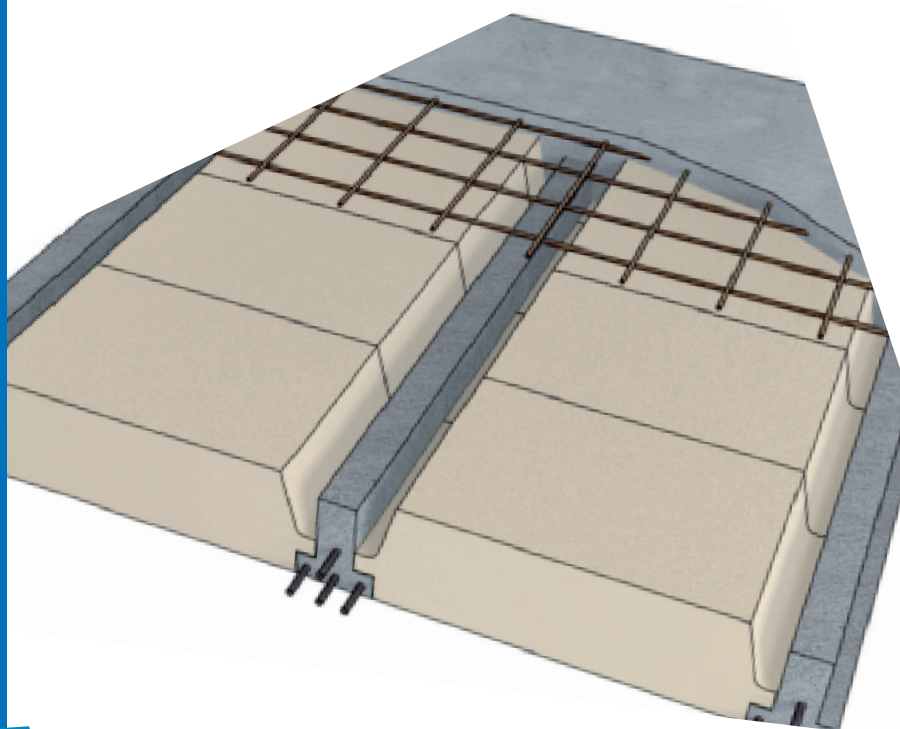


574.E - JUILLET 2024

ÉTUDES ET RECHERCHES

ÉTUDE NUMÉRIQUE DES
PLANCHERS POUTRELLES /
ENTREVOUS SOUS SOLLICITATION
SISMIQUE D'UN ÉTABLISSEMENT
SCOLAIRE

IBRAHIM ALACHEK
MATTHIEU SCALLIET



Etude numérique des planchers poutrelles/entrevous sous sollicitation sismique d'un établissement scolaire

574.E

Avant-propos

Ce rapport est articulé en deux parties :

- la première partie est destinée au lecteur qui souhaite apprécier très rapidement si l'étude évoquée le concerne, et donc si les méthodes proposées ou si les résultats indiqués sont directement utilisables pour son entreprise ;
- la deuxième partie de ce document est plus technique ; on y trouvera donc tout ce qui intéresse directement les techniciens de notre industrie.

© 2024 CERIB – CS 10010 – 28233 Epernon Cedex

ISSN 0249-6224 – EAN 9782857553632

574.E – juillet 2024

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction
par tous procédés réservés pour tous pays.

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de son article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon exposant son auteur à des poursuites en dommages et intérêts ainsi qu'aux sanctions pénales prévues à l'article L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle.

Sommaire

1. Synthèse générale de l'étude	5
1.1. Problématique	5
1.2. Intérêts et conséquences	5
2. Dossier de l'étude	7
2.1. Introduction	7
2.2. Etude numérique	8
2.3. Hypothèses numériques	8
2.4. Types de calculs	8
2.5. Structure modélisée	11
2.6. Propriétés des matériaux	13
2.7. Les types d'éléments finis	15
2.8. Conditions aux limites et chargements	15
2.8.1. Conditions aux limites	15
2.8.2. Chargement appliqué sur les planchers	15
2.8.3. Spectre de calcul	16
2.9. Résultats observés et critères utilisés	17
2.9.1. Analyse modale	17
2.9.2. Monolithisme entre une poutrelle et le béton coulé en place	18
2.9.3. Vérification de la fonction tirant-buton	37
2.9.4. Vérification de la fonction diaphragme	55
2.10. Conclusions	75
2.11. Domaine d'emploi	76
Bibliographie	78
Annexe 1. Rapport d'expertise de Monsieur BISCH du 11/04/2018	79
Annexe 2. Vérification du monolithisme entre une poutrelle et le béton coulé en place	85
Annexe 3. Détermination de l'excentricité structurale	103
Index des figures	106
Index des tableaux	109

1. Synthèse générale de l'étude

1.1. Problématique

L'arrêté du 8 octobre 2021 modifiant celui du 22 octobre 2010 a exclu les établissements scolaires (catégorie d'importance III en zone de sismicité 2) du domaine d'emploi d'application des règles simplifiées de CPMI EC8. De ce fait, la réalisation des vérifications sismiques ainsi que de calculs approfondis sont nécessaires afin de justifier le comportement sismique des planchers de type poutrelles/entrevous au cas par cas.

L'objectif de cette étude est de réaliser les vérifications requises par la norme NF EN 1998-1 pour les planchers poutrelles/entrevous sur un établissement scolaire représentatif d'un domaine d'emploi à définir. Ce domaine permettra au Bureau d'Etudes Structures de s'affranchir de réaliser des vérifications sismiques pour le plancher, moyennant la mise en place de dispositions constructives forfaitaires (ou règles parasismiques simplifiées) permettant de satisfaire aux prescriptions de la norme NF EN 1998-1 et de son annexe nationale.

1.2. Intérêts et conséquences

L'ensemble des vérifications numériques sous sollicitations sismiques des planchers poutrelles/entrevous constituant l'établissement scolaire irrégulier d'un seul étage retenu pour les modélisations ont été effectuées dans cette étude. Ces modélisations ont permis l'élaboration de dispositions constructives spécifiques à respecter pour certains établissements scolaires présentant une configuration analogue à celle étudiée. L'étude a également établi des critères et conditions concernant les excentricités structurales à respecter pour les établissements scolaires à un seul étage avec des planchers à poutrelles-entrevous. Si ces conditions sont remplies, la résistance des planchers est considérée comme satisfaisante sans nécessité de réaliser un calcul sismique, à condition d'adopter les dispositions constructives établies dans cette étude.

Cette nouvelle typologie de bâtiment pourrait compléter l'ensemble du domaine d'emploi défini pour la maison individuelle (cf rapport n°491.I [1]) et pour le petit collectif (cf rapport n°559.i [2]) permettant au Bureau d'Etudes Structures de s'affranchir de vérifications sismiques pour le plancher.

2. Dossier de l'étude

2.1. Introduction

Lorsqu'il est nécessaire de justifier les ouvrages de bâtiments sous les actions sismiques, la réglementation impose le respect de la norme NF EN 1998-1 [3], accompagnée de son annexe nationale NF EN 1998-1/NA [4]. Pour certains types de bâtiments simples comme les maisons individuelles ou bâtiments assimilés, une alternative est permise en renvoyant à la norme NF P 06-014 [5], appelée également "règles PSMI89". Les règles PSMI89 ont été remplacées par les règles CPMI [6].

Ces règles forfaitaires simplifiées permettent la justification sans calcul approfondi, d'ouvrages simples répondant à des critères et dispositions constructives minimales. Le principe de justification sans calcul est particulièrement adapté aux ouvrages de type maisons individuelles ou bâtiments assimilés réalisés à partir de poutrelles et entrevous. Les critères autorisant leur application sont toutefois limitatifs et certains ouvrages échappent à leur domaine d'emploi.

Dans ce contexte et dans le cadre de son programme d'Etudes et Recherches, le CERIB a lancé une étude (n° DS035) afin d'étudier ces bâtiments échappant au domaine d'emploi des CPMI [6], au travers deux bâtiments représentatifs du domaine étendu visé et repris de l'étude commune CSTB/CERIB elle-même réalisée pour valider l'utilisation du procédé rupteurs en zone sismique pour les planchers poutrelles/entrevous (une maison individuelle hors cadre CPMI et un petit collectif).

L'objectif de cette étude est de réaliser les vérifications requises par la norme NF EN 1998-1 [3] pour les planchers sur des bâtiments représentatifs d'un domaine d'emploi à définir. Ce domaine permettra au Bureau d'Etudes Structures de s'affranchir de réaliser des vérifications sismiques pour le plancher, moyennant la mise en place de dispositions constructives forfaitaires (ou règles parasismiques simplifiées) permettant de satisfaire aux prescriptions de la norme NF EN 1998-1 [3] accompagnée de son annexe nationale NF EN 1998-1/NA [4].

L'utilisation de ces dispositions constructives pour les planchers n'enlève en rien la nécessité de respecter les règles de conception, de calculs et de réalisation s'appliquant en situation sismique pour les autres éléments du bâtiment (murs...).

Un premier travail, ayant fait l'objet d'un rapport CERIB (n° 393.I [7]), a permis de définir une méthodologie de calcul validée par Monsieur Philippe BISCH¹. À partir de cette méthodologie, un second rapport CERIB (n° 491.I [1]) a permis de présenter les résultats numériques d'une maison avec une irrégularité moyenne en plan et une architecture complexe (les limites de certains critères géométriques définis par les règles CPMI sont dépassées). Au vu des résultats de cette étude, des dispositions constructives ont été alors définies, permettant la justification sans calcul sismique pour les planchers poutrelles/entrevous de ce type de bâtiment (maison individuelle).

Un troisième rapport CERIB (n° 559.I [2]) a ensuite présenté les résultats numériques d'un petit collectif régulier au sens de l'EC8. De la même manière que pour la maison individuelle, des dispositions forfaitaires pour des petits collectifs de géométries et élévations similaires (bâtiments sortant du domaine des CPMI) ont pu être définies pour s'affranchir de la réalisation des vérifications sismiques pour le plancher de ce type de bâtiment.

¹ Monsieur Philippe BISCH est un expert sismique reconnu.

Enfin, le précédent arrêté sismique du 22 octobre 2010 [8] dispensait les établissements scolaires, à un seul niveau, ceux situés en zone de sismicité 2 et appartenant à la catégorie d'importance III, des vérifications requises dans la norme NF EN 1998-1 moyennant l'application de dispositions constructives définies dans les règles PSMI89 et le respect des conditions du paragraphe 1.1.

Cependant, l'article 5 du nouvel arrêté du 8 octobre 2021 [9], modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 [8], a exclu les établissements scolaires (catégorie d'importance III en zone de sismicité 2) du domaine d'emploi d'application des règles simplifiées de CPMI EC8 [6].

Dans ce contexte et afin d'intégrer les établissements scolaires à un seul niveau (Vide sanitaire + toiture) au domaine d'emploi permettant au Bureau d'Etudes Structures de s'affranchir de réaliser des vérifications sismiques pour le plancher, un établissement scolaire avec une irrégularité moyenne en plan a été également étudié.

Le présent document expose les résultats numériques de cet établissement scolaire complexe dans le but de définir des dispositions forfaitaires pour des bâtiments de géométrie et d'élévation similaires permettant de satisfaire aux prescriptions de la norme NF EN 1998-1 [3] et de son annexe nationale.

La synthèse de l'ensemble des dispositions constructives définies séparément pour la maison individuelle irrégulière complexe, le petit collectif régulier et les établissements scolaires permettront de définir alors un domaine d'emploi relatif à une justification sans calcul sismique.

2.2. Etude numérique

La méthode de modélisation numérique exposée dans le rapport 393.I [7] est reprise et appliquée au bâtiment suivant.

Elle permet d'effectuer les trois vérifications des planchers à poutrelles/entrevous du bâtiment nécessaires pour assurer les fonctions demandées en zone sismique :

- Monolithisme entre le béton coulé en place et l'élément préfabriqué ;
- Fonction tirant-buton ;
- Fonction diaphragme.

2.3. Hypothèses numériques

Pour répondre à la problématique sismique de l'étude, l'ensemble du bâtiment est modélisé et étudié à l'aide de la méthode des éléments finis proposée par le logiciel ANSYS.

2.4. Types de calculs

Un premier calcul modal est réalisé sur le bâtiment pour lequel le calcul des modes de vibration est poursuivi jusqu'à la fréquence de coupure de 33 Hz (période de 0.03 s), dans chacune des directions d'excitation étudiées. En aucun cas, le nombre de modes retenus n'est inférieur à 3. Si à la fréquence de 33 Hz, le cumul des masses modales dans la direction de l'excitation n'atteint pas 90% de la masse totale vibrante, il doit être tenu compte des modes négligés par toute méthode scientifiquement établie et sanctionnée par l'expérience ; en particulier, il peut être considéré un mode résiduel affecté d'une masse égale à la masse vibrante négligée (§ 6.6.2.2 de la NF P 06-013 [10]) :

$$M - \sum M_i$$

Avec :

M : masse totale vibrante ;

$\sum M_i$: somme des masses modales.

La NF P 06-013 [10] apporte des précisions supplémentaires, non contradictoires avec l'EC8, sur l'analyse modale (§ 4.3.3.3 de la NF EN 1998-1, 2005 [3]).

Les résultats de ce calcul modal sont ensuite utilisés pour réaliser trois calculs spectraux avec la combinaison quadratique complète des modes propres, appelée méthode CQC (Complete Quadratic Combination) :

- Calcul spectral suivant X pour obtenir les effets E_{Edx} de cette action ;
- Calcul spectral suivant Y pour obtenir les effets E_{Edy} de cette action ;
- Calcul spectral suivant Z pour obtenir les effets E_{Edz} de cette action.

Pour ces calculs sismiques, les charges appliquées sur la structure sont les suivantes :

$$G + \Psi_E Q \text{ avec } \Psi_E = \Psi_2 \varphi$$

Pour les combinaisons d'actions, les charges d'exploitation d'un bâtiment d'établissement scolaire seront affectées par un coefficient Ψ_2 dont la valeur est définie par le § A1.2.2 de la NF EN 1990 [11] ($\Psi_2 = 0.6$ pour les bâtiments de catégorie C) et un coefficient φ défini par le § 4.2.4 de la NF EN 1998-1 ($\varphi = 0.8$ dans le cas des étages courants à occupations corrélées et $\varphi = 1$ pour la toiture).

Pour cette situation sismique, un calcul statique est également réalisé afin d'obtenir les résultats de la structure sous charges gravitaires (poids propres, charges permanentes, charges d'exploitation) :

$$G + \Psi_2 Q$$

Comme l'indique la NF EN 1990 [11] § 6.4.3.4(2), ces calculs seront combinés sur l'ensemble de la structure ou sur une partie de la structure de la manière suivante :

$$G + \Psi_2 Q + A_{Ed}$$

Où « + » signifie « être combiné avec ».

L'action sismique A_{Ed} sera la combinaison la plus pénalisante entre les trois calculs spectraux (E_{Edx} , E_{Edy} , E_{Edz}).

En France métropolitaine, la composante verticale E_{Edz} n'a pas à être prise en compte (§4.3.3.5.2 de la NF EN 1998-1 [3]). Bien que normativement, la norme NF EN 1998-1 [3] autorise explicitement la possibilité de ne pas considérer l'accélération verticale dans le calcul, l'étude numérique prend sécuritairement en compte cette composante verticale car, en l'absence de justifications expérimentales, la résistance sismique V_{Rdi} pourrait se trouver fortement réduite par rapport à la résistance statique, pouvant ainsi rendre la situation sismique dimensionnante.

Selon la NF EN 1998-1 § 4.3.3.5.2(4) [3], l'ensemble des combinaisons sismiques étudiées sont les suivantes :

N°	Combinaison	N°	Combinaison
1	$G+\Psi_2Q$	14	$G+\Psi_2Q-0.3E_x+E_y+0.3E_z$
2	$G+\Psi_2Q+E_x+0.3E_y+0.3E_z$	15	$G+\Psi_2Q-0.3E_x-E_y+0.3E_z$
3	$G+\Psi_2Q+E_x-0.3E_y+0.3E_z$	16	$G+\Psi_2Q-0.3E_x+E_y-0.3E_z$
4	$G+\Psi_2Q+E_x+0.3E_y-0.3E_z$	17	$G+\Psi_2Q-0.3E_x-E_y-0.3E_z$
5	$G+\Psi_2Q+E_x-0.3E_y-0.3E_z$	18	$G+\Psi_2Q+0.3E_x+0.3E_y+E_z$
6	$G+\Psi_2Q-E_x+0.3E_y+0.3E_z$	19	$G+\Psi_2Q+0.3E_x-0.3E_y+E_z$
7	$G+\Psi_2Q-E_x-0.3E_y+0.3E_z$	20	$G+\Psi_2Q+0.3E_x+0.3E_y-E_z$
8	$G+\Psi_2Q-E_x+0.3E_y-0.3E_z$	21	$G+\Psi_2Q+0.3E_x-0.3E_y-E_z$
9	$G+\Psi_2Q-E_x-0.3E_y-0.3E_z$	22	$G+\Psi_2Q-0.3E_x+0.3E_y+E_z$
10	$G+\Psi_2Q+0.3E_x+E_y+0.3E_z$	23	$G+\Psi_2Q-0.3E_x-0.3E_y+E_z$
11	$G+\Psi_2Q+0.3E_x-E_y+0.3E_z$	24	$G+\Psi_2Q-0.3E_x+0.3E_y-E_z$
12	$G+\Psi_2Q+0.3E_x+E_y-0.3E_z$	25	$G+\Psi_2Q-0.3E_x-0.3E_y-E_z$
13	$G+\Psi_2Q+0.3E_x-E_y-0.3E_z$		

Afin d'avoir une référence de calcul simple à évaluer permettant de vérifier le correct dimensionnement du plancher sous combinaisons d'actions en situations durables, un calcul à l'ELU statique sera également mené dans cette étude avec la combinaison de charge fondamentale suivante :

$$1.35 \times G + 1.5 \times Q$$

2.5. Structure modélisée

La géométrie de l'établissement scolaire à un seul étage étudié dans ce rapport est définie selon les plans béton armé existants du bâtiment ci-dessous (Figure 1). Un plan de pose des poutrelles (Figure 2) a pu être défini afin de pouvoir modéliser le plus fidèlement possible ce bâtiment et l'étudier sous sollicitations sismiques.

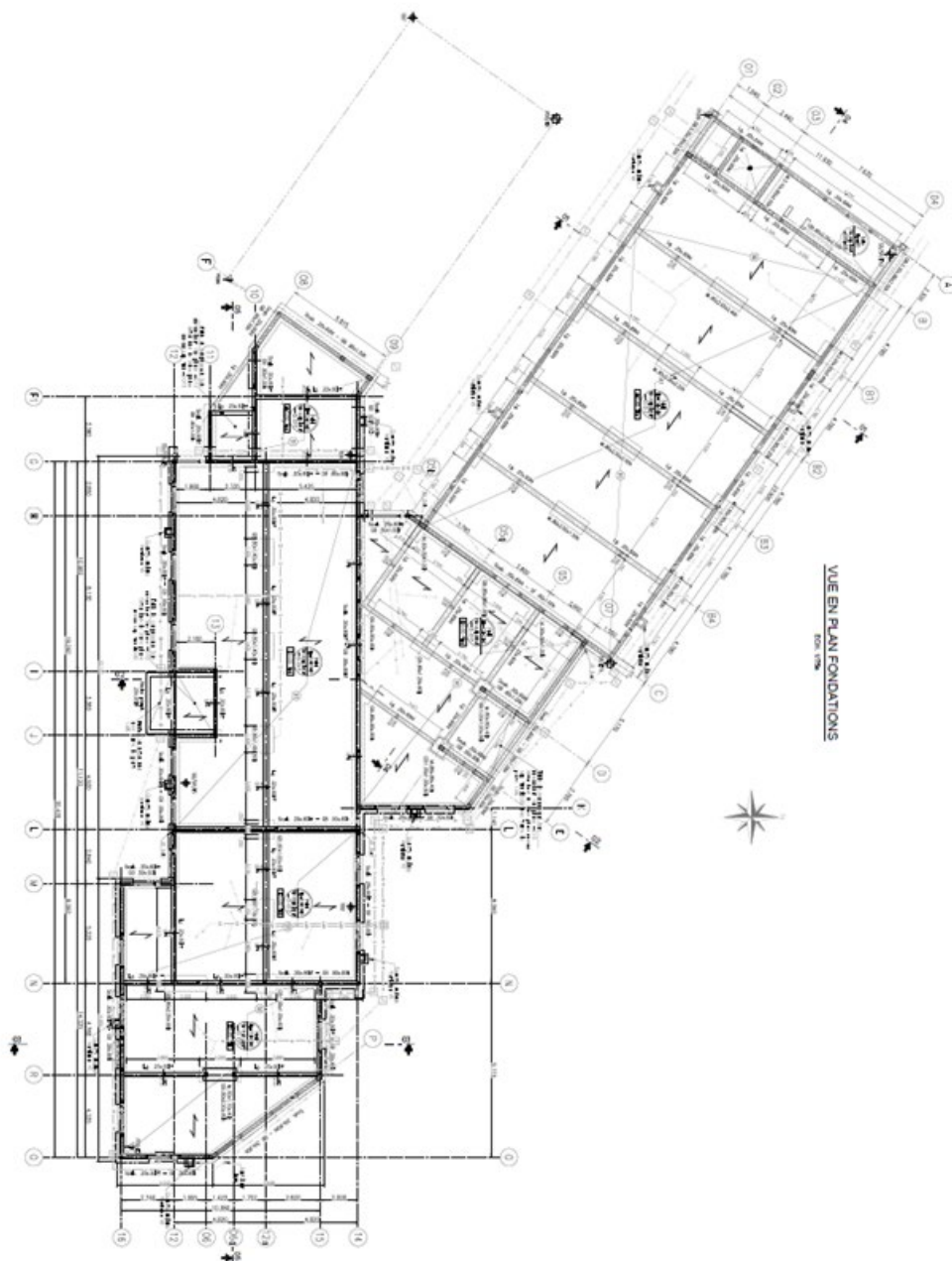


Figure 1 : Vue en plan des fondations

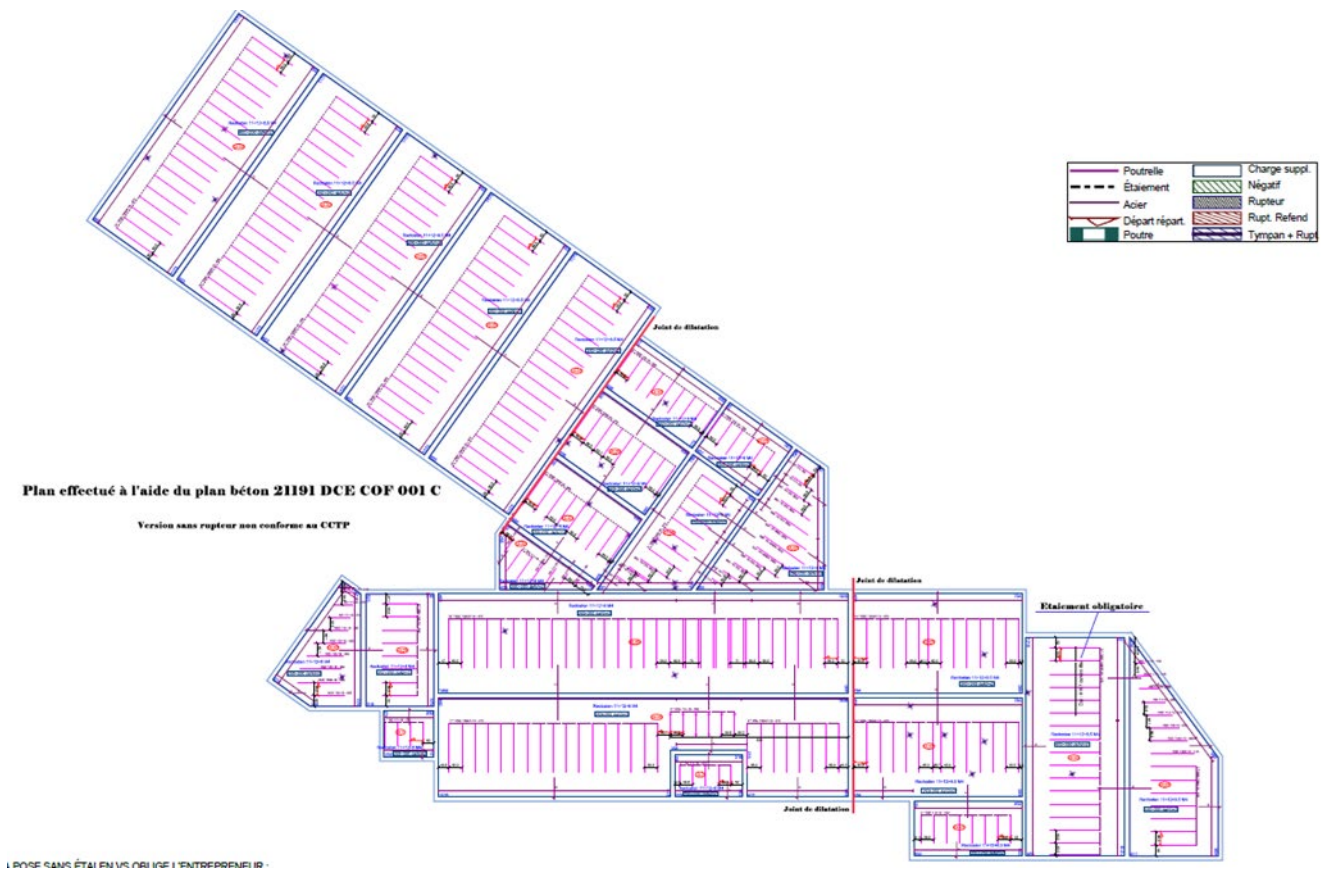


Figure 2 : Plan de pose - Vue en plan identique pour le niveau VS et la toiture

Cette structure est composée d'un plancher à poutrelles-entrevous 12+5 cm, au niveau du vide-sanitaire et d'un plancher à poutrelles-entrevous 12+6 cm au niveau de la toiture. Du fait de l'existence d'un joint de dilatation, seule la partie non régulière en plan du bâtiment a été modélisée (voir Figure 3).

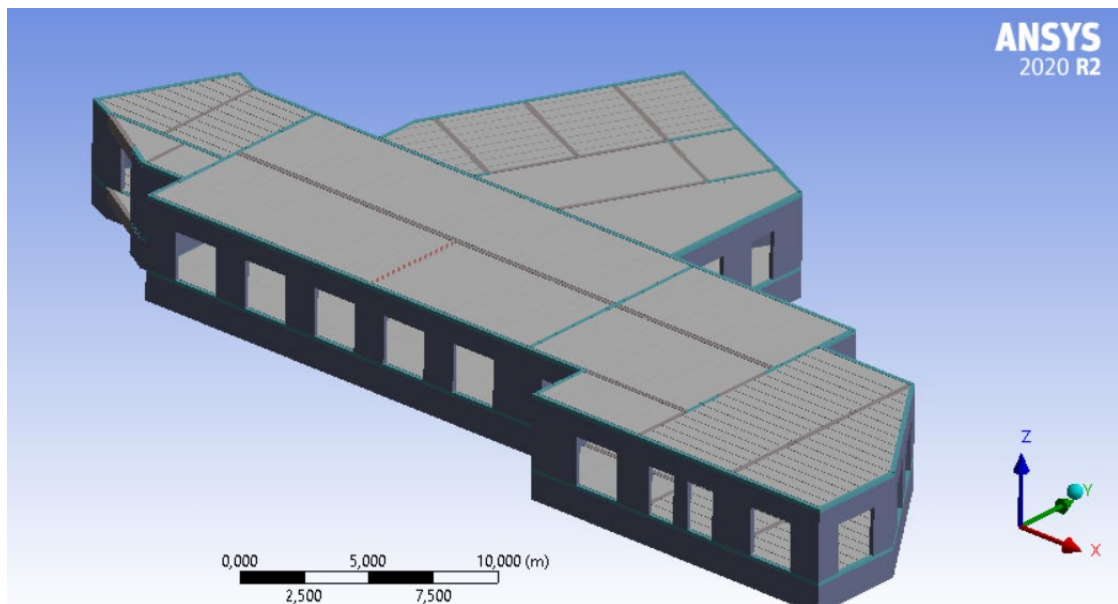


Figure 3 : Vue 3D de la géométrie du bâtiment modélisé

2.6. Propriétés des matériaux

Etant donné les types de calculs réalisés, l'ensemble des lois de comportement utilisées dans cette étude sont élastiques linéaires.

Les différents éléments pris en compte dans la modélisation avec les particularités de leur matériau sont les suivantes :

- Les murs à l'étage en maçonnerie chaînée : d'une épaisseur de 20 cm avec un module d'élasticité divisé par deux pour tenir compte de la fissuration (NF EN 1998-1 4.3.1(7)) [1], soit un module d'élasticité en sismique de 2 GPa et une prise en compte de leur masse via la masse volumique de 1000 kg/m³ ;
- Les murs du VS en béton armé : d'une épaisseur de 20 cm avec un module d'élasticité divisé par deux permettant de tenir compte de la fissuration (NF EN 1998-1 4.3.1(7)), soit un module d'élasticité en sismique de 15.5 GPa pour une classe de résistance C25/30 et une prise en compte de leur masse via la masse volumique de 2400 kg/m³ ;

A noter que la réduction du module d'Young pour les éléments de contreventement n'a pas été appliquée en statique aussi bien pour les murs en béton armé ($E_{cm}=31$ GPa) que pour les murs en maçonnerie ($E_{cm}=4$ GPa). Une hauteur des murs de fondation de 1.2 m a été considérée.

- Les tables de compression des planchers présentent un module d'élasticité correspondant à un béton C25/30 ($E_{cm}=31$ GPa) où les différentes charges, comme les charges permanentes, les surcharges d'exploitation (affectées d'un coefficient $\psi_2 = 0.60$ pour l'action sismique dans le cas de bâtiment de catégorie C (lieux de réunion)) et la masse des planchers (masse des poutrelles, de la dalle de répartition et des entrevous) sont prises en compte via une masse surfacique correspondant au montage considéré ;
- Les poutrelles ont un module d'élasticité équivalent à un béton C30/37 ($E_{cm}=33$ GPa). Leur masse a été considérée ci-avant dans la table de compression ;
- Les chainages ont un module d'élasticité équivalent à un béton C25/30 ($E_{cm}=31$ GPa) et une masse volumique de 2400 kg/m³ ;
- Les poutres ont un module d'élasticité équivalent à un béton C25/30 ($E_{cm}=31$ GPa) et une masse volumique de 2400 kg/m³. Les poutres du VS présentent une hauteur totale de 60 cm (soit une retombée de 43 cm) ;
- Les poteaux de dimensions 25x25 cm ont un module d'élasticité équivalent à un béton C25/30 ($E_{cm}=31$ GPa) et une masse volumique de 2400 kg/m³ ;
- Ne contribuant pas mécaniquement, les entrevous ne sont pas modélisés, seule leur masse a été considérée ci-avant dans la table de compression.

Le Tableau 1 expose l'épaisseur des tables de compression et les charges à considérer sur chaque plancher en fonction du niveau du bâtiment (Figure 4 et Figure 5) ;

Niveau	Zone	Epaisseur du plancher [cm]	Poids du plancher [kN/m ²]	Charges d'exploitation [kN/m ²]	Charges permanentes [kN/m ²]
VS	Toute la surface du plancher	12+5	1.85	2.5	2.0
Toiture		12+6	2.1	1.0	1.0

Tableau 1 : Epaisseur du plancher et charges à considérer en fonction du niveau du bâtiment

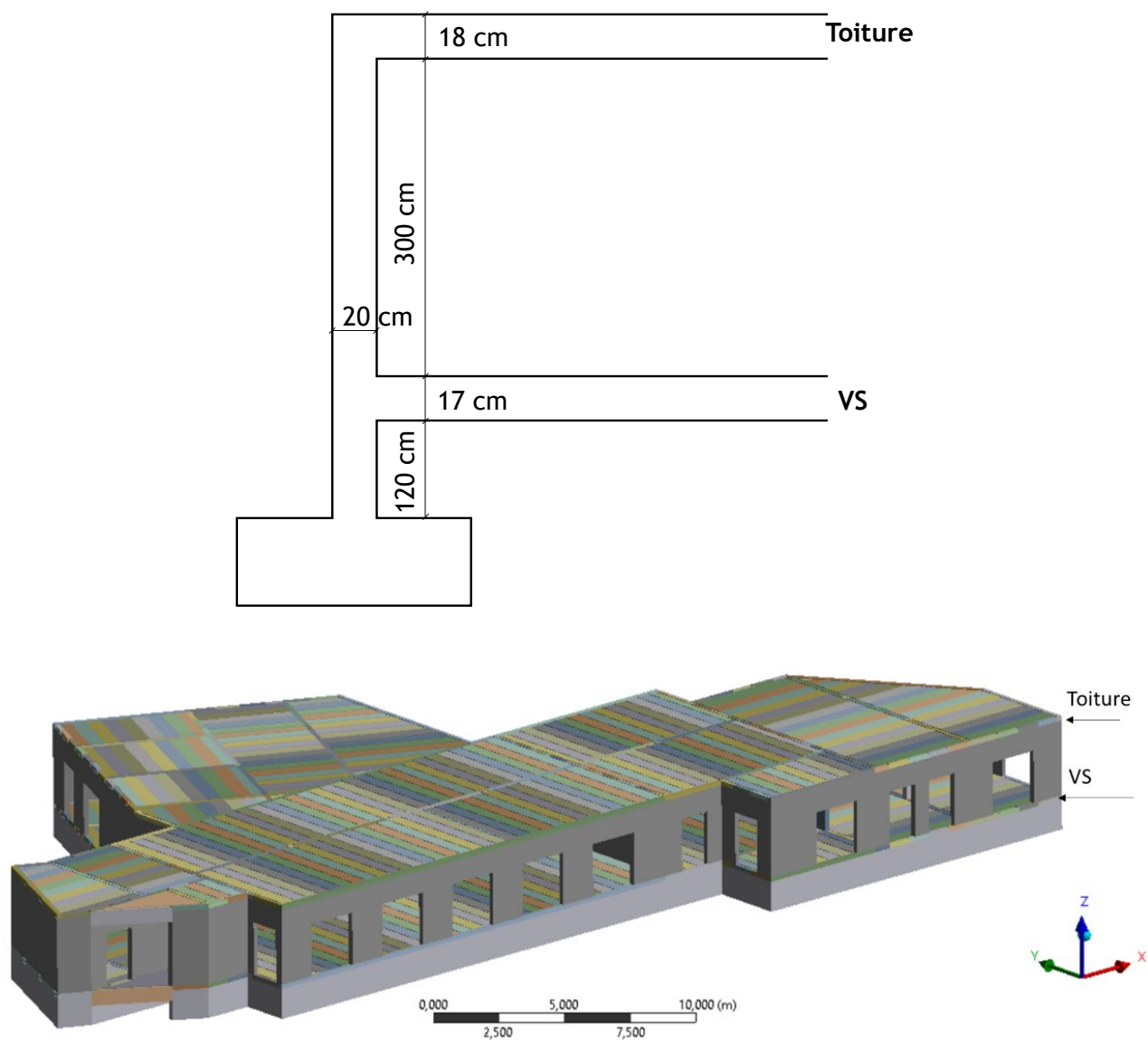


Figure 4 : Dénomination des niveaux des planchers

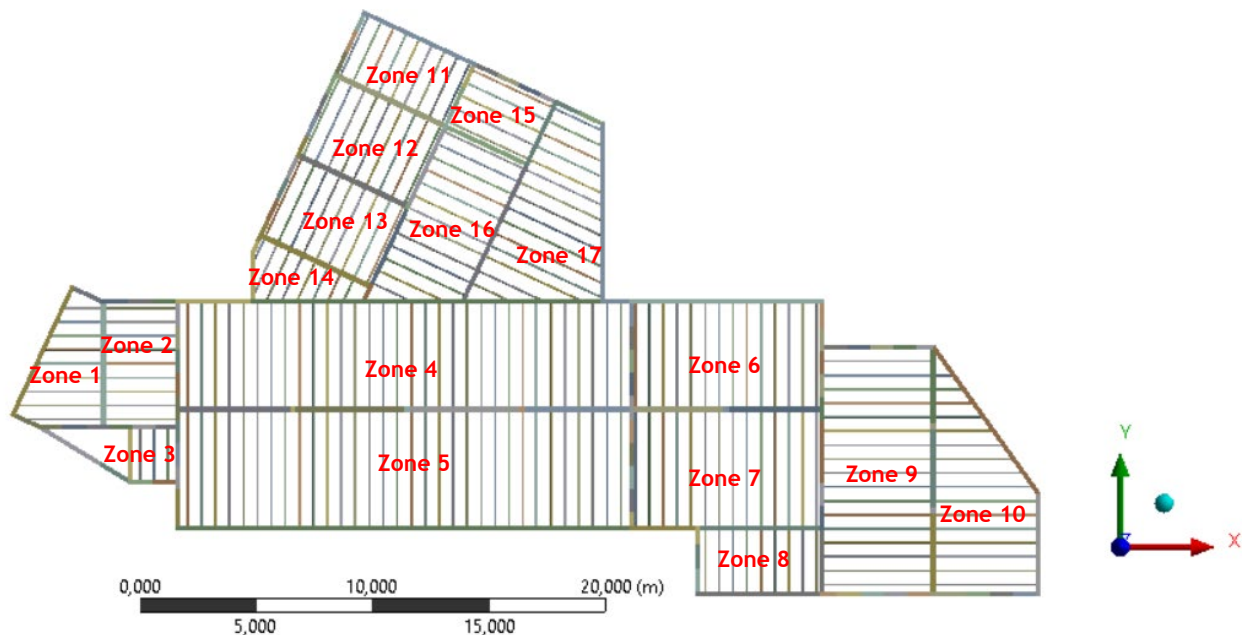


Figure 5 : Zonages pour les deux planchers de l'établissement scolaire

2.7. Les types d'éléments finis

Des éléments finis volumiques sont utilisés (murs, tables de compression, poutrelles, chainages, poutres et poteaux) afin notamment de reproduire la section irrégulière des poutrelles et également pouvoir extraire le taux de contrainte du contact surfacique parfait entre les poutrelles et les tables de compression.

2.8. Conditions aux limites et chargements

2.8.1. Conditions aux limites

Les murs et poteaux de la structure sont considérés encastres en pied.

2.8.2. Chargement appliqué sur les planchers

Les charges appliquées pour les calculs gravitaires et sismiques sont les suivantes :

Niveau	Zone	Charge à appliquer [kN/m ²]		
		Calcul ELU 1.35 G+1.5 Q	Calcul statique G+ψ ₂ Q	Calcul sismique G+ψ _E Q
VS	Toute la surface	8.95	5.35	5.05
Toiture	du plancher	5.69	3.70	3.70

Tableau 2 : Charges gravitaires considérées pour les différents calculs réalisés

Avec :

G : poids du plancher + charges permanentes ; Q : charges d'exploitation ;
 $\psi_E = \phi \times \psi_2$, $\phi = 0.8$ (Etages à occupations corrélées, tableau 4.2 de NF EN 1998-1 [3]) et = 1 pour la toiture.

2.8.3. Spectre de calcul

Le spectre de calcul (Figure 6), qui sera appliqué sur les conditions aux limites d'encastrement, est basé sur l'Eurocode 8 accompagné de l'arrêté du 8 septembre 2021 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010. Il est établi à partir de la zone de sismicité maximale visée 2, de la catégorie de bâtiment maximale visée III, de la classe de sol maximale visée E et d'un coefficient de comportement de 2.5.

Ce spectre, représenté en période sur la Figure 6, voit son plateau entre T_B et T_C prolongé, de manière sécuritaire, jusqu'à la période T égale à zéro afin de s'assurer dans cette étude que la structure est sollicitée par l'accélération maximale du spectre. À noter que ce choix sécuritaire (permettant notamment de définir le domaine d'emploi) n'est pas une obligation pour la justification d'un bâtiment particulier.

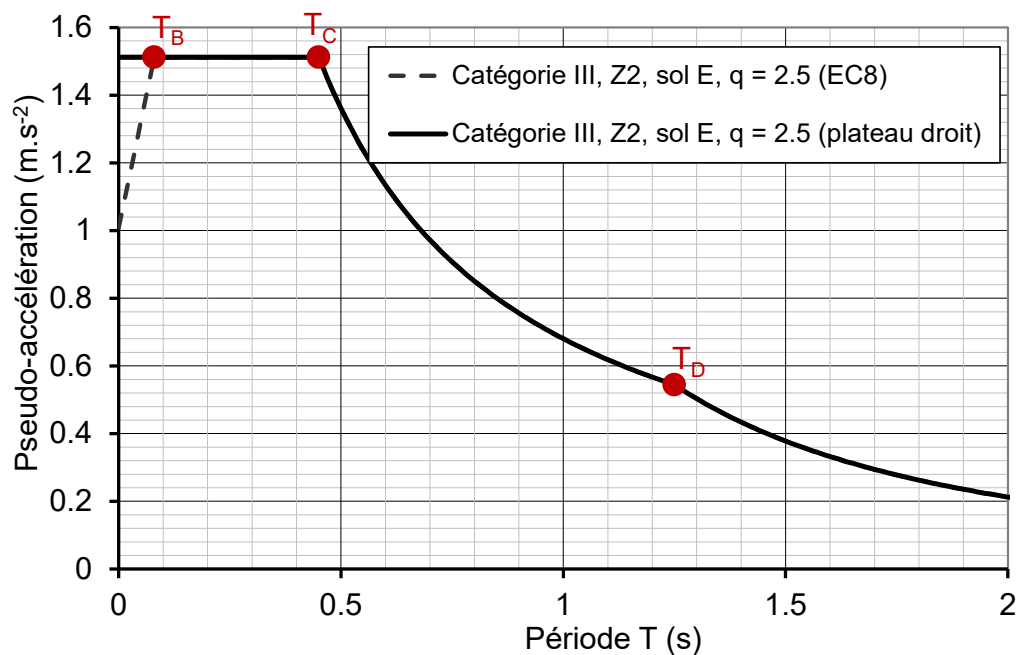


Figure 6 : Exemple de spectre de calcul pour les composantes horizontales de l'action sismique : accélération VS période avec $q=2.5$, $T_B=0.08$ s., $T_C=0.45$ s., $T_D=1.25$ s.

2.9. Résultats observés et critères utilisés

2.9.1. Analyse modale

L'analyse modale montre les deux modes fondamentaux suivants :

- Mode de translation suivant l'axe Y avec une forte torsion autour de l'axe z, caractérisé pour une fréquence propre $f = 12.627$ Hz. Ce mode mobilise 37% de la masse structurelle en torsion et 27.5% de cette masse en translation le long de l'axe Y ; la Figure 7 illustre la déformée de la structure associée à ce mode.

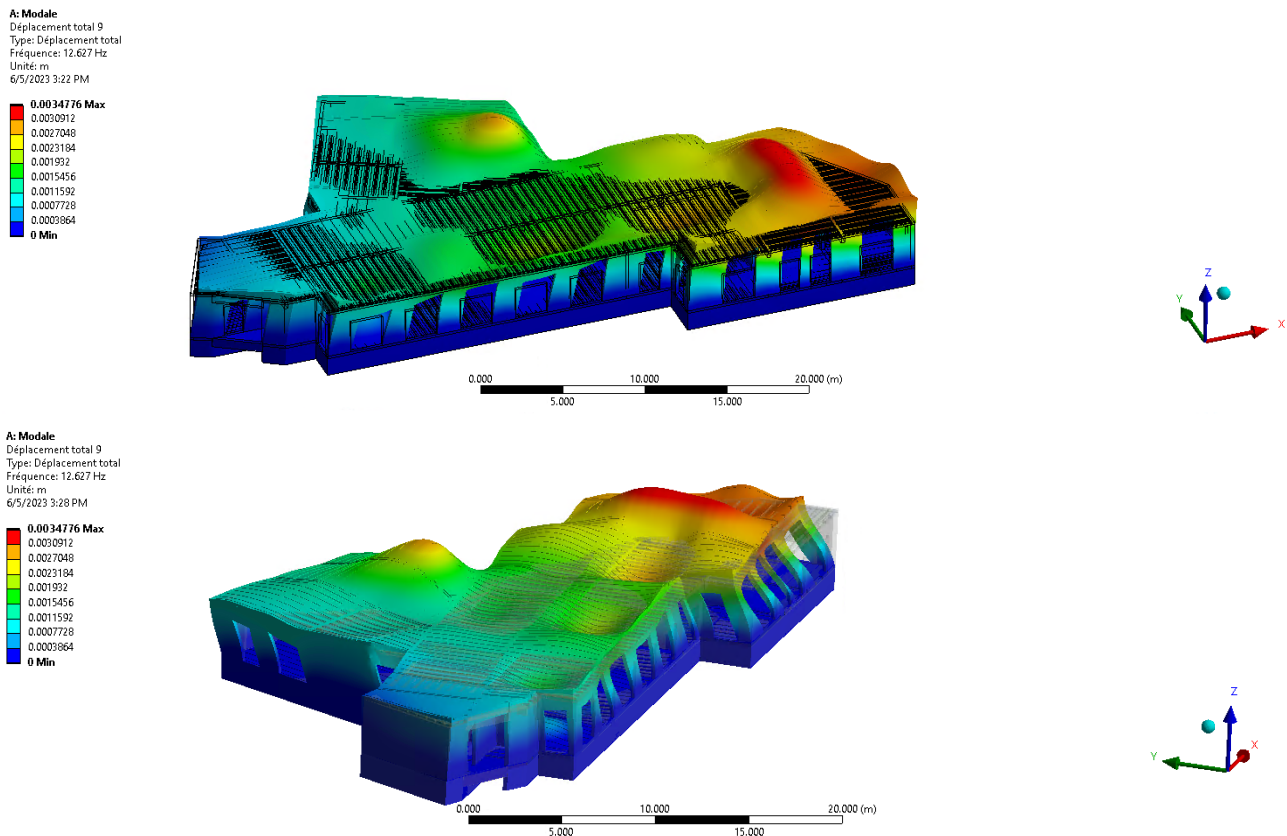
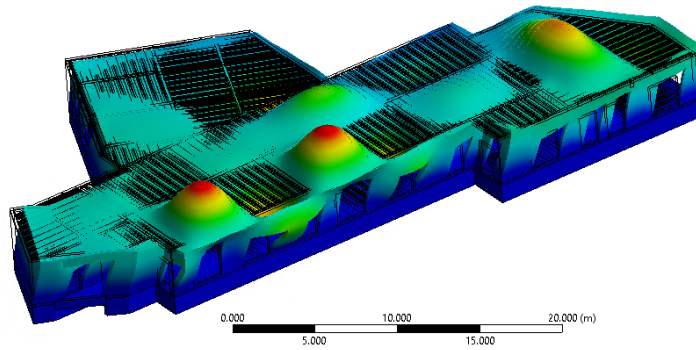


Figure 7 : Mode fondamentale de translation suivant Y avec une forte torsion ($f = 12.627$ Hz)

- Mode de translation suivant l'axe X, caractérisé par une fréquence propre $f = 13.49$ Hz. Ce mode mobilise 12.34 % de la masse structurelle en translation suivant l'axe X ; la Figure 8 montre la déformée de la structure associée à ce mode.

