



Réalisée par : M. W Serge Auguste NANA

60 Rue L.Durell, imm. "Le Revermont"
Site AGROPARC
84140 Avignon
Tel: 04.32.74.25.43

Pour le compte de :



RUE DU KEMMEL
ZONE INDUSTRIELLE N3
59280 ARMENTIERES
Tél : +336 47 52 70 52
<https://www.bekaert.com>

NOTE DE CALCUL CUBIK HOME BETON FIBRE

**BEKAERT
FRANCE**

Note éditée le : 12/07/2018
Dossier AMOCER n°:2018 04 016

Date	Description Modifications	Auteur	Vérificateur	Indice
07/06/2018	INITIAL	W Serge Auguste NANA	G. CARDIA	0
12/07/2018	CORRECTIONS	W Serge Auguste NANA		

Les modifications apportées par rapport à la version précédente sont écrites en rouge

SOMMAIRE

I/	OBJET DE L'ETUDE.....	3
II/	DONNEES GEOMETRIQUES.....	3
III/	DONNEES GEOGRAPHIQUE	5
IV/	PROPRIETES DES MATERIAUX.....	5
V/	HYPOTHESES DE L'ETUDE AU SEISME	6
V.1/	APPROCHE DE MODELISATION DU SEISME.....	6
V.2/	SPECTRE DE REPONSE ELASTIQUE	6
V.3/	VALEUR DE L'AMORTISSEMENT MODAL.....	8
V.4/	COEFFICIENT DE COMPORTEMENT - APPROCHE PLASTIQUE SIMPLIFIEE	8
VI/	DESCRIPTION DU MODELE STRUCTURAL	10
VII/	RESULTATS NUMERIQUES: CAS D'UN SEISME DE ZONE 5.....	11
VII.1/	MODULE STANDARD RDC.....	11
VII.2/	MODULE RDC + RI.....	23
VIII/	RESULTATS NUMERIQUES: CAS D'UN SEISME DE MAGNITUDE M=8.0.....	31
VIII.1/	MODULE STANDARD RDC.....	32
VIII.2/	MODULE RDC + RI.....	36
IX/	RECAPITULATIF DE L'ETUDE.....	40
X/	DOCUMENTS DE REFERENCE.....	41

I/ OBJET DE L'ETUDE

Dans cette note de calcul, la sécurité sismique de l'habitat modulaire CUBIK HOME est examinée d'abord pour un module standard RDC et vérifiée ensuite pour un R+1. Les modules sont réalisés en béton fibré (fibres de nature métallique-acier). Nous menons ici des simulations numériques suivant les Eurocode 8 sur la base des données géométriques fournies et d'hypothèses de calcul, afin de vérifier la tenue au séisme de l'habitat. Nous nous plaçons dans le cas d'une zone 5 à très forte sismicité où l'aléa et le risque sismique sont les plus élevés selon les Eurocode 8. Les simulations sont réalisées avec le logiciel Graitec Advance Design.

II/ DONNEES GEOMETRIQUES

DONNEES GEOMETRIQUES DU MODULE A ETUDIER

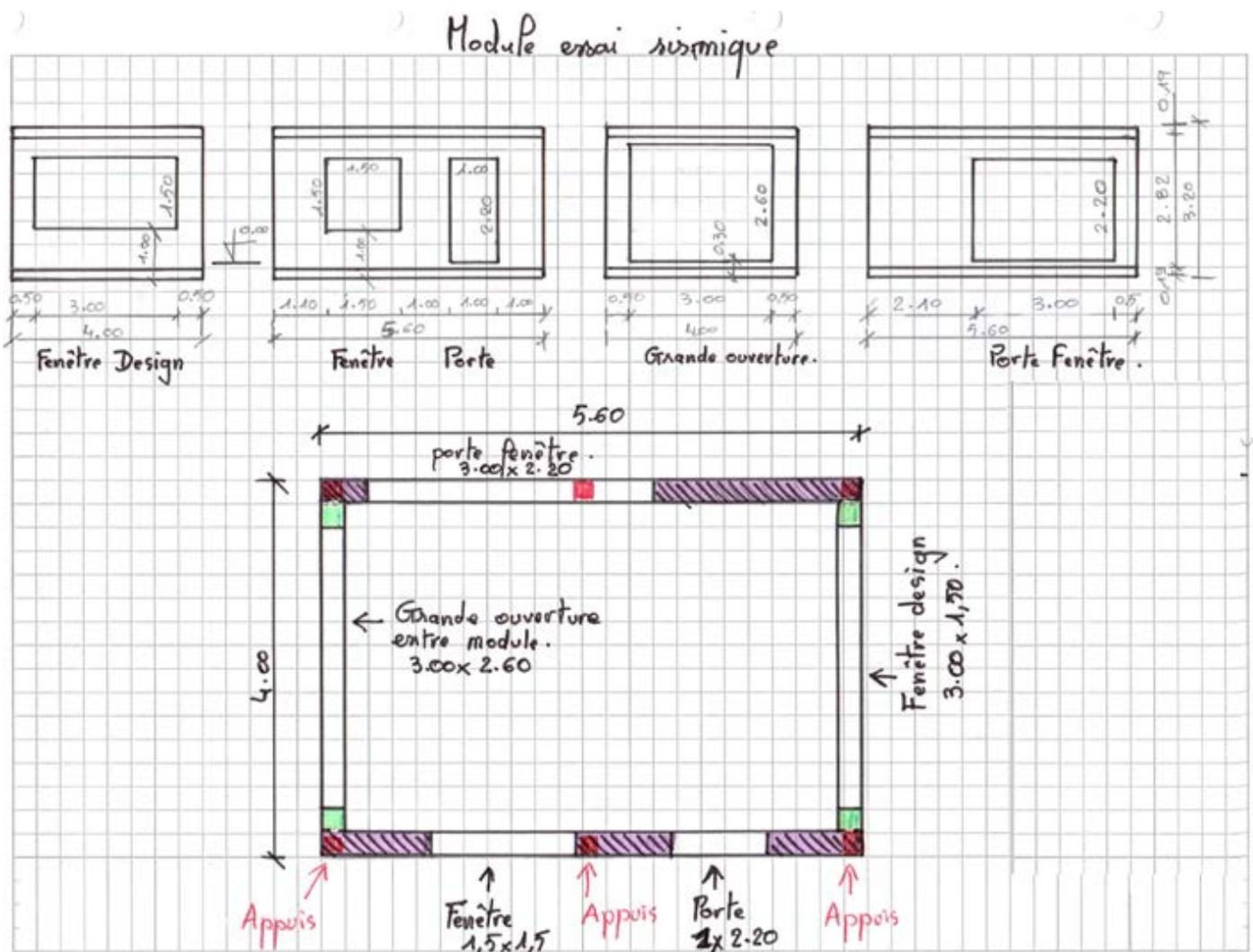


ILLUSTRATION 3D D'UN MODULE TYPE (taille maxi)



NB : Certains aspects du mode constructif étant sous licence, ils ne sont pas explicités dans cette version de la note de calcul, mais pris en compte dans le calcul (images non contractuelles)

III/ DONNEES GEOGRAPHIQUE

Dans notre étude, nous nous plaçons dans le cas d'une zone sismique maximale 5 selon l'Eurocode 8 (Exemple de la Guadeloupe). La classe de sol est E choisie par hypothèse (Classe défavorable) et la catégorie d'importance du CUBIK HOME classé en catégorie II.

Commune : Baie-Mahault (971 Guadeloupe)

Canton : Baie-Mahault

Altitude : 0,0 m

Distance à la mer : 0,0 km

Construction parasismique

Zone de sismicité : 5

Catégories de bâtiment : II, III ou IV

Norme NF EN 1998-1:2005

Accélération maximale de référence (sol de classe A) :

- bâtiment neuf : 3,0 m/s²
- bâtiment existant : 1,8 m/s²

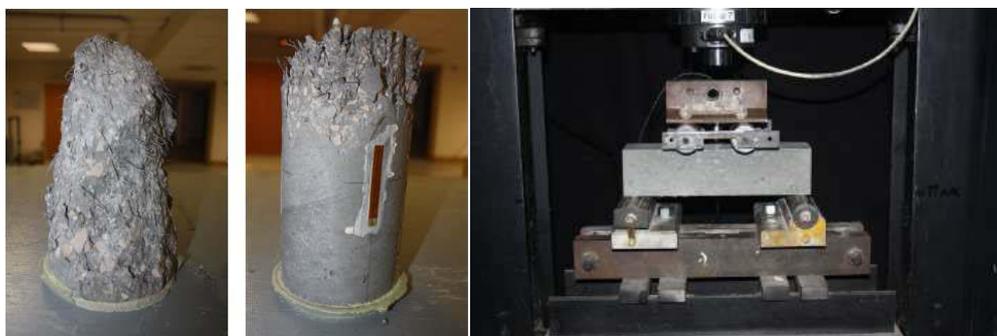
Paramètre de sol S :

- sol de classe A : 1,00
- sol de classe B : 1,20
- sol de classe C : 1,15
- sol de classe D : 1,35
- sol de classe E : 1,40

IV/ PROPRIETES DES MATERIAUX

Des essais expérimentaux ont déjà été réalisées via l'INSA de Lyon afin de caractériser le béton fibré d'un habitat modulaire de même type (Essais réalisés en 2014, en attente des résultats d'essais de 2018 à 28 jours pour validation, résultats qui ne devraient pas considérablement s'éloigner des résultats antérieurs).

Les fibres utilisées sont de type DRAMIX RC-65/35-BN de 1100MPa de résistance à la traction incluses dans un béton de résistance en compression >70 MPa. La longueur des fibres est de 35 mm. Pour que le comportement après fissuration soit écrouissant, la quantité de fibres incluses est considérée au minimum à environ 80kg/m³ de béton (parfaitement plastique) à 100kg/m³ (écrouissant). Des éprouvettes cylindriques 11cm×22cm sont destinées aux essais de compression simple et de traction par fendage, et des éprouvettes prismatiques 7cm×7cm×28cm destinées à la caractérisation de la résistance en traction par flexion 4 points.



Éprouvettes prismatiques (7×7×28)cm	F _{i28} (à 28jours) [MPa]	Valeur moyenne [MPa]	Ecart-type	Valeur caractéristique [MPa]
N°1	14.35	11.0	2.3	7.3
N°2	12.05	11.0	2.3	7.3
N°3	9.16	11.0	2.3	7.3
N°4	8.87	11.0	2.3	7.3
N°5	10.74	11.0	2.3	7.3
Éprouvettes cylindriques (11×22)cm	F _{C28} (à 28jours) [MPa]	Valeur moyenne [MPa]	Valeur caractéristique retenue [MPa]	Module de Young [MPa]
N°1	89	86	70	32366
N°2	85	86	70	33227
N°3	86	86	70	Non instrumentée

V/ HYPOTHESES DE L'ETUDE AU SEISME

V.1/ APPROCHE DE MODELISATION DU SEISME

Parmi les différentes approches courantes de modélisation au séisme (approche dynamique temporelle non linéaire, la méthode spectrale, recombinaison modale temporelle), l'analyse modale associée à la définition d'un spectre de réponse élastique spécifiée dans les normes de construction est adoptée dans notre étude (méthode spectrale). Du fait de son caractère conservatif il est plus adapté pour le design. Cette dernière permet de déterminer la réponse maximale au cours du temps du CUBIK HOME soumis à une excitation sismique dont on ne connaît pas le profil temporel mais pour laquelle on dispose d'un spectre de sol regroupant les réponses dynamiques maximales de plusieurs accélérogrammes. Il est à noter que le calcul spectral adopté ici suppose un comportement linéaire du CUBIK HOME.

Pour une décomposition modale complète, la somme des masses modales doit être égale au total des masses actives dans la direction étudiée. L'obtention d'une somme de masses modales d'au moins 90% de la masse totale de la structure, est une vérification généralement efficace pour éviter de négliger un mode important. Nous fixons ce critère à 100% dans notre analyse et incluons autant de modes qu'il est nécessaire afin de garantir cette précision.

$$\sum_n m_{mod,n} = \sum_n m_n$$
$$m_{mod,n} = \left(\frac{r_n}{m_n}\right)^2 \times m_n = \frac{(\sum_j A_{jn} m_j)^2}{\sum_j A_{jn}^2 m_j}$$

Dans l'analyse modale, la réponse totale s'obtient en superposant les réponses des différents modes. Cela ne peut être appliquée telle quelle dans la méthode du spectre de réponse utilisée dans notre étude car les maxima de chaque mode ne coïncident pas dans le temps. La simple addition des réponses modales conduirait à des valeurs trop défavorables car cela reviendrait à considérer la simultanéité des maxima. Parmi les règles de superposition couramment utilisées (SRSS : Square Root of the Sum of the Squares – CQC : Combinaison Quadratique Complète), la combinaison CQC est adoptée dans notre étude. La combinaison SRSS permet une bonne évaluation de la réponse maximale si les modes sont bien séparés mais se montre trop optimiste lorsque les fréquences de deux modes propres (ou plus) sont voisines. La combinaison CQC constitue de ce fait une amélioration.

Type d'analyse	Comportement du module	Critère sur somme masses modales	Règle de superposition des modes
Méthode Spectrale	Linéaire-Elastique	100% M_t	CQC

V.2/ SPECTRE DE REPONSE ELASTIQUE

Le spectre de réponse élastique utilisé dans notre étude est celui spécifié dans l'Eurocode 8. Pour le spectre de réponse de l'accélération, on y reconnaît différents domaines : La région du plateau souligne la gamme de périodes (entre T_B et T_C) où l'accélération du sol (a_{gd}) est amplifiée. Trois facteurs interviennent dans cette amplification. Un facteur constant de 2.5, un facteur dépendant des caractéristiques du terrain de fondation (S) et un facteur correctif (η) tenant compte du coefficient d'amortissement considéré. Les expressions analytiques pour un spectre de réponse élastique horizontal sont données ci-dessous.

$$S_e = a_{gd} S \left[1 + \frac{(2.5\eta - 1)T}{T_B} \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$$
$$S_e = 2.5 a_{gd} S \eta \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e = 2.5a_{gd}S\eta \frac{T_C}{T} T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e = 2.5a_{gd}S\eta \frac{T_C T_D}{T^2} T_D \leq T \leq 4s$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1}{0.5 + 10\xi}} \geq 0.55$$

Les valeurs spectrales du déplacement ($S_{u,n} = S_{e,n}/\omega_n^2$) permettent de déterminer la réponse modale maximale $z_{n,max}$ et par déduction les déplacements maximaux de chaque mode.

$$z_{n,max} = \frac{|r_n|}{m_n} S_{u,n}(\omega_n, \zeta) = \frac{|r_n|}{\omega_n^2 m_n} S_{e,n}(\omega_n, \zeta)$$

$$x_{n,max} = \underline{A}_n z_{n,max}$$

Zone sismique	Classe de sol	Catégorie d'importance	Accélération du sol a_{gr} [m/s ²]	Paramètre de sol S	T_B [s]	T_C [s]	TD [s]
5	E	II	3.0	1.40	0.15	0.5	2.0

Les expressions analytiques pour un spectre de réponse élastique vertical sont données ci-dessous.

$$S_e = a_{vg}S \left[1 + \frac{(3\eta - 1)T}{T_B} \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e = 3.0a_{vg}\eta \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e = 3.0a_{vg}\eta \frac{T_C}{T} T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e = 2.5a_{gd}S\eta \frac{T_C T_D}{T^2} T_D \leq T \leq 4s$$

Zone sismique	a_{vg}/a_g	T_B [s]	T_C [s]	TD [s]
5	0.9	0.15	0.4	2.0

L'Eurocode 8 permet de prendre en compte le cas des structures ayant une période de vibration longue. L'action sismique peut alors être représentée sous la forme d'un spectre de réponse en déplacement, $S_{De}(T)$. Les expressions analytiques sont données ci-dessous :

$$S_{De} = 0.025a_g S T_C T_D \left[2.5\eta + \frac{(T - T_E)}{(T_F - T_E)} (1 - 2.5\eta) \right] T_E \leq T \leq T_F$$

$$S_{De} = d_g \quad T \geq T_F$$

$$d_g = 0.025a_g S T_C T_D$$

$$S_{De} = S_e \left[\frac{T}{2\pi} \right]^2$$

Pour un sol de classe E : $T_E = 6.0s$; $T_F = 10.0s$

V.3/ VALEUR DE L'AMORTISSEMENT MODAL

Un coefficient d'amortissement constant est spécifié directement pour tous les modes (alternative à l'amortissement de Rayleigh pour garantir un amortissement classique). Une valeur forfaitaire de $\zeta = 5\%$ est retenue dans notre étude et est tout à fait justifiable dans le contexte parasismique. L'amortissement est considéré de type visqueux.

