SBB CFF FFS

12.101.
06

DE-OCF
N° de ligne: **150**
Désignation: **Lausanne – Genève-Aéroport**
km: **4.700 – 5.600**

Canton: **Vaud**
Communes: **Bussigny, Crissier, Ecublens et Renens**

Projet: **EA 35 – Renens : Modification tête Ouest**
N° ISP: 1161163

Phase: **Procédure d'approbation des plans**

Auteurs:

Suppléance du maître d'ouvrage CFF		Auteur du projet	
Départe-ment/UO:	I-AEP-LEM-MOR-MPJ	Entreprise:	ATB SA
Nom:	Frédéric Restani	Nom:	Christian Simonin
Date:	05.10.2026	Date:	05.10.2026
Signature:		Signature:	

Mur de guidage – Note de calcul

Version A 05.10.26 RP Version PAP

CFF SA, Infrastructure, Projets d'aménagement et de renouvellement, Renens Rue de la Gare de Triage 7, CH – 1020 Renens

Le présent document est protégé par le droit d'auteur. Toute utilisation à des fins commerciales requiert une autorisation préalable expresse.

EA2035 Renens : modification Tête Ouest, ligne 150, km 3.982 – 6.215
Murs de guidage et vérification des piles existantes

Numéro ISP

Phase de projet	Avant-projet	Projet de construction/PAP	Exécution	Ouvrage exécuté
		x		

Auteur du projet :

Groupement InfraW
ATB SA et Monod – Piguet + Associés Ingénieurs Conseils SA

Journal des modifications :

Index	Auteur	Visa	Contrôle	Visa	Validation	Visa
V0	RP	-	19.05.26	CS	19.05.26	CS
V1	RP	-	29.06.26	CS	29.06.26	CS
V2	RP	-	13.07.26	CS	13.07.26	CS
V3	RP	-	17.08.26	CS	17.08.26	CS
V4	RP	-	08.09.26	CS	08.09.26	CS
V5	RP	-	22.09.26	CS	22.09.26	CS
V6	RP	-	05.10.26	CS	05.10.26	CS

Calculs statiques

Le document doit être vérifié et complété à chaque phase de projet considérée. Les modifications doivent être effectuées directement dans le document original selon le code de couleurs suivant :

- Avant-projet : noir
- Projet de construction/mise à l'enquête : vert
- Projet d'exécution : rose

Afin de pouvoir identifier les modifications au premier coup d'œil, il convient en outre de remplir la liste des révisions.

Liste des révisions des modifications spécifiques au projet

Chapitre	Modifications
Divers	V1 - 26/06/2026 : Modifications apportées en bleu par rapport à la version V0 du document selon les premières remarques de l'expert.
Divers	V2 - 13/07/2026 : Modifications apportées en bleu par rapport à la version V1 du document selon les premières remarques de l'expert.
Divers	V3 - 17/08/2026 : Modifications apportées en bleu par rapport à la version V2 du document selon les premières remarques de l'expert.
Divers	V4 - 08/09/2026 : Modifications apportées en bleu par rapport à la version V3 du document selon les premières remarques de l'expert.
Divers	V5 - 22/09/2026 : Modifications apportées en bleu par rapport à la version V4 du document selon les premières remarques de l'expert.
Divers	V6 – 05/10/2026 : Modifications apportées en bleu par rapport à la version V5 du document selon les remarques SIOP.

Table des matières

1. Introduction 7
1.1. Description du projet 7
1.2. Etat projeté 7

2. Géométrie, sol de fondation et système statique 8
2.1. Modèle de calcul et système statique 8
2.1.1. Murs de guidage – zone de murs fondés sur semelles 8
2.1.2. Murs de guidage – zone de murs fondés sur pieux 10
2.1.3. Piles de ponts existantes 13
2.2. Sol de fondation 14
2.2.1. Bases de données géotechniques 14

3. Caractéristiques des matériaux 14

4. Actions 14
4.1. Cas de charges pour vérifications des murs de guidage 14
4.2. Cas de charges pour vérifications des piles de ponts existantes 14

5. Vérifications aux états limites de service 15
5.1. Armatures minimales de fissuration 15
5.1.1. Murs de guidage fondés sur semelles – largeur 90 cm 15
5.1.2. Murs de guidage fondés sur pieux – largeur 80 cm 16
5.1.3. Murs de guidage fondés sur pieux – largeur 180 à 250 cm 17
5.1.4. Murs de guidage sur Sorge – largeur 102 cm 18
5.1.5. Butons hors Sorge – Largeur 60 cm 19
5.1.6. Butons sur Sorge – Largeur 40 cm 20

6. Vérifications EL type 2 accidentel 21
6.1. Nouveaux murs de guidage fondés sur pieux 23
6.1.1. Dimensionnement des murs de guidage fondés sur pieux 23
6.1.2. Dimensionnement des pieux 25
6.1.3. Etude des déplacements en cas de choc ferroviaire – zone pieux 27
6.2. Nouveaux murs de guidage fondés sur semelles 29
6.2.1. Murs de guidage côté V501 29
6.2.2. Murs de guidage côté V300 33
6.2.3. Butons 37
6.2.4. Etude des déplacements au cas de choc ferroviaire – zone murs sur semelles 39
6.3. Murs de guidage sur semelles existants 40
6.3.1. Murs de guidage côté V501 40
6.3.2. Murs de guidage côté V300 42
6.3.3. Dimensionnement des éléments de liaison entre murs de guidage existants et rehaussements 43
6.3.4. Dimensionnement des éléments de liaison entre butons existants et rehaussements de butons 44
6.4. Piles de pont 45
6.4.1. Pile 30 – Pont 2 45
6.4.2. Pile 90 – Pont 3b 46

7. Vérifications géotechnique - stabilité du terrain 48
7.1. Vérification au glissement – EL type 3 48

8. Vérifications géotechnique 52
8.1. Rupture du sol – EL type 3 (résistance du terrain) 52
8.2. Vérification de la valeur de ressort horizontal – Appuis surfaciques des semelles 53

8.3. Stabilité de l'ouvrage global – EL type 1 (équilibre global) 56

9. Schémas d'armatures 57
9.1. Murs de guidage sur semelles 57
9.1.1. Murs de guidage sur Sorge – rehaussements – KM 5.539 57
9.1.2. Murs de guidage en zone courante – rehaussements murs et butons – KM 5.553 58
9.1.3. Nouveaux murs de guidage sur semelles - KM 5.642 59
9.2. Murs de guidage sur pieux 60
9.2.1. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.502 60
9.2.2. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.516 61
9.2.3. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.521 62
9.2.4. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.533 63

10. Annexes 64
10.1. Cas de charges – Murs de guidage 64
10.1.1. Charges permanente – poids propre 64
10.1.2. Charges variables – Température (+20°C / Tref) 64
10.1.3. Charges variables – Température (-20°C / Tref) 65
10.1.4. Charges variables – Poussée au repos 65
10.1.5. Charges accidentelles – Choc ferroviaire depuis voie 501 66
10.1.6. Charges accidentelles – Choc ferroviaire depuis voie 300 76
10.2. Cas de charges – Piles de ponts existantes 86
10.2.1. Charges permanentes – poids propre – Pont 2 86
10.2.2. Charges permanentes – poids propre – Pont 3b 86
10.2.3. Charges variables – Température homogène +20°C – Pont 2 87
10.2.4. Charges variables – Température homogène +20°C – Pont 3b 87
10.2.5. Charges variables – Température homogène -20°C – Pont 2 88
10.2.6. Charges variables – Température homogène -20°C – Pont 3b 88
10.2.7. Charges variables – Température non homogène +8°C – Pont 2 89
10.2.8. Charges variables – Température non homogène +8°C – Pont 3b 89
10.2.9. Charges accidentelles – Choc ferroviaire parrallèle aux voies – Pont 2 90
10.2.10. Charges accidentelles – Choc ferroviaire perpendiculaire aux voies – Pont 3b 90
10.2.11. Charges accidentelles – Choc ferroviaire parallèle aux voies – Pont 2 91
10.2.12. Charges accidentelles – Choc ferroviaire perpendiculaire aux voies – Pont 3b 91
10.3. Plans d'armatures 92
10.3.1. Mur de guidage voie 501 – Etape 1 92
10.3.2. Mur de guidage voie 501 – Etape 2 93
10.3.3. Mur de guidage voie 300 94
10.4. Sollicitations – Murs de guidage sur semelle 95
10.4.1. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V501 95
10.4.2. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V501 97
10.4.3. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V501 100
10.4.4. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V501 102
10.4.5. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V501 104
10.4.6. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V300 107
10.4.7. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V300 109
10.4.8. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V300 113
10.4.9. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V300 115
10.4.10. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V300 117
10.4.11. Enveloppe des combinaisons accidentelles – vRz mur V501 120
10.4.12. Enveloppe des combinaisons accidentelles – vRz mur V300 122
10.4.13. Enveloppe des combinaisons accidentelles – vRz entre butons existants et réhaussements de butons 123

10.5. Sollicitations – Murs de guidage sur pieux 125
10.5.1. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V501 125
10.5.2. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V501 126
10.5.3. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V501 127
10.5.4. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V501 128
10.5.5. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V501 129
10.5.6. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V300 130
10.5.7. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V300 131
10.5.8. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V300 132
10.5.9. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V300 133
10.5.10. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V300 134
10.6. Sollicitations – Pile P30 - Pont 2 135
10.6.1. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – MyD- 135
10.6.2. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – nyD 136
10.6.3. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – MxD- 137
10.6.4. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – vyz 138
10.6.5. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – vxz 139
10.7. Sollicitations – Pile P90 - Pont 3b 140
10.7.1. Cas de choc parallèle déterminant – My 140
10.7.2. Cas de choc parallèle déterminant – Mz 140
10.7.3. Cas de choc parallèle déterminant – Nx 141
10.7.4. Cas de choc parallèle déterminant – Vy 142
10.7.5. Cas de choc parallèle déterminant – Vz 143
10.8. Sollicitations – Pile P90 - Pont 3b 144
10.8.1. Cas de choc perpendiculaire déterminant – My 144
10.8.2. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Mz 144
10.8.3. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Nx 145
10.8.4. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Vy 145
10.8.5. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Vz 146
10.9. Vérification – Dimensionnement des pieux (murs de guidage sur pieux) 147
10.9.1. Vérifications interractions (M-N) et (V-T) 147
10.10. Vérification – Pile P30 - Pont 2 148
10.10.1. Prise en compte des excentricités 148
10.10.2. Vérification (M-N) au niveau du choc ferroviaire 149
10.10.3. Vérification effort tranchant au niveau du choc 150
10.10.4. Vérification (M-N) en pied de pile 151
10.10.5. Vérification effort tranchant en pied de pile 152
10.11. Vérification – Pile P90 - Pont 3b 153
10.11.1. Prise en compte des excentricités 153
10.11.2. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire parallèle – En pied de pile 155
10.11.3. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire parallèle - En pied de pile 156
10.11.4. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire parallèle – Au niveau du choc 157
10.11.5. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire parallèle - Au niveau du choc 158
10.11.6. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire perpendiculaire – En pied de pile 159
10.11.7. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire perpendiculaire - En pied de pile 160
10.11.8. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire perpendiculaire - Au niveau du choc 161
10.11.9. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire perpendiculaire - Au niveau du choc 162
10.12. Bases géotechniques – caractéristiques des appuis surfaciques des semelles – Institut Géotechnique SA 163
10.12.1. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles - Valeur verticale du ressort des murs de guidage ks,v – Mur voie 501 – 11.08.2026 163

10.12.2. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles - Valeur verticale du ressort des murs de guidage ks,v – Mur voie 300 – 11.08.2026 164
10.12.3. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles - Valeur horizontale du ressort des murs de guidage ks,h – Murs voie 501 et 300 – 11.08.2026 165
10.12.4. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles – Valeurs du frottement latéral q_s – 04.05.2026 166
10.13. Bases géotechniques – Modèle EF 3D sur logiciel ZSoil – GeoMod SA – 11.08.2028 167
10.14. Calage du modèle AxisVM sur modèle ZSoil 168
10.15. Analyse de sensibilité entre modèles de sols 1 et 2 et modèles I.G. 179
10.16. Analyse de sensibilité – Vérifications au glissement 180

11. Signatures 181

1. Introduction

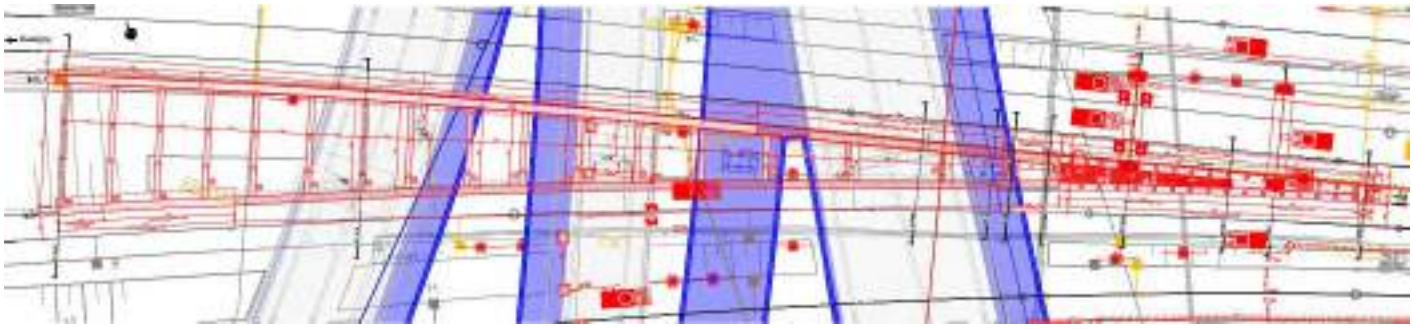
1.1. Description du projet

Dans le cadre du projet « EA2035 Renens : modification Tête Ouest », ligne 150, km 3.982 – 6.215, une mesure de protection des piles de ponts OFROU de la route nationale N01 doit être réalisée, approximativement au km 5.600 de la ligne 150 CFF.

Cette mesure de protection consiste en la réalisation de murs de guidage, dont une partie est déjà existante, entre les km 5.536 et 5.632 de la ligne 150.

En vue de respecter les exigences liées aux risques de chocs ferroviaires sur les éléments des ponts de l'échangeur d'Ecublens, différents murs de guidage doivent être vérifiées et adaptées, et de nouveaux murs de guidage doivent être construits.
La présente note de calcul traite du de la vérification et du dimensionnement des murs de guidage (nouveaux et existants) et de la vérification des piles existantes au cas de choc ferroviaire accidentel.

1.2. Etat projeté



2. Géométrie, sol de fondation et système statique

2.1. Modèle de calcul et système statique

- Les murs de guidage fondés sur semelles et ceux fondés sur pieux sont modélisés à travers un seul et même modèle éléments finis en 3D, sur le logiciel AxisVM (x7).
- L'étude de piles existantes des ponts est réalisée sur le logiciel AxisVM (x7), également sur la base d'un modèle éléments finis en 3D. Certaines vérifications ont été réalisées sur le logiciel Fagus.

2.1.1. Murs de guidage – zone de murs fondés sur semelles

Les murs de guidage sur semelles, nouveaux et existants, ainsi que l'ensemble des butons liant les 2 fils de murs, ont été modélisés en coques sur AxisVM.
Les liaisons entre les éléments existants et les nouveaux sont définis par des rotules de bords (goujonnages prévus dans ces zones).

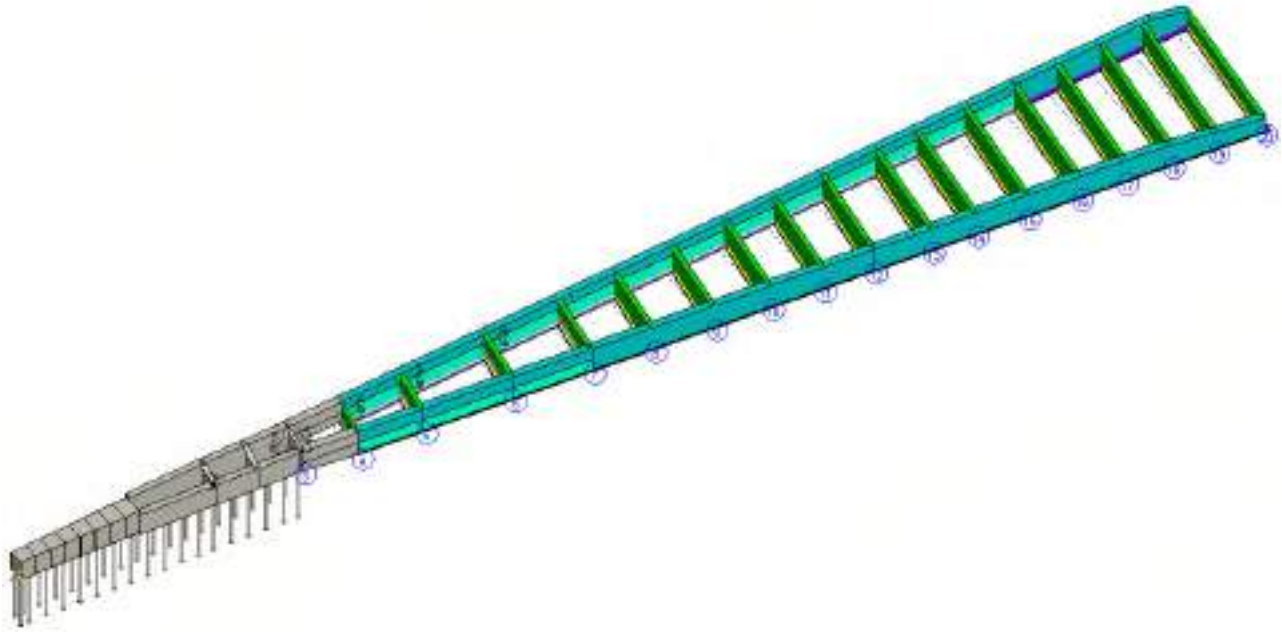


Figure 1 - Vue en perspective de l'ouvrage, tirée du logiciel AxisVM

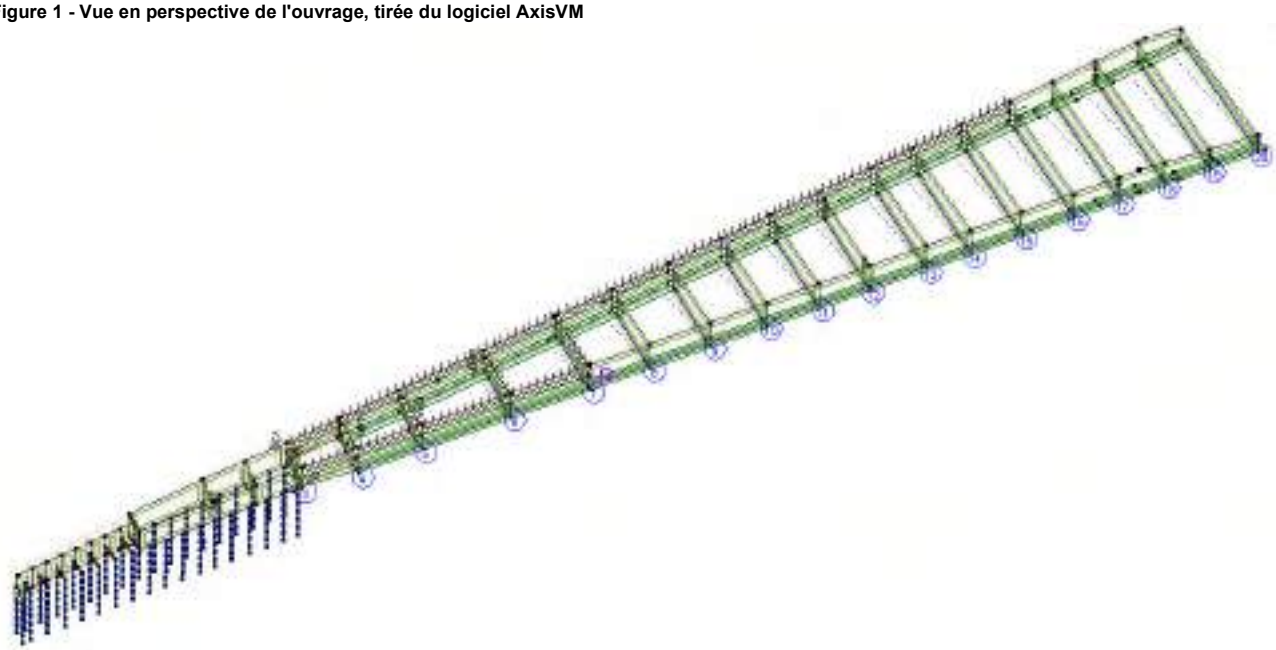


Figure 2 - Vue en perspective des éléments de l'ouvrage, tirée du logiciel AxisVM

Epaisseur des éléments – zone des murs de guidage sur semelles :

Les épaisseurs suivantes ont été considérées dans le modèle Axis VM et lors des vérifications des éléments.

Murs de guidage sur semelle existants : ép. 78 cm
Nouveaux murs de guidage sur semelle / rehaussement : ép. 90 cm
Butons existants : 60 cm
Nouveaux butons et rehaussements des butons : ép. 60 cm

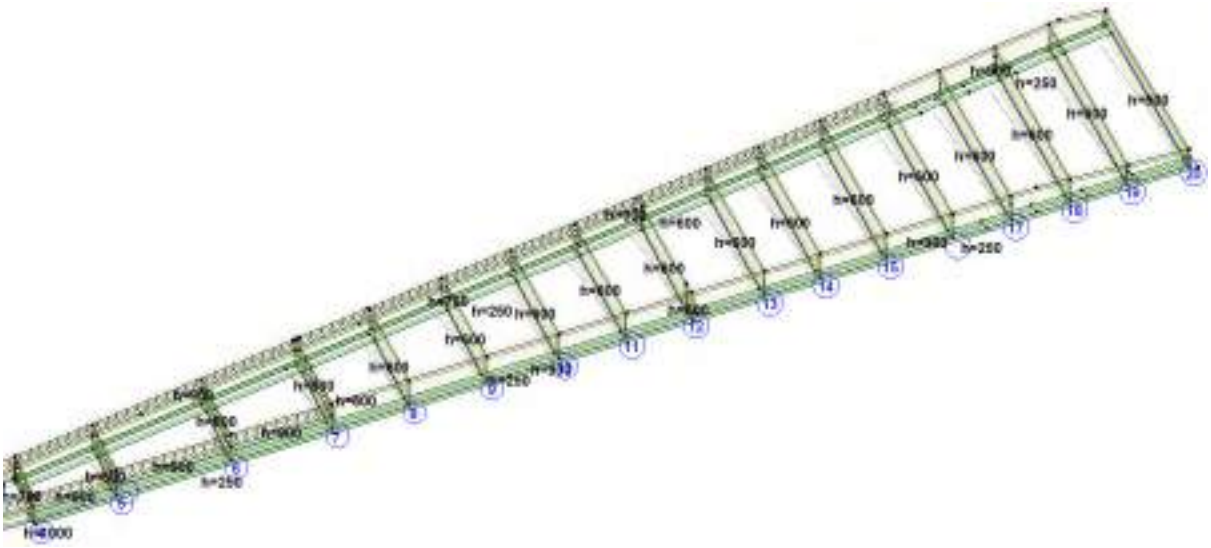


Figure 3 - Vue en perspective des éléments de l'ouvrage, partie murs sur semelles, ave épaisseurs, tirée du logiciel AxisVM

Epaisseur des éléments – zone des murs de guidage sur la Sorge :

Murs de guidage sur la Sorge : ép. 78 cm
Rehaussement des murs de guidage sur la Sorge : ép. 102 cm
Butons existants sur la Sorge : 40 cm
Rehaussements des butons sur la Sorge: ép. 40 cm

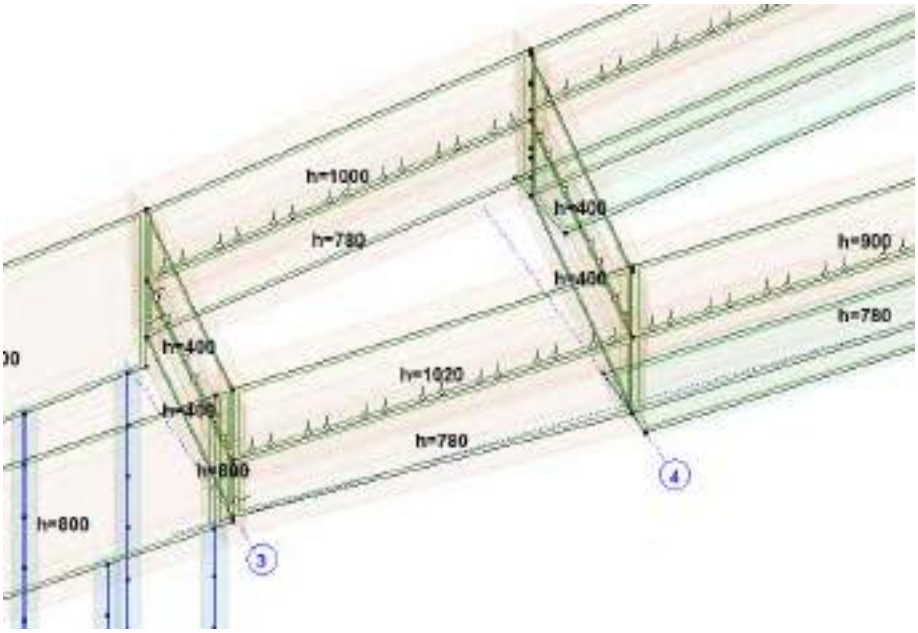


Figure 4 - Vue en perspective des éléments de l'ouvrage, partie murs sur Sorge, avec épaisseurs, tirée du logiciel AxisVM

2.1.2. Murs de guidage – zone de murs fondés sur pieux

Modèle Axis :

Les murs de guidage sont modélisés en coques, les pieux (longueur 6,0m, diamètre 40cm, espacements 2,0m) sont modélisés en éléments poutres. L'extrémité des murs (à gauche sur la figure qui suit) est modélisé en 8 coques, avec des grandes épaisseurs.