A: Mode
Déplacement total 13
Type: Déplacement total
Fréquence: 13.49 Hz
Unité: m
6/5/2023 3:29 PM

0.0050666 Max
0.0045037
0.0039407
0.0033778
0.0028148
0.0022518
0.0016889
0.0011259
0.00056296
0 Min



A: Mode
Déplacement total 13
Type: Déplacement total
Fréquence: 13.49 Hz
Unité: m
6/5/2023 3:30 PM

0.0050666 Max
0.0045037
0.0039407
0.0033778
0.0028148
0.0022518
0.0016889
0.0011259
0.00056296
0 Min

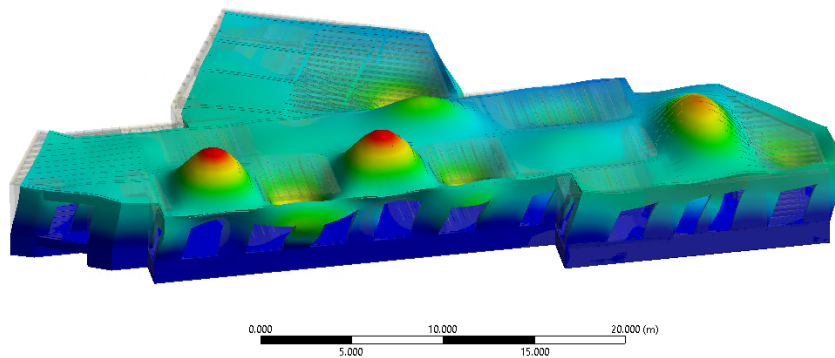


Figure 8 : Mode fondamental suivant X (f = 13.49 Hz)

2.9.2. Monolithisme entre une poutrelle et le béton coulé en place

Pour étudier ce monolithisme, la contrainte de glissement v_{Edi} entre une poutrelle et le béton coulé en place obtenue numériquement sera comparée à la contrainte résistante v_{Rdi} indiquée par le tableau 3 de la NF EN 15037-1 [12], aussi bien en statique qu'en sisme. La vérification est réalisée sans abattement en sismique, comme le préconise le rapport d'expertise de Monsieur BISCH (cf. Annexe 1).

L'avis d'expert (M. BISCH) a été établi à partir des essais cycliques réalisés sur des planchers à poutrelles et entrevous au CERIB en 2007 pour différents types de montages (Rapport d'essais CERIB n° 07 DPO 187). Les résultats des essais conduisent à ne pas dégrader la résistance v_{Rdi} sismique par rapport à celle obtenue en statique en divisant la valeur de cf_{ctd} par 2.

Ainsi, la vérification du monolithisme réalisée dans le cadre de ce projet, sans abattement en sismique, est valable pour les poutrelles de type c2a, c2b et c3a présentant une contrainte admissible $v_{Rdi} \geq 0.55$ MPa et ayant bénéficiées d'essais statiques/dynamiques permettant de revendiquer une valeur $v_{Rdi,sismique} \geq 0.55$ MPa.

Comme validé dans le rapport CERIB n° 393.I [7], pour obtenir la contrainte de glissement numérique, les efforts normaux dans chaque section d'une poutrelle suivant son abscisse sont exploités et la contrainte de glissement le long de l'abscisse de la poutrelle peut ainsi être calculée de la manière suivante :

$$\sigma_{num} = \frac{\Delta F}{\Delta x \times b} = \frac{F(x + dx) - F(x)}{\Delta x \times b}$$

Où :

- ΔF est la différence entre l'effort normal agissant sur la section (appelée surface de reprise sur la Figure 9) à l'abscisse $x + dx$ et l'effort normal agissant sur la section à l'abscisse x ;
- Δx , égale à 10 cm, est la distance entre deux sections correspondant à la taille de maille des poutrelles dans la direction longitudinale de celles-ci ;
- b est la largeur de l'interface. Pour les 2 types de montages utilisés dans cet établissement scolaire (planchers de 12+5 cm et 12+6 cm), b est égale à 16.4 cm (Figure 10).

À noter que seule la contrainte de glissement dans l'axe des poutrelles est considérée car la reprise de l'effort dans le sens perpendiculaire à l'axe des poutrelles est assurée par le béton de la dalle de compression. En effet, la tête de la poutrelle pénètre dans le béton coulé en place qui joue le rôle de butée. Ainsi, tout l'effort transversal est repris par le béton coulé en place ce qui n'est pas le cas des efforts agissants dans l'axe de la poutrelle (Figure 11).

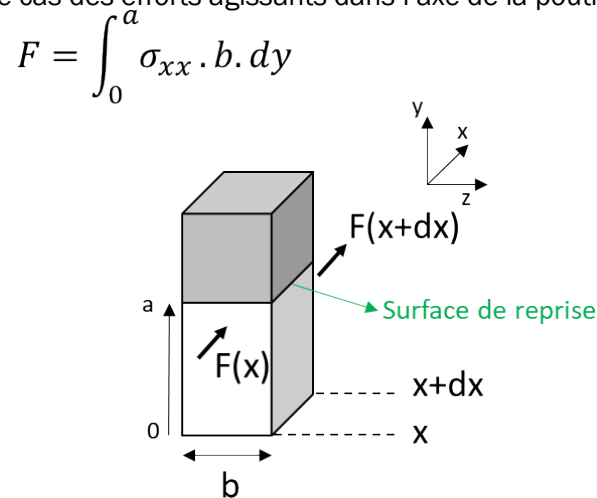


Figure 9 : Schéma permettant de déterminer la contrainte de glissement longitudinale entre une poutrelle et la table de compression.

À noter que les poutrelles présentent un entraxe de 60 cm. Elles sont identiques pour l'ensemble des planchers et conformes aux plans de la Figure 10.

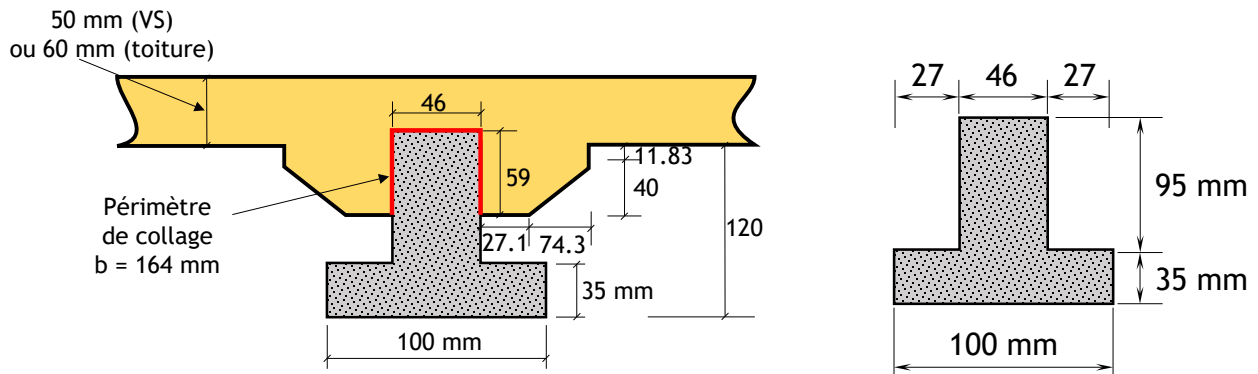


Figure 10 : Détails de la géométrie de la poutrelle et du montage des planchers à poutrelles-entrevous du bâtiment étudié.

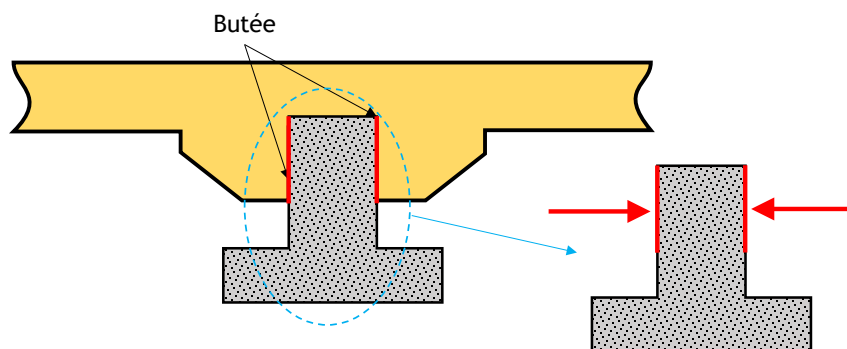


Figure 11 : Blocage de la tête de poutrelle dans le sens transversal. Celui-ci est assuré par la dalle de compression qui agit comme une butée contre la poutrelle.

2.9.2.1. Application numérique

Les résultats des contraintes de glissement des poutrelles les plus sollicitées par zone et par niveau (ou des poutrelles adjacentes aux poutrelles les plus sollicitées dans certains cas) sont présentés par le Tableau 3. Pour chaque poutrelle étudiée, les contraintes de glissement « $\sigma_{Ed,max,ELU,statique}$ » issues du calcul réalisé à l'ELU statique ainsi que les contraintes de glissement « $\sigma_{Ed,max,sismique}$ » issues de la combinaison sismique la plus pénalisante sont données.

La Figure 12 illustre l'emplacement des poutrelles citées dans le Tableau 3. L'emplacement de ces poutrelles est le même pour les deux niveaux du bâtiment étudié.

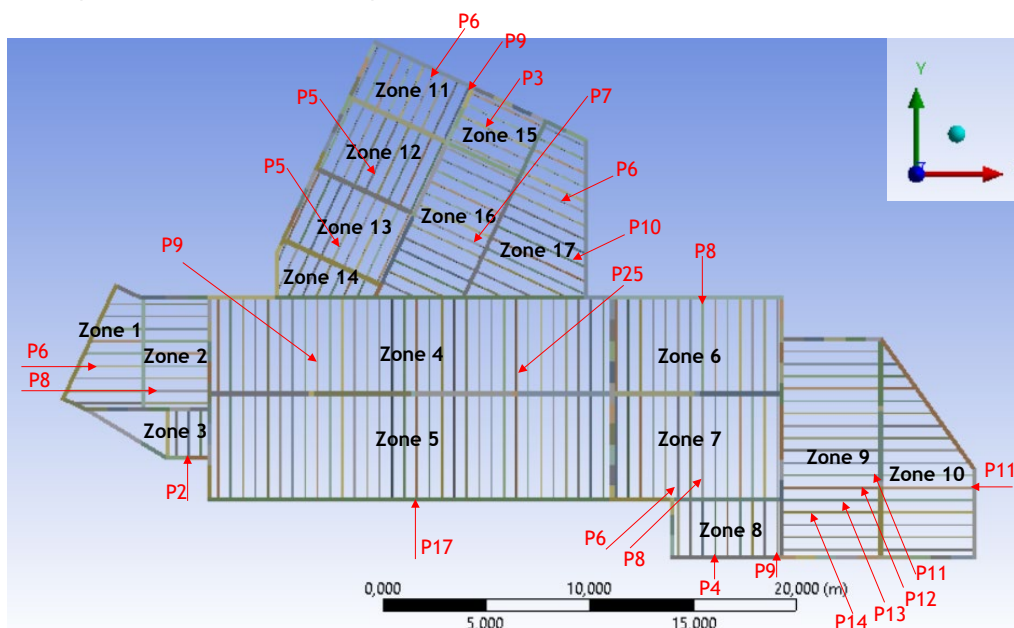


Figure 12 : Emplacement des poutrelles les plus sollicitées sous les charges ELU et les combinaisons sismiques.

Les graphiques présentés dans l'Annexe 2 montrent, par zone et par niveau, l'évolution des contraintes de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle :

- La plus sollicitée à l'ELU statique ;
- Et la plus sollicitée en sismique (résultats issus de la combinaison sismique la plus pénalisante).

La Figure 13 montre la distribution des contraintes de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles les plus sollicitées de deux planchers.

Zone	Niveau	Poutrelle n°	$\tau_{Ed,max,ELU,statique}$ [N/mm²]		$\tau_{Ed,max,sismique}$ obtenue par la combinaison sismique la plus défavorable [N/mm²]		$\tau_{Ed,max,ELU,statique}/\tau_{Ed,max,sismique}$ [-]
1	VS	6	0.30		0.21		1.44
		7	0.28		0.21		1.35
	Toiture	6	0.15		0.13		1.15
2	VS	4	0.32		0.25		1.29
	Toiture	8	0.22		0.15		1.44
3	VS	2	0.20		0.14		1.41
	Toiture	2	0.10		0.07		1.35
4	VS	9	0.53		0.37		1.41
	Toiture	9	0.35		0.28		1.24
		25	0.35		0.31		1.13
5	VS	8	0.51	$\bar{X} = 0.5$	0.40	$\bar{X} = 0.39$	1.28
		9	0.53		0.41		1.28
		10	0.46		0.35		1.31
		16	0.50	$\bar{X} = 0.48$	0.39	$\bar{X} = 0.4$	1.28
		17	0.46		0.43		1.07
		18	0.46		0.36		1.28
	Toiture	17	0.43		0.34		1.26
6	VS	8	0.52		0.37		1.39
	Toiture	8	0.36		0.31		1.16
7	VS	5	0.47	$\bar{X} = 0.51$	0.40	$\bar{X} = 0.41$	1.17
		6	0.52		0.40		1.29
		7	0.52		0.40		1.29
	Toiture	6	0.38		0.37		1.01
		8	0.37		0.30		1.26
8	VS	4	0.34		0.21		1.62
		9	0.05		0.03		2.00
	Toiture	4	0.21		0.12		1.69
		9	0.07		0.17		0.38
9	VS	12	0.48	$\bar{X} = 0.49$	0.34	$\bar{X} = 0.35$	1.42
		13	0.53		0.38		1.40
		14	0.43		0.31		1.41
	Toiture	11	0.33		0.26		1.27
		12	0.42	$\bar{X} = 0.37$	0.24	$\bar{X} = 0.27$	1.74
		13	0.35		0.28		1.25
		14	0.33		0.26		1.27
10	VS	11	0.47		0.31		1.51
		12	0.47		0.33		1.41
	Toiture	11	0.32		0.27		1.18

11	VS	6	0.28	0.19	1.46
	Toiture	6	0.18	0.10	1.68
		9	0.12	0.19	0.67
12	VS	5	0.38	0.29	1.33
		6	0.38	0.28	1.36
	Toiture	5	0.22	0.20	1.10
13	VS	5	0.35	0.26	1.34
	Toiture	5	0.20	0.18	1.15
14	VS	3	0.18	0.11	1.58
		8	0.15	0.14	1.09
	Toiture	8	0.19	0.15	1.23
15	VS	3	0.34	0.22	1.55
	Toiture	3	0.18	0.13	1.32
16	VS	7	0.51	0.35	1.47
	Toiture	7	0.36	0.28	1.27
17	VS	9	0.47	0.30	1.56
	Toiture	6	0.25	0.24	1.02
		10	0.18	0.23	0.81
MAX			0.53	0.40	

* en rouge $\tau_{Ed,max,sismique} > \tau_{Ed,max,ELU,statique}$ mais les intensités sont très faibles.

Tableau 3 : Contraintes de glissement à l'ELU statique et en sismique au droit des poutrelles par zone et par niveau

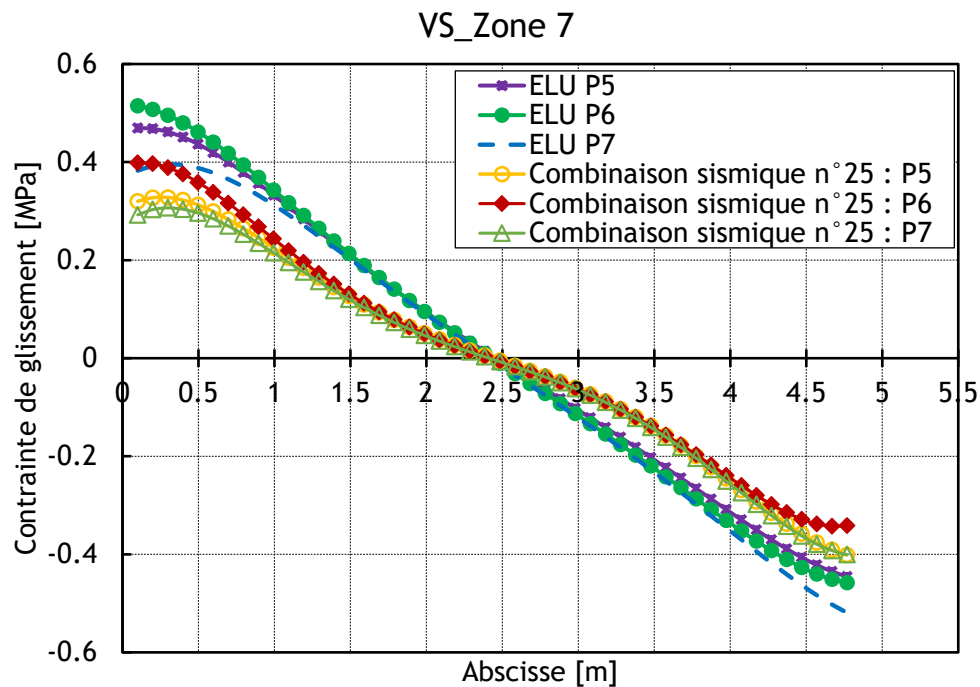


Figure 13 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 5, 6 et 7 en zone 7 du VS (poutrelles les plus sollicitées)

2.9.2.2. Analyse et interprétation des résultats

2.9.2.2.1. Zone 1

Dans la zone 1 pour les deux planchers (VS et toiture), la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P6 (Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.30$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.21$ MPa ;
Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.15$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.13$ MPa.

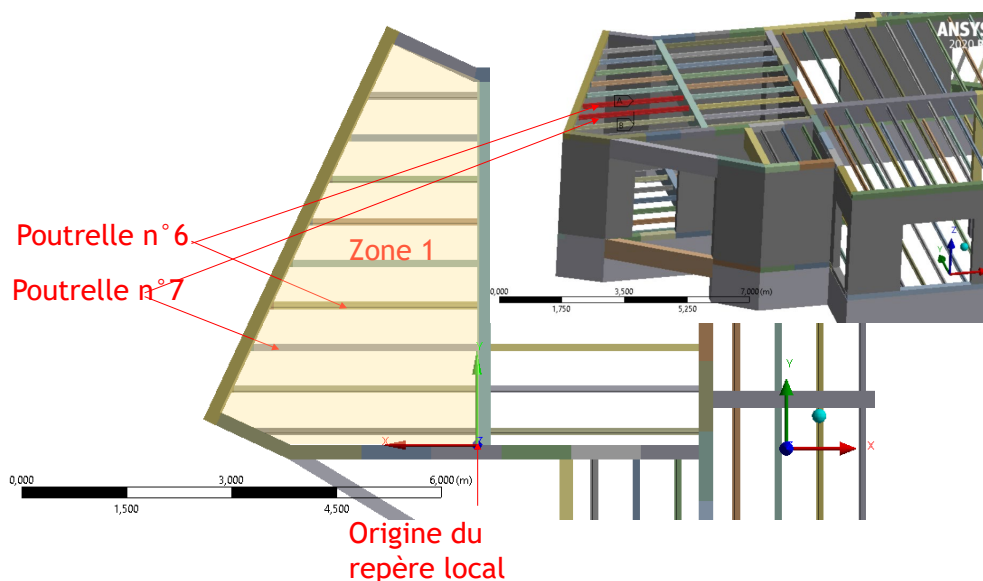


Figure 14 : Emplacement des poutrelles P6 et P7 de la zone 1

Les valeurs maximales de contraintes de glissement sont observées au niveau des appuis de la poutrelle P6 (voir Figure 14) sous les charges statiques et dynamiques.

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour la poutrelle n°6 en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.21$ MPa) est inférieure à la valeur maximale calculée pour cette même poutrelle pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.30$ MPa).

2.9.2.2.2. Zone 2

Dans la zone 2, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P4 au niveau VS (à noter qu'au niveau du VS, la poutrelle P4 est appuyée sur un mur d'un côté et sur une poutre de l'autre, cf. Figure 15. Les valeurs maximales de contraintes de glissement sont observées au niveau de l'appui de la poutrelle P4 sur le mur (à droite)) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.32$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.25$ MPa.

Au niveau de la toiture, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P8 (voir Figure 70 & Tableau 3) :

Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.22$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.15$ MPa.

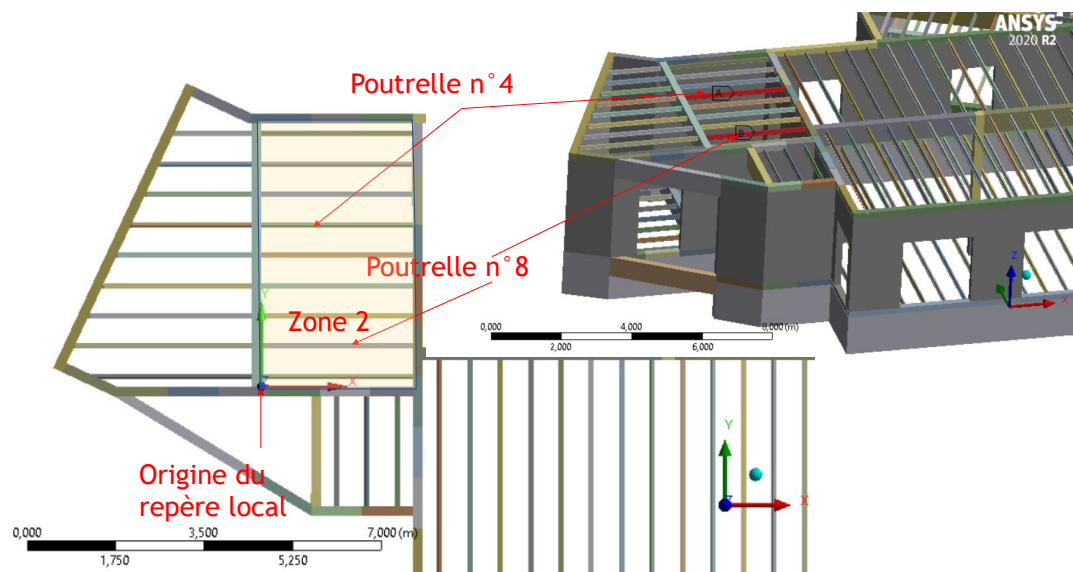


Figure 15 : Emplacement des poutrelles P4 et P8 de la zone 2
Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.32$ MPa enregistrée par la poutrelle P4 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.25$ MPa enregistrée par la poutrelle P4 située au niveau VS.

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour cette zone n° 2 en situation sismique est inférieure à la valeur maximale calculée dans cette même zone pour la combinaison ELU fondamentale.

2.9.2.2.3. Zone 3

Dans la zone 3, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P2 (voir Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.2$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.14$ MPa ;
Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.10$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.07$ MPa.

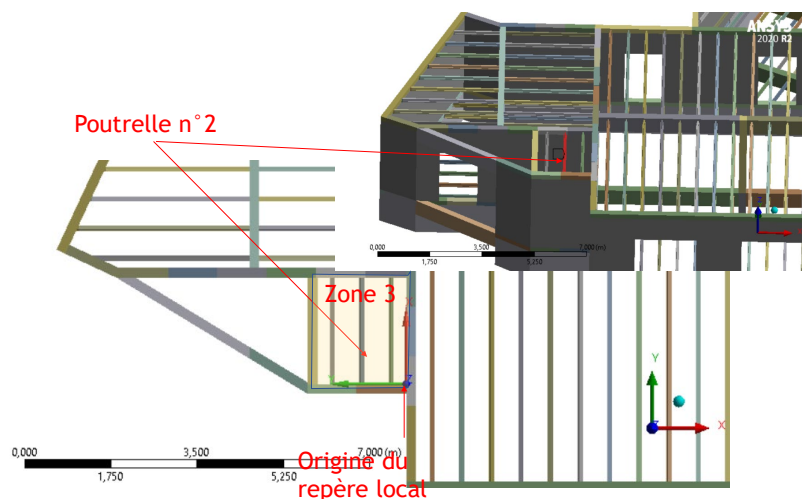


Figure 16 : Emplacement de la poutrelle P2 de la zone 3

Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.20$ MPa enregistrée par la poutrelle P2 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.14$ MPa enregistrée par la poutrelle P2 située au niveau VS.

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour cette zone n°3 en situation sismique est inférieure à la valeur maximale calculée dans cette même zone pour la combinaison ELU fondamentale.

2.9.2.3. Zone 4

Dans la zone 4, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P9 au niveau VS (à noter qu'au niveau du VS, la poutrelle P9 est appuyée sur un mur d'un côté et sur une poutre de l'autre, cf. Figure 17) (voir Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.53$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.37$ MPa.

Au niveau de la toiture, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P25 (voir Tableau 3) :

Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.35$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.31$ MPa.

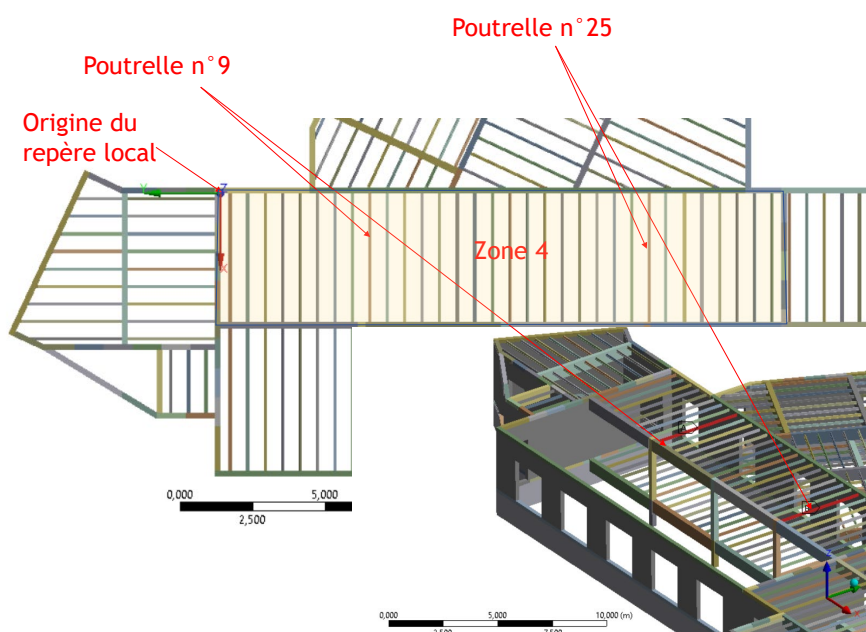


Figure 17 : Emplacement des poutrelles P9 et P25 de la zone 4
Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.53$ MPa enregistrée par la poutrelle P9 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.37$ MPa enregistrée par la poutrelle P9 située au niveau VS.

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour cette zone n°4, pour les deux poutrelles P9 et P25, en situation sismique est inférieure à la valeur maximale calculée dans cette même zone pour la combinaison ELU fondamentale.

2.9.2.3.1. Zone 5

Dans la zone 5, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit des poutrelles P9 et P17 au niveau VS (voir Tableau 3) :

Au niveau VS :

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.53 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.41 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P9 ;

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.46 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.43 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P17.

Au niveau toiture, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P17 (voir Tableau 3) :

Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.43 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.34 \text{ MPa}$.

La Figure 18 montre l'emplacement des poutrelles P8, P9, P10, P16, P17 et P18 dans la zone 5 de deux planchers.

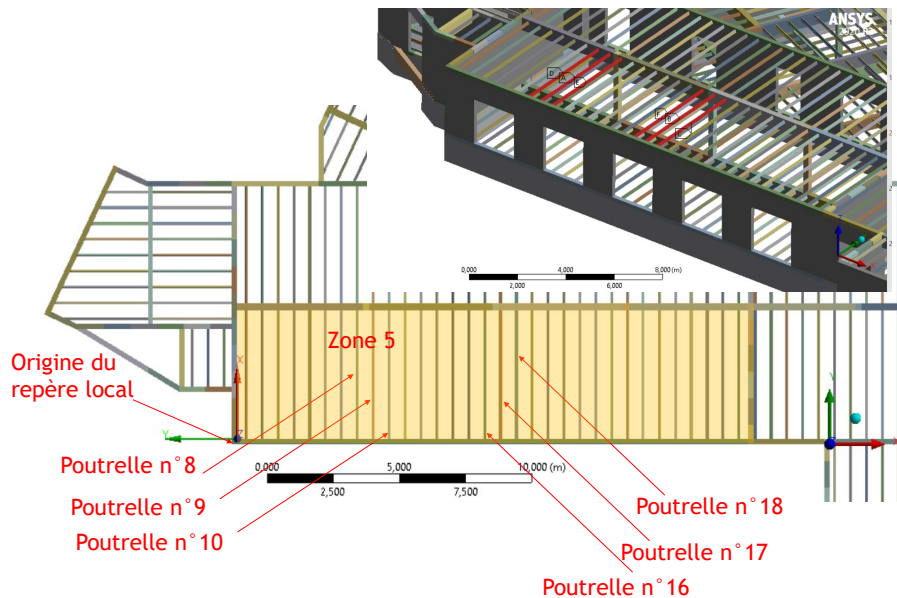


Figure 18 : Emplacement des poutrelles P8, P9, P10, P16, P17 et P18 de la zone 5

Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.53 \text{ MPa}$ enregistrée par la poutrelle P17 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.43 \text{ MPa}$ enregistrée par la poutrelle P9 située au niveau VS.

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour cette zone n°5 en situation sismique est inférieure à la valeur maximale calculée dans cette même zone pour la combinaison ELU fondamentale.

2.9.2.3.2. Zone 6

Dans la zone 6 pour les deux planchers (VS et toiture), la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P8 (voir Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.52 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.37 \text{ MPa}$;

Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.36 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.31 \text{ MPa}$.

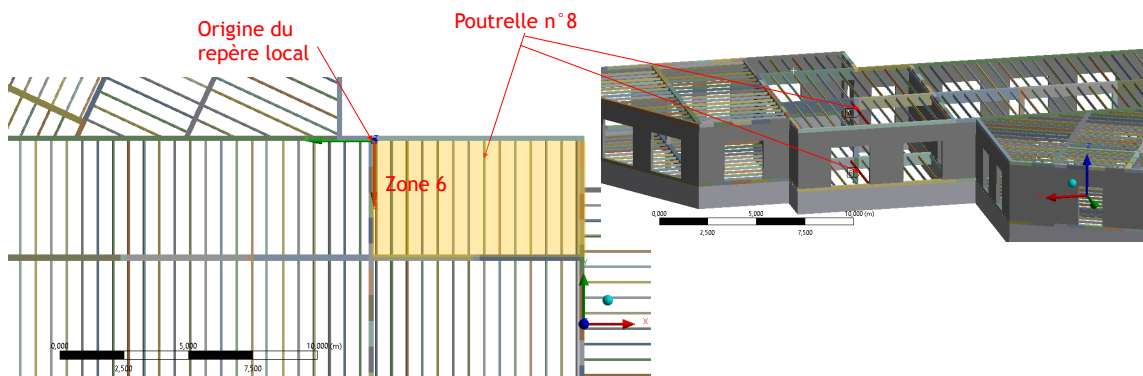


Figure 19 : Emplacement de la poutrelle P8 de la zone 6

Les valeurs maximales de contraintes de glissements sont observées au niveau de l'appui de la poutrelle P8 sur la poutre (à proximité du poteau) (voir Figure 19) sous les charges statiques et dynamiques.

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour la poutrelle n°6 en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.37 \text{ MPa}$) est inférieure à la valeur maximale calculée pour cette même poutrelle pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.52 \text{ MPa}$).

2.9.2.3.3. Zone 7

Dans la zone 7, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P6 au niveau VS (voir Tableau 3) :

Au niveau VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.52 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.40 \text{ MPa}$;
Au niveau Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.38 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.37 \text{ MPa}$.

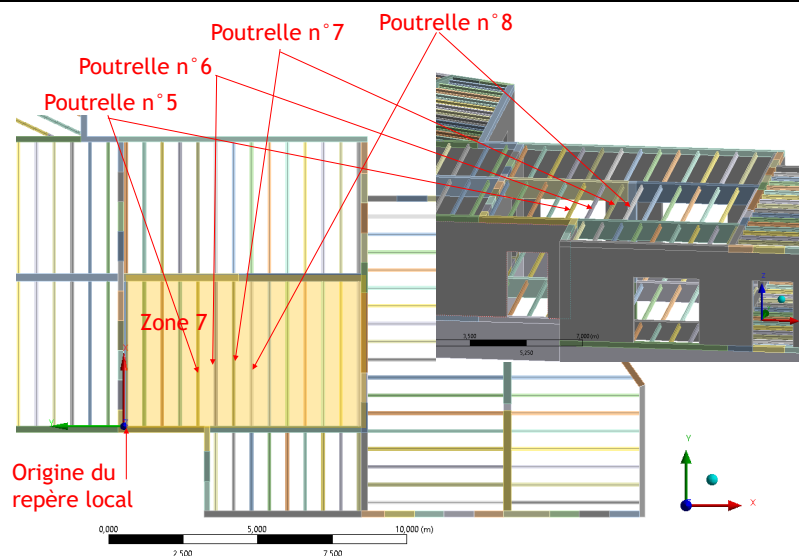


Figure 20 : Emplacement des poutrelles P5, P6, P7 et P8 de la zone 7

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour la poutrelle n°6 dans la zone 7 (Figure 20) en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.41 \text{ MPa}$) est inférieure à la valeur maximale calculée pour cette même poutrelle pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.51 \text{ MPa}$). La combinaison statique ELU est dimensionnante pour les poutrelles dans cette zone du plancher.

2.9.2.3.4. Zone 8

Dans la zone 8 pour les deux planchers (VS et toiture), la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P4 (Tableau 3,) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.34 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.21 \text{ MPa}$;
Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.21 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.17 \text{ MPa}$.

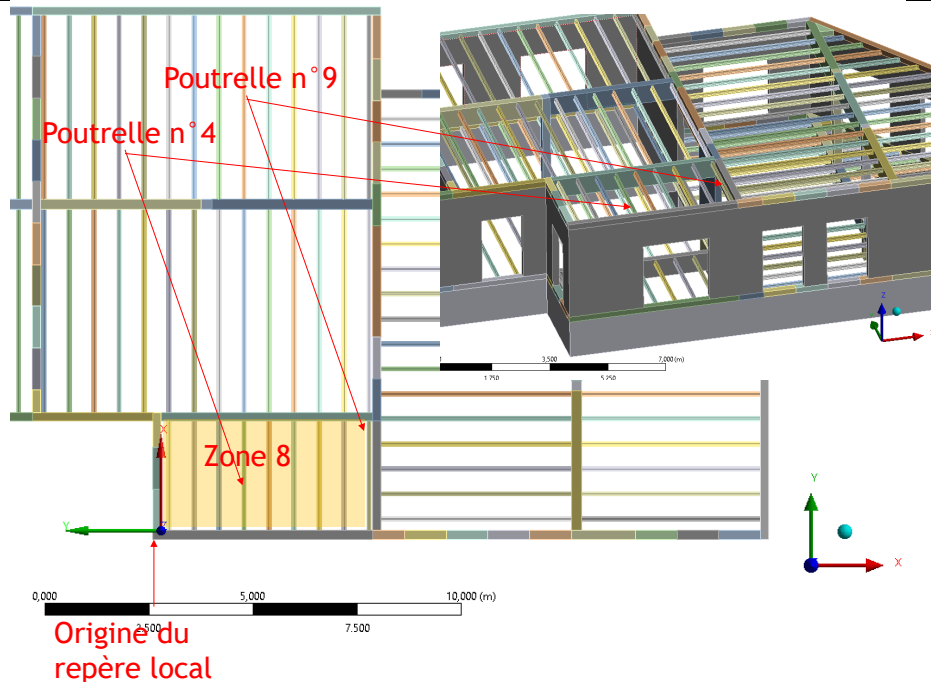


Figure 21 : Emplacement des poutrelles P4 et P9 de la zone 8

Les valeurs maximales de contraintes de glissement sont observées au niveau de l'appui de la poutrelle P4 sur le mur (voir Figure 21) sous les charges statiques et dynamiques. L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées pour la poutrelle n°4 en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.21 \text{ MPa}$) est inférieure à la valeur maximale calculée pour cette même poutrelle pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.34 \text{ MPa}$).

A noter que pour la poutrelle n°9 au niveau de la toiture, la valeur de la contrainte de glissement sous les combinaisons sismiques est supérieure à la valeur trouvée sous les charges ELU. Cependant, pour cette zone de la toiture, la valeur maximale trouvée de la contrainte de glissement est plus élevée sous les charges ELU, rendant donc la combinaison ELU statique dimensionnante pour le plancher compte tenu que la résistance de l'interface n'est pas dégradée sous chargement cyclique.

2.9.2.4. Zone 9

Dans la zone 9, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit des poutrelles P12 et P13 (voir Tableau 3) :

Au niveau VS :
 $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.53 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.38 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P13 ;
Au niveau Toiture :
 $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.42 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.24 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P12 ;
 $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.35 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.28 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P13.

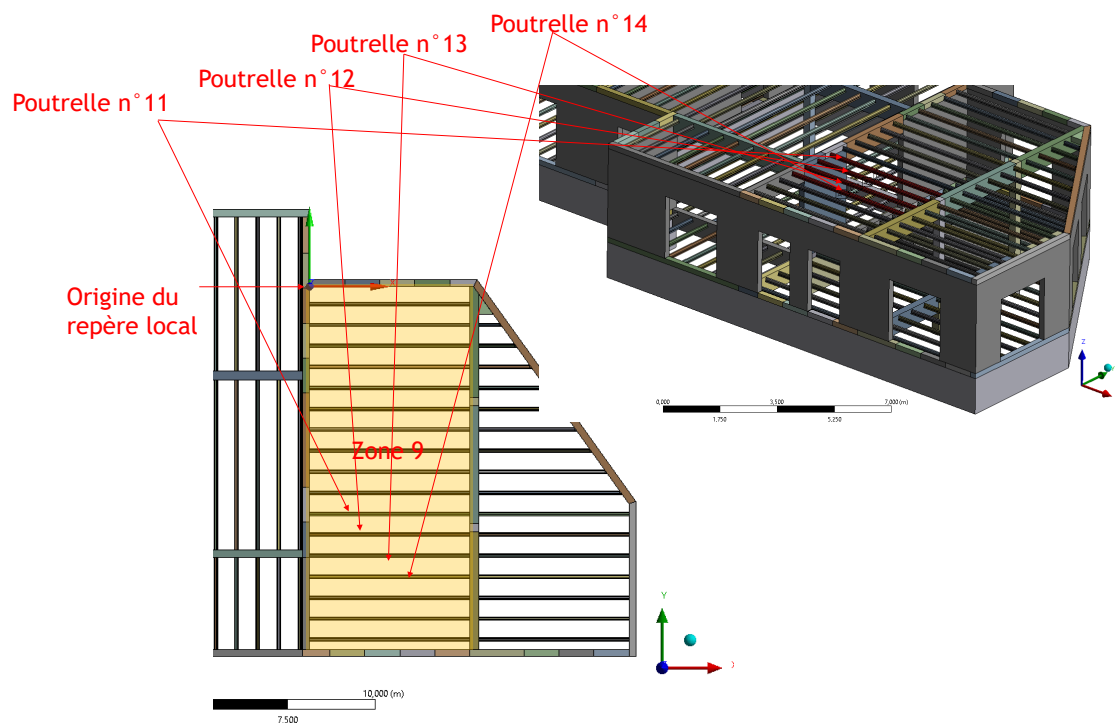


Figure 22 : Emplacement des poutrelles P11, P12, P13 et P14 de la zone 9

La poutrelle P13 a la particularité de s'appuyer sur un mur et une poutre (voir Figure 22). Les pics des contraintes sont observés au niveau des appuis proches des intersections mur-poutre et poutre-poteau. Ces pics de contrainte au niveau des appuis des poutrelles apparaissent aussi bien en statique qu'en dynamique.

Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.53 \text{ MPa}$ enregistrée par la poutrelle P13 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.38 \text{ MPa}$ enregistrée par la poutrelle P13 située au niveau VS.

La valeur maximale trouvée de la contrainte de glissement est plus élevée sous les charges ELU, rendant donc la combinaison ELU statique dimensionnante pour cette zone du plancher, compte tenu que la résistance de l'interface n'est pas dégradée sous chargement cyclique.

2.9.2.4.1. Zone 10

Dans la zone 10, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit des poutrelles P11 et P12 au niveau VS (Tableau 3) :

Au niveau VS :

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.47 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.31 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P11 ;

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.47 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.33 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P12.

Au niveau toiture, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P11 (voir Tableau 3) :

Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.32 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.27 \text{ MPa}$.

La Figure 23 montre l'emplacement des poutrelles P11 et P12 dans la zone 10 de deux planchers.

Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.47$ MPa enregistrée par la poutrelle P11 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.33$ MPa enregistrée par la poutrelle P12 située au niveau VS.

La valeur maximale trouvée de la contrainte de glissement est plus élevée sous les charges ELU, rendant donc la combinaison ELU statique dimensionnante pour cette zone du plancher compte tenu que la résistance de l'interface n'est pas dégradée sous chargement cyclique.

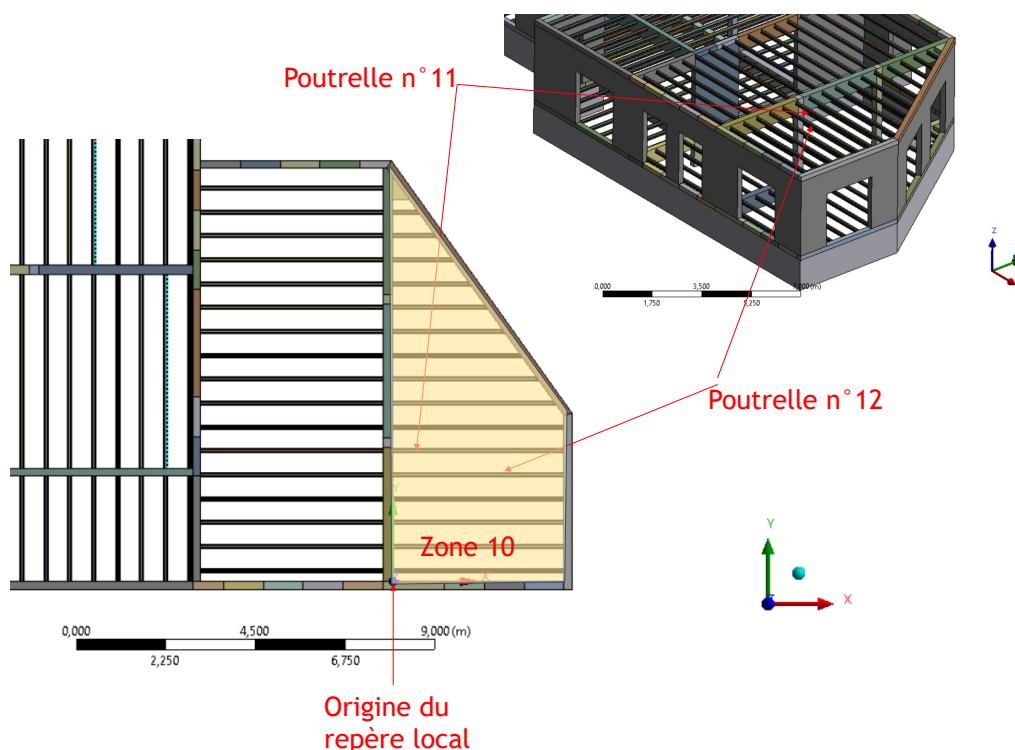


Figure 23 : Emplacement des poutrelles P11 et P12 de la zone 10

2.9.2.4.2. Zone 11

Dans la zone 11, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P6 au niveau VS (Tableau 3) :

Au niveau VS :

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.28$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.19$ MPa.

Au niveau de la toiture, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit des poutrelles P6 et P9 (voir Figure 79 & Tableau 3) :

Au niveau Toiture :

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.18$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.10$ MPa pour la poutrelle P6 ;

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.13$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.19$ MPa pour la poutrelle P9.

La Figure 24 montre l'emplacement des poutrelles P6 et P9 dans la zone 11 de deux planchers.

Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.28$ MPa enregistrée par la poutrelle P6 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.19$ MPa enregistrée par la poutrelle P6 située au niveau VS.

La valeur maximale trouvée de la contrainte de glissement est plus élevée sous les charges ELU, rendant donc la combinaison ELU statique dimensionnante pour cette zone du plancher compte tenu que la résistance de l'interface n'est pas dégradée sous chargement cyclique.

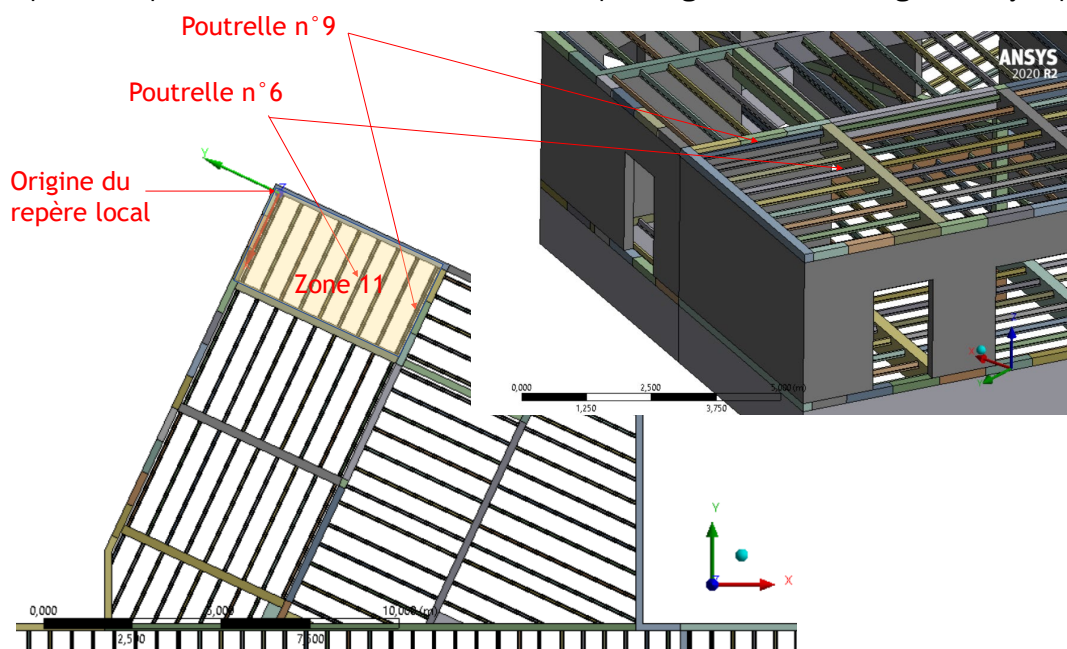


Figure 24 : Emplacement des poutrelles P6 et P9 de la zone 11

2.9.2.4.3. Zone 12

Dans la zone 12 pour les deux planchers (VS et toiture), la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P5 (Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.38$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.29$ MPa ;
Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.22$ MPa contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.20$ MPa.

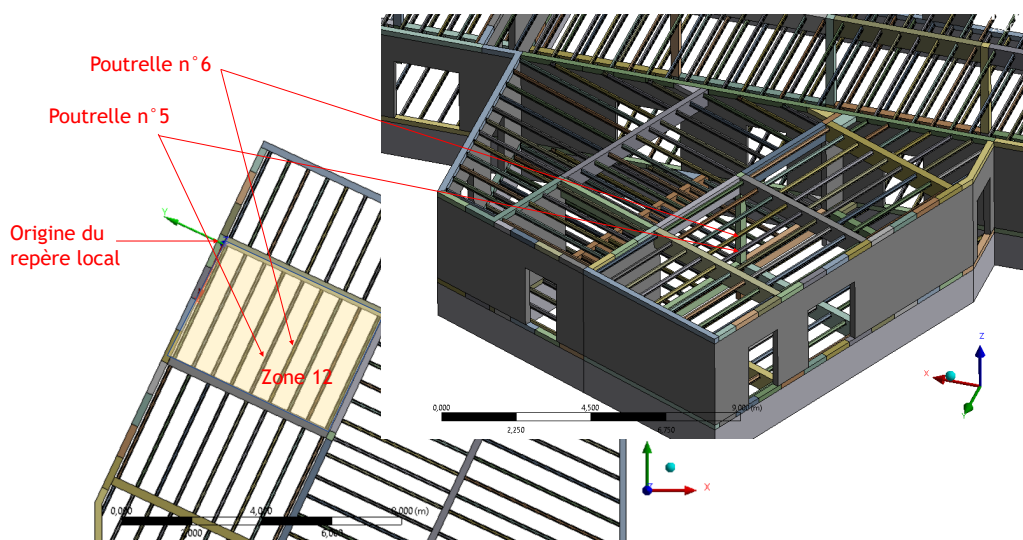


Figure 25 : Emplacement des poutrelles P5 et P6 de la zone 12

La Figure 25 montre l'emplacement des poutrelles P5 et P6 dans la zone 12 de deux planchers.

