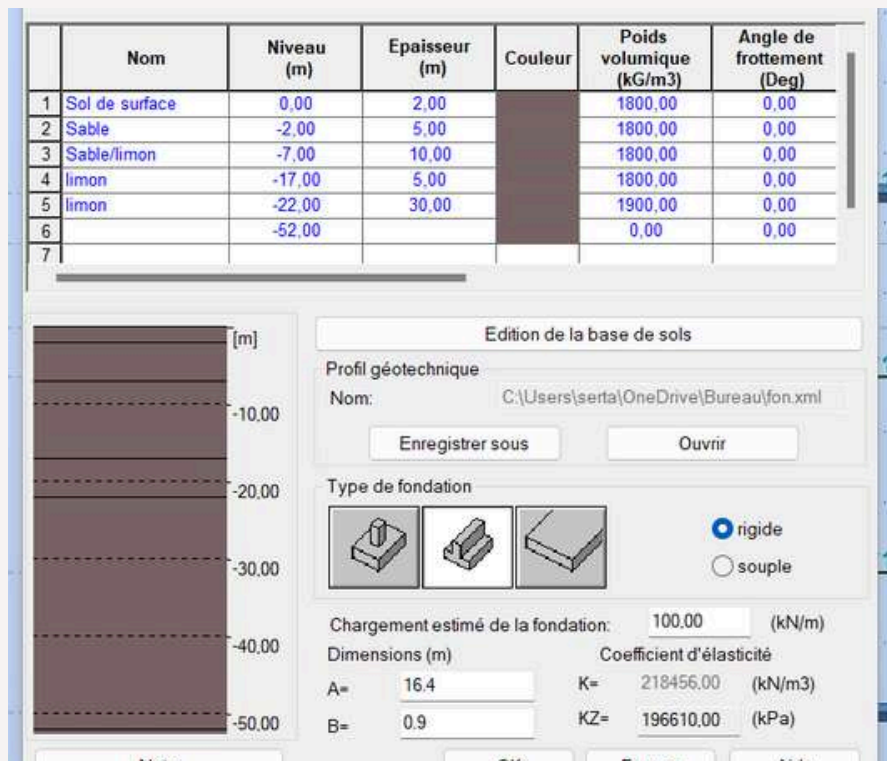
Une fois la poutre créée, nous avons procédé à la mise en place des fondations. L'avantage de ce type de profilé est que la contrainte est réduite et le bras de levier est plus important.

La prochaine étape est de déterminer le module d'élasticité de notre sol. Etant données que notre sol est de type B, on se concentre sur la première partie du tableau

Layers	Soil type	h (m)	ρ (kg/m ³)	vs (m/s)	htot (m)	vs30 (m/s)	vsm (m/s)	ni	G (N/m ²) = ρv_s^2	E (N/m ²) = $2G(1+ni)$	f0_30	f0_52 (Hz)	SOL TYPE B
1	Surface soil	2	1800	200	52	374,5	433,0	0,3	72000000,0	187200000,0	3,1	2,1	
2	Sand	5	1800	300				0,3	162000000,0	421200000,0			
3	Sand/Silt	10	1800	450				0,3	364500000,0	947700000,0			
4	Silt	5	1800	300				0,3	162000000,0	421200000,0			
5	Sand	30	1900	550				0,3	574750000,0	1494350000,0			
Layers	Soil type	h (m)	ρ (kg/m ³)	vs (m/s)	htot (m)	vs30 (m/s)	vsm (m/s)						SOL TYPE C
1	Surface soil	2	1800	150	52	278,6	342,9						
2	Clay	5	1800	200									
3	Silt	10	1800	300									
4	Clay	5	1800	250									
5	Sand/Silt	30	1900	500									
Layers	Soil type	h (m)	ρ (kg/m ³)	vs (m/s)	htot (m)	vs30 (m/s)	vsm (m/s)						SOL TYPE A
1	Surface soil	2	1800	600	52	802,5	875,7						
2	Dense sand	5	1800	700									
3	Gravel	10	1800	850									
4	Dense sand	5	1800	700									
5	Rock	30	1900	1000									