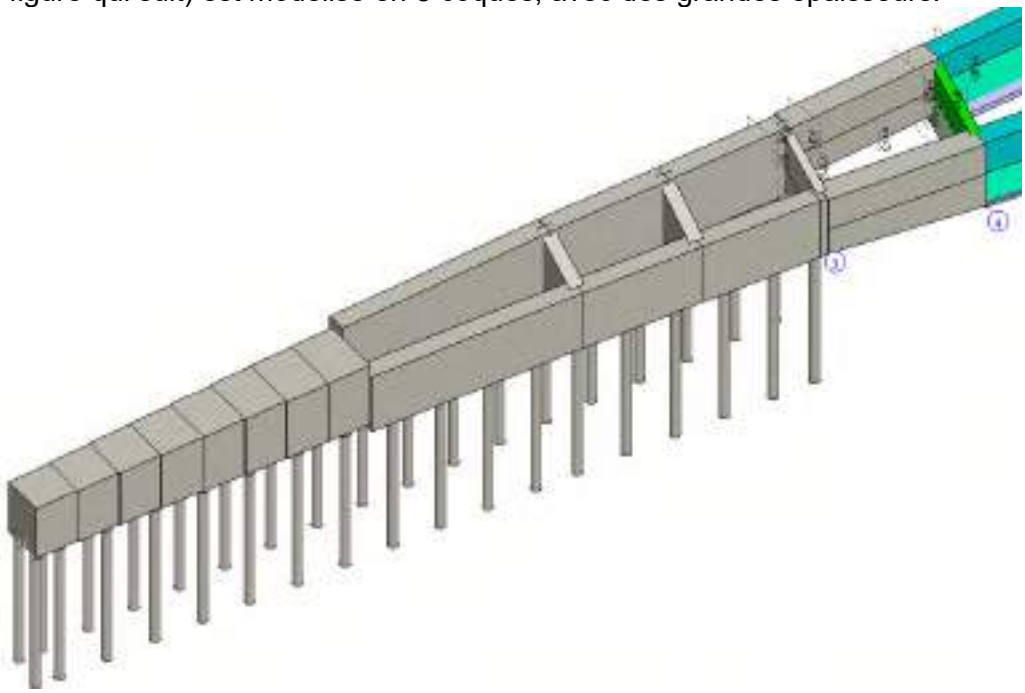


Figure 5 - Vue en perspective de la partie murs de guidage sur pieux, tirée du logiciel AxisVM

Epaisseur des éléments – zone des murs de guidage sur pieux :

Les épaisseurs suivantes ont été considérées dans le modèle Axis VM et lors des vérifications des éléments.

Murs de guidage sur semelle existants : ép. 78 cm

Nouveaux murs de guidage sur semelle / rehaussement : ép. 90 cm

Butons existants : 60 cm

Nouveaux butons et rehaussements des butons : ép. 60 cm

L'extrémité des murs (à gauche sur la figure qui suit) a des épaisseurs de 1,80 m à 2,45 m.

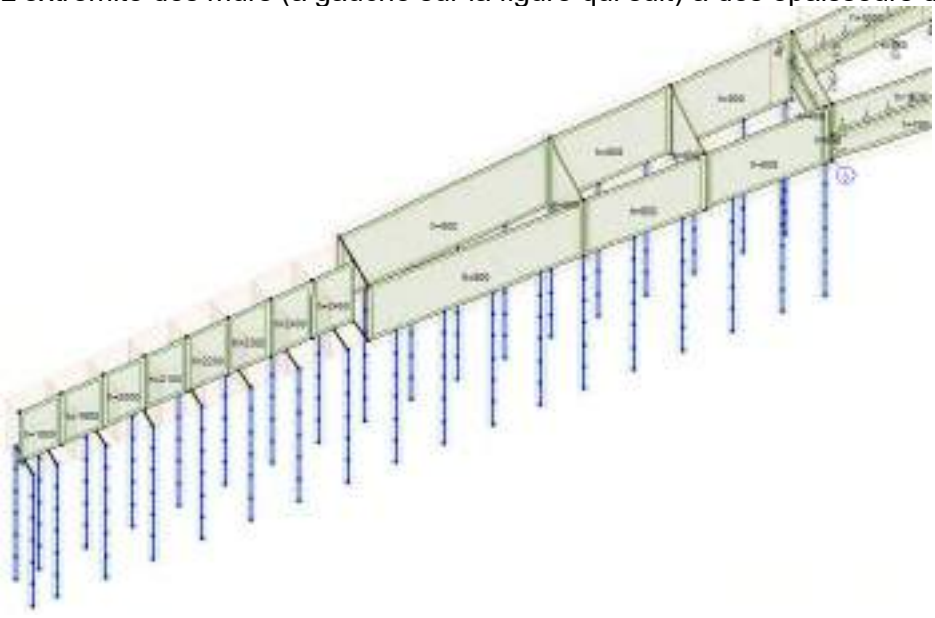


Figure 6 - Vue en perspective des éléments de l'ouvrage, partie murs sur pieux, avec épaisseurs, tirée du logiciel AxisVM

Afin de considérer les interactions entre les pieux et le sol, des appuis ponctuels ont été ajoutés à chaque mètre de profondeur des pieux, avec des valeurs de rigidité des ressorts définies sur les axes X, Y et Z (et libres en rotation). Les valeurs des rigidités des ressorts sont précisées dans la base du projet.

Afin de faire correspondre le modèle AxisVM à celui du modèle ZSoil du bureau Geomod, un calage en termes de déformations a été nécessaire et est présenté en annexe 10.14 de la présente Note de Calcul.

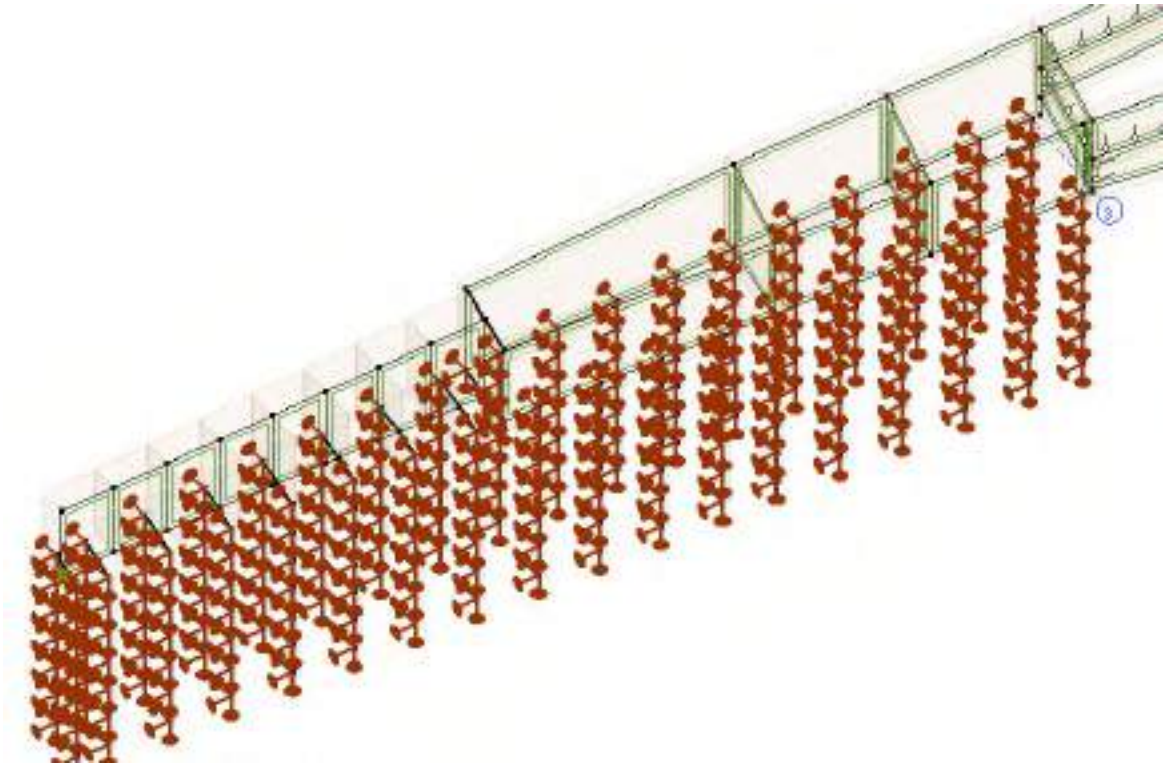


Figure 7 - Vue en perspective du modèle AxisVM des murs de guidage sur pieux, isolés dans le modèle, avec représentation des appuis

Modèle ZSoil – Bureau Geomod :

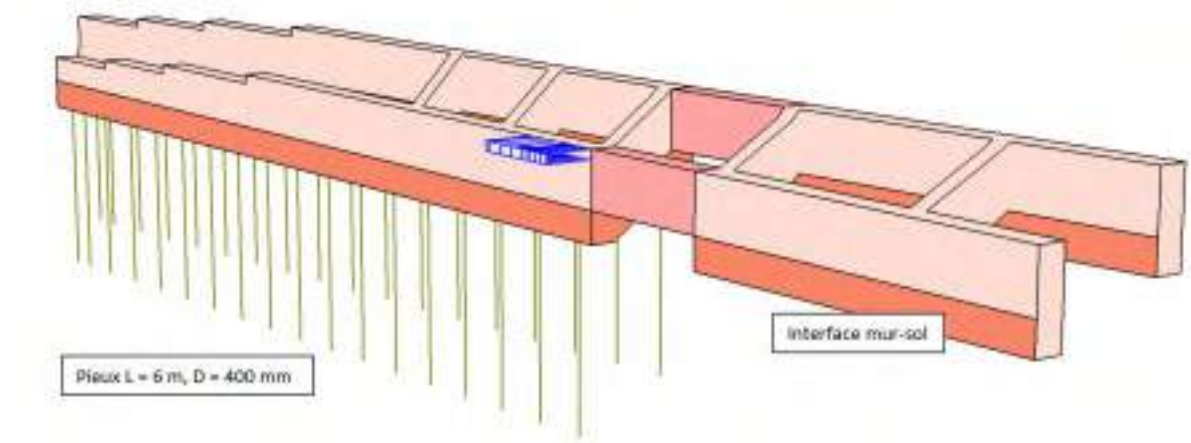


Figure 8 - Vue tirée du rapport de calcul avec logiciel ZSoil - Bureau Geomod

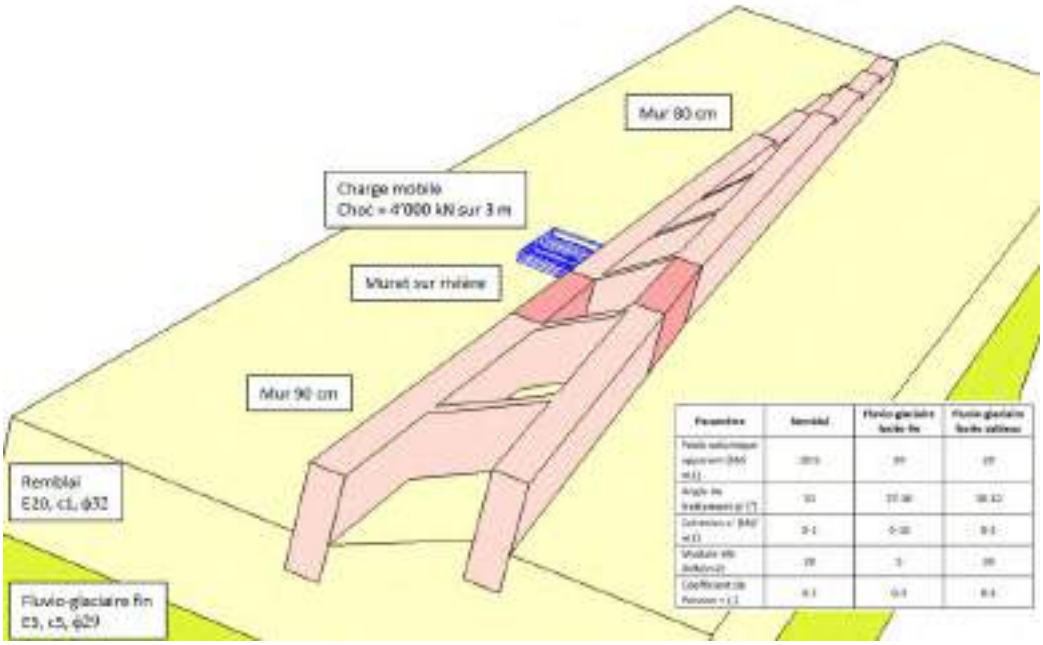


Figure 9 - Vue tirée du rapport de calcul avec logiciel ZSoil - Bureau Geomod

2.1.3. Piles de ponts existantes

Pont 2 - étude pile P30 :

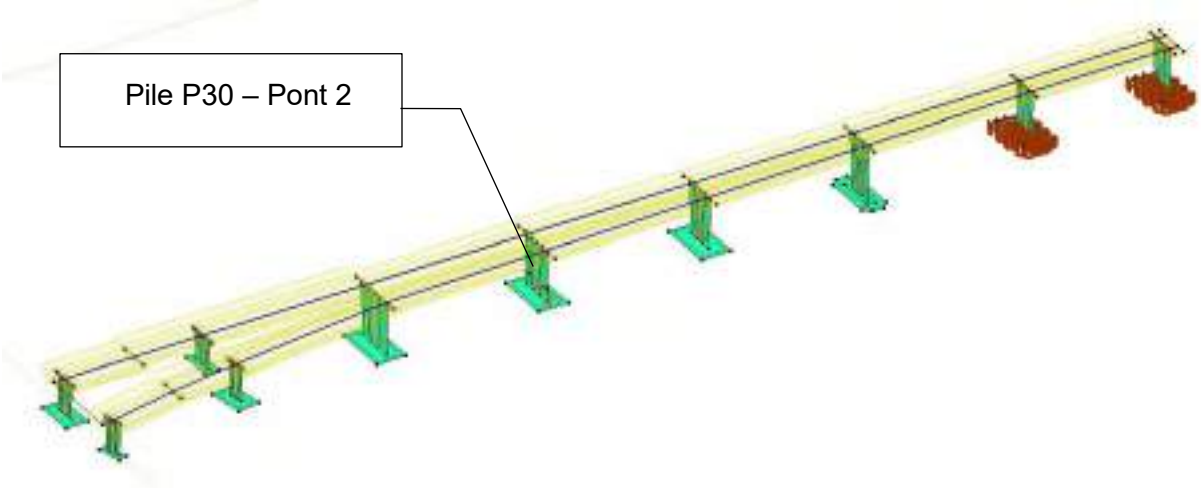


Figure 10 - Vue en perspective modèle AxisVM pont 2

Pont 3b – étude pile P90 :

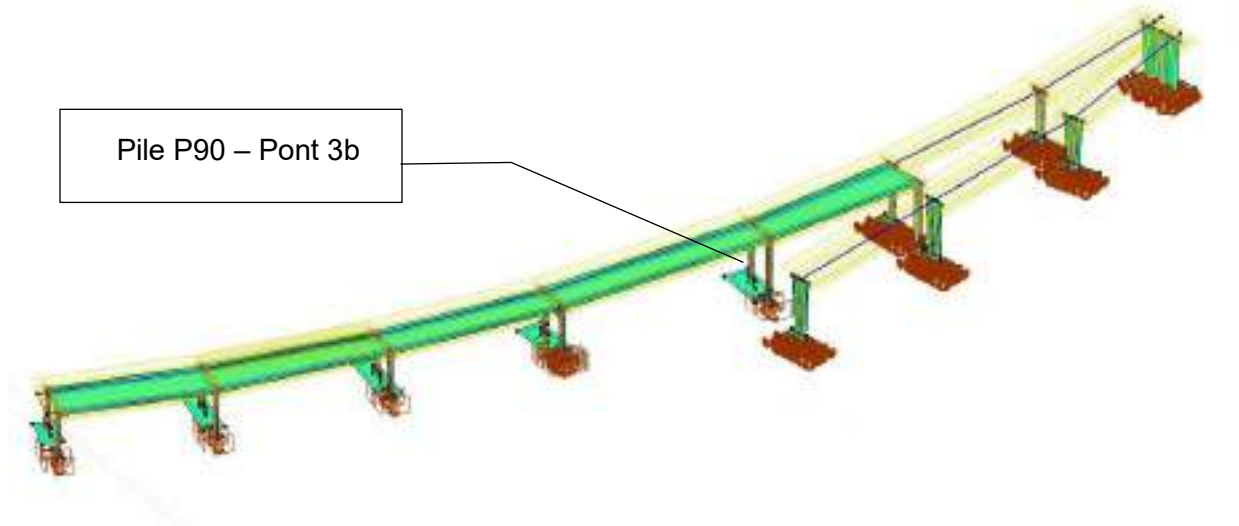


Figure 11 - Vue en perspective modèle AxisVM pont 3b

2.2. Sol de fondation

2.2.1. Bases de données géotechniques

Les données géotechniques considérées sont présentées dans la Base du projet.

Données relatives aux appuis surfaciques des semelles des murs de guidage :
Les rigidités des ressorts (uniquement pour les appuis surfaciques des semelles des murs, et ne concerne pas les semelles dans la zone de murs sur pieux) considérées pour les 2 types de sols sont présentées ci-dessous :

Modèle	$ks_{h,X}$ (kN/m/m^2)	$ks_{h,Y}$ (kN/m/m^2)	$ks_{v,Z}$ (kN/m/m^2)	ME (MPa)
Sol 1	600	600	3’000	5
Sol 2	4’000	4’000	20’000	30

Tableau 1: Caractéristiques des raideurs du sol utilisées dans les modèles de calculs

Pour la vérification des déplacements des murs de guidage (nouveaux et existants, uniquement pour les appuis surfaciques des semelles des murs, et ne concerne pas les semelles dans la zone de murs sur pieux), les valeurs suivantes ont été fournies par le géotechnicien du projet, selon annexes 10.13.1 à 10.13.3 de la NDC :

$ks_{h,X}$ (kN/m/m^2)	$ks_{h,Y}$ (kN/m/m^2)	$ks_{v,Z}$ (kN/m/m^2)
4'790 à 6’800	4'790 à 6’800	5'000 à 6’000

Valeurs de ressorts considérées pour le sol 3 pour la vérification des déplacements (uniquement pour les appuis surfaciques des semelles des murs, et ne concerne pas les semelles dans la zone de murs sur pieux) :

Modèle	$ks_{h,X}$ (kN/m/m^2)	$ks_{h,Y}$ (kN/m/m^2)	$ks_{v,Z}$ (kN/m/m^2)
Sol 3	4’790	4’790	5’500

Données relatives aux appuis ponctuels des pieux :

K_X = 3’000 kN/m ; K_Y = 3’000 kN/m ; K_Z = 1’000 kN/m
Rotations libres.
L’origine de ces valeurs est précisée au ch. 10.14.

3. Caractéristiques des matériaux

Les caractéristiques des matériaux sont présentées dans la Base du projet.

4. Actions

4.1. Cas de charges pour vérifications des murs de guidage

Voir annexe 10.1

4.2. Cas de charges pour vérifications des piles de ponts existantes

Voir annexe 10.2

5. Vérifications aux états limites de service

5.1. Armatures minimales de fissuration

5.1.1. Murs de guidage fondés sur semelles – largeur 90 cm

Les éléments étant d'une largeur supérieure à 50 cm, les zones de bord sont considérées comme larges de 25 cm, en accord avec la norme SIA 262.

Exigences en flexion : élevées → diam. 20 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Géométrie					
Largeur :		b_{eff} =	[mm]	1'000	
Hauteur :		h =	[mm]	900	
Armature minimale en flexion					
Résistance à la traction du béton (val. moyenne)		f_{ctm} =	[N/mm²]	2.89	SIA 262
		w_{nom}	[mm]	0.2	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	231	
Coefficient dimensions de la section		k_t =	[-]	0.870	SIA 262
Résistance à la traction du béton (val. calcul)		f_{ctd}	[N/mm²]	2.51	
Moment de fissuration		m_{rd}	[kNm/m]	339.25	
		I_y	mm⁴/mm²]	6.08E+10	
		z_{max}	[m]	0.450	
		A_s =	[mm²]	2'040.550	
		ϕ =	[mm]	20	

Exigences en traction : accrues → diam. 20 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Armature minimale de traction		w_{nom}	[mm]	0.5	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	365	
		A_s =	[mm²]	1'900	

5.1.2. Murs de guidage fondés sur pieux – largeur 80 cm

Exigences en flexion : élevées → diam. 20 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Géométrie					
Largeur :		b_{eff} =	[mm]	1'000	
Hauteur :		h =	[mm]	800	
Armature minimale en flexion					
Résistance à la traction du béton (val. moyenne)		f_{ctm} =	[N/mm²]	2.89	SIA 262
		w_{nom}	[mm]	0.2	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	231	
Coefficient dimensions de la section		k_t =	[-]	0.882	SIA 262
Résistance à la traction du béton (val. calcul)		f_{ctd}	[N/mm²]	2.55	
Moment de fissuration		m_{rd}	[kNm/m]	271.99	
		I_y	mm⁴/mm²	4.27E+10	
		z_{max}	[m]	0.400	
		A_s =	[mm²]	1'840.496	
		ϕ =	[mm]	20	

Exigences en traction : accrues → diam. 20 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Armature minimale de traction		w_{nom}	[mm]	0.5	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	365	
		A_s =	[mm²]	1'900	

5.1.3. Murs de guidage fondés sur pieux – largeur 180 à 250 cm

Exigences en flexion : accrues → diam. 26 s = 150 requis au min.

					Norme	art.	équ. ou tab
Matériaux							
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00			
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262	§ 4.2.1.4	Tab. 8
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262	§ 4.2.1.4	Tab. 8
		D_{max}	[mm]	32			
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435			
		E_s =	[N/mm²]	205'000			
Géométrie							
Largeur :		b_{eff} =	[mm]	1'000			
Hauteur :		h =	[mm]	2'500			
Armature minimale en flexion							
Résistance à la traction du béton (val. moyenne)		f_{ctm} =	[N/mm²]	2.89	SIA 262	§ 3.1.2.2.7	Tab. 3
		w_{nom}	[mm]	0.5			
		φ_s	[mm]	26	SIA 262-C1		100a
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	320			
Coefficient dimensions de la section		k_t =	[-]	0.706	SIA 262	§ 4.4.1.3	
Résistance à la traction du béton (val. calcul)		f_{ctd}	[N/mm²]	2.04			
Moment de fissuration		m_{rd}	[kNm/m]	2'124.93			
		I_y	mm⁴/mm²]	1.30E+12			
		z_{max}	[m]	1.250			
		A_s =	[mm²]	3'318.002			
		ϕ =	[mm]	26			

Exigences en traction : accrues → diam. 20 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Armature minimale de traction		w_{nom}	[mm]	0.5	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	365	
		A_s =	[mm²]	1'900	

5.1.4. Murs de guidage sur Sorge – largeur 102 cm

Exigences en flexion : élevées → diam. 22 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Géométrie					
Largeur :		b_{eff} =	[mm]	1'000	
Hauteur :		h =	[mm]	1'020	
Armature minimale en flexion					
Résistance à la traction du béton (val. moyenne)		f_{ctm} =	[N/mm²]	2.89	SIA 262
		w_{nom}	[mm]	0.2	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	231	
Coefficient dimensions de la section		k_t =	[-]	0.855	SIA 262
Résistance à la traction du béton (val. calcul)		f_{ctd}	[N/mm²]	2.47	
Moment de fissuration		m_{rd}	[kNm/m]	428.30	
		I_y	[mm⁴/mm²]	8.84E+10	
		z_{max}	[m]	0.510	
		A_s =	[mm²]	2'273.091	
		ϕ =	[mm]	20	

Exigences en traction : accrues → diam. 20 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Armature minimale de traction		w_{nom}	[mm]	0.5	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	365	
		A_s =	[mm²]	1'900	

5.1.5. Butons hors Sorge – Largeur 60 cm

Exigences en flexion : élevées → diam. 18 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Géométrie					
Largeur :		b_{eff} =	[mm]	1'000	
Hauteur :		h =	[mm]	600	
Armature minimale en flexion					
Résistance à la traction du béton (val. moyenne)		f_{ctm} =	[N/mm²]	2.89	SIA 262
		w_{nom}	[mm]	0.2	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	231	
Coefficient dimensions de la section		k_t =	[-]	0.909	SIA 262
Résistance à la traction du béton (val. calcul)		f_{ctd}	[N/mm²]	2.63	
Moment de fissuration		m_{rd}	[kNm/m]	157.63	
		I_y	mm⁴/mm²]	1.80E+10	
		z_{max}	[m]	0.300	
		A_s =	[mm²]	1'422.202	
		ϕ =	[mm]	18	

Exigences en traction : accrues → diam. 20 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Armature minimale de traction		w_{nom}	[mm]	0.5	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	365	
		A_s =	[mm²]	1'900	

5.1.6. Butons sur Sorge – Largeur 40 cm

Exigences en flexion : élevées → diam. 14 s = 150 requis au min.
Exigences en traction : accrues → diam. 16 s = 150 requis au min.