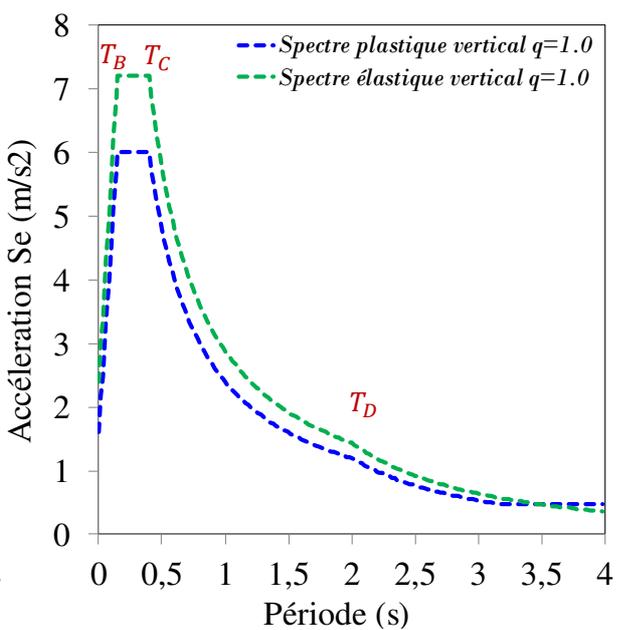
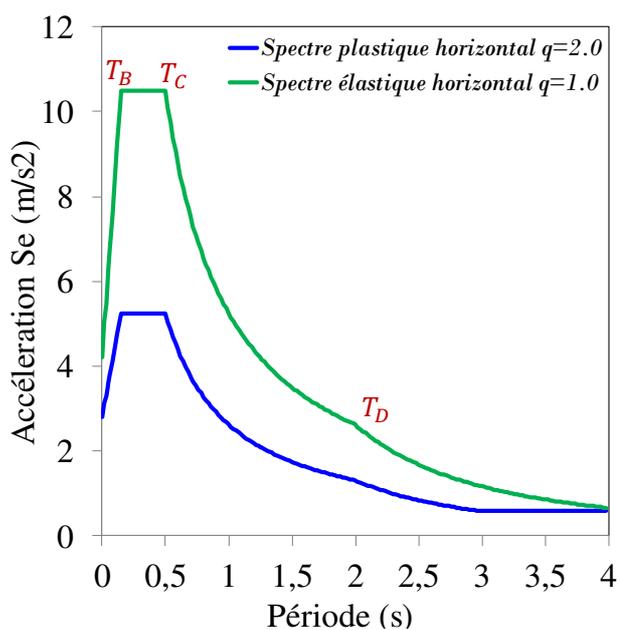
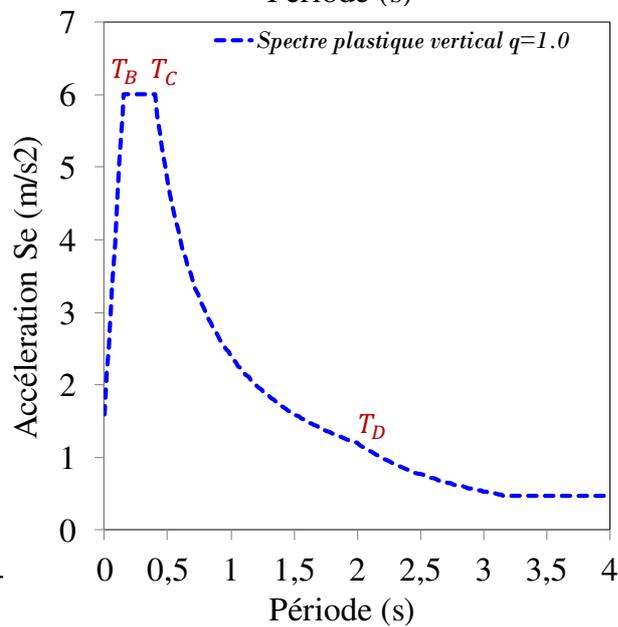
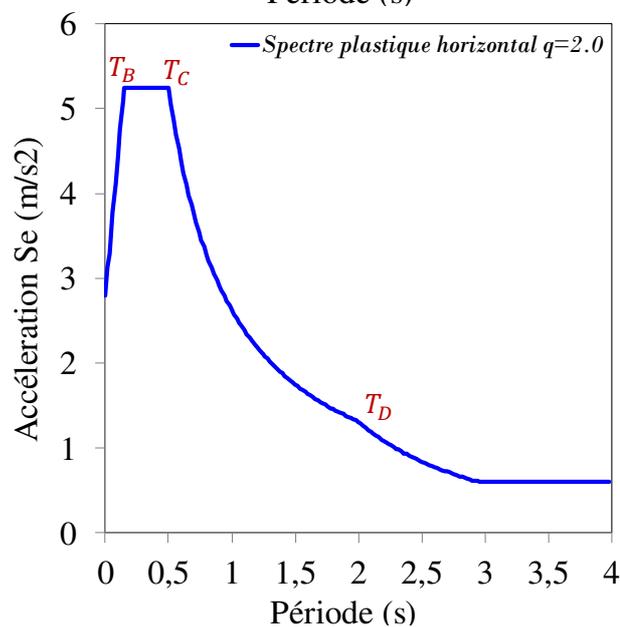
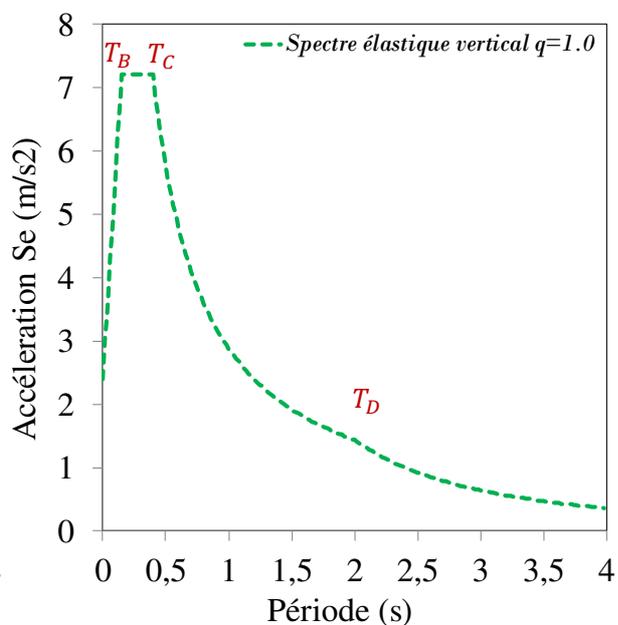
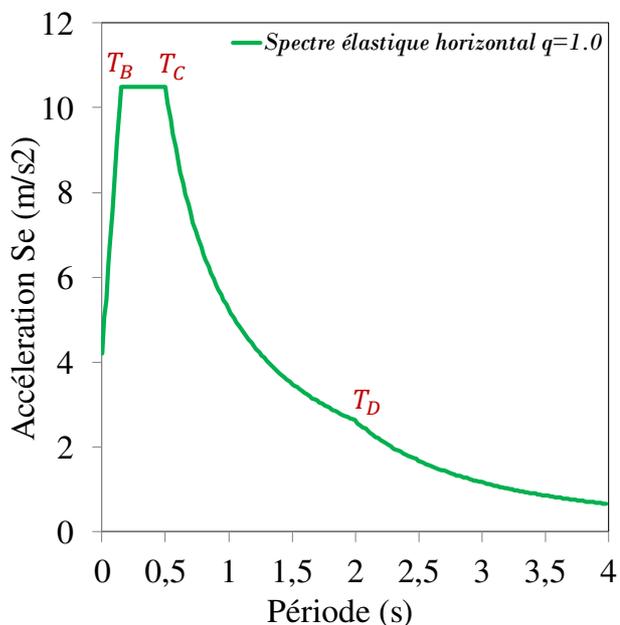
V.4/ COEFFICIENT DE COMPORTEMENT – APPROCHE PLASTIQUE SIMPLIFIEE

Le calcul spectral, comme mentionné suppose un comportement linéaire de la structure (sauf analyse purement dynamique non linéaire). Or il n'est pas réaliste de considérer que le comportement des structures reste dans le domaine linéaire, pour des séismes de forte intensité. Pour un séisme de faible niveau il est aisé d'admettre que la structure reste dans un état élastique. Il faut donc sur la base des résultats d'un calcul linéaire, le moyen de déterminer le niveau de déformation qui correspondrait à la réalité (comportement non linéaire).

On admet que les déformations réelles (comportement non linéaire supposé élastique parfaitement plastique) sont sensiblement égales à celles que l'on calcule sur un modèle linéaire correspondant à l'état initial (non fissuré) de la structure. Il en résulte alors que l'effort élasto-plastique associé est égal à l'effort calculé sur un modèle élastique divisé par le coefficient de ductilité. Il est donc admis que les efforts réels dans une structure peuvent être obtenus à partir des efforts calculés sur un modèle linéaire correspondant à l'état non dégradé en les divisant par un coefficient de comportement q .

Comportement Elastique	Comportement plastique Simplifié	
$q = 1.00$	$q_H = 2.00$	$q_V = 1.00$

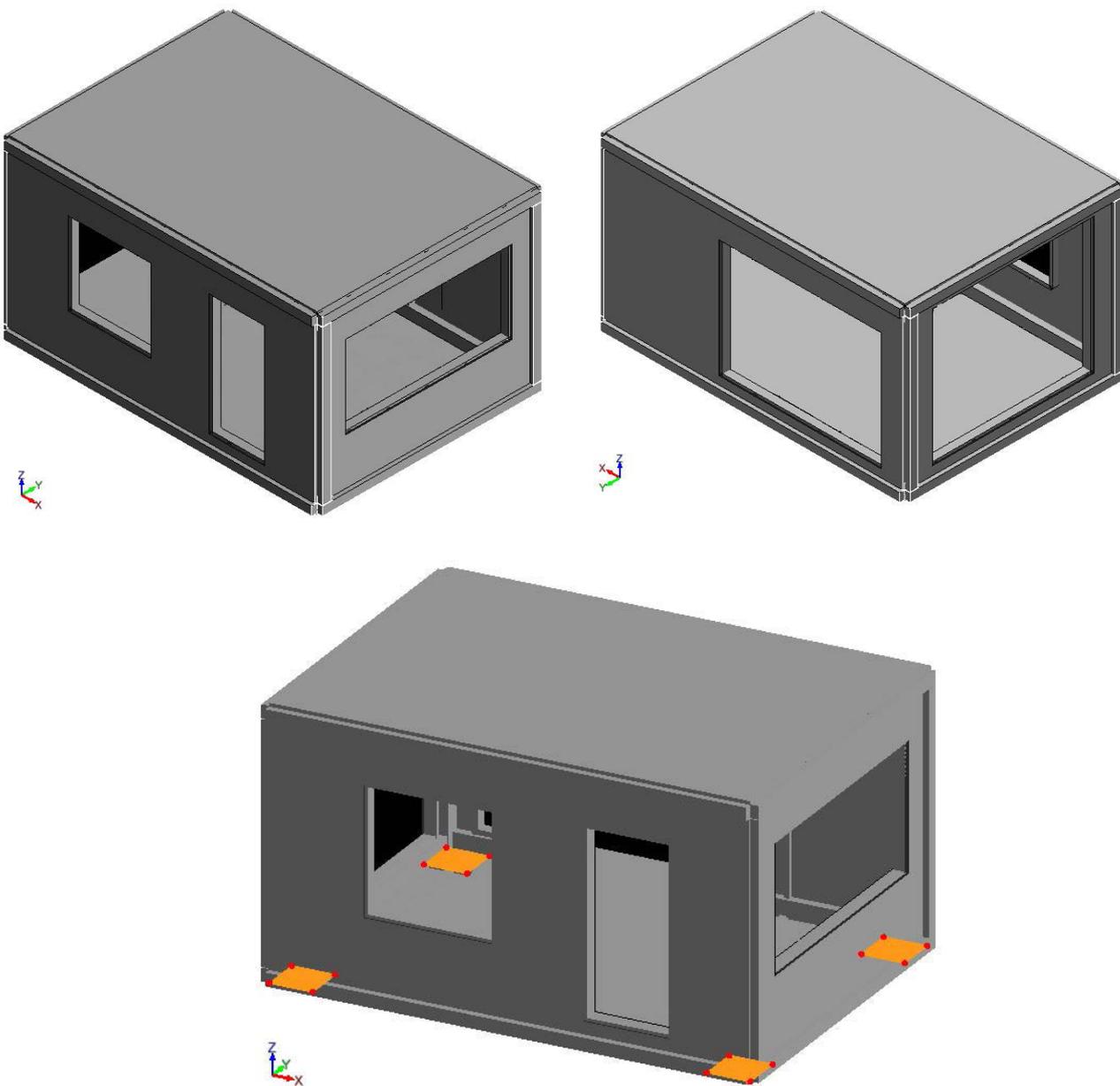
La valeur de q peut être choisie suivant les recommandations pour les bâtiments dont $H \leq 28m$ fournies de façon détaillée dans [Davidovici, Victor. La construction en zone sismique: approche réglementaire, modèles d'analyse des structures, diagnostic des bâtiments existants, exemple de calculs. Le Moniteur, 1999] pour les règles PS92. Des valeurs qui recoupent avec celles de la nouvelle réglementation Eurocode 8. Dans notre étude, nous évaluerons éventuellement le cas où $q \neq 1$ si nécessaire (en fonction des résultats de l'approche élastique). Dans la direction verticale, la ductilité est plus faible, le coefficient de comportement est alors réduit.



VI/ DESCRIPTION DU MODELE STRUCTURAL

Dans notre étude, les simulations numériques réalisées pour vérifier la tenue au séisme de l'habitat modulaire CUBIK HOME ont été réalisées en adoptant une approche continue type Elements Finis.

- Les voiles, dalles et toitures ont été modélisés par des éléments surfaciques de type 2D. Les singularités ne sont pas modélisées géométriquement. Une rigidité homogénéisée acier/béton a été considérée et est de l'ordre de 37GPa.
- La discrétisation Eléments Finis adoptée pour la région béton a été réalisée à l'aide d'éléments parallélépipédiques et triangulaires à interpolation linéaire.
- La taille de maillage est de 0.2 m choisie sur la base d'une étude de convergence du maillage et conduit à une très bonne précision des résultats.
- Pour ce qui est des conditions aux limites, nous avons considéré plusieurs cas afin de vérifier leur effet sur le comportement du module au séisme : Quatre appuis surfaciques élastiques de dimensions 50cm×50cm sans rigidités horizontales (module simplement appuyé, déplacements horizontaux permis) aux quatre extrémités du module, un appui surfacique élastique sans rigidités horizontales sur toute la base du module, et quatre appuis surfaciques élastiques de dimensions 50cm×50cm avec rigidités horizontales (articulés, déplacements horizontaux empêchés).



VII/ RESULTATS NUMERIQUES : CAS D'UN SEISME DE ZONE 5

VII.1/ MODULE STANDARD RDC

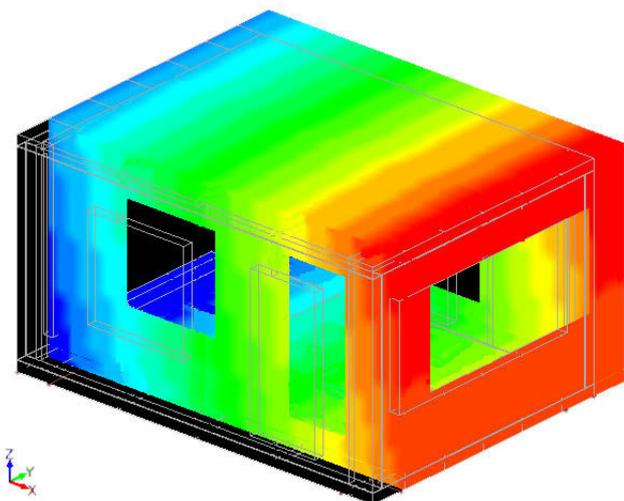
▪ CAS 1 : 4 APPUIS SURFACIQUES ELASTIQUES SANS RIGIDITE HORIZONTALE

Nous considérons ici quatre appuis surfaciques élastiques de dimensions 50cm×50cm sans rigidités horizontales aux quatre extrémités, le module est considéré simplement appuyé, les déplacements horizontaux sont donc permis. Cette condition aux limites est conforme au système d'appui réel.

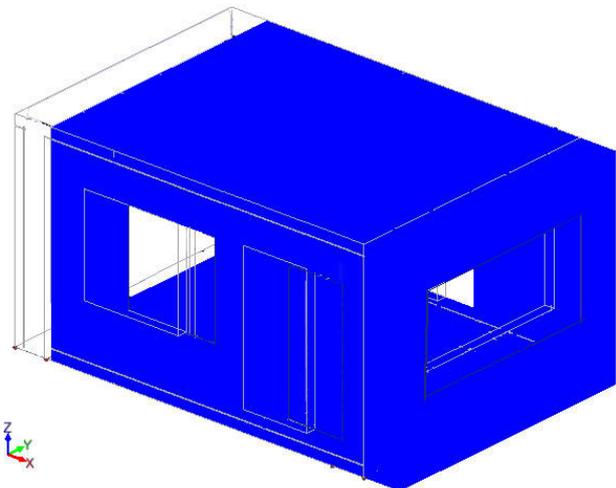
Dans le but de l'obtention d'une somme des masses modales de 100% de la masse totale dans chaque direction, au total 6 modes de fréquence maximale égale à 7.07Hz ont été considérés. Les modes les plus importants sont le mode 1 de période propre égale à 29.72s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens Y (pourcentage de la masse totale suivant Y = 100%) ; le mode 2 de période propre égale à 29.51s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens X (pourcentage de la masse totale suivant X = 100%) ; le mode 5 de période propre 0.15s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à la vertical dans le sens Z (pourcentage de la masse totale suivant Z = 95.45%). Le spectre de réponse élastique adapté pour les longues périodes de vibration (>4s) est utilisé. Les déplacements maximaux sous séisme selon les trois directions sont indiqués ci-dessous.

Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
1	0.21	29.72	0.03	0.00 (0.00)	22.49 (100.00)	0.00 (0.00)	5.00
2	0.21	29.51	0.03	22.49 (100.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
3	3.39	1.85	0.54	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
4	35.42	0.18	5.64	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.08 (0.34)	5.00
5	40.79	0.15	6.49	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	21.47 (95.45)	5.00
6	44.39	0.14	7.07	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.79 (3.50)	5.00
Total				22.49 (100.00)	22.49 (100.00)	22.33 (99.29)	

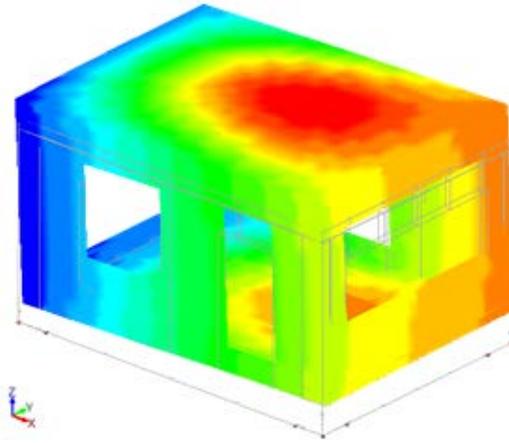
MODE 1



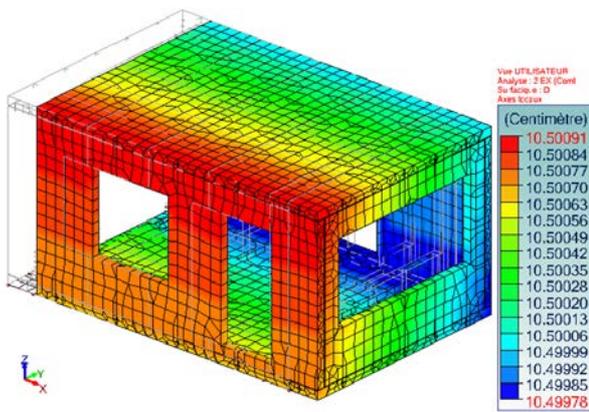
MODE 2



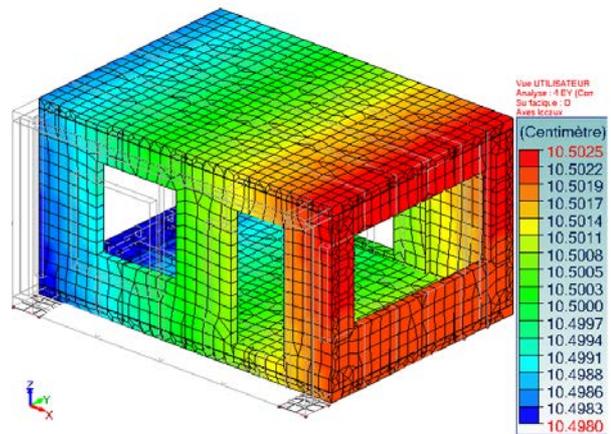
MODE 5



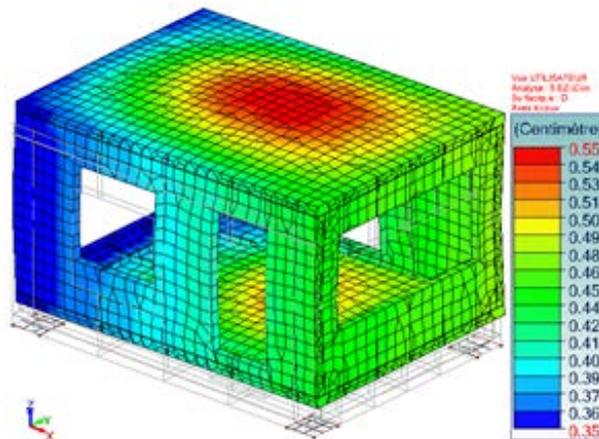
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y

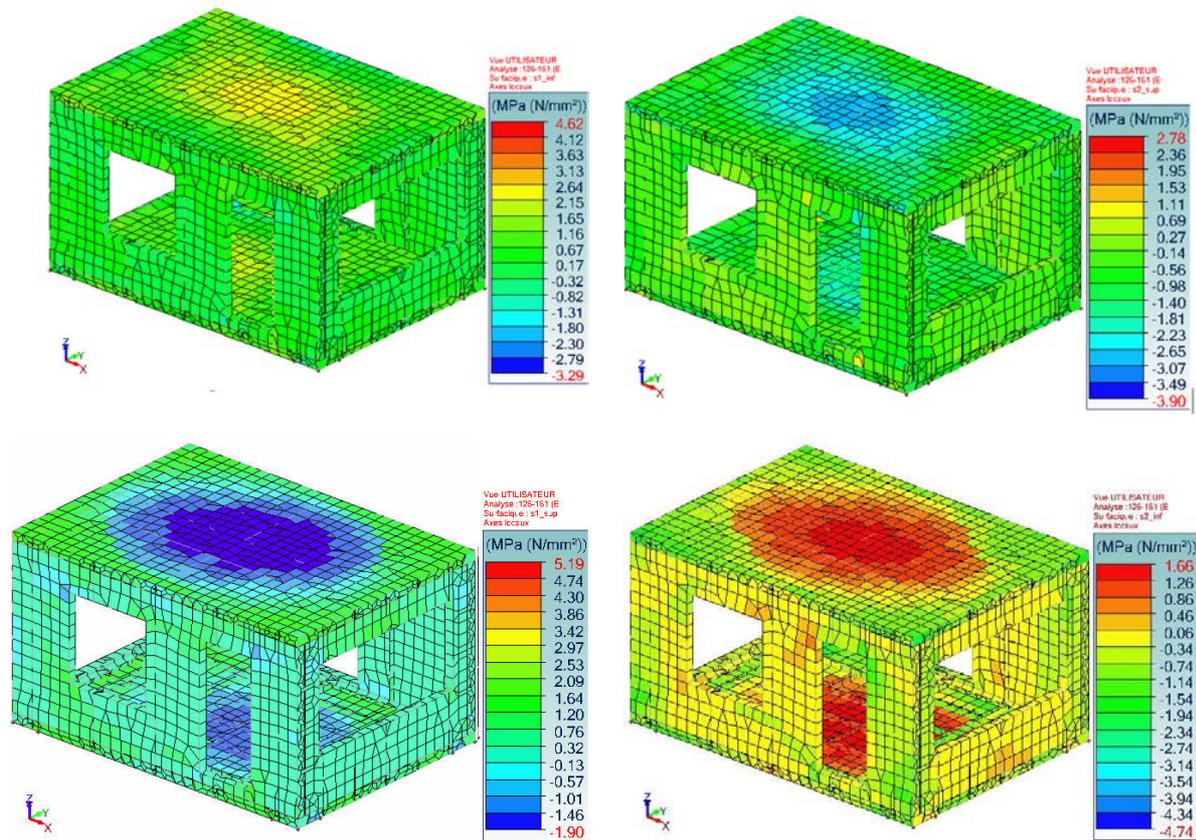


SEISME DIRECTION Z



**CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 1 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (10.5 CM) - Y (10.5 CM) - Z (0.55 CM). DMAX=10.5CM
STRUCTURE NON LIAISONNEE AVEC LE SOL : PAS D'EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES**

VERIFICATION DES CONTRAINTES



CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 1 : EN OBSERVANT LES VALEURS DES CONTRAINTES MAXIMALES DE TRACTION, IL RESSORT QUE LA FISSURATION DU MODULE N'EST PAS ATTEINTE. LA VALEUR MAXIMALE OBSERVEE EST DE 5.19MPa (TRES LOCAL). CETTE VALEUR EST INFERIEURE A LA RESISTANCE DE TRACTION DU BETON FIBRE QUI EST DE 11.0 MPa OBTENUE EXPERIMENTALEMENT.

CAS 2 : 1 APPUI SURFACIQUE GENERAL : SANS RIGIDITE HORIZONTALE

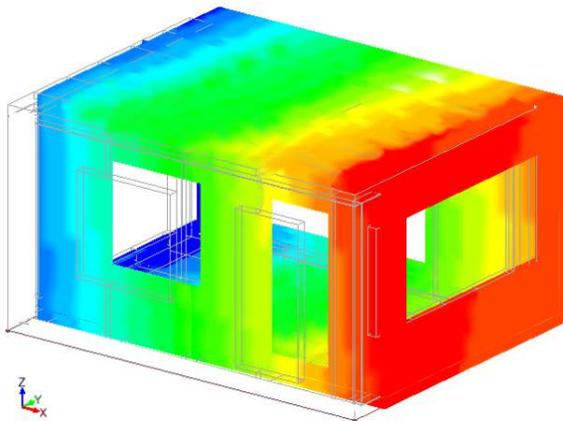
Nous considérons ici un appui surfacique élastique général sans rigidités horizontales, le module est considéré simplement appuyé à la base sur toute sa surface, les déplacements horizontaux sont permis.

Dans le but de l'obtention d'une somme des masses modales de 100% de la masse totale dans chaque direction, au total 40 modes de fréquence maximale égale à 99.75Hz ont été considérés. Les modes les plus importants sont le mode 1 de période propre égale à 6.36s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens Y (pourcentage de la masse totale suivant Y = 98.40%) ; le mode 2 de période propre égale à 6.36s pour lequel les déplacements pourraient également s'effectuer principalement à l'horizontal dans le sens X (pourcentage de la masse totale suivant X = 98.40%) ; les modes 5 et 7 de périodes propres respectives égale à 0.07s et 0.05s pour lesquels les déplacements s'effectuent principalement à la vertical dans le sens Z (pourcentage de la masse totale suivant Z = 40.31% et 42.78%). Le spectre de réponse élastique élastique adapté pour les longues périodes de vibration (>4s) est utilisé. Les déplacements maximaux sous séisme selon les trois directions sont indiqués ci-dessous.

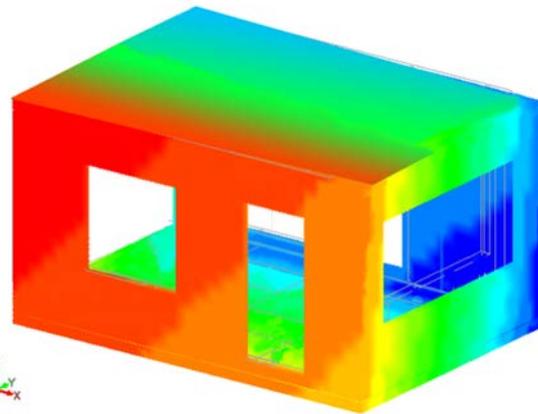
Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
1	0.99	6.36	0.16	0.36 (1.60)	22.13 (98.40)	0.00 (0.00)	5.00
2	0.99	6.36	0.16	22.13 (98.40)	0.36 (1.60)	0.00 (0.00)	5.00
3	3.47	1.81	0.55	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
4	74.29	0.08	11.82	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
5	85.96	0.07	13.68	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	9.06 (40.31)	5.00
6	92.89	0.07	14.78	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.69 (3.08)	5.00
7	138.14	0.05	21.99	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	9.62 (42.78)	5.00
8	156.94	0.04	24.98	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.03 (0.15)	5.00
9	192.89	0.03	30.70	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.05)	5.00
10	214.87	0.03	34.20	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.05 (0.20)	5.00
11	227.58	0.03	36.22	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
12	231.02	0.03	36.77	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
13	271.87	0.02	43.27	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
14	288.18	0.02	45.87	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.02 (0.08)	5.00
15	290.35	0.02	46.21	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
16	323.50	0.02	51.49	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.05 (0.21)	5.00
17	338.99	0.02	53.95	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.02 (0.10)	5.00
18	365.52	0.02	58.17	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.03)	5.00
19	397.53	0.02	63.27	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
20	405.83	0.02	64.59	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.06)	5.00
21	420.01	0.01	66.85	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
22	430.03	0.01	68.44	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.10 (0.45)	5.00
23	445.67	0.01	70.93	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	2.62 (11.63)	5.00
24	467.20	0.01	74.36	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.02)	5.00
25	471.23	0.01	75.00	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
26	479.08	0.01	76.25	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.04 (0.17)	5.00
27	481.56	0.01	76.64	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
28	490.98	0.01	78.14	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
29	505.07	0.01	80.38	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
30	510.78	0.01	81.29	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.02)	5.00
31	520.46	0.01	82.83	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
32	529.11	0.01	84.21	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
33	546.11	0.01	86.92	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.06)	5.00

Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
34	557.45	0.01	88.72	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.04)	5.00
35	571.91	0.01	91.02	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.05 (0.22)	5.00
36	575.64	0.01	91.62	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.02 (0.08)	5.00
37	579.20	0.01	92.18	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
38	600.48	0.01	95.57	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
39	605.25	0.01	96.33	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
40	626.75	0.01	99.75	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
Total				22.49 (100.00)	22.49 (100.00)	22.45 (99.84)	

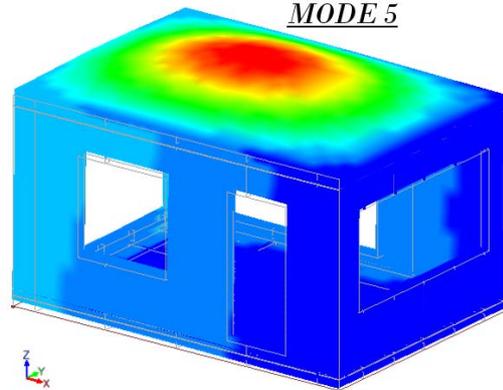
MODE 1



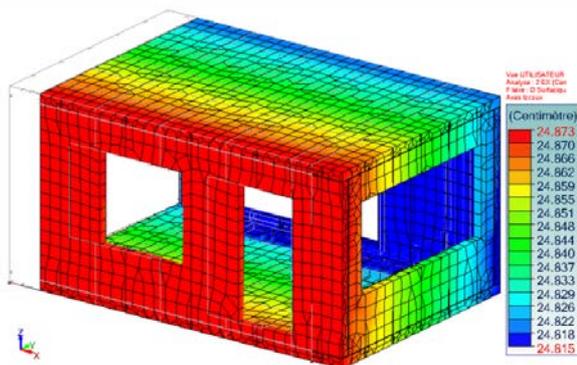
MODE 2



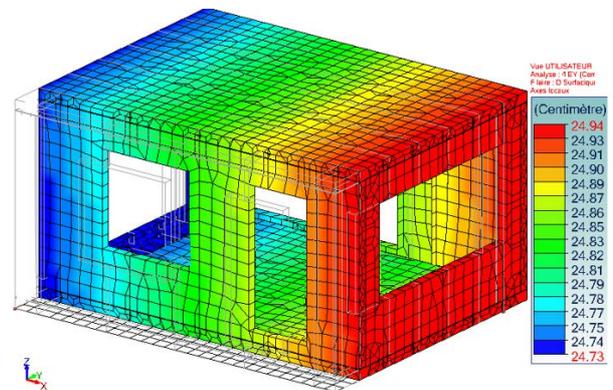
MODE 5



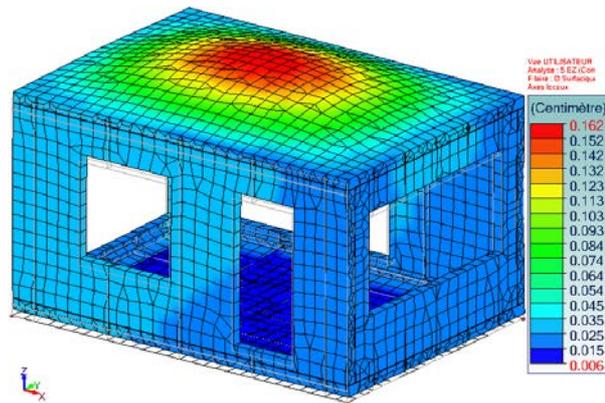
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y

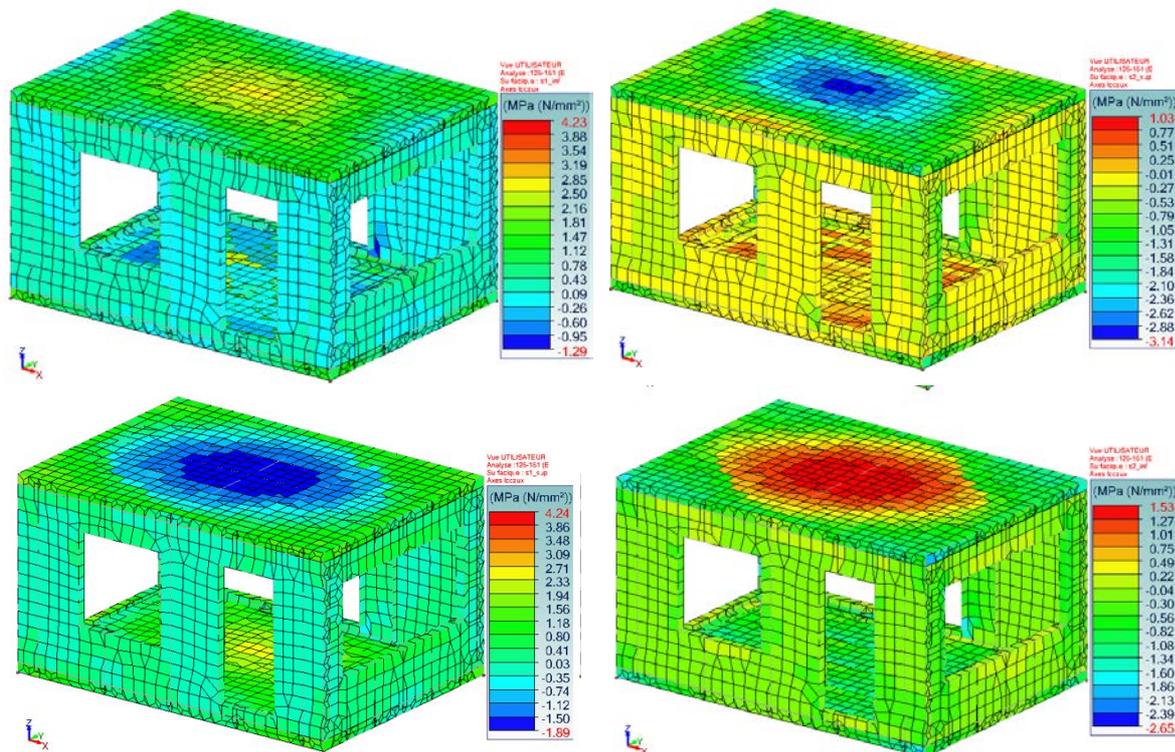


SEISME DIRECTION Z



CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 2 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (24.9 CM) - Y (24.9 CM) - Z (0.16 CM) SONT RELATIVEMENT PLUS ELEVES. $D_{MAX}=24.9$ CM. STRUCTURE NON LIAISONNEE AVEC LE SOL : PAS D'EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES. CE 2EME CAS DE CONFIGURATION N'AMELIORE PAS LA TENUE AU SEISME. IL EST ENCORE PLUS SECURITAIRE QUE LA STRUCTURE SOIT RETENUE HORIZONTALEMENT (DIRECTIONS X ET Y) AFIN DE REDUIRE D'AVANTAGE CES VALEURS DE DEPLACEMENTS.