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées dans cette zone du plancher en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.29 \text{ MPa}$) est inférieure à la valeur maximale calculée pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.38 \text{ MPa}$). La combinaison ELU statique est donc la combinaison des charges dimensionnantes pour cette zone du plancher.

2.9.2.4.4. Zone 13

Dans la zone 13 pour les deux planchers (VS et toiture), la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P5 (Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.35 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.26 \text{ MPa}$;
Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.2 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.18 \text{ MPa}$.

La Figure 26 montre l'emplacement de la poutrelle P5 dans la zone 13 de deux planchers.

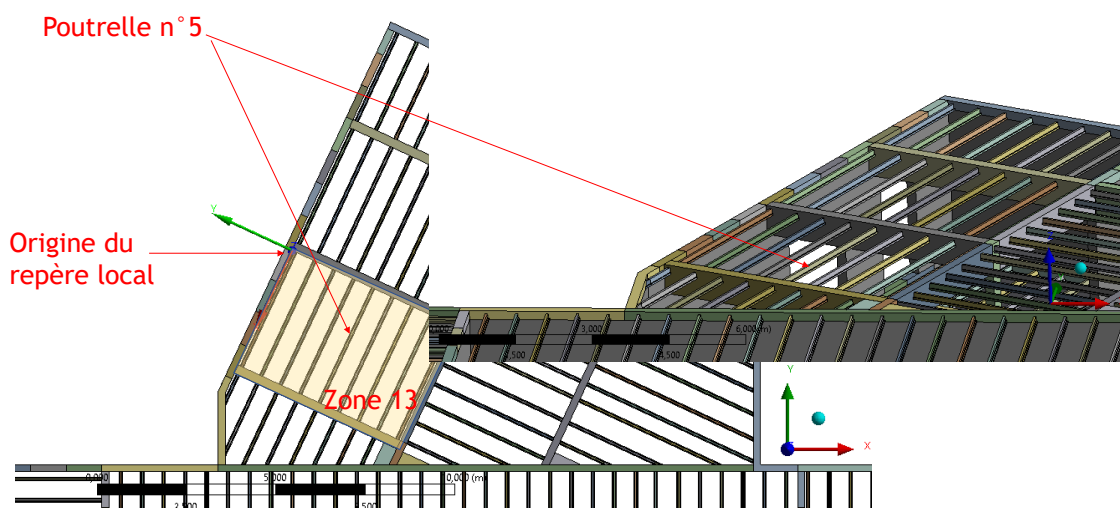


Figure 26 : Emplacement de la poutrelle P5 de la zone 13

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées dans cette zone du plancher en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.35 \text{ MPa}$) est inférieure à la valeur maximale calculée pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.26 \text{ MPa}$). La combinaison ELU statique est donc la combinaison des charges dimensionnantes pour cette zone du plancher.

2.9.2.4.5. Zone 14

Dans la zone 14, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit des poutrelles P3 et P8 au niveau VS (voir Tableau 3) :

Au niveau VS :

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.18 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.11 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P3 ;

$\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.15 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.1 \text{ MPa}$ pour la poutrelle P8.

Au niveau de la toiture, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P8 (voir Tableau 3) :

Au niveau Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.18 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.10 \text{ MPa}$.

La Figure 27 montre l'emplacement des poutrelles P3 et P8 dans la zone 14 de deux planchers.

Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.19 \text{ MPa}$ enregistrée par la poutrelle P8 située au niveau toiture ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.15 \text{ MPa}$ enregistrée par la poutrelle P8 située au niveau toiture.

La valeur maximale trouvée de la contrainte de glissement est plus élevée sous les charges ELU, rendant donc la combinaison ELU statique dimensionnante pour cette zone du plancher, compte tenu que la résistance de l'interface n'est pas dégradée sous chargement cyclique.

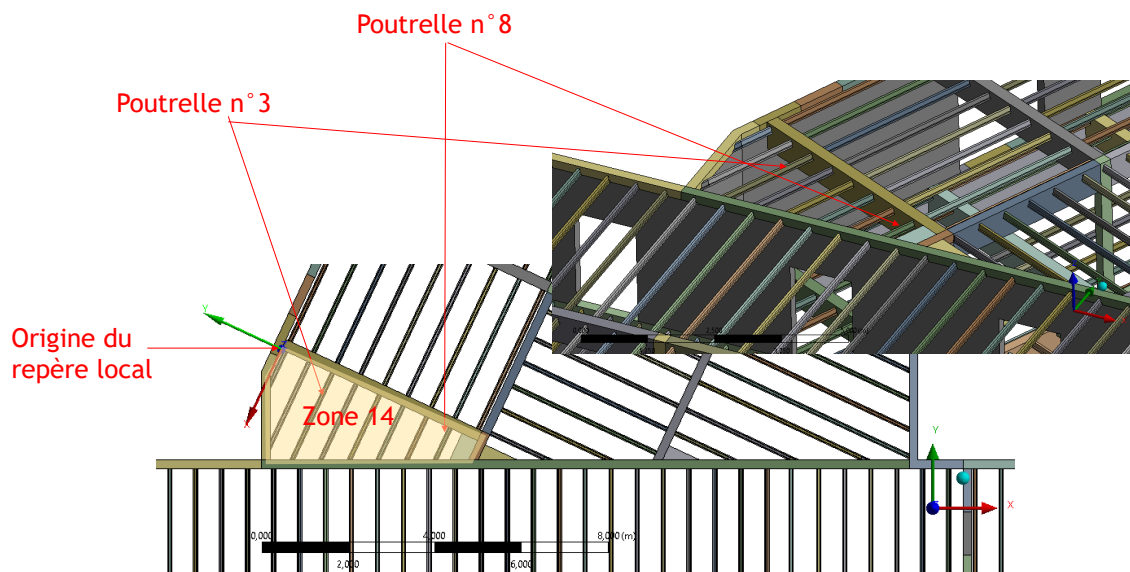


Figure 27 : Emplacement des poutrelles P3 et P8 de la zone 14

2.9.2.4.6. Zone 15

Dans la zone 15 pour les deux planchers (VS et toiture), la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P3 (Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.34 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.25 \text{ MPa}$;
Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.18 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.13 \text{ MPa}$.

La Figure 28 montre l'emplacement de la poutrelle P3 dans la zone 15 de deux planchers.

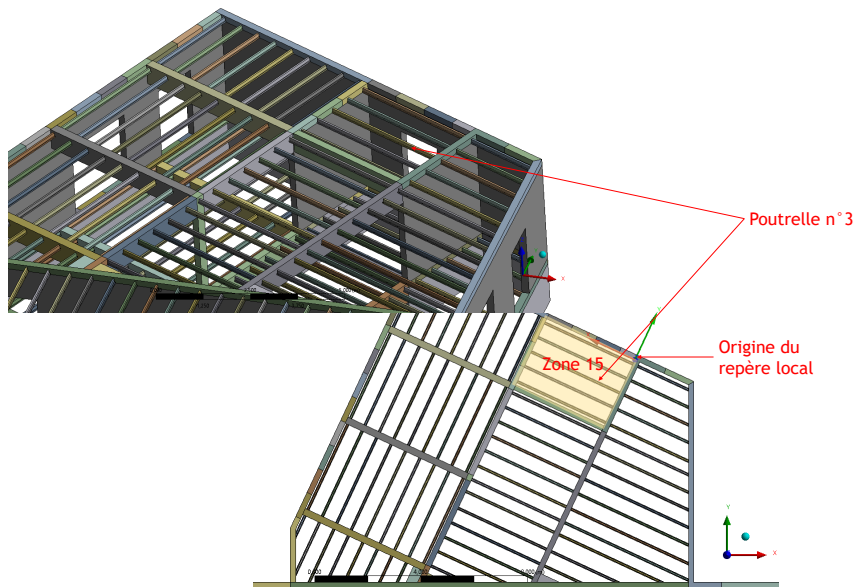


Figure 28 : Emplacement de la poutrelle P3 de la zone 15

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées dans cette zone du plancher en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.22 \text{ MPa}$) est inférieure à la valeur maximale calculée pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.34 \text{ MPa}$). La combinaison ELU statique est donc la combinaison des charges dimensionnantes pour cette zone du plancher.

2.9.2.4.7. Zone 16

Dans la zone 16 pour les deux planchers (VS et toiture), la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P7 (Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.51 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.35 \text{ MPa}$;
Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.36 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.28 \text{ MPa}$.

La Figure 29 montre l'emplacement de la poutrelle P7 dans la zone 16 de deux planchers.

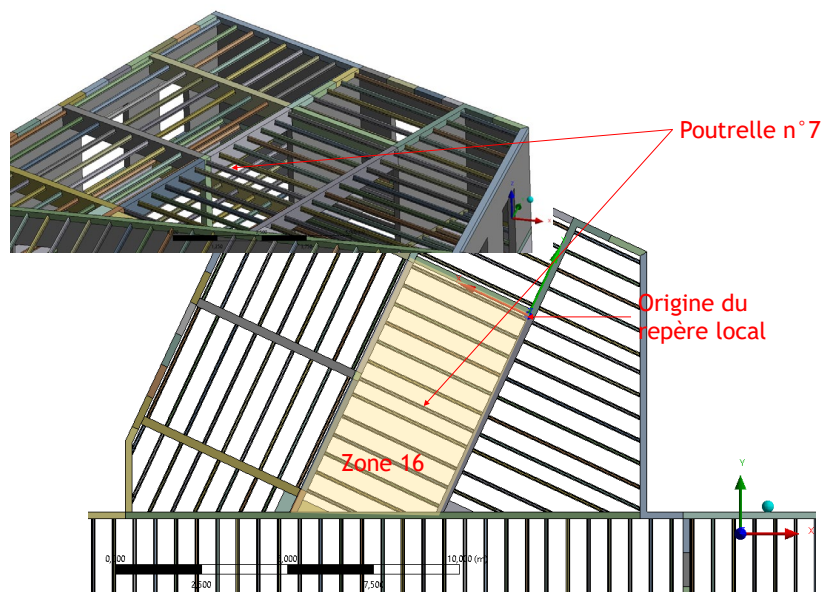


Figure 29 : Emplacement de la poutrelle P7 de la zone 16

L'intensité maximale des contraintes de glissement calculées dans cette zone du plancher en situation sismique ($\tau_{Ed,max,sismique} = 0.35 \text{ MPa}$) est inférieure à la valeur maximale calculée pour la combinaison ELU fondamentale ($\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.51 \text{ MPa}$). La combinaison ELU statique est donc la combinaison des charges dimensionnantes pour cette zone du plancher.

2.9.2.4.8. Zone 17

Dans la zone 17, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P9 au niveau VS (à noter qu'au niveau du VS, la poutrelle P4 est appuyée sur un mur d'un côté et sur une poutre de l'autre, cf. Figure 30) (voir Tableau 3) :

VS : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.467 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.30 \text{ MPa}$.

Au niveau de la toiture, la contrainte de glissement maximale est enregistrée au droit de la poutrelle P6 (voir Tableau 3) :

Toiture : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.25 \text{ MPa}$ contre $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.24 \text{ MPa}$.

La Figure 30 montre l'emplacement des poutrelles P6, P9 et P10 dans la zone 17 de deux planchers.

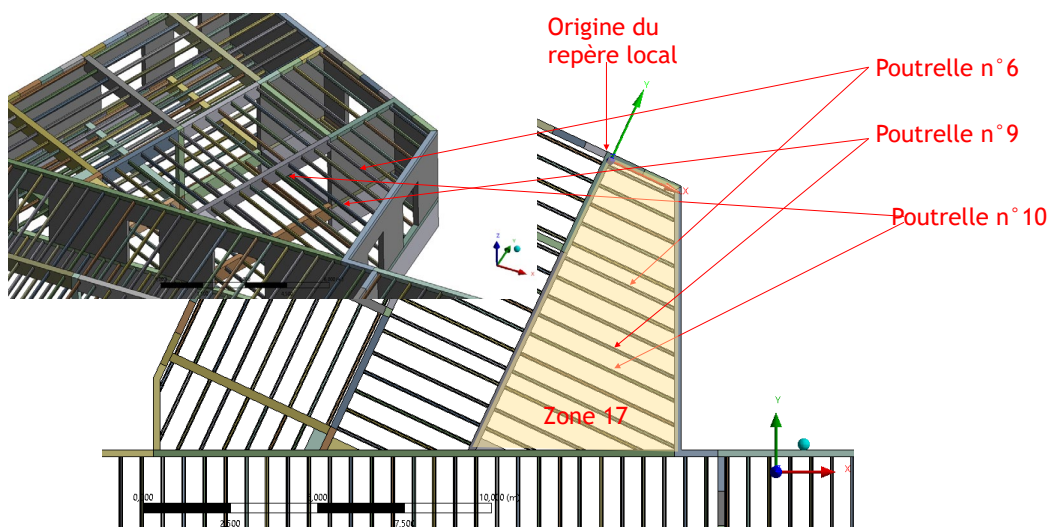


Figure 30 : Emplacement des poutrelles P6, P9 et P10 de la zone 17

Les contraintes de glissement maximales retenues pour cette zone sont :

- En statique : $\tau_{Ed,max,ELU,statique} = 0.47$ MPa enregistrée par la poutrelle P9 située au niveau VS ;
- En sismique : $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.30$ MPa enregistrée par la poutrelle P9 située au niveau VS.

La valeur maximale trouvée de la contrainte de glissement est plus élevée sous les charges ELU, rendant donc la combinaison ELU statique dimensionnante pour cette zone du plancher, compte tenu que la résistance de l'interface n'est pas dégradée sous chargement cyclique.

2.9.2.5. Conclusions

La contrainte de glissement maximale enregistrée au niveau des différentes zones étudiées précédemment est de l'ordre de $\tau_{Ed,max,sismique} = 0.40$ MPa en sismique (poutrelle P6 de la zone 7 au niveau du VS). Cette valeur est inférieure à la contrainte résistante $V_{Rdi,sismique} = 0.55$ MPa. En outre, le Tableau 3 montre que pour l'ensemble des poutrelles, l'intensité maximale des contraintes de glissement calculées à l'ELU est de l'ordre de $\sigma_{Ed,ELU,max} = 0.53$ MPa (valeur enregistrée par la poutrelle P9 au niveau de la zone 5 du VS). Cette valeur est supérieure à la contrainte de glissement maximale enregistrée au séisme (0.53 MPa > 0.40 MPa).

Autrement dit, la combinaison ELU ($1.35 \times G + 1.5 \times Q$) conduit à des sollicitations d'efforts tranchants plus défavorables que la combinaison sismique ($G \llcorner \Psi_2 \times \varphi \times Q \llcorner A_{Ed}$) rendant ainsi la combinaison ELU statique dimensionnante compte tenu que la résistance n'est pas dégradée sous chargement cyclique. En effet, des essais cycliques ont été réalisés sur des planchers à poutrelles et entrevous au CERIB en 2007 pour différents types de montage (Rapport d'essais CERIB n° 07 DPO 187) et les résultats des essais ont conduit à ne pas dégrader la résistance V_{Rdi} sismique par rapport à celle obtenue en statique en divisant la valeur de $c \times f_{ctd}$ par 2. Ainsi, $V_{Rdi,sismique} = V_{Rdi,dynamique} = 0.55$ MPa (voir Annexe 1).

En conclusion, la vérification du monolithisme entre les poutrelles et le béton coulé en place n'est pas limitative pour ce type bâtiment (établissement scolaire d'un seul niveau) en sismique et elle est conditionnée au dimensionnement en statique si on respecte le critère 0 suivant :

- **Critère 0 :**
 - Avoir des poutrelles de type c2a, c2b ou c3a avec un $V_{Rdi,statique} \geq 0.55$ MPa ;
 - Avoir des poutrelles ayant fait l'objet d'une caractérisation expérimentale pour le $V_{Rdi,dynamique}$ permettant d'avoir une résistance sismique ≥ 0.55 MPa.

2.9.3. Vérification de la fonction tirant-buton

Cette vérification concerne la liaison mur-plancher avec dans le sens porteur des poutrelles, une liaison appelée liaison longitudinale, entre les murs et la table de compression associés aux poutrelles ; dans le sens perpendiculaire aux poutrelles, une liaison entre les murs et la table de compression uniquement appelée liaison transversale (Figure 31).

Pour cette vérification, le CPT poutrelles « Cahier 3718 - Septembre 2012 » § 112.2 fixait une valeur de 75 kN/ml à reprendre par la liaison plancher-mur. Le respect de cette valeur forfaitaire dispensait de vérifier la fonction tirant-buton.

Le GS3 (Groupe Spécialisé Structures, planchers et autres composants structuraux de la CCFAT²) a supprimé l'exigence de cette valeur forfaitaire de 75 kN/ml. Il a retenu une capacité minimale de 15 kN/ml, le concepteur devant vérifier que le ferrailage résultant puisse reprendre les efforts à l'interface mur/plancher issus du dimensionnement du bâtiment ou l'augmenter le cas échéant.

Pour diminuer le risque de concentration d'efforts dans ces liaisons, un découpage tous les 60 cm (valeur correspondant à l'entraxe moyen entre deux poutrelles) de la liaison longitudinale et un découpage tous les mètres pour la liaison transversale permettent d'observer plus localement les efforts normaux.

À noter que dans une analyse spectrale, les efforts ne sont pas signés contrairement au calcul statique à l'ELU pour lequel la convention de signe est la suivante :

- Effort avec un signe négatif : il s'agit d'un effort de compression ;
- Effort avec un signe positif : il s'agit d'un effort d'arrachement.

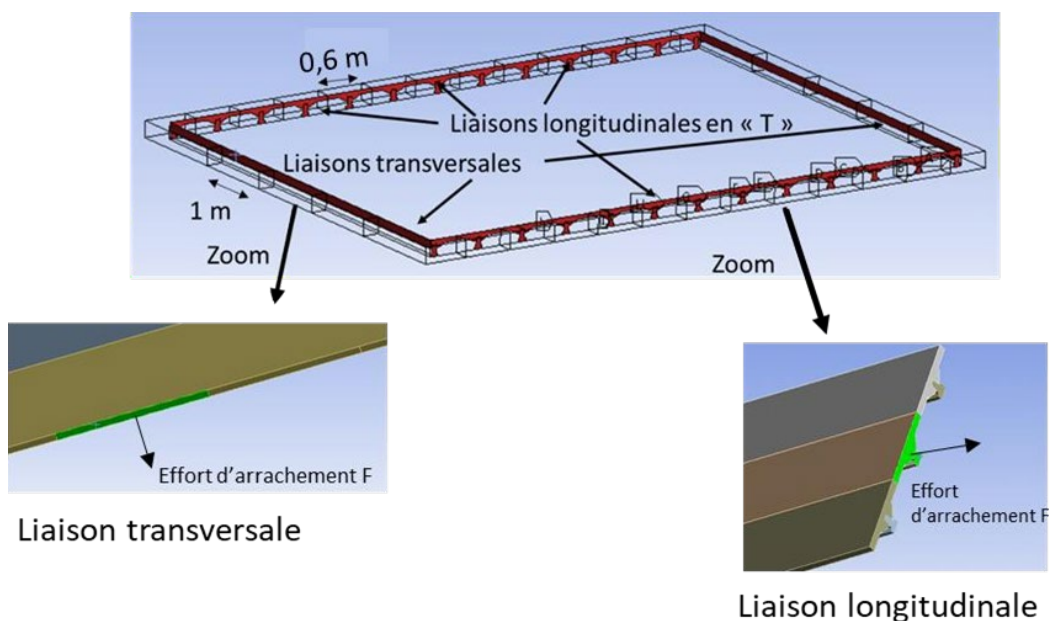


Figure 31 : Découpage des liaisons murs-plancher

² Commission Chargée de Formuler les Avis Technique

Les figures ci-après présentent pour les deux niveaux (VS et toiture) et dans le cas des tirants transversaux et longitudinaux :

- Les efforts de compression/d'arrachement par mètre linéaire, calculés à l'ELU statique et issus de la combinaison $1.35 \times G + 1.5 \times Q$;
- Les valeurs minimales et maximales des 25 combinaisons sismiques détaillées au §2.4. Le signe (-) montre qu'il s'agit d'un effort de compression et le signe (+) montre qu'il s'agit d'un effort de traction. Ainsi, les combinaisons sismiques les plus pénalisantes en compression et en traction sont étudiées ;
- En rouge sont marqués les efforts dépassant les 15 kN/ml en sismique. L'effort positif maximal ainsi que l'effort négatif maximal des tirants sont affichés à la dernière ligne de chaque tableau ;
- L'effort résistant de compression du béton calculé selon le § 6.5.2(2) de la norme EN 1992-1-1,2004 [13]. Ce paragraphe stipule que la résistance de calcul des bielles de béton soumises à une traction transversale est égale à :

$$\sigma_{Rd,max} = 0.6 \times v' \times f_{cd}$$

Avec :

$$v' = 1 - f_{ck}/250$$

Ainsi, l'effort résistant de compression béton $F_{Rd,max}$ est calculé :

- Pour le niveau VS présentant une table de compression d'épaisseur $e = 5$ cm :

$$F_{Rd,max} = 0.6v'f_{cd} \times e = 0.6(1 - f_{ck}/250)f_{cd} \times e = 0.6(1 - 25/250) \times (25/1.3) \times 0.05 = 519 \text{ kN/ml}$$

- Pour la toiture présentant une table de compression d'épaisseur $e = 6$ cm :

$$F_{Rd,max} = 0.6v'f_{cd} \times e = 0.6(1 - 25/250) \times (25/1.3) \times 0.06 = 623 \text{ kN/ml}$$

Les figures 32 à 39 montrent les efforts maximaux à l'ELU et sous les sollicitations sismiques dans les tirants longitudinaux aux niveaux VS et toiture et la section d'armature requise au niveau de chacun des tirants pour reprendre les efforts d'arrachement sous les sollicitations sismiques. Les cases rouges signifient un dépassement de la valeur minimale de 15 kN/ml.

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm ² /ml]
1	1	-1.0	-0.8	519	0.4	0.007
2	1	0.2	-0.3		0.8	0.017
3	1	1.5	0.0		1.3	0.026
4	1	1.5	0.0		1.5	0.030
5	1	1.6	0.0		1.5	0.030
6	1	2.3	0.0		1.9	0.039
7	1	3.5	0.0		2.8	0.056
8	1	1.5	-1.1		2.0	0.041
9	1	-1.1	-3.1		1.4	0.029
10	2	-5.7	-6.2		0.0	0.000
11	2	7.8	0.0		6.3	0.126
12	2	14.3	0.0		10.0	0.200
13	2	14.8	0.0		11.1	0.223
14	2	13.5	0.0		10.3	0.207
15	2	7.6	0.0		6.8	0.136
16	2	-3.9	-4.2		0.0	0.000
17	2	-20.0	-18.5		0.0	0.000
18	2	-30.7	-25.2		0.0	0.000
19	3	1.1	-1.2		2.2	0.044
20	3	3.9	0.0		3.2	0.064
21	3	1.7	-0.6		2.4	0.048
22	3	3.9	0.0		3.8	0.077
23	3	6.4	0.0		5.2	0.103
24	3	0.7	-0.2		2.1	0.043
25	4	-1.2	-2.8		1.6	0.033
26	4	12.0	0.0		9.1	0.182
27	4	16.7	0.0		10.8	0.217
28	4	16.8	0.0		11.0	0.220
29	4	15.5	0.0		15.6	0.312
30	4	13.0	-0.5		20.7	0.413
31	4	13.2	0.0		13.6	0.271
32	4	16.1	0.0		14.2	0.284
33	4	17.9	0.0		15.1	0.302
34	4	20.1	0.0		15.7	0.314
35	4	16.7	0.0		13.2	0.265
36	4	5.4	-0.2		6.0	0.120
37	4	6.7	-1.0		8.5	0.169
38	4	17.2	0.0		16.2	0.324
39	4	8.1	0.0		7.9	0.159
40	4	8.9	0.0		8.4	0.169
41	4	14.6	0.0		11.3	0.225
42	4	11.9	0.0		9.5	0.189
43	4	10.8	0.0		10.2	0.203
44	4	3.2	-2.2		4.0	0.080
45	4	-0.4	-5.3		2.5	0.050
46	4	-9.8	-9.8		0.0	0.000
47	4	3.9	-1.7		4.1	0.082
48	4	14.0	0.0		11.0	0.220
49	4	13.6	0.0		10.0	0.199
50	4	22.9	0.0		18.3	0.366
51	4	10.4	0.0		8.8	0.175
52	4	8.8	0.0		8.5	0.169
53	4	13.2	0.0		11.7	0.234
54	4	8.8	0.0		10.4	0.208
55	4	16.8	0.0		16.0	0.320
56	4	2.7	-0.5		3.6	0.072

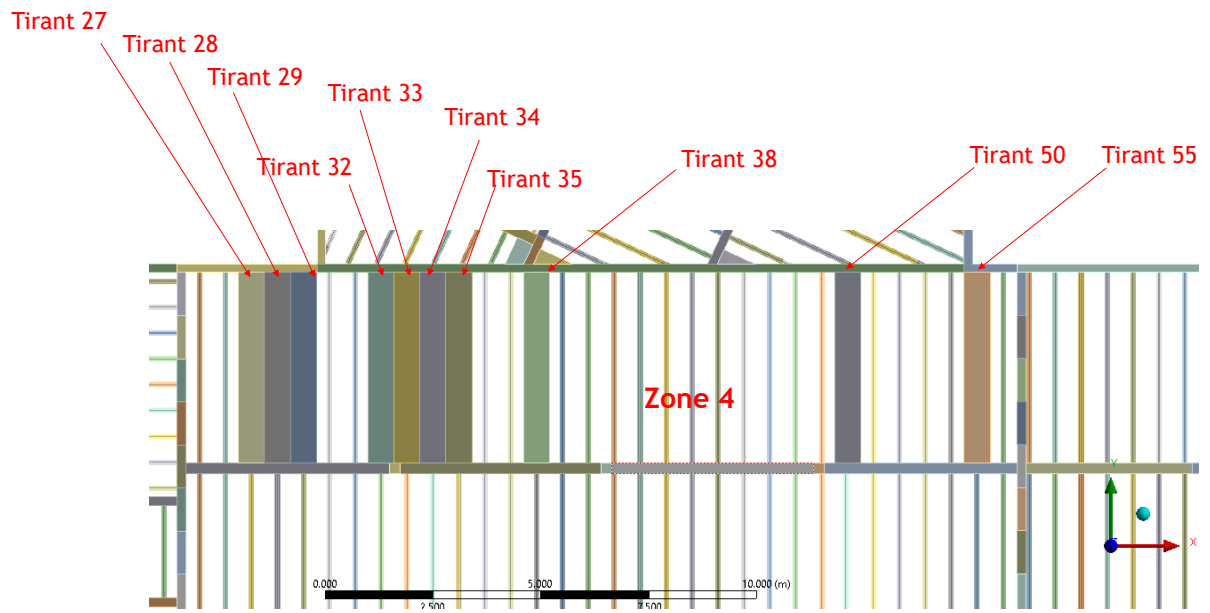


Figure 32 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 1 à 4)

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm²/ml]
57	5	-0.2	-1.6	519	2.0	0.040
58	5	8.1	0.0		7.2	0.145
59	5	16.7	0.0		11.5	0.230
60	5	21.9	0.0		14.0	0.280
61	5	21.4	0.0		13.4	0.268
62	5	17.9	0.0		12.6	0.252
63	5	8.7	0.0		9.0	0.180
64	5	8.4	0.0		8.7	0.174
65	5	19.3	0.0		13.0	0.261
66	5	20.3	0.0		12.8	0.257
67	5	22.0	0.0		14.0	0.279
68	5	14.2	0.0		10.6	0.212
69	5	9.9	0.0		9.7	0.195
70	5	8.2	0.0		8.6	0.172
71	5	20.2	0.0		13.2	0.265
72	5	19.8	0.0		12.7	0.254
73	5	19.7	0.0		13.1	0.261
74	5	14.2	0.0		11.2	0.224
75	5	8.2	0.0		8.6	0.172
76	5	9.0	0.0		9.4	0.187
77	5	20.6	0.0		13.7	0.274
78	5	21.3	0.0		14.7	0.294
79	5	13.0	0.0		11.0	0.219
80	5	4.7	0.0		6.6	0.133
81	5	9.0	0.0		8.5	0.171
82	5	25.8	0.0		16.1	0.323
83	5	20.7	0.0		12.9	0.257
84	5	21.2	0.0		13.1	0.262
85	5	13.1	0.0		9.1	0.182
86	5	9.4	0.0		7.0	0.140
87	5	-0.3	-2.2		2.0	0.040
88	5	19.7	0.0		13.7	0.275
89	6	-6.7	-6.5		0.0	0.000
90	6	5.4	0.0		4.0	0.080
91	6	14.6	0.0		8.9	0.179
92	6	17.6	0.0		10.9	0.218
93	6	13.9	0.0		9.6	0.192
94	6	10.4	0.0		8.4	0.168
95	6	9.8	0.0		8.1	0.161
96	6	11.4	0.0		8.6	0.171
97	6	17.7	0.0		11.1	0.222
98	6	15.9	0.0		9.9	0.198
99	6	17.6	0.0		11.0	0.219
100	6	8.0	0.0		6.1	0.122
101	6	4.7	0.0		4.7	0.093
102	6	-6.0	-7.1		0.0	0.000
103	7	-6.9	-6.5		0.0	0.000
104	7	5.9	0.0		4.9	0.097
105	7	17.8	0.0		11.3	0.226
106	7	20.7	0.0		14.2	0.283
107	7	31.6	0.0		27.5	0.550
108	8	-3.1	-4.9		0.0	0.000
109	8	3.2	0.0		2.5	0.050
110	8	3.6	0.0		3.1	0.062
111	8	3.8	0.0		3.2	0.064
112	8	7.0	0.0		4.7	0.094
113	8	7.0	0.0		4.7	0.093
114	8	7.5	0.0		5.1	0.102
115	8	0.8	0.0		1.9	0.038
116	8	-11.3	-9.2		0.0	0.000

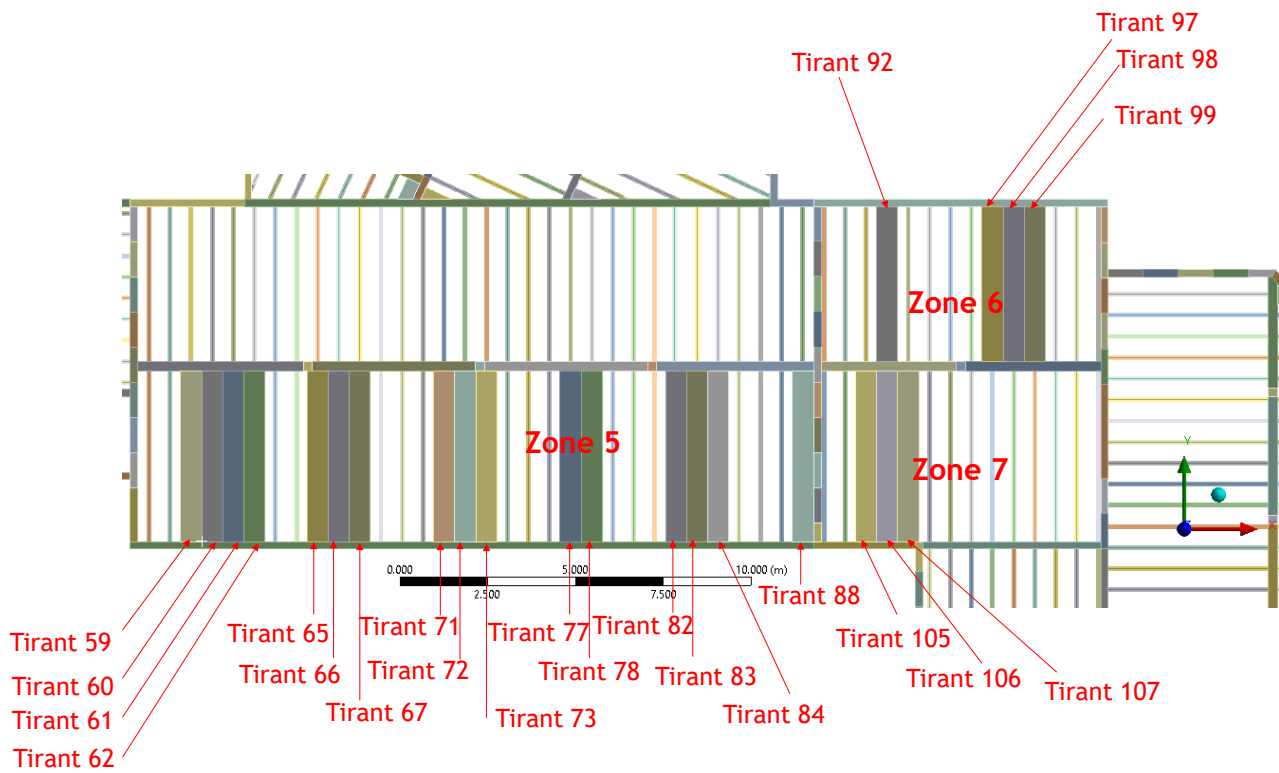


Figure 33 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 5 à 8)

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm ² /ml]
117	9	6.7	0.0	519	7.5	0.150
118	9	12.9	0.0		10.7	0.213
119	9	7.0	0.0		6.6	0.132
120	9	2.1	-1.1		4.0	0.079
121	9	1.4	-1.5		3.5	0.070
122	9	22.7	0.0		16.4	0.328
123	9	13.8	0.0		10.4	0.208
124	9	1.2	-0.9		2.4	0.048
125	9	-3.1	-4.6		0.0	0.000
126	10	-2.3	-4.9		2.5	0.049
127	10	0.5	-3.6		4.3	0.087
128	10	0.2	-3.8		4.1	0.081
129	10	-0.5	-3.4		3.7	0.073
130	10	-0.3	-3.2		3.6	0.073
131	10	2.0	-2.5		4.6	0.092
132	10	3.1	-1.8		5.3	0.107
133	10	1.9	-2.0		4.6	0.091
134	10	-5.0	-5.8		1.8	0.036
135	10	6.9	0.0		6.5	0.130
136	10	10.3	0.0		8.3	0.167
137	10	16.0	0.0		10.4	0.207
138	10	16.0	0.0		10.1	0.202
139	10	15.7	0.0		10.3	0.206
140	10	8.7	0.0		5.9	0.118
141	10	-1.9	-3.4		1.2	0.024
142	11	-3.6	-7.4		2.0	0.040
143	11	4.9	-0.8		6.4	0.128
144	11	6.7	0.0		7.7	0.154
145	11	6.9	0.0		7.8	0.155
146	11	6.4	0.0		7.5	0.150
147	11	6.2	0.0		7.5	0.150
148	11	5.9	-0.1		7.2	0.143
149	11	2.6	-2.3		4.7	0.094
150	11	-8.8	-10.9		0.0	0.000

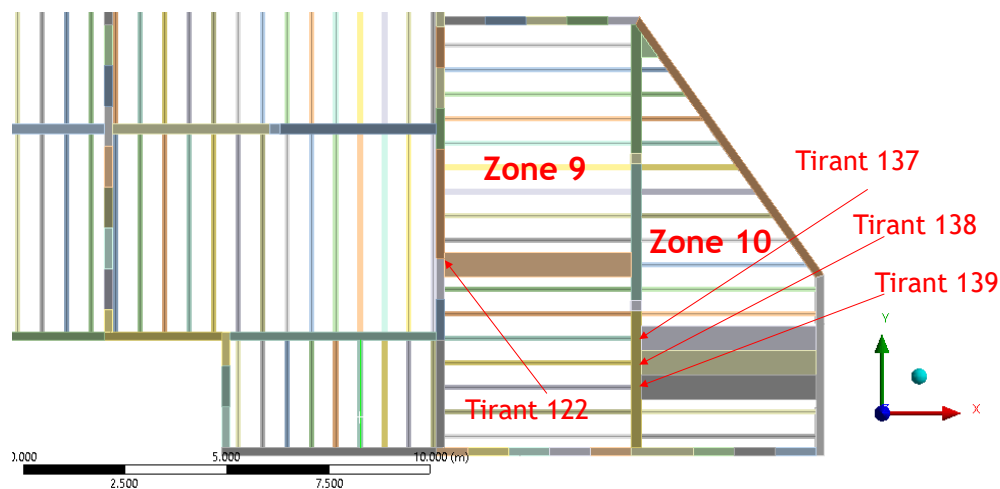


Figure 34 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 9 à 11)

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requise [cm²/ml]
151	14	-1.0	-2.1	519	1.3	0.026
152	14	-1.6	-2.7		0.4	0.008
153	14	-4.6	-7.7		2.9	0.058
154	14	3.3	-1.0		6.3	0.126
155	14	5.0	0.0		6.8	0.136
156	14	4.2	0.0		5.9	0.118
157	14	0.4	-2.1		3.2	0.063
158	14	-12.6	-11.3		0.0	0.000
159	15	-2.7	-1.9		0.0	0.000
160	15	7.5	0.0		5.7	0.114
161	15	9.5	0.0		6.9	0.138
162	15	0.1	-1.7		0.5	0.011
163	15	-34.8	-27.2		0.0	0.000
164	15	-0.1	0.0		3.0	0.061
165	15	13.0	0.0		9.9	0.198
166	15	12.8	0.0		9.3	0.185
167	15	7.8	0.0		6.0	0.119
168	15	-3.0	-2.1		0.0	0.000
169	16	-2.8	-4.2		1.1	0.022
170	16	-16.5	-11.5		0.0	0.000
171	17	-7.7	-7.4		0.0	0.000
172	17	7.4	0.0		7.9	0.157
173	17	-3.7	-4.5		1.5	0.029
174	17	17.0	0.0		14.9	0.299
175	17	7.4	0.0		5.6	0.111
176	17	3.4	0.0		3.5	0.069
177	17	4.1	0.0		2.6	0.051
178	17	7.2	0.0		4.9	0.098
179	17	-3.5	-2.3		0.0	0.000
180	17	-6.1	-3.9		0.0	0.000
181	17	6.5	0.0		4.5	0.090
182	17	2.9	0.0		1.9	0.038
183	17	-0.5	-0.6		0.4	0.008
184	17	0.5	-0.1		0.9	0.018
185	17	-0.9	-2.1		0.8	0.017
186	17	-1.1	-1.5		0.0	0.000
187	17	5.9	0.0		5.4	0.108
188	17	9.1	0.0		8.4	0.169
189	17	13.9	0.0		11.9	0.239
190	17	37.8	0.0		27.6	0.551
Maximum		37.8	-27.2		27.6	0.551

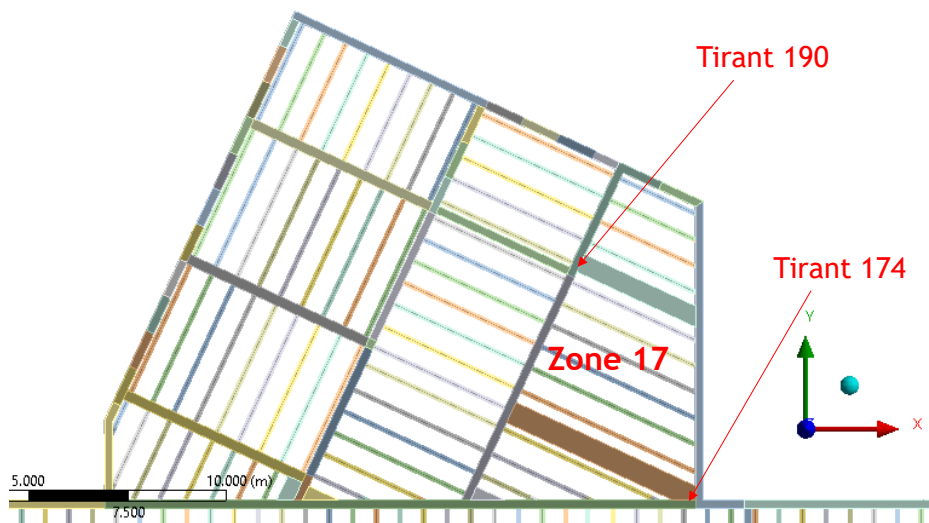


Figure 35 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 12 à 17)

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requise [cm²/ml]
1	1	0.9	0.0	623	1.5	0.029
2	1	-0.1	-0.7		0.2	0.004
3	1	-0.4	-0.6		0.0	0.001
4	1	-0.3	-0.6		0.3	0.006
5	1	0.1	-0.2		0.3	0.006
6	1	1.1	0.0		1.1	0.023
7	1	1.8	0.0		1.5	0.029
8	1	5.5	0.0		4.3	0.086
9	1	2.7	0.0		3.1	0.062
10	2	-6.7	-11.2		2.6	0.052
11	2	1.8	-4.2		7.1	0.141
12	2	6.0	-1.0		9.6	0.192
13	2	7.8	0.0		10.3	0.207
14	2	7.6	0.0		9.5	0.191
15	2	4.5	-1.0		7.1	0.141
16	2	-2.1	-7.0		3.1	0.063
17	2	-16.1	-22.5		0.0	0.000
18	2	-29.7	-29.6		0.0	0.000
19	3	2.6	-1.4		4.9	0.097
20	3	1.3	0.0		1.4	0.027
21	3	-2.7	-4.0		0.0	0.000
22	3	2.1	0.0		3.6	0.071
23	3	4.6	0.0		4.5	0.089
24	3	0.2	-2.6		0.0	0.000
25	4	2.7	0.0		2.2	0.044
26	4	2.5	-2.1		4.7	0.094
27	4	4.7	0.0		3.6	0.072
28	4	5.1	0.0		4.5	0.089
29	4	14.2	0.0		14.6	0.291
30	4	1.4	-3.7		8.8	0.176
31	4	3.2	-0.4		4.8	0.097
32	4	5.6	0.0		6.3	0.126
33	4	5.3	0.0		6.0	0.120
34	4	4.0	-0.5		5.2	0.105
35	4	2.1	-2.3		4.6	0.093
36	4	-2.3	-4.8		1.4	0.028
37	4	0.7	-2.7		2.2	0.044
38	4	5.5	-0.9		5.6	0.112
39	4	-0.8	-3.5		2.2	0.045
40	4	-1.0	-3.8		3.1	0.063
41	4	-0.6	-4.0		3.1	0.062
42	4	-0.2	-4.1		3.0	0.061
43	4	7.8	0.0		7.8	0.157
44	4	-3.2	-8.4		0.0	0.000
45	4	-2.4	-13.4		3.0	0.061
46	4	-8.3	-12.3		0.0	0.000
47	4	-4.2	-9.0		0.0	0.000
48	4	2.0	-3.0		3.9	0.077
49	4	0.1	-4.8		3.0	0.061
50	4	18.4	0.0		16.9	0.339
51	4	4.5	-1.2		6.6	0.132
52	4	6.6	0.0		9.9	0.198
53	4	10.8	0.0		14.0	0.280
54	4	1.5	-9.5		11.8	0.236
55	4	16.4	0.0		25.5	0.511
56	4	3.7	0.0		2.4	0.047

Figure 36 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 1 à 4)

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm²/ml]
57	5	4.4	0.0	623	3.4	0.067
58	5	3.3	0.0		1.8	0.037
59	5	3.5	0.0		2.3	0.047
60	5	3.5	0.0		2.4	0.049
61	5	3.0	0.0		2.3	0.045
62	5	3.0	0.0		2.1	0.042
63	5	2.4	0.0		1.3	0.027
64	5	2.0	-0.1		1.1	0.021
65	5	1.9	0.0		1.4	0.029
66	5	3.1	0.0		2.1	0.043
67	5	3.4	0.0		2.2	0.044
68	5	2.2	0.0		1.6	0.032
69	5	1.8	0.0		1.2	0.024
70	5	2.8	0.0		1.5	0.031
71	5	2.7	0.0		1.8	0.036
72	5	2.9	0.0		2.0	0.041
73	5	2.1	0.0		1.6	0.033
74	5	2.5	0.0		1.6	0.031
75	5	3.4	0.0		1.7	0.034
76	5	1.4	-0.1		1.1	0.021
77	5	2.3	0.0		1.7	0.035
78	5	4.0	0.0		2.5	0.050
79	5	3.6	0.0		2.4	0.047
80	5	1.4	-0.2		1.2	0.023
81	5	1.2	-0.2		0.7	0.014
82	5	2.8	0.0		1.7	0.034
83	5	4.3	0.0		2.7	0.055
84	5	2.7	0.0		2.1	0.043
85	5	3.4	0.0		2.3	0.046
86	5	4.6	0.0		2.9	0.057
87	5	2.9	0.0		1.8	0.035
88	5	8.6	0.0		7.2	0.144
89	6	-2.1	-2.8		0.0	0.000
90	6	2.1	0.0		1.3	0.025
91	6	3.7	0.0		2.5	0.051
92	6	3.1	0.0		2.3	0.045
93	6	2.6	0.0		1.9	0.038
94	6	2.3	0.0		1.5	0.030
95	6	1.1	-0.4		0.8	0.017
96	6	1.9	-0.1		1.5	0.030
97	6	2.4	0.0		1.9	0.038
98	6	2.9	0.0		2.4	0.048
99	6	3.1	0.0		2.3	0.046
100	6	3.0	0.0		2.1	0.043
101	6	0.4	-1.7		1.4	0.027
102	6	-0.9	-2.7		0.8	0.016
103	7	5.3	0.0		3.4	0.068
104	7	2.8	0.0		2.0	0.040
105	7	4.4	0.0		3.2	0.064
106	7	5.3	-0.3		5.0	0.100
107	7	26.1	0.0		23.3	0.466
108	8	1.9	0.0		2.3	0.045
109	8	1.6	0.0		1.4	0.027
110	8	1.1	-0.1		1.1	0.022
111	8	0.7	-0.7		1.3	0.026
112	8	1.2	-0.4		2.0	0.039
113	8	1.9	0.0		2.4	0.049
114	8	2.1	0.0		2.5	0.051
115	8	1.2	-0.4		1.5	0.030
116	8	4.0	0.0		4.7	0.094

Figure 37 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 5 à 8)

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requise [cm ² /ml]
117	9	3.8	-0.6	623	4.8	0.095
118	9	7.1	0.0		8.3	0.165
119	9	2.2	-3.5		5.3	0.106
120	9	-2.2	-7.2		4.8	0.095
121	9	3.4	-2.9		7.1	0.142
122	9	9.5	0.0		10.5	0.211
123	9	7.3	0.0		7.9	0.158
124	9	-4.6	-6.6		0.0	0.000
125	9	-9.1	-12.5		0.0	0.000
126	10	-1.5	-3.8		2.2	0.044
127	10	0.6	-4.1		5.2	0.105
128	10	-0.2	-3.5		3.5	0.069
129	10	-0.9	-1.6		0.4	0.009
130	10	-0.8	-3.3		2.3	0.047
131	10	-0.2	-5.7		6.0	0.119
132	10	-0.2	-5.3		5.3	0.106
133	10	-0.6	-2.5		1.4	0.028
134	10	5.2	0.0		6.1	0.121
135	10	12.8	0.0		9.1	0.182
136	10	3.4	-0.4		3.1	0.062
137	10	2.5	-0.5		2.9	0.058
138	10	2.7	0.0		2.8	0.056
139	10	3.1	-0.1		3.5	0.071
140	10	2.8	0.0		2.4	0.049
141	10	6.3	0.0		4.7	0.093
142	11	3.0	0.0		3.1	0.063
143	11	2.8	-0.7		3.9	0.078
144	11	2.3	-3.3		5.9	0.118
145	11	1.9	-2.7		4.9	0.097
146	11	2.1	-3.0		5.3	0.106
147	11	1.7	-3.3		5.3	0.107
148	11	2.0	-3.0		5.5	0.110
149	11	0.4	-4.0		4.2	0.084
150	11	-2.3	-6.4		2.5	0.049
151	14	1.0	-1.5		2.8	0.056
152	14	1.8	-1.8		5.2	0.104
153	14	-6.5	-6.0		0.0	0.000
154	14	0.4	-1.6		3.2	0.064
155	14	1.3	-2.0		4.0	0.080
156	14	-1.1	-4.0		2.0	0.040
157	14	-3.8	-6.2		0.9	0.018
158	14	-13.9	-12.8		0.0	0.000

Figure 38 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 9 à 14)

N° tirant	Zone	Effort statique ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requise [cm²/ml]
159	15	3.8	0.0	623	4.5	0.090
160	15	7.5	0.0		7.9	0.159
161	15	6.9	0.0		8.1	0.161
162	15	-2.5	-3.8		1.5	0.029
163	15	-35.1	-28.5		0.0	0.000
164	15	5.7	0.0		8.7	0.173
165	15	9.6	0.0		10.1	0.202
166	15	11.3	0.0		11.8	0.236
167	15	12.6	0.0		13.7	0.273
168	15	3.5	0.0		7.0	0.139
169	16	-4.3	-6.2		1.7	0.033
170	16	-6.8	-8.5		0.0	0.000
171	17	-7.1	-10.2		0.0	0.000
172	17	8.4	0.0		10.6	0.213
173	17	4.5	-1.4		9.4	0.189
174	17	10.0	-0.6		21.3	0.425
175	17	6.0	0.0		5.3	0.106
176	17	3.2	0.0		2.9	0.057
177	17	-0.8	-0.3		0.5	0.010
178	17	0.6	-0.5		1.2	0.023
179	17	-2.4	-2.1		0.0	0.000
180	17	-2.4	-1.8		0.0	0.000
181	17	-1.6	-3.0		0.0	0.000
182	17	-0.7	-0.9		0.0	0.000
183	17	-1.1	-1.6		0.0	0.000
184	17	-0.2	-0.9		0.1	0.002
185	17	3.4	0.0		3.3	0.067
186	17	4.2	0.0		7.4	0.149
187	17	8.6	0.0		10.2	0.204
188	17	10.8	0.0		12.1	0.241
189	17	12.7	0.0		13.2	0.265
190	17	27.2	0.0		17.4	0.348
Maximum		27.2	-29.6		25.5	0.511

Figure 39 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 15 à 17)

Les figures 40 à 43 montrent les efforts maximaux à l'ELU et sous les sollicitations sismiques dans les tirants transversaux aux niveaux VS et toiture.