					Norme
Matériaux					
Béton :		f_{ck} =	[N/mm²]	30.00	
		f_{cd} =	[N/mm²]	20	SIA 262
		τ_{cd}	[N/mm²]	1.1	SIA 262
		D_{max}	[mm]	32	
Acier passif :	B500B	f_{sd} =	[N/mm²]	435	
		E_s =	[N/mm²]	205'000	
Géométrie					
Largeur :		b_{eff} =	[mm]	1'000	
Hauteur :		h =	[mm]	400	
Armature minimale en flexion					
Résistance à la traction du béton (val. moyenne)		f_{ctm} =	[N/mm²]	2.89	SIA 262
		w_{nom}	[mm]	0.2	
		φ_s	[mm]	20	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	231	
Coefficient dimensions de la section		k_t =	[-]	0.938	SIA 262
Résistance à la traction du béton (val. calcul)		f_{ctd}	[N/mm²]	2.71	
Moment de fissuration		m_{rd}	[kNm/m]	72.25	
		I_y	[mm⁴/mm²]	5.33E+09	
		z_{max}	[m]	0.200	
		A_s =	[mm²]	977.764	
		ϕ =	[mm]	14	
Armature minimale de traction		w_{nom}	[mm]	0.5	
		φ_s	[mm]	16	SIA 262-C1
		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm²]	408	
		A_s =	[mm²]	1'327	

6. Vérifications EL type 2 accidentel

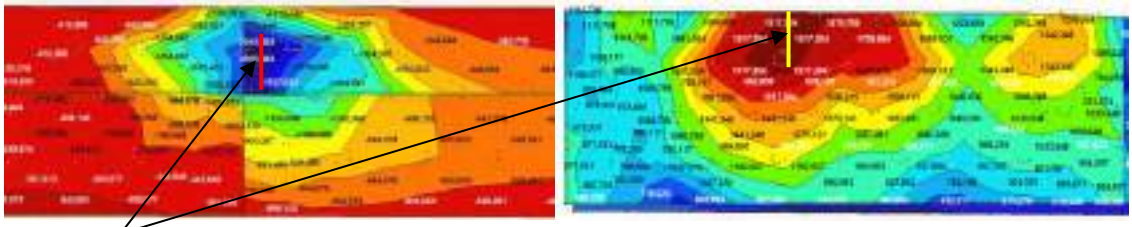
Afin de localiser les éléments dont on parle, des numéros ont été attribués aux différents butons. Diverses références aux numéros des butons sont faites dans le présent document.

Le dimensionnement et les vérifications de la sécurité structurale des murs de guidage sur semelles (hors zones de murs sur pieux) sont réalisées en tenant compte des valeurs enveloppes résultant des caractéristiques de sol 1 et de sol 2 selon chapitre 4.1.2 « Conditions d'appui » de la Base du projet.

Les vérifications des déplacements des murs de guidage sur semelles (hors zones de murs sur pieux) sont analysées à partir du modèle avec caractéristiques de sol 3 selon chapitre 4.1.2 « Conditions d'appui » de la Base du projet.

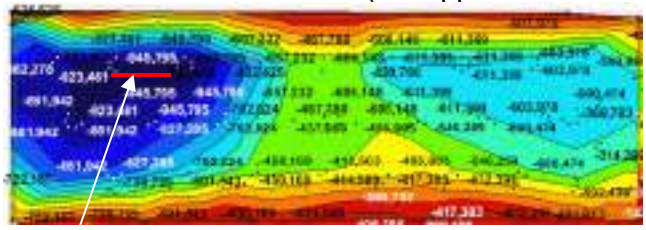
<u>Méthodologie utilisée pour déterminer les efforts sollicitants à considérer :</u>

- Moment fléchissant horizontal (sur appui m_{xD-} et en travée m_{xD+}) :



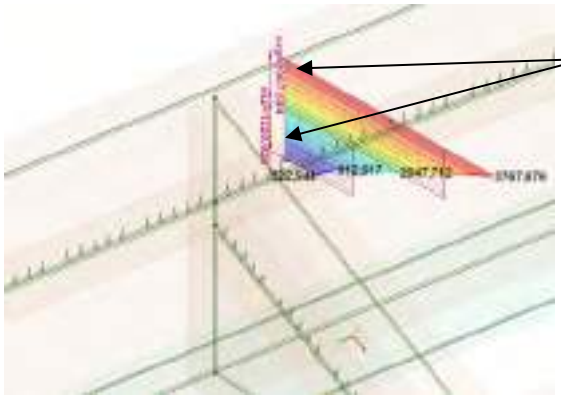
La valeur du moment considéré pour vérifier ou dimensionner un élément de mur est une moyenne de la valeur prise sur une hauteur de 1,0 m.

- Moment fléchissant vertical (sur appui et en travée) :



La valeur du moment considéré pour vérifier ou dimensionner un élément de mur est une moyenne de la valeur prise sur une largeur de 1,0 m.

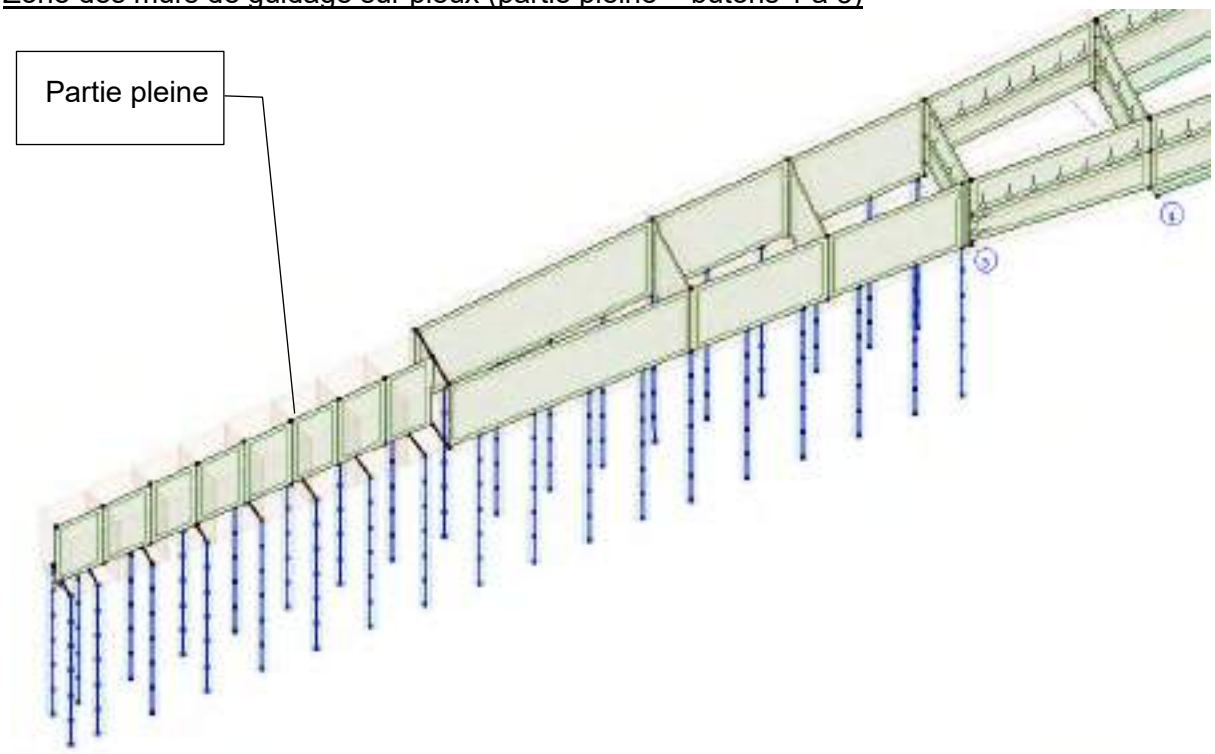
- Effort tranchant vertical :



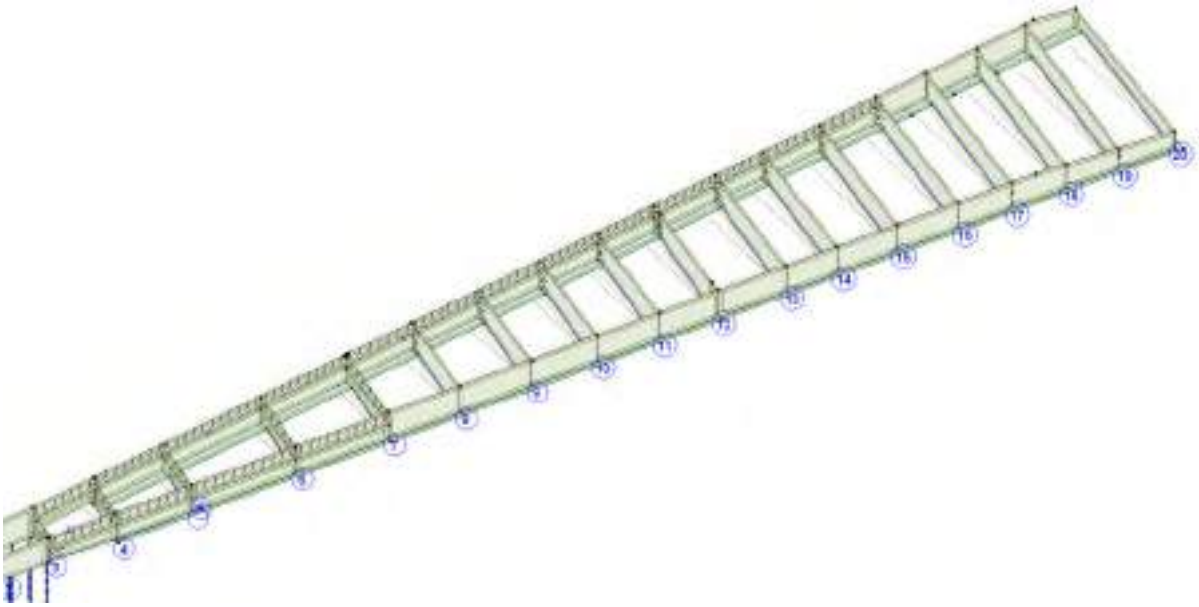
Bandes verticales de 50 cm, relevées à une distance dv/2 du nu du buton.

La valeur de l'effort tranchant considéré pour vérifier ou dimensionner un élément de mur est une moyenne prise sur une bande de hauteur 50 cm.

Zone des murs de guidage sur pieux (partie pleine + butons 1 à 3)



Zone des murs de guidage sur semelles (butons 3 à 20)



6.1. Nouveaux murs de guidage fondés sur pieux

6.1.1. Dimensionnement des murs de guidage fondés sur pieux

Murs de guidage sur pieux côté V501 :

- Armatures longitudinales sur appuis (butons) :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.1

Appui V501	**Plein**	**Transition plein - travée plein-1**	**1**	**2**
M_{xD-} (kNm/m)	3600	1500	1900	1300
$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	3660	2018	2018	2018
n	0.98	0.74	0.94	0.64
Armatures	Φ26s150	(Φ30+Φ18)s150	(Φ30+Φ18)s150	(Φ30+Φ18)s150

- Armatures longitudinales en travées :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.3

Travée V501	**Plein - 1**	**1-2**	**2-3**
M_{xD+} (kNm/m)	2180	1600	1820
$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	2244	1920	1920
n	0.97	0.83	0.95
Armatures	(Φ30+Φ22)s150	(Φ30+Φ16)s150	(Φ30+Φ16)s150

- Armatures verticales :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.4

Travée V501	**Plein - 1**	**1-2**	**2-3**
M_{yD-} (kNm/m)	1020	890	890
$M_{Rd,y}$ (kNm/m)	1217	1217	1217
n	0.84	0.73	0.73
Armatures	Φ26s150	Φ26s150	Φ26s150

- Armatures transversales (entre 0 et -50 cm depuis niveau supérieur du mur) :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.2

Appui V501	**Transition plein-travée**	**1**	**2**
V_{xz} (kN)	1380	950	1000
$V_{Rd,c}$ (kN/m)	362	217	217
$V_{Rd,xz}$ (kN)	1645	1260	1260
n	0.84	0.75	0.79
Armatures	4Φ16s300	4Φ14s300	4Φ14s300

- Armatures transversales (entre -50 et -100 cm depuis niveau supérieur du mur) :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.2

Appui V501	**Transition plein-travée**	**1**	**2**
V_{xz} (kN)	440	360	360
$V_{Rd,xz}$ (kN)	771	771	771
n	0.57	0.47	0.47
Armatures	3Φ12	3Φ12	3Φ12

Murs de guidage sur pieux côté V300 :

- Armatures longitudinales sur appuis (butons) :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.6

Appui V300	**Plein**	**Transition plein - travée plein-1**	**1**	**2**
		1700	1900	1420
		2018	2018	2018
n	0.98	0.84	0.94	0.70
Armatures	Φ26s150	(Φ30+Φ18)s150	(Φ30+Φ18)s150	(Φ30+Φ18)s150

- Armatures longitudinales en travées :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.8

Travée V300	**Plein - 1**	**1-2**	**2-3**
		1440	1750
		1920	1920
n	0.99	0.75	0.91
Armatures	(Φ30+Φ22)s150	(Φ30+Φ16)s150	(Φ30+Φ16)s150

- Armatures verticales :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.9

Travée V300	**Plein - 1**	**1-2**	**2-3**
M_{yD-} (kNm/m)	930	780	910
$M_{Rd,y}$ (kNm/m)	1217	1217	1217
n	0.76	0.64	0.75
Armatures	Φ26s150	Φ26s150	Φ26s150

- Armatures transversales (entre 0 et -50 cm depuis niveau supérieur du mur) :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.7

Appui V300	**Transition plein-travée**	**1**	**2**
V_{xz} (kN)	1360	1030	1150
$V_{Rd,c}$ (kN/m)	463	217	217
$V_{Rd,xz}$ (kN)	1645	1260	1260
n	0.83	0.82	0.91
Armatures	4Φ16s300	4Φ14s300	4Φ14s300

- Armatures transversales (entre -50 et -100 cm depuis niveau supérieur du mur) :

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.5.7

Appui V300	**Transition plein-travée**	**1**	**2**
V_{xz} (kN)	340	520	610
$V_{Rd,xz}$ (kN)	771	771	771
n	0.44	0.67	0.79
Armatures	3Φ12	3Φ12	3Φ12

6.1.2. Dimensionnement des pieux

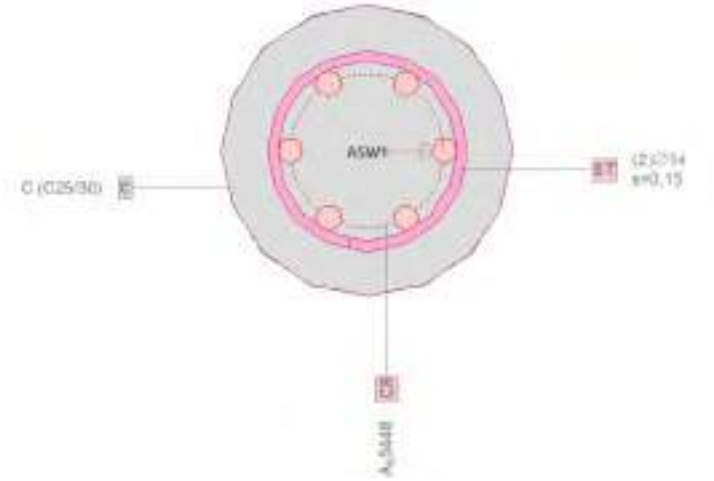
Vérification des pieux selon les efforts internes :
Les pieux sont dimensionnés sur la base des sollicitations présentées dans les résultats du modèle ZSoil au ch. 10.13. Les valeurs de dimensionnement sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Sollicitations et combinaisons déterminantes pour les pieux dimensionnants	My (kNm)	Mz (kNm)	Vy (kN)	Vz (kN)	Nx (kN)
Cas de charge 1 – sollicitations relevées sur mur amont	10	120	149	15	60 (c)
Cas de charge 2 – sollicitations relevées sur mur amont	48	40	77	25	149 (t)
Cas de charge 3 – sollicitations relevées sur mur aval	5	65	60	20	96 (c)
Cas de charge 4 – sollicitations relevées sur mur amont	80	10	10	70	117 (t)
Cas de charge 5 – sollicitations relevées sur mur aval	125	10	85	5	70 (t)

(t) : traction ; (c) : compression

Les vérifications des pieux, avec les résultats Fagus, sont détaillées en annexe 10.9.1

Armatures des pieux :



Armatures longitudinales : 6 Ø 34 ; Enrobage : 75 mm

Armatures transversales (spirales) :
Ø 14 // 150 mm (profondeur +0,0 à -2,0 m de la partie inférieure du mur de guidage)
→ Armatures prévues sur plans : 2 x Ø 12 // 150 mm
Ø 12 // 150 mm (profondeur -2,0 à -6,0 m de la partie inférieure du mur de guidage)
→ Armatures prévues sur plans : Ø 12 // 150 mm

Vérification des pieux en traction (frottement sol-pieu) :

	Remblai	Fluvio-glaciaire faciès fin	Fluvio-glaciaire faciès sableux
Frottement latéral q_s (kN/m2)	0	0-10	45-55

$$Ra,s,d = \frac{0{,}9}{1{,}3} \times (0 + 2 \times 10 + 3 \times 55) \times \pi \times 0{,}40 = 161\ kN$$

$N_{Ed} = 149\ kN\ (traction)$ (selon cas de charge 2, rapport Geomod)

$Ra,s,d \geq N_{Ed}$ → Vérifié

Vérification des pieux en compression (frottement sol-pieu + pointe) :

	Remblai	Fluvio-glaciaire faciès fin	Fluvio-glaciaire faciès sableux
Frottement latéral q_s (kN/m2)	0	0-10	45-55

$$Ra,s,d = \frac{0{,}9}{1{,}3} \times (0 + 2 \times 10 + 3 \times 55) \times \pi \times 0{,}40 = 161\ kN$$

Ra,b,d : $vérification\ acceptable\ sans\ prise\ en\ compte\ de\ la\ résistance\ de\ pointe.$

$N_{Ed} = 96\ kN\ (compression)$ (selon cas de charge 1, rapport Geomod)

$Ra,s,d \geq N_{Ed}$ → Vérifié

6.1.3. Etude des déplacements en cas de choc ferroviaire – zone pieux

Les déplacements présentés ci-dessous sont tirés du modèle avec caractéristiques de sol 3 selon chapitre 2.2.1.
Déplacements perpendiculaires à l'axe de la voie – choc depuis V501 direction V300

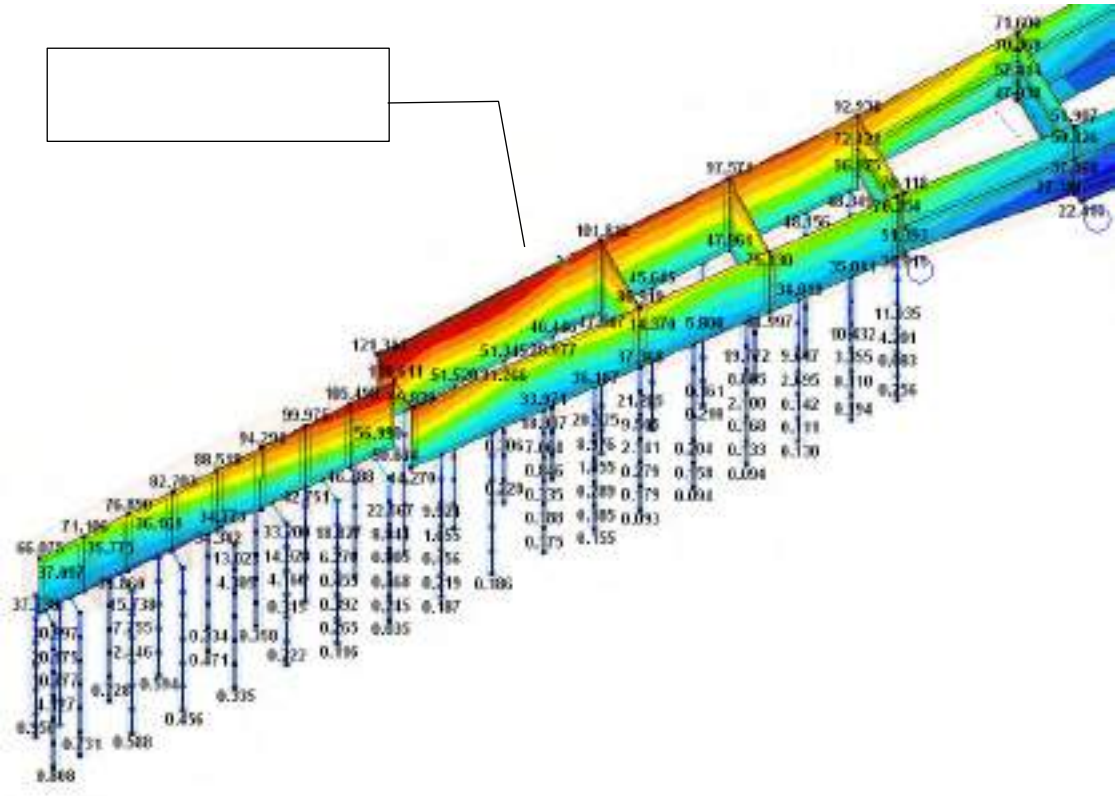


Figure 12 - Enveloppe des déplacements ex – Choc V501 direction V300 - zone murs de guidage sur pieux

Déplacements perpendiculaires à l'axe de la voie – choc depuis V300 direction V501

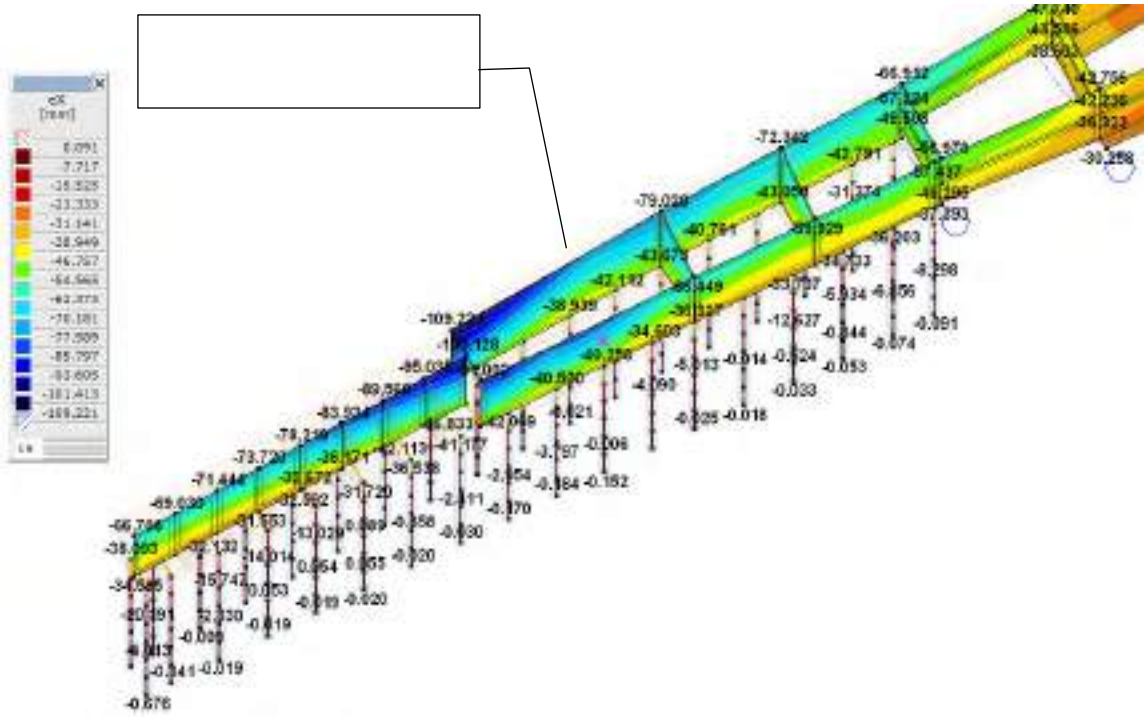


Figure 13 - Enveloppe des déplacements ex – Choc V300 direction V501 - zone murs de guidage sur pieux

6.2. Nouveaux murs de guidage fondés sur semelles

Ce chapitre traite à la fois des rehaussements des murs de guidage sur semelles existants, mais aussi des nouveaux murs de guidage sur semelles.

6.2.1. Murs de guidage côté V501

- Dimensionnement des armatures horizontales des murs au niveau des appuis (butons)

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.1

Appui V501	M_{xD-} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3	950	2052	0.46	Φ30s150
4	950	2052	0.46	Φ30s150
5	1740	1770	0.98	Φ30s150
6	1740	1770	0.98	Φ30s150
7	1720	1770	0.97	Φ30s150
8	1200	1360	0.88	Φ26s150
9	1250	1360	0.92	Φ26s150
10	1100	1360	0.81	Φ26s150
11	1000	1360	0.74	Φ26s150
12	1000	1360	0.74	Φ26s150
13	1100	1360	0.81	Φ26s150
14	900	1360	0.66	Φ26s150
15	950	1360	0.70	Φ26s150
16	900	1360	0.66	Φ26s150
17	600	1360	0.44	Φ26s150
18	650	1360	0.48	Φ26s150
19	900	1360	0.66	Φ26s150
20	220	1360	0.16	Φ26s150

- Dimensionnement des armatures horizontales en travées (entre butons)

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.3

Travée V501	M_{xD+} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3-4	2700	3041	0.89	(Φ30+Φ22)s150
4-5	2300	2606	0.88	(Φ30+Φ22)s150
5-6	2520	2606	0.97	(Φ30+Φ22)s150
6-7	2400	2606	0.92	(Φ30+Φ22)s150
7-8	2500	2606	0.96	(Φ30+Φ22)s150
8-9	2300	2338	0.98	(Φ30+Φ18)s150
9-10	2250	2338	0.96	(Φ30+Φ18)s150
10-11	2100	2338	0.90	(Φ30+Φ18)s150
11-12	2200	2338	0.94	(Φ30+Φ18)s150
12-13	2250	2338	0.96	(Φ30+Φ18)s150
13-14	2100	2338	0.90	(Φ30+Φ18)s150
14-15	2250	2338	0.96	(Φ30+Φ18)s150
15-16	2150	2338	0.92	(Φ30+Φ18)s150
16-17	1900	2338	0.81	(Φ30+Φ18)s150
17-18	750	1770	0.42	Φ30s150
18-19	1650	1770	0.93	Φ30s150
19-20	1050	1770	0.59	Φ30s150

- Dimensionnement des armatures verticales

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.4

Travée V501	M_{yD-} (kNm/m)	$M_{Rd,y}$ (kNm/m)	n	Diam.
3-4	980	1168	0.84	Φ22s150
4-5	810	1016	0.80	Φ22s150
5-6	1180	1394	0.85	Φ26s150
6-7	1150	1394	0.82	Φ26s150
7-8	980	1016	0.96	Φ22s150
8-9	1000	1016	0.98	Φ22s150
9-10	1010	1016	0.99	Φ22s150
10-11	870	1016	0.86	Φ22s150
11-12	1000	1016	0.98	Φ22s150
12-13	980	1016	0.96	Φ22s150
13-14	830	1016	0.82	Φ22s150
14-15	900	1016	0.89	Φ22s150
15-16	830	847	0.98	Φ20s150
16-17	780	847	0.92	Φ20s150
17-18	730	847	0.86	Φ20s150
18-19	740	847	0.87	Φ20s150
19-20	600	847	0.71	Φ20s150

- Dimensionnement des armatures d'effort tranchant

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.2

- Dimensionnement sur une hauteur de 0 à -50cm de la tête des murs.