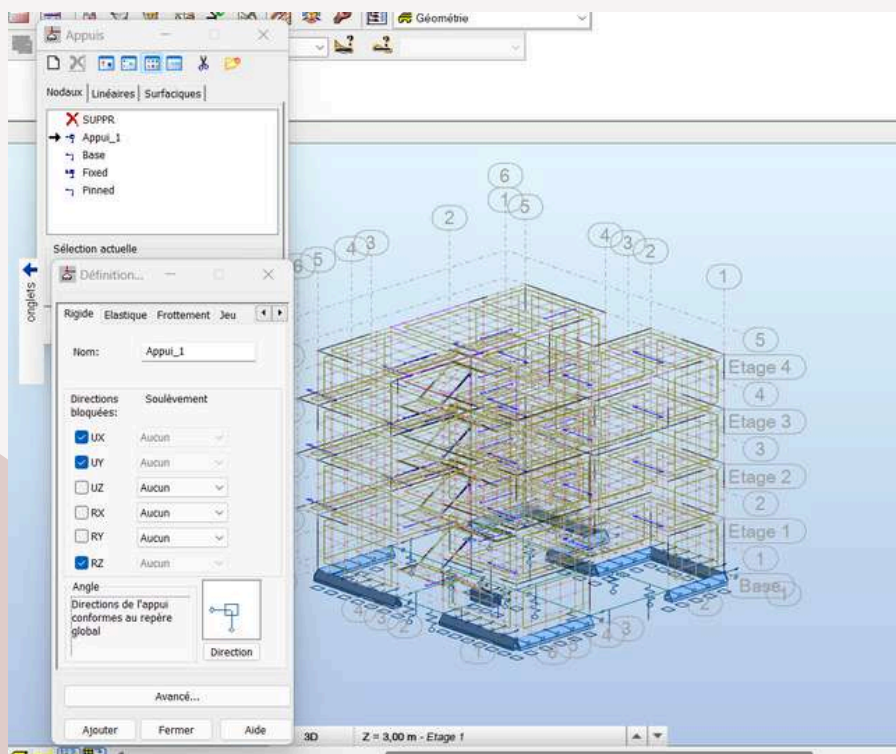
Comme on le voit sur le fichier Excel, notre sol comporte différents niveaux, avec à chaque fois une matière différente. À partir des données fournies, nous avons calculé le module de cisaillement G (ρv_s^2) et le module de Young E ($2G(1+\nu)$).

En reportons nos valeur sur robot, On obtient ceci :



On a une valeur de 196610 kPa pour le module d'élasticité de notre sol.

La prochaine étape est de déterminer les déplacements U_z du bâtiment. Nous allons donc bloquer les nœuds qui se trouvent à la fondation du bâtiment.



	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]	RX [Deg]	RY [Deg]	RZ [Deg]
MAX	0,8857	2,0713	0,7580	0,23	0,20	0,06
Noeud	75	81	840	106	979	101
Cas	ACC/14	ACC/30	ACC/30	ACC/54	ACC/22	ACC/18
MIN	-0,7464	-2,9247	-1,8240	-0,18	-0,18	-0,04
Noeud	72	81	1461	5	1018	101
Cas	ACC/114	ACC/82	ACC/82	ACC/82	ACC/122	ACC/94

Enfin on affiche le tableau de déplacement des noeuds de la fondation, on obtient une valeur minimum de -1.82 cm

q'	18,00	kN/m ²	
q_{lim}	1244,42	kN/m ²	
q_{max}	414,81	kN/m ²	
q_{max}	0,41	N/mm ²	

Pour conclure, on procède à la vérification

$$K \cdot U_{zmax} = 196610 \cdot (-1.824) \cdot 10^{-3} = 358.61 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{lim} / F_s = Q_{max} = 414.81 \text{ kN/m}^2$$

On obtient bien : $K \cdot U_{zmax} < Q_{max}$

Ce qui signifie que les fondations en semelles filantes sont suffisante pour maintenir la structure. Nous n'avons pas besoin de concevoir un radier.