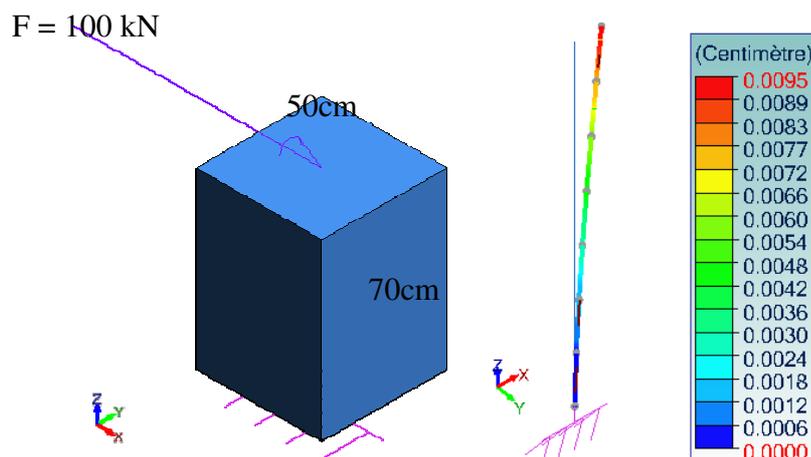
VERIFICATION DES CONTRAINTES



CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 2 : EN OBSERVANT LES VALEURS DES CONTRAINTES MAXIMALES DE TRACTION, IL RESSORT QUE LA FISSURATION DU MODULE N'EST PAS ATTEINTE. LA VALEUR MAXIMALE OBSERVEE EST DE 4.24MPa (LOCALEMENT). CETTE VALEUR EST INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE QUI EST DE 11.0 MPA OBTENUE EXPERIMENTALEMENT.

CAS 3 : 4 APPUIS SURFACIQUES ELASTIQUES AVEC RAIDEUR HORIZONTALE

Nous considérons ici la condition aux limites conforme au système d'appui réel mais cette fois-ci la structure est retenue horizontalement dans les directions X et Y. Il s'agit de quatre appuis surfaciques élastiques de dimensions prises égales à 50cm×50cm situés aux quatre extrémités du module. Afin de déterminer la raideur horizontale à appliquer au module, nous considérons une hauteur du plot d'appui égale à 70cm. Par hypothèse, il n'y a pas de glissement entre la fondation et le module. La fondation est considérée dimensionnée en conséquence. Nous calculons une raideur horizontale en supposant la fondation encastree dans le sol. Nous trouvons une valeur de raideur égale à 1.05×10^6 kN/m soit environ 4.0×10^6 kN/m².



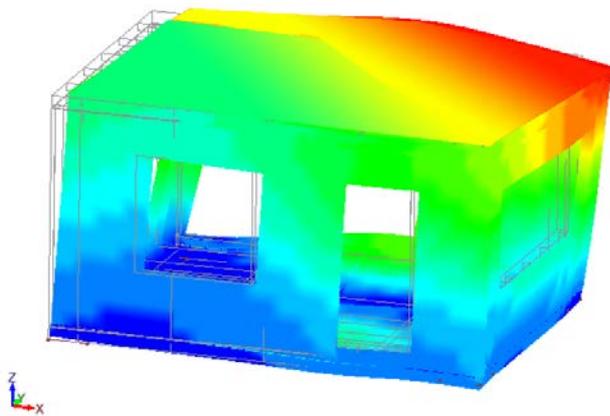
Au total 80 modes de fréquences propres allant de 12.64Hz à 170.6Hz ont été considérés (Périodes allant de 0.08s à 0.01s). La somme des masses modales vaut au moins environ 98% de la masse totale dans chaque direction (pourcentage jugé acceptable). Les modes les plus importants sont le mode 4 de période propre égale à 0.05s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens X (pourcentage de la masse totale suivant X = 40.65%) ; le mode 1 de période propre égale à 0.08s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens Y (pourcentage de la masse totale suivant Y = 51.66%) ; les modes 2, 13 et 15 de périodes propres respectives égales à 0.07s, 0.02s et 0.02s pour lesquels les déplacements s'effectuent principalement à la vertical dans le sens Z (pourcentage de la masse totale suivant Z = 14.84%, 33.01% et 19.44% respectivement). Le spectre de réponse élastique adapté pour les longues périodes de vibration (>4s) est utilisé. Les déplacements maximaux sous séisme selon les trois directions sont indiqués ci-dessous.

Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
1	79.42	0.08	12.64	0.25 (1.09)	11.62 (51.66)	0.15 (0.65)	5.00
2	94.07	0.07	14.97	0.07 (0.29)	0.22 (0.96)	3.34 (14.84)	5.00
3	103.12	0.06	16.41	0.14 (0.62)	0.10 (0.43)	2.73 (12.13)	5.00
4	126.56	0.05	20.14	9.14 (40.65)	0.74 (3.31)	0.01 (0.05)	5.00
5	183.42	0.03	29.19	1.77 (7.89)	0.31 (1.40)	0.03 (0.12)	5.00
6	194.94	0.03	31.03	2.71 (12.06)	0.23 (1.01)	0.03 (0.14)	5.00
7	207.24	0.03	32.98	0.04 (0.18)	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	5.00
8	212.36	0.03	33.80	0.00 (0.02)	0.18 (0.82)	0.00 (0.01)	5.00
9	226.30	0.03	36.02	0.16 (0.69)	0.15 (0.66)	0.01 (0.04)	5.00
10	254.69	0.02	40.54	0.24 (1.06)	0.12 (0.54)	0.03 (0.14)	5.00
11	270.92	0.02	43.12	0.02 (0.08)	0.00 (0.02)	0.01 (0.03)	5.00
12	283.37	0.02	45.10	0.18 (0.82)	0.00 (0.00)	0.00 (0.02)	5.00
13	300.42	0.02	47.81	0.01 (0.06)	0.01 (0.04)	7.42 (33.01)	5.00

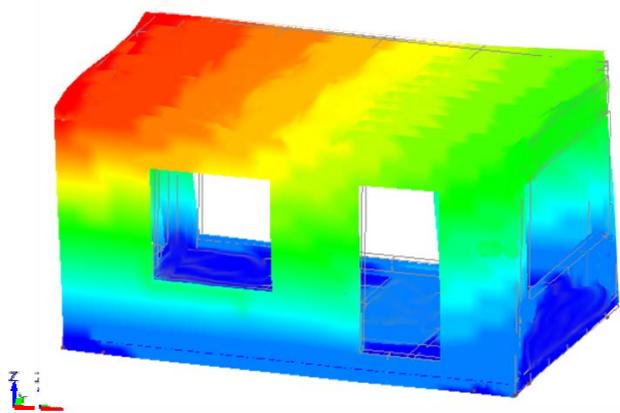
Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
14	323.04	0.02	51.41	0.03 (0.12)	0.08 (0.36)	1.70 (7.58)	5.00
15	344.92	0.02	54.90	0.03 (0.14)	0.02 (0.09)	4.37 (19.44)	5.00
16	348.51	0.02	55.47	0.01 (0.03)	0.00 (0.02)	0.02 (0.09)	5.00
17	360.32	0.02	57.35	0.03 (0.12)	0.01 (0.06)	0.25 (1.09)	5.00
18	368.04	0.02	58.58	0.11 (0.51)	0.02 (0.10)	0.02 (0.10)	5.00
19	384.93	0.02	61.26	0.01 (0.03)	0.06 (0.27)	0.12 (0.54)	5.00
20	397.36	0.02	63.24	0.08 (0.36)	0.22 (0.99)	0.07 (0.30)	5.00
21	403.00	0.02	64.14	0.34 (1.52)	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)	5.00
22	420.51	0.01	66.93	0.16 (0.72)	0.03 (0.12)	0.22 (0.98)	5.00
23	433.73	0.01	69.03	0.10 (0.45)	0.09 (0.40)	0.00 (0.00)	5.00
24	455.49	0.01	72.49	0.07 (0.31)	0.02 (0.10)	0.05 (0.21)	5.00
25	472.53	0.01	75.21	0.01 (0.03)	0.02 (0.11)	0.01 (0.03)	5.00
26	477.17	0.01	75.94	0.00 (0.00)	0.73 (3.26)	0.07 (0.33)	5.00
27	491.25	0.01	78.18	0.06 (0.28)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
28	501.79	0.01	79.86	0.27 (1.22)	2.93 (13.03)	0.11 (0.50)	5.00
29	509.39	0.01	81.07	0.02 (0.10)	0.11 (0.50)	0.00 (0.01)	5.00
30	514.60	0.01	81.90	1.26 (5.58)	0.49 (2.17)	0.15 (0.68)	5.00
31	522.62	0.01	83.18	0.51 (2.25)	0.09 (0.38)	0.04 (0.18)	5.00
32	533.43	0.01	84.90	0.07 (0.33)	0.01 (0.03)	0.06 (0.26)	5.00
33	549.17	0.01	87.40	0.06 (0.25)	0.84 (3.73)	0.03 (0.11)	5.00
34	561.19	0.01	89.32	0.06 (0.29)	0.23 (1.01)	0.01 (0.03)	5.00
35	566.89	0.01	90.22	0.17 (0.74)	0.01 (0.02)	0.00 (0.00)	5.00
36	572.42	0.01	91.10	0.83 (3.71)	0.89 (3.96)	0.07 (0.29)	5.00
37	583.84	0.01	92.92	0.02 (0.11)	0.05 (0.22)	0.01 (0.05)	5.00
38	598.38	0.01	95.24	1.34 (5.96)	0.52 (2.31)	0.00 (0.02)	5.00
39	606.56	0.01	96.54	0.15 (0.68)	0.20 (0.91)	0.12 (0.55)	5.00
40	611.48	0.01	97.32	0.06 (0.27)	0.13 (0.59)	0.00 (0.01)	5.00
41	626.67	0.01	99.74	0.93 (4.12)	0.01 (0.03)	0.04 (0.18)	5.00
42	638.95	0.01	101.69	0.13 (0.60)	0.01 (0.04)	0.05 (0.21)	5.00
43	645.56	0.01	102.74	0.00 (0.02)	0.09 (0.38)	0.00 (0.02)	5.00
44	666.24	0.01	106.04	0.01 (0.05)	0.00 (0.00)	0.06 (0.27)	5.00
45	667.15	0.01	106.18	0.00 (0.00)	0.26 (1.17)	0.03 (0.13)	5.00
46	681.22	0.01	108.42	0.06 (0.25)	0.03 (0.16)	0.09 (0.38)	5.00
47	699.19	0.01	111.28	0.00 (0.00)	0.01 (0.06)	0.00 (0.01)	5.00
48	712.99	0.01	113.48	0.02 (0.07)	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)	5.00
49	735.43	0.01	117.05	0.06 (0.24)	0.00 (0.02)	0.09 (0.41)	5.00
50	744.27	0.01	118.45	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.07 (0.33)	5.00
51	754.83	0.01	120.14	0.22 (1.00)	0.00 (0.00)	0.09 (0.41)	5.00
52	771.88	0.01	122.85	0.02 (0.11)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
53	783.92	0.01	124.77	0.01 (0.04)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
54	799.06	0.01	127.17	0.01 (0.05)	0.00 (0.00)	0.08 (0.35)	5.00
55	810.55	0.01	129.00	0.00 (0.01)	0.01 (0.04)	0.02 (0.08)	5.00
56	823.98	0.01	131.14	0.07 (0.30)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
57	826.28	0.01	131.51	0.04 (0.18)	0.00 (0.01)	0.04 (0.19)	5.00
58	837.07	0.01	133.22	0.05 (0.21)	0.03 (0.14)	0.00 (0.01)	5.00
59	841.11	0.01	133.87	0.01 (0.05)	0.02 (0.07)	0.02 (0.10)	5.00
60	845.57	0.01	134.58	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
61	856.34	0.01	136.29	0.01 (0.02)	0.00 (0.00)	0.01 (0.06)	5.00
62	868.02	0.01	138.15	0.00 (0.01)	0.01 (0.03)	0.01 (0.05)	5.00
63	875.90	0.01	139.40	0.00 (0.01)	0.07 (0.32)	0.04 (0.20)	5.00
64	886.84	0.01	141.15	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	5.00
65	898.10	0.01	142.94	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.04 (0.17)	5.00
66	911.37	0.01	145.05	0.01 (0.03)	0.08 (0.36)	0.01 (0.02)	5.00
67	932.07	0.01	148.34	0.01 (0.03)	0.01 (0.06)	0.08 (0.35)	5.00
68	940.32	0.01	149.66	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.00 (0.02)	5.00
69	954.84	0.01	151.97	0.00 (0.01)	0.01 (0.03)	0.01 (0.06)	5.00

Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
70	972.78	0.01	154.82	0.00 (0.00)	0.01 (0.03)	0.00 (0.00)	5.00
71	986.23	0.01	156.96	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.01 (0.03)	5.00
72	989.21	0.01	157.44	0.00 (0.01)	0.01 (0.03)	0.00 (0.01)	5.00
73	999.76	0.01	159.12	0.00 (0.00)	0.01 (0.05)	0.00 (0.00)	5.00
74	1001.50	0.01	159.39	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.03)	5.00
75	1011.48	0.01	160.98	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	5.00
76	1016.98	0.01	161.86	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.03)	5.00
77	1046.79	0.01	166.60	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
78	1050.82	0.01	167.24	0.00 (0.00)	0.02 (0.08)	0.00 (0.00)	5.00
79	1057.15	0.01	168.25	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.01 (0.04)	5.00
80	1071.88	0.01	170.60	0.01 (0.03)	0.01 (0.06)	0.01 (0.02)	5.00
Total				22.30 (99.14)	22.24 (98.90)	22.23 (98.87)	

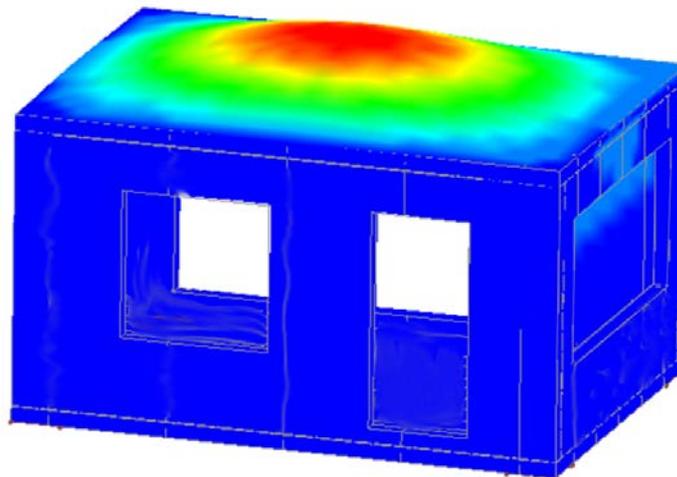
MODE 4



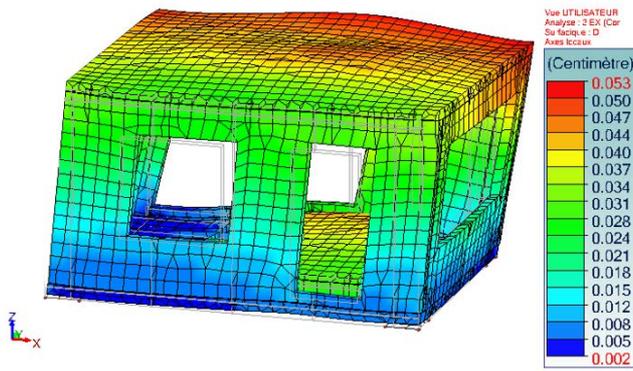
MODE 1



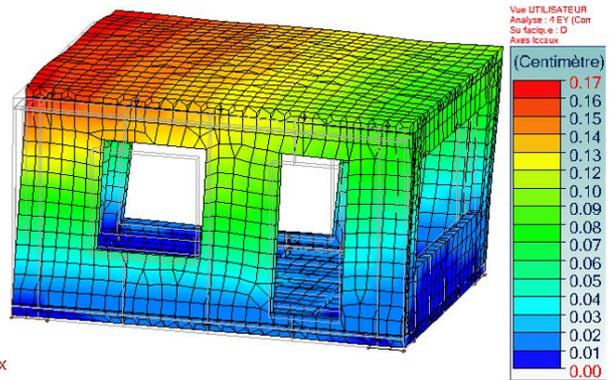
MODE 2



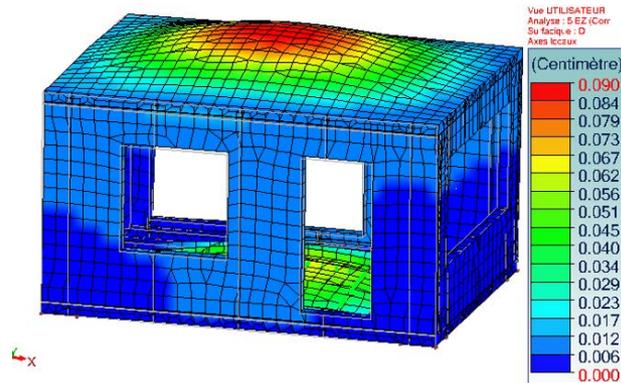
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y



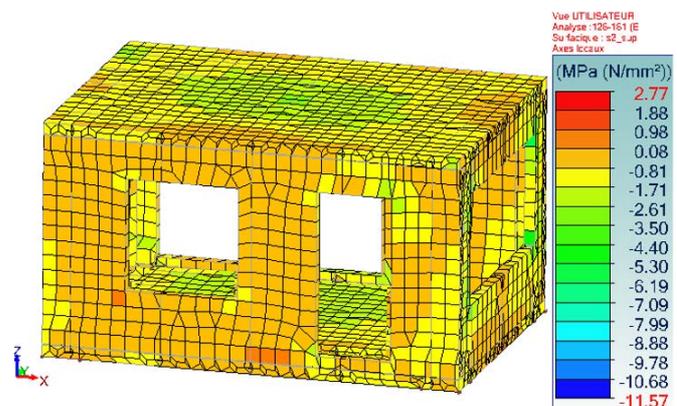
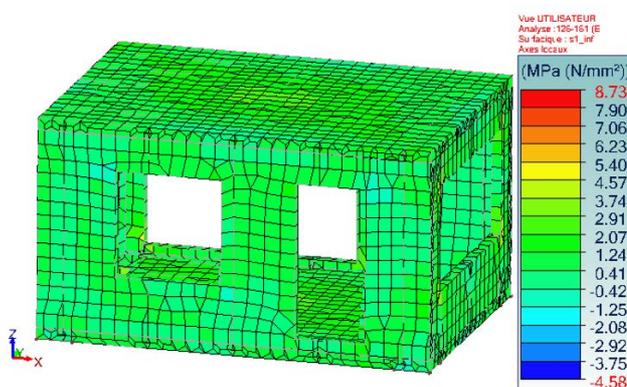
SEISME DIRECTION Z