Appui V501	V_{xz} (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN/m)	$V_{Rd,xz}$ (kN)	n	Armatures
3	1350	490	2068	0.65	4Φ16s300
4	1430	490	2068	0.69	4Φ16s300
5	1480	490	1743	0.85	4Φ16s300
6	1220	426	1743	0.70	4Φ16s300
7	900	426	1743	0.52	4Φ16s300
8	1340	426	1743	0.77	4Φ16s300
9	1330	426	1743	0.76	4Φ16s300
10	1610	426	1743	0.92	4Φ16s300
11	1380	426	1743	0.79	4Φ16s300
12	1300	426	1743	0.75	4Φ16s300
13	1640	426	1743	0.94	4Φ16s300
14	1570	426	1743	0.90	4Φ16s300
15	1350	426	1743	0.77	4Φ16s300
16	1230	426	1743	0.71	4Φ16s300
17	1090	426	1743	0.63	4Φ16s300
18	1100	426	1743	0.63	4Φ16s300
19	980	426	1743	0.56	4Φ16s300
20	470	426	1743	0.27	4Φ16s300

- Dimensionnement sur une hauteur de -50 cm à -100 cm de la tête des murs.

Appui V501	V_{xz} (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN/m)	$V_{Rd,xz}$ (kN)	n	Armatures
3	500	490	1180	0.42	3Φ14
4	570	490	1180	0.48	3Φ14
5	530	490	1001	0.53	3Φ14
6	340	426	1001	0.34	3Φ14
7	815	426	1001	0.81	3Φ14
8	320	426	1001	0.32	3Φ14
9	670	426	1001	0.67	3Φ14
10	750	426	1001	0.75	3Φ14
11	660	426	1001	0.66	3Φ14
12	580	426	1001	0.58	3Φ14
13	740	426	1001	0.74	3Φ14
14	390	426	1001	0.39	3Φ14
15	360	426	1001	0.36	3Φ14
16	370	426	1001	0.37	3Φ14
17	470	426	1001	0.47	3Φ14
18	460	426	1001	0.46	3Φ14
19	460	426	1001	0.46	3Φ14
20	190	426	-	-	-

- Dimensionnement sur une hauteur de -100 cm à -150 cm de la tête des murs.

Appui V501	V_{xz} (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN/m)	$V_{Rd,xz}$ (kN)	n	Armatures
3	-	490	-	-	-
4	-	490	-	-	-
5	-	490	-	-	-
6	-	426	-	-	-
7	-	426	-	-	-
8	-	426	-	-	-
9	-	426	-	-	-
10	-	426	-	-	-
11	-	426	-	-	-
12	-	426	-	-	-
13	-	426	-	-	-
14	-	426	-	-	-
15	-	426	-	-	-
16	-	426	-	-	-
17	310	426	754	0.41	3Φ12s300
18	270	426	754	0.36	3Φ12s300
19	510	426	754	0.68	3Φ12s300
20	-	426	-	-	-

6.2.2. Murs de guidage côté V300

- Vérifications armatures horizontales des murs au niveau des appuis (butons)

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.6

Appui V300	M_{xD-} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3	1110	2052	0.54	Φ30s150
4	870	2052	0.42	Φ30s150
5	1600	1770	0.90	Φ30s150
6	1700	1770	0.96	Φ30s150
7	1520	1770	0.86	Φ30s150
8	920	1360	0.68	Φ26s150
9	910	1360	0.67	Φ26s150
10	810	1360	0.60	Φ26s150
11	750	1360	0.55	Φ26s150
12	950	1360	0.70	Φ26s150
13	850	1360	0.63	Φ26s150
14	790	1360	0.58	Φ26s150
15	750	1360	0.55	Φ26s150
16	730	1360	0.54	Φ26s150
17	610	1360	0.45	Φ26s150
18	530	1360	0.39	Φ26s150
19	550	1360	0.40	Φ26s150
20	190	1360	0.14	Φ26s150

- Vérifications armatures horizontales en travées (entre butons)

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.8

Travée V300	M_{xD+} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3-4	2700	3041	0.89	(Φ30+Φ22)s150
4-5	2250	2606	0.86	(Φ30+Φ22)s150
5-6	2350	2606	0.90	(Φ30+Φ22)s150
6-7	2280	2606	0.87	(Φ30+Φ22)s150
7-8	2000	2606	0.77	(Φ30+Φ22)s150
8-9	2000	2338	0.86	(Φ30+Φ18)s150
9-10	1900	2338	0.81	(Φ30+Φ18)s150
10-11	1880	2338	0.80	(Φ30+Φ18)s150
11-12	1900	2338	0.81	(Φ30+Φ18)s150
12-13	2000	2338	0.86	(Φ30+Φ18)s150
13-14	1850	2338	0.79	(Φ30+Φ18)s150
14-15	1860	2338	0.80	(Φ30+Φ18)s150
15-16	1900	2338	0.81	(Φ30+Φ18)s150
16-17	1820	2338	0.78	(Φ30+Φ18)s150
17-18	1550	1770	0.88	Φ30s150
18-19	1050	1770	0.59	Φ30s150
19-20	650	1770	0.37	Φ30s150

- Vérifications armatures verticales

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.9

Travée V300	M_{yD-} (kNm/m)	$M_{Rd,y}$ (kNm/m)	n	Diam.
3-4	1020	1168	0.87	Φ22s150
4-5	1040	1199	0.87	Φ24s150
5-6	1060	1199	0.88	Φ24s150
6-7	1020	1199	0.85	Φ24s150
7-8	860	1199	0.72	Φ24s150
8-9	810	847	0.96	Φ20s150
9-10	720	847	0.85	Φ20s150
10-11	730	847	0.86	Φ20s150
11-12	760	847	0.90	Φ20s150
12-13	760	847	0.90	Φ20s150
13-14	680	847	0.80	Φ20s150
14-15	730	847	0.86	Φ20s150
15-16	720	847	0.85	Φ20s150
16-17	680	847	0.80	Φ20s150
17-18	610	847	0.72	Φ20s150
18-19	490	847	0.58	Φ20s150
19-20	340	847	0.40	Φ20s150

- Vérifications des armatures d'effort tranchant

Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.7

- Dimensionnement sur une hauteur de 0 à -50cm de la tête des murs.

Appui V300	V_{xz} (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN/m)	$V_{Rd,xz}$ (kN)	n	Armatures
3	1360	490	2068	0.66	4Φ16s300
4	1430	660	2068	0.69	4Φ16s300
5	1510	490	1743	0.87	4Φ16s300
6	1300	426	1743	0.75	4Φ16s300
7	1400	426	1743	0.80	4Φ16s300
8	1310	426	1743	0.75	4Φ16s300
9	1260	426	1743	0.72	4Φ16s300
10	1490	426	1743	0.85	4Φ16s300
11	1200	426	1743	0.69	4Φ16s300
12	1190	426	1743	0.68	4Φ16s300
13	1560	426	1743	0.90	4Φ16s300
14	1520	426	1743	0.87	4Φ16s300
15	1280	426	1743	0.73	4Φ16s300
16	1270	426	1743	0.73	4Φ16s300
17	1190	426	1743	0.68	4Φ16s300
18	1070	426	1743	0.61	4Φ16s300
19	990	426	1743	0.57	4Φ16s300
20	500	426	1743	0.29	4Φ16s300

- Dimensionnement sur une hauteur de -50 cm à -100 cm de la tête des murs.

Appui V300	V_{xz} (kN)	$V_{Rd,xz}$ (kN)	n	Armatures
3	570	1180	0.48	3Φ14
4	470	1180	0.40	3Φ14
5	450	1001	0.45	3Φ14
6	410	1001	0.41	3Φ14
7	490	1001	0.49	3Φ14
8	360	1001	0.36	3Φ14
9	540	1001	0.54	3Φ14
10	620	1001	0.62	3Φ14
11	400	1001	0.40	3Φ14
12	360	1001	0.36	3Φ14
13	620	1001	0.62	3Φ14
14	470	1001	0.47	3Φ14
15	420	1001	0.42	3Φ14
16	370	1001	0.37	3Φ14
17	420	-	-	-
18	330	-	-	-
19	270	-	-	-
20	-	-	-	-

6.2.3. Butons

- Butons existants - vérifications des armatures horizontales de liaison entre murs existants et butons existants – côté V501

Buton V501	M_{xD-} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3	190	215	0.88	Φ16s150
4	130	215	0.60	Φ16s150
5	420	532	0.79	Φ20s150
6	430	532	0.81	Φ20s150
7	450	532	0.85	Φ30s150

- Butons existants - vérifications des armatures horizontales de liaison entre murs existants et butons existants – côté V300

Buton V300	M_{xD-} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3	180	215	0.84	Φ16s150
4	190	215	0.88	Φ16s150
5	520	532	0.98	Φ20s150
6	450	532	0.85	Φ20s150
7	320	532	0.60	Φ30s150

- Nouveaux butons - dimensionnement des armatures horizontales de liaison entre nouveaux murs et nouveaux butons – côté V501

Buton V501	M_{xD} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
1	1100	1110	0.99	Φ30s150
2	800	863	0.93	Φ26s150
3	200	383	0.52	Φ22s150
4	320	383	0.84	Φ22s150
5	740	863	0.86	Φ26s150
6	750	863	0.87	Φ26s150
7	430	532	0.81	Φ20s150
8	210	532	0.39	Φ20s150
9	210	532	0.39	Φ20s150
10	200	532	0.38	Φ20s150
11	210	532	0.39	Φ20s150
12	220	532	0.41	Φ20s150
13	210	532	0.39	Φ20s150
14	240	532	0.45	Φ20s150
15	260	532	0.49	Φ20s150
16	280	532	0.53	Φ20s150
17	310	532	0.58	Φ20s150
18	300	532	0.56	Φ20s150
19	320	532	0.60	Φ20s150
20	180	532	0.34	Φ20s150

- Nouveaux butons - dimensionnement des armatures horizontales de liaison entre nouveaux murs et nouveaux butons – côté V300

Buton V300	M_{xD} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
1	1050	1110	0.95	Φ30s150
2	750	863	0.87	Φ26s150
3	340	383	0.89	Φ22s150
4	600	638	0.94	Φ30s150
5	650	863	0.75	Φ26s150
6	790	863	0.92	Φ26s150
7	510	532	0.96	Φ20s150
8	490	532	0.92	Φ20s150
9	480	532	0.90	Φ20s150
10	470	532	0.88	Φ20s150
11	440	532	0.83	Φ20s150
12	260	532	0.49	Φ20s150
13	360	532	0.68	Φ20s150
14	430	532	0.81	Φ20s150
15	430	532	0.81	Φ20s150
16	330	532	0.62	Φ20s150
17	330	532	0.62	Φ20s150
18	260	532	0.49	Φ20s150
19	280	532	0.53	Φ20s150
20	130	532	0.24	Φ20s150

6.2.4. Etude des déplacements au cas de choc ferroviaire – zone murs sur semelles

Déplacements perpendiculaires à l'axe de la voie – Choc depuis V501 direction V300
Pour caractéristiques de sol 3 selon chapitre 2.2.1.

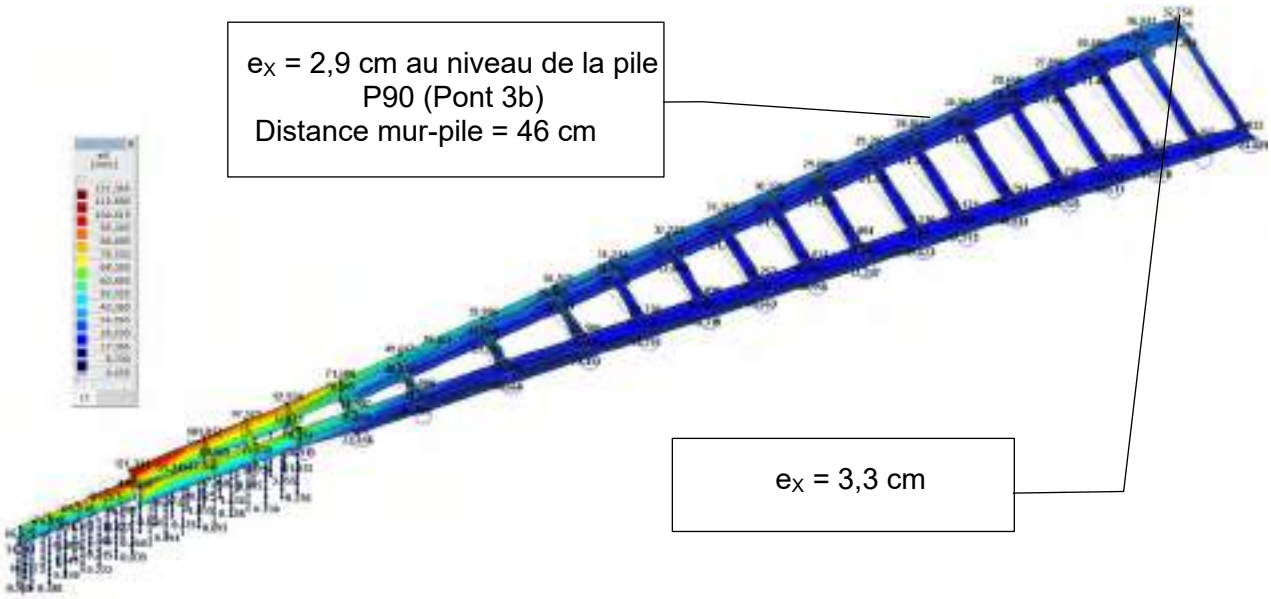


Figure 14 - Enveloppe des déplacements ex – Choc V501 direction V300 - zone murs de guidage sur semelles

Déplacements perpendiculaires à l'axe de la voie – Choc depuis V300 direction V501
Pour caractéristiques de sol 3 selon chapitre 2.2.1.

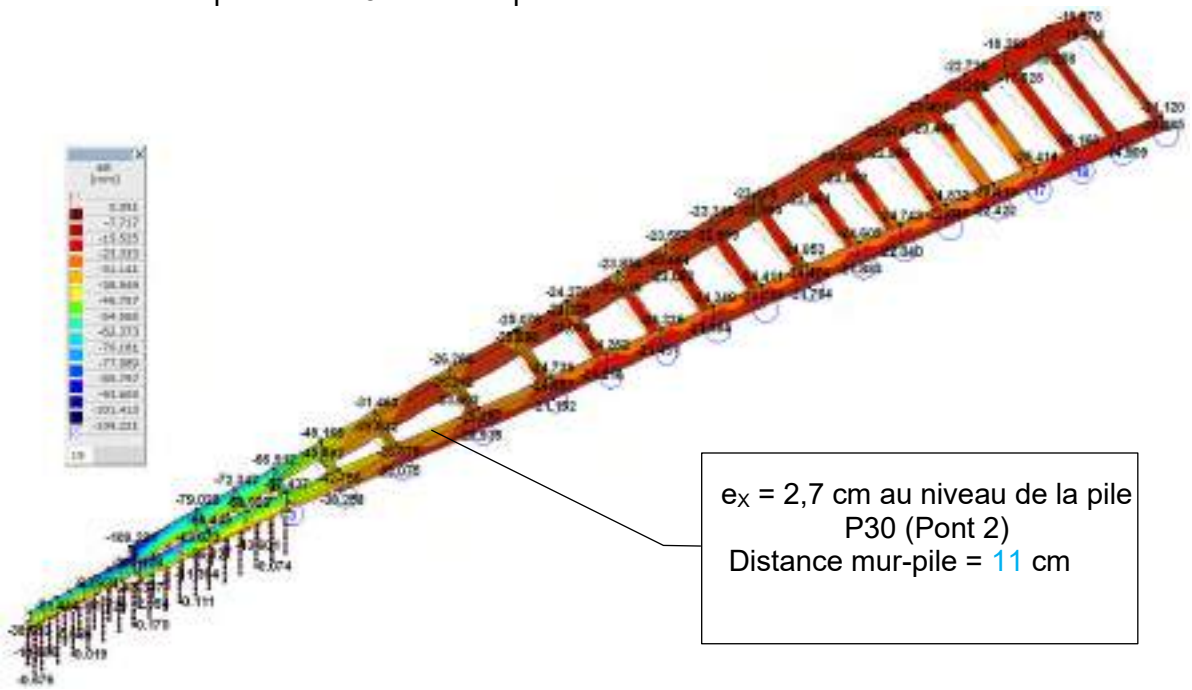


Figure 15 - Enveloppe des déplacements ex – Choc V300 direction V501 - zone murs de guidage sur semelles

6.3. Murs de guidage sur semelles existants

Ce chapitre traite à la fois des rehaussements des murs de guidage sur semelles existants, mais aussi des nouveaux murs de guidage sur semelles.

6.3.1. Murs de guidage côté V501

- Vérifications des armatures horizontales des murs au niveau des appuis (butons)

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.1

Appui V501	Coupe type plan d'origine 1976b/1977b	M_{xD-} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3	1a	930	1532	0.61	Φ30s150
4	1a	750	1532	0.49	Φ30s150
5	2a	705	720	0.98	Φ20s150
6	2a	710	720	0.99	Φ20s150
7	3a	800	1532	0.52	Φ30s150
8	4a	700	863	0.81	Φ22s150
9	4a	630	863	0.73	Φ22s150
10	4a	490	863	0.57	Φ22s150
11	1b	460	588	0.78	Φ18s150
12	1b	510	588	0.87	Φ18s150
13	1b	540	588	0.92	Φ18s150
14	1b	550	588	0.94	Φ18s150
15	1b	460	588	0.78	Φ18s150
16	1b	330	588	0.56	Φ18s150

- Vérifications des armatures horizontales en travées (entre butons)

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.3

Travée V501	Coupe type plan d'origine 1976b/1977b	M_{xD+} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3-4	1a	1300	1532	0.85	Φ30s150
4-5	2a	1400	1910	0.73	Φ34s150
5-6	2a	1880	1910	0.98	Φ34s150
6-7	2a	1880	1910	0.98	Φ34s150
7-8	4a	1750	2510	0.70	Φ40s150
8-9	4a	1700	2510	0.68	Φ40s150
9-10	4a	1650	2510	0.66	Φ40s150
10-11	1b	1620	1910	0.85	Φ34s150
11-12	1b	1600	1910	0.84	Φ34s150
12-13	1b	1580	1910	0.83	Φ34s150
13-14	1b	1550	1910	0.81	Φ34s150
14-15	1b	1560	1910	0.82	Φ34s150
15-16	1b	1530	1910	0.80	Φ34s150

- Vérifications des armatures verticales

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.4

Travée V501	M_{yD-} (kNm/m)	$M_{Rd,y}$	n	Armatures
3-4	460	480	0.96	Φ16s150
4-5	410	480	0.85	Φ16s150
5-6	465	480	0.97	Φ16s150
6-7	460	480	0.96	Φ16s150
7-8	550	602	0.91	Φ18s150
8-9	580	602	0.96	Φ18s150
9-10	570	602	0.95	Φ18s150
10-11	540	602	0.90	Φ16s150
11-12	530	602	0.88	Φ16s150
12-13	450	602	0.75	Φ16s150
13-14	450	602	0.75	Φ16s150
14-15	460	480	0.96	Φ16s150
15-16	440	480	0.92	Φ16s150

- Vérifications des armatures d'effort tranchant

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.2

Appui V501	Coupe type plan d'origine 1976b/1977b	V_{xz} (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN/m)	$V_{Rd,xz}$ (kN)	n	Armatures
3	1a	1150	445	1660	0.69	4Φ16 s300
4	1a	1450	445	1660	0.87	4Φ16 s300
5	2a	850	401	2085	0.41	5Φ16 s300
6	2a	800	401	2085	0.38	5Φ16 s300
7	2a	450	401	2085	0.22	5Φ16 s300
8	4a	550	401	2085	0.26	5Φ16 s300
9	4a	480	401	2085	0.23	5Φ16 s300
10	4a	480	401	2085	0.23	5Φ16 s300
11	1b	470	401	2085	0.23	5Φ16 s300
12	1b	480	401	2085	0.23	5Φ16 s300
13	1b	410	401	2085	0.20	5Φ16 s300
14	1b	450	401	2085	0.22	5Φ16 s300
15	1b	450	401	2085	0.22	5Φ16 s300
16	1b	560	401	2085	0.27	5Φ16 s300

6.3.2. Murs de guidage côté V300

- Vérifications des armatures horizontales des murs au niveau des appuis (butons)

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.6

Appui V300	Coupe type plan d'origine 1976b/1977b	M_{xD-} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3	1	850	1910	0.45	Φ34s150
4	1	1100	1910	0.58	Φ34s150
5	2	670	863	0.78	Φ22s150
6	2	650	863	0.75	Φ22s150
7	2	660	863	0.76	Φ22s150

- Vérifications des armatures horizontales en travées (entre butons)

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.8

Travée V300	Coupe type plan d'origine 1973	M_{xD+} (kNm/m)	$M_{Rd,x}$ (kNm/m)	n	Armatures
3-4	1	1300	1910	0.68	Φ34s150
4-5	2	1400	1910	0.73	Φ34s150
5-6	2	1900	1910	0.99	Φ34s150
6-7	2	1900	1910	0.99	Φ34s150

- Vérifications des armatures verticales

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.9

Travée V300	M_{yD-} (kNm/m)	$M_{Rd,y}$	n	Armatures
3-4	410	480	0.85	Φ16s150
4-5	460	480	0.96	Φ16s150
5-6	460	480	0.96	Φ16s150
6-7	450	480	0.94	Φ16s150

- Vérifications des armatures d'effort tranchant

  Valeurs de dimensionnement présentées à l'annexe 10.4.7

Appui V300	Coupe type plan d'origine 1973d	V_{xz} (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN/m)	$V_{Rd,xz}$ (kN)	n	Armatures
3	1	310	474	1660	0.19	4Φ16 s300
4	1	160	474	1660	0.10	4Φ16 s300
5	2	220	401	2085	0.11	5Φ16 s300
6	2	220	401	2085	0.11	5Φ16 s300
7	2	230	401	2085	0.11	5Φ16 s300

6.3.3. Dimensionnement des éléments de liaison entre murs de guidage existants et rehaussements

$V_{Ed,courant}$ = 390 kN/m selon sollicitations annexe 10.4.11 et 10.4.12

ROR D=139.7 t=4.0 ; S355

$V_{Rd}=\frac{2\times139.7\times4.0\times355}{\sqrt{3}\times1000\times1.05}=218\ kN$ → 2 ROR 139.7/4 / m' (e = 50 cm)

$\sigma_{Ed}=\frac{F}{d\times l}=\frac{340'000/2}{139.7\times500}=2.80\ N/mm^2$

Selon Eurocode 2, $\nu=0{,}6\times(1-\frac{f_{ck}}{250})=0{,}6\times(1-\frac{30}{250})=0.528$

$\sigma_{Rd,max}=\nu\times f_{cd}=10.5\ N/mm^2>\sigma_{Ed}=2.80\ N/mm^2$

Les ROR sont scellés de 50 cm dans les murs existants, et 50 cm dans les rehaussements.

Un moment de flexion existe et doit être repris par les ROR, jouant le rôle de goujons. Selon le bulletin n°43 de la FIB, intitulé « Structural connections for precast concrete buildings » [7] de la Convention d'utilisation :

- Le comportement des ROR est semblable à celui d'un goujon à double face, lisse, sans ancrage d'extrémité et sans jeu au niveau du joint (ch. 8.2.2.1 du bulletin FIB 43).

La capacité de cisaillement maximale est déterminée selon l'équation (8-10) du bulletin FIB 43 :

Application pour section tubulaire :

$M_y=f_y\times\left(t\times\frac{\pi\times D}{2}\right)\times\frac{4}{3}\times\frac{D^3-(D-t)^3}{D^2-(D-t)^2}=355\times\left(4\times\frac{\pi\times139.7}{2}\right)\times\frac{4}{3}\times\frac{139.7^3-(139.7-4)^3}{139.7^2-(139.7-4)^2}$ = 85.82 kNm

$M_{max}=\frac{1}{2}\times\frac{{F_{Vr}}^2}{q_c}=\frac{{F_{Vr}}^2}{2(\beta_c f_{cc})D}$

($q_c=(\beta_c f_{cc})D$ étant la contrainte de réaction du béton le long du ROR par unité de longueur)

$\Rightarrow M_y=M_{max}$

$\Rightarrow f_y\times(t\times\frac{\pi\times D}{2})\times\frac{4}{3}\times\frac{D^3-(D-t)^3}{D^2-(D-t)^2}=\frac{{F_{Vr}}^2}{2(\beta_c f_{cc})D}$

$\Rightarrow F_{Vr}=\alpha_0\sqrt{6\times M_y\times f_{cc}\times D}$ avec $\alpha_0=\sqrt{\frac{\beta_c}{3}}=1$

$$F_{Vr}=\sqrt{6\times M_y\times50\times139.7}=\sqrt{6\times85'822'092\times50\times139.7}=1896\ kN$$

$V_{Ed,max}$ = 390/2 = 195 kN / ROR < $F_{Vr}=1896\ kN$; Vérifié

Cette vérification permet de vérifier le moment fléchissant du ROR.