N° tirant	Zone	Effort ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm ² /ml]
1	1	3.45	0.00	519.0	3.00	0.06
2	1	3.66	-1.25		7.24	0.14
3	1	-29.50	-18.53		0.00	0.00
4	2	-23.78	-15.57		0.00	0.00
5	2	-21.10	-15.51		0.00	0.00
6	2	0.54	-0.90		1.55	0.03
7	2	-17.41	-14.35		0.00	0.00
8	2	5.04	0.00		4.76	0.10
9	2	-1.43	-1.78		1.06	0.02
10	3	-8.09	-7.99		0.00	0.00
11	3	6.50	0.00		6.99	0.14
12	3	5.08	-0.09		5.42	0.11
13	4	-2.56	-3.64		0.47	0.01
14	4	8.49	0.00		7.05	0.14
15	4	10.65	0.00		9.05	0.18
16	4	-17.92	-10.94		0.00	0.00
17	4	-2.77	-6.62		3.21	0.06
18	4	13.04	0.00		9.23	0.18
19	4	16.02	0.00		10.64	0.21
20	4	-10.49	-7.60		0.00	0.00
21	4	-69.11	-45.29		0.00	0.00
22	5	-23.64	-16.23		0.00	0.00
23	5	11.72	0.00		12.46	0.25
24	5	14.72	0.00		13.06	0.26
25	5	2.32	0.00		2.62	0.05
26	5	-78.80	-51.35		0.00	0.00
27	5	-17.65	-11.91		0.00	0.00
28	5	14.45	0.00		9.74	0.19
29	5	17.25	0.00		13.56	0.27
30	5	2.93	-0.35		2.45	0.05
31	5	-11.24	-11.53		0.00	0.00
32	6	-1.62	-3.83		1.88	0.04
33	6	14.69	0.00		10.41	0.21
34	6	17.69	0.00		11.49	0.23
35	6	-9.23	-6.28		0.00	0.00
36	6	-71.52	-47.27		0.00	0.00
37	6	0.05	-1.44		1.24	0.02
38	6	14.16	0.00		12.22	0.24
39	6	14.44	0.00		12.53	0.25
40	6	-6.08	-4.19		0.00	0.00
41	6	-55.79	-34.44		0.00	0.00
42	7	-85.71	-56.99		0.00	0.00
43	7	-16.10	-10.88		0.00	0.00
44	7	15.39	0.00		9.94	0.20
45	7	18.22	0.00		11.74	0.23
46	7	3.06	-0.04		2.35	0.05
47	7	-13.05	-13.41		0.00	0.00
48	7	-54.70	-36.08		0.00	0.00
49	7	9.86	0.00		8.56	0.17
50	7	-42.87	-27.12		0.00	0.00

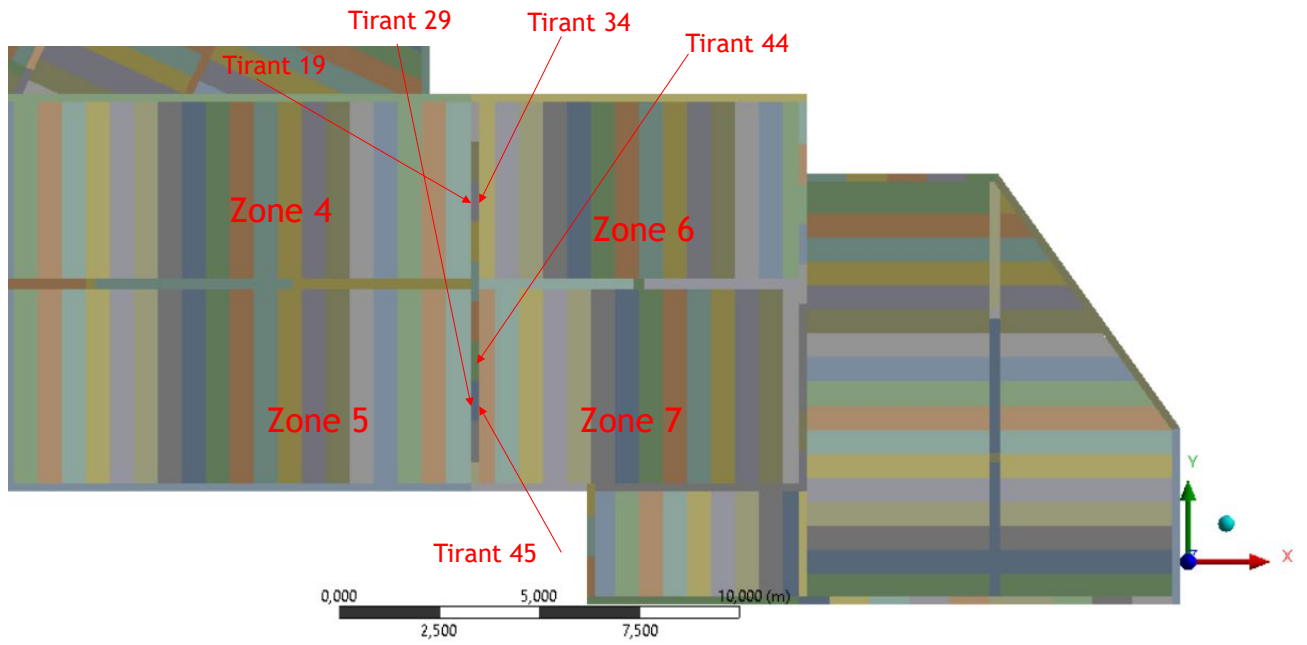


Figure 40 : Résultats des tirants transversaux au niveau VS (zones 1 à 7)

N° tirant	Zone	Effort ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm ² /ml]
51	8	-36.94	-20.87	519.0	0.00	0.00
52	8	2.83	0.00		2.26	0.05
53	8	0.13	-1.45		1.38	0.03
54	9	-2.20	-3.57		1.09	0.02
55	9	3.17	0.00		2.44	0.05
56	9	5.17	0.00		3.04	0.06
57	9	2.51	0.00		2.19	0.04
58	9	-8.42	-5.75		0.00	0.00
59	9	-2.77	-3.17		2.03	0.04
60	9	4.43	0.00		2.78	0.06
61	9	3.88	0.00		3.21	0.06
62	9	5.98	0.00		3.61	0.07
63	9	-4.73	-2.69		0.47	0.01
64	10	-2.94	-3.53		0.00	0.00
65	10	5.28	0.00		3.51	0.07
66	10	3.83	0.00		2.55	0.05
67	10	-1.16	-3.04		1.43	0.03
68	11	-0.28	-0.80		0.33	0.01
69	11	3.52	0.00		2.63	0.05
70	11	-6.26	-2.51		0.00	0.00
71	11	0.24	-3.64		4.28	0.09
72	11	2.44	-2.71		5.98	0.12
73	11	-32.63	-22.03		0.00	0.00
74	12	-10.78	-7.23		0.00	0.00
75	12	6.30	0.00		4.18	0.08
76	12	6.48	0.00		4.34	0.09
77	12	-14.88	-6.08		0.00	0.00
78	13	-11.30	-3.82		0.00	0.00
79	13	5.50	0.00		3.86	0.08
80	13	4.63	0.00		3.41	0.07
81	13	-6.43	-4.18		0.00	0.00
82	14	-16.67	-8.34		0.00	0.00
83	14	-15.33	-5.51		0.00	0.00
84	15	-2.33	-5.29		1.97	0.04
85	15	2.94	-2.02		5.39	0.11
86	15	1.41	-2.80		4.44	0.09
87	15	-5.57	-7.66		0.00	0.00
88	17	-2.53	-5.02		0.73	0.01
89	17	-0.25	-3.16		2.44	0.05
Maximum		18.22	-56.99		13.56	0.27

Figure 41 : Résultats des tirants transversaux au niveau VS (zones 8 à 17)

N° tirant	Zone	Effort ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm²/ml]
1	1	5.8	0.0	623	7.0	0.140
2	1	5.8	0.0		10.5	0.210
3	1	-16.3	-11.9		0.0	0.000
4	2	3.0	0.0		4.2	0.083
5	2	1.8	0.0		2.0	0.040
6	2	3.3	0.0		2.5	0.050
7	2	-9.3	-9.7		0.0	0.000
8	2	5.3	0.0		5.3	0.105
9	2	0.0	-0.4		1.1	0.022
10	3	-8.6	-12.3		0.7	0.015
11	3	5.3	-3.6		10.1	0.202
12	3	1.0	-10.2		7.4	0.147
13	4	-4.1	-8.8		3.0	0.060
14	4	5.8	-1.2		9.7	0.195
15	4	7.7	0.0		10.0	0.200
16	4	-9.1	-9.9		0.0	0.000
17	4	-10.1	-13.7		0.0	0.000
18	4	4.9	-0.7		7.9	0.158
19	4	4.3	0.0		6.5	0.130
20	4	-13.0	-8.9		0.0	0.000
21	4	-56.7	-37.1		0.0	0.000
22	5	-10.3	-13.6		1.7	0.034
23	5	8.6	-1.9		12.4	0.247
24	5	11.4	-3.3		17.1	0.342
25	5	4.6	0.0		3.6	0.071
26	5	-60.7	-40.5		0.0	0.000
27	5	-16.8	-12.3		0.0	0.000
28	5	6.9	0.0		9.6	0.191
29	5	10.0	0.0		13.0	0.260
30	5	0.2	-7.3		6.3	0.125
31	5	-15.7	-25.3		0.0	0.000
32	6	-6.9	-11.9		1.4	0.029
33	6	6.3	0.0		8.8	0.175
34	6	4.7	0.0		6.5	0.129
35	6	-12.0	-7.9		0.0	0.000
36	6	-58.4	-38.6		0.0	0.000
37	6	3.5	0.0		2.4	0.048
38	6	7.9	0.0		9.5	0.190
39	6	9.0	0.0		8.5	0.171
40	6	-2.1	-5.4		4.3	0.086
41	6	-32.0	-25.3		0.0	0.000



Figure 42 : Résultats des tirants transversaux au niveau toiture (zones 1 à 6)

N° tirant	Zone	Effort ELU [kN/ml]	Compression		Traction	
			Effort sismique min [kN/ml]	Effort résistant de compression béton [kN/ml]	Effort sismique max [kN/ml]	Section d'acier requis [cm ² /ml]
42	7	-70.8	-48.0	623	0.0	0.000
43	7	-16.3	-11.6		0.0	0.000
44	7	7.0	0.0		9.3	0.185
45	7	9.9	0.0		11.6	0.231
46	7	-0.4	-7.2		5.7	0.113
47	7	-19.1	-28.4		0.0	0.000
48	7	-46.4	-34.9		0.0	0.000
49	7	7.2	0.0		10.2	0.204
50	7	-25.6	-20.3		0.0	0.000
51	8	-6.5	-1.6		3.3	0.065
52	8	2.4	0.0		2.3	0.045
53	8	2.3	0.0		2.1	0.043
54	9	-0.1	-2.5		2.5	0.051
55	9	1.2	0.0		1.4	0.028
56	9	1.4	0.0		1.4	0.028
57	9	1.1	-0.1		1.2	0.023
58	9	6.5	0.0		7.2	0.144
59	9	7.7	0.0		7.0	0.140
60	9	1.9	0.0		1.7	0.034
61	9	1.1	-0.1		1.2	0.024
62	9	1.5	-0.4		2.1	0.043
63	9	4.7	0.0		4.3	0.087
64	10	3.6	0.0		4.9	0.099
65	10	1.5	0.0		1.5	0.030
66	10	1.6	0.0		1.4	0.029
67	10	4.2	0.0		3.4	0.068
68	11	3.3	0.0		2.4	0.048
69	11	1.7	0.0		1.5	0.029
70	11	4.4	0.0		4.1	0.082
71	11	3.6	-1.5		7.8	0.157
72	11	3.9	-0.6		8.8	0.176
73	11	-22.3	-17.0		0.0	0.000
74	12	8.4	0.0		7.1	0.142
75	12	2.1	0.0		1.8	0.035
76	12	2.4	0.0		1.7	0.034
77	12	6.9	0.0		6.3	0.127
78	13	6.0	0.0		5.8	0.117
79	13	2.1	0.0		1.3	0.026
80	13	2.4	0.0		1.6	0.033
81	13	8.8	0.0		8.2	0.165
82	14	2.5	0.0		3.6	0.072
83	14	3.0	0.0		5.9	0.119
84	15	1.7	-2.4		4.7	0.093
85	15	1.3	-4.3		5.8	0.117
86	15	0.7	-3.9		4.7	0.093
87	15	0.5	-2.3		3.2	0.063
88	17	0.2	-2.5		2.9	0.057
89	17	1.4	-1.3		3.3	0.066
Maximum		11.4	-48.0		17.1	0.3

Figure 43 : Résultats des tirants transversaux au niveau toiture (zones 7 à 17)

Afin de faciliter la lisibilité, les valeurs maximales enveloppes pour les deux niveaux sont exposées dans le Tableau 4 pour les tirants transversaux et longitudinaux.

	Tirants longitudinaux		Tirants Transversaux	
Valeur maximale (absolue)	Traction (+ve)	Compression (-ve)	Traction (+ve)	Compression (-ve)
Enveloppe des combinaisons sismiques	27.60 kN/ml	-29.60 kN/ml	17.10 kN/ml	-57.0 kN/ml
ELU	37.80 kN/ml	-35.10 kN/ml	18.22 kN/ml	-85.71 kN/ml

Tableau 4 : Valeurs maximales des efforts de traction et compression dans les tirants longitudinaux et transversaux pour les deux planchers (VS et toiture)

2.9.3.1. Interprétation des résultats

2.9.3.1.1. Efforts positifs de traction

L'effort positif maximal de traction, sous les combinaisons sismiques, est enregistré au droit du tirant longitudinal n° 190 de la zone 17 du niveau VS. Il est de l'ordre de 27.6 kN/ml (voir Tableau 4).

La quantité d'armature minimale nécessaire pour reprendre cet effort d'arrachement est de l'ordre de 0.56 cm²/ml. Cette section d'armatures est inférieure à 0.6 cm²/ml (ferraillage minimale selon le guide CPMI EC8) et à celle du treillis soudé utilisé en partie courante (PAF10 (1.19 cm²/ml)).

En résumé, la valeur de 15KN/ml peut être dépassé ponctuellement mais le minimum de 0.6 cm²/ml imposé dans le guide CMPI EC8 permet de reprendre cet effort.

2.9.3.1.2. Efforts négatifs de compression

L'effort négatif maximal de compression, sous les sollicitations sismiques, est enregistré au droit du tirant transversal n° 42, zone 7 du niveau VS. Il est de l'ordre de 57.00 kN/ml. Cet effort est largement inférieur à l'effort résistant de compression du béton (57.00 kN/ml < 519.0 kN/ml).

2.9.3.2. Conclusions

L'analyse des résultats de la vérification de la fonction tirant-buton nous permet de conclure que la quantité d'armatures des chapeaux pour assurer la liaison poutrelles/murs en transversal comme en longitudinal doit être à minima égale à 0.6 cm²/ml.

Ainsi, les critères à respecter permettant de vérifier la fonction tirant-buton pour ce type de bâtiment sont les suivants :

- **Critère 1 :**

La quantité d'armatures des chapeaux pour assurer la liaison poutrelles/murs en transversal comme en longitudinal doit être à minima égale à 0.6 cm² /ml.

- **Critère 2 :**

Les vérifications effectuées ne révèlent pas de dépassement de la valeur limite de l'effort de traction (assuré par une section d'armature de 0.6 cm²/ml) dans les zones où des décrochés ou des liaisons de murs en T sont présents. Néanmoins, afin de prendre des précautions supplémentaires, nous maintenons le critère défini pour les maisons individuelles irrégulières complexes et pour les petits collectifs.

En présence de décrochés (angles saillants/reentrants ou liaison de murs en T, voir Figure 44), il est préconisé de renforcer la liaison du tirant longitudinal ou transversal avec le mur en prolongeant 2 armatures du chaînage ou en rajoutant 1,5 cm² B500.

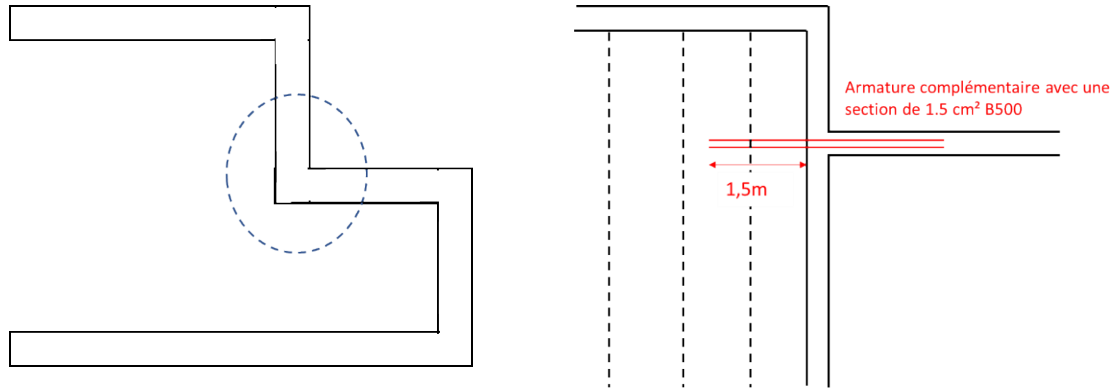


Figure 44 : Présence de décrochés avec des angles saillants ou des liaisons de murs en T

2.9.4. Vérification de la fonction diaphragme

Cette vérification concerne uniquement la table de compression (section sans les poutrelles). Pour cette partie, la limite d'élasticité du treillis considérée est de 500 MPa avec la valeur du coefficient partiel retenue $\gamma_s=1$ pour l'acier comme l'indique l'annexe nationale NF EN 1998-1/NA (clause 5.2.4(3) Note 2) et $\gamma_s=1,15$ à l'ELU statique.

Sur une surface d'un mètre carré, les efforts normaux et de cisaillement sont obtenus numériquement sur deux facettes de cette surface (Figure 45) et combinés entre eux selon la formule de Wood-Armer.

Ainsi :

Il faut placer des aciers équilibrant les efforts suivants (>0 en traction) :

- Dans le sens X : $R_x = N_x + |V_y| \times \gamma_{rd}$;
- Dans le sens Y : $R_y = N_y + |V_x| \times \gamma_{rd}$.

Avec $\gamma_{rd} = 1.3$ selon §4.4.2.5 (2) NF EN 1998-1. Cette clause stipule que les effets de l'action sismique dans le diaphragme sont multipliés par un coefficient de sur-résistance γ_d supérieur à 1. La valeur recommandée est de 1.3 pour les modes de rupture fragile, tels que l'effort tranchant dans les diaphragmes en béton.

Par suite, la quantité minimale d'armatures à mettre en place en partie courante de la table de compression sera égale à :

$$A_x > \frac{N_x}{f_{yd}} + \frac{|V_y| \times \gamma_{rd}}{f_{yd}}$$

$$A_y > \frac{N_y}{f_{yd}} + \frac{|V_x| \times \gamma_{rd}}{f_{yd}}$$

- (i) Si $R_x < 0$ et $R_y > 0$

$$A_x = 0$$

$$A_y = \frac{N_y}{f_{yd}} + \frac{V_x^2 \times \gamma_{rd}}{|N_x| \times f_{yd}}$$

- (ii) Si $R_x > 0$ et $R_y < 0$

$$A_x = \frac{N_x}{f_{yd}} + \frac{V_y^2 \times \gamma_{rd}}{|N_y| \times f_{yd}}$$

$$A_y = 0$$

- (iii) Si $R_x < 0$ et $R_y < 0$

$$A_x = 0$$

$$A_y = 0$$

$$\text{Avec } f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1 = 500 \text{ MPa}$$

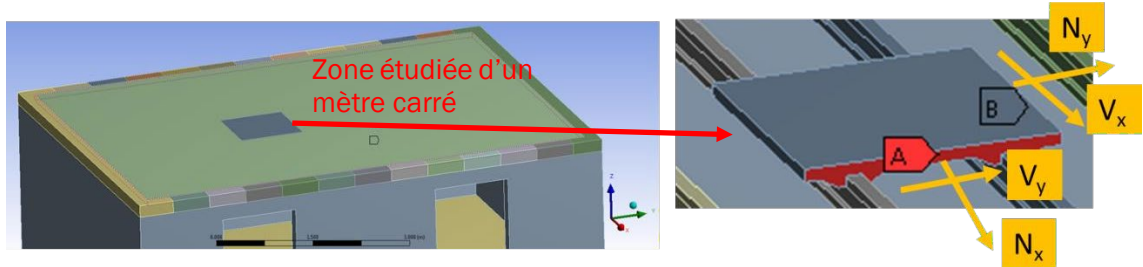


Figure 45: Exemple d'une surface d'un mètre carré, où les efforts sur deux facettes de la table de compression sont extraits.

Préalablement à l'extraction de ces efforts numériques, les contraintes σ_{xx} et σ_{yy} (toujours positives dans le calcul spectral) sont sommées afin de localiser la zone de la table de compression présentant l'intensité de contraintes la plus importante. Cette sommation n'a aucun sens physique si ce n'est le fait que ce critère permet de faire apparaître visuellement les zones les plus sollicitées.

Soit Z_A la zone la plus sollicitée selon le critère de sommation des contraintes σ_{xx} et σ_{yy} . L'analyse de la fonction diaphragme appliquée à la zone Z_A peut donner lieu à des efforts de traction ou de compression. Si c'est un effort de compression, la quantité d'armatures minimale à mettre en place dans la direction considérée sera nulle.

Cependant, une autre zone Z_B , non sélectionnée par le critère de Von Mises (car $(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) Z_B < (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) Z_A$), peut donner lieu à des efforts de traction qu'il faut prendre en compte dans la vérification de la fonction diaphragme. Un calcul numérique complet permettant de couvrir toutes les zones de planchers et par la suite tous les efforts de traction est un calcul lourd et très consommateur de temps.

Pour cela, sécuritairement, l'analyse de la fonction diaphragme est menée en supposant que les efforts à reprendre au droit de la zone Z_A , jugée la plus sollicitée ($\max(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})$), soient des efforts de traction même si ces derniers sont des efforts de compression. Ceci permet de couvrir tous les cas de figures car l'effort calculé au droit de la zone Z_A la plus sollicitée sera l'effort max au cas où il est considéré comme effort de traction.

Ainsi, les efforts à reprendre selon la formule de Wood-Armer simplifiée sont donnés comme suit :

- Dans le sens X : $R_x = |N_x| + |V_y| \times \gamma_{rd} > 0$ (traction) ;
- Dans le sens Y : $R_y = |N_y| + |V_x| \times \gamma_{rd} > 0$ (traction) ;

Avec $\gamma_{rd} = 1.3$ selon §4.4.2.5 (2) NF EN 1998-1.

En observant la combinaison des contraintes ($\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$) au droit des planchers des différents niveaux et suivant les différents types de calculs (séisme suivant l'axe x et séisme suivant l'axe y) les zones les plus sollicitées dans ce cas de bâtiment se trouvent au niveau des liaisons murs - planchers :

- Pour un séisme suivant x : la valeur maximale de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ est obtenue au niveau de la Zone 10 du VS et au niveau de la Zone 17 de la toiture au droit de la liaison mur de façade/table de compression (Figure 46) ;
- Pour un séisme suivant y : la valeur maximale de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ est obtenue au niveau de la Zone 10 du VS et de la Zone 17 de la toiture au droit de la liaison mur de refend/table de compression (Figure 47).

Une vérification de la fonction diaphragme a donc été réalisée sur une section de plancher de 1 m x 1 m au niveau de la liaison mur façade/plancher du VS la plus sollicitée (Figure 46 et tableaux 5 et 6) et au niveau de la liaison mur de refend/toiture la plus sollicitée (Figure 47 et tableaux 7 et 8).

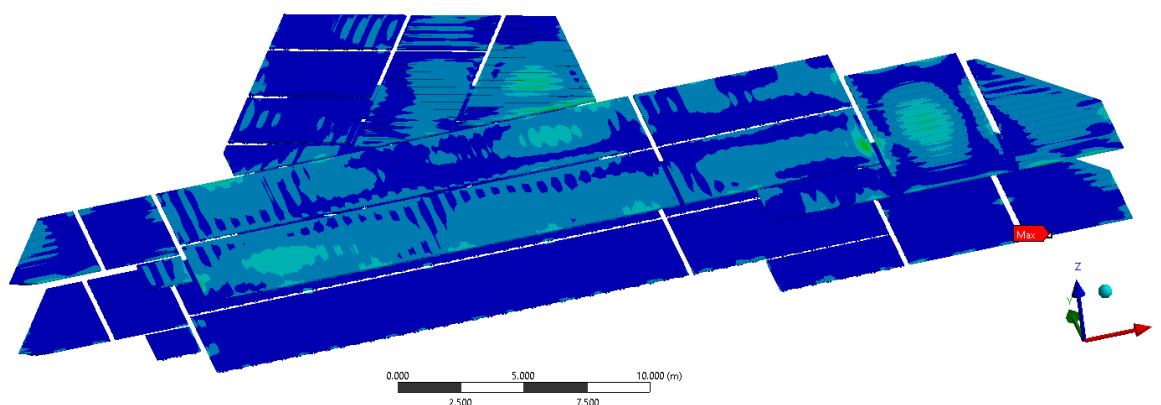
Après avoir identifié les zones de contraintes ($\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$) maximales dans le bâtiment, la vérification de la fonction diaphragme a été également vérifiée sur des sections de plancher courantes de 1m x 1m au niveau des différentes zones notamment les zones présentant des portées importantes, des valeurs de contraintes ($\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$) relativement élevées et une distribution quasi-uniforme de la somme ($\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$). Ces vérifications ont été réalisées au niveau du vide sanitaire et au niveau de la toiture. Les résultats sont présentés dans les tableaux 9 à 32.

La Figure 48 illustre l'emplacement des sections de plancher où la vérification de la fonction diaphragme a été réalisée. L'emplacement de ces sections est le même pour les deux niveaux du bâtiment étudié.

B: Ex-pour le diaphragme
Résultat défini par l'utilisateur
Expression: $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$
Temps: 0
3/21/2023 1:37 PM

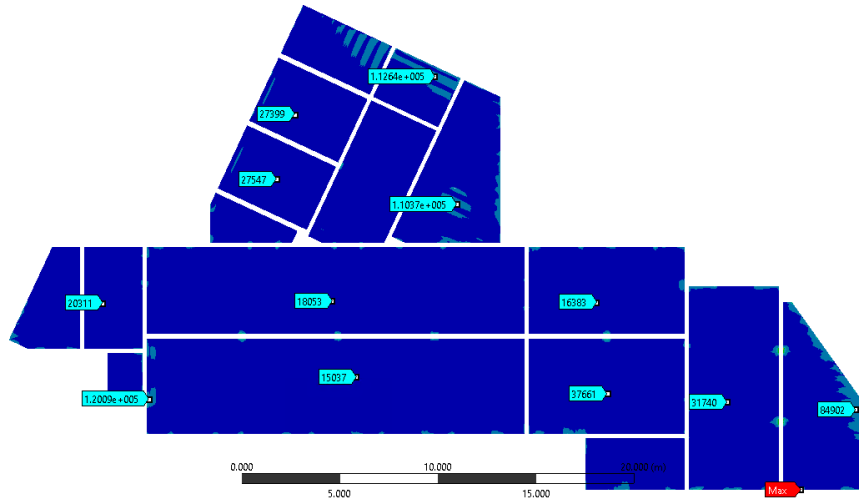
7.778e5 Max
6.9163e5
6.054e5
5.1917e5
4.3294e5
3.4671e5
2.6049e5
1.7425e5
88025
1796.6 Min

(a)



B: Ex-pour le diagramme
Résultat défini par l'utilisateur
Expression: $\sigma_x + \sigma_y$
Temps: 0
3/21/2023 12:01 PM

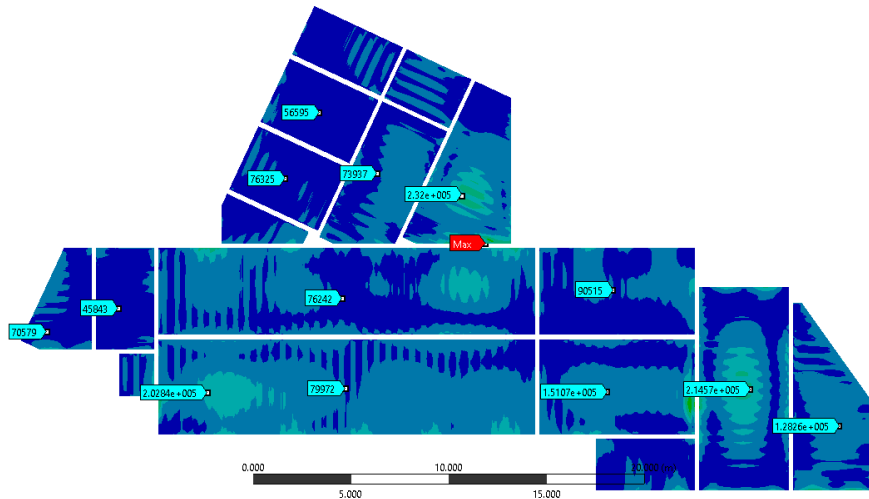
7.7785e5 Max
6.9163e5
6.054e5
5.1917e5
4.3294e5
3.4671e5
2.6049e5
1.7425e5
88025
1796.6 Min



(b)

B: Ex-pour le diagramme
Résultat défini par l'utilisateur
Expression: $\sigma_x + \sigma_y$
Temps: 0
3/21/2023 12:02 PM

7.7785e5 Max
6.9163e5
6.054e5
5.1917e5
4.3294e5
3.4671e5
2.6049e5
1.7425e5
88025
1796.6 Min

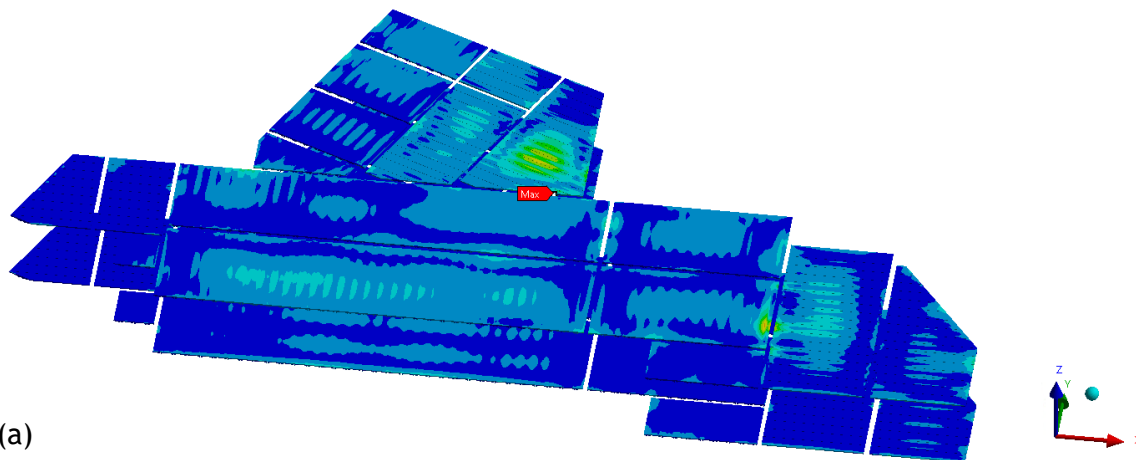


(c)

Figure 46 : Somme de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ pour chaque table de compression sous le séisme de direction X :
(a) Tables de compression de deux Planchers (VS et toiture), (b) Tables de compression du plancher au niveau VS et (c) Tables de compression du plancher au niveau toiture. Valeur maximale de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ obtenue au niveau VS (liaison : table de compression/mur de façade)

C: Ey-pour le diaphragme
Résultat défini par l'utilisateur
Expressions: $\sigma_x + \sigma_y$
Temps: 0
3/22/2023 3:35 PM

7.7337e5 Max
6.8765e5
6.019e5
5.1617e5
4.3043e5
3.447e5
2.5896e5
1.7323e5
87493
1758.9 Min

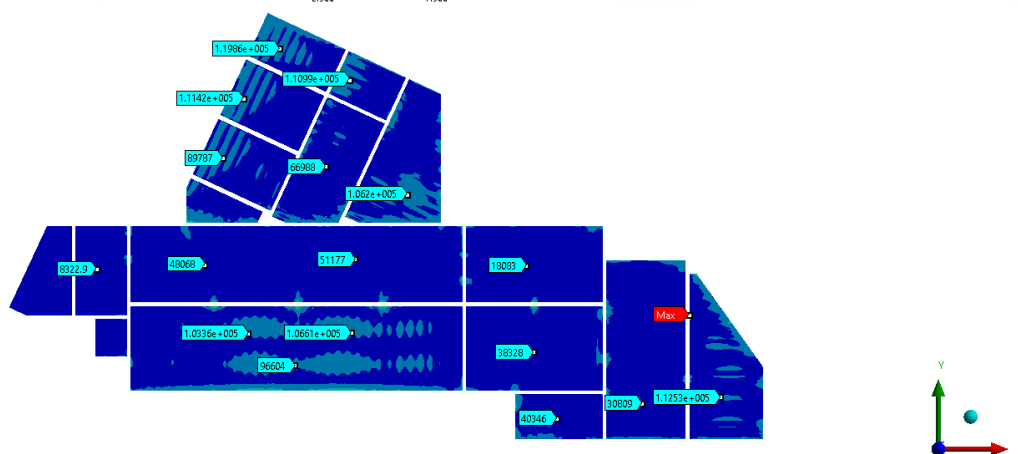


(a)

0.000 5.000 10.000 (m)
2.500 7.500

C: Ey-pour le diaphragme
Résultat défini par l'utilisateur
Expressions: $\sigma_x + \sigma_y$
Temps: 0
3/22/2023 3:31 PM

7.7337e5 Max
6.8765e5
6.019e5
5.1617e5
4.3043e5
3.447e5
2.5896e5
1.7323e5
87493
1758.9 Min

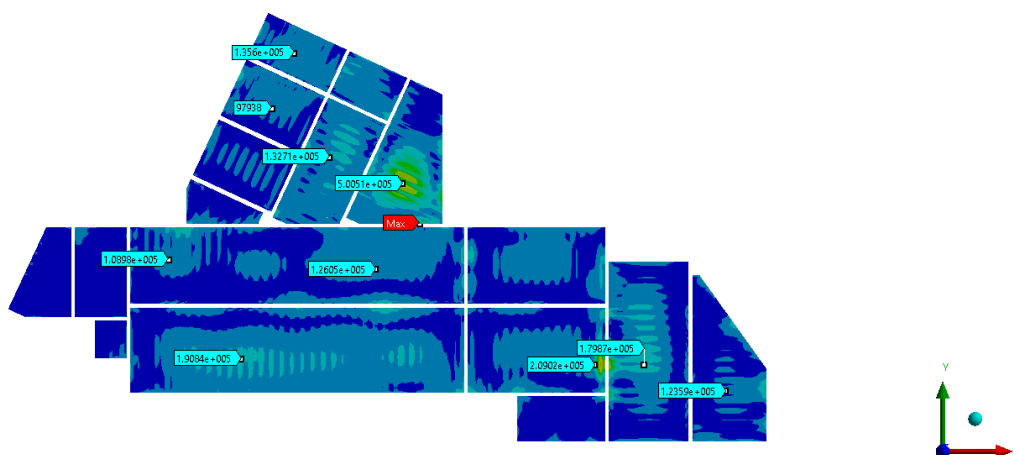


(b)

0.000 10.000 20.000 (m)
5.000 15.000

C: Ey-pour le diaphragme
Résultat défini par l'utilisateur
Expressions: $\sigma_x + \sigma_y$
Temps: 0
3/22/2023 3:33 PM

7.7337e5 Max
6.8765e5
6.019e5
5.1617e5
4.3043e5
3.447e5
2.5896e5
1.7323e5
87493
1758.9 Min



(c)

0.000 10.000 20.000 (m)
5.000 15.000

Figure 47 : Sommation de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ pour chaque table de compression sous le séisme de direction Y : (a) Tables de compression de deux Planchers (VS et toiture), (b) Tables de compression du plancher au niveau VS et (c) Tables de compression du plancher au niveau toiture. Valeur maximale de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ obtenue au niveau toiture (liaison : table de compression/mur de refend)

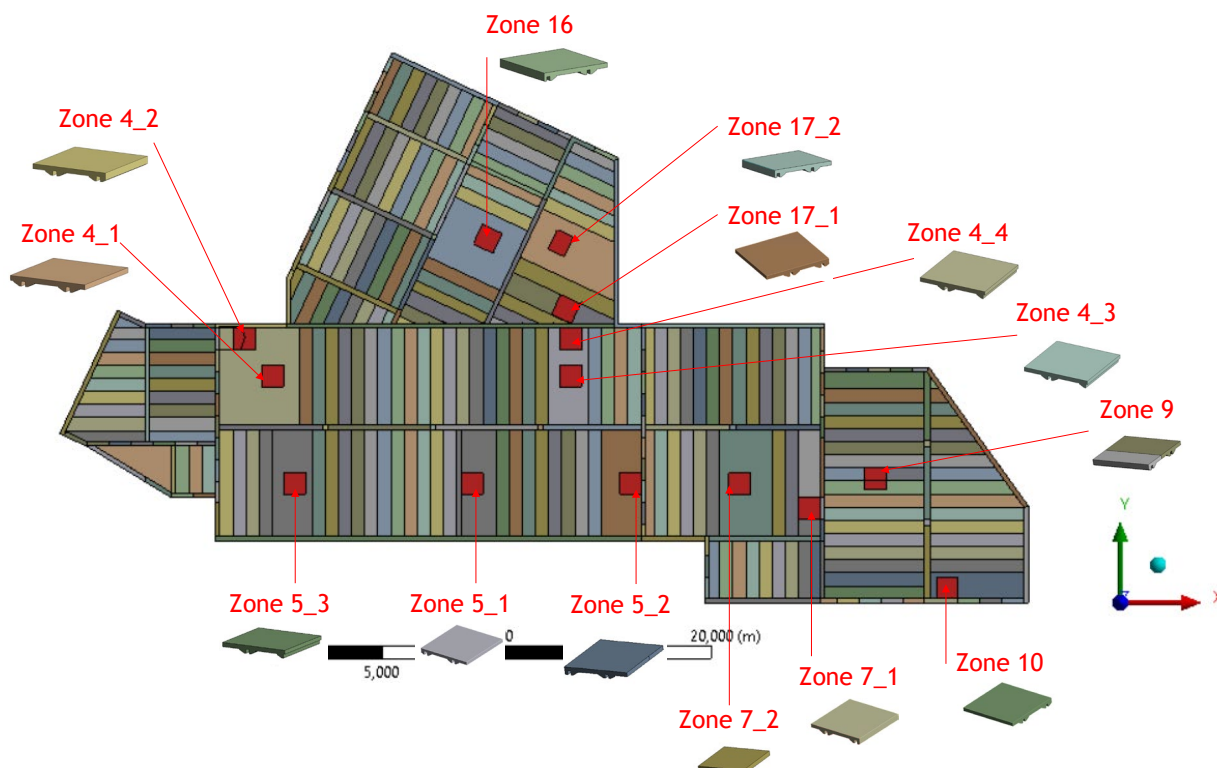


Figure 48 : Emplacement des sections de planchers utilisées pour la vérification de la fonction diaphragme.

Zone 10 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	10930.6	3098.66	8952.899	21534.26	0.30	0.74
Ex	882.6	3311.8	683.9	3874.6	—	—
Ey	930.0	787.1	831.9	814.4	—	—
Ez	955.6	333.9	294.0	806.8	—	—
G+Ψ2Q STAT	6340.0	1653.5	6627.8	12987.5	0.17	0.47
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	7788.3	5301.6	7649.5	17348.4	0.29	0.60
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	7230.3	4829.4	7150.3	16859.8	0.27	0.58
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	7214.9	5101.2	7473.1	16864.3	0.28	0.59
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	6656.9	4629.0	6973.9	16375.7	0.25	0.57
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	6023.2	-1322.0	6281.6	9599.3	0.15	0.38
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	5465.2	-1794.3	5782.5	9110.7	0.16	0.35
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	5449.8	-1522.4	6105.2	9115.2	0.15	0.36
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	4891.8	-1994.6	5606.1	8626.6	0.15	0.34
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	7821.5	3534.2	7753.1	15206.3	0.25	0.55
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	5961.5	1960.1	6089.3	13577.5	0.17	0.47
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	7248.1	3333.9	7576.7	14722.2	0.23	0.53
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	5388.1	1759.8	5912.8	13093.4	0.15	0.46
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	7292.0	1547.2	7342.7	12881.5	0.19	0.48
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	5431.9	-26.9	5678.9	11252.8	0.11	0.41
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	6718.6	1346.8	7166.3	12397.5	0.17	0.47
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	4858.6	-227.3	5502.5	10768.7	0.10	0.39
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	7839.4	3217.1	7376.6	15201.0	0.24	0.54
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	7281.4	2744.8	6877.4	14712.4	0.22	0.52
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	5928.2	2549.2	6788.5	13587.4	0.18	0.49
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	5370.2	2077.0	6289.3	13098.7	0.16	0.47
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	7309.9	1230.0	6966.2	12876.2	0.18	0.47
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	6751.9	757.7	6467.1	12387.6	0.15	0.45
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	5398.7	562.1	6378.1	11262.6	0.12	0.42
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	4840.6	89.9	5879.0	10774.0	0.10	0.40
MAX Combinaisons sismiques					0.29 cm²/ml	0.60 cm²/ml

Tableau 5 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la Zone 10 du plancher située au niveau VS – zone 10 (liaison : table de compression/mur de façade).

Zone 10 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	6386.898	1926.037	11146.85	14205.19	0.18	0.59
Ex	5889.1	2495.7	593.6	2135.4	—	—
Ey	4986.6	1224.9	537.0	1168.6	—	—
Ez	998.8	198.6	301.0	753.6	—	—
G+Ψ2Q STAT	4243.0	1156.2	7708.2	9541.3	0.11	0.40
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	11927.6	4079.0	8553.1	12253.4	0.34	0.49
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	8935.7	3344.1	8230.9	11552.2	0.27	0.46
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	11328.4	3959.9	8372.5	11801.2	0.33	0.47
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	8336.4	3224.9	8050.3	11100.0	0.25	0.45
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	149.5	-912.5	7366.0	7982.6	0.03	0.35
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-2842.4	-1647.4	7043.8	7281.5	0.10	0.33
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-449.8	-1031.6	7185.4	7530.5	0.04	0.34
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-3441.7	-1766.6	6863.2	6829.3	0.11	0.31
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	11295.9	3189.4	8513.6	11576.6	0.31	0.47
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	1322.8	739.6	7439.5	9239.4	0.05	0.39
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	10696.6	3070.3	8333.0	11124.5	0.29	0.46
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	723.5	620.5	7258.9	8787.3	0.03	0.37
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	7762.4	1692.0	8157.4	10295.4	0.20	0.43
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-2210.7	-757.8	7083.3	7958.2	0.06	0.35
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	7163.2	1572.8	7976.8	9843.3	0.18	0.42
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-2810.0	-877.0	6902.8	7506.0	0.08	0.33
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	8504.4	2471.0	8348.3	11286.1	0.23	0.46
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	5512.5	1736.0	8026.1	10585.0	0.16	0.44
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	6506.9	2073.9	7746.4	9778.9	0.18	0.41
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	3514.9	1338.9	7424.1	9077.8	0.11	0.38
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	4971.0	973.5	7992.2	10004.9	0.12	0.42
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	1979.1	238.6	7670.0	9303.7	0.05	0.40
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	2973.4	576.4	7390.2	8497.7	0.07	0.37
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-18.5	-158.5	7068.0	7796.5	0.00	0.34
MAX Combinaisons sismiques					0.34 cm ² /ml	0.49 cm ² /ml

Tableau 6 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 10 du plancher située au niveau toiture – zone 10 (liaison : table de compression/mur de façade).

Zone 17-1 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	1688.726	6936.076	11829.91	-4592.398	0.21	0.36
Ex	1930.2	2777.3	1096.0	2536.1	—	—
Ey	936.3	1536.4	2808.3	2546.5	—	—
Ez	460.8	786.9	814.5	850.5	—	—
G+Ψ2Q STAT	137.7	4740.7	8195.2	-2216.9	0.13	0.22
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	2487.1	8215.1	10378.0	1338.3	0.26	0.24
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	1925.3	7293.2	8693.0	-189.6	0.23	0.18
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	2210.6	7742.9	9889.3	828.0	0.25	0.22
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	1648.8	6821.1	8204.3	-699.9	0.21	0.18
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-1373.4	2660.4	8186.1	-3733.9	0.10	0.26
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-1935.2	1738.5	6501.1	-5261.8	0.08	0.27
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-1649.9	2188.2	7697.4	-4244.3	0.09	0.26
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-2211.7	1266.4	6012.4	-5772.1	0.08	0.27
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	1791.4	7346.4	11576.6	1345.5	0.23	0.27
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	-81.3	4273.6	5960.0	-3747.4	0.11	0.22
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	1514.9	6874.2	11088.0	835.2	0.21	0.24
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	-357.8	3801.5	5471.3	-4257.7	0.11	0.22
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	633.2	5680.0	10919.1	-176.1	0.16	0.22
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-1239.5	2607.2	5302.4	-5269.1	0.09	0.24
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	356.8	5207.8	10430.4	-686.4	0.14	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-1515.9	2135.1	4813.8	-5779.4	0.09	0.25
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	1458.5	6821.8	10180.9	158.4	0.21	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	896.7	5899.9	8495.9	-1369.5	0.17	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	536.9	5247.9	8552.0	-1542.6	0.15	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	-24.9	4326.1	6867.0	-3070.5	0.11	0.22
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	300.3	5155.3	9523.3	-1363.3	0.14	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	-261.5	4233.5	7838.4	-2891.2	0.12	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	-621.2	3581.5	7894.4	-3064.3	0.11	0.24
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-1183.0	2659.7	6209.5	-4592.2	0.09	0.24
MAX Combinaisons sismiques					0.26 cm ² /ml	0.27 cm ² /ml

Tableau 7 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_1 du plancher située au niveau VS – zone 17 (liaison : table de compression/mur de refend).