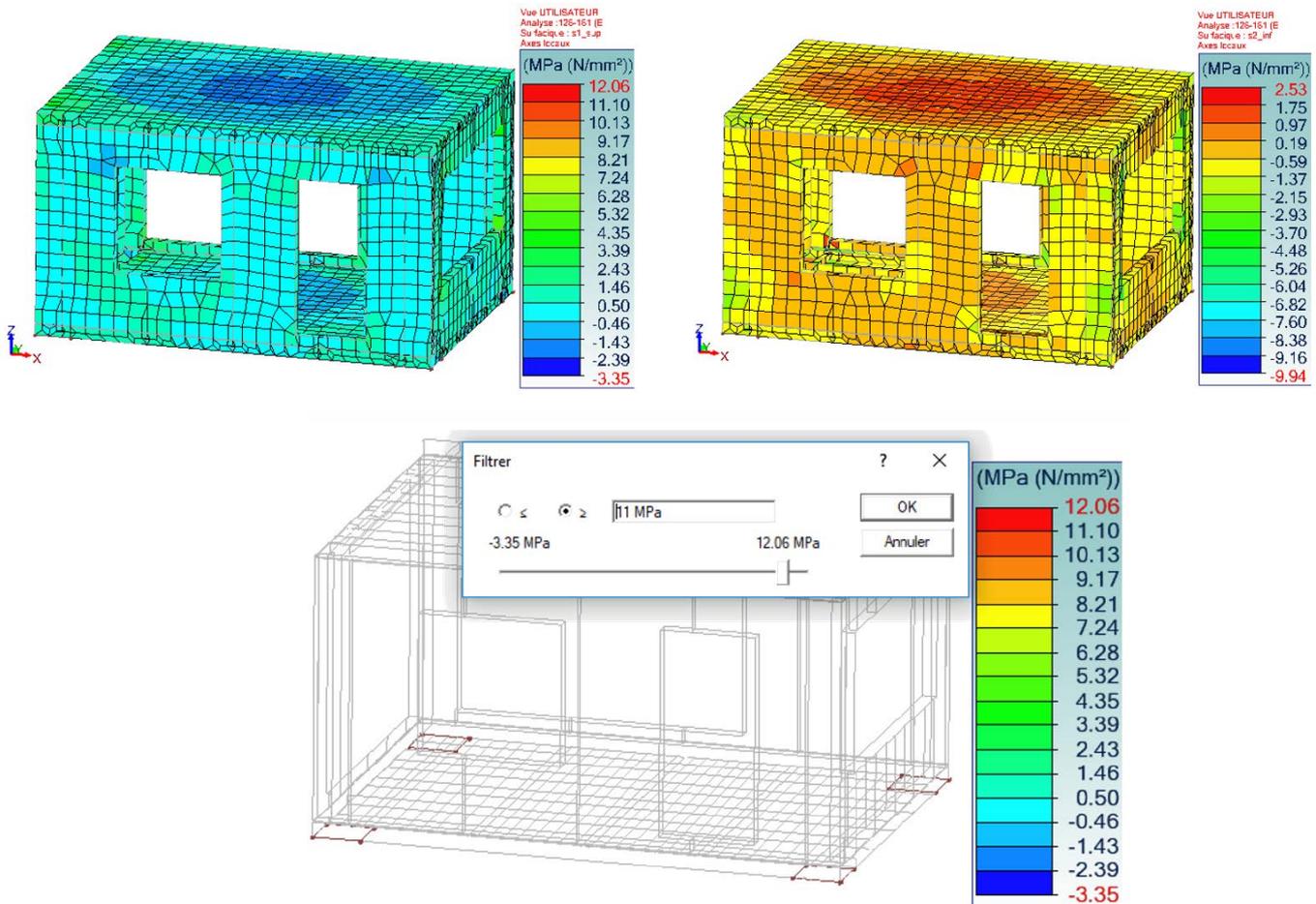


CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 3 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (0.05 CM), Y (0.17 CM), Z (0.09 CM) ONT CONSIDERABLEMENT DIMINUES. $D_{MAX}=0.17CM$. EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES : $D_{MAX} \leq 0.005H/0.4$? : **SATISFAITE** (EC8-1 § 4.4.3).

LE CUBIK HOME DEVRA ETRE FIXE A LA FONDATION AU NIVEAU DES PLOTS D'APPUIS. COMPTE TENUE DE L'EFFORT HORIZONTAL MAXIMAL SUR APPUI, UNE FIXATION AVEC 1 TIGE M16/ANGLE (4 TIGES AU TOTAL) DEVRAIT SUFFIR.

VERIFICATION DES CONTRAINTES



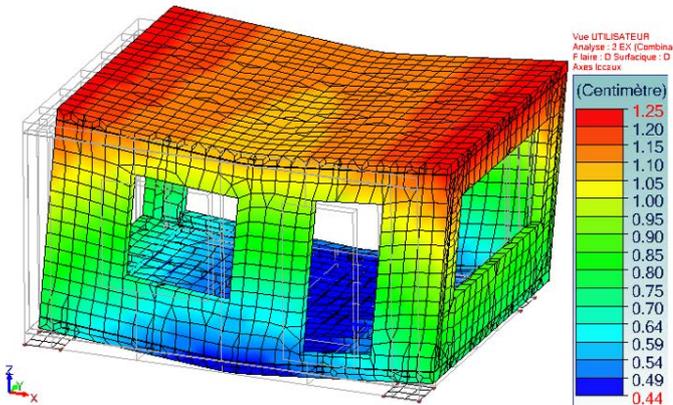


CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 3: LA CONTRAINTE MAXIMALE DE TRACTION OBSERVEE EST DE **12.06MPa**. CETTE CONTRAINTE EST FORTEMENT LOCALISEE. LA CONTRAINTE SUR LA MAJORITE DE LA SURFACE DU MODULE EST INFERIEURE A **11.0MPa** (DERNIERE FIGURE), DONC INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE: **FISSURATION DU MODULE N'EST PAS ATTEINTE.**

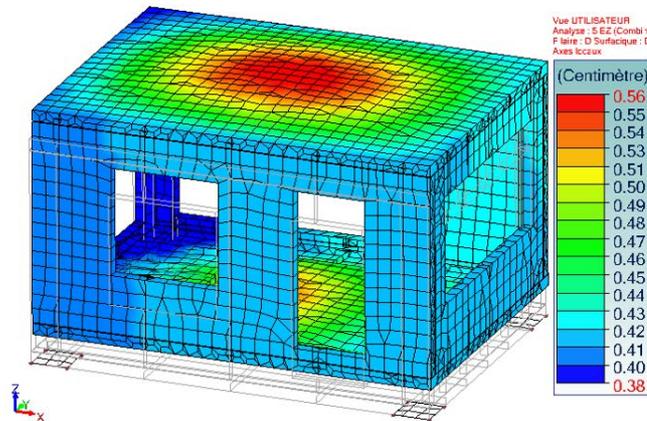
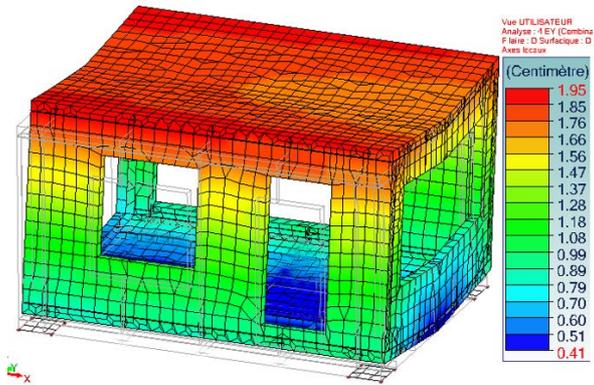
CAS 4 : CAS D'UN SOL DE FONDATION A FAIBLE RAIDEUR HORIZONTALE

Nous nous plaçons ici dans le cas d'une raideur horizontale du sol de fondation relativement faible. Au lieu d'une raideur de 4.0×10^6 kN/m/m² trouvée pour un parfait encastrement, nous considérons cette fois-ci une valeur plus faible de 4.0×10^4 kN/m/m² (soit 40MPa/m) afin d'évaluer un tel effet sur les résultats. Les résultats obtenus sont indiqués ci-dessous.

SEISME DIRECTION X

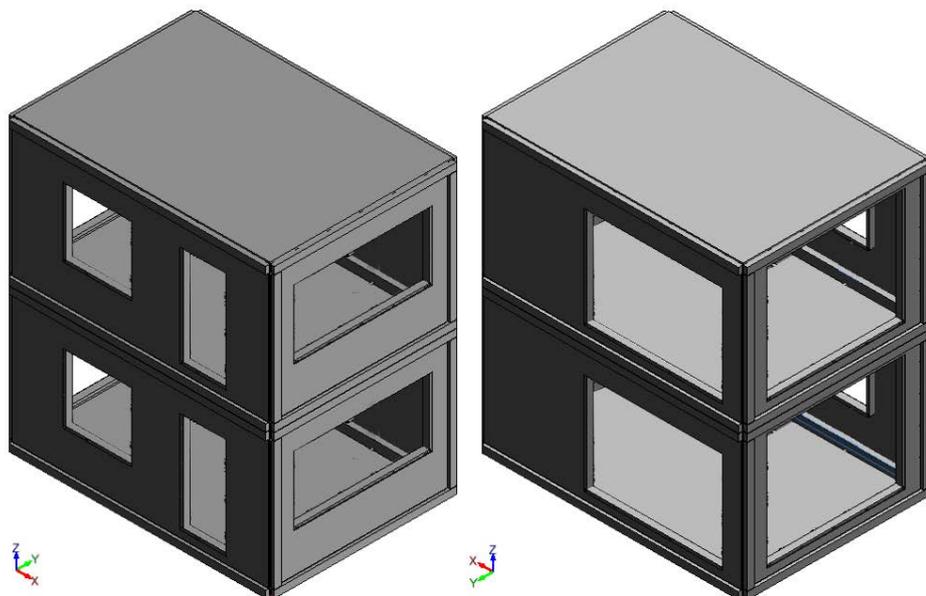


SEISME DIRECTION Y



SEISME DIRECTION Z

CONCLUSION : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (1.25 CM), Y (1.95 CM), Z (0.56 CM) ONT UN LEGEREMENT AUGMENTE COMPARE AU CAS D'UN PARFAIT ENCASTREMENT (RAIDEUR PLUS ELEVE). DMAX=1.95CM : CE QUI N'EST PAS NON PLUS INQUIETANT D'UN POINT DE VU SECURITAIRE. IL RESSORT DONC QUE MEME AVEC UNE RAIDEUR HORIZONTALE RELATIVEMENT FAIBLE, LA SECURITE DU CUBIK HOME N'EST PAS REMISE EN CAUSE.

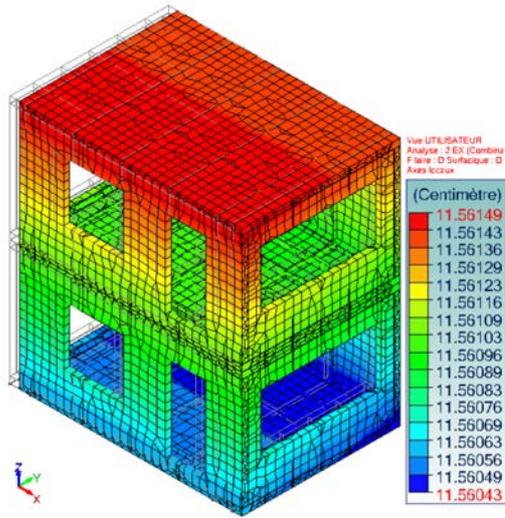


▪ **CAS 1 : MODULE SIMPLEMENT APPUYE**

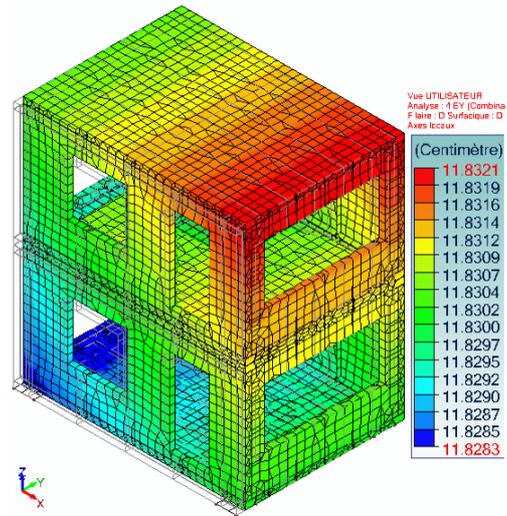
Dans le but de l'obtention d'une somme des masses modales de 100% de la masse totale dans chaque direction, au total 6 modes de fréquence maximale égale à 4.63Hz ont été considérés. Les modes les plus importants sont le mode 2 de période propre égale à 41.97s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens X (pourcentage de la masse totale suivant X = 100%) ; le mode 1 de période propre égale à 42.46s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens Y (pourcentage de la masse totale suivant Y = 100%) ; le mode 6 de période propre 0.22s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à la vertical dans le sens Z (pourcentage de la masse totale suivant Z = 97.40%). Le spectre de réponse élastique adapté pour les longues périodes de vibration (>4s) est utilisé. Les déplacements maximaux sous séisme selon les trois directions sont indiqués ci-dessous.

Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
1	0.15	42.46	0.02	0.00 (0.00)	45.57 (100.00)	0.00 (0.00)	5.00
2	0.15	41.97	0.02	45.57 (100.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
3	3.37	1.86	0.54	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
4	19.98	0.31	3.18	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.02 (0.05)	5.00
5	26.08	0.24	4.15	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	1.07 (2.35)	5.00
6	29.10	0.22	4.63	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	44.39 (97.40)	5.00
Total				45.57 (100.00)	45.57 (100.00)	45.48 (99.81)	

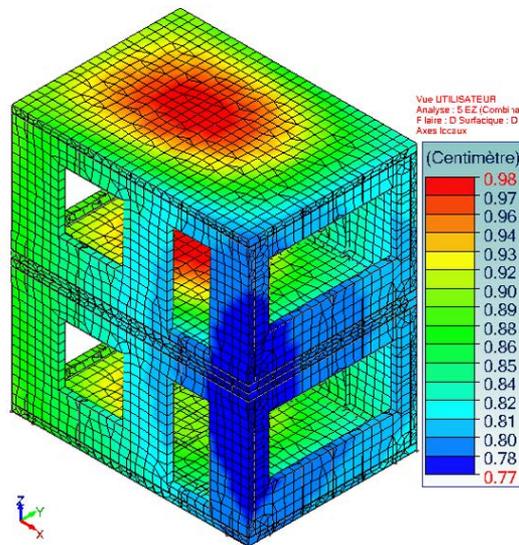
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y

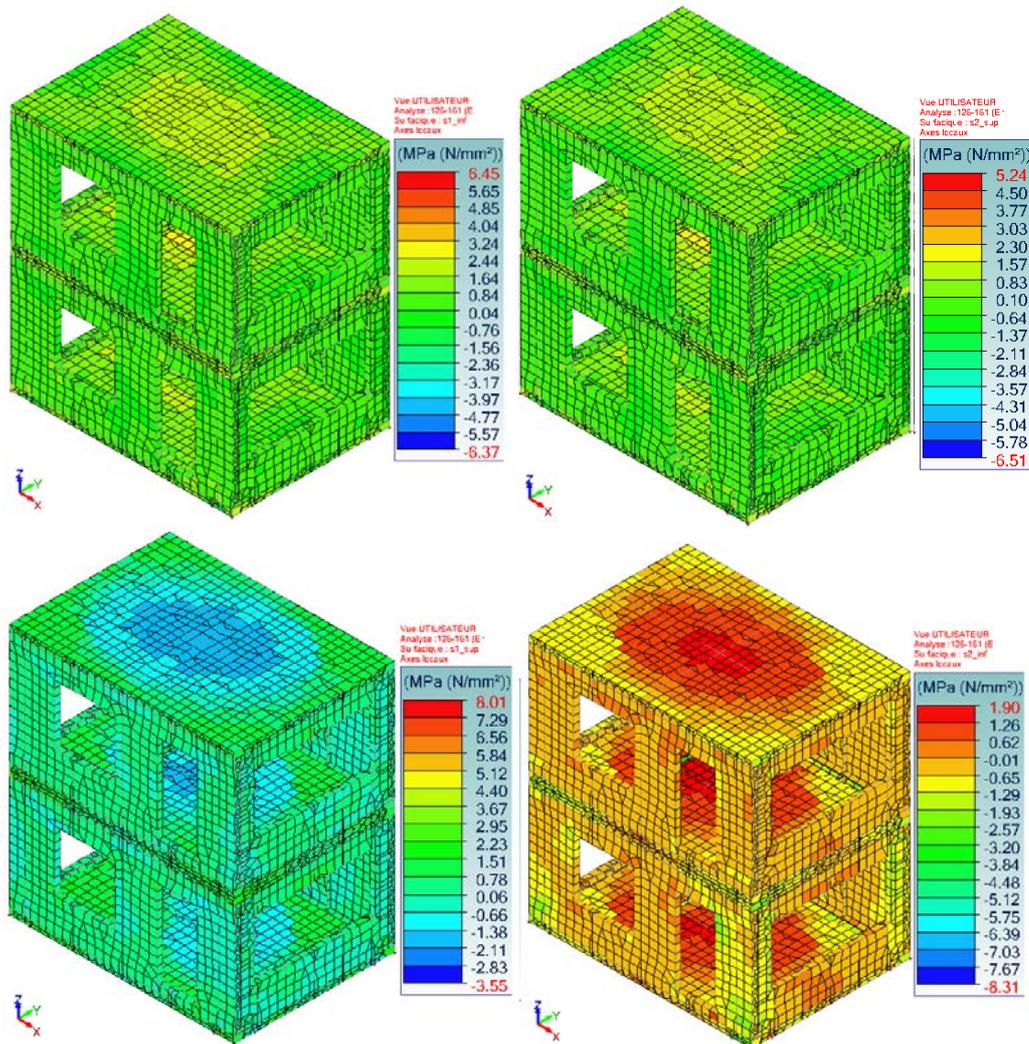


SEISME DIRECTION Z



CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 1 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (11.56 CM) - Y (11.83 CM) - Z (0.98). DMAX=11.83CM
STRUCTURE NON LIAISONNEE AVEC LE SOL : PAS D'EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES

VERIFICATION DES CONTRAINTES



CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 1 : EN OBSERVANT LES VALEURS DES CONTRAINTES MAXIMALES DE TRACTION, IL RESSORT QUE **LA FISSURATION DU MODULE N'EST PAS ATTEINTE**. LA VALEUR MAXIMALE OBSERVEE EST DE **8.01MPa (TRES LOCAL)**. CETTE VALEUR EST INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE QUI EST DE **11.0 MPa** OBTENUE EXPERIMENTALEMENT.