6.3.4. Dimensionnement des éléments de liaison entre butons existants et rehaussements de butons

$V_{Ed,max}$ = 430 kN/m selon sollicitations annexe 10.4.13

ROR D=139.7 t=4.0 ; S355

$V_{Rd}=\frac{2\times139.7\times4.0\times355}{\sqrt{3}\times1000\times1.05}=218\ kN$ → 2 ROR 139.7/4 / m' (e = 50 cm)

$\sigma_{Ed}=\frac{F}{d\times l}=\frac{430'000/2}{139.7\times500}=3.39\ N/mm^2$

Selon Eurocode 2, $\nu=0{,}6\times(1-\frac{f_{ck}}{250})=0{,}6\times(1-\frac{30}{250})=0.528$

$\sigma_{Rd,max}=\nu\times f_{cd}=10.5\ N/mm^2>\sigma_{Ed}=3.39\ N/mm^2$

Les ROR sont scellés de 50 cm dans les murs existants, et 50 cm dans les rehaussements.

Un moment de flexion existe et doit être repris par les ROR, jouant le rôle de goujons.
Selon le bulletin n°43 de la FIB, intitulé « Structural connections for precast concrete buildings » [7] de la Convention d'utilisation :

- Le comportement des ROR est semblable à celui d'un goujon à double face, lisse, sans ancrage d'extrémité et sans jeu au niveau du joint (ch. 8.2.2.1 du bulletin FIB 43).

La capacité de cisaillement maximale est déterminée selon l'équation (8-10) du bulletin FIB 43 :

Application pour section tubulaire :

$M_y=f_y\times\left(t\times\frac{\pi\times D}{2}\right)\times\frac{4}{3}\times\frac{D^3-(D-t)^3}{D^2-(D-t)^2}=355\times\left(4\times\frac{\pi\times139.7}{2}\right)\times\frac{4}{3}\times\frac{139.7^3-(139.7-4)^3}{139.7^2-(139.7-4)^2}$ = 85.82 kNm

$M_{max}=\frac{1}{2}\times\frac{{F_{Vr}}^2}{q_c}=\frac{{F_{Vr}}^2}{2(\beta_c f_{cc})D}$

($q_c=(\beta_c f_{cc})D$ étant la contrainte de réaction du béton le long du ROR par unité de longueur)

$\Rightarrow M_y=M_{max}$

$\Rightarrow f_y\times(t\times\frac{\pi\times D}{2})\times\frac{4}{3}\times\frac{D^3-(D-t)^3}{D^2-(D-t)^2}=\frac{{F_{Vr}}^2}{2(\beta_c f_{cc})D}$

$\Rightarrow F_{Vr}=\alpha_0\sqrt{6\times M_y\times f_{cc}\times D}$ avec $\alpha_0=\sqrt{\frac{\beta_c}{3}}=1$

$$F_{Vr}=\sqrt{6\times M_y\times50\times139.7}=\sqrt{6\times85'822'092\times50\times139.7}=1896\ kN$$

$V_{Ed,max}$ = 430/2 = 215 kN / ROR < $F_{Vr}=1896\ kN$; Vérifié

Cette vérification permet de vérifier le moment fléchissant du ROR.

6.4. Piles de pont

6.4.1. Pile 30 – Pont 2

Vérification au niveau du choc ferroviaire :

Cas choc perpendiculaire (sans influence des excen-tricités)	MyD- (kNm/m)	MxD- (kNm/m)	Vxz (kN/m)	Vyz (kN/m)	NyD (kN/m)
	518	52	46	46	1871
	MyD- (kNm)	MxD- (kNm)	Vxz (kN)	Vyz (kN)	NyD (kN)
	1270	127	113	113	4584

Les sollicitations présentées dans le tableau précédent sont relevées sur un élément de bord de pile P30 (dans le tableau sont présentées les valeurs moyennes et les valeurs résultants sur la largeur de l'élément).
Les efforts dans les éléments de la pile sont détaillés dans les annexes 10.10.1 à 10.10.5 compris.

Les excentricités, selon chap. 4.3.7 de la SIA 262, e_{0d} (dues aux imperfections), e_{1d} (au 1er ordre dues aux actions), e_{2d} (dues à la déformation de l'élément comprimé) sont calculées et présentés à la suite. Les efforts calculés sont utilisés et entrés dans logiciel Fagus pour avoir le résultat de l'interaction M-N
Les excentricités sont prises en compte uniquement dans le sens de la faible inertie de la pile, pour laquelle l'influence n'est pas négligeable.

Cas choc perpendiculaire (avec influence des excen-tricités)	MyD- (kNm/m)	MxD- (kNm/m)	Vxz (kN/m)	Vyz (kN/m)	NyD (kN/m)
	-	52	46	46	1871
	MyD- (kNm)	MxD- (kNm)	Vxz (kN)	Vyz (kN)	NyD (kN)
	2736	254	113	113	4584

Vérification interaction (M,N) : n = 0,63 → ***Vérifié*** Selon annexe 10.10.2

Vérification effort tranchant : n = 0,23 → ***Vérifié*** Selon annexe 10.10.3

Vérification en pied de pile :

Cas déterminant	MyD+ (kNm/m)	MxD+ (kNm/m)	Vxz (kN/m)	Vyz (kN/m)	NyD (kN/m)
Cas choc perpendiculaire	604	67	200	258	2032
	MyD+(kNm)	MxD+(kNm)	Vxz (kN)	Vyz (kN)	NyD (kN)
	2962	328	490	632	4978

Vérification interaction (M,N) : n = 0,68 → ***Vérifié*** Selon annexe 10.10.1 à 10.10.5

Vérification effort tranchant : n = 0,59 → ***Vérifié*** Selon annexe 10.10.5

6.4.2. Pile 90 – Pont 3b

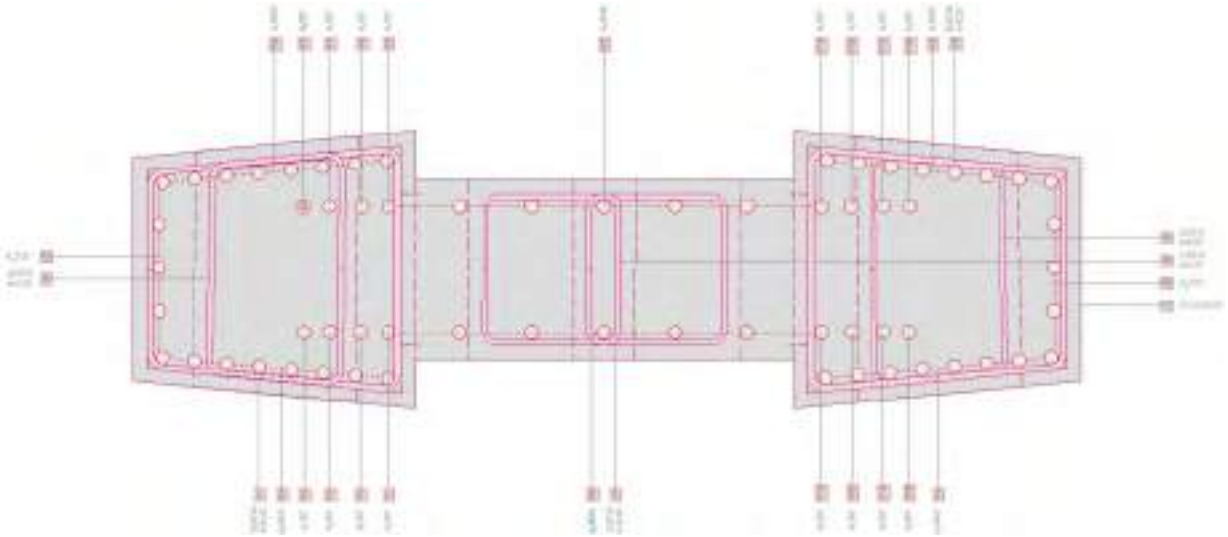
Tableaux de sollicitations des piles en cas de choc ferroviaire (ne tenant pas compte des effets des excentricités) :

	Mz (kNm)	My (kNm)	Vz (kN)	Vy (kN)	Nx (kN)
Cas choc parallèle – en pied de pile	1052	890	366	843	5230
Cas choc parallèle – au niveau du choc	3460	1266	431	997	4870
Cas choc perpendiculaire – en pied de pile	882	1082	403	76	5150
Cas choc perpendiculaire – au niveau du choc	1365	1458	520	348	4790

Les sollicitations reprises dans ce tableau sont détaillées dans les annexes 10.7 à 10.8 compris.

Les excentricités, selon chap. 4.3.7 de la SIA 262, e_{0d} (dues aux imperfections), e_{1d} (au 1er ordre dues aux actions), e_{2d} (dues à la déformation de l'élément comprimé) sont calculées et présentés à la suite. Les efforts calculés sont utilisés et entrés dans logiciel Fagus pour avoir le résultat de l'interaction M-N.

Les valeurs de moments My et Mz, tenant compte des excentricités, sont calculées à l'annexe 10.10.1 et sont utilisées dans les vérifications Fagus.



	Vérification (M-N)		Vérification effort tranchant	
	n	Annexe de la vérification	n	Annexe de la vérification
Cas choc parallèle – en pied de pile	0.29	10.11.2	0.22	10.11.3
Cas choc parallèle – au niveau du choc	0.46	10.11.4	0.22	10.11.5
Cas choc perpendiculaire – en pied de pile	0.33	10.11.6	0.24	10.11.7
Cas choc perpendiculaire – au niveau du choc	0.41	10.11.8	0.27	10.11.9

7. Vérifications géotechnique - stabilité du terrain

7.1. Vérification au glissement – EL type 3

Une vérification locale à l'extrémité des murs de guidage sur semelle est réalisée dans la zone des butons n° 17 à 20. Cette zone représente un point sensible car la vérification est réalisée en extrémité d'ouvrage, et la redistribution des charges de choc ferroviaire ne peut se faire sur les éléments des murs que sur une longueur limitée.
Pour la vérification, nous tenons compte d'une reprise du choc ferroviaire par les murs, butons et terrain, sur une largeur de 3 travées, compatible avec les déplacements calculés.

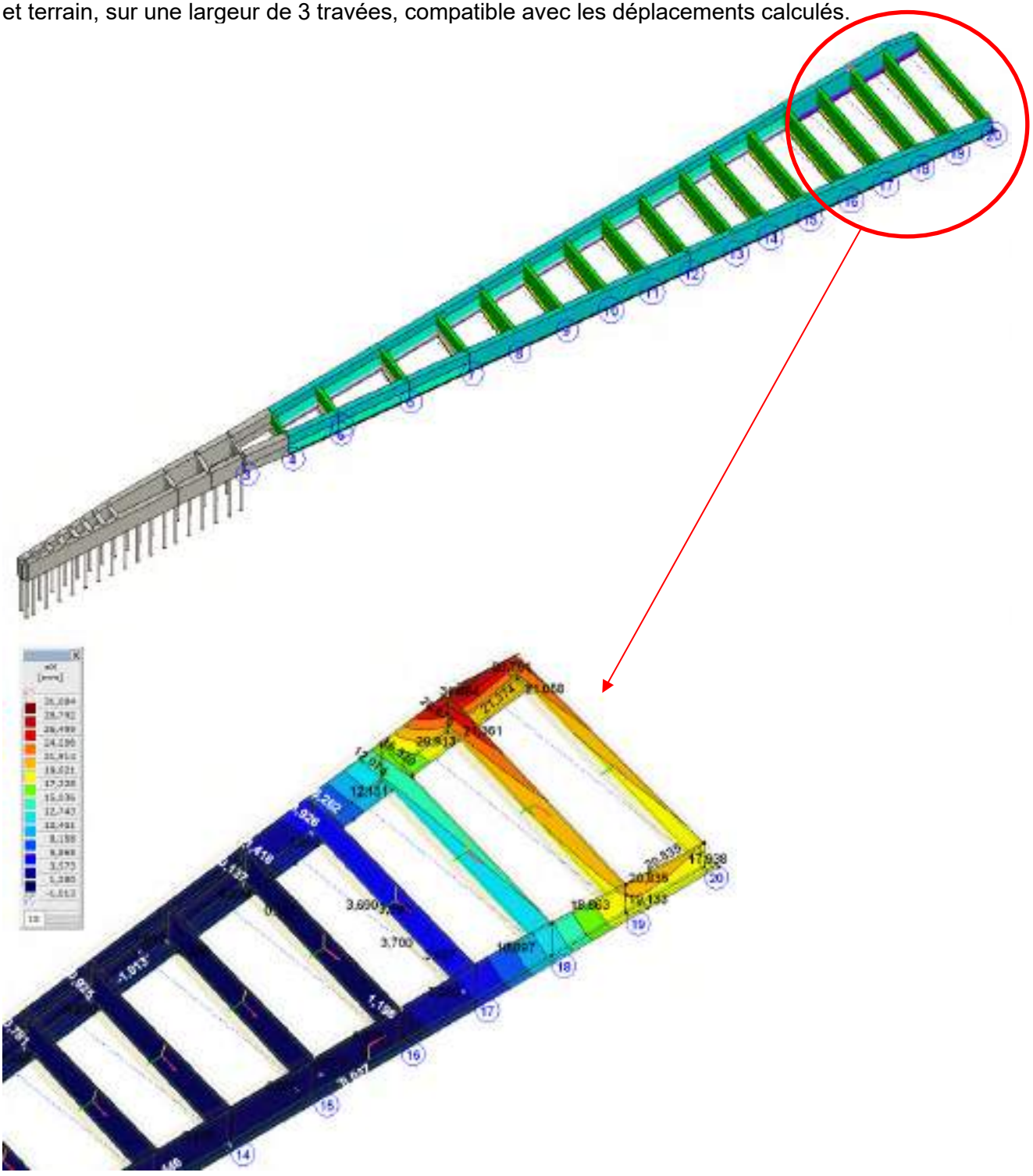


Figure 16 - Déplacements horizontaux ex pour cas de choc depuis V501 (amont)

Vérification locale sur 3 travées – butons 17 à 20 pour choc entre 18 et 19 :
Poids propre des murs de guidage côté V501, entre butons 17 et 20 : 111 to
Poids propre des murs de guidage côté V300, entre butons 17 et 20 : 91 to
Poids propre des butons 17 à 20 : 194 to
$\varphi'_k = 30\ °$; $\varphi'_D = 25\ °$

$$R_{T,d} = \frac{1}{\gamma_R} \times E_{N,d} \times \tan(\delta_d)$$

- $F_{Rd,mur\ V501} = \frac{1}{1.2} \times 1110 \times \tan(25°) = 431\ kN$
- $F_{Rd,mur\ V300} = \frac{1}{1.2} \times 910 \times \tan(25°) = 354\ kN$
- $F_{Rd,butons} = \frac{1}{1.2} \times 1940 \times \tan(25°) = 754\ kN$

Résistance de la masse de sol entre butons 17 et 20 et files de murs de guidage :
Volume de sol mobilisée : V = h x (S1 + S2 + S3) avec S1, S2, S3 les surfaces de sol localisées entre les butons 17-18, 18-19, 19-20 et les murs de guidage.

En tenant compte d'une hauteur de remblai de 2,0 m entre les 2 files de murs de guidage :

V = 2.0 m x (60 m^2 + 59 m^2 + 55 m^2) = 348 m^3

- $E_{p,d} = \frac{1}{1.2} \times 20.5 \times 348 \times \tan(25°) = 2772\ kN$

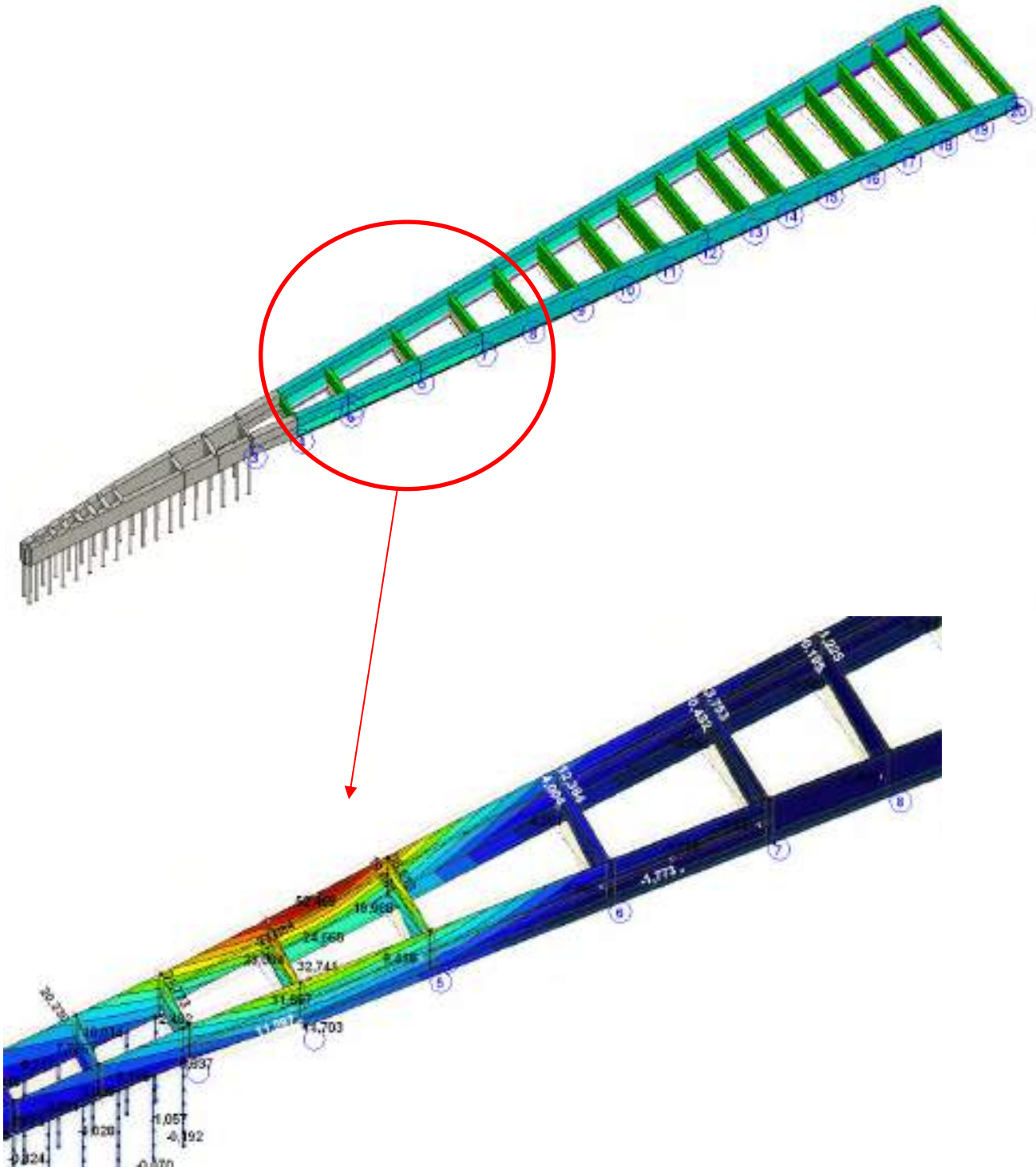
$Vd = 4000\ kN$ (cas de choc ferroviaire)

$n = \frac{431+354+754+2772}{4000} = 1{,}07 > 1 \rightarrow$ Vérification locale au glissement validée

Des vérifications au glissement EL type 3 sont réalisées dans ce chapitre, aux extrémités est et ouest des murs sur semelles, sur 3 et 4 travées de murs appuyés sur des butons. Une vérification au glissement "global", basée sur les poids frottants résistants des murs, butons et sols, serait réalisée sur l'ensemble de l'ouvrage et serait par conséquent largement vérifiée. En phase provisoire (période de 4 à 8 semaines), l'action du choc ferroviaire sur l'ouvrage n'a pas lieu d'être prise en compte. Aucune autre charge, qui aurait un impact conséquent sur cette vérification au glissement, n'a non plus lieu d'être considérée en phase provisoire.

Vérification locale sur 4 travées – butons 4 à 8 pour choc entre butons 4 et 5 :

Une vérification locale à l'extrémité des murs de guidage sur semelle est réalisée dans la zone des butons n° 4 à 8. Cette zone représente un point sensible car la vérification est réalisée en extrémité d'ouvrage, proche du ruisseau de la Sorge (zone sans appui).
Pour la vérification, nous tenons compte d'une reprise du choc ferroviaire par les murs, butons et terrain, sur une largeur de 4 travées, compatible avec les déplacements calculés.



Vérification locale sur 4 travées – butons 4 à 8 pour choc entre butons 4 et 5 :
Poids propre des murs de guidage côté V501, entre butons 4 et 8 : 242 to
Poids propre des murs de guidage côté V300, entre butons 4 et 8 : 242 to
Poids propre des butons 4 à 8 : 102 to
$\varphi'_k = 30\ °$; $\varphi'_D = 25\ °$

$$R_{T,d} = \frac{1}{\gamma_R} \times E_{N,d} \times \tan(\delta_d)$$

- $F_{Rd,mur\ v501} = \frac{1}{1.2} \times 2420 \times \tan(25°) = 940\ kN$
- $F_{Rd,mur\ v300} = \frac{1}{1.2} \times 2420 \times \tan(25°) = 940\ kN$
- $F_{Rd,butons} = \frac{1}{1.2} \times 1020 \times \tan(25°) = 396\ kN$

Résistance de la masse de sol entre butons 16 et 20 et files de murs de guidage :
Volume de sol mobilisée : V = h x (S1 + S2 + S3 + S4) avec S1, S2, S3, S4 les surfaces de sol localisées entre les butons 4-5, 5-6, 6-7, 7-8 et les murs de guidage.

En tenant compte d'une hauteur de remblai de 2,0 m entre les 2 files de murs de guidage :

V = 3.0 m x (19 m^2 + 36 m^2 + 38 m^2 + 35 m^2) = 384 m^3

- $E_{p,d} = \frac{1}{1.2} \times 20.5 \times 384 \times \tan(25°) = 3060\ kN$

$Vd = 4000\ kN$ (cas de choc ferroviaire)

$n = \frac{940+940+396+3060}{4000} = 1{,}33 > 1 \rightarrow$ Vérification locale au glissement validée

8. Vérifications géotechnique

8.1. Rupture du sol – EL type 3 (résistance du terrain)

L'ensemble des murs de guidage et des butons fonctionne comme un élément global. Les sollicitations maximales sur le sol, transmises par les semelles des murs de guidage, résultent des cas de choc ferroviaire sur le mur voie 501 (mur côté amont).

Caractéristiques géotechniques de sol 3 (selon ch. 2.2.1) :

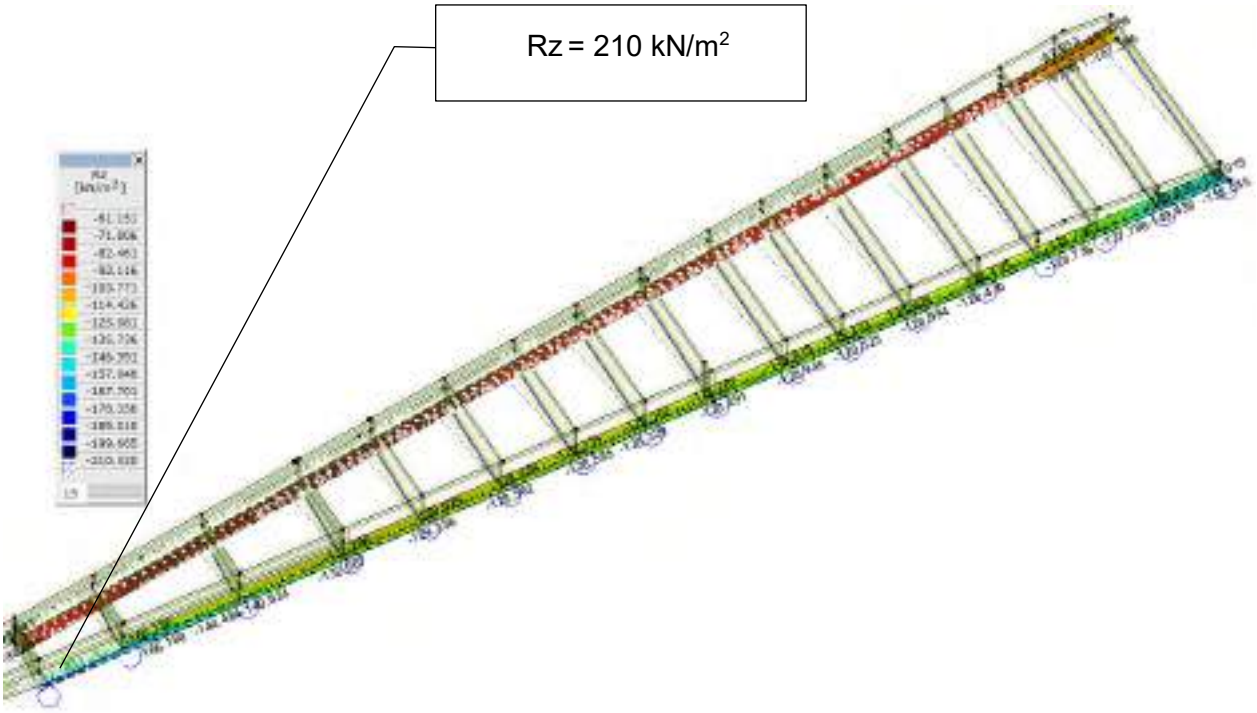


Figure 17 – Enveloppe des contraintes verticales surfaciques Rz - Enveloppe des combinaisons de charges - Sol 3

Φ'$_k$ = 30° ; Φ'$_d$ = 25° ; N_q = 10.7; N_γ = 9.01 ; N_c = 20.7

$q_u = 0{,}5 \times \gamma' \times B \times N_\gamma + (\gamma' \times h) \times N_q + c' \times N_c$

$q_u = 0{,}5 \times (20 - 10) \times 1{,}4 \times 9{,}01 + (20 \times 1{,}0) \times 10{,}7 + 1 \times 20{,}7$

$q_u = 63{,}1 + 214{,}0 + 20{,}7 = 297{,}8\ kN/m^2$

$$\frac{q_u}{\gamma_R} = \frac{297{,}8}{1{,}2} = 248\ kN/m^2$$

$\sigma_{V,d} = 210\ kN/m^2\ au\ maximum, inférieur\ à\ \frac{q_u}{\gamma_R} = 248\ kN/m^2$; n = 0,85 < 1.