Zone 17-1 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	-4935.049	2296.961	12365.79	-4212.417	0.16	0.36
Ex	3824.9	3070.4	2605.7	1985.8	—	—
Ey	2006.0	1929.3	4432.9	3104.8	—	—
Ez	1259.0	589.3	1052.0	714.2	—	—
G+Ψ2Q STAT	-4168.9	1684.3	9388.5	-2822.6	0.13	0.26
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	635.5	5510.3	13639.7	308.9	0.16	0.28
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	-568.1	4352.7	10980.0	-1554.0	0.12	0.26
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	-120.0	5156.7	13008.5	-119.7	0.14	0.26
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	-1323.6	3999.1	10348.8	-1982.6	0.13	0.26
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-7014.3	-630.5	8428.3	-3662.7	0.16	0.26
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-8217.9	-1788.1	5768.6	-5525.6	0.21	0.26
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-7769.7	-984.0	7797.1	-4091.2	0.18	0.26
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-8973.3	-2141.7	5137.4	-5954.1	0.24	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	-637.7	4711.6	14918.7	1092.2	0.14	0.33
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	-4649.8	852.9	6053.0	-5117.4	0.12	0.25
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	-1393.1	4358.0	14287.5	663.6	0.14	0.30
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	-5405.2	499.3	5421.8	-5546.0	0.12	0.25
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	-2932.6	2869.3	13355.3	-99.3	0.13	0.27
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-6944.7	-989.3	4489.6	-6308.9	0.16	0.25
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	-3688.1	2515.8	12724.1	-527.8	0.14	0.27
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-7700.1	-1342.9	3858.4	-6737.4	0.19	0.25
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	-1160.6	3773.6	12552.1	-581.2	0.12	0.27
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	-2364.2	2615.9	9892.4	-2444.1	0.12	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	-3678.7	2594.9	10448.1	-2009.7	0.14	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	-4882.3	1437.3	7788.4	-3872.6	0.14	0.26
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	-3455.5	1931.3	10988.7	-1772.7	0.12	0.27
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	-4659.1	773.7	8329.0	-3635.6	0.11	0.26
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	-5973.6	752.7	8884.7	-3201.2	0.14	0.26
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-7177.2	-404.9	6225.0	-5064.0	0.15	0.26
MAX Combinaisons sismiques					0.24 cm ² /ml	0.33 cm ² /ml

Tableau 8 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_1 du plancher située au niveau toiture – zone 17 (liaison : table de compression/mur de refend).

Zone 4-1 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	13872.65	740.659	58572.46	-470.754	0.30	1.18
Ex	792.8	1256.0	329.6	1441.1	—	—
Ey	158.9	1471.2	1953.3	1305.8	—	—
Ez	1477.5	188.4	6080.3	181.7	—	—
G+Ψ2Q STAT	8552.9	178.7	36343.4	-361.1	0.18	0.74
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	9836.6	1932.5	39083.0	1526.2	0.25	0.82
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	9741.3	1049.8	37911.0	742.7	0.22	0.78
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	8950.1	1819.5	35434.8	1417.2	0.23	0.75
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	8854.8	936.8	34262.9	633.7	0.20	0.70
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	8251.1	-579.4	38423.9	-1355.9	0.18	0.80
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	8155.7	-1462.1	37251.9	-2139.4	0.20	0.80
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	7364.5	-692.5	34775.7	-1464.9	0.17	0.73
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	7269.2	-1575.2	33603.7	-2248.4	0.19	0.73
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	9392.9	2083.2	40219.6	1431.6	0.24	0.84
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	9075.1	-859.2	36313.1	-1180.1	0.20	0.76
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	8506.4	1970.1	36571.4	1322.6	0.22	0.77
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	8188.6	-972.3	32664.9	-1289.1	0.19	0.69
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	8917.2	1329.6	40021.9	566.9	0.21	0.82
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	8599.4	-1612.8	36115.3	-2044.7	0.21	0.78
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	8030.7	1216.5	36373.7	457.9	0.19	0.74
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	7712.9	-1725.8	32467.1	-2153.8	0.20	0.71
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	10315.9	1185.2	43108.5	644.7	0.24	0.88
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	10220.6	302.5	41936.6	-138.8	0.21	0.84
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	7360.9	808.4	30947.9	281.3	0.17	0.63
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	7265.5	-74.3	29775.9	-502.2	0.15	0.61
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	9840.3	431.6	42910.8	-219.9	0.21	0.86
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	9745.0	-451.1	41738.8	-1003.4	0.21	0.86
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	6885.2	54.8	30750.2	-583.4	0.14	0.63
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	6789.9	-827.9	29578.2	-1366.9	0.16	0.63
MAX Combinaisons sismiques					0.25 cm ² /ml	0.88 cm ² /ml

Tableau 9 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_1 du plancher située au niveau VS – zone 4.

Zone 4-1 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	10117.91	2746.29	-31287.12	-2451.14	0.27	0.69
Ex	4171.6	2733.3	998.5	2509.9	—	—
Ey	2622.9	3303.1	1328.7	3598.7	—	—
Ez	1222.7	281.5	4410.9	267.3	—	—
G+Ψ2Q STAT	6748.0	2226.8	-20318.1	-1740.2	0.19	0.45
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	12073.2	6035.4	-17597.7	1929.5	0.40	0.40
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	10499.5	4053.6	-18394.9	-229.7	0.32	0.37
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	11339.6	5866.6	-20244.2	1769.2	0.38	0.45
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	9765.9	3884.7	-21041.4	-390.0	0.30	0.43
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	3730.1	568.9	-19594.7	-3090.3	0.09	0.47
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2156.3	-1413.0	-20391.9	-5249.5	0.08	0.54
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	2996.4	400.0	-22241.2	-3250.6	0.07	0.53
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	1422.7	-1581.9	-23038.4	-5409.8	0.07	0.60
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	10989.1	6434.3	-17366.6	2691.7	0.39	0.42
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	5743.4	-171.9	-20023.9	-4505.7	0.12	0.52
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	10255.5	6265.4	-20013.1	2531.3	0.37	0.47
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	5009.8	-340.7	-22670.4	-4666.0	0.11	0.57
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	8486.2	4794.3	-17965.7	1185.7	0.29	0.39
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	3240.4	-1811.8	-20623.0	-6011.6	0.11	0.57
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	7752.6	4625.4	-20612.2	1025.4	0.28	0.44
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	2506.8	-1980.7	-23269.5	-6172.0	0.10	0.63
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	10009.0	4319.2	-15209.0	359.7	0.31	0.31
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	8435.3	2337.3	-16006.2	-1799.5	0.23	0.37
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	7563.6	3756.2	-24030.7	-174.9	0.25	0.49
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	5989.9	1774.4	-24828.0	-2334.1	0.17	0.56
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	7506.1	2679.2	-15808.1	-1146.2	0.22	0.35
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	5932.4	697.3	-16605.4	-3305.4	0.14	0.42
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	5060.6	2116.3	-24629.9	-1680.8	0.16	0.54
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	3486.9	134.4	-25427.1	-3840.0	0.07	0.61
MAX Combinaisons sismiques					0.40 cm²/ml	0.63 cm²/ml

Tableau 10 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_1 du plancher située au niveau toiture – zone 4.

Zone 4-2 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	-3266.913	-18890.29	-55032.13	5521.158	0.56	1.24
Ex	733.6	2661.5	150.2	3021.9	—	—
Ey	468.2	2011.2	528.9	2093.5	—	—
Ez	386.7	1225.5	3651.6	708.4	—	—
G+Ψ2Q STAT	-1475.1	-11251.4	-30891.7	2900.8	0.32	0.69
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	-485.0	-7618.9	-29487.3	6763.3	0.21	0.77
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	-765.9	-8825.6	-29804.7	5507.2	0.24	0.74
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	-717.0	-8354.2	-31678.3	6338.3	0.23	0.80
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	-997.9	-9560.9	-31995.7	5082.2	0.27	0.77
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-1952.2	-12941.9	-29787.7	719.5	0.38	0.61
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-2233.1	-14148.7	-30105.0	-536.6	0.41	0.62
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-2184.2	-13677.2	-31978.6	294.4	0.40	0.65
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-2465.1	-14883.9	-32296.0	-961.7	0.44	0.67
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	-670.8	-8074.1	-29222.2	6113.4	0.22	0.74
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	-1607.2	-12096.5	-30280.1	1926.4	0.35	0.66
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	-902.8	-8809.4	-31413.1	5688.4	0.25	0.78
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	-1839.2	-12831.8	-32471.0	1501.4	0.37	0.69
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	-1111.0	-9671.0	-29312.3	4300.3	0.27	0.70
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-2047.3	-13693.4	-30370.2	113.2	0.40	0.61
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	-1343.0	-10406.3	-31503.2	3875.3	0.30	0.73
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-2279.3	-14428.7	-32561.1	-311.8	0.42	0.66
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	-727.9	-8624.1	-27036.3	5143.8	0.24	0.67
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	-1008.8	-9830.9	-27353.7	3887.7	0.28	0.65
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	-1501.2	-11075.1	-34339.5	3727.1	0.32	0.78
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	-1782.1	-12281.8	-34656.9	2471.0	0.35	0.76
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	-1168.0	-10221.1	-27126.4	3330.7	0.29	0.63
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	-1448.9	-11427.8	-27443.8	2074.6	0.33	0.60
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	-1941.4	-12672.0	-34429.6	1913.9	0.37	0.74
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-2222.3	-13878.7	-34747.0	657.8	0.41	0.71
MAX Combinaisons sismiques					0.44 cm²/ml	0.80 cm²/ml

Tableau 11 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_2 du plancher située au niveau VS – zone 4.

Zone 4-2 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	5105.362	-7693.852	-14429.03	2457.912	0.30	0.35
Ex	7130.5	4132.2	341.2	5089.5	—	—
Ey	6061.3	4032.6	458.7	2809.6	—	—
Ez	648.5	767.2	892.5	446.3	—	—
G+Ψ2Q STAT	4847.7	-4180.2	-5688.1	1502.1	0.21	0.15
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	13991.2	1392.0	-4941.6	7568.3	0.32	0.30
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	10354.5	-1027.5	-5216.8	5882.5	0.23	0.26
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	13602.1	931.7	-5477.1	7300.5	0.30	0.30
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	9965.4	-1487.9	-5752.3	5614.8	0.24	0.26
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-269.9	-6872.4	-5624.0	-2610.6	0.18	0.18
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-3906.6	-9292.0	-5899.2	-4296.4	0.32	0.23
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-659.0	-7332.8	-6159.5	-2878.4	0.20	0.20
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-4295.7	-9752.4	-6434.7	-4564.2	0.34	0.25
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	13242.7	1322.3	-4859.3	5972.4	0.30	0.25
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	1120.2	-6742.9	-5776.7	353.2	0.20	0.12
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	12853.6	861.9	-5394.8	5704.6	0.28	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	731.1	-7203.3	-6312.2	85.4	0.20	0.13
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	8964.4	-1157.1	-5064.1	2918.7	0.21	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-3158.1	-9222.3	-5981.5	-2700.5	0.30	0.19
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	8575.3	-1617.4	-5599.5	2650.9	0.21	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-3547.2	-9682.6	-6516.9	-2968.3	0.32	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	9453.8	-963.5	-4555.7	4318.1	0.21	0.20
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	5817.1	-3383.0	-4830.9	2632.4	0.20	0.17
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	8156.8	-2498.0	-6340.6	3425.5	0.23	0.22
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	4520.0	-4917.5	-6615.9	1739.7	0.22	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	5175.5	-3442.8	-4760.4	1264.4	0.19	0.13
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	1538.7	-5862.4	-5035.6	-421.3	0.18	0.11
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	3878.4	-4977.3	-6545.4	371.8	0.21	0.14
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	241.7	-7396.9	-6820.6	-1314.0	0.20	0.17
MAX Combinaisons sismiques					0.34 cm²/ml	0.30 cm²/ml

Tableau 12 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_2 du plancher située au niveau toiture – zone 4.

Zone 4-3 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	8561.709	1151.013	58146.78	2553.615	0.20	1.23
Ex	139.7	644.0	348.0	1865.7	—	—
Ey	136.7	992.8	1644.6	2265.3	—	—
Ez	1303.9	124.6	6526.6	331.5	—	—
G+Ψ2Q STAT	5075.5	1110.2	35829.0	2164.3	0.13	0.77
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	5647.4	2089.4	38628.3	4809.1	0.17	0.90
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	5565.4	1493.7	37641.5	3449.9	0.15	0.84
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	4865.1	2014.6	34712.3	4610.1	0.15	0.81
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	4783.1	1419.0	33725.6	3251.0	0.13	0.76
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	5367.9	801.4	37932.3	1077.6	0.13	0.79
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	5285.9	205.7	36945.6	-281.6	0.11	0.75
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	4585.6	726.6	34016.4	878.7	0.11	0.70
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	4503.6	130.9	33029.7	-480.5	0.09	0.67
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	5645.2	2333.5	39535.9	5088.7	0.17	0.92
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	5371.9	348.0	36246.8	558.2	0.12	0.74
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	4862.9	2258.8	35619.9	4889.8	0.16	0.84
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	4589.6	273.2	32330.8	359.3	0.10	0.66
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	5561.4	1947.1	39327.1	3969.3	0.16	0.89
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	5288.1	-38.4	36038.0	-561.3	0.11	0.74
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	4779.1	1872.4	35411.1	3770.4	0.14	0.81
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	4505.8	-113.2	32122.0	-760.2	0.09	0.66
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	6462.3	1725.8	42953.3	3735.1	0.17	0.96
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	6380.3	1130.2	41966.6	2376.0	0.16	0.90
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	3854.5	1476.6	29900.1	3072.0	0.12	0.68
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	3772.6	880.9	28913.4	1712.9	0.10	0.62
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	6378.4	1339.4	42744.5	2615.7	0.16	0.92
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	6296.4	743.8	41757.8	1256.5	0.15	0.87
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	3770.7	1090.2	29691.3	1952.6	0.10	0.64
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	3688.7	494.5	28704.6	593.4	0.09	0.59
MAX Combinaisons sismiques					0.17 cm²/ml	0.96 cm²/ml

Tableau 13 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_3 du plancher située au niveau VS – zone 4.

Zone 4-3 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	-6313.69	-549.975	36586.13	1457.863	0.14	0.77
Ex	2304.8	1385.3	3292.0	1602.9	—	—
Ey	1201.5	3817.2	3087.8	3750.5	—	—
Ez	1237.9	420.5	6110.5	572.7	—	—
G+Ψ2Q STAT	-3801.0	-888.1	23830.5	1294.1	0.10	0.51
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	-764.4	1768.5	29881.9	4194.0	0.06	0.71
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	-1485.2	-521.8	28029.3	1943.7	0.04	0.61
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	-1507.1	1516.2	26215.7	3850.4	0.07	0.62
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	-2228.0	-774.1	24363.0	1600.1	0.06	0.53
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-5374.0	-1002.0	23298.0	988.2	0.13	0.49
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-6094.9	-3292.3	21445.3	-1262.1	0.21	0.46
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-6116.8	-1254.3	19631.7	644.6	0.15	0.41
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-6837.6	-3544.6	17779.0	-1605.7	0.23	0.40
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	-1536.7	3470.9	29739.0	5697.3	0.12	0.74
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	-3939.6	-4163.5	23563.4	-1803.6	0.19	0.52
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	-2279.5	3218.5	26072.7	5353.7	0.13	0.66
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	-4682.4	-4415.8	19897.2	-2147.2	0.21	0.45
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	-2919.6	2639.7	27763.8	4735.5	0.13	0.68
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-5322.5	-4994.7	21588.3	-2765.4	0.24	0.50
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	-3662.4	2387.4	24097.5	4391.9	0.14	0.60
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-6065.3	-5247.0	17922.0	-3109.0	0.26	0.44
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	-1511.2	1093.2	31854.9	3472.8	0.06	0.73
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	-2232.1	-1197.1	30002.2	1222.5	0.08	0.63
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	-3987.0	252.1	19633.9	2327.5	0.09	0.45
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	-4707.9	-2038.2	17781.3	77.2	0.15	0.36
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	-2894.1	262.0	29879.7	2511.1	0.06	0.66
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	-3615.0	-2028.3	28027.0	260.8	0.13	0.57
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	-5369.9	-579.0	17658.7	1365.8	0.12	0.39
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-6090.8	-2869.3	15806.1	-884.5	0.20	0.34
MAX Combinaisons sismiques					0.26 cm²/ml	0.74 cm²/ml

Tableau 14 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_3 du plancher située au niveau toiture – zone 4.

Zone 4-4 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	-10240.87	-869.592	-79075.8094	-461.141	0.23	1.59
Ex	453.0	1191.5	587.0	2694.5	—	—
Ey	157.4	1150.3	622.7	2202.0	—	—
Ez	856.7	1248.7	9567.6	499.6	—	—
G+Ψ2Q STAT	-5868.5	-365.2	-45645.2	81.9	0.13	0.92
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	-5111.2	1546.0	-42001.1	3586.9	0.14	0.93
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	-5205.7	855.8	-42374.7	2265.6	0.13	0.91
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	-5625.3	796.8	-47741.7	3287.1	0.13	1.04
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	-5719.7	106.6	-48115.3	1965.9	0.12	1.01
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-6017.3	-837.0	-43175.1	-1802.2	0.14	0.91
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-6111.7	-1527.1	-43548.7	-3123.4	0.16	0.95
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-6531.3	-1586.2	-48915.6	-2101.9	0.17	1.03
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-6625.7	-2276.3	-49289.3	-3423.1	0.19	1.07
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	-5318.2	1517.2	-41976.1	3242.1	0.15	0.92
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	-5633.0	-783.4	-43221.6	-1161.9	0.13	0.89
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	-5832.2	768.0	-47716.6	2942.4	0.14	1.03
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	-6147.0	-1532.6	-48962.1	-1461.7	0.16	1.02
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	-5590.0	802.3	-42328.3	1625.4	0.13	0.89
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-5904.8	-1498.3	-43573.7	-2778.6	0.16	0.94
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	-6104.0	53.1	-48068.8	1325.7	0.12	1.00
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-6418.8	-2247.5	-49314.3	-3078.4	0.19	1.07
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	-4828.6	1586.0	-35714.7	2050.4	0.14	0.77
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	-4923.1	895.9	-36088.3	729.2	0.12	0.74
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	-6542.1	-911.3	-54849.8	1051.2	0.15	1.12
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	-6636.5	-1601.5	-55223.5	-270.0	0.17	1.11
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	-5100.4	871.2	-36066.9	433.7	0.12	0.73
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	-5194.9	181.0	-36440.5	-887.5	0.11	0.75
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	-6813.9	-1626.2	-55202.0	-565.5	0.18	1.12
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-6908.4	-2316.4	-55575.7	-1886.7	0.20	1.16
MAX Combinaisons sismiques					0.20 cm²/ml	1.16 cm²/ml

Tableau 15 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_4 du plancher située au niveau VS – zone 4.

Zone 4-4 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	7669.918	1946.184	-38466.94	1344.572	0.20	0.80
Ex	3488.9	2050.0	2752.8	2115.5	—	—
Ey	1058.5	3908.9	3154.0	3708.2	—	—
Ez	920.4	397.9	4813.7	353.5	—	—
G+Ψ2Q STAT	5358.4	694.7	-23102.4	1133.8	0.13	0.49
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	9441.0	4036.7	-17959.3	4467.8	0.29	0.48
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	8805.8	1691.4	-19851.7	2242.8	0.22	0.46
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	8888.7	3798.0	-20847.5	4255.7	0.28	0.53
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	8253.6	1452.6	-22739.9	2030.7	0.20	0.51
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	2463.2	-63.2	-23464.9	236.8	0.05	0.48
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	1828.1	-2408.6	-25357.3	-1988.1	0.10	0.56
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	1911.0	-302.0	-26353.2	24.7	0.05	0.53
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	1275.8	-2647.3	-28245.6	-2200.2	0.09	0.62
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	7739.7	5338.0	-17678.5	5582.7	0.29	0.50
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	5622.6	-2479.9	-23986.5	-1833.8	0.18	0.53
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	7187.5	5099.3	-20566.7	5370.6	0.28	0.55
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	5070.4	-2718.6	-26874.7	-2045.9	0.17	0.59
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	5646.4	4108.0	-19330.2	4313.4	0.22	0.50
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	3529.3	-3709.9	-25638.2	-3103.1	0.17	0.59
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	5094.2	3869.3	-22218.4	4101.3	0.20	0.55
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	2977.1	-3948.6	-28526.4	-3315.2	0.16	0.66
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	7643.0	2880.3	-16516.7	3234.4	0.23	0.41
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	7007.9	534.9	-18409.1	1009.4	0.15	0.39
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	5802.2	2084.5	-26144.1	2527.4	0.17	0.59
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	5167.1	-260.9	-28036.5	302.4	0.11	0.57
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	5549.7	1650.3	-18168.4	1965.1	0.15	0.41
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	4914.6	-695.0	-20060.8	-259.9	0.12	0.41
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	3708.9	854.5	-27795.8	1258.1	0.10	0.59
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	3073.8	-1490.9	-29688.2	-966.8	0.10	0.62
MAX Combinaisons sismiques					0.29 cm²/ml	0.66 cm²/ml

Tableau 16 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_4 du plancher située au niveau toiture – zone 4.

Zone 5-1 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	19809.34	554.879	75349.57	233.769	0.41	1.51
Ex	260.7	1794.1	177.6	1332.0	—	—
Ey	181.7	597.1	1109.4	419.8	—	—
Ez	1580.4	146.3	6524.1	107.7	—	—
G+Ψ2Q STAT	12028.4	578.9	46108.9	272.8	0.26	0.93
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	12817.7	2596.0	48576.5	1763.1	0.32	1.02
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	12708.7	2237.8	47910.9	1511.2	0.31	1.00
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	11869.4	2508.2	44662.1	1698.5	0.30	0.94
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	11760.4	2150.0	43996.4	1446.6	0.29	0.92
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	12296.3	-992.1	48221.4	-900.9	0.27	0.99
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	12187.3	-1350.3	47555.8	-1152.8	0.28	0.98
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	11348.1	-1079.9	44306.9	-965.5	0.26	0.91
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	11239.1	-1438.1	43641.3	-1217.4	0.26	0.90
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	12762.4	1758.2	49228.8	1124.6	0.30	1.01
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	12399.0	564.0	47010.0	284.9	0.26	0.95
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	11814.1	1670.3	45314.3	1059.9	0.28	0.93
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	11450.7	476.2	43095.6	220.3	0.24	0.87
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	12606.0	681.7	49122.2	325.4	0.27	0.99
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	12242.6	-512.5	46903.5	-514.3	0.26	0.95
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	11657.7	593.9	45207.8	260.7	0.25	0.91
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	11294.3	-600.3	42989.1	-578.9	0.24	0.87
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	13741.5	1442.6	53019.1	906.1	0.31	1.08
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	13632.5	1084.4	52353.4	654.2	0.30	1.06
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	10580.6	1150.0	39970.9	690.7	0.24	0.82
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	10471.6	791.7	39305.3	438.8	0.23	0.80
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	13585.1	366.2	52912.5	106.9	0.28	1.06
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	13476.1	7.9	52246.9	-145.0	0.27	1.05
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	10424.2	73.5	39864.4	-108.5	0.21	0.80
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	10315.2	-284.7	39198.7	-360.4	0.21	0.79
MAX Combinaisons sismiques					0.32 cm²/ml	1.08 cm²/ml

Tableau 17 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_1 du plancher située au niveau VS – zone 5.

Zone 5-1 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	13602.17	399.92	50216.37	300.499	0.28	1.01
Ex	4626.5	1444.2	1324.7	1223.0	—	—
Ey	2958.5	1692.6	2752.1	1656.2	—	—
Ez	1135.5	105.0	4989.2	143.6	—	—
G+Ψ2Q STAT	8190.0	135.1	33458.2	187.4	0.17	0.67
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	14044.7	2118.6	37105.3	1950.4	0.34	0.79
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	12269.6	1103.0	35454.0	956.7	0.27	0.73
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	13363.4	2055.6	34111.8	1864.2	0.32	0.73
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	11588.3	1040.0	32460.5	870.5	0.26	0.67
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	4791.7	-769.8	34455.8	-495.6	0.12	0.70
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	3016.6	-1785.3	32804.6	-1489.3	0.11	0.69
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	4110.4	-832.8	31462.3	-581.8	0.10	0.64
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	2335.4	-1848.3	29811.1	-1575.5	0.09	0.64
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	12877.1	2292.5	38104.4	2253.6	0.32	0.82
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	6960.1	-1092.8	32600.3	-1058.8	0.17	0.68
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	12195.8	2229.5	35110.9	2167.5	0.30	0.76
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	6278.9	-1155.8	29606.8	-1144.9	0.16	0.62
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	10101.2	1426.0	37309.5	1519.8	0.24	0.79
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	4184.2	-1959.3	31805.4	-1792.6	0.13	0.68
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	9419.9	1363.0	34316.0	1433.7	0.22	0.72
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	3503.0	-2022.2	28811.9	-1878.7	0.12	0.63
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	11601.0	1181.1	39670.4	1194.8	0.26	0.82
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	9825.9	165.6	38019.1	201.1	0.20	0.77
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	9330.0	971.2	29692.0	907.6	0.21	0.62
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	7555.0	-44.4	28040.8	-86.1	0.15	0.56
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	8825.1	314.6	38875.5	461.0	0.18	0.79
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	7050.0	-700.9	37224.3	-532.7	0.16	0.76
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	6554.1	104.7	28897.2	173.8	0.13	0.58
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	4779.1	-910.9	27246.0	-819.9	0.12	0.57
MAX Combinaisons sismiques					0.34 cm²/ml	0.82 cm²/ml

Tableau 18 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_1 du plancher située au niveau toiture – zone 5.

Zone 5-2 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	17542.28	7122.316	16967.46	1951.355	0.54	0.39
Ex	795.1	1876.5	233.4	1392.2	—	—
Ey	381.0	3828.3	535.5	3335.2	—	—
Ez	1125.6	464.5	996.0	315.6	—	—
G+Ψ2Q STAT	10335.3	4791.8	10179.8	1550.3	0.33	0.24
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	11582.4	7956.0	10872.6	4037.8	0.44	0.32
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	11353.7	5659.1	10551.3	2036.7	0.37	0.26
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	10907.0	7677.4	10275.0	3848.5	0.42	0.31
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	10678.4	5380.4	9953.7	1847.3	0.35	0.25
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	9992.2	4203.1	10405.9	1253.3	0.31	0.24
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	9763.6	1906.2	10084.6	-747.8	0.24	0.22
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	9316.9	3924.4	9808.3	1064.0	0.29	0.22
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	9088.2	1627.5	9487.0	-937.1	0.22	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	11292.5	9322.3	11084.1	5397.9	0.47	0.36
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	10530.4	1665.8	10013.1	-1272.6	0.25	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	10617.2	9043.6	10486.5	5208.5	0.45	0.35
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	9855.1	1387.1	9415.5	-1461.9	0.23	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	10815.5	8196.4	10944.1	4562.5	0.43	0.34
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	10053.4	539.9	9873.1	-2107.9	0.22	0.25
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	10140.1	7917.7	10346.5	4373.2	0.41	0.32
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	9378.1	261.2	9275.5	-2297.2	0.19	0.25
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	11813.7	6967.7	11406.5	3284.1	0.42	0.31
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	11585.1	4670.7	11085.2	1283.0	0.35	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	9562.6	6038.7	9414.4	2653.0	0.35	0.26
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	9333.9	3741.7	9093.1	651.9	0.28	0.20
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	11336.7	5841.8	11266.5	2448.8	0.38	0.29
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	11108.0	3544.8	10945.2	447.6	0.31	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	9085.5	4912.8	9274.4	1817.7	0.31	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	8856.9	2615.9	8953.1	-183.5	0.25	0.18
MAX Combinaisons sismiques					0.47 cm²/ml	0.36 cm²/ml

Tableau 19 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_2 du plancher située au niveau VS – zone 5.

Zone 5-2 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	9283.252	577.161	6817.219	-3412.132	0.20	0.23
Ex	3545.5	2609.1	693.2	2268.9	—	—
Ey	2130.9	4962.4	1173.0	4226.9	—	—
Ez	693.7	331.4	608.9	314.4	—	—
G+Ψ2Q STAT	6606.8	560.7	3482.0	-2356.6	0.15	0.13
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	10999.7	4758.0	4709.8	1274.7	0.34	0.13
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	9721.2	1780.5	4006.0	-1261.5	0.24	0.11
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	10583.4	4559.1	4344.5	1086.0	0.33	0.12
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	9304.9	1581.7	3640.7	-1450.1	0.23	0.11
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	3908.7	-460.3	3323.4	-3263.2	0.09	0.15
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2630.2	-3437.7	2619.5	-5799.3	0.14	0.20
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	3492.5	-659.1	2958.0	-3451.8	0.09	0.15
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	2214.0	-3636.6	2254.2	-5987.9	0.14	0.20
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	10009.4	6405.3	5045.7	2645.2	0.37	0.17
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	5747.7	-3519.6	2699.6	-5808.5	0.21	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	9593.2	6206.4	4680.4	2456.6	0.35	0.16
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	5331.5	-3718.4	2334.3	-5997.2	0.20	0.20
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	7882.2	4839.8	4629.7	1283.9	0.28	0.13
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	3620.5	-5085.0	2283.7	-7169.9	0.20	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	7465.9	4641.0	4264.4	1095.2	0.27	0.11
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	3204.2	-5283.9	1918.4	-7358.5	0.20	0.23
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	9003.5	3163.6	4650.8	-93.5	0.26	0.10
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	7725.0	186.2	3947.0	-2629.6	0.16	0.15
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	7616.0	2500.7	3433.0	-722.3	0.22	0.09
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	6337.5	-476.7	2729.2	-3258.4	0.14	0.14
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	6876.2	1598.1	4234.8	-1454.9	0.18	0.12
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	5597.7	-1379.3	3531.0	-3991.0	0.15	0.17
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	5488.7	935.2	3017.1	-2083.6	0.13	0.11
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	4210.2	-2042.2	2313.3	-4619.8	0.14	0.17
MAX Combinaisons sismiques					0.37 cm²/ml	0.23 cm²/ml

Tableau 20 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_2 du plancher située au niveau toiture – zone 5.

Zone 5-3 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	11107.99	921.574	76611.95	-3906.81	0.25	1.63
Ex	715.3	499.9	363.0	914.9	—	—
Ey	194.0	544.6	1120.7	1726.3	—	—
Ez	977.0	234.5	6045.1	307.6	—	—
G+Ψ2Q STAT	6791.6	635.8	46688.8	-2578.4	0.15	1.00
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	7858.2	1369.4	49201.5	-1053.4	0.19	1.01
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	7741.9	1042.7	48529.1	-2089.1	0.18	1.02
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	7272.0	1228.7	45574.5	-1238.0	0.18	0.94
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	7155.6	901.9	44902.1	-2273.7	0.17	0.96
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	6427.6	369.7	48475.5	-2883.1	0.14	1.04
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	6311.2	42.9	47803.1	-3918.8	0.13	1.06
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	5841.4	229.0	44848.5	-3067.7	0.12	0.98
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	5725.0	-97.8	44176.1	-4103.4	0.12	0.99
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	7493.3	1400.7	49731.9	-485.4	0.19	1.01
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	7105.4	311.5	47490.5	-3937.9	0.15	1.05
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	6907.1	1260.0	46104.9	-670.0	0.17	0.94
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	6519.1	170.8	43863.5	-4122.5	0.13	0.98
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	7064.1	1100.8	49514.1	-1034.3	0.17	1.02
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	6676.2	11.6	47272.7	-4486.8	0.13	1.06
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	6477.9	960.1	45887.1	-1218.9	0.15	0.95
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	6090.0	-129.1	43645.7	-4671.4	0.13	0.99
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	8041.4	1183.7	53179.0	-1478.4	0.19	1.10
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	7925.0	856.9	52506.6	-2514.2	0.18	1.12
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	6087.4	714.6	41088.8	-2093.7	0.14	0.88
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	5971.0	387.9	40416.4	-3129.5	0.13	0.89
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	7612.2	883.7	52961.2	-2027.3	0.18	1.11
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	7495.9	557.0	52288.8	-3063.1	0.16	1.13
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	5658.2	414.7	40871.0	-2642.6	0.12	0.89
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	5541.8	87.9	40198.6	-3678.4	0.11	0.90
MAX Combinaisons sismiques					0.19 cm²/ml	1.13 cm²/ml

Tableau 21 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_3 du plancher située au niveau VS – zone 5.

Zone 5-3 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	-11471.36	1332.835	49699.29	405.471	0.26	1.00
Ex	4767.8	1659.5	1611.8	1304.7	—	—
Ey	3492.0	2629.0	1535.3	2197.8	—	—
Ez	748.9	222.9	3920.1	164.9	—	—
G+Ψ2Q STAT	-6951.9	818.6	33145.3	656.5	0.16	0.68
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	-911.8	3333.7	36393.8	2670.0	0.10	0.80
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	-3007.0	1756.3	35472.6	1351.3	0.11	0.74
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	-1361.1	3199.9	34041.7	2571.0	0.11	0.75
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	-3456.4	1622.5	33120.5	1252.4	0.11	0.69
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-10447.4	14.6	33170.1	60.6	0.21	0.66
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-12542.6	-1562.8	32248.9	-1258.1	0.29	0.68
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-10896.7	-119.1	30818.1	-38.3	0.22	0.62
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-12992.0	-1696.5	29896.9	-1357.0	0.30	0.63
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	-1804.9	4012.3	36340.2	3295.1	0.14	0.81
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	-8788.9	-1245.7	33269.6	-1100.4	0.21	0.69
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	-2254.2	3878.6	33988.1	3196.2	0.15	0.76
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	-9238.2	-1379.4	30917.5	-1199.3	0.22	0.65
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	-4665.5	3016.6	35373.1	2512.3	0.17	0.77
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-11649.6	-2241.4	32302.5	-1883.2	0.29	0.70
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	-5114.9	2882.9	33021.0	2413.4	0.18	0.72
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-12098.9	-2375.2	29950.5	-1982.1	0.30	0.65
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	-3725.1	2328.0	38009.5	1872.1	0.14	0.81
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	-5820.3	750.6	37088.3	553.4	0.14	0.76
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	-5222.8	1882.3	30169.4	1542.3	0.15	0.64
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	-7318.0	304.9	29248.2	223.7	0.15	0.59
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	-6585.7	1332.3	37042.4	1089.3	0.17	0.77
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	-8681.0	-245.1	36121.2	-229.4	0.18	0.73
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	-8083.5	886.6	29202.3	759.5	0.18	0.60
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-10178.7	-690.9	28281.1	-559.1	0.22	0.58
MAX Combinaisons sismiques					0.30 cm²/ml	0.81 cm²/ml

Tableau 22 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_3 du plancher située au niveau toiture – zone 5.

Zone 7-1 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	9466.709	-12441.53	10311.38	4538.574	0.51	0.32
Ex	1076.5	1633.5	165.6	1593.3	—	—
Ey	991.0	2257.9	756.1	1287.3	—	—
Ez	786.0	766.6	635.0	478.1	—	—
G+Ψ2Q STAT	6712.6	-9335.4	8588.5	3168.7	0.38	0.25
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	8322.2	-6794.6	9171.4	5291.6	0.34	0.32
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	7727.6	-8149.3	8717.8	4519.3	0.37	0.29
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	7850.6	-7254.5	8790.4	5004.8	0.35	0.31
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	7256.0	-8609.3	8336.8	4232.4	0.37	0.28
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	6169.2	-10061.6	8840.3	2105.0	0.38	0.23
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	5574.6	-11416.3	8386.6	1332.6	0.41	0.20
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	5697.6	-10521.5	8459.2	1818.1	0.39	0.22
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	5103.0	-11876.3	8005.6	1045.7	0.41	0.19
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	8262.4	-6357.5	9584.8	5077.4	0.33	0.32
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	6280.3	-10873.3	8072.6	2502.8	0.41	0.23
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	7790.8	-6817.5	9203.8	4790.6	0.33	0.31
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	5808.7	-11333.3	7691.6	2216.0	0.41	0.21
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	7616.5	-7337.6	9485.4	4121.4	0.34	0.30
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	5634.4	-11853.4	7973.2	1546.8	0.42	0.20
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	7144.8	-7797.6	9104.4	3834.5	0.35	0.28
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	5162.8	-12313.4	7592.2	1260.0	0.42	0.18
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	8118.9	-7401.4	9500.0	4511.0	0.35	0.31
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	7524.3	-8756.1	9046.4	3738.6	0.38	0.28
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	6546.8	-8934.6	8230.0	3554.8	0.36	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	5952.2	-10289.4	7776.3	2782.4	0.39	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	7473.0	-8381.5	9400.7	3555.0	0.37	0.28
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	6878.4	-9736.2	8947.0	2782.6	0.39	0.25
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	5900.9	-9914.7	8130.6	2598.8	0.38	0.23
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	5306.3	-11269.5	7677.0	1826.4	0.40	0.20
MAX Combinaisons sismiques					0.42 cm²/ml	0.32 cm²/ml

Tableau 23 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_1 du plancher située au niveau VS – zone 7.

Zone 7-1 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	7362.411	-9114.001	-3791.373	-5318.809	0.38	0.21
Ex	2215.4	2662.6	5381.5	1104.4	—	—
Ey	3311.1	2407.6	8218.2	515.2	—	—
Ez	864.7	1033.4	711.5	645.4	—	—
G+Ψ2Q STAT	5980.7	-7749.1	-1865.3	-4636.8	0.32	0.16
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	9448.9	-4054.2	6195.1	-3184.2	0.29	0.21
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	7462.2	-5498.8	1264.2	-3493.3	0.29	0.12
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	8930.0	-4674.2	5768.3	-3571.4	0.30	0.21
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	6943.4	-6118.8	837.3	-3880.5	0.30	0.12
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	5018.1	-9379.4	-4567.8	-5393.0	0.34	0.23
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	3031.5	-10823.9	-9498.8	-5702.1	0.34	0.34
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	4499.3	-9999.4	-4994.7	-5780.2	0.35	0.25
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	2512.6	-11444.0	-9925.7	-6089.3	0.35	0.36
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	10215.9	-4232.7	8180.9	-3596.6	0.31	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	3593.7	-9047.9	-8255.6	-4627.0	0.31	0.29
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	9697.0	-4852.7	7754.0	-3983.8	0.32	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	3074.9	-9667.9	-8682.5	-5014.3	0.31	0.30
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	8886.6	-5830.2	4952.0	-4259.2	0.33	0.21
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	2264.5	-10645.5	-11484.5	-5289.7	0.32	0.37
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	8367.8	-6450.3	4525.1	-4646.5	0.34	0.21
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	1745.6	-11265.5	-11911.4	-5676.9	0.33	0.39
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	8503.4	-5194.6	2926.1	-3505.5	0.31	0.15
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	6516.8	-6639.2	-2004.8	-3814.6	0.30	0.14
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	6774.0	-7261.5	1503.2	-4796.3	0.32	0.15
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	4787.3	-8706.0	-3427.8	-5105.4	0.32	0.20
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	7174.2	-6792.2	-302.8	-4168.1	0.32	0.11
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	5187.5	-8236.7	-5233.7	-4477.2	0.32	0.22
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	5444.7	-8859.0	-1725.7	-5458.9	0.34	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	3458.1	-10303.6	-6656.7	-5768.1	0.34	0.28
MAX Combinaisons sismiques					0.35 cm²/ml	0.39 cm²/ml

Tableau 24 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_1 du plancher située au niveau toiture – zone 7.

Zone 7-2 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	-14344.61	-1699.804	-75726.1485	-3971.988	0.33	1.62
Ex	864.1	1072.7	460.8	1266.2	—	—
Ey	208.6	950.5	903.9	830.0	—	—
Ez	906.5	320.2	7127.8	285.2	—	—
G+Ψ2Q STAT	-8670.2	-1386.6	-46043.0	-3100.7	0.21	1.00
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	-7471.6	67.2	-43172.7	-1499.9	0.15	0.90
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	-7596.8	-503.0	-43715.0	-1997.9	0.17	0.93
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	-8015.5	-124.9	-47449.4	-1671.0	0.16	0.99
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	-8140.6	-695.2	-47991.7	-2169.0	0.18	1.02
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	-9199.7	-2078.1	-44094.2	-4032.3	0.24	0.99
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	-9324.9	-2648.4	-44636.6	-4530.3	0.26	1.01
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	-9743.6	-2270.2	-48370.9	-4203.4	0.25	1.08
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	-9868.8	-2840.5	-48913.3	-4701.4	0.27	1.10
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	-7930.4	-18.3	-42862.5	-1805.3	0.16	0.90
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	-8347.7	-1919.2	-44670.3	-3465.2	0.22	0.98
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	-8474.3	-210.5	-47139.2	-1976.4	0.17	0.99
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	-8891.5	-2111.4	-48947.0	-3636.3	0.23	1.07
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	-8448.9	-661.9	-43139.0	-2565.0	0.19	0.93
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	-8866.1	-2562.8	-44946.7	-4224.9	0.24	1.01
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	-8992.7	-854.1	-47415.7	-2736.1	0.20	1.02
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	-9410.0	-2755.0	-49223.4	-4396.0	0.26	1.10
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	-7441.9	-459.5	-38505.8	-2186.7	0.16	0.83
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	-7567.1	-1029.7	-39048.1	-2684.6	0.18	0.85
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	-9254.8	-1099.9	-52761.4	-2757.0	0.21	1.13
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	-9380.0	-1670.2	-53303.7	-3255.0	0.23	1.15
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	-7960.4	-1103.1	-38782.2	-2946.4	0.19	0.85
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	-8085.5	-1673.3	-39324.6	-3444.4	0.21	0.88
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	-9773.3	-1743.5	-53037.9	-3516.7	0.24	1.15
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	-9898.5	-2313.8	-53580.2	-4014.7	0.26	1.18
MAX Combinaisons sismiques					0.27 cm²/ml	1.18 cm²/ml

Tableau 25 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_2 du plancher située au niveau VS – zone 7.

Zone 7-2 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	10797.59	5908.462	44005.3	3716.343	0.37	0.98
Ex	1901.8	1703.0	2486.8	2026.3	—	—
Ey	1144.5	1073.9	1471.5	1481.6	—	—
Ez	1033.8	685.0	5392.7	312.9	—	—
G+Ψ2Q STAT	7250.0	4577.6	28832.9	2742.3	0.26	0.65
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	9805.3	6808.3	33379.0	5306.9	0.37	0.81
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	9118.6	6163.9	32496.1	4418.0	0.34	0.76
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	9185.0	6397.3	30143.4	5119.2	0.35	0.74
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	8498.3	5753.0	29260.5	4230.2	0.32	0.70
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	6001.7	3402.2	28405.4	1254.3	0.21	0.60
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	5315.0	2757.9	27522.5	365.4	0.18	0.56
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	5381.4	2991.2	25169.8	1066.6	0.19	0.53
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	4694.7	2346.9	24286.9	177.6	0.15	0.49
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	9275.3	6367.9	32668.3	4925.6	0.35	0.78
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	6986.2	4220.1	29725.3	1962.5	0.25	0.65
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	8654.9	5956.9	29432.7	4737.9	0.33	0.71
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	6365.9	3809.1	26489.7	1774.7	0.23	0.58
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	8134.2	5346.1	31176.2	3709.8	0.30	0.72
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	5845.1	3198.3	28233.2	746.7	0.20	0.58
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	7513.9	4935.1	27940.6	3522.1	0.28	0.65
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	5224.8	2787.3	24997.6	558.9	0.18	0.51
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	9197.8	6095.7	35413.2	4107.6	0.34	0.82
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	8511.0	5451.3	34530.3	3218.6	0.31	0.77
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	7130.1	4725.7	24627.7	3481.7	0.27	0.58
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	6443.4	4081.3	23744.8	2592.8	0.23	0.54
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	8056.7	5073.8	33921.1	2891.8	0.29	0.75
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	7370.0	4429.5	33038.2	2002.9	0.26	0.71
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	5989.0	3703.9	23135.6	2265.9	0.22	0.52
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	5302.3	3059.5	22252.7	1377.0	0.19	0.48
MAX Combinaisons sismiques					0.37 cm²/ml	0.82 cm²/ml

Tableau 26 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_2 du plancher située au niveau toiture – zone 7.

Zone 9 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	64163.22	-565.977	-12952.75	-25.49	1.30	0.26
Ex	745.6	584.2	185.0	916.4	—	—
Ey	1154.4	539.2	686.9	902.0	—	—
Ez	6319.3	111.6	1004.1	219.9	—	—
G+Ψ2Q STAT	38596.5	-535.6	-7629.9	-71.0	0.79	0.15
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	41584.2	243.8	-6937.6	1182.0	0.84	0.17
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	40891.6	-79.7	-7349.7	640.8	0.82	0.16
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	37792.6	176.8	-7540.0	1050.1	0.76	0.18
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	37100.0	-146.7	-7952.2	508.8	0.75	0.17
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	40093.0	-924.5	-7307.6	-650.8	0.83	0.16
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	39400.4	-1248.1	-7719.7	-1192.0	0.82	0.19
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	36301.4	-991.5	-7910.0	-782.7	0.75	0.18
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	35608.8	-1315.1	-8322.2	-1323.9	0.75	0.20
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	41870.3	212.4	-6586.2	1172.0	0.84	0.16
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	39561.6	-866.1	-7960.0	-632.1	0.81	0.18
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	38078.7	145.4	-7188.7	1040.0	0.77	0.17
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	35770.0	-933.1	-8562.5	-764.1	0.74	0.19
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	41423.0	-138.2	-6697.2	622.2	0.83	0.15
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	39114.3	-1216.6	-8071.0	-1181.9	0.81	0.19
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	37631.4	-205.1	-7299.7	490.2	0.76	0.16
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	35322.7	-1283.6	-8673.5	-1313.9	0.74	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	45485.8	-86.9	-6364.2	694.5	0.91	0.15
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	44793.2	-410.5	-6776.4	153.3	0.91	0.14
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	32847.2	-310.2	-8372.4	254.7	0.67	0.17
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	32154.6	-633.8	-8784.5	-286.6	0.66	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	45038.4	-437.5	-6475.2	144.7	0.91	0.13
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	44345.8	-761.0	-6887.4	-396.6	0.91	0.15
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	32399.8	-660.8	-8483.4	-295.2	0.67	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	31707.2	-984.3	-8895.5	-836.4	0.66	0.20
MAX Combinaisons sismiques					0.91 cm²/ml	0.21 cm²/ml

Tableau 27 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 9 du plancher située au niveau VS – zone 9.

Zone 9 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	36914	-1859.388	-9601	442.371	0.79	0.20
Ex	4072.3	1436.5	992.6	1927.8	—	—
Ey	3354.3	1281.0	1512.7	1711.8	—	—
Ez	4067.3	196.9	816.1	338.5	—	—
G+Ψ2Q STAT	23475.2	-1543.3	-6120.7	302.5	0.51	0.13
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	29774.0	336.6	-4429.4	2845.4	0.60	0.16
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	27761.4	-432.0	-5337.0	1818.3	0.57	0.15
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	27333.6	218.5	-4919.0	2642.3	0.55	0.17
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	25321.0	-550.2	-5826.6	1615.2	0.52	0.16
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	21629.3	-2536.4	-6414.7	-1010.2	0.50	0.15
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	19616.7	-3305.1	-7327.2	-2037.2	0.48	0.20
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	19189.0	-2654.6	-6904.3	-1213.3	0.45	0.17
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	17176.4	-3423.2	-7811.9	-2240.3	0.43	0.21
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	29271.4	227.8	-4065.4	2694.2	0.59	0.15
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	22562.7	-2334.3	-7090.7	-729.4	0.51	0.16
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	26831.0	109.6	-4555.0	2491.1	0.54	0.16
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	20122.3	-2452.4	-7580.3	-932.5	0.47	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	26828.0	-634.2	-4661.0	1537.5	0.55	0.13
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	20119.3	-3196.2	-7686.3	-1886.1	0.49	0.20
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	24387.6	-752.3	-5150.6	1334.4	0.51	0.14
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	17679.0	-3314.4	-8175.9	-2089.2	0.44	0.22
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	29770.5	-531.1	-4553.0	1732.9	0.61	0.14
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	27757.9	-1299.8	-5460.6	705.8	0.59	0.13
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	21635.9	-924.9	-6185.1	1055.9	0.46	0.15
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	19623.3	-1693.6	-7092.7	28.8	0.44	0.14
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	27327.1	-1393.0	-5148.6	576.2	0.58	0.12
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	25314.5	-2161.7	-6056.2	-450.8	0.56	0.13
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	19192.5	-1786.9	-6780.7	-100.8	0.43	0.14
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	17179.9	-2555.5	-7688.3	-1127.9	0.41	0.18
MAX Combinaisons sismiques					0.61 cm²/ml	0.22 cm²/ml

Tableau 28 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 9 du plancher située au niveau toiture – zone 9.