CAS 3 : MODULE RETENU HORIZONTALEMENT

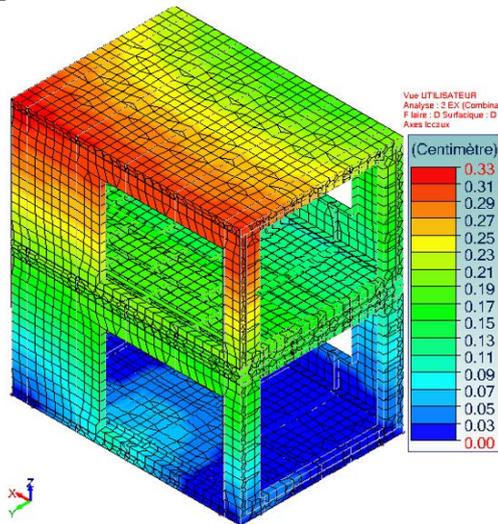
Au total 100 modes de fréquences propres allant de 3.50Hz à 100.92Hz ont été considérées (Périodes allant de 0.29s à 0.01s). La somme des masses modales vaut au moins 90% de la masse totale dans chaque direction (pourcentage jugé acceptable). Les modes les plus importants sont le mode 2 de période propre égale à 0.10s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens X (pourcentage de la masse totale suivant X = 57.04%) ; le mode 1 de période propre égale à 0.16s pour lequel les déplacements s'effectuent principalement à l'horizontal dans le sens Y (pourcentage de la masse totale suivant Y = 67.90%) ; les modes 14 et 15 de périodes propres égales à 0.03s pour lesquels les déplacements s'effectuent principalement à la vertical dans le sens Z (pourcentage de la masse totale suivant Z = 18.36%et 31.07% respectivement). Le spectre de réponse élastique élastique adapté pour les longues périodes de vibration (>4s) est utilisé. Les déplacements maximaux sous séisme selon les trois directions sont indiqués ci-dessous.

Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
1	39.50	0.16	6.29	0.26 (0.57)	30.94 (67.90)	0.02 (0.04)	5.00
2	64.41	0.10	10.25	25.99 (57.04)	1.04 (2.28)	0.44 (0.97)	5.00
3	90.26	0.07	14.36	1.94 (4.25)	0.10 (0.22)	10.60 (23.25)	5.00
4	94.01	0.07	14.96	1.69 (3.70)	0.33 (0.72)	0.20 (0.44)	5.00
5	95.35	0.07	15.18	3.33 (7.31)	0.84 (1.83)	1.13 (2.49)	5.00
6	103.88	0.06	16.53	0.01 (0.02)	0.02 (0.04)	3.16 (6.94)	5.00
7	125.04	0.05	19.90	0.01 (0.02)	2.81 (6.16)	0.01 (0.01)	5.00
8	179.52	0.04	28.57	0.41 (0.91)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	5.00
9	187.88	0.03	29.90	0.14 (0.31)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	5.00
10	206.36	0.03	32.84	0.01 (0.02)	0.09 (0.19)	0.00 (0.00)	5.00
11	208.12	0.03	33.12	0.00 (0.01)	0.18 (0.39)	0.00 (0.01)	5.00
12	215.32	0.03	34.27	0.02 (0.04)	0.01 (0.02)	0.23 (0.50)	5.00
13	217.80	0.03	34.66	0.08 (0.18)	0.07 (0.16)	2.66 (5.83)	5.00
14	221.20	0.03	35.20	0.38 (0.83)	0.17 (0.38)	8.37 (18.36)	5.00
15	225.97	0.03	35.96	0.04 (0.09)	0.18 (0.39)	14.16 (31.07)	5.00
16	229.65	0.03	36.55	0.02 (0.04)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
17	242.68	0.03	38.62	3.65 (8.01)	0.00 (0.01)	1.53 (3.35)	5.00
18	264.05	0.02	42.02	0.16 (0.35)	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)	5.00
19	269.59	0.02	42.91	0.32 (0.71)	0.01 (0.03)	0.00 (0.01)	5.00
20	281.11	0.02	44.74	0.08 (0.18)	0.00 (0.01)	0.10 (0.22)	5.00
21	287.34	0.02	45.73	0.01 (0.02)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
22	291.02	0.02	46.32	0.03 (0.07)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	5.00
23	306.99	0.02	48.86	0.13 (0.28)	0.00 (0.01)	0.01 (0.02)	5.00
24	311.82	0.02	49.63	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.03)	5.00
25	315.36	0.02	50.19	0.13 (0.28)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	5.00
26	330.29	0.02	52.57	0.02 (0.05)	0.04 (0.08)	0.04 (0.09)	5.00
27	334.06	0.02	53.17	0.02 (0.03)	0.03 (0.07)	0.20 (0.43)	5.00
28	343.17	0.02	54.62	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.43 (0.95)	5.00
29	350.09	0.02	55.72	0.00 (0.00)	0.01 (0.03)	0.63 (1.38)	5.00
30	359.84	0.02	57.27	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.14 (0.31)	5.00
31	363.32	0.02	57.82	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	5.00
32	381.66	0.02	60.74	0.00 (0.00)	0.07 (0.15)	0.00 (0.00)	5.00
33	390.68	0.02	62.18	0.00 (0.01)	0.18 (0.39)	0.00 (0.00)	5.00
34	399.52	0.02	63.59	0.02 (0.04)	0.05 (0.10)	0.00 (0.00)	5.00
35	401.18	0.02	63.85	0.04 (0.10)	0.01 (0.02)	0.01 (0.02)	5.00
36	415.39	0.02	66.11	0.01 (0.03)	0.00 (0.01)	0.02 (0.04)	5.00

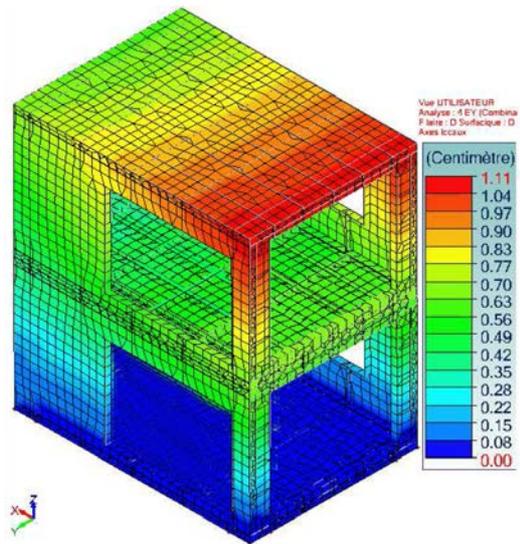
Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
37	425.94	0.01	67.79	0.00 (0.01)	0.04 (0.08)	0.00 (0.01)	5.00
38	432.02	0.01	68.76	0.02 (0.03)	0.00 (0.01)	0.18 (0.39)	5.00
39	437.56	0.01	69.64	0.01 (0.02)	0.21 (0.46)	0.01 (0.03)	5.00
40	450.23	0.01	71.66	0.15 (0.33)	0.04 (0.08)	0.03 (0.06)	5.00
41	460.33	0.01	73.26	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
42	467.91	0.01	74.47	0.00 (0.01)	0.08 (0.18)	0.00 (0.00)	5.00
43	470.20	0.01	74.84	0.00 (0.01)	0.10 (0.23)	0.01 (0.03)	5.00
44	476.44	0.01	75.83	0.01 (0.01)	0.05 (0.11)	0.00 (0.00)	5.00
45	479.14	0.01	76.26	0.00 (0.01)	0.02 (0.04)	0.03 (0.07)	5.00
46	483.98	0.01	77.03	0.04 (0.08)	0.91 (2.01)	0.00 (0.00)	5.00
47	491.40	0.01	78.21	0.01 (0.02)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
48	501.69	0.01	79.85	0.01 (0.02)	0.01 (0.03)	0.00 (0.00)	5.00
49	504.68	0.01	80.32	0.00 (0.00)	2.52 (5.52)	0.00 (0.00)	5.00
50	508.21	0.01	80.88	0.01 (0.02)	0.17 (0.37)	0.00 (0.00)	5.00
51	517.90	0.01	82.43	0.33 (0.72)	0.17 (0.37)	0.02 (0.04)	5.00
52	520.98	0.01	82.92	0.02 (0.05)	0.03 (0.06)	0.00 (0.01)	5.00
53	523.80	0.01	83.36	0.36 (0.79)	0.07 (0.15)	0.01 (0.02)	5.00
54	528.53	0.01	84.12	0.15 (0.33)	0.22 (0.48)	0.00 (0.00)	5.00
55	538.40	0.01	85.69	0.12 (0.27)	0.61 (1.34)	0.00 (0.00)	5.00
56	554.61	0.01	88.27	1.40 (3.06)	0.07 (0.15)	0.02 (0.05)	5.00
57	556.22	0.01	88.53	0.03 (0.06)	0.03 (0.05)	0.04 (0.09)	5.00
58	561.75	0.01	89.40	0.12 (0.26)	0.21 (0.45)	0.00 (0.00)	5.00
59	565.14	0.01	89.95	0.00 (0.01)	0.01 (0.02)	0.01 (0.02)	5.00
60	566.13	0.01	90.10	0.08 (0.17)	0.02 (0.04)	0.01 (0.02)	5.00
61	575.57	0.01	91.60	0.03 (0.06)	0.77 (1.69)	0.00 (0.00)	5.00
62	580.84	0.01	92.44	0.24 (0.54)	0.22 (0.48)	0.01 (0.02)	5.00
63	586.97	0.01	93.42	0.45 (0.98)	0.20 (0.44)	0.00 (0.00)	5.00
64	594.50	0.01	94.62	0.31 (0.68)	0.04 (0.09)	0.05 (0.11)	5.00
65	604.84	0.01	96.26	0.22 (0.48)	0.08 (0.17)	0.01 (0.01)	5.00
66	609.10	0.01	96.94	0.01 (0.03)	0.01 (0.02)	0.01 (0.02)	5.00
67	610.03	0.01	97.09	0.16 (0.35)	0.31 (0.68)	0.02 (0.03)	5.00
68	619.04	0.01	98.52	0.00 (0.01)	0.07 (0.14)	0.01 (0.02)	5.00
69	626.21	0.01	99.66	0.75 (1.65)	0.01 (0.03)	0.03 (0.07)	5.00
70	638.55	0.01	101.63	0.02 (0.04)	0.07 (0.15)	0.01 (0.01)	5.00
71	639.99	0.01	101.86	0.26 (0.57)	0.14 (0.30)	0.00 (0.00)	5.00
72	644.60	0.01	102.59	0.07 (0.15)	0.00 (0.01)	0.01 (0.01)	5.00
73	655.49	0.01	104.32	0.05 (0.11)	0.01 (0.02)	0.02 (0.04)	5.00
74	662.06	0.01	105.37	0.01 (0.03)	0.02 (0.04)	0.01 (0.02)	5.00
75	667.15	0.01	106.18	0.02 (0.04)	0.24 (0.52)	0.00 (0.00)	5.00
76	677.61	0.01	107.85	0.30 (0.65)	0.00 (0.00)	0.02 (0.05)	5.00
77	682.06	0.01	108.55	0.01 (0.01)	0.00 (0.00)	0.06 (0.13)	5.00
78	686.18	0.01	109.21	0.02 (0.05)	0.01 (0.01)	0.03 (0.07)	5.00
79	695.29	0.01	110.66	0.00 (0.00)	0.04 (0.08)	0.01 (0.02)	5.00
80	701.55	0.01	111.66	0.06 (0.13)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	5.00
81	702.32	0.01	111.78	0.00 (0.01)	0.01 (0.02)	0.07 (0.16)	5.00
82	720.37	0.01	114.65	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	5.00
83	723.63	0.01	115.17	0.01 (0.02)	0.00 (0.01)	0.01 (0.01)	5.00
84	733.52	0.01	116.74	0.05 (0.12)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
85	737.55	0.01	117.38	0.00 (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.03)	5.00
86	743.19	0.01	118.28	0.04 (0.08)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00

Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Masses modales			Amortissement (%)
				X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
87	750.17	0.01	119.39	0.24 (0.52)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	5.00
88	772.30	0.01	122.92	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
89	776.46	0.01	123.58	0.01 (0.03)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
90	785.80	0.01	125.06	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.03 (0.07)	5.00
91	788.56	0.01	125.50	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	5.00
92	801.39	0.01	127.55	0.01 (0.02)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	5.00
93	806.46	0.01	128.35	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	0.03 (0.06)	5.00
94	815.62	0.01	129.81	0.02 (0.05)	0.00 (0.00)	0.01 (0.01)	5.00
95	819.75	0.01	130.47	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
96	822.24	0.01	130.86	0.01 (0.03)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
97	829.22	0.01	131.98	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.01 (0.01)	5.00
98	835.32	0.01	132.94	0.04 (0.09)	0.04 (0.09)	0.02 (0.04)	5.00
99	837.44	0.01	133.28	0.01 (0.02)	0.00 (0.00)	0.04 (0.08)	5.00
100	838.21	0.01	133.41	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	5.00
Total				45.31 (99.42)	45.08 (98.92)	45.08 (98.91)	

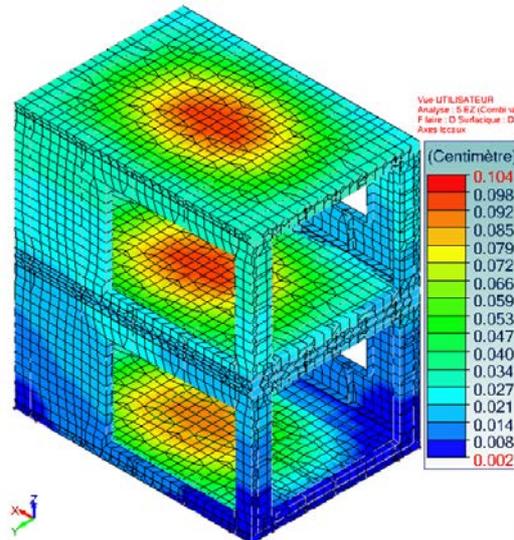
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y

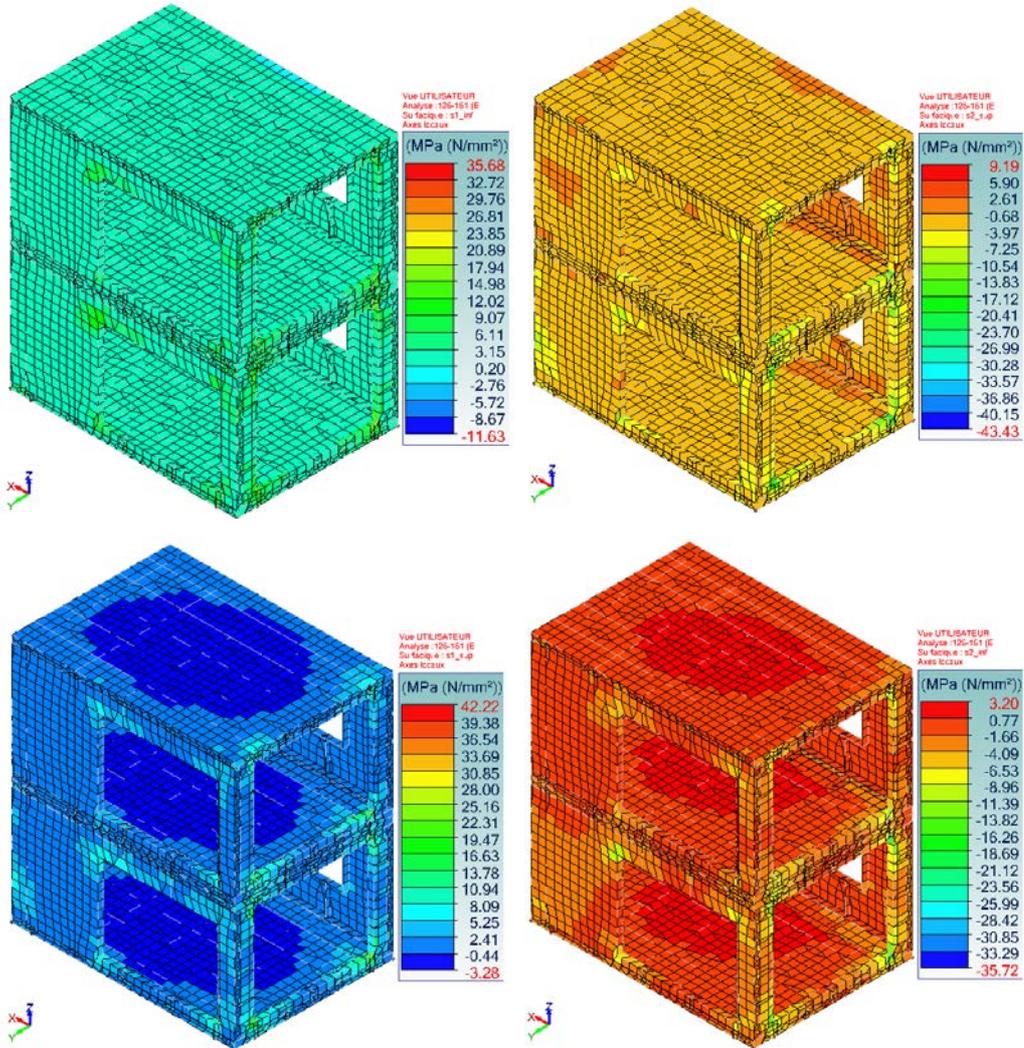


SEISME DIRECTION Z



CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 3 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (0.33 CM), Y (1.11 CM), Z (0.104 CM) ONT CONSIDERABLEMENT DIMINUES. **D_{MAX}=1.11CM. EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES : D_{MAX} ≤ 0.005H/0.4 ? : SATISFAITE (EC8-1 § 4.4.3)**