Vérification à la rupture du sol valide.

Dans le cas présent, la prise en compte des facteurs réducteurs liés à l'inclinaison de la charge (iq, ic, iγ) pour la vérification de la capacité portante ne paraît pas pertinente. L'effort horizontal du choc ferroviaire important est repris au niveau global par le système de fondation et vérifié au glissement. Compte tenu de la forte rigidité de l'ensemble murs–longrines, cet effort génère principalement un moment de renversement, repris par une redistribution des réactions verticales entre les deux fondations. La vérification de la portance doit donc être basée sur les réactions verticales et les moments de contact résultants, plutôt que sur une réduction de la capacité portante liée à une charge inclinée.

8.2. Vérification de la valeur de ressort horizontal – Appuis surfaciques des semelles

L'objectif est de valider les caractéristiques des ressorts entrés. Nous cherchons à nous assurer que la valeur de la réaction horizontale Ry (kN/m²), relevée sur le logiciel Axis, est inférieure à la valeur de la capacité portante du sol.
Ce chapitre a uniquement pour but de prouver la validité du choix des ressorts des appuis surfaciques des semelles. Les vérifications au glissement, tenant compte des facteurs partiels, sont présentées au chapitre 7.1.
La vérification est réalisée par unité de longueur (m') de l'ouvrage (ensemble murs de guidage + remblai intérieur). Les sollicitations maximales sur le sol, transmises par les semelles des murs de guidage, résultent des cas de choc ferroviaire sur le mur voie 501 (mur côté amont).

<u>Vérification de l'extrémité ouest :</u>
Caractéristiques géotechniques de sol 3 (selon ch. 2.2.1) :

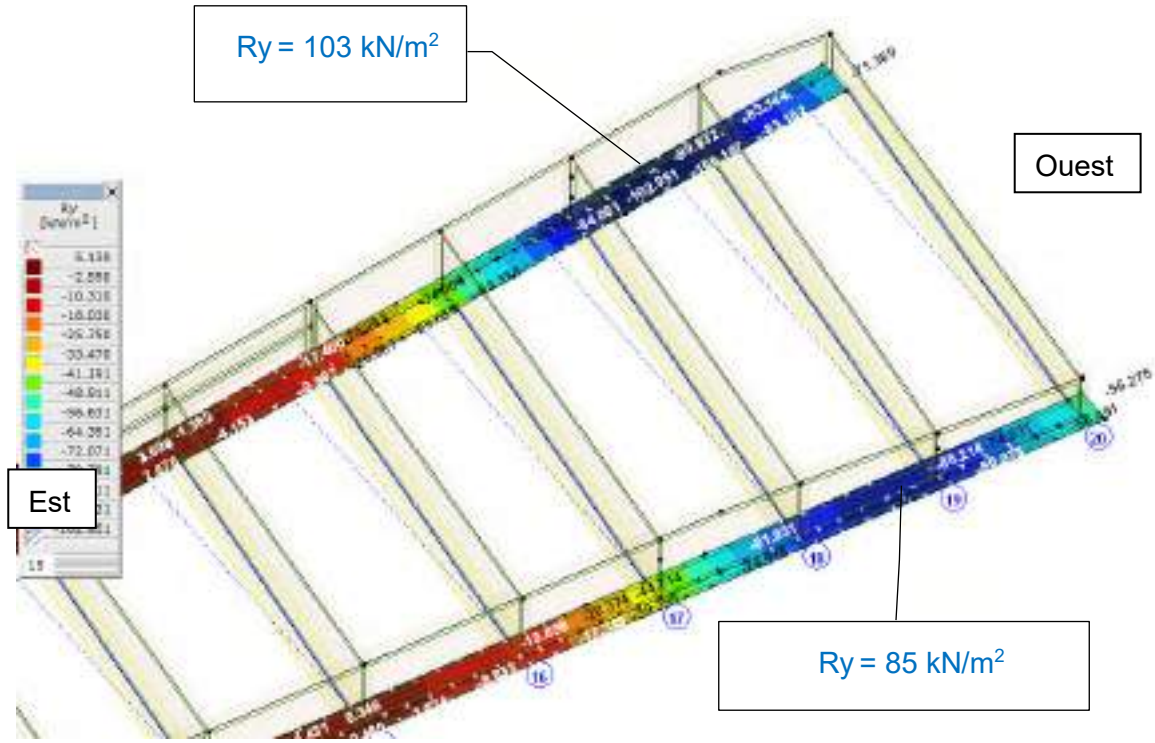


Figure 18 – Extrémité ouest – Combinaison dimensionnante, choc depuis V501 - contraintes horizontales surfaciques Ry - Sol 3

Contrainte sollicitante par unité de longueur :
τ_{Ed} = 103 + 85 = 188 kN/m² → $F_{Ed} = 188 \times 1{,}40\ \text{m} = 263\ \text{kN/m}'$
La valeur τ_{Ed} est surévaluée dans le modèle. En réalité, les butons transmettent au sol des efforts horizontaux. Leur prise en compte tendrait à diminuer les contraintes Ry sur les semelles des murs. Nous sommes du côté de la sécurité.
Contrainte résistante par unité de longueur – zone défavorable entre butons 17 et 20 :
Distance entre murs : 12,0 m ; Poids du mur : 72 kN/m'
φ'_k = 30 ° ; φ'_D = 25 °

- $F_{Rd,mur\ v501} = 72 \times \tan(25°) = 33.5\ kN/m'$
- $F_{Rd,mur\ v300} = 72 \times \tan(25°) = 33.5\ kN/m'$

Résistance due au poids du sol (2 m de remblai dans extrémité est des murs sur semelles) :

- $E_{p,d} = 20.5 \times 2\ \times 12{,}0 \times \tan(25°) = 229.5\ kN/m'$

F_{Rd} = (33.5 + 33.5 + 229.5) = 296 kN/m' > F_{Ed}

Vérification de l'extrémité est :

Caractéristiques géotechniques pour sol 3 (selon base de projet, ch. 2.2.1) :

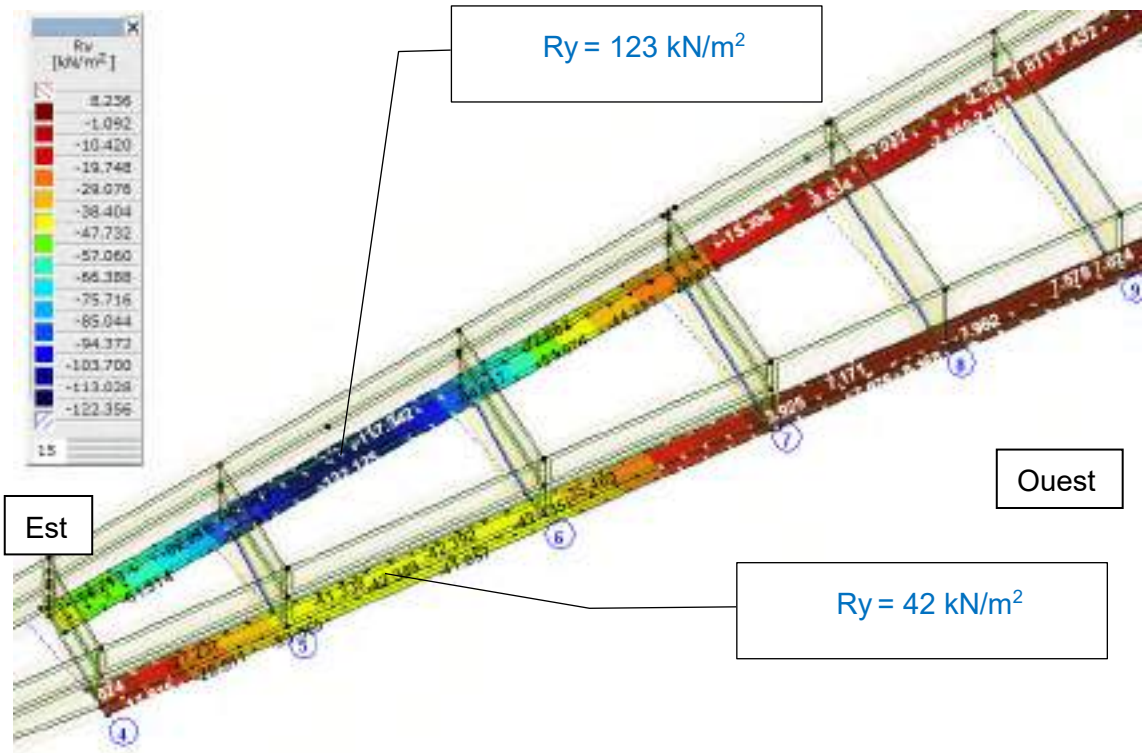


Figure 19 – Extrémité est - Combinaison dimensionnante, choc depuis V501 - contraintes horizontales surfaciques Ry - Sol 3

Deux plans de section, entre les butons 4 et 7, dans l'axe des murs V501 et V300 sont présentés dans les 2 figures suivent.

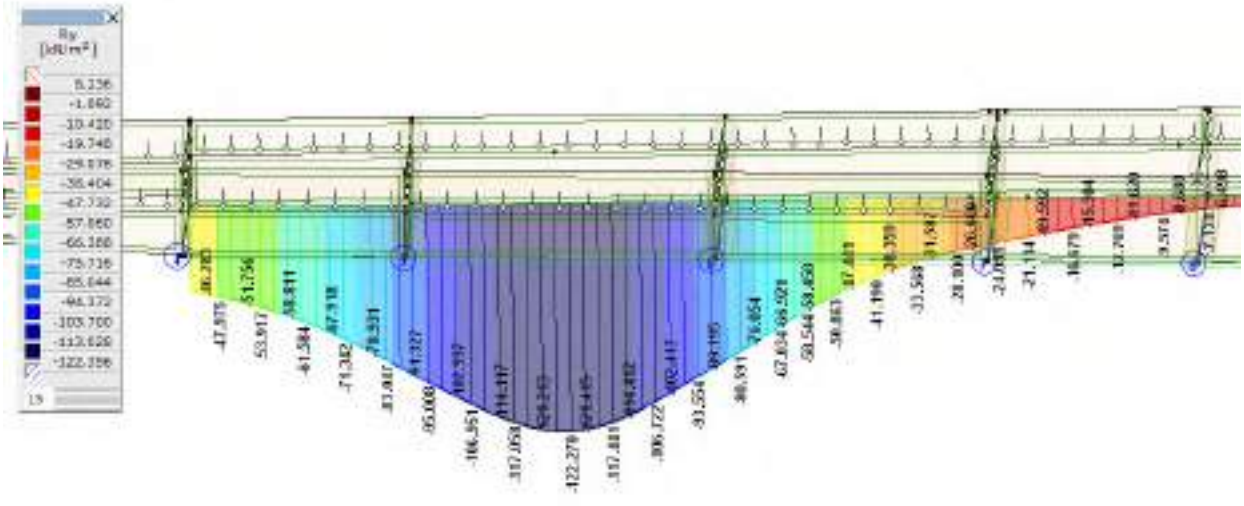


Figure 20 – Extrémité est - Plan de section dans la semelle du mur V501 - Combinaison dimensionnante, choc depuis V501 - contraintes horizontales surfaciques Ry - Sol 3

Valeur moyenne Ry entre butons 4 et 7 : 71 kN

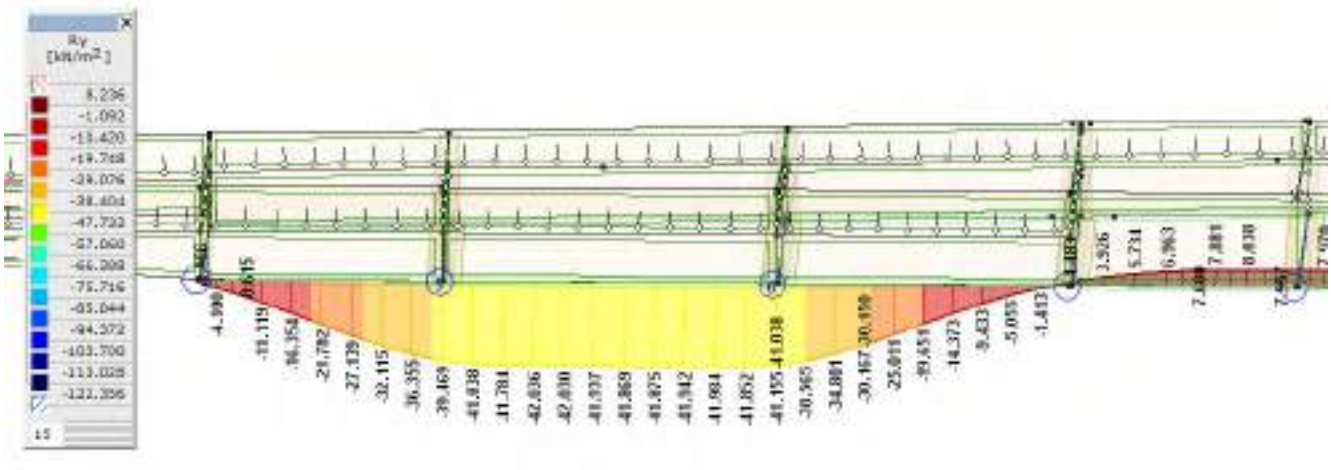


Figure 21 – Extrémité est – Plan de section dans la semelle du mur V300 - Combinaison dimensionnante, choc depuis V501 - contraintes horizontales surfaciques Ry - Sol 3

Valeur moyenne Ry entre butons 4 et 7 : 29 kN

Contrainte sollicitante par unité de longueur :
τ_{Ed} = 71 + 29 = 100 kN/m² → $F_{Ed} = 100 \times 1{,}40\ \mathrm{m} = 140\ \mathrm{kN/m'}$

Contrainte résistante par unité de longueur – zone défavorable entre butons 4 et 7 :
Distance entre murs : (2,6+5,0)/2 = 3,8 m
Poids du mur : 72 kN/m'

- $F_{Rd,mur\ v501} = 72 \times \tan(25°) = 33.5\ kN/m'$
- $F_{Rd,mur\ v300} = 72 \times \tan(25°) = 33.5\ kN/m'$

Poids des butons 4 à 7 : 730 kN ; distance butons 4 à 7 : 26,7 m
- $F_{Rd,butons\ 4\ à\ 7} = 730 \times \tan(25°) \div 26{,}7 = 12.8\ kN/m'$

Résistance due au poids du sol (3 m de remblai dans extrémité est des murs sur semelles) :
- $E_{p,d} = 20.5 \times 3\ \times 3.8 \times \tan(25°) = 109\ kN/m'$

τ_{Rd} = 33.5 + 33.5 + 109 + 12.8 = 189 kN/m' > F_{Ed}

8.3. Stabilité de l'ouvrage global – EL type 1 (équilibre global)

Vérification locale de la stabilité de l'ouvrage au cas de choc ferroviaire, EL type 1.
Entre butons 4 et 9 (extrémité est des murs de guidage sur semelles).

Le poids propre de la structure constitue une action permanente stabilisante vis-à-vis du basculement. La vérification étant effectuée en situation de dimensionnement accidentelle consécutive à un choc, aucun coefficient partiel n'est affecté à la valeur de la charge du poids propre. L'effet stabilisant du poids propre est pris en compte à 100 % de sa valeur, conformément aux principes de combinaison des actions en situation accidentelle de la SIA 260, ch. 4.4.3.5.

$M_{stb,d} = 1.00 \times G_k \times e_G$
$M_{dstb,d} = A_d \times h$

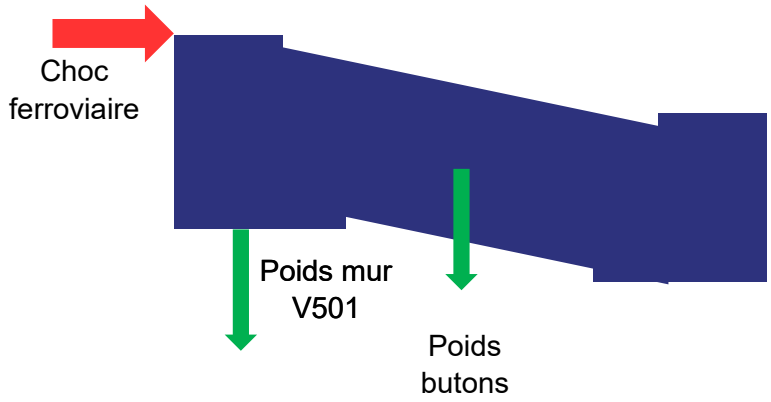
Moment destabilisant – choc ferroviaire :
Distance verticale entre point d'application du choc et base de semelle mur V300 : 4,8 m
$M_{dstb,d} = A_d \times h = 4000$ kN x 4,8 m = 19'200 kNm

Moment stabilisant :
Longueur entre butons 4 et 9 : 40.8 m
Poids linéique du mur : 72 kN/m
Distance moyenne entre centres de gravité des murs V501 et V300 : 5,5 m

Buton	4	5	6	7	8	9
Poids G_k (kN)	90	169	215	256	287	319
Bras de levier e_G (m)	1.7	2.1	2.6	3.3	3.5	3.7
Moment stabilisant (kNm)	153	355	556	845	1004	1180

Mur V501 : $M_{stb,k,mur}$ = 72 kN/m x 5.5 m x 40.8 m = 16'150 kNm
Butons : $M_{stb,k,butons}$ = 153 + 355 + 556 + 845 + 1004 + 1180 = 4'090 kNm

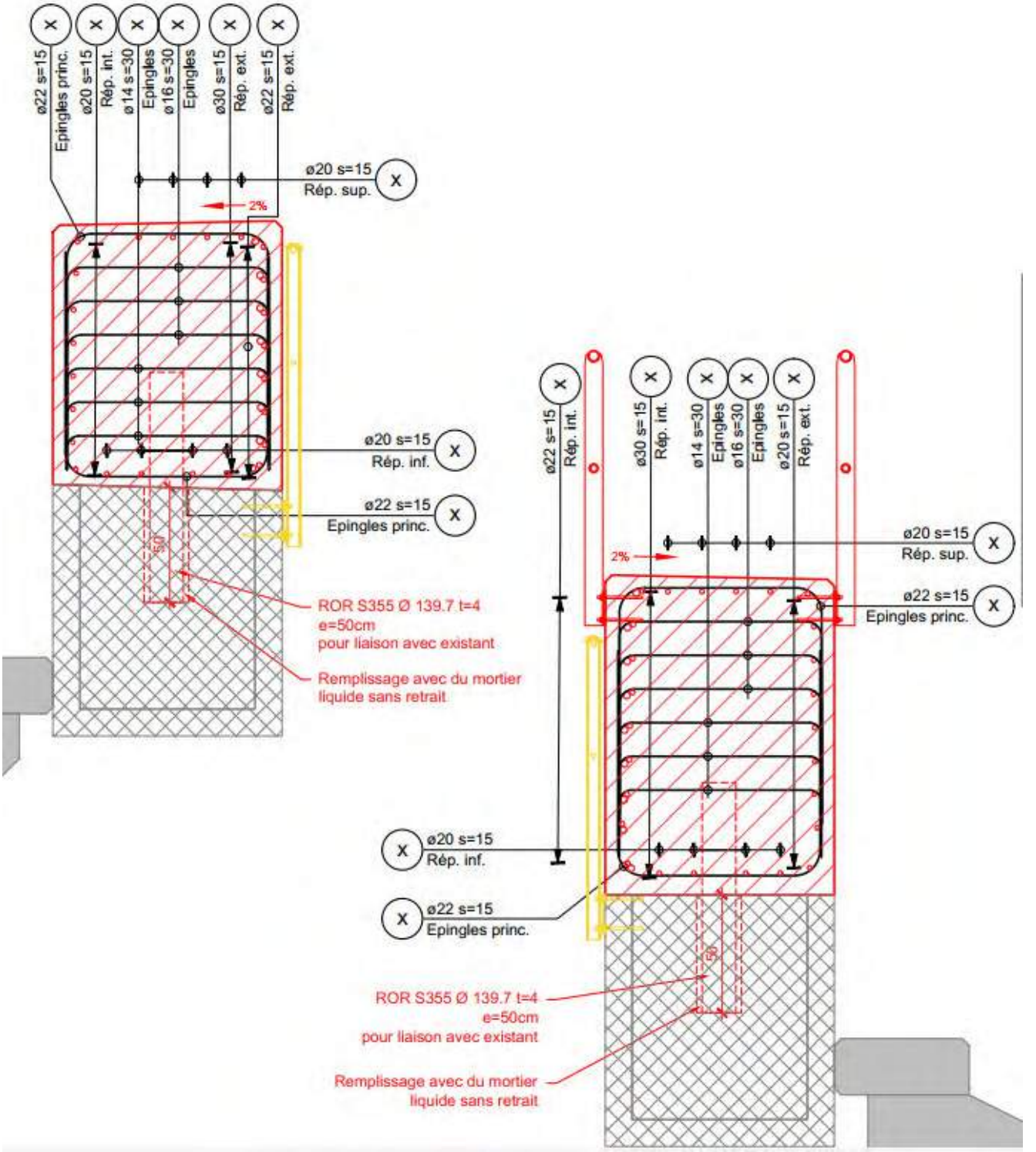
$M_{stb,d}$ = 16'150 + 4'090 = 20'240 kNm > M_{destab} = 19'200 kNm ; Vérifié sur 5 travées.