Zone 16 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	22837.99	-7267.741	22614.07	15563.05	0.65	0.86
Ex	765.6	737.6	238.9	304.2	—	—
Ey	850.6	271.1	2067.1	388.8	—	—
Ez	4040.6	1610.2	1839.6	1358.3	—	—
G+Ψ2Q STAT	13706.3	-4360.8	15261.2	10229.2	0.39	0.57
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	15939.3	-3058.8	16672.1	11057.5	0.40	0.62
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	15429.0	-3221.5	15431.8	10824.2	0.39	0.59
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	13514.9	-4025.0	15568.3	10242.5	0.37	0.58
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	13004.6	-4187.6	14328.1	10009.3	0.37	0.55
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	14408.0	-4533.9	16194.3	10449.1	0.41	0.60
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	13897.7	-4696.6	14954.1	10215.9	0.40	0.56
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	11983.6	-5500.1	15090.6	9634.2	0.38	0.55
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	11473.3	-5662.7	13850.3	9400.9	0.38	0.52
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	15998.8	-3385.4	17951.8	11116.7	0.41	0.65
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	14297.6	-3927.6	13817.7	10339.2	0.39	0.55
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	13574.4	-4351.5	16848.0	10301.7	0.38	0.60
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	11873.2	-4893.7	12713.9	9524.2	0.36	0.50
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	15539.4	-3827.9	17808.5	10934.2	0.41	0.64
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	13838.2	-4370.1	13674.3	10156.7	0.39	0.54
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	13115.0	-4794.0	16704.7	10119.2	0.39	0.60
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	11413.8	-5336.2	12570.6	9341.7	0.37	0.49
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	18231.8	-2448.0	17792.6	11795.3	0.43	0.66
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	17721.5	-2610.6	16552.4	11562.1	0.42	0.63
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	10150.5	-5668.4	14113.4	9078.8	0.35	0.52
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	9640.2	-5831.1	12873.1	8845.5	0.34	0.49
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	17772.4	-2890.5	17649.3	11612.8	0.43	0.65
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	17262.1	-3053.2	16409.0	11379.6	0.42	0.62
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	9691.1	-6111.0	13970.0	8896.3	0.35	0.51
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	9180.8	-6273.6	12729.8	8663.0	0.35	0.48
MAX Combinaisons sismiques					0.43 cm²/ml	0.66 cm²/ml

Tableau 29 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 16 du plancher située au niveau VS – zone 16.

Zone 16 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	12843.05	-3026.787	22753.41	15263.57	0.34	0.85
Ex	2722.0	1470.7	1628.4	931.4	—	—
Ey	3268.5	919.1	2080.7	2357.5	—	—
Ez	2325.4	907.6	2061.6	1372.7	—	—
G+Ψ2Q STAT	8858.2	-2342.0	16729.1	11293.1	0.24	0.63
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	13258.3	-323.3	19600.2	13343.6	0.27	0.74
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	11297.2	-874.8	18351.7	11929.1	0.25	0.68
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	11863.1	-867.8	18363.2	12519.9	0.26	0.69
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	9902.0	-1419.3	17114.8	11105.5	0.23	0.63
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	7814.3	-3264.7	16343.3	11480.7	0.24	0.63
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	5853.2	-3816.2	15094.9	10066.2	0.22	0.56
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	6419.1	-3809.2	15106.4	10657.0	0.23	0.58
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	4458.0	-4360.7	13858.0	9242.6	0.20	0.52
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	13640.9	-709.4	19916.8	14341.8	0.29	0.77
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	7103.9	-2547.6	15755.3	9626.8	0.21	0.57
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	12245.6	-1254.0	18679.9	13518.2	0.28	0.73
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	5708.7	-3092.2	14518.4	8803.2	0.19	0.52
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	12007.7	-1591.8	18939.7	13782.9	0.28	0.74
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	5470.7	-3430.1	14778.3	9068.0	0.20	0.53
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	10612.4	-2136.4	17702.8	12959.3	0.27	0.69
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	4075.5	-3974.6	13541.4	8244.4	0.18	0.49
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	12980.7	-717.5	19903.4	13652.4	0.28	0.75
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	11019.6	-1269.0	18654.9	12238.0	0.25	0.69
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	8330.0	-2532.6	15780.3	10907.0	0.23	0.60
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	6368.9	-3084.1	14531.8	9492.6	0.21	0.54
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	11347.5	-1599.9	18926.3	13093.6	0.27	0.72
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	9386.4	-2151.4	17677.9	11679.1	0.24	0.66
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	6696.8	-3415.0	14803.2	10348.2	0.22	0.57
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	4735.7	-3966.5	13554.8	8933.7	0.20	0.50
MAX Combinaisons sismiques					0.29 cm²/ml	0.77 cm²/ml

Tableau 30 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 16 du plancher située au niveau toiture – zone 16.

Zone 17-2 - Niveau VS	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	50743.68	-23931.2	9898.547	-1747.013	1.64	0.24
Ex	833.9	879.8	376.5	430.0	—	—
Ey	1095.4	1098.3	1892.7	1135.9	—	—
Ez	3985.7	1775.8	604.3	324.7	—	—
G+Ψ2Q STAT	30826.1	-14804.0	6952.2	-1143.9	1.00	0.17
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	33184.3	-13062.0	8077.8	-275.7	1.00	0.17
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	32527.1	-13721.0	6942.1	-957.2	1.01	0.16
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	30792.9	-14127.5	7715.2	-470.5	0.98	0.17
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	30135.6	-14786.5	6579.6	-1152.0	0.99	0.16
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	31516.5	-14821.6	7324.9	-1135.7	1.02	0.18
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	30859.3	-15480.5	6189.2	-1817.3	1.02	0.17
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	29125.1	-15887.0	6962.3	-1330.6	1.00	0.17
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	28467.8	-16546.0	5826.7	-2012.1	1.00	0.17
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	33367.4	-12909.1	9139.2	218.5	1.00	0.19
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	31176.5	-15105.6	5353.7	-2053.4	1.02	0.16
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	30976.0	-13974.5	8776.6	23.6	0.98	0.18
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	28785.1	-16171.1	4991.1	-2248.2	1.00	0.16
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	32867.1	-13436.9	8913.3	-39.6	1.01	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	30676.2	-15633.5	5127.8	-2311.4	1.02	0.16
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	30475.6	-14502.4	8550.7	-234.4	0.99	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	28284.8	-16699.0	4765.3	-2506.2	1.00	0.16
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	35390.6	-12434.8	8237.3	-349.4	1.03	0.17
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	34733.3	-13093.8	7101.6	-1030.9	1.04	0.17
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	27419.2	-15986.4	7028.7	-998.8	0.96	0.17
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	26761.9	-16645.4	5893.0	-1680.3	0.97	0.16
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	34890.3	-12962.7	8011.4	-607.4	1.03	0.18
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	34233.0	-13621.6	6875.7	-1289.0	1.04	0.17
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	26918.8	-16514.3	6802.8	-1256.8	0.97	0.17
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	26261.6	-17173.2	5667.2	-1938.4	0.97	0.16
MAX Combinaisons sismiques					1.04 cm²/ml	0.19 cm²/ml

Tableau 31 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_2 du plancher située au niveau VS – zone 17.

Zone 17-2 - Niveau toiture	Nx [N/ml]	Vy [N/ml]	Ny [N/ml]	Vx [N/ml]	$A_x = N_x / 500 + 1.3 \times V_y / 500$ [cm ² /ml]	$A_y = N_y / 500 + 1.3 \times V_x / 500$ [cm ² /ml]
ELU	33316.57	-20365.62	14338.37	-2266.484	1.20	0.35
Ex	2028.5	1592.0	2043.7	786.6	—	—
Ey	4527.3	2163.6	2469.3	848.3	—	—
Ez	4850.6	2375.6	1385.2	254.9	—	—
G+Ψ2Q STAT	23294.2	-14767.6	11784.7	-1247.4	0.85	0.27
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey+0.3Ez	28136.0	-11813.8	14984.7	-129.9	0.87	0.30
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey+0.3Ez	25419.7	-13111.9	13503.2	-638.8	0.85	0.29
G+Ψ2Q+Ex+0.3Ey-0.3Ez	25225.7	-13239.1	14153.6	-282.8	0.85	0.29
G+Ψ2Q+Ex-0.3Ey-0.3Ez	22509.3	-14537.3	12672.1	-791.7	0.83	0.27
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey+0.3Ez	24079.0	-14997.9	10897.3	-1703.0	0.87	0.26
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey+0.3Ez	21362.6	-16296.0	9415.8	-2212.0	0.85	0.25
G+Ψ2Q-Ex+0.3Ey-0.3Ez	21168.7	-16423.2	10066.2	-1855.9	0.85	0.25
G+Ψ2Q-Ex-0.3Ey-0.3Ez	18452.3	-17721.4	8584.7	-2364.9	0.83	0.23
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey+0.3Ez	29885.2	-11413.7	15282.6	-86.6	0.89	0.31
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey+0.3Ez	20830.6	-15740.9	10344.1	-1783.2	0.83	0.25
G+Ψ2Q+0.3Ex+Ey-0.3Ez	26974.8	-12839.1	14451.5	-239.6	0.87	0.30
G+Ψ2Q+0.3Ex-Ey-0.3Ez	17920.3	-17166.2	9513.0	-1936.1	0.80	0.24
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey+0.3Ez	28668.0	-12368.9	14056.4	-558.6	0.89	0.30
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey+0.3Ez	19613.5	-16696.1	9117.9	-2255.2	0.83	0.24
G+Ψ2Q-0.3Ex+Ey-0.3Ez	25757.7	-13794.3	13225.3	-711.5	0.87	0.28
G+Ψ2Q-0.3Ex-Ey-0.3Ez	16703.2	-18121.4	8286.8	-2408.1	0.81	0.23
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey+Ez	30111.4	-11265.3	14523.7	-502.1	0.90	0.30
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey+Ez	27395.1	-12563.5	13042.2	-1011.0	0.87	0.29
G+Ψ2Q+0.3Ex+0.3Ey-Ez	20410.3	-16016.5	11753.4	-1011.8	0.82	0.26
G+Ψ2Q+0.3Ex-0.3Ey-Ez	17694.0	-17314.6	10271.9	-1520.7	0.80	0.24
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey+Ez	28894.3	-12220.5	13297.5	-974.0	0.90	0.29
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey+Ez	26178.0	-13518.7	11816.0	-1483.0	0.88	0.27
G+Ψ2Q-0.3Ex+0.3Ey-Ez	19193.2	-16971.7	10527.2	-1483.7	0.83	0.25
G+Ψ2Q-0.3Ex-0.3Ey-Ez	16476.9	-18269.9	9045.7	-1992.7	0.80	0.23
MAX Combinaisons sismiques					0.90 cm²/ml	0.31 cm²/ml

Tableau 32 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_2 du plancher située au niveau toiture – zone 17.

Dans les parties courantes de différentes zones du plancher et de la liaison façade/mur la plus sollicitée, au niveau du VS et de la toiture, les résultats montrent que ponctuellement le taux de ferraillement maximal est de 1.18 cm²/ml. Ce taux est obtenu uniquement dans la zone n°7 du plancher pour une seule combinaison où la portée des poutrelles est la plus importante. On note que la combinaison conduisant à ce maximum mobilise 100% de l'accélération verticale et qu'en principe la composante verticale n'est pas prise en compte dans le dimensionnement des bâtiments en France Métropolitaine (en tenant compte uniquement des composantes horizontales du séisme, le taux maximal de ferraillement est de 1.06 m²/ml).

Les résultats montrent toutefois que le ferraillement de 1.19 cm²/ml (treillis soudé PAF 10) est suffisant pour récupérer les forces d'inertie et assurer leur transmission vers les éléments structuraux de contreventement.

2.10. Conclusions

Dans cette étude, les vérifications numériques sous sollicitations sismiques des planchers poutrelles/entrevous constituant l'établissement scolaire irrégulier d'un seul étage retenu pour les modélisations ont permis de montrer des résultats acceptables à condition que certaines dispositions constructives forfaitaires soient respectées. L'application de ces règles pour l'ensemble des établissements scolaires actuellement exclus du domaine des CPMI permettrait d'intégrer cette typologie de bâtiment au domaine d'emploi défini pour la maison individuelle (cf rapport n° 491.I [1]) et pour le petit collectif (cf rapport n° 559.I [2]) permettant au Bureau d'Etudes Structures de s'affranchir de vérifications sismiques pour le plancher. Au vu des résultats de cette étude, les recommandations suivantes seraient nécessaires pour les établissements scolaires :

○ **Critère 0 :**

- Avoir des poutrelles de type c2a, c2b ou c3a avec un $V_{rdi, \text{statique}} \geq 0.55 \text{ Mpa}$;
- Avoir des poutrelles ayant fait l'objet d'une caractérisation expérimentale pour le $V_{rdi, \text{dynamique}}$ permettant d'avoir une résistance sismique $\geq 0.55 \text{ Mpa}$.

○ **Critère 1 :**

Pour assurer la fonction tirant/buton : la quantité des armatures de chapeaux en transversal comme en longitudinal doit être à minima égale à $0.6 \text{ cm}^2/\text{ml}$.

○ **Critère 2 :**

En présence de décrochés (angles saillants/reentrants, liaison de murs ou des poutres-poteaux en T), il est préconisé de renforcer la liaison du tirant longitudinal ou transversal avec le mur (Figure 49) en rajoutant une quantité d'armatures égale à $1,5 \text{ cm}^2 \text{ B500}$ par similitude avec le critère défini dans la maison individuelle irrégulière complexe (Etude CERIB n° 491.I [1]).

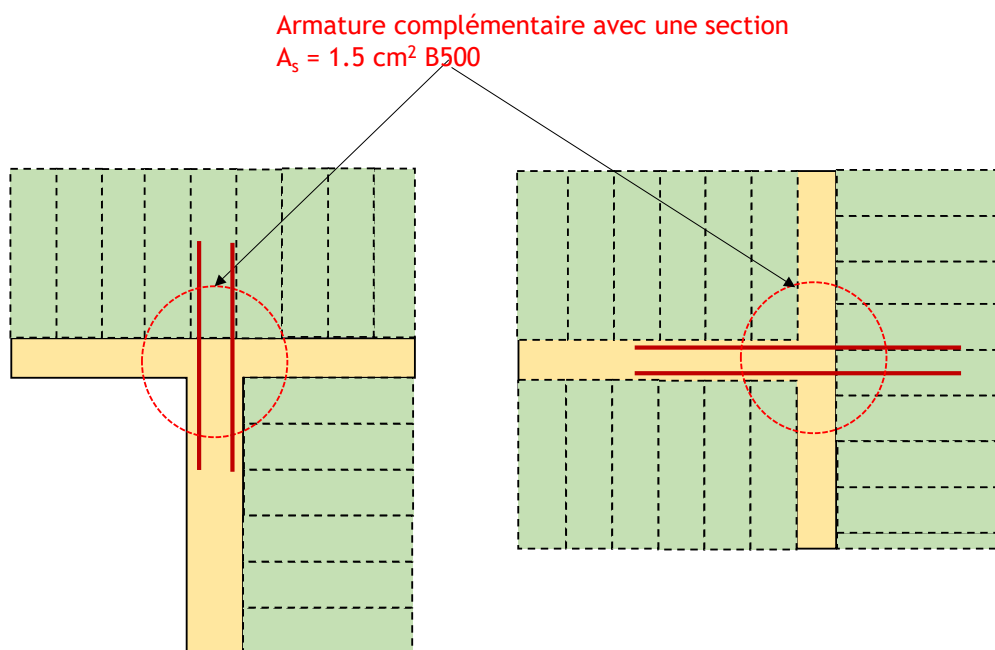


Figure 49 : Renforcement complémentaires dans les zones de jonctions et des intersections des murs.

○ **Critère 3 :**

Pour assurer la fonction diaphragme, utiliser à minima un treillis soudé PAF10 en partie courante.

2.11. Domaine d'emploi

Les conclusions de cette étude s'appliquent aux établissements scolaires, à un seul niveau, de catégorie d'importance inférieure ou égale à III, implantés en zone de sismicité 2 au plus, sur des sols dont la classe est telle que le produit $a_g.S$ n'excède pas la valeur 1.52 m/s^2 (voir arrêté du 22/10/2010 modifié) et remplissant les conditions du domaine d'emploi défini ci-dessous.

Le domaine d'emploi, pour lequel la résistance des planchers à poutrelles-entrevous des établissements scolaires à un seul étage est considérée satisfaisante sans calcul concernant l'aspect sismique, comprend l'ensemble des planchers des établissements scolaires qui respectent les conditions sur les excentricités structurales suivantes :

$$\checkmark \quad (e_{0i} \leq 0.3r_i \text{ et } r_i \geq \ell_s) \text{ suivant la direction } i ;$$

et

$$\checkmark \quad (e_{0j} \leq 0.45r_j \text{ et } r_j \geq 0.8\ell_s) \text{ suivant la direction } j ;$$

Avec i et j sont les deux directions de calcul orthogonales x et y ou inversement,

Avec :

e_{0k} est la distance entre le centre de masse (CM) et le centre de rigidité (CR) suivant la direction k considérée = |CM-CR|

r_k est le rayon de torsion suivant la direction k ;

$$r_k = \sqrt{\frac{C}{R_j}} \quad k \neq j$$

ℓ_s est le rayon de giration massique du plancher en plan ;

$$\ell_s = \sqrt{\frac{J_z}{M}}$$

C est la somme des raideurs torsionnelles (St Venant (torsion uniforme C_{tu}) et flexionnelle C_{flex}) des éléments verticaux primaires ;

$$C = \sum C_{tu} + \sum C_{flex}$$

R_j est la somme des raideurs translationnelles suivant la direction considérée ;

$$R_j = \sum (EI)_j$$

J_z est le moment d'inertie polaire ;

$$J_z = \iiint w(x^2 + y^2)dv$$

M est la masse du plancher considéré ;

$$M = \iiint w dv$$

Ces établissements scolaires, à un seul étage, respectent en outre les conditions suivantes :

- ✓ La hauteur de l'étage entre les deux planchers (Vides-sanitaires et toiture) ne dépasse pas 3 m ;

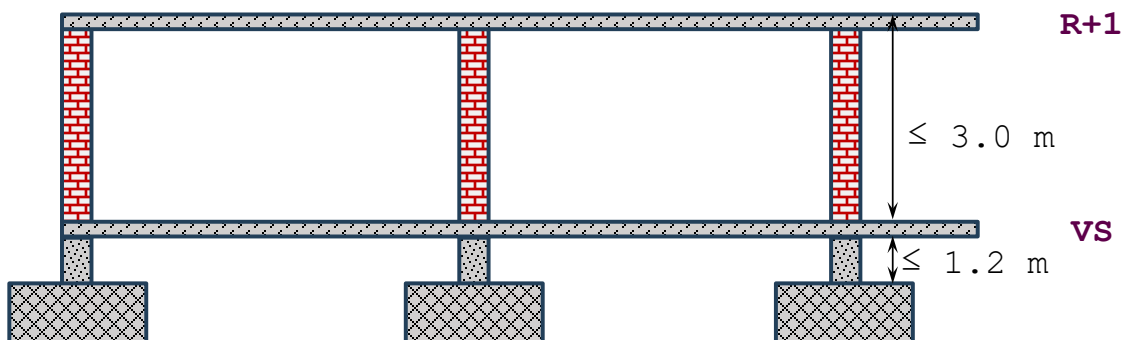


Figure 50 : Conditions sur les hauteurs des niveaux

- ✓ Vis-à-vis des charges du plancher, les conditions suivantes s'appliquent :
 - Les charges permanentes G (y compris poids propre) ne dépassent pas 3.90 kN/m^2 ;
 - Les charges d'exploitations Q ne dépassent pas 2.50 kN/m^2 ;
 - Les charges ponctuelles n'excèdent pas 4 kN .

Bibliographie

- [1] Rapport CERIB n°491.I, «Etude numérique des planchers poutrelles/entrevous sous sollicitation sismique d'une maison irrégulière complexe».
- [2] Rapport CERIB n°559.I, «Etude numérique des planchers poutrelles/entrevous sous sollicitation sismique d'un petit collectif régulier».
- [3] NF EN 1998-1, Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, September 2005.
- [4] NF EN 1998-1/NA, Annexe nationale à la NF EN 1998-1:2005 - Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, Décembre 2013.
- [5] NF P 06-014, Règles de construction parasismique - Construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés - Règles PS-MI 89 révisées 92 - Domaine d'application - Conception - Exécution, Mars 1995.
- [6] DHUP CPMI EC8, Guide de construction parasismique des maisons individuelles- Zones 3-4.
- [7] Rapport CERIB n°393.I, «Vérification des planchers poutrelles/entrevous sous sollicitation sismique : définition d'une méthodologie de calculs».
- [8] «Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »,» *JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE*.
- [9] «Arrêté du 8 septembre 2021 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite «à risque normal»,» *JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE*.
- [10] NF P 06-013, «Règles de construction parasismique : Règles PS applicables aux bâtiments dites Règles PS92».
- [11] NF EN 1990, Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures, Mars 2003.
- [12] NF EN 15037-1, Produits préfabriqués en béton - Systèmes de planchers à poutrelles et entrevous - Partie 1 : poutrelles, Septembre 2008.
- [13] NF EN 1992-1-1, Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments, October 2005.

Annexe 1. Rapport d'expertise de Monsieur BISCH du 11/04/2018



Cisaillement entre dalle et poutrelle

1. Références

- {1} Rapport CERIB 393.I : « Vérification des planchers poutrelles/entrevous sous sollicitation sismique : définition d'une méthodologie de calculs ».
- {2} Rapport P. Bisch du 25/04/2008 : « Etude CERIB Sismique planchers à poutrelles - Avis d'expert »
- {3} Rapport CERIB du 20/03/2007. « Comportement sismique des planchers à poutrelles sans armatures de couture »
- {4} Rapport CERIB d'Avril 2007. « Analyse statistique selon l'annexe D de l'Eurocode 0 ».

2. Point de vue général

Deux approches peuvent être utilisées pour traiter de cette question :

- a) L'approche proposée dans le rapport CERIB {1}, qui consiste à considérer les poutrelles comme éléments structuraux primaires, donc à les faire participer au contreventement, ce qui conduit à justifier du cisaillement en situation sismique.
- b) Considérer les poutrelles comme éléments secondaires, seule la dalle de compression jouant alors le rôle de diaphragme. En principe, en situation d'action sismique modérée, une épaisseur de dalle de compression usuelle devrait suffire à transmettre les efforts, au prix peut être d'un renfort des armatures de dalle. Dans cette solution, le cisaillement doit être justifié dans les situations non sismiques et il faudrait vérifier dans le cadre de la recherche que cela suffit à couvrir la composante verticale du séisme.

Ces deux approches sont abordées dans les paragraphes suivants.

3. Ordre de grandeur des sollicitations verticales

L'ensemble du plancher est dimensionné pour la flexion verticale (donc aussi le cisaillement entre dalle et poutrelle) pour les situations non sismiques, c'est-à-dire *a minima* pour la combinaison ELU fondamentale : $1,35 G + 1,5 Q$. S'il existe des actions variables d'accompagnement (qui ne devraient pas avoir une grande influence), elles contribueraient à augmenter le cisaillement. Donc la combinaison considérée correspond à la sollicitation minimale pour laquelle la conception doit être justifiée en situation durable.

Ce dimensionnement doit être comparé (dans l'hypothèse où la poutrelle est considérée comme élément secondaire) à celui de la situation sismique, où interviendrait la composante verticale. Il est à noter que cela n'est pas requis par la norme, mais c'est précisément parce qu'il est supposé que la situation sismique

n'est pas la plus défavorable, ce qu'il faudrait vérifier. La combinaison à considérer est $G + \psi_2 Q + E_z$. Les autres combinaisons de direction sismiques ne sont pas considérées par simplification, celle-ci étant suffisante pour l'effet recherché.

Il doit être tenu compte que :

- les coefficients partiels du béton et de l'acier ne sont pas les mêmes en situation sismique qu'en situation durable. Ils sont égaux à $\gamma_c = 1,3$, $\gamma_s = 1,0$ pour le séisme et $\gamma_c = 1,5$, $\gamma_s = 1,15$ en situation durable, soit un rapport 1,15 entre les deux situations, pour les deux matériaux.
- la résistance au cisaillement est (peut-être) moindre en situation sismique. L'annexe nationale française de l'Eurocode 8 a fixé arbitrairement cette résistance en divisant par 2 le coefficient c par rapport à la situation durable Eurocode 2), sans que cela soit indiqué dans l'Eurocode 8.

Pour ce qui concerne la résistance dans les deux situations selon la formule (6.25) de l'Eurocode 2 et en s'en tenant au terme de résistance du béton, la comparaison est :

$$1,15 \times (v_{Rd}(\text{séisme}) = 0,5 c f_{ctd}) \text{ à comparer à } v_{Rd}(\text{durable}) = c f_{ctd}$$

en supposant que σ_n a une influence faible sur la résistance et en prenant ici le même f_{ctd} (durable).

La résistance sous séisme serait donc conventionnellement égale à 57,5% de la valeur en situation durable (au sens de l'EC2). Ce pourcentage augmente s'il y a des armatures de couture, donc le raisonnement est du côté de la sécurité.

Il faut ensuite comparer les effets des actions dans les deux situations.

Compte tenu du résultat précédent, les effets sont acceptables en situation sismique si :

$$v_{Ed} [G + \psi_2 Q + E] \leq 57,5\% \times v_{Ed} [1,35 G + 1,5 Q] \leq 57,5\% \times v_{Rd}(\text{durable}) = v_{Rd}(\text{séisme})$$

sous condition d'un dimensionnement correct en situation durable. Compte tenu de la linéarité de v_{Ed} , cette relation conduit à la condition :

$$\frac{E}{G + \varphi \psi_2 Q} \leq 57,5\% \times \frac{1,35 G + 1,5 Q}{G + \varphi \psi_2 Q} - \frac{G + \psi_2 Q}{G + \varphi \psi_2 Q}$$

avec $\varphi = 0,5$, les actions variables n'étant pas corrélées dans un bâtiment courant. Le dénominateur étant le même dans tous les termes, cette inégalité est vraie quel que soit ce dénominateur. Il est choisi ici pour représenter les masses dans le modèle de calcul pour déduire une accélération admissible

En reprenant les valeurs de « l'exemple simple » du rapport {1} :

$$G = 4,1 \text{ kN/m}^2 ;$$

$$Q = 1,5 \text{ kN/m}^2 ;$$

$$\psi_2 Q = 0,45 \text{ kN/m}^2 ;$$

$$1,35 G + 1,5 Q = 7,8 \text{ kN/m}^2 ;$$

$$G + \psi_2 Q = 4,6 \text{ kN/m}^2 ;$$

$$G + \varphi \psi_2 Q = 4,3 \text{ kN/m}^2,$$

le terme du second membre de l'inégalité est négatif, ce qui signifie que la composante verticale sismique est plus défavorable pour le cisaillement poutrelle-dalle (au sens de la formule 6.25), quelle que soit sa valeur. C'est évidemment peu vraisemblable, mais c'est dû à l'abattement de 50% sur c .

Les ordres de grandeur de chargement considérés étant « raisonnables », la conséquence est que la situation durable ne couvre en général pas la situation sismique pour le cisaillement. Cela pourrait être néanmoins résolu par l'ajout d'armatures de couture.

En effet, ce résultat n'est pas vrai pour la flexion et l'effort tranchant. La condition est la même, sauf qu'il faut remplacer 57,5% par 115%, et dans ce cas le second membre est égal à 1 g. Les structures sont généralement raides en vertical et l'amplification est le plus souvent peu supérieure à 1. En admettant néanmoins que la période correspondante se situe sur le plateau du spectre (amplification = $3 / q = 1,5$), cela conduit à une accélération verticale maximale du sol égale à 0,5 g, ce qui n'est pas atteint en France quel que soit le sol et la catégorie de bâtiment.

Ce raisonnement simplifié montre que l'application de la formule (6.25) assortie de l'abattement de 50% ne permet pas de démontrer de marge suffisante pour le cisaillement vis-à-vis de la composante verticale du séisme.

Une observation supplémentaire (dans le cadre de l'application de (6.25)) : le mode de rupture par glissement est celui qui intervient le premier, ce qui justifie de s'en prémunir avec une marge suffisante.

Cela n'écarte pas la solution qui consiste à considérer les poutrelles comme éléments secondaires, mais oblige à justifier le cisaillement vis-à-vis de la composante verticale :

- soit en utilisant la formule (6.25) et l'abattement de 50%, ce qui d'une part oblige à disposer des armatures de coutures, d'autre part à justifier la composante verticale par le calcul ;
- soit à justifier une meilleure résistance du béton seul, à partir des résultats expérimentaux. C'est l'objet du paragraphe suivant.

De toute façon, dans les deux cas, il convient de vérifier la dalle comme diaphragme primaire pour la transmission des efforts dans son plan.

4. Justification du cisaillement à partir des résultats expérimentaux

Cette justification apparaît utile dans les deux stratégies possibles, compte tenu de l'inadéquation probable de l'équation (6.25) de l'EC2-1-1 avec l'abattement.

Le tableau ci-après montre une comparaison des résistances au cisaillement entre EC2-1-1 (6.25) et NF EN 15037-1 (sans coutures). Béton C25/30, f_{ctd} (durable) = 1,2 MPa.

La NF EN 15037-1 donne des valeurs nettement supérieures à ce que donne (6.25), surtout dans le cas des poutrelles lisses.

Type poutrelles		C ₁ lisse	C _{2a} rugueuse
v _{rdi} NF EN 15037-1	MPa	0,48	0,55
Avis techniques τ_{cu}	MPa	0,55	0,69
c (6.25)		0,2	0,4
v _{rdi} (6.25) durable	MPa	0,24	0,48
v _{rdi} (6.25) séisme avec c/2	MPa	0,138	0,277

L'exploitation des essais synthétisés dans le rapport {3} a conduit aux observations suivantes :

- Alors que les conditions de l'essai ont été définies pour faire apparaître le glissement entre dalle et poutrelle comme premier mécanisme, les ruptures observées sont dans certains cas des ruptures par flexion ou par effort tranchant.
- Lorsque le glissement intervient, il n'y a pas perte de résistance. Donc le mécanisme n'est pas fragile en tant que tel. Néanmoins, il entraîne une redistribution de l'effort tranchant (et donc des moments fléchissants) entre la dalle et la poutrelle et une rupture fragile par effort tranchant peut intervenir de ce fait.
- Les différences entre les résultats obtenus sont faibles, voire non significatives, entre les essais statiques et les essais dynamiques. Un abattement de 10% paraît suffisant aux auteurs du rapport pour couvrir cette différence, ce qui est raisonnable.
- Le jeu des coefficients entre la combinaison ELU statique et la combinaison sismique dispense de toute vérification en situation sismique lorsque l'ELU statique est satisfait pour les zones sismiques de France métropolitaine. En effet, passer d'un abattement de 50% à 10% conduit, en reprenant le raisonnement du § 3, à une accélération verticale maximale du sol de 0,4 g jamais atteinte.

Le rapport synthétise les résultats en montrant le rapport de l'effort tranchant ayant provoqué le glissement V_{gliss} à l'effort tranchant ultime V_{cu} calculé selon le CPT de l'époque. V_{cu} est corrigé pour tenir compte du périmètre mouillé mesuré. Cela n'affecte pas la contrainte limite $\bar{\tau}_{cu}$.

Les résultats sont classés en quatre familles, en fonction des conditions différentes de l'expérimentation et de l'interprétation. Les résultats sont évidemment dispersés, néanmoins il y a une certaine homogénéité. En ne retenant que le montage le plus proche des conditions réelles de mise en œuvre, la moyenne des rapports n'est pas inférieure à 3,6 et la valeur minimale à 2,6.

On peut distinguer les essais normaux, qui correspondent à l'état nominal de l'interface, donc lisse ou rugueux suivant le type de poutrelle, et les essais « avec paraffine » où l'interface est rendu volontairement glissante, représentative d'un état dégradé et qu'on peut juger « très lisse ».

La note {4} présente une analyse statistique des résultats expérimentaux prenant en compte la dispersion et aboutit aux conclusions suivantes concernant les valeurs caractéristiques de V_{gliss} / V_{cu} corrigé :

- Essais statiques avec et sans paraffine : $V_{gliss} / V_{cu} \text{ corrigé} = 2,24$
- Essais cycliques avec et sans paraffine : $V_{gliss} / V_{cu} \text{ corrigé} = 2,17$
- Essais cycliques sans paraffine : $V_{gliss} / V_{cu} \text{ corrigé} = 2,53$

Ces résultats confirment : i) que le caractère cyclique de la sollicitation a un effet minime sur le coefficient (< 5%) et ii) que l'état de surface joue un rôle, lui aussi limité, mais plutôt de l'ordre de 20%.

Ces coefficients représentent des coefficients de sécurité valeur mesurée / valeur caractéristiques. Les deux termes sont exprimés en termes de forces, mais les autres paramètres étant inchangés, ils portent également sur les contraintes d'adhérence qui s'opposent au glissement. Pour passer aux valeurs de calcul,

il faut diviser les coefficients obtenus par un coefficient partiel. Comme il s'agit du béton, ce coefficient pourrait être égal à 1,3 en situation sismique, néanmoins ici le nombre de tests est limité et il est donc proposé de le porter à 1,5.

Le CPT renvoie aux avis techniques et donne une valeur indicative de 0,55 MPa. C'est la valeur minimale donnée dans les avis techniques, correspondant aux parois lisses. Compte tenu des coefficients mesurés (essais statiques, sans paraffine), la valeur de 0,69 MPa donnée dans les avis techniques est cohérente pour les parois rugueuses. La valeur prise pour calculer $V_{cu\text{ corrigé}}$ est 0,69 MPa, c'est donc par rapport à cette valeur qu'il faut appliquer les coefficients issus de l'analyse statistique.

Il convient évidemment de considérer le coefficient associé aux essais cycliques, soit $2,53/1,5 = 1,69$, ce qui conduit à une valeur de résistance tenant compte de la dispersion de 1,16 MPa, plus que double de ce que donne (6.25), même sans abattre c .

Dans tous les cas, les valeurs obtenues sont de toute façon nettement plus élevées que ce que donne la formule (6.25).

5. Traduction en contraintes ultimes de calcul

Pour traduire les différents résultats en termes de résistance limite pour la vérification du glissement à partir des résultats expérimentaux, il faut tenir compte des aspects suivants :

- La dispersion des résultats, ce qui est fait dans la note {4}.
- Le caractère cyclique et dynamique de la sollicitation.
- Du fait que, pour un ouvrage neuf, la vérification doit se faire à l'état limite de dommage significatif SD donc à distance de la rupture. La marge couramment admise est de 50%.

Ceci étant posé, deux démarches sont possibles :

- a) Etablir une résistance ultime, comme cela était fait dans le « CPT plancher » ou maintenant dans la NF EN 15037-1. En partant des résultats rappelés ci-dessus, on a successivement :
 - une valeur de calcul, prenant en compte la dispersion des essais, de 1,16 MPa (parois rugueuses et cyclique) ;
 - puis diviser par 1,5 pour passer à l'état SD ;
 - Le résultat est 0,77 MPa, supérieur à 0,69 MPa.
- b) Utiliser la formule (6.25) en corrigeant la valeur de c . Si on admet que 0,77 MPa est la valeur finale correcte sous séisme, avec $f_{ctd}(\text{séisme}) = 1,38$ MPa, cela donnerait $c = 0,56$ en situation sismique. Pour une poutrelle rugueuse, il n'y aurait pas à faire d'abattement sur c .

Finalement, les deux approches sont réalistes.

6. Conclusions

Les différentes considérations évoquées ci-dessus conduisent aux conclusions suivantes :

- L'application de la formule (6.25) de l'EN1992-1-1 avec $c/2$ en situation sismique conduit à la conclusion que la vérification de glissement en situation durable ne couvre pas la même vérification en situation sismique, en considérant la composante verticale du séisme. Cette dernière

vérification n'est pas requise pour le concepteur d'un ouvrage particulier, il convient de confirmer, compte tenu du contexte particulier (par de couture), que cette vérification n'est pas utile.

- Les essais conçus pour faire apparaître la rupture par glissement en premier ont souvent montré un premier mécanisme en flexion ou par effort tranchant pour les poutrelles. Ceci montre bien que, dans les conditions des expériences, en statique et en dynamique, les formules de vérification du glissement sont pessimistes.
- L'atteinte de la limite de glissement (se traduisant par un glissement irréversible) présente un caractère ductile. Néanmoins, une rupture fragile par effort tranchant dans la poutrelle peut se faire jour consécutivement, du fait de la redistribution de l'effort tranchant entre poutrelle et dalle (perte de monolithisme).
- L'abattement de 50% du coefficient c de la formule (6.25) n'est pas justifié, la limite de glissement n'étant pas inférieure dans le cas cyclique, par rapport au cas statique, lorsqu'on compare les résultats de la formule (6.25) avec les résultats expérimentaux.
- Même en cyclique, l'exploitation statistique des résultats montre que le cisaillement limite pourrait être 60% supérieur à celui donné par les avis techniques en vigueur à l'époque des essais.
- Finalement, la détermination de v_{Rd1} pour la vérification de rupture par glissement peut se faire soit à partir de la formule (6.25) de l'EN1992-1-1 sans diviser par 2 la valeur de c , soit en appliquant directement la NF EN 15037-1.
- Dans ces conditions, le raisonnement du § 3 conduirait à une accélération maximale de 0,5 g en vertical, valeur non atteinte en zone 4, même pour un bâtiment de catégorie IV. Dans ces conditions, il n'est pas nécessaire de justifier de la composante verticale du séisme et les poutrelles peuvent éventuellement être considérées comme éléments structurels secondaires, la dalle coulée en place jouant alors le rôle de diaphragme.

Philippe BISCH

11/04/2018

Annexe 2. Vérification du monolithisme entre une poutrelle et le béton coulé en place

Les figures ci-après montrent les résultats des contraintes de glissement des poutrelles de la structure les plus sollicitées par niveau et par zone. Sur chaque graphique représentant la contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle, la poutrelle issue du calcul à l'ELU la plus sollicitée et la poutrelle la plus sollicitée issue des combinaisons sismiques sont présentées.

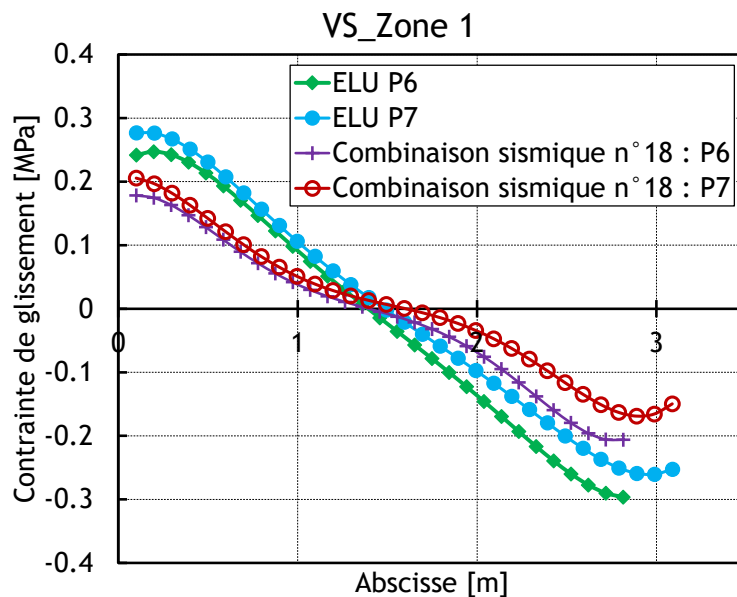


Figure 51 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 6 et 7 en zone 1 du niveau VS.

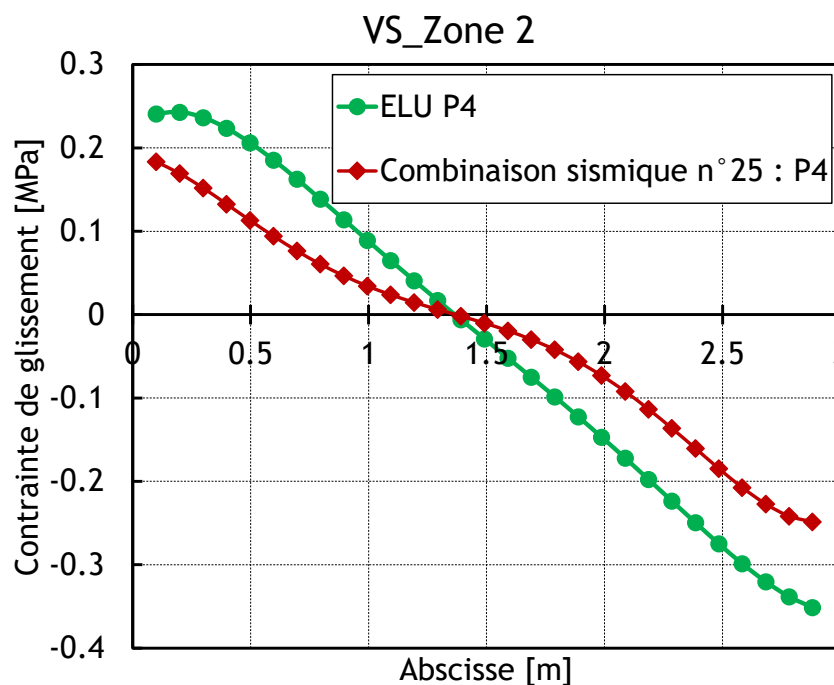


Figure 52 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 4 en zone 2 du niveau VS.

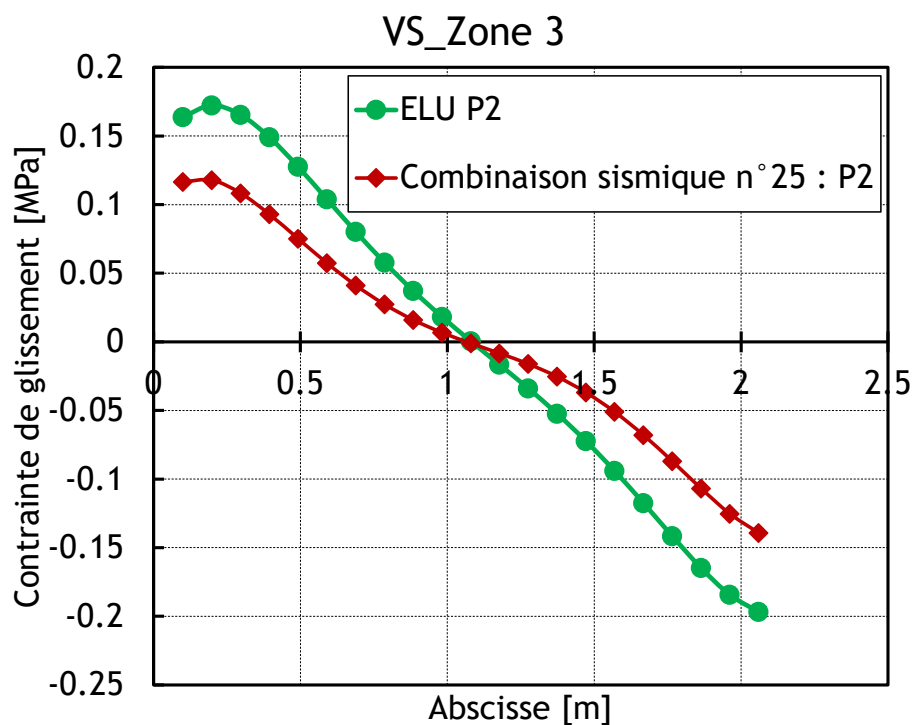


Figure 53 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 2 en zone 3 du niveau VS.

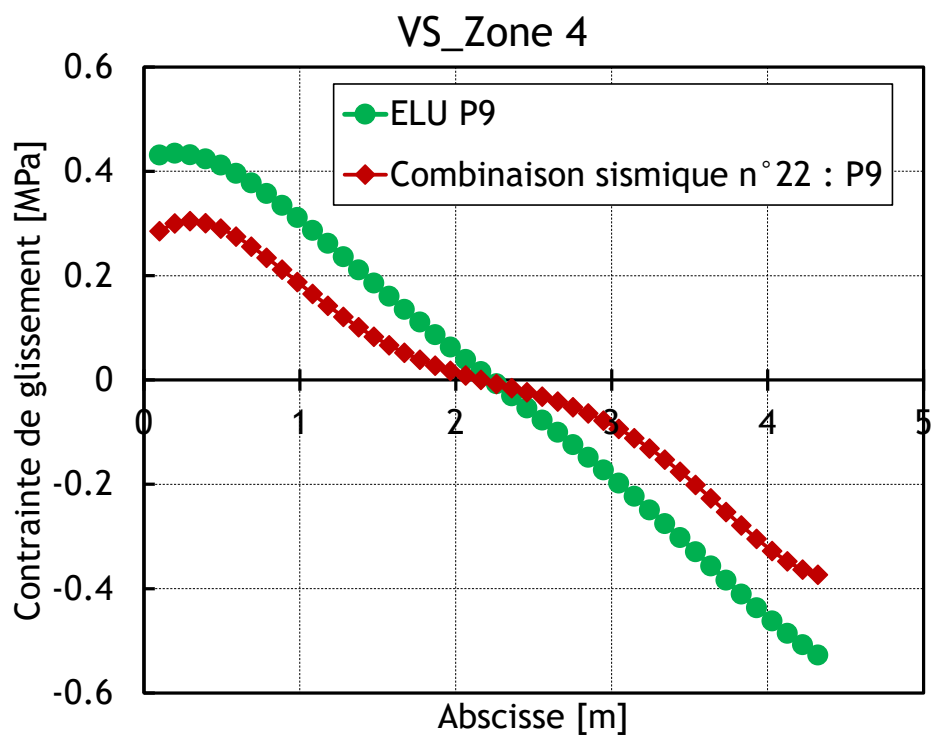


Figure 54 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 9 en zone 4 du niveau VS.

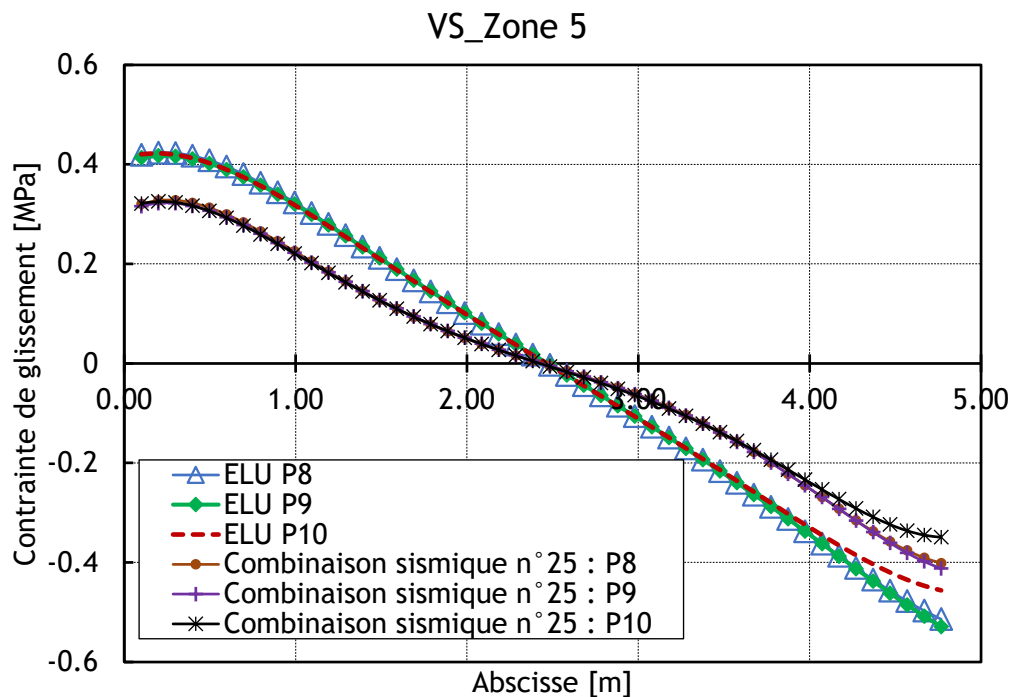


Figure 55 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 8, 9 et 10 en zone 5 du niveau VS.