VERIFICATION DES CONTRAINTES

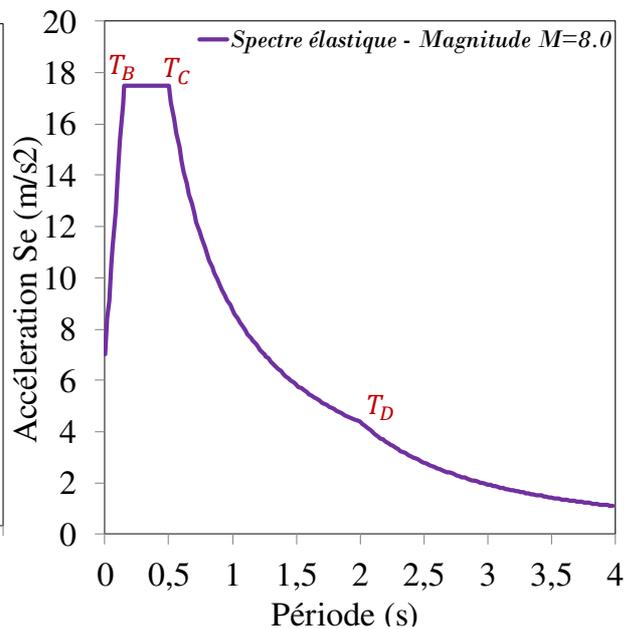
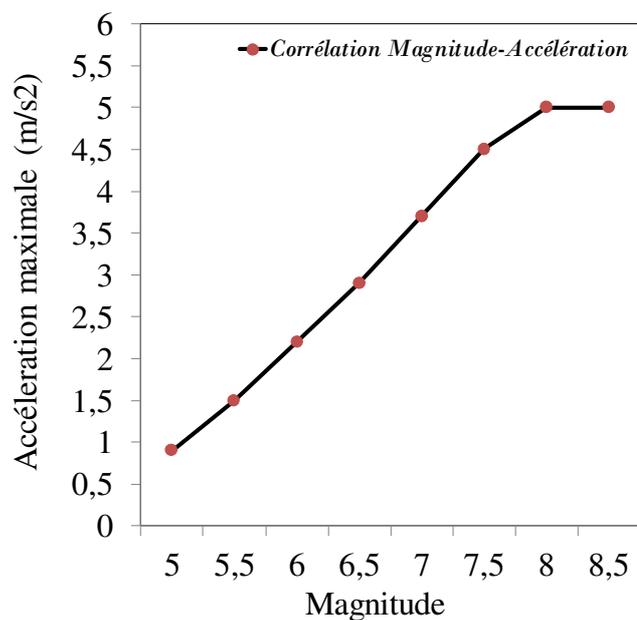


CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 3 : LA CONTRAINTE MAXIMALE DE TRACTION OBSERVEE EST DE **42.22MPA (TRES LOCAL)**. CETTE CONTRAINTE EST FORTEMENT LOCALISEE JUSTE A QUELQUES ENDROITS EN PARTICULIER AU NIVEAU DES SINGULARITES. LA CONTRAINTE SUR LA MAJORITE DE LA SURFACE DU MODULE EST INFERIEURE A **11.0MPA (DERNIERE FIGURE)**, DONC INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE: **FISSURATION ATTEINTE QUE TRES LOCALEMENT AU NIVEAU DE QUELQUES SINGULARITES**

VIII/ RESULTATS NUMERIQUES : CAS D'UN SEISME DE MAGNITUDE M=8.0

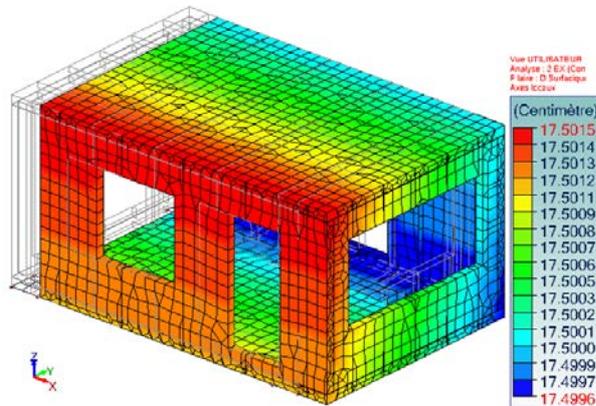
Nous nous plaçons cette fois-ci dans le cas d'un séisme de Magnitude $M=8.0$ selon l'échelle de RICHTER. A partir de la magnitude, on peut avoir l'ordre de grandeur de l'accélération maximale du sol. La corrélation Magnitude/Accélération de sol est indiquée ci-dessous [Journée technique parasismique, 2013]. Nous considérons donc pour cette étude une accélération du sol égale à 5.0 m/s^2 . Le spectre de réponse élastique est utilisé et adapté pour pour les périodes de vibration éventuellement longues (spectre horizontal indiqué ci-dessous). Pour ce qui est des conditions aux limites les résultats de 02 cas sont présentés : module simplement appuyé (déplacement horizontaux permis), et module retenue horizontalement suivant X et Y (Déplacements horizontaux empêchés, raideur horizontale prise égale à 4.10^6 kN/m^2).

Magnitude	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
Accélération maximale [m/s^2]	0.9	1.5	2.2	2.9	3.7	4.5	5.0	5.0

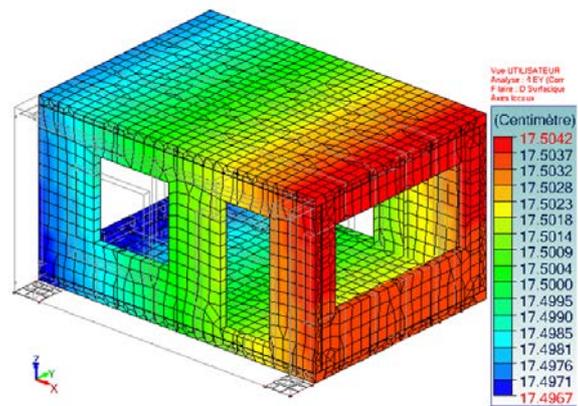


▪ CAS 1 : MODULE SIMPLEMENT APPUYE

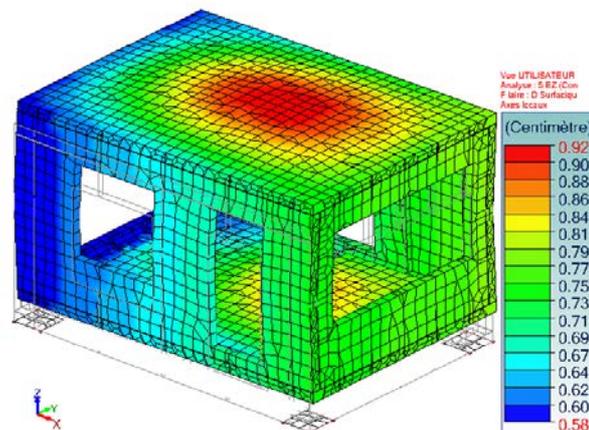
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y

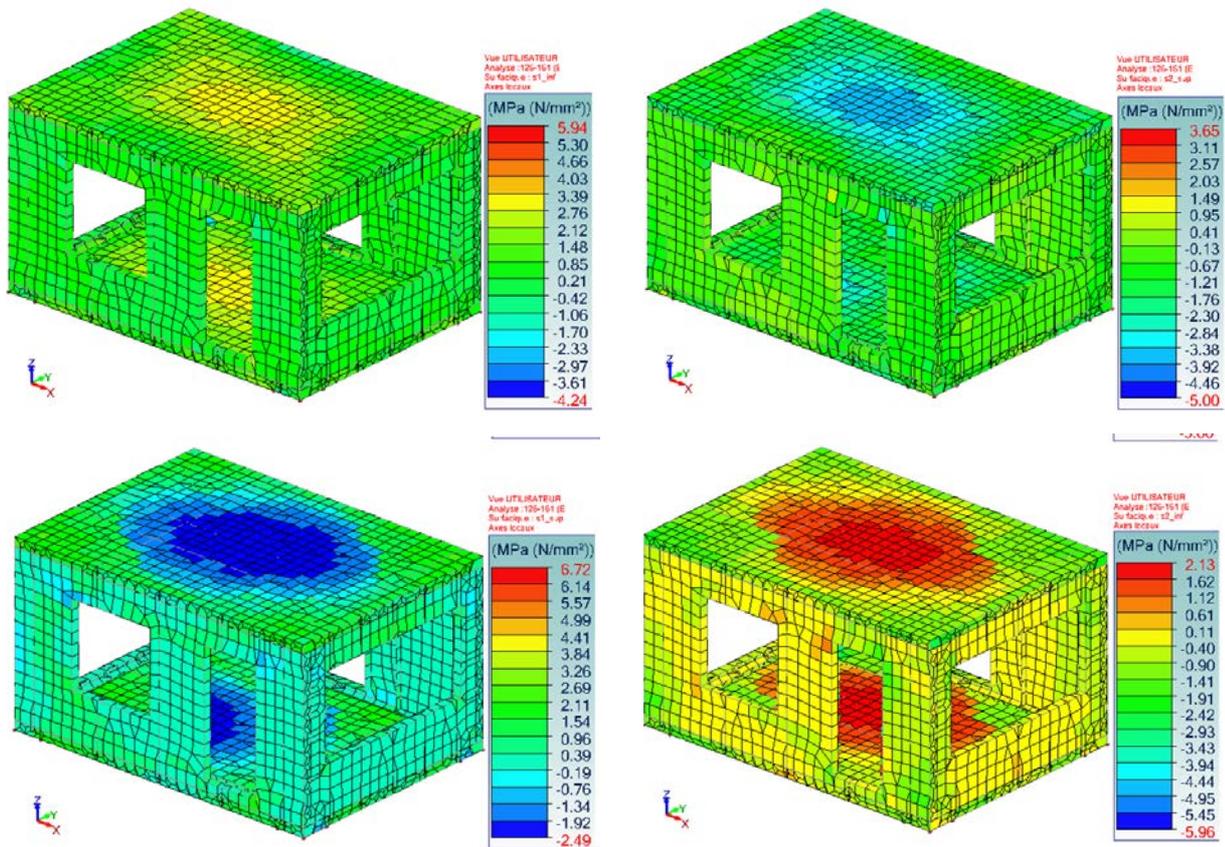


SEISME DIRECTION Z



CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 1 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (17.5 CM) - Y (17.5 CM) - Z (0.92 CM) SONT PLUS ELEVES COMPARE AU CAS D'UN SEISME DE ZONE 5. D_{MAX}=17.5CM. STRUCTURE NON LIAISONNEE AVEC LE SOL : PAS D'EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES

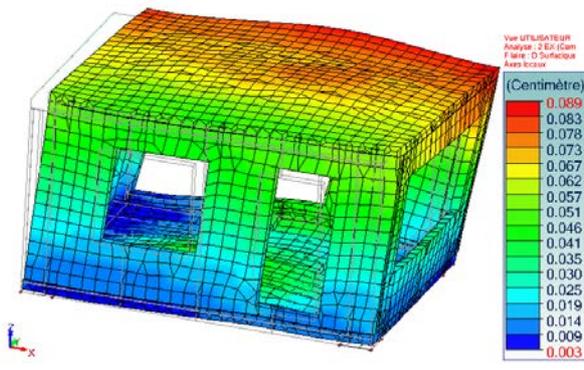
VERIFICATION DES CONTRAINTES



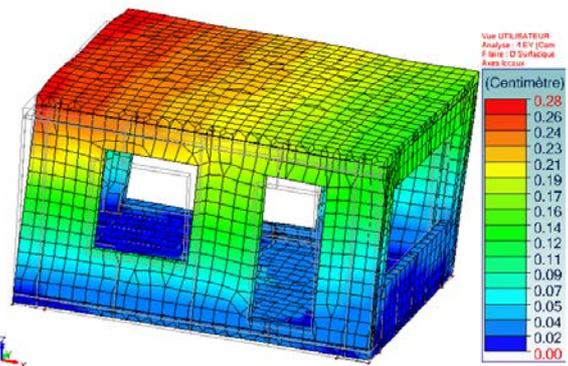
CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 1 : EN OBSERVANT LES VALEURS DES CONTRAINTES MAXIMALES DE TRACTION, IL RESSORT QUE LA FISSURATION DU MODULE N° EST PAS ATTEINTE. LA VALEUR MAXIMALE OBSERVEE EST DE 6.72MPA (TRES LOCAL). CETTE VALEUR EST INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE QUI EST DE 11.0 MPa OBTENUE EXPERIMENTALEMENT.

■ **CAS 3 : MODULE RETENU HORIZONTELEMENT**

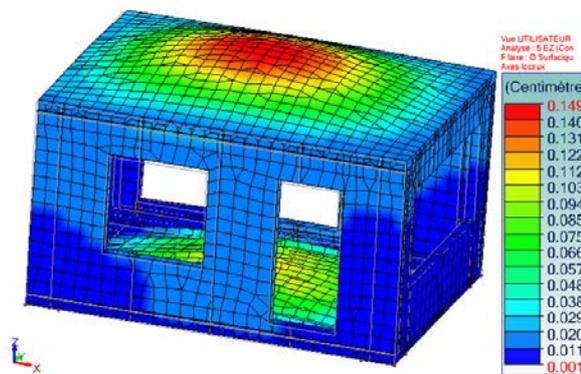
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y



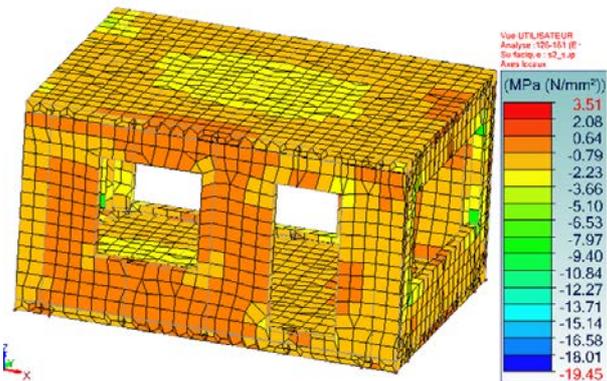
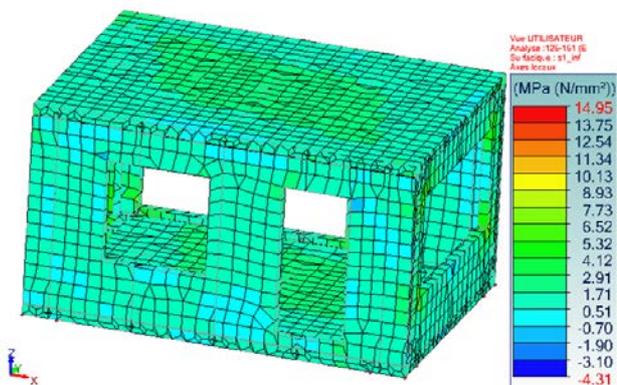
SEISME DIRECTION Z

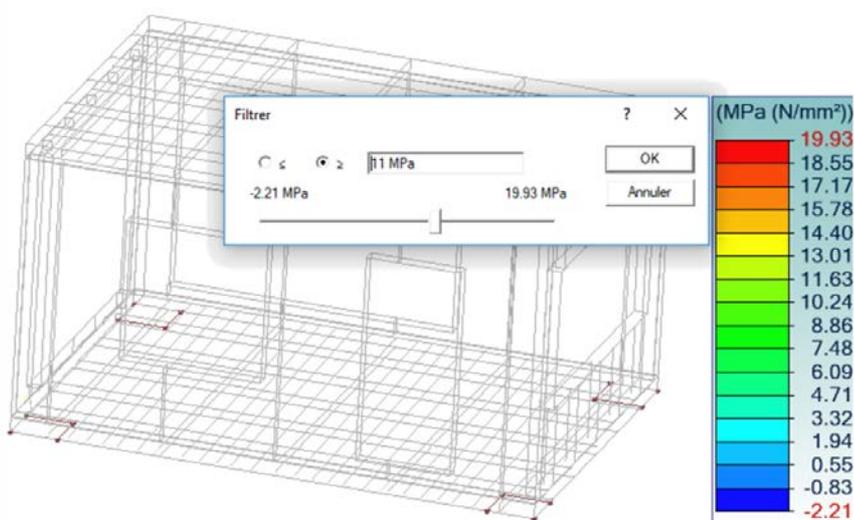
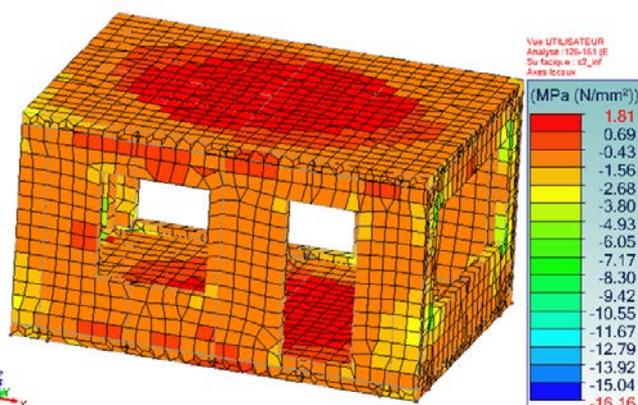
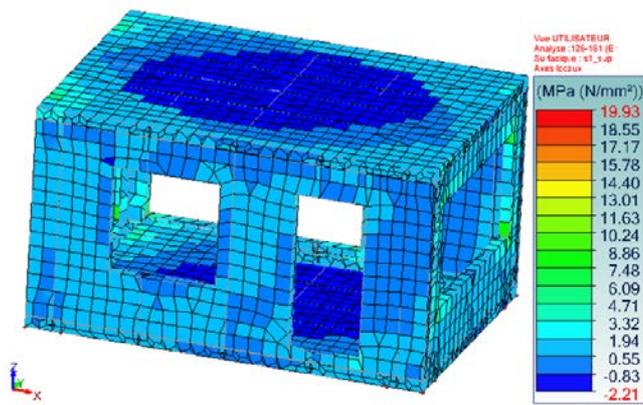


CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 3 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (0.09 CM), Y (0.28 CM), Z (0.15 CM) SONT PLUS ELEVES COMPARE AU CAS D'UN SEISME DE ZONE 5. $D_{MAX}=0.28CM$.

EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES : $D_{MAX} \leq 0.005H/0.4 ?$: **SATISFAITE** (EC8-1 § 4.4.3)

VERIFICATION DES CONTRAINTES

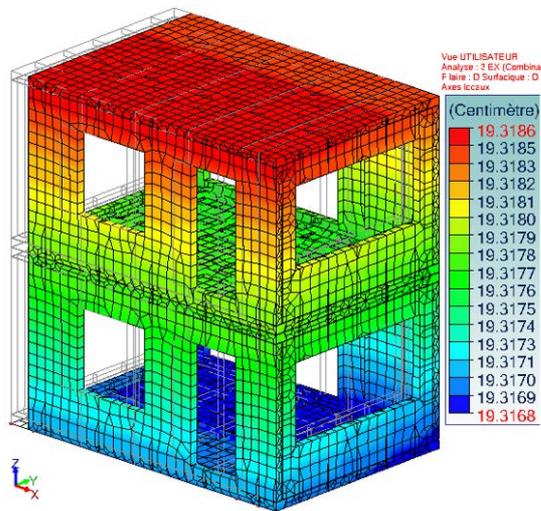




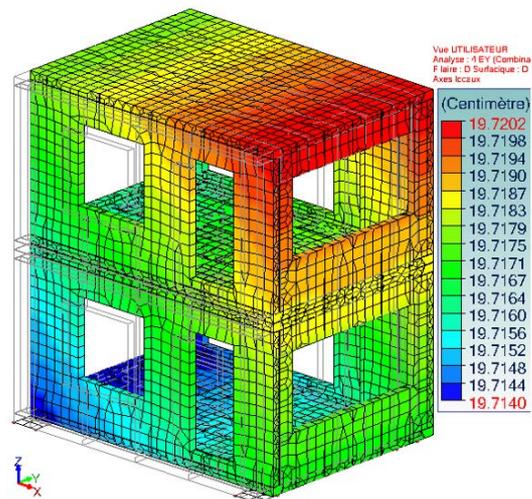
CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 3: LA CONTRAINTE MAXIMALE DE TRACTION OBSERVEE EST DE **19.93MPA**. CETTE CONTRAINTE EST FORTEMENT LOCALISEE. LA CONTRAINTE SUR LA MAJORITE DE LA SURFACE DU MODULE EST INFERIEURE A **11.0MPA** (DERNIERE FIGURE), DONC INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE: **FISSURATION DU MODULE N'EST PAS ATTEINTE**.

▪ **CAS 1 : MODULE SIMPLEMENT APPUYE**

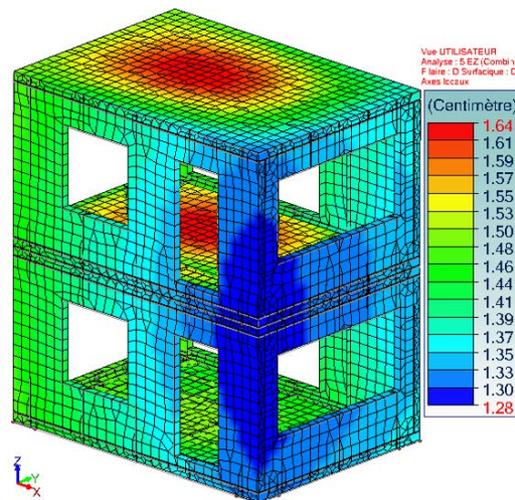
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y

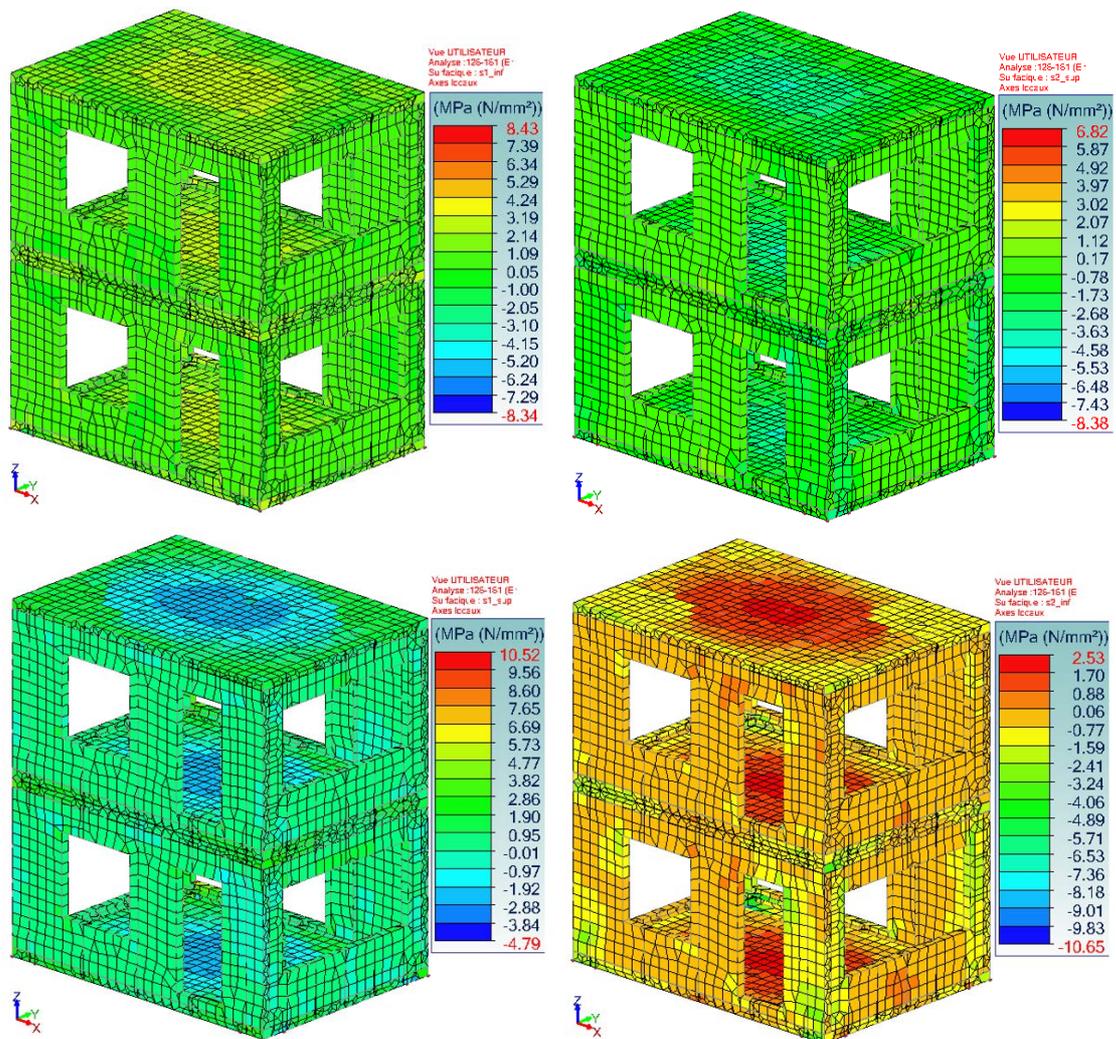


SEISME DIRECTION Z



CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 1 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (19.32 CM) - Y (19.72 CM) - Z (1.64 CM) SONT PLUS ELEVES COMPARE AU CAS D'UN SEISME DE ZONE 5. DMAX=19.72CM. STRUCTURE NON LIAISONNEE AVEC LE SOL : PAS D'EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES

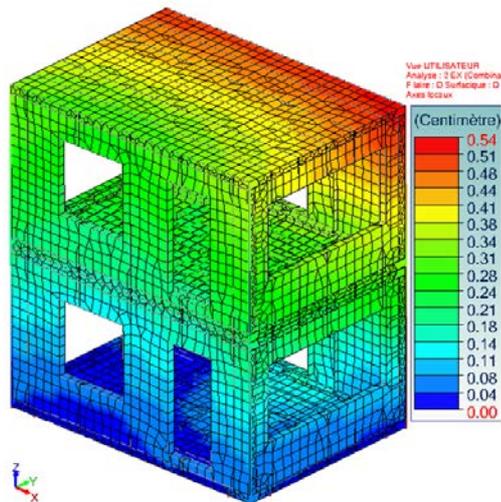
VERIFICATION DES CONTRAINTES



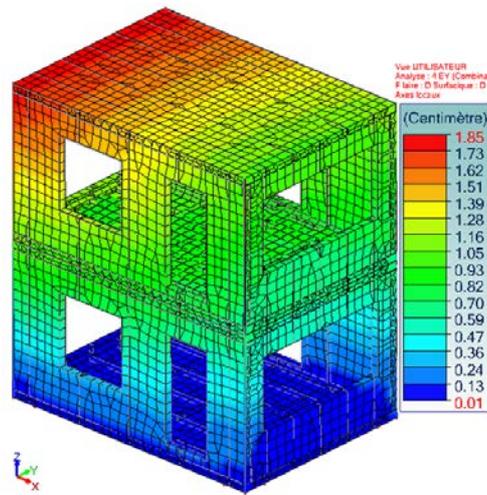
CONCLUSION CONTRAINTE - CAS 1: EN OBSERVANT LES VALEURS DES CONTRAINTES MAXIMALES DE TRACTION, IL RESSORT QUE **LA FISSURATION DU MODULE N° EST PAS ATTEINTE**. LA VALEUR MAXIMALE OBSERVEE EST DE **10.52 MPa (TRES LOCAL)**. CETTE VALEUR EST INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE QUI EST DE **11.0 MPa** OBTENUE EXPERIMENTALEMENT.

■ CAS 3 : MODULE RETENU HORIZONTELEMENT

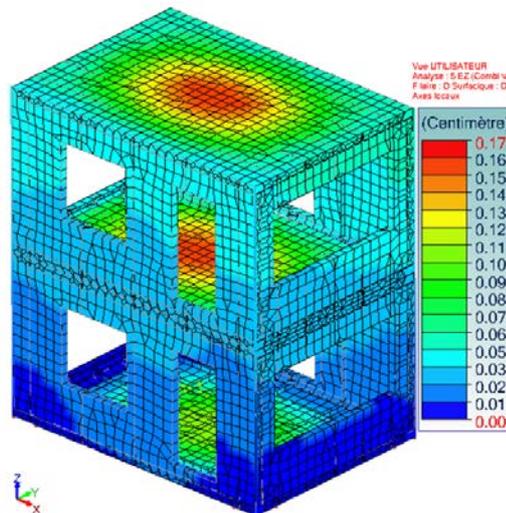
SEISME DIRECTION X



SEISME DIRECTION Y



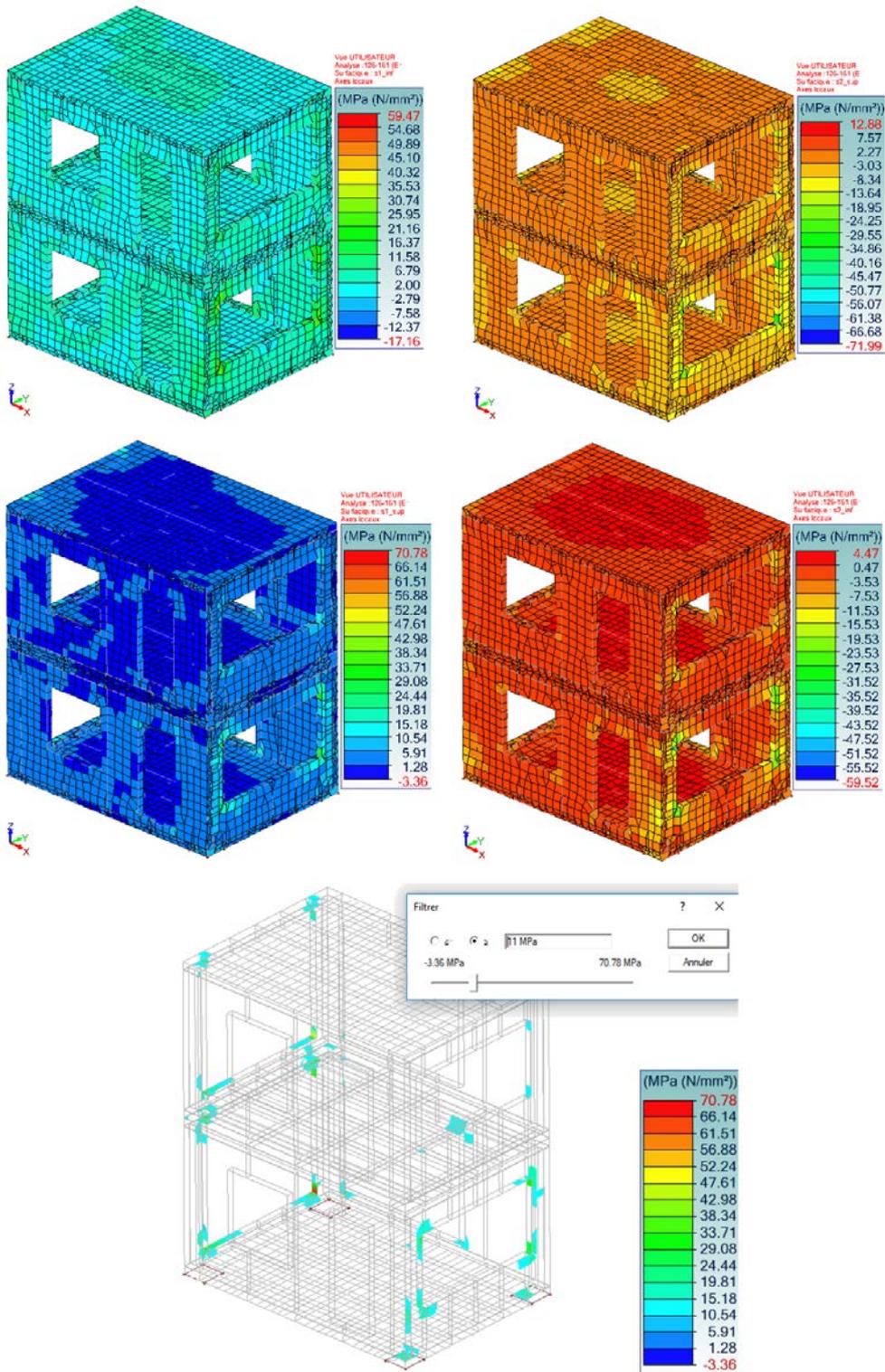
SEISME DIRECTION Z



CONCLUSION DEPLACEMENT - CAS 3 : LES DEPLACEMENTS OBSERVES SOUS SEISME DANS LES DIRECTIONS X (0.54 CM), Y (1.85 CM), Z (0.17 CM) SONT PLUS ELEVES COMPARE AU CAS D'UN SEISME DE ZONE 5. $D_{MAX}=1.85CM$.

EXIGENCES LIMITATION DOMMAGES : $D_{MAX} \leq 0.005H/0.4$? : SATISFAITE (EC8-1 § 4.4.3)

VERIFICATION DES CONTRAINTES



CONCLUSION : LA CONTRAINTE MAXIMALE DE TRACTION OBSERVEE EST DE 70.78 MPA (TRES LOCAL). CETTE CONTRAINTE EST FORTEMENT LOCALISEE ET UNE CONTRAINTE D'ENVIRON 15 MPA JUSTE A QUELQUES ENDROITS EN PARTICULIER AU NIVEAU DE QQ SINGULARITES. LA CONTRAINTE SUR LA MAJORITE DE LA SURFACE DU MODULE EST INFERIEURE A 11.0MPA (DERNIERE FIGURE), DONC INFERIEURE A LA RESISTANCE EN TRACTION DU BETON FIBRE: **FISSURATION ATTEINTE QUE TRES LOCALEMENT AU NIVEAU DE QUELQUES SINGULARITES.**

IX/ RECAPITULATIF DE L'ETUDE

MODULE RDC

SEISME	SIMPLEMENT APPUYE			RETENUE HORIZONTALEMENT		
	Déplacement max [cm]	Exigence Déplacement EC8	Fissuration Acceptable	Déplacement max [cm]	Exigence Déplacement EC8	Fissuration Acceptable
ZONE 5	10.5	-	☑	0.17	☑	☑
M = 8.0	17.5	-	☑	0.28	☑	☑

MODULE R + 1

SEISME	SIMPLEMENT APPUYE			RETENUE HORIZONTALEMENT		
	Déplacement max [cm]	Exigence Déplacement EC8	Fissuration Acceptable	Déplacement max [cm]	Exigence Déplacement EC8	Fissuration Acceptable
ZONE 5	11.83	-	☑	1.11	☑	☑
M = 8.0	19.72	-	☑	1.85	☑	☑

NB1 : Les résultats sont obtenus en considérant que le CUBIK HOME reste dans un état élastique de comportement. Le coefficient de ductilité q fourni par l'Eurocode 8 afin de s'approcher de façon simplifiée à un comportement plastique n'est pas utilisé. Cela est justifié par le fait que les déplacements obtenus par l'analyse élastique (méthode spectrale) pour un module retenu horizontalement sont déjà modérés et ne remettent pas en cause les exigences de non effondrement/sécurité. Une analyse spectrale avec un coefficient de ductilité q ou une analyse dynamique purement non linéaire (modèle élasto-plastique endommageable par exemple) réduiraient d'avantage les déplacements obtenus, ce qui nous placerait encore plus dans le sens de la sécurité.

NB2 : Concernant la condition aux limites CAS 1 où le CUBIK HOME est considéré simplement appuyé, les modes principaux de déformation sont essentiellement des modes de translation d'ensemble du module. Les déplacements absolus qui en résultent suivant les directions horizontales X, Y et verticales Z sont relativement acceptables car contrôlables par un système d'appuis adéquat à étudier (Système à base d'élastomère (néoprène), Système à base de glissement...).

X/ DOCUMENTS DE REFERENCE

[1] Norme EN 1998