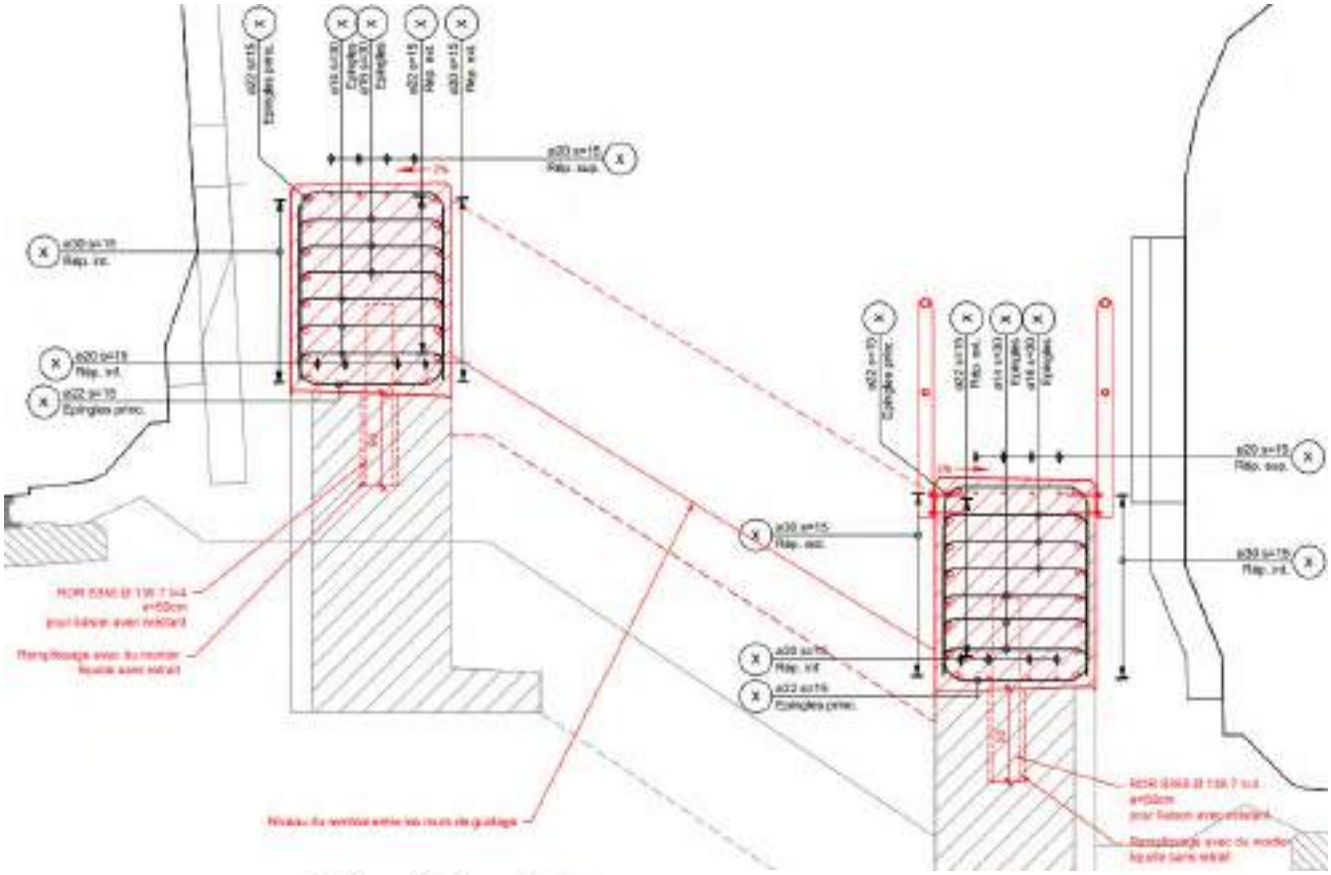
9. Schémas d'armatures

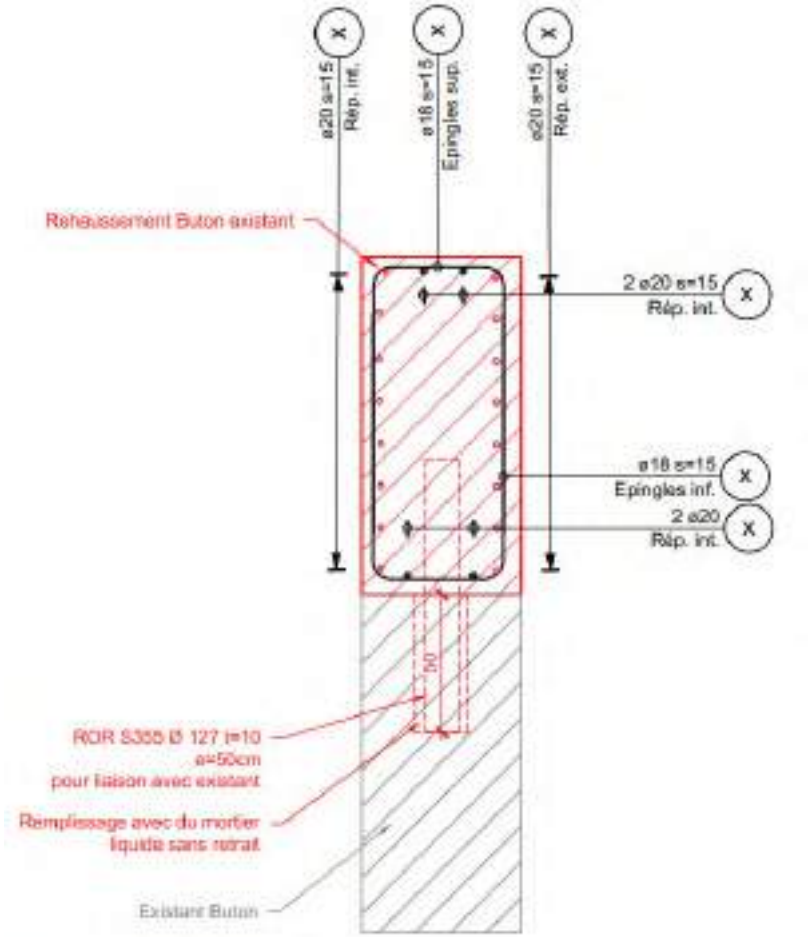
9.1. Murs de guidage sur semelles

9.1.1. Murs de guidage sur Sorge – rehaussements – KM 5.539

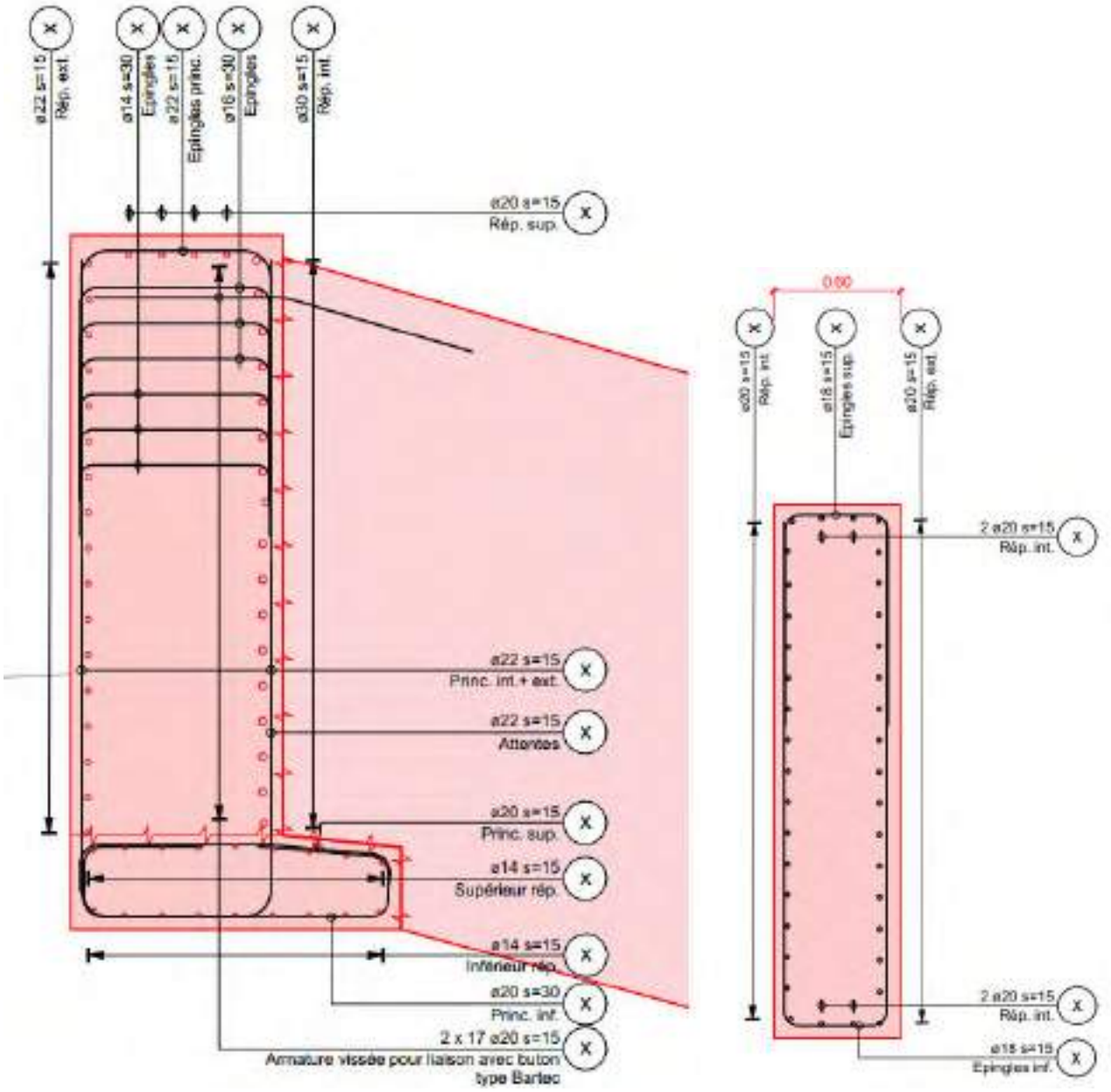


9.1.2. Murs de guidage en zone courante – rehaussements murs et butons – KM 5.553



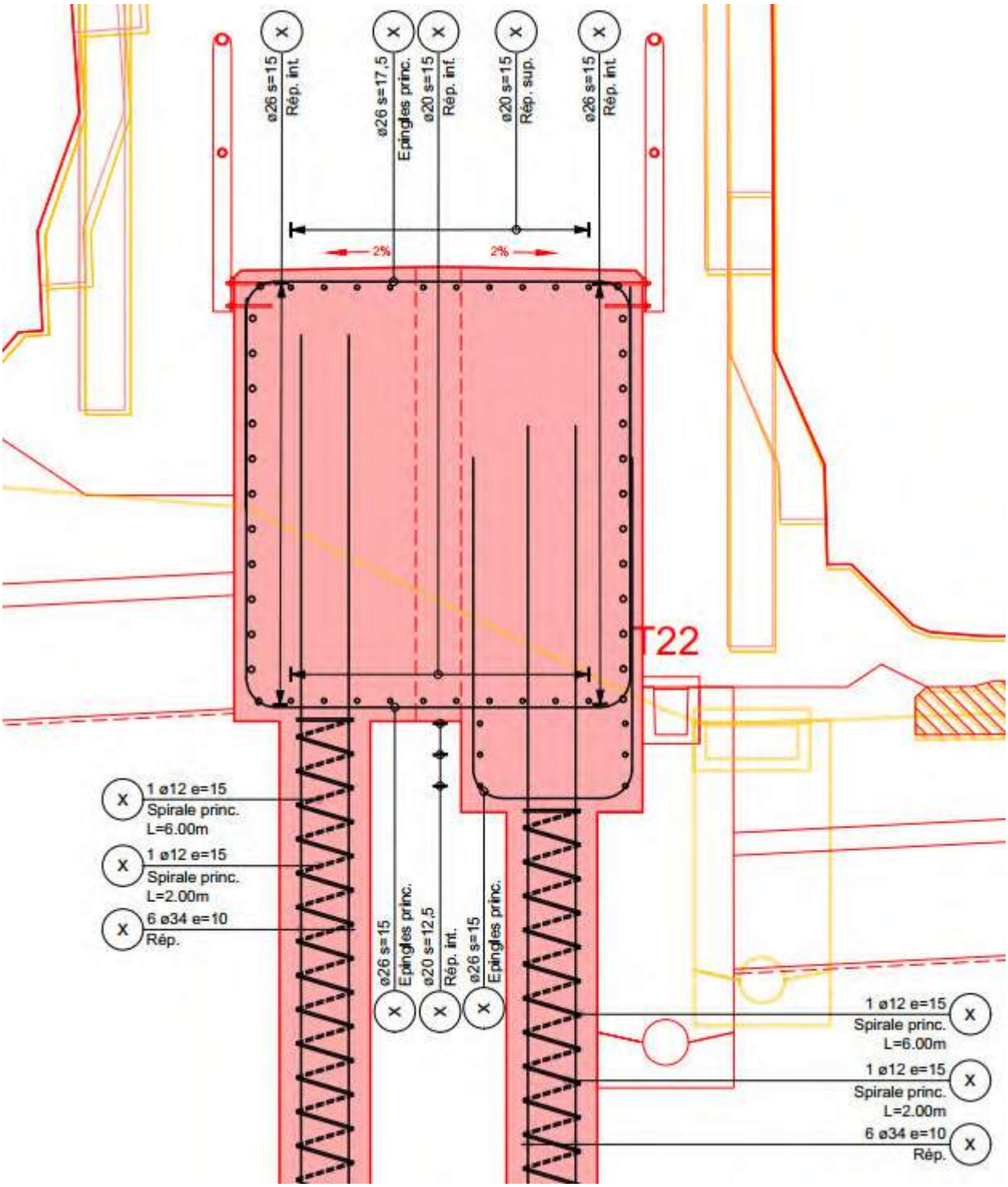


9.1.3. Nouveaux murs de guidage sur semelles - KM 5.642

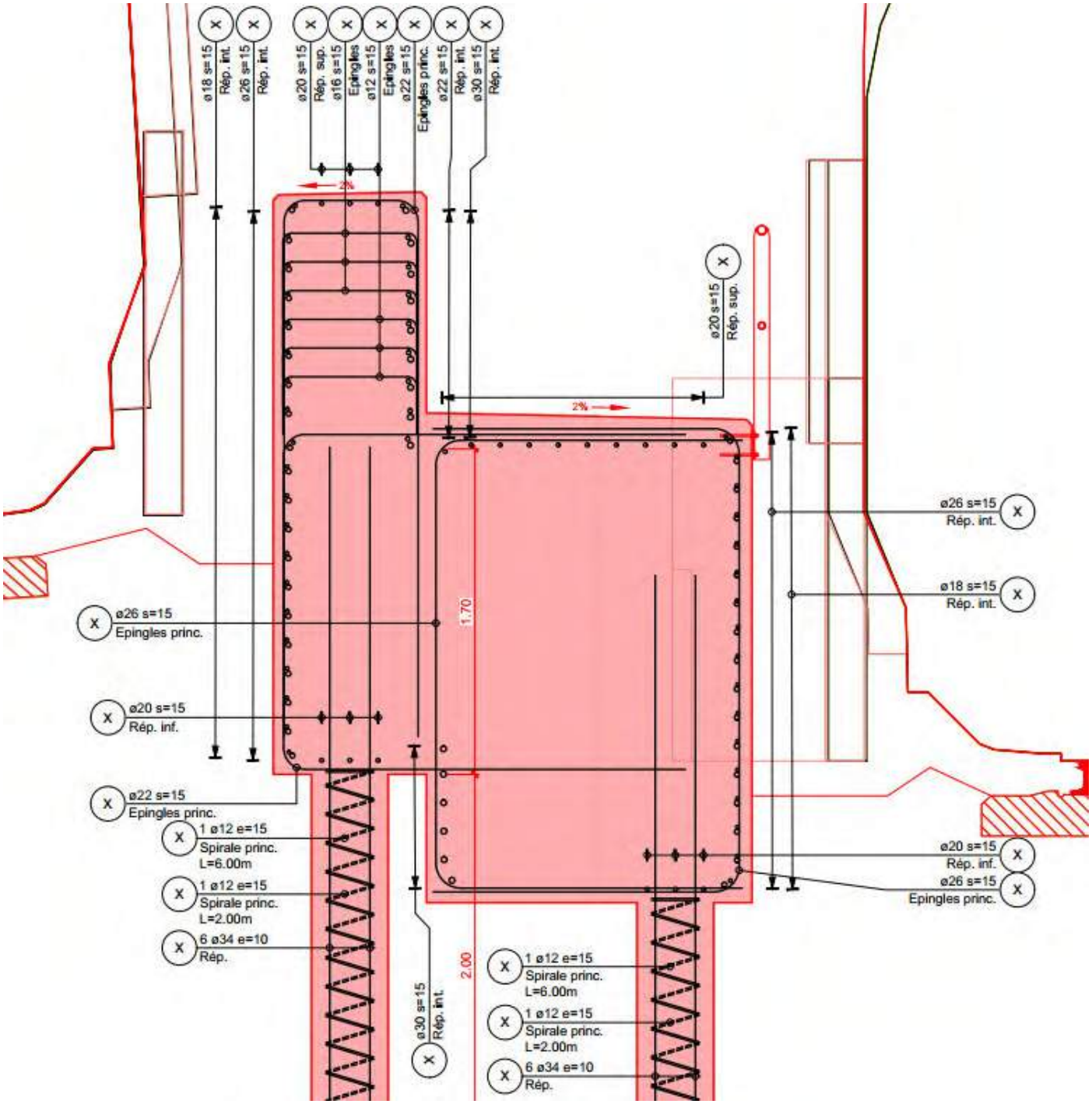


9.2. Murs de guidage sur pieux

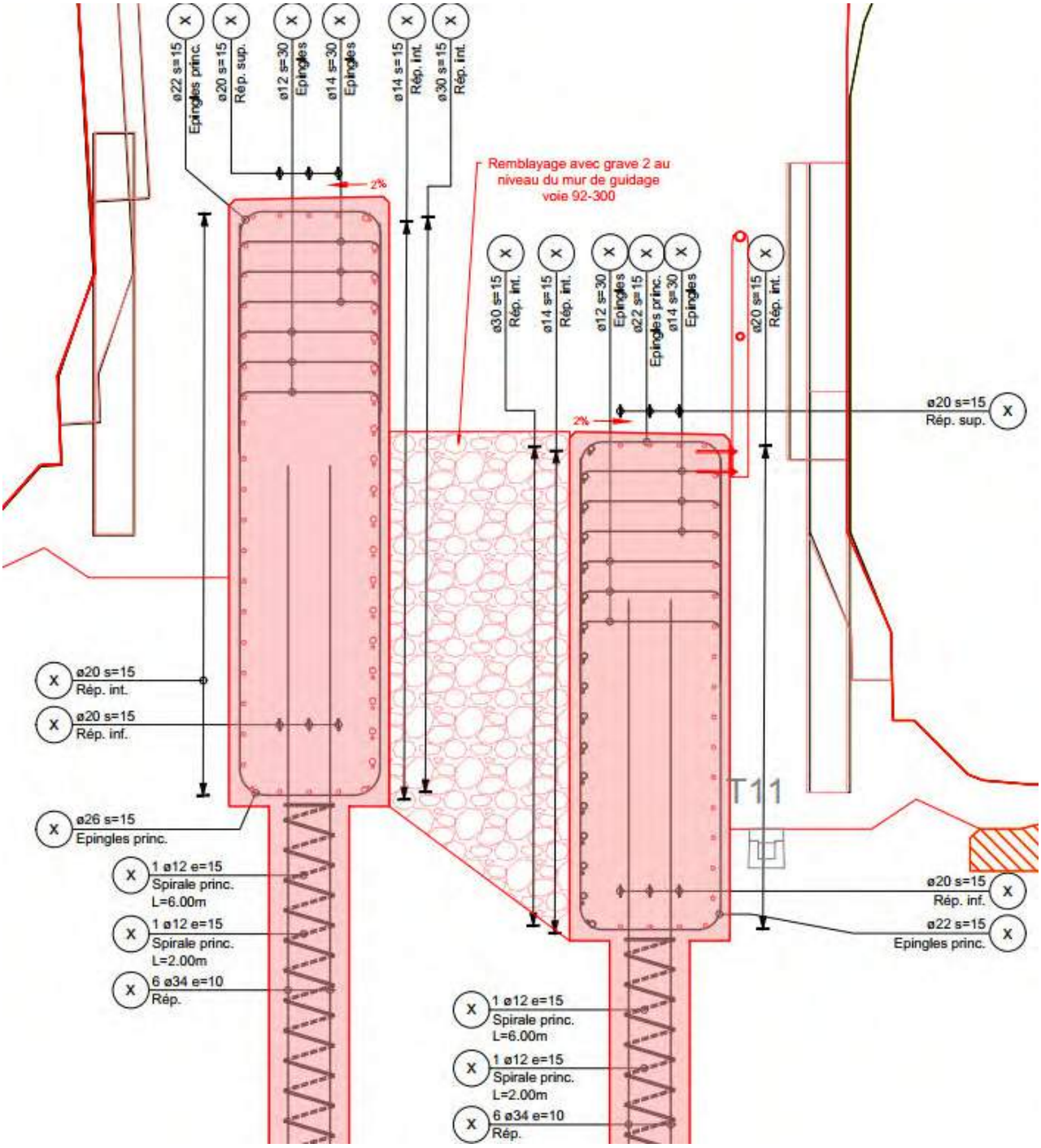
9.2.1. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.502



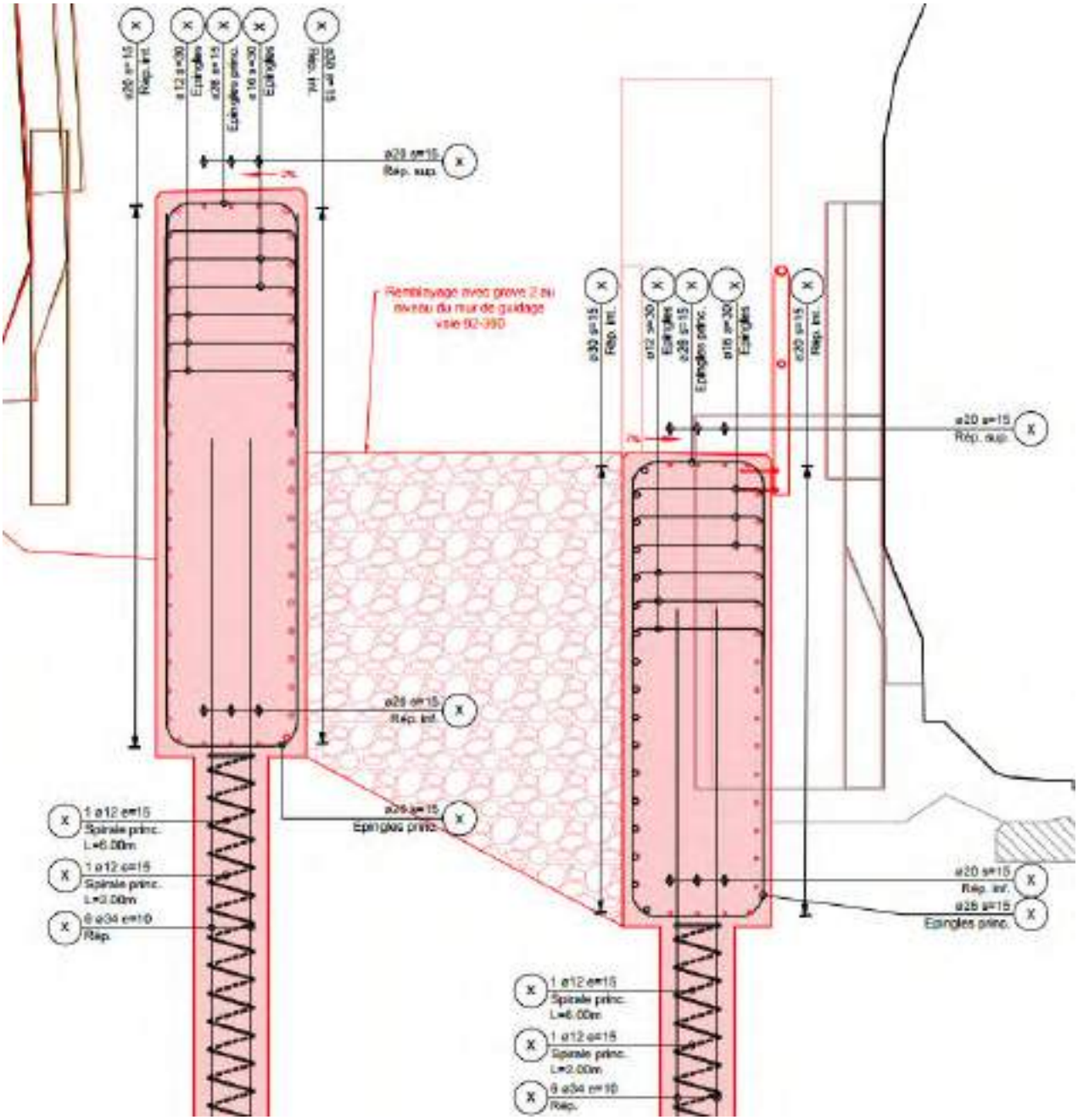
9.2.2. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.516



9.2.3. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.521



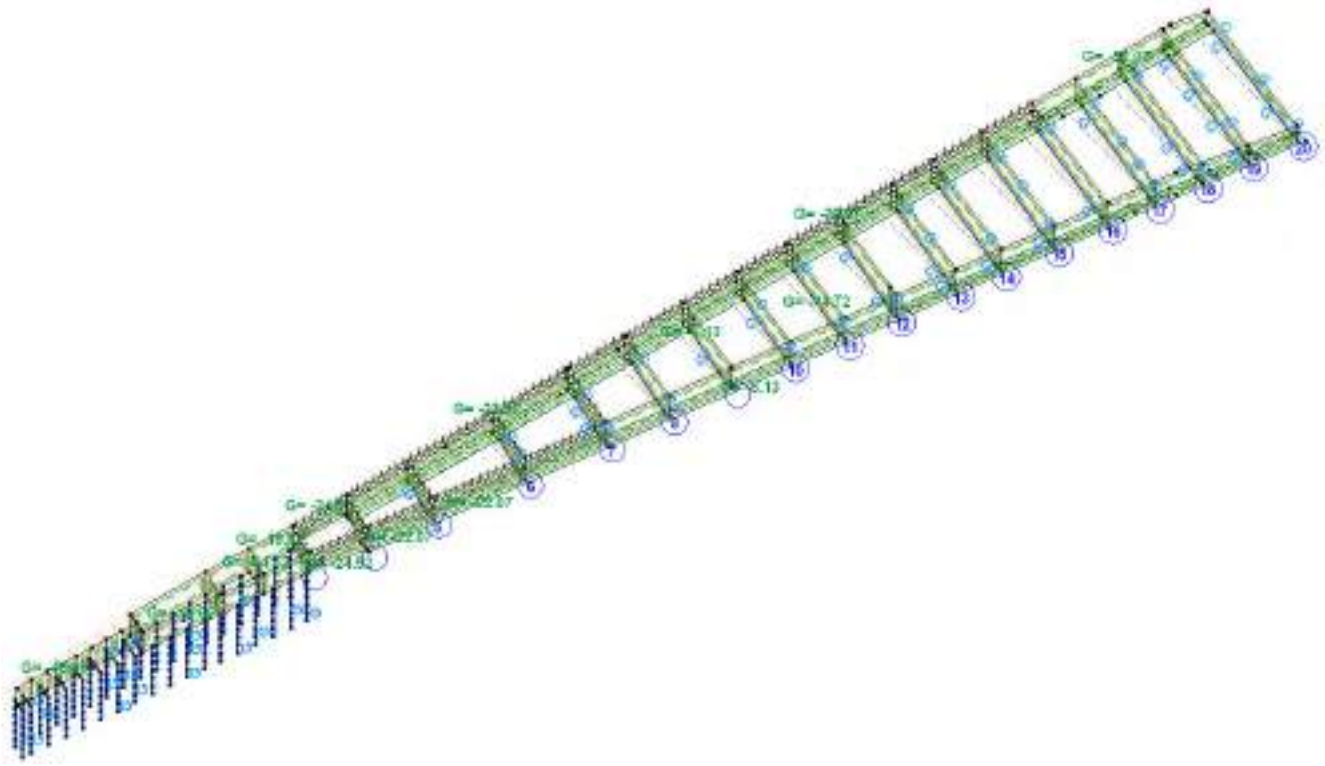
9.2.4. Murs de guidage sur pieux – extrémité est – KM 5.533