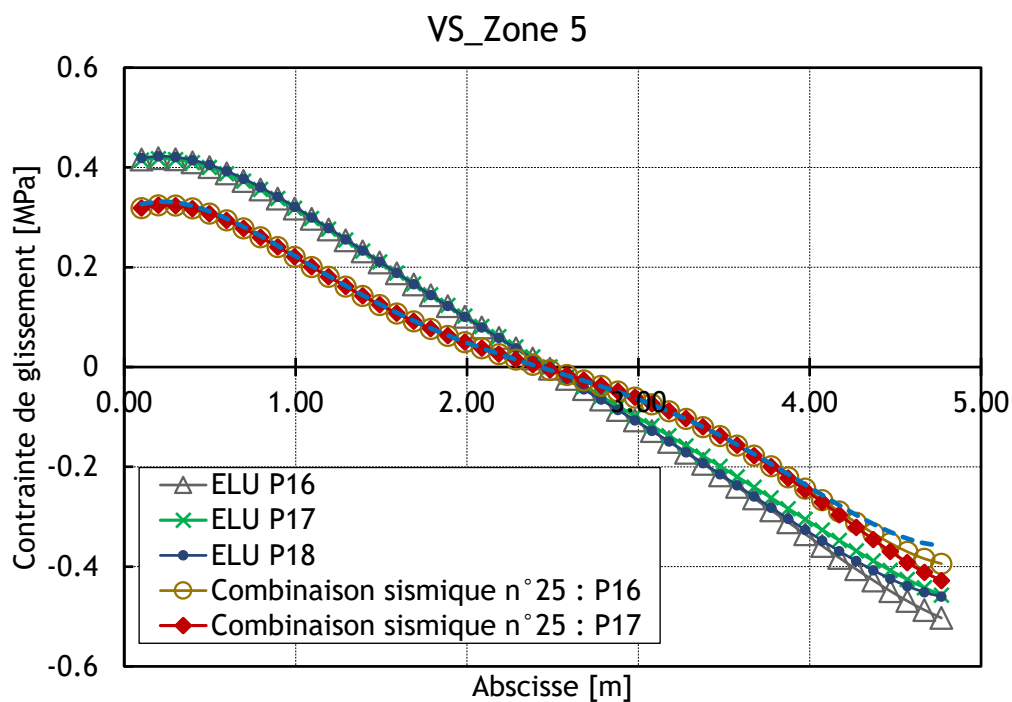


Figure 56 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 16, 17 et 18 en zone 5 du niveau VS.

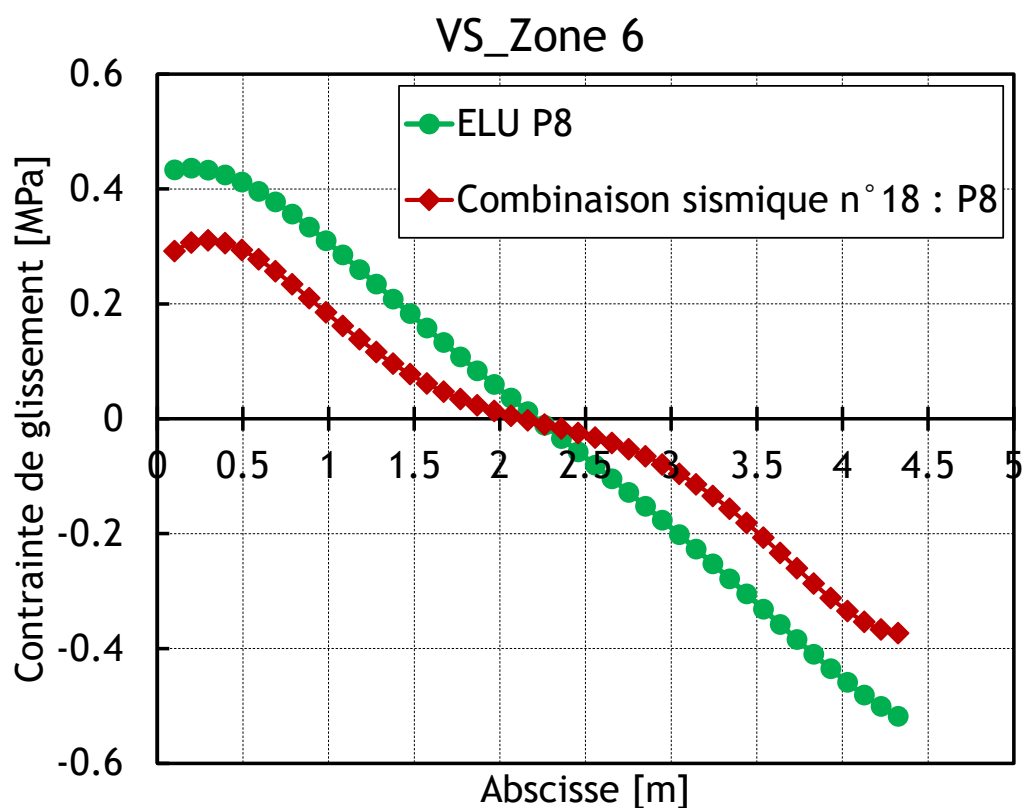


Figure 57 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 8 en zone 6 du niveau VS.

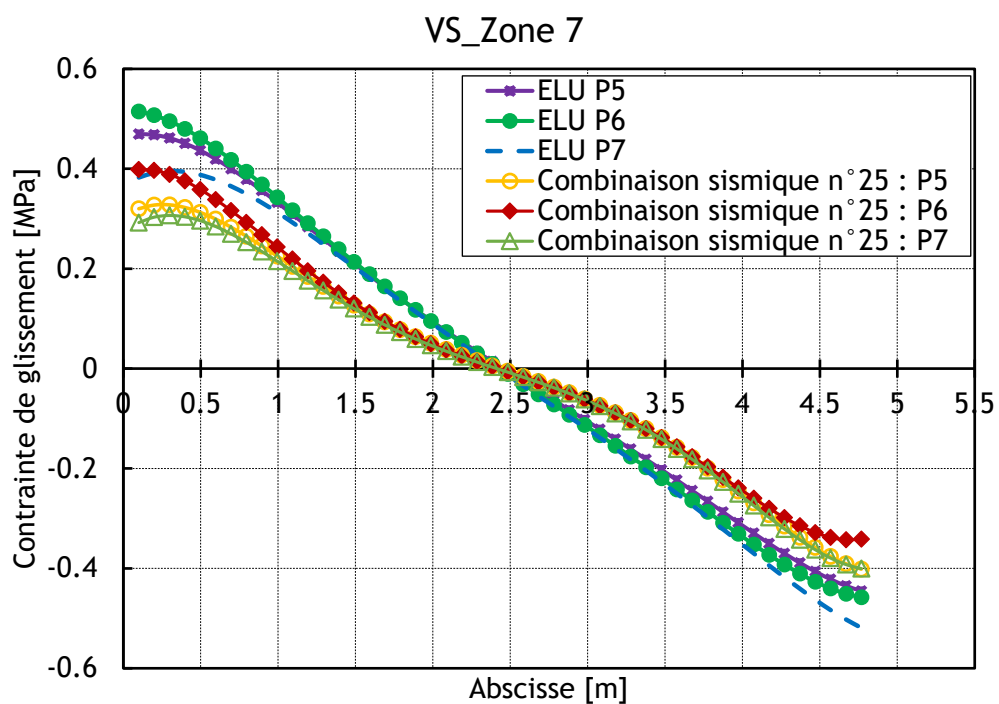


Figure 58 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 5, 6 et 7 en zone 7 du niveau VS.

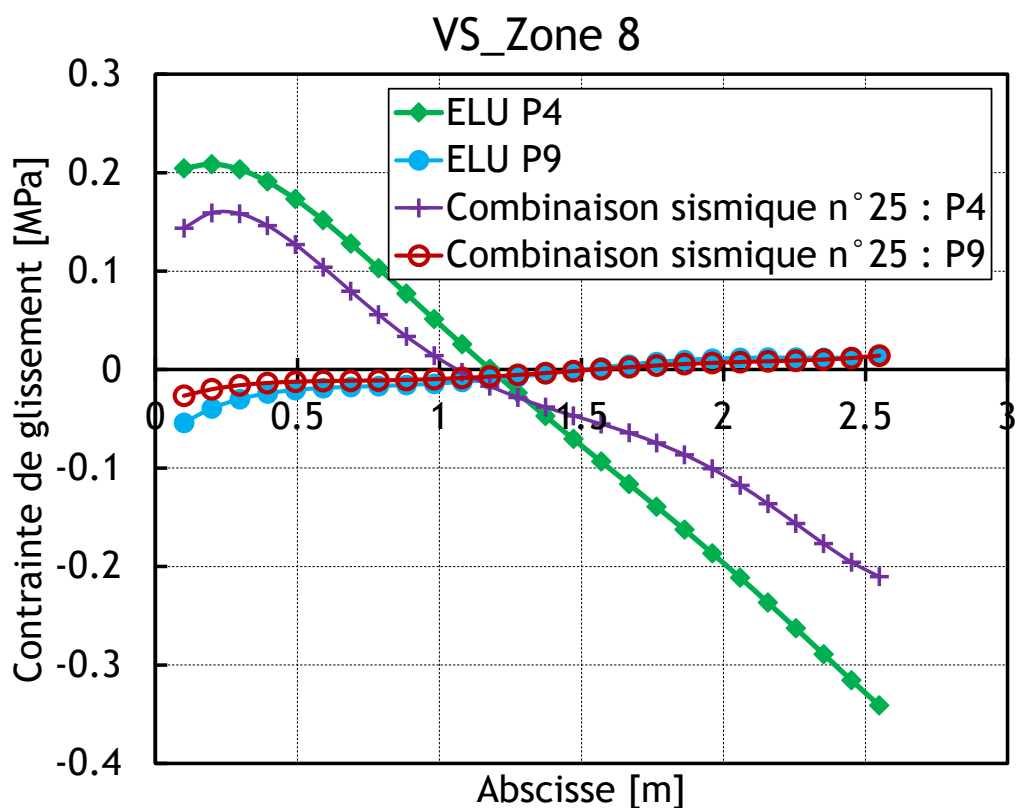


Figure 59 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 4 et 9 en zone 8 du niveau VS.

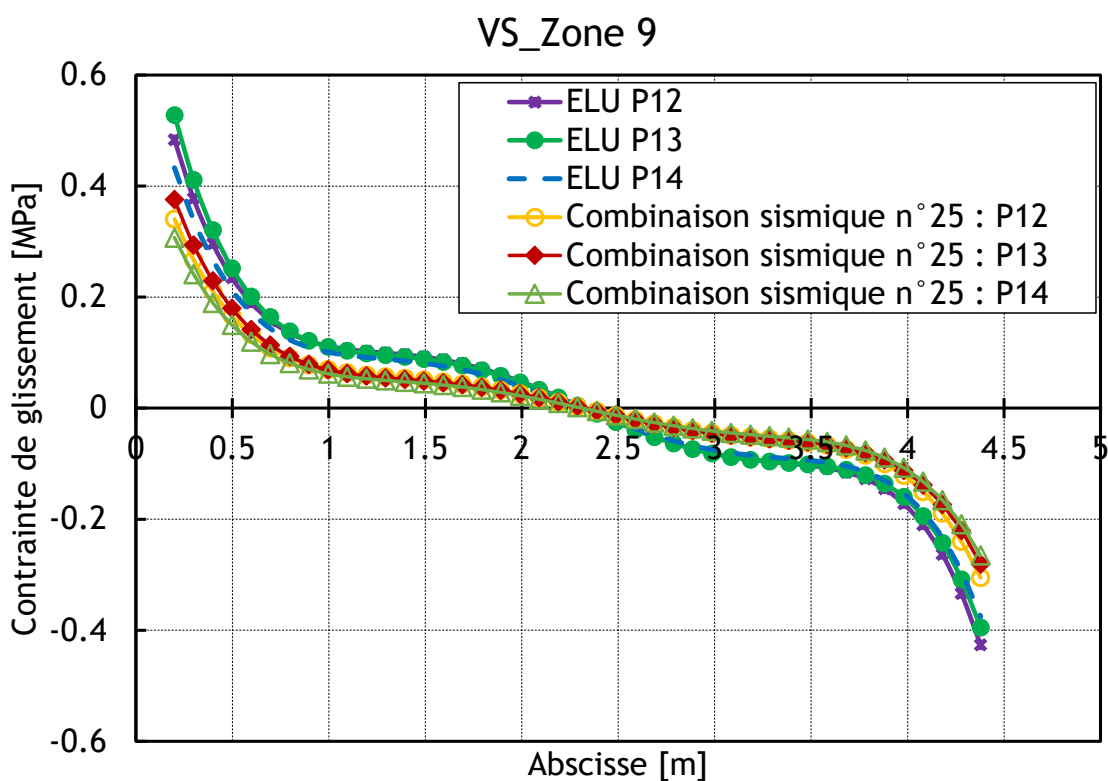


Figure 60 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 12, 13 et 14 en zone 9 du niveau VS.

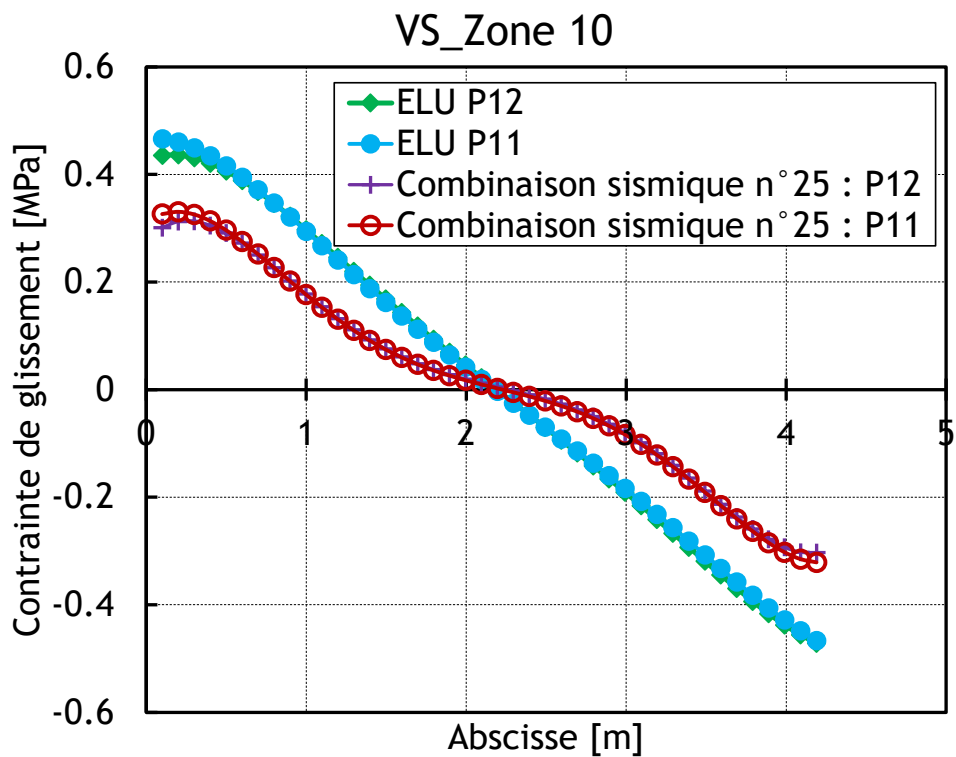


Figure 61 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 11 et 12 en zone 10 du niveau VS.

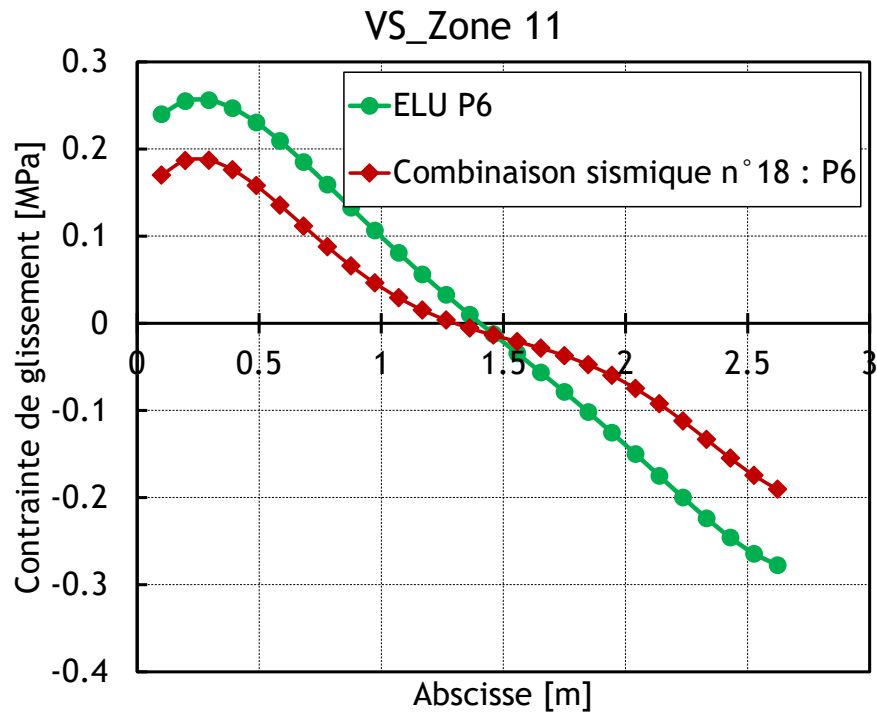


Figure 62 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 6 en zone 11 du niveau VS.

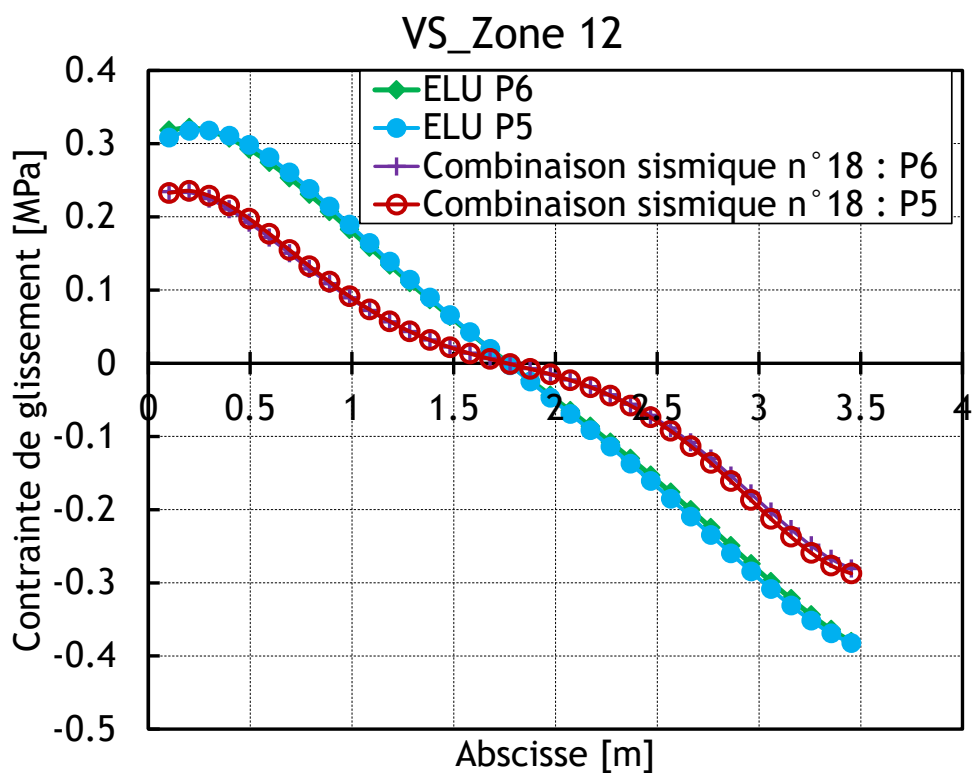


Figure 63 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n°5 et 6 en zone 12 du niveau VS.

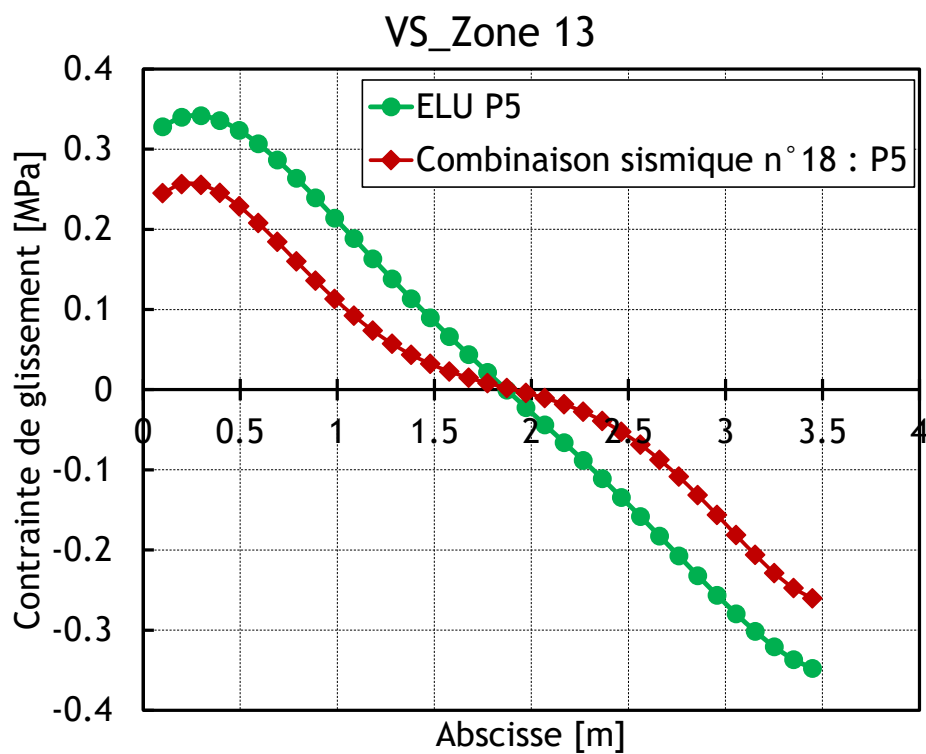


Figure 64 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n°5 en zone 13 du niveau VS.

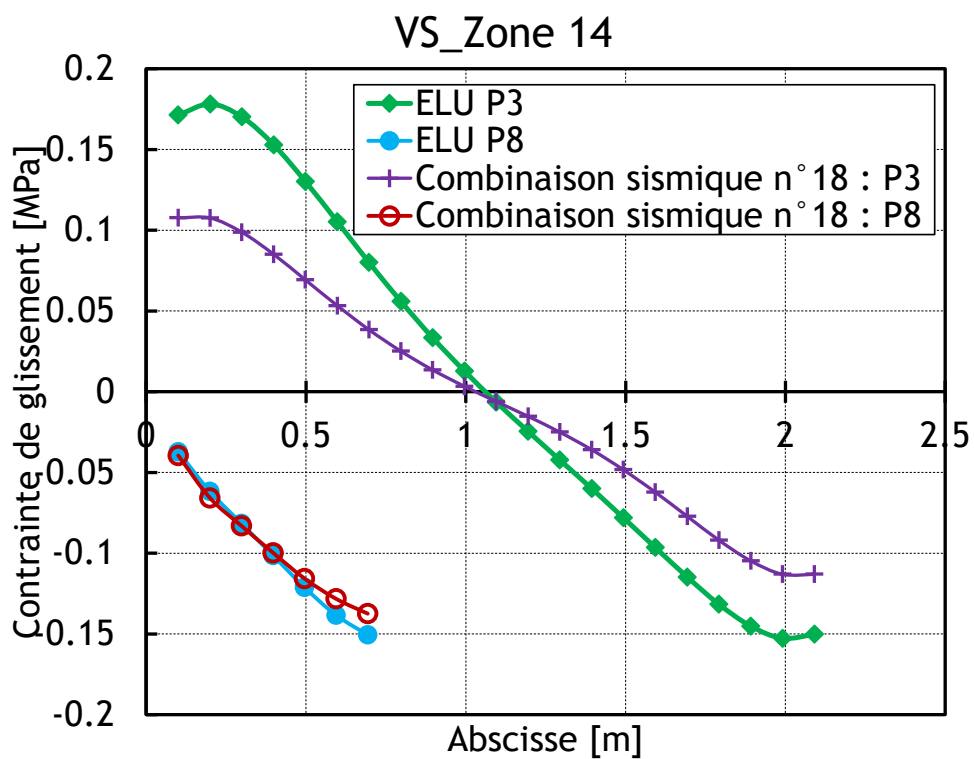


Figure 65 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 3 et 8 en zone 14 du niveau VS.

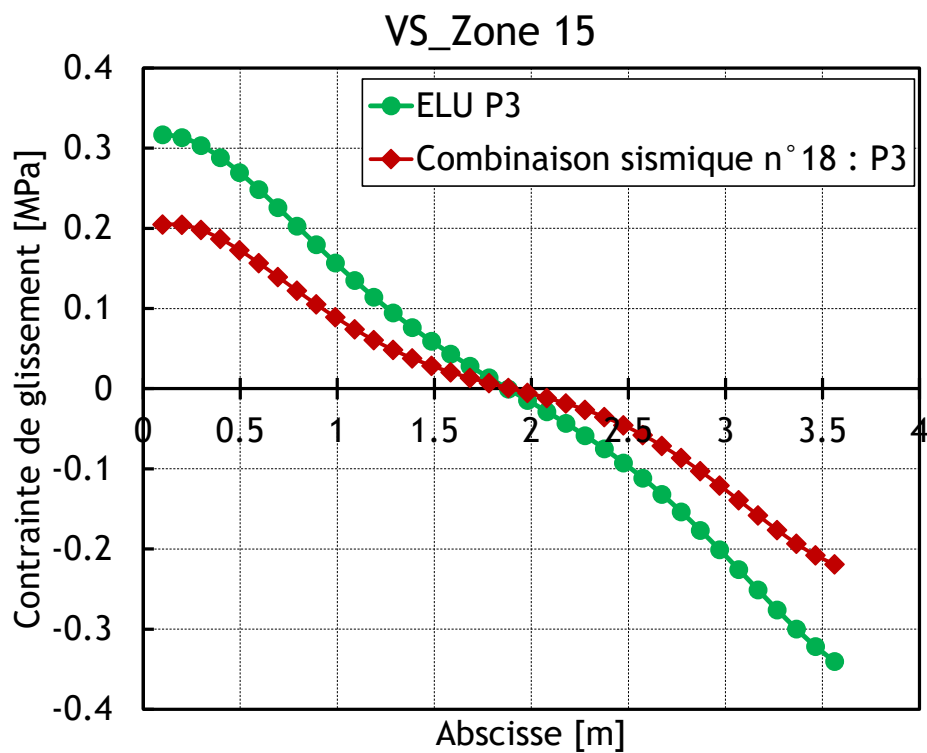


Figure 66 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 3 en zone 15 du niveau VS.

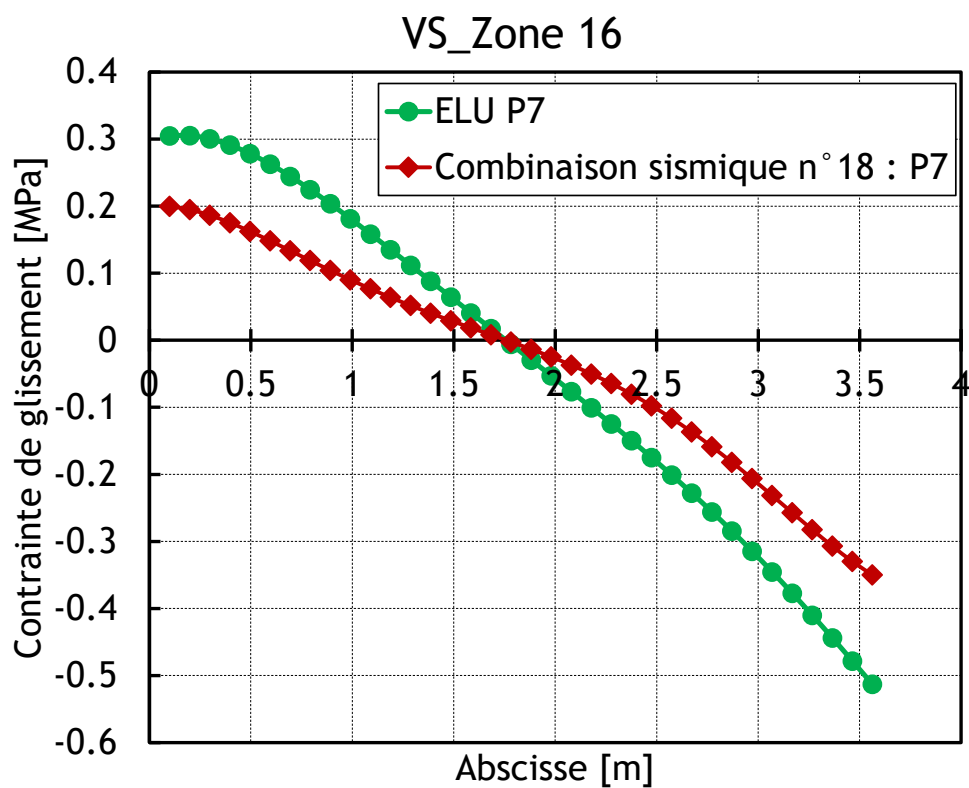


Figure 67 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 7 en zone 16 du niveau VS.

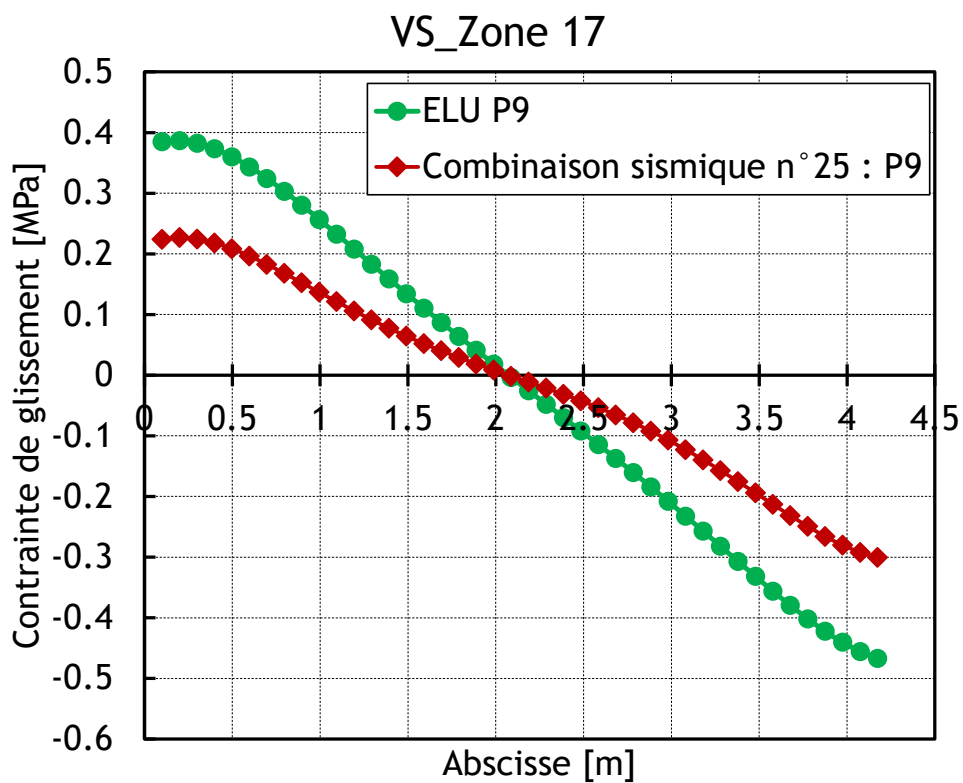


Figure 68 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 9 en zone 17 du niveau VS.

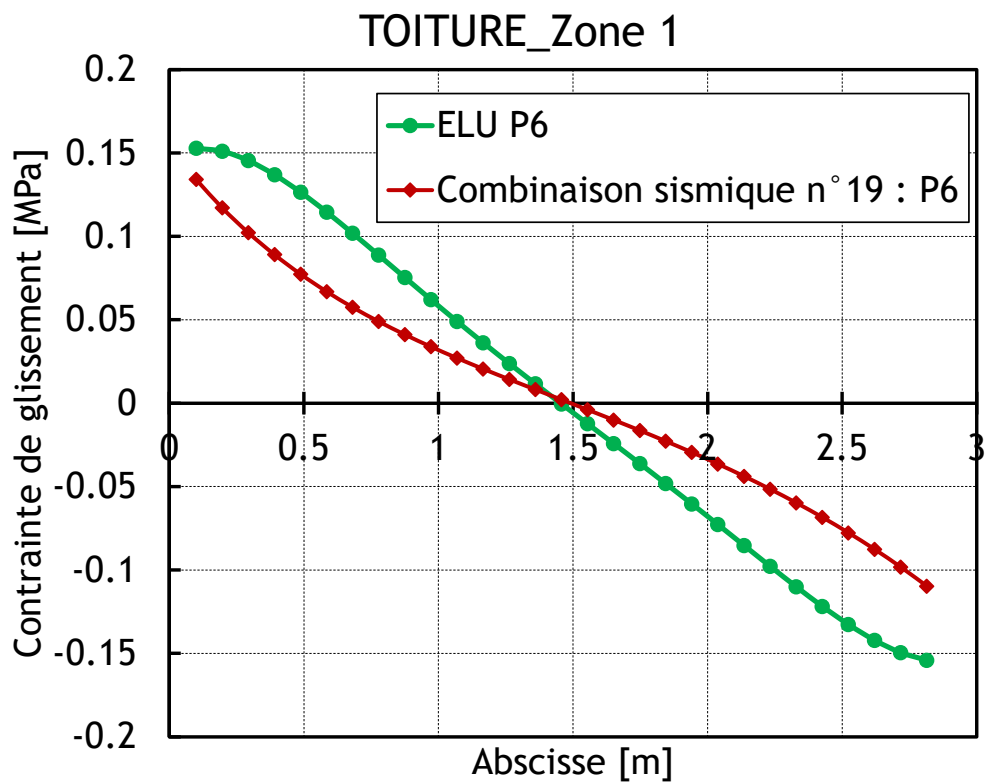


Figure 69 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n°6 en zone 1 du niveau toiture.

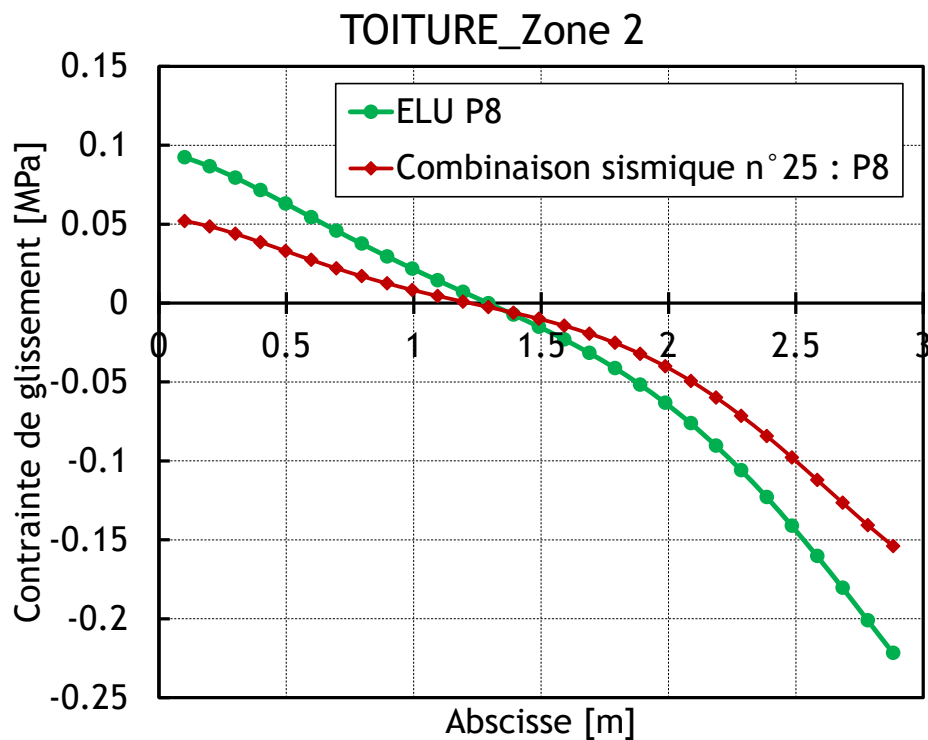


Figure 70 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n°8 en zone 2 du niveau toiture.

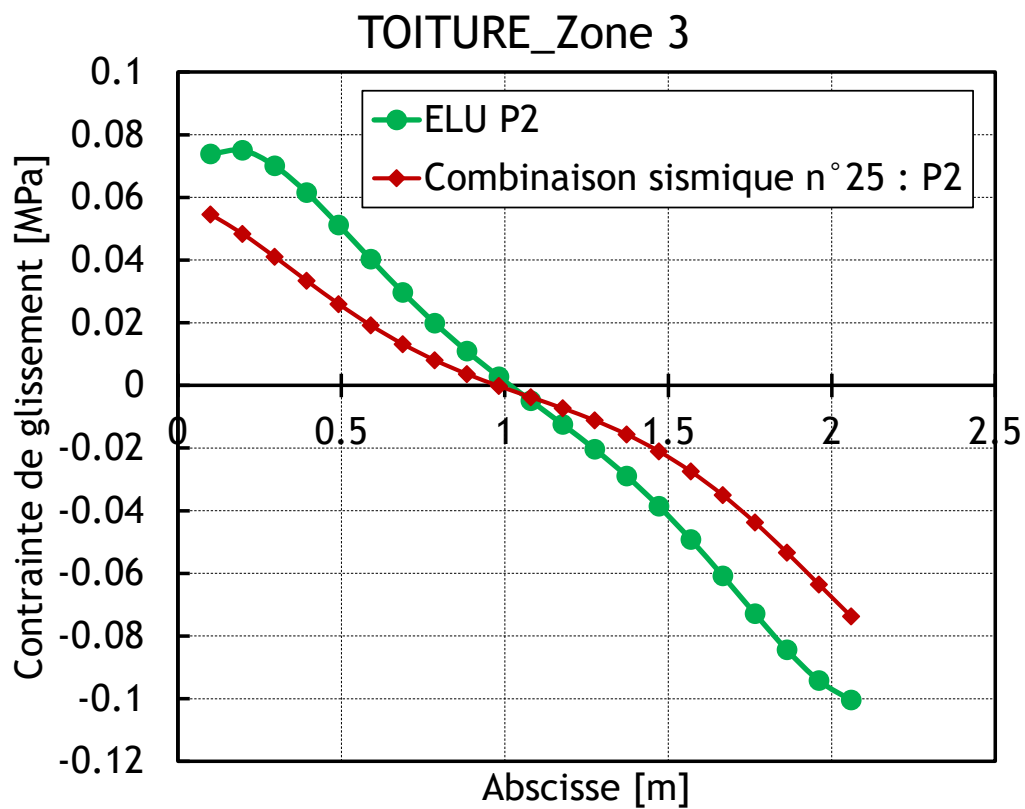


Figure 71 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 2 en zone 3 du niveau toiture.

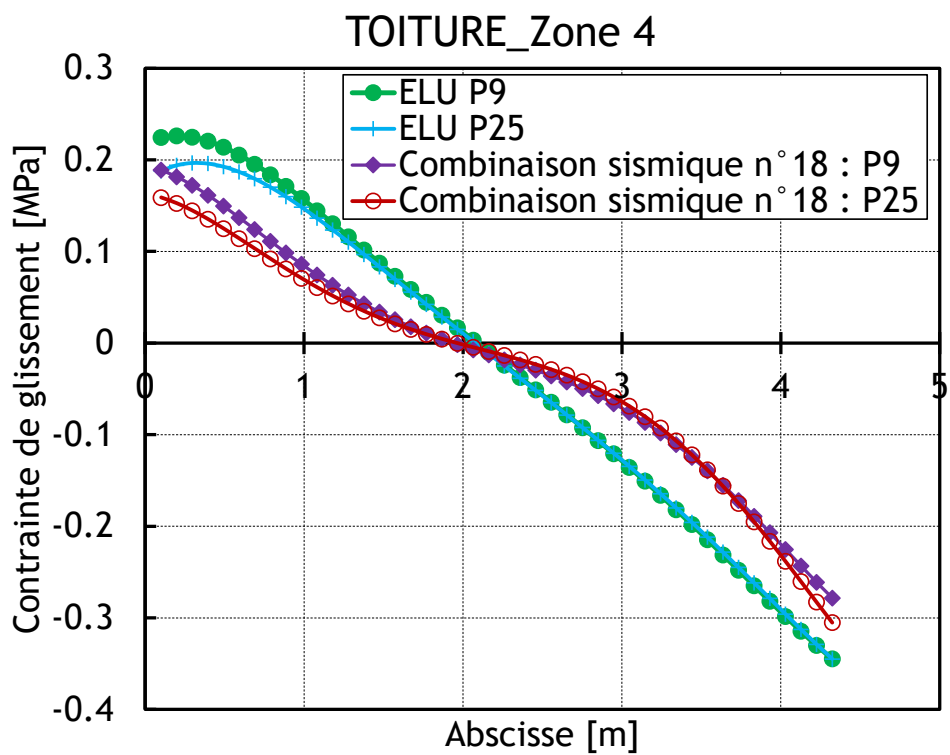


Figure 72 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 9 et 25 en zone 4 du niveau toiture.

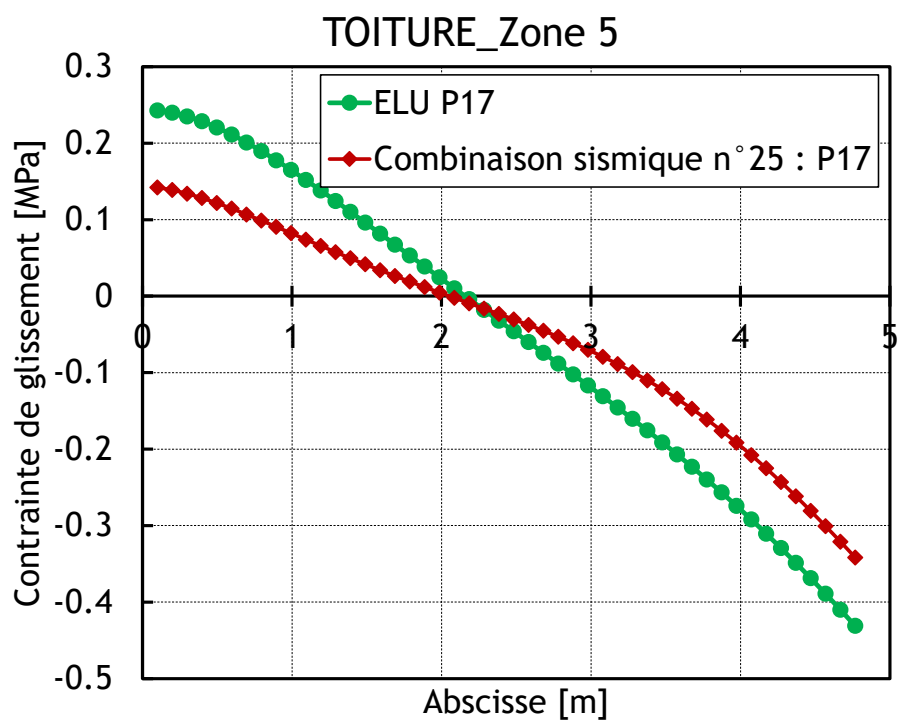


Figure 73 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 17 en zone 5 du niveau toiture.

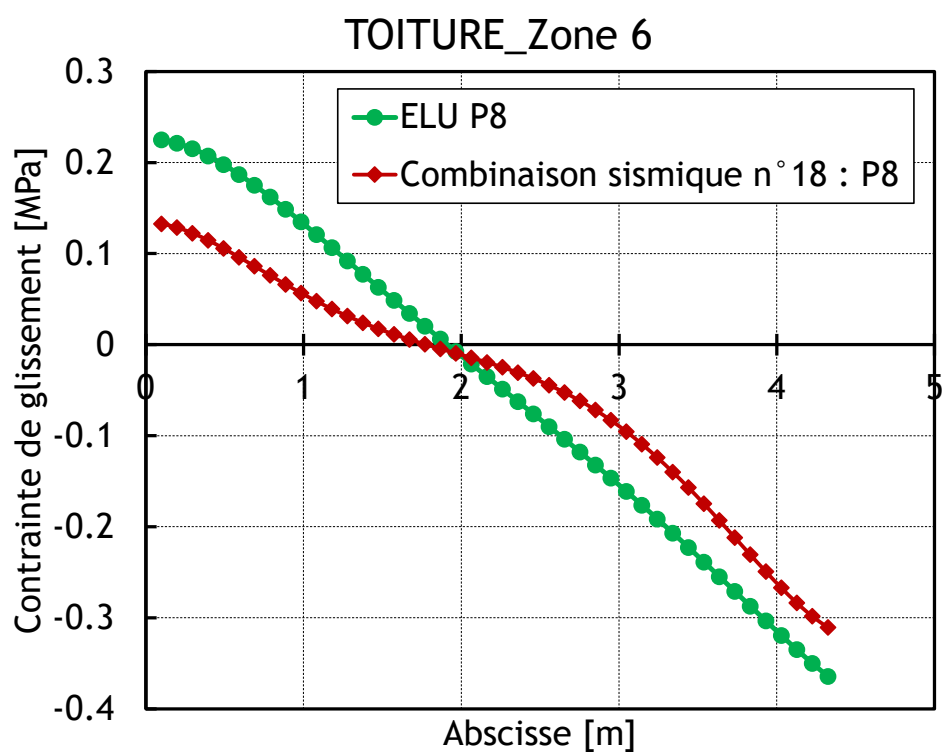


Figure 74 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 8 en zone 6 du niveau toiture.

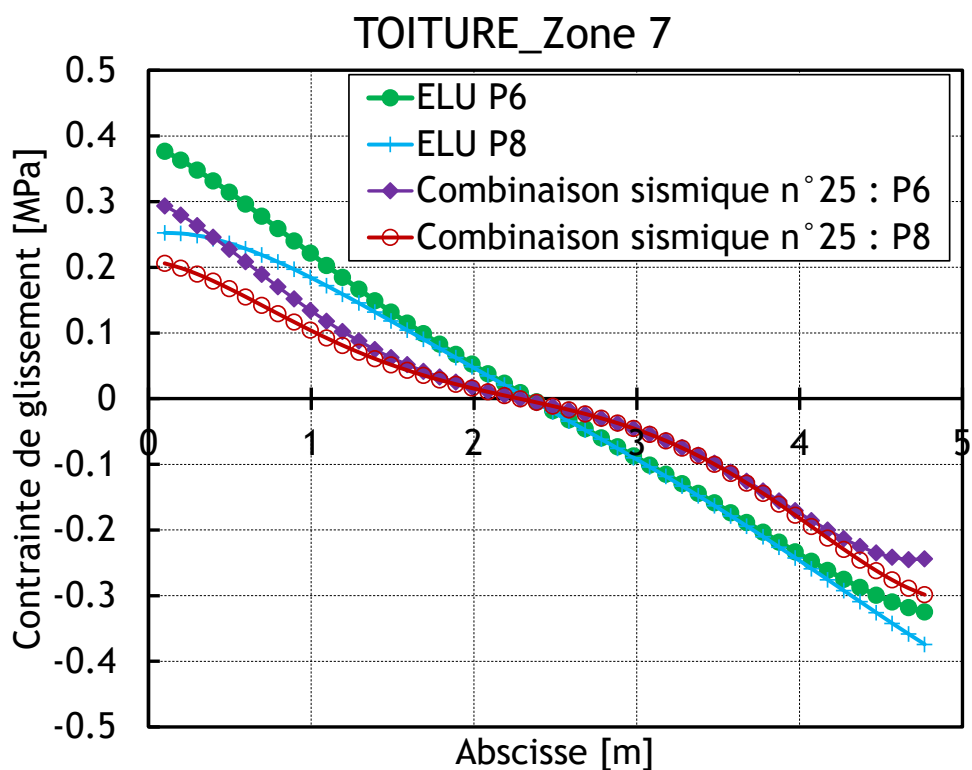


Figure 75 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n°6 et 8 en zone 7 du niveau toiture.

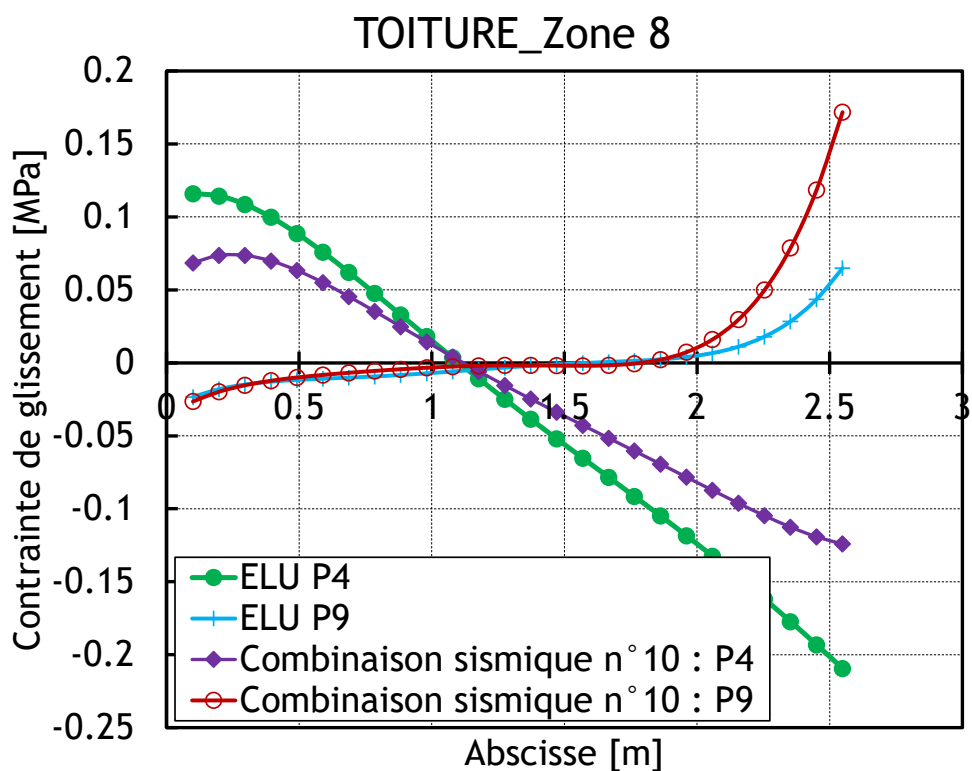


Figure 76 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n°4 et 9 en zone 8 du niveau toiture.

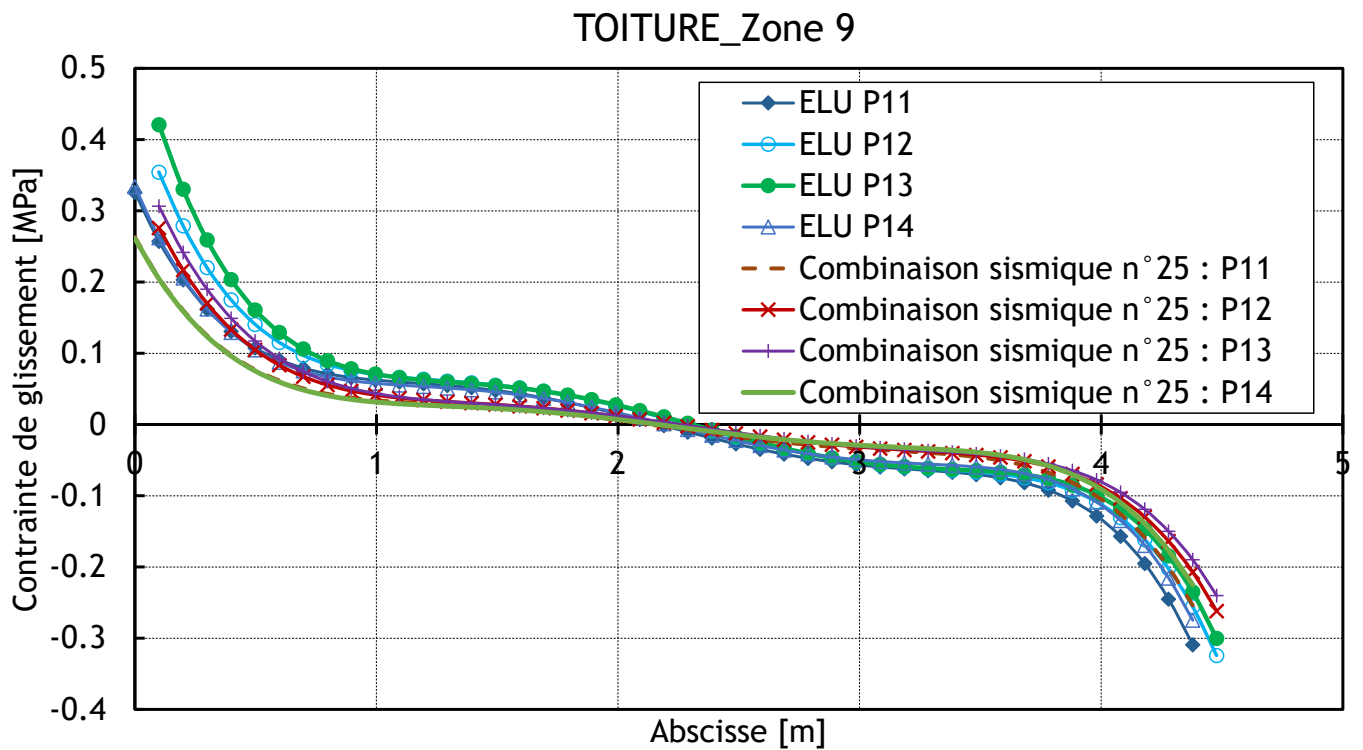


Figure 77 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n°11, 12, 13 et 14 en zone 9 du niveau toiture.

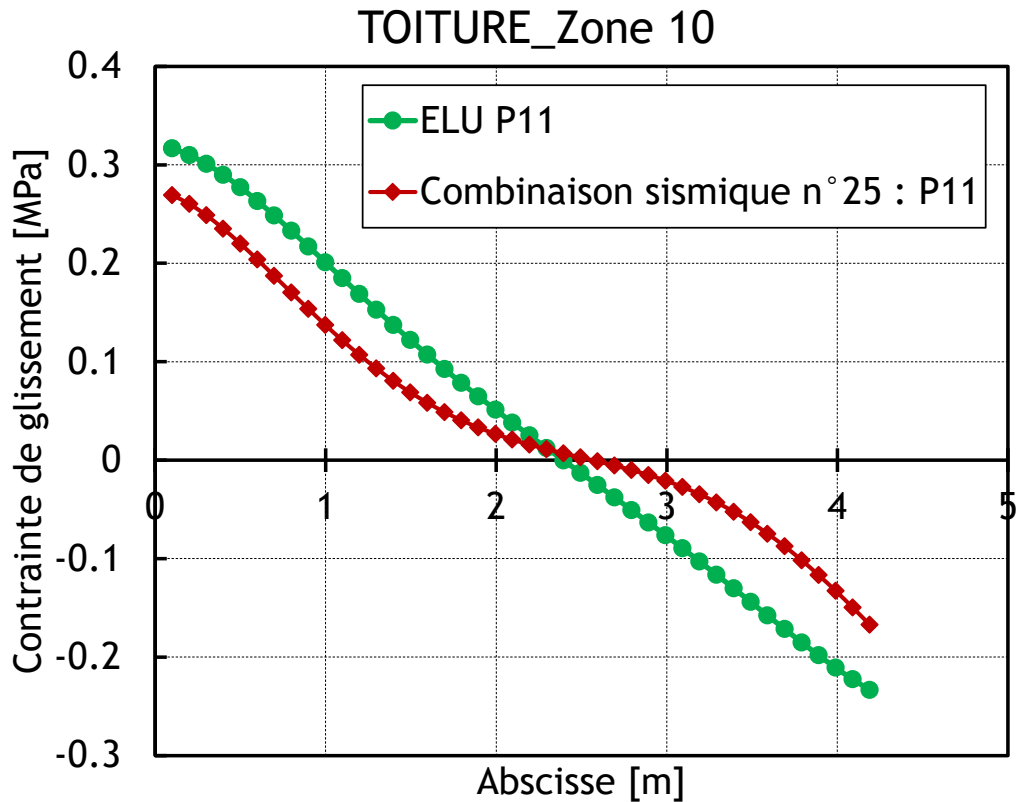


Figure 78 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n°11 en zone 10 du niveau toiture.

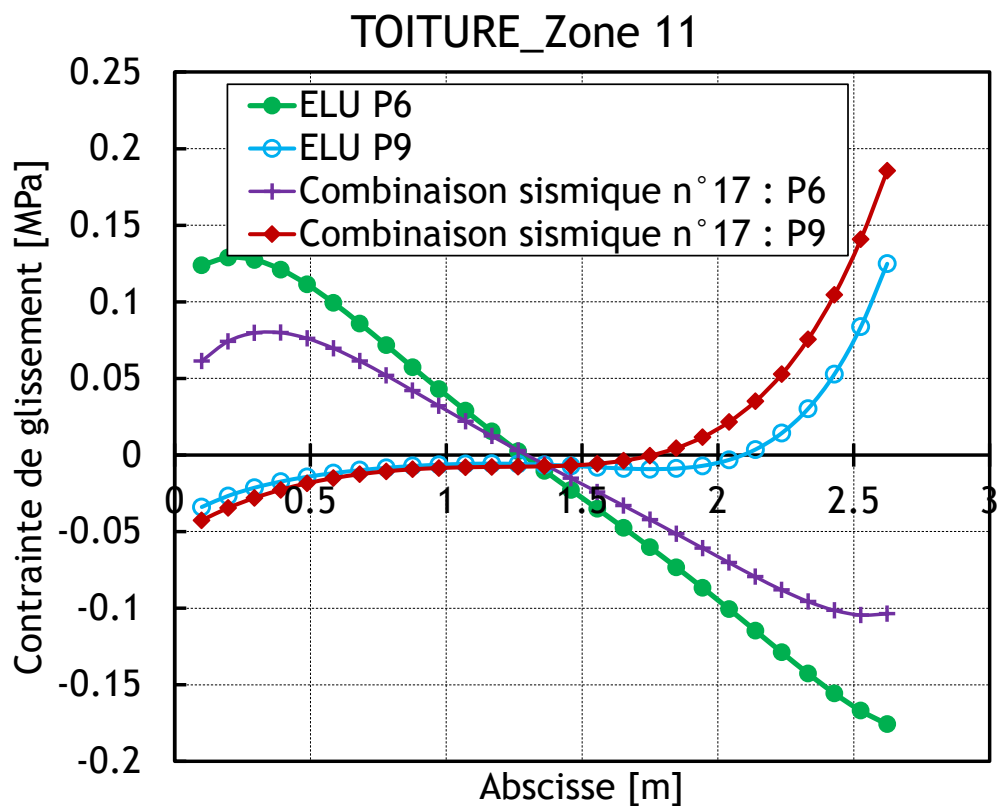


Figure 79 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 6 et 9 en zone 11 du niveau toiture.

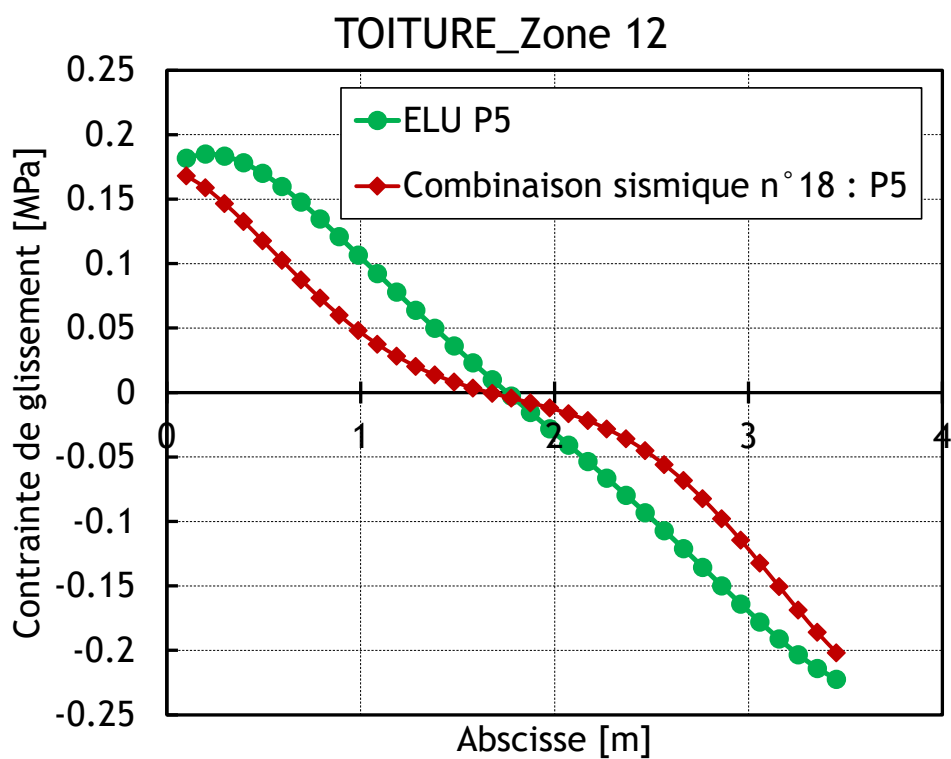


Figure 80 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 5 en zone 12 du niveau toiture.

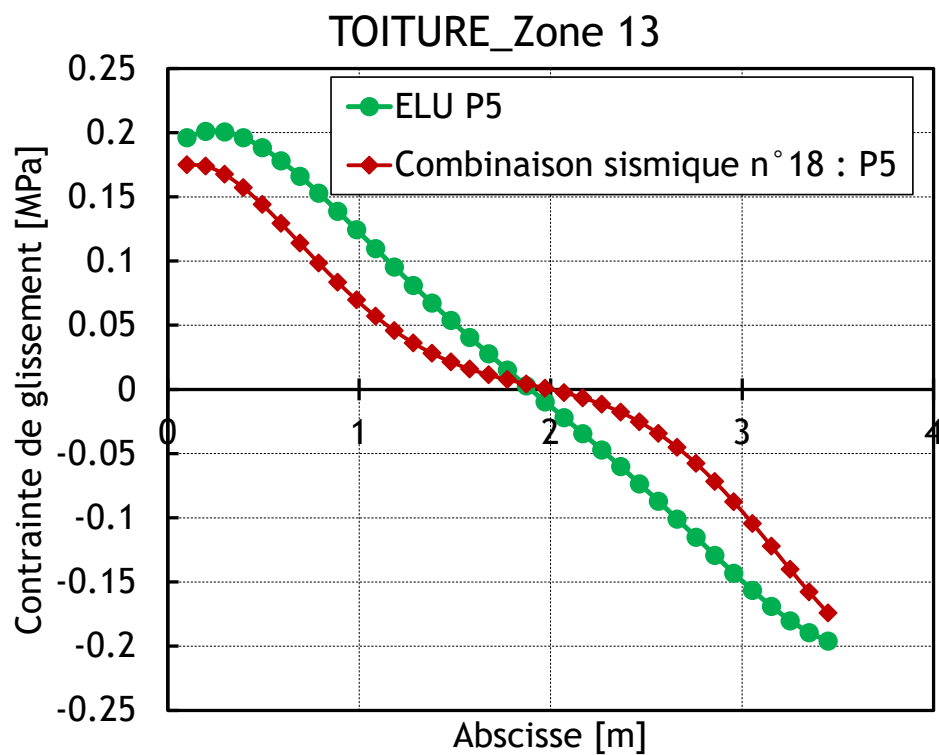


Figure 81 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n°5 en zone 13 du niveau toiture.

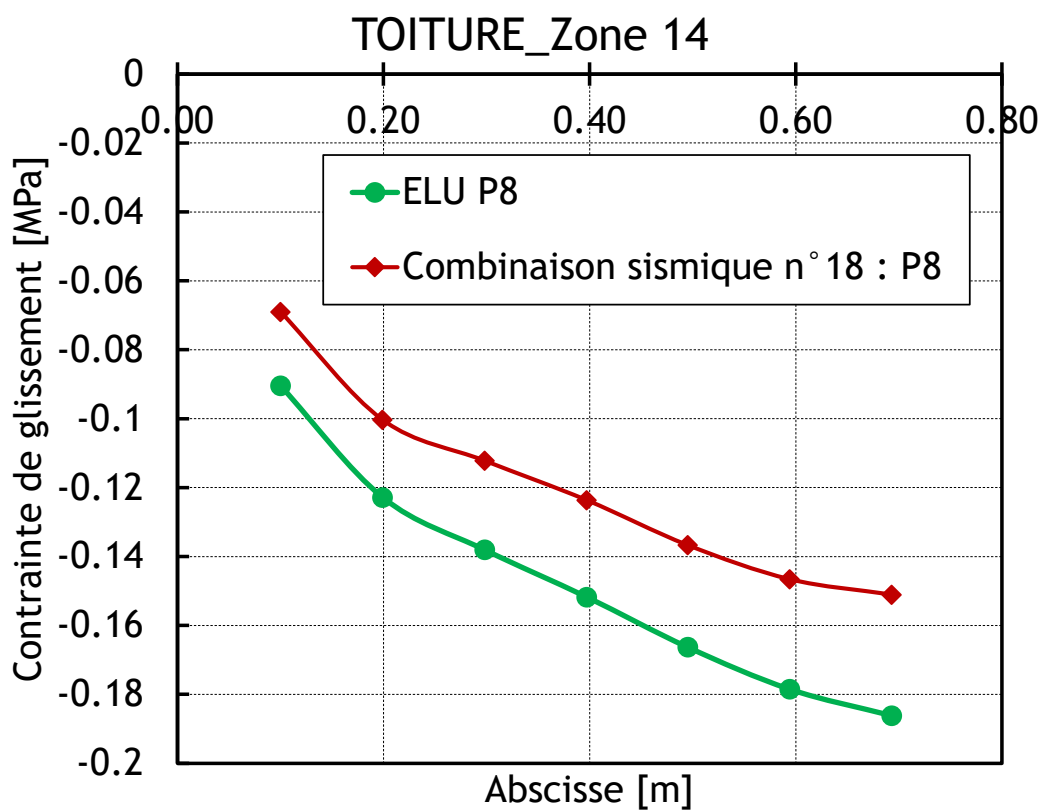


Figure 82 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n°8 en zone 14 du niveau toiture.

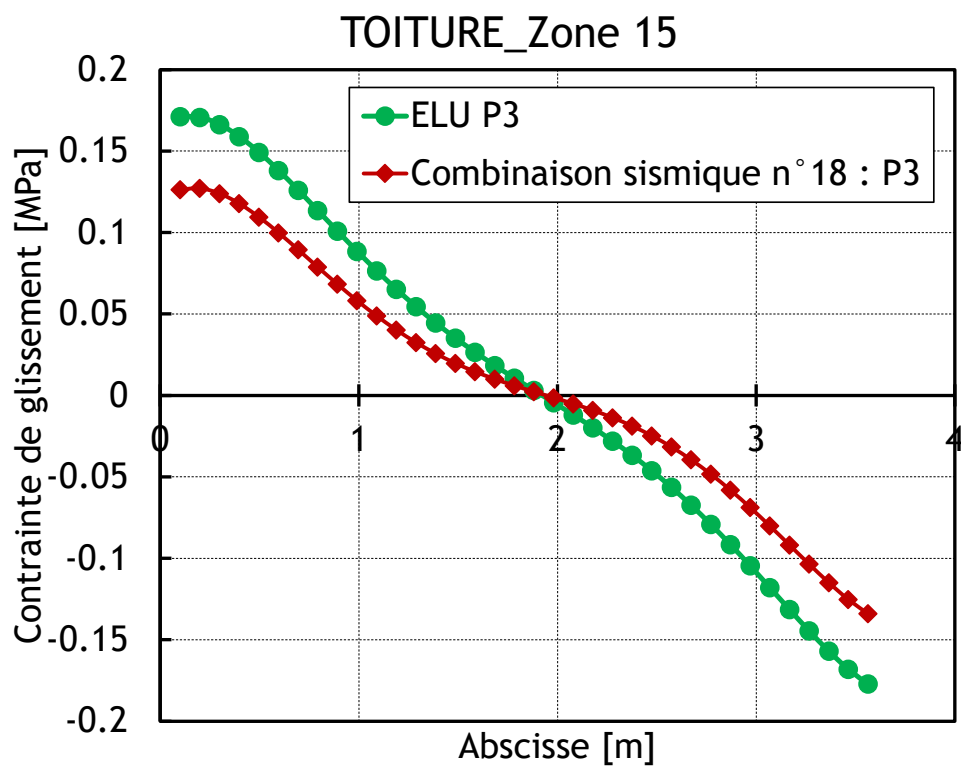


Figure 83 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 3 en zone 15 du niveau toiture.

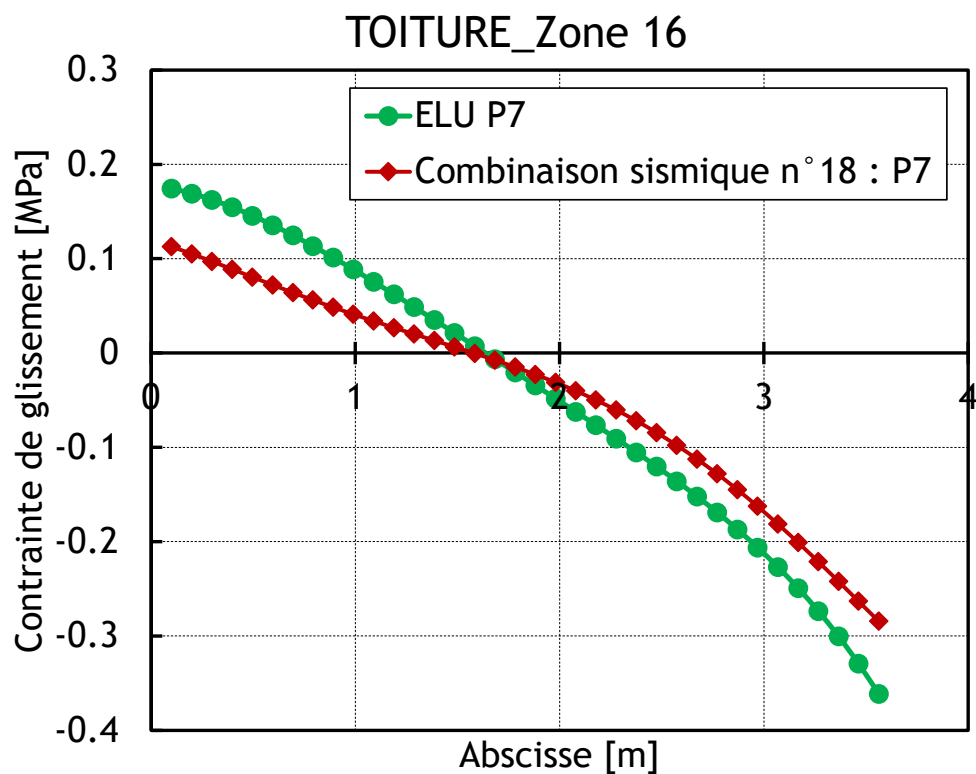


Figure 84 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 7 en zone 16 du niveau toiture.

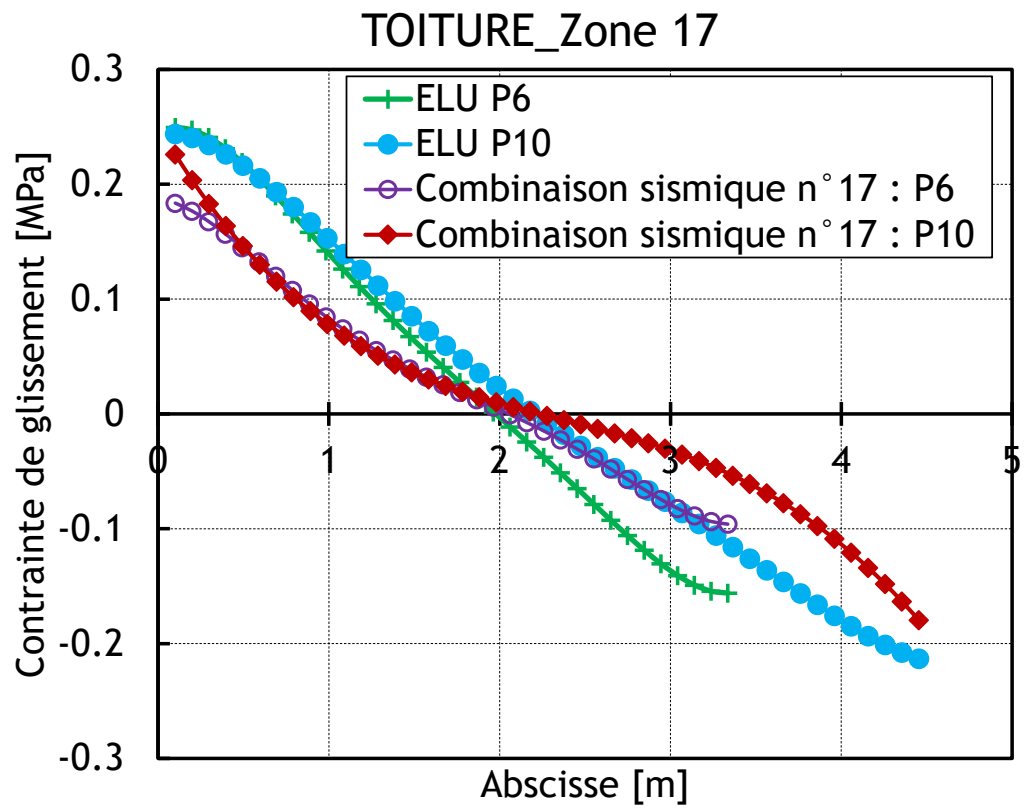


Figure 85 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 6 et 10 en zone 17 du niveau toiture.

Annexe 3. Détermination de l'excentricité structurale

L'excentricité structurale, pour les deux niveaux et pour les deux directions x et y, est calculée selon les règles de NF EN 1998-1, §4.2.3.2 (6) et (7). Les détails de calcul sont présentés ci-dessous :

Le centre de masse (CM) du niveau est déterminé via la relation suivante :

$$x_{CM} = \frac{\sum x_i \times M_i}{\sum M_i}$$

$$y_{CM} = \frac{\sum y_i \times M_i}{\sum M_i}$$

Le centre de rigidité (CR) est déterminé par l'équation d'équilibre des moments (moments statiques des raideurs flexionnelles des éléments latéraux primaires) :

$$x_{CR} = \frac{\sum x_i \times E_i I_{xi}}{\sum E_i I_{xi}}$$

$$y_{CR} = \frac{\sum y_i \times E_i I_{yi}}{\sum E_i I_{yi}}$$

Avec :

I_{xi} est le moment quadratique autour de l'axe principal x de l'élément structural primaire n°i ;

I_{yi} est le moment quadratique autour de l'axe principal y de l'élément structural primaire n°i.

x_i et y_i sont les coordonnées du centre de gravité de l'élément structural primaire n°i

Les rayons de torsion r_x et r_y sont calculés par les relations suivantes :

$$r_x = \sqrt{\frac{\sum ((x_i - x_{CR})^2 E_i I_{yi} + (y_i - y_{CR})^2 E_i I_{xi})}{\sum E_i I_{yi}}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{\sum ((x_i - x_{CR})^2 E_i I_{yi} + (y_i - y_{CR})^2 E_i I_{xi})}{\sum E_i I_{xi}}}$$

Le rayon de giration ℓ_s de la masse du plancher est calculé via la relation suivante :

$$\ell_s = \sqrt{\frac{J_z}{\sum M_i}}$$

Où :

J_z est le moment d'inertie polaire de la masse du plancher.

Les résultats de ce calcul sont présentés ci-dessous :

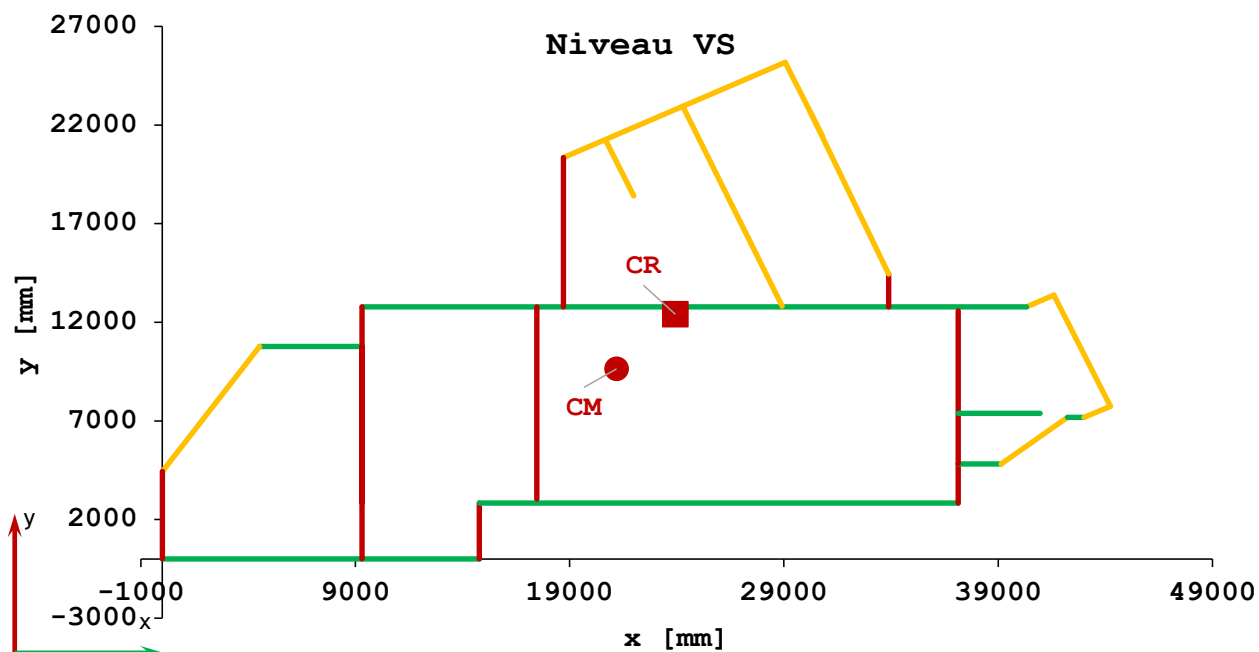


Figure 86 : Positions du centre de rigidité et du centre de masse du niveau VS

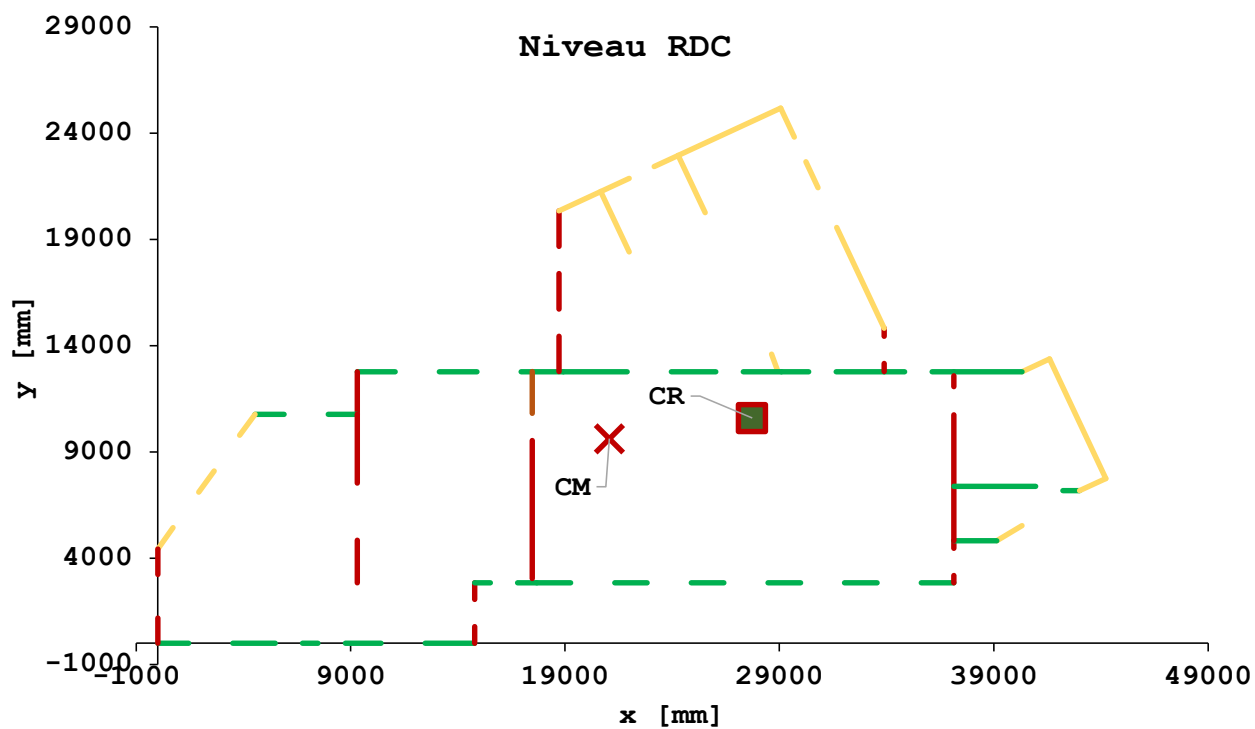


Figure 87 : Positions du centre de rigidité et du centre de masse du niveau toiture

Niveau	Masse totale [kg]	Plancher		Centre de Rigidité CR		Excentricité Structurale e_0		Rayons de torsion	
		X_{CMi} [mm]	Y_{CMi} [mm]	X_{CRi} [mm]	Y_{CRi} [mm]	e_{0x} [mm]	e_{0y} [mm]	r_x [mm]	r_y [mm]
VS	396073.45	21188.93	9635.51	23928.55	12402.12	2739.62	2766.61	5239.00	17209.78
Toiture	264763.14	21069.61	9623.93	27734.29	10594.89	6664.69	970.95	12067.01	8917.05

e_{0x}/r_x [-]	e_{0y}/r_y [-]	Moment d'inertie polaire du plancher J_z [kg.mm ²]	Rayon de giration massique du plancher I_s [mm]	r_x/I_s [-]	r_y/I_s [-]
0.523	0.161	4.50816E+13	10668.70934	0.491	1.613
0.552	0.109	3.29934E+13	11163.09847	1.081	0.799

Tableau 33 : Calcul des excentricités structurales

Index des figures

Figure 1 : Vue en plan des fondations.....	11
Figure 2 : Plan de pose - Vue en plan identique pour le niveau VS et la toiture.....	12
Figure 3 : Vue 3D de la géométrie du bâtiment modélisé.....	12
Figure 4 : Dénomination des niveaux des planchers	14
Figure 5 : Zonages pour les deux planchers de l'établissement scolaire	15
Figure 6 : Exemple de spectre de calcul pour les composantes horizontales de l'action sismique : accélération VS période avec $q=2.5$, $T_B=0.08$ s., $T_C=0.45$ s., $T_D=1.25$ s.	16
Figure 7 : Mode fondamentale de translation suivant Y avec une forte torsion ($f = 12.627$ Hz).....	17
Figure 8 : Mode fondamental suivant X ($f = 13.49$ Hz).....	18
Figure 9 : Schéma permettant de déterminer la contrainte de glissement longitudinale entre une poutrelle et la table de compression.....	19
Figure 10 : Détails de la géométrie de la poutrelle et du montage des planchers à poutrelles-entrevous du bâtiment étudié.	19
Figure 11 : Blocage de la tête de poutrelle dans le sens transversal. Celui-ci est assuré par la dalle de compression qui agit comme une butée contre la poutrelle.	20
Figure 12 : Emplacement des poutrelles les plus sollicitées sous les charges ELU et les combinaisons sismiques.	20
Figure 13 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 5, 6 et 7 en zone 7 du VS (poutrelles les plus sollicitées).....	22
Figure 14 : Emplacement des poutrelles P6 et P7 de la zone 1	23
Figure 15 : Emplacement des poutrelles P4 et P8 de la zone 2	24
Figure 16 : Emplacement de la poutrelle P2 de la zone 3.....	24
Figure 17 : Emplacement des poutrelles P9 et P25 de la zone 4	25
Figure 18 : Emplacement des poutrelles P8, P9, P10, P16, P17 et P18 de la zone 5.....	26
Figure 19 : Emplacement de la poutrelle P8 de la zone 6.....	27
Figure 20 : Emplacement des poutrelles P5, P6, P7 et P8 de la zone 7	27
Figure 21 : Emplacement des poutrelles P4 et P9 de la zone 8	28
Figure 22 : Emplacement des poutrelles P11, P12, P13 et P14 de la zone 9	29
Figure 23 : Emplacement des poutrelles P11 et P12 de la zone 10	30
Figure 24 : Emplacement des poutrelles P6 et P9 de la zone 11.....	31
Figure 25 : Emplacement des poutrelles P5 et P6 de la zone 12	31
Figure 26 : Emplacement de la poutrelle P5 de la zone 13.....	32
Figure 27 : Emplacement des poutrelles P3 et P8 de la zone 14	33
Figure 28 : Emplacement de la poutrelle P3 de la zone 15.....	34
Figure 29 : Emplacement de la poutrelle P7 de la zone 16.....	35
Figure 30 : Emplacement des poutrelles P6, P9 et P10 de la zone 17	35
Figure 31 : Découpage des liaisons murs-plancher	37
Figure 32 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 1 à 4)	40
Figure 33 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 5 à 8)	42
Figure 34 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 9 à 11).....	43
Figure 35 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau VS (zones 12 à 17).....	44
Figure 36 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 1 à 4).....	45
Figure 37 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 5 à 8).....	46
Figure 38 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 9 à 14)	47
Figure 39 : Résultats des tirants longitudinaux au niveau toiture (zones 15 à 17)	48

Figure 40 : Résultats des tirants transversaux au niveau VS (zones 1 à 7)	50
Figure 41 : Résultats des tirants transversaux au niveau VS (zones 8 à 17)	51
Figure 42 : Résultats des tirants transversaux au niveau toiture (zones 1 à 6).....	52
Figure 43 : Résultats des tirants transversaux au niveau toiture (zones 7 à 17)	53
Figure 44 : Présence de décrochés avec des angles saillants ou des liaisons de murs en T	55
Figure 45: Exemple d'une surface d'un mètre carré, où les efforts sur deux facettes de la table de compression sont extraits.	56
Figure 46 : Sommation de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ pour chaque table de compression sous le séisme de direction X : (a) Tables de compression de deux Planchers (VS et toiture), (b) Tables de compression du plancher au niveau VS et (c) Tables de compression du plancher au niveau toiture. Valeur maximale de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ obtenue au niveau VS (liaison : table de compression/mur de façade)	58
Figure 47 : Sommation de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ pour chaque table de compression sous le séisme de direction Y : (a) Tables de compression de deux Planchers (VS et toiture), (b) Tables de compression du plancher au niveau VS et (c) Tables de compression du plancher au niveau toiture. Valeur maximale de $\sigma_{xx} + \sigma_{yy}$ obtenue au niveau toiture (liaison : table de compression/mur de refend)	59
Figure 48 : Emplacement des sections de planchers utilisées pour la vérification de la fonction diaphragme.	60
Figure 49 : Renforcement complémentaires dans les zones de jonctions et des intersections des murs.	75
Figure 50 : Conditions sur les hauteurs des niveaux	77
Figure 51 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 6 et 7 en zone 1 du niveau VS.....	85
Figure 52 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 4 en zone 2 du niveau VS.....	85
Figure 53 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 2 en zone 3 du niveau VS.....	86
Figure 54 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 9 en zone 4 du niveau VS.....	86
Figure 55 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 8, 9 et 10 en zone 5 du niveau VS.....	87
Figure 56 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 16, 17 et 18 en zone 5 du niveau VS.....	87
Figure 57 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 8 en zone 6 du niveau VS.....	88
Figure 58 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 5, 6 et 7 en zone 7 du niveau VS.....	88
Figure 59 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 4 et 9 en zone 8 du niveau VS.....	89
Figure 60 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 12, 13 et 14 en zone 9 du niveau VS.....	89
Figure 61 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 11 et 12 en zone 10 du niveau VS.....	90
Figure 62 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 6 en zone 11 du niveau VS.....	90
Figure 63 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 5 et 6 en zone 12 du niveau VS.....	91
Figure 64 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 5 en zone 13 du niveau VS.....	91
Figure 65 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 3 et 8 en zone 14 du niveau VS.....	92
Figure 66 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 3 en zone 15 du niveau VS.....	92
Figure 67 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 7 en zone 16 du niveau VS.....	93
Figure 68 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 9 en zone 17 du niveau VS.....	93
Figure 69 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 6 en zone 1 du niveau toiture.	94
Figure 70 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 8 en zone 2 du niveau toiture.	94
Figure 71 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 2 en zone 3 du niveau toiture.	95
Figure 72 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 9 et 25 en zone 4 du niveau toiture.	95

Figure 73 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 17 en zone 5 du niveau toiture.....	96
Figure 74 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 8 en zone 6 du niveau toiture.....	96
Figure 75 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 6 et 8 en zone 7 du niveau toiture.....	97
Figure 76 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 4 et 9 en zone 8 du niveau toiture.....	97
Figure 77 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 11, 12 ,13 et 14 en zone 9 du niveau toiture.....	98
Figure 78 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 11 en zone 10 du niveau toiture.....	98
Figure 79 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 6 et 9 en zone 11 du niveau toiture.....	99
Figure 80 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 5 en zone 12 du niveau toiture.....	99
Figure 81 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 5 en zone 13 du niveau toiture.....	100
Figure 82 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 8 en zone 14 du niveau toiture.....	100
Figure 83 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 3 en zone 15 du niveau toiture.....	101
Figure 84 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse de la poutrelle n° 7 en zone 16 du niveau toiture.....	101
Figure 85 : Contrainte de glissement en fonction de l'abscisse des poutrelles n° 6 et 10 en zone 17 du niveau toiture.....	102
Figure 86 : Positions du centre de rigidité et du centre de masse du niveau VS.....	104
Figure 87 : Positions du centre de rigidité et du centre de masse du niveau toiture	104

Index des tableaux

Tableau 1 : Epaisseur du plancher et charges à considérer en fonction du niveau du bâtiment.....	14
Tableau 2 : Charges gravitaires considérées pour les différents calculs réalisés.....	15
Tableau 3 : Contraintes de glissement à l'ELU statique et en sismique au droit des poutrelles par zone et par niveau	22
Tableau 4 : Valeurs maximales des efforts de traction et compression dans les tirants longitudinaux et transversaux pour les deux planchers (VS et toiture).....	54
Tableau 5 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la Zone 10 du plancher située au niveau VS – zone 10 (liaison : table de compression/mur de façade).	60
Tableau 6 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 10 du plancher située au niveau toiture – zone 10 (liaison : table de compression/mur de façade).	61
Tableau 7 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_1 du plancher située au niveau VS – zone 17 (liaison : table de compression/mur de refend).	61
Tableau 8 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_1 du plancher située au niveau toiture – zone 17 (liaison : table de compression/mur de refend).	62
Tableau 9 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_1 du plancher située au niveau VS – zone 4.	62
Tableau 10 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_1 du plancher située au niveau toiture – zone 4.	63
Tableau 11 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_2 du plancher située au niveau VS – zone 4.	63
Tableau 12 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_2 du plancher située au niveau toiture – zone 4.	64
Tableau 13 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_3 du plancher située au niveau VS – zone 4.	64
Tableau 14 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_3 du plancher située au niveau toiture – zone 4.	65
Tableau 15 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_4 du plancher située au niveau VS – zone 4.	65
Tableau 16 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 4_4 du plancher située au niveau toiture – zone 4.	66
Tableau 17 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_1 du plancher située au niveau VS – zone 5.	66
Tableau 18 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_1 du plancher située au niveau toiture – zone 5.	67
Tableau 19 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_2 du plancher située au niveau VS – zone 5.	67
Tableau 20 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_2 du plancher située au niveau toiture – zone 5.	68
Tableau 21 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_3 du plancher située au niveau VS – zone 5.	68
Tableau 22 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 5_3 du plancher située au niveau toiture – zone 5.	69
Tableau 23 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_1 du plancher située au niveau VS – zone 7.	69
Tableau 24 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_1 du plancher située au niveau toiture – zone 7.	70

Tableau 25 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_2 du plancher située au niveau VS – zone 7.	70
Tableau 26 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 7_2 du plancher située au niveau toiture – zone 7.	71
Tableau 27 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 9 du plancher située au niveau VS – zone 9.	71
Tableau 28 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 9 du plancher située au niveau toiture – zone 9.	72
Tableau 29 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 16 du plancher située au niveau VS – zone 16.	72
Tableau 30 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 16 du plancher située au niveau toiture – zone 16.	73
Tableau 31 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_2 du plancher située au niveau VS – zone 17.	73
Tableau 32 : Calcul des sections des armatures dans le cadre de la vérification de la fonction diaphragme pour la zone 17_2 du plancher située au niveau toiture – zone 17.	74
Tableau 33 : Calcul des excentricités structurales.	105

RAPPORT

ÉTUDES ET RECHERCHES

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES

IBRAHIM ALACHEK
MATTHIEU SCALLIET



/ Cerib - CS 10010
28233 Épernon cedex

/ 02 37 18 48 00
cerib@cerib.com

ÉTUDE NUMÉRIQUE DES PLANCHERS POUTRELLES ET ENTREVOUS SOUS SOLlicitation SISMique D'UN ÉTABLISSEMENT SCOLAIRE

L'objectif de cette étude est de réaliser les vérifications requises par la norme NF EN 1998-1 pour les planchers poutrelles/entrevous sur un établissement scolaire à un seul étage représentatif d'un nouveau domaine d'emploi envisagé. Ce nouveau domaine permettra au Bureau d'Études Structures de s'affranchir de réaliser des vérifications sismiques concernant le monolithisme, la fonction tirant-buton, et la fonction diaphragme des planchers poutrelles/entrevous, moyennant la mise en place de dispositions constructives forfaitaires permettant de satisfaire aux prescriptions de la norme NF EN 1998-1 et de son annexe nationale. Les résultats présentés dans ce rapport ont contribué à définir des dispositions forfaitaires pour des bâtiments similaires, dont la géométrie peut être comparée à celle de l'établissement examiné.

NUMERICAL STUDY OF BEAM/BLOCK FLOORS SUBJECTED TO SEISMIC LOADING IN A SINGLE-STORY EDUCATIONAL FACILITY

The purpose of this study is to conduct the necessary checks as required by the standard NF EN 1998-1 for beam/ block floors in a single-story educational facility, representative of a new field of application proposed to expand the scope of the CMPI-EC8 Z3/Z4 guide. This innovative field will enable the Structural Engineering Office to waive the usual seismic verifications required for beam/ block floors regarding monolithism, tie and strut joints, and diaphragm action, by implementing standardized construction measures that comply with the requirements of the NF EN 1998-1 standard and its national annex. The findings of this report have helped to establish these measures for similar buildings with a geometry comparable to that of the studied establishment.