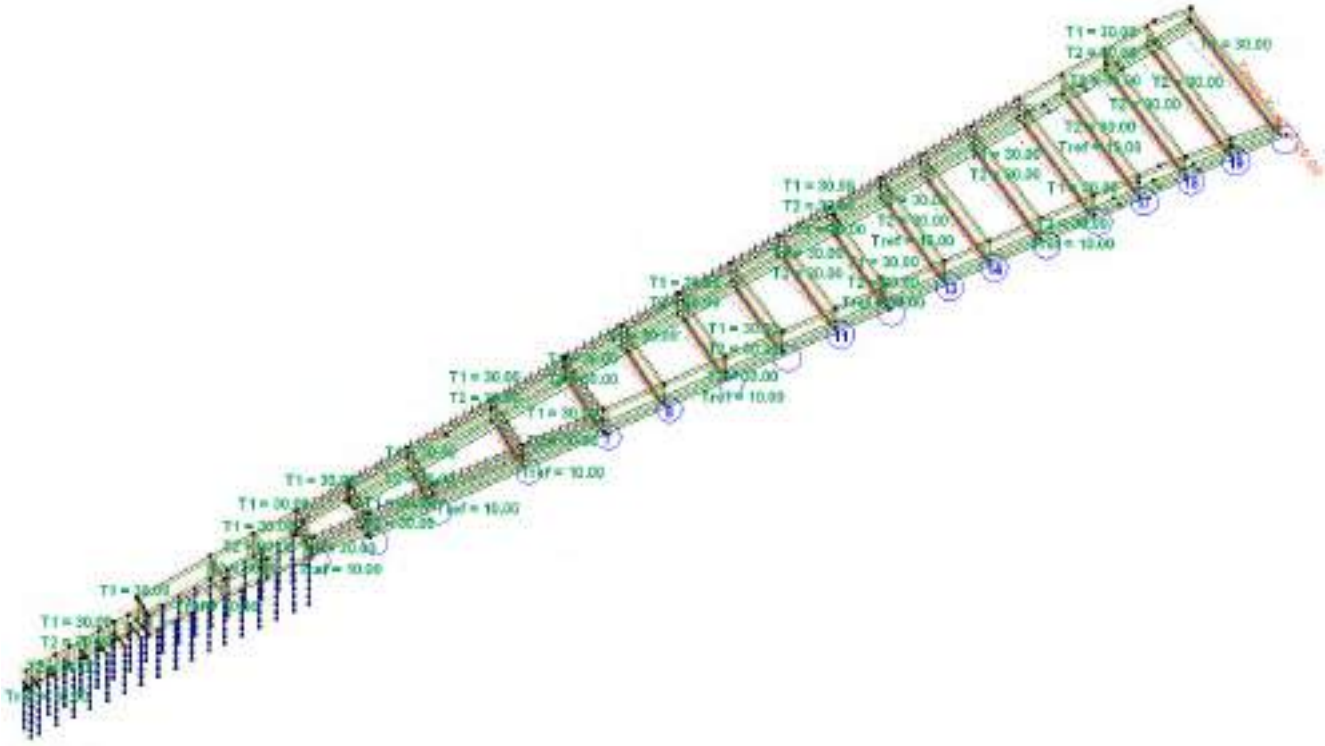
10. Annexes

10.1. Cas de charges – Murs de guidage

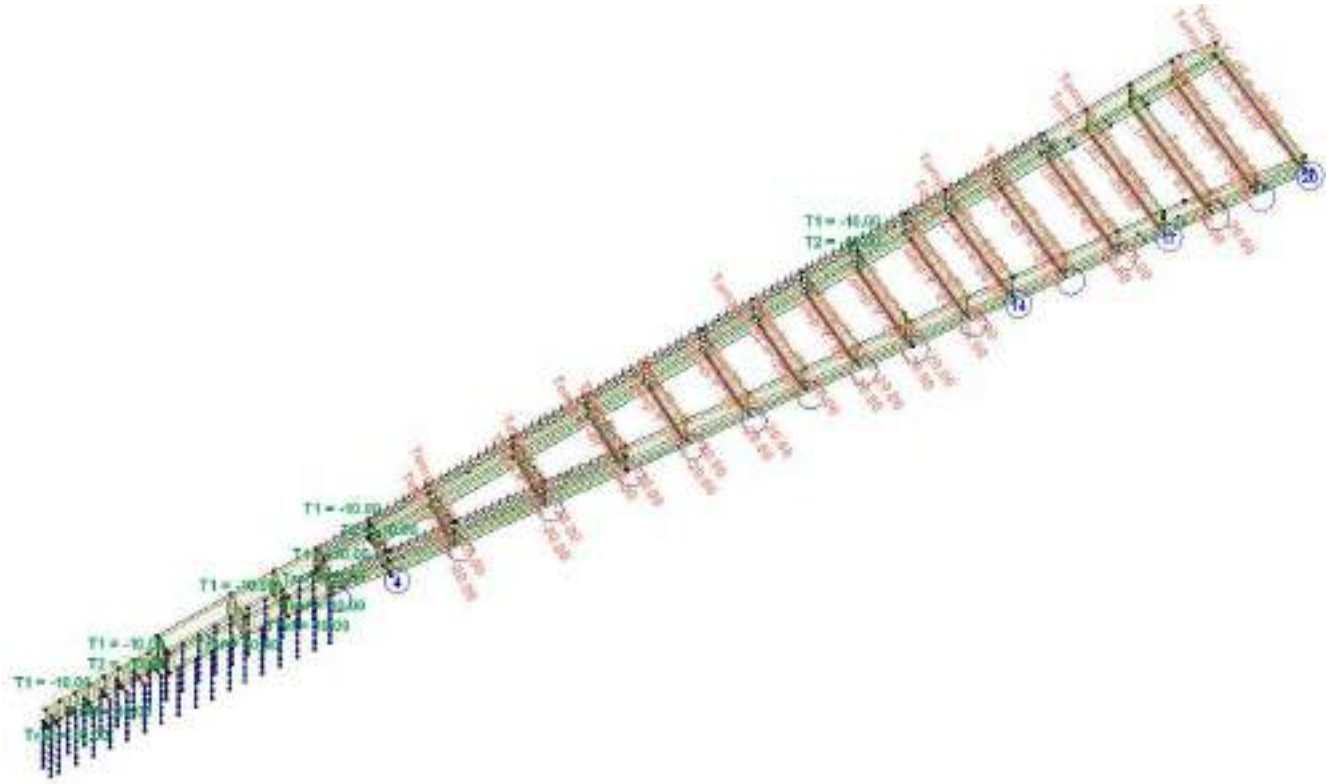
10.1.1. Charges permanente – poids propre



10.1.2. Charges variables – Température (+20°C / Tref)

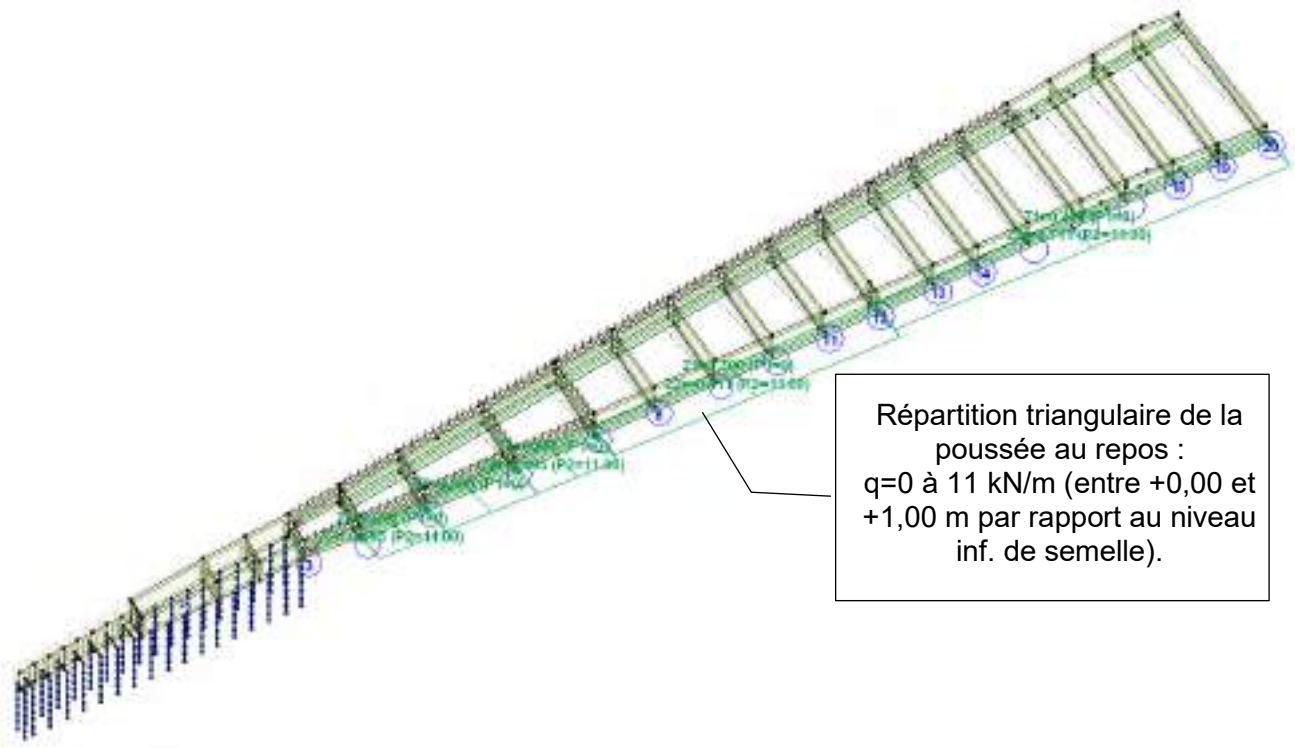


10.1.3. Charges variables – Température (-20°C / Tref)



10.1.4. Charges variables – Poussée au repos

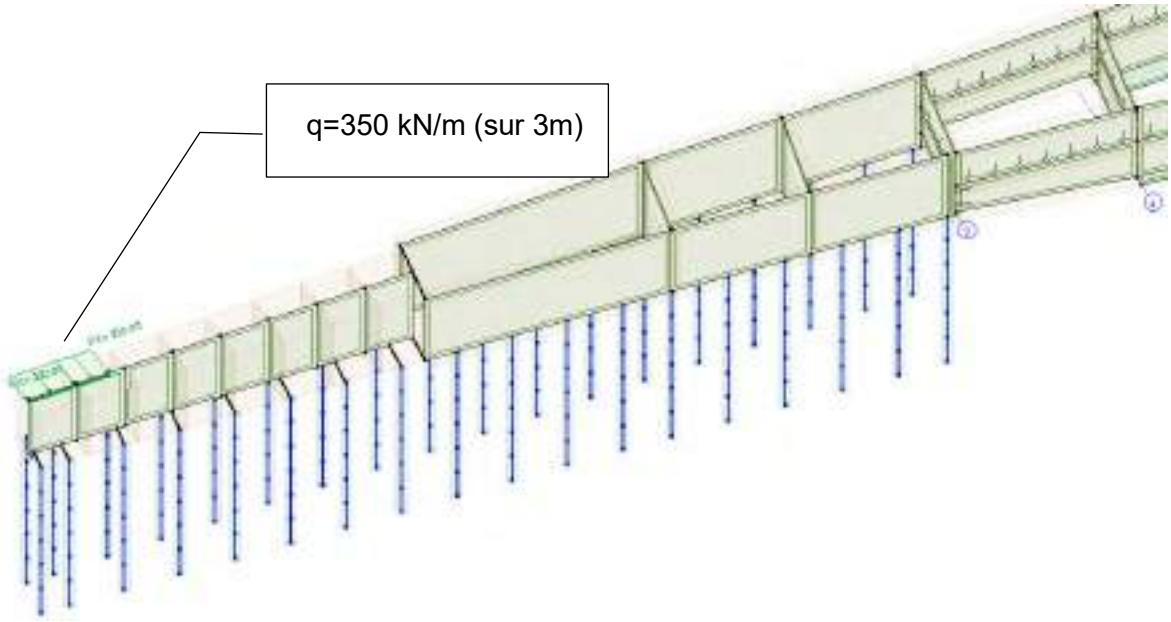
Une poussée au repos est considérée sur 1,0 m de hauteur, uniquement du côté de la V300.



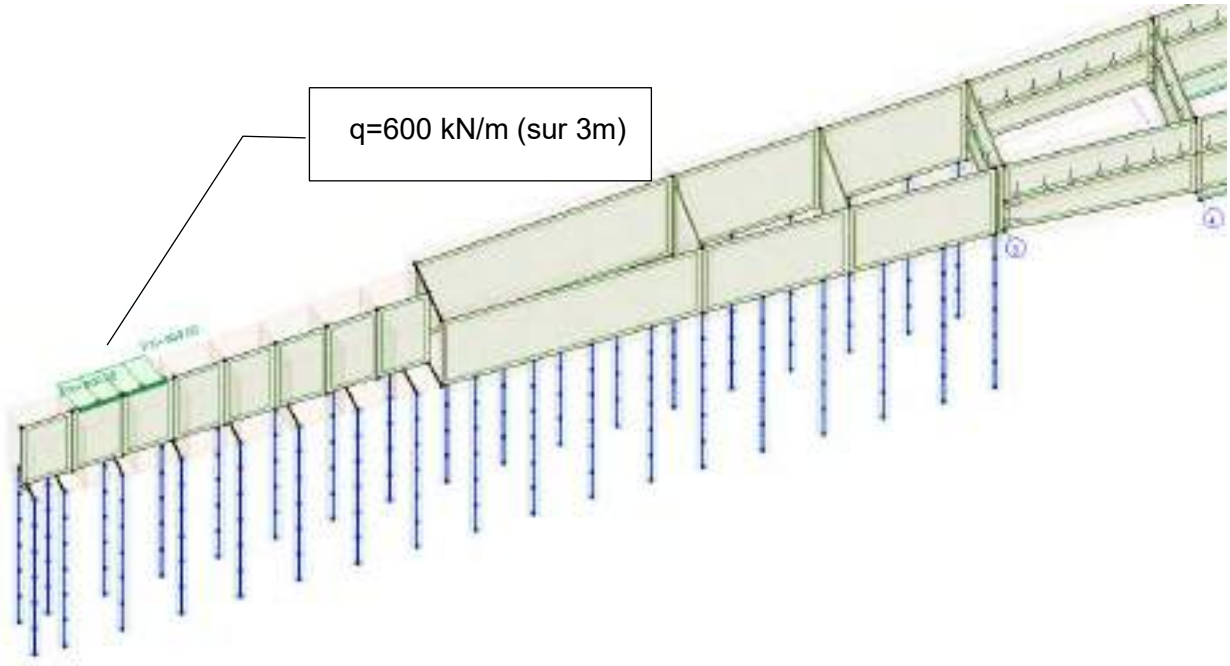
10.1.5. Charges accidentelles – Choc ferroviaire depuis voie 501

Afin de ne pas présenter les 45 cas de charge, la logique de répartition des charges est précisée. Les cas de charges paires sont positionnés sur les travées des murs, les cas de charges impaires sont positionnés sur les appuis des murs (intersections avec butons).

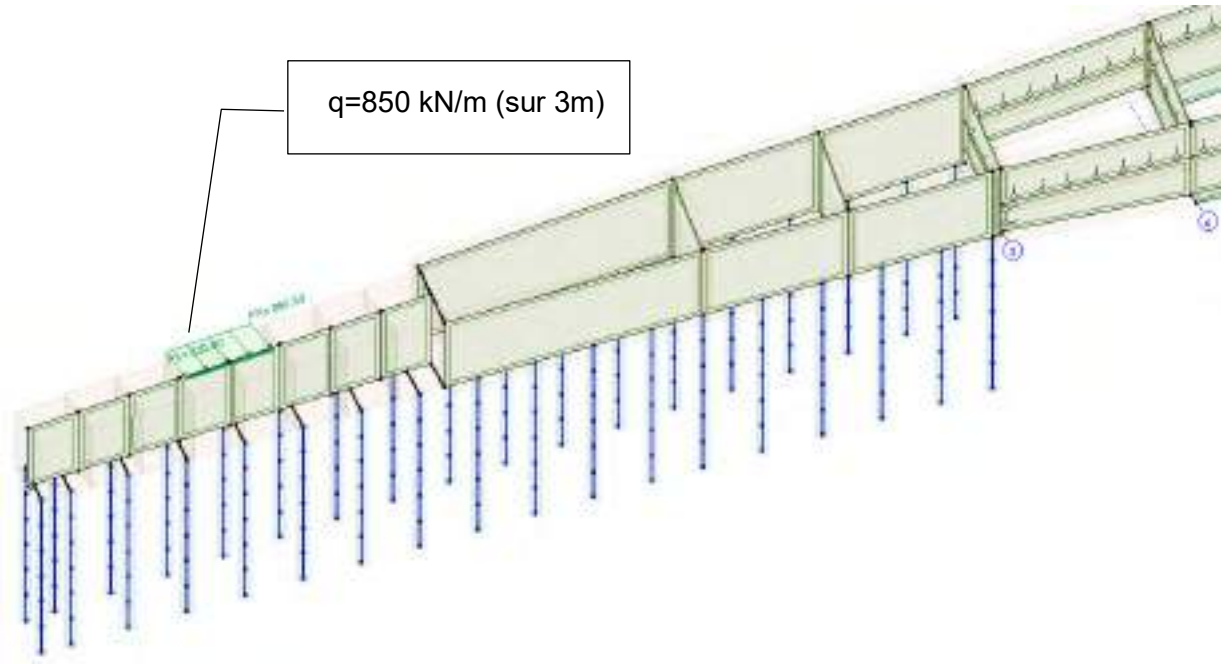
- Cas 1 :



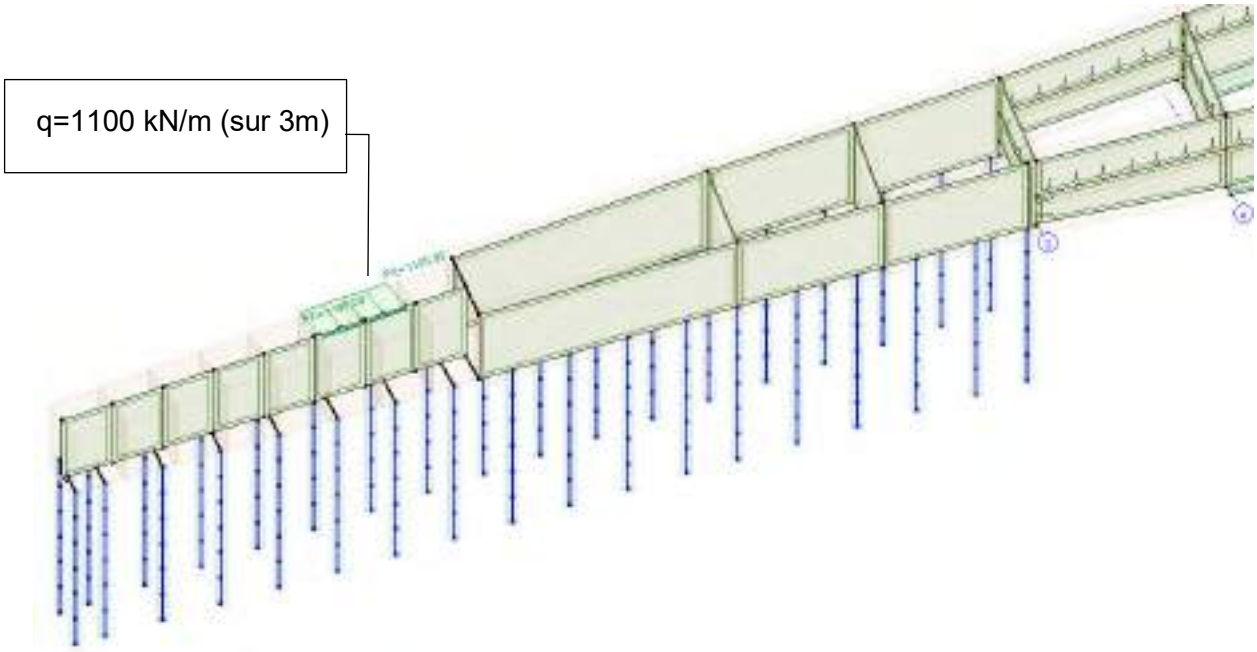
- Cas 2 :



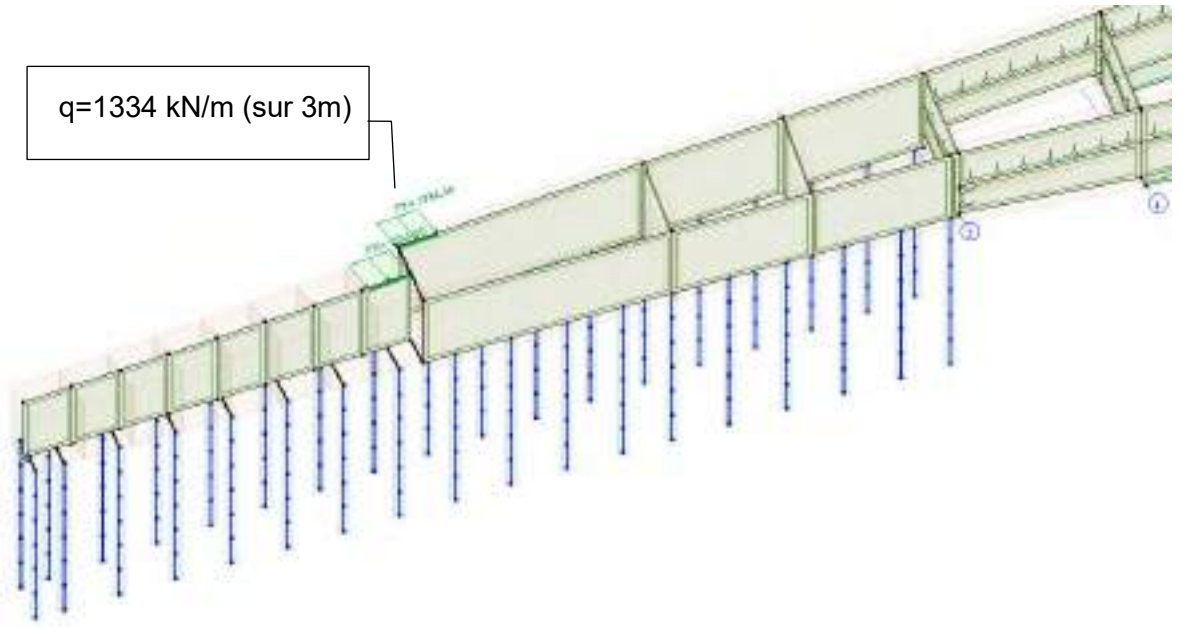
- Cas 3 :



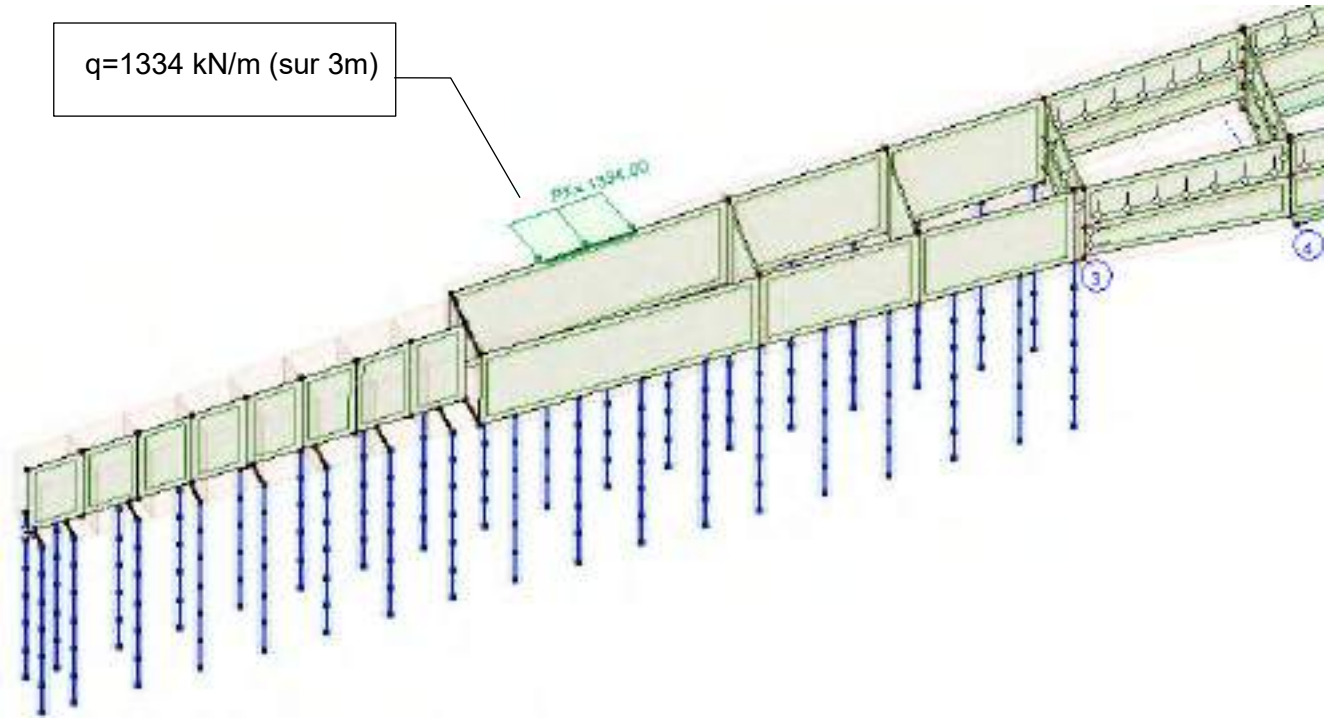
- Cas 4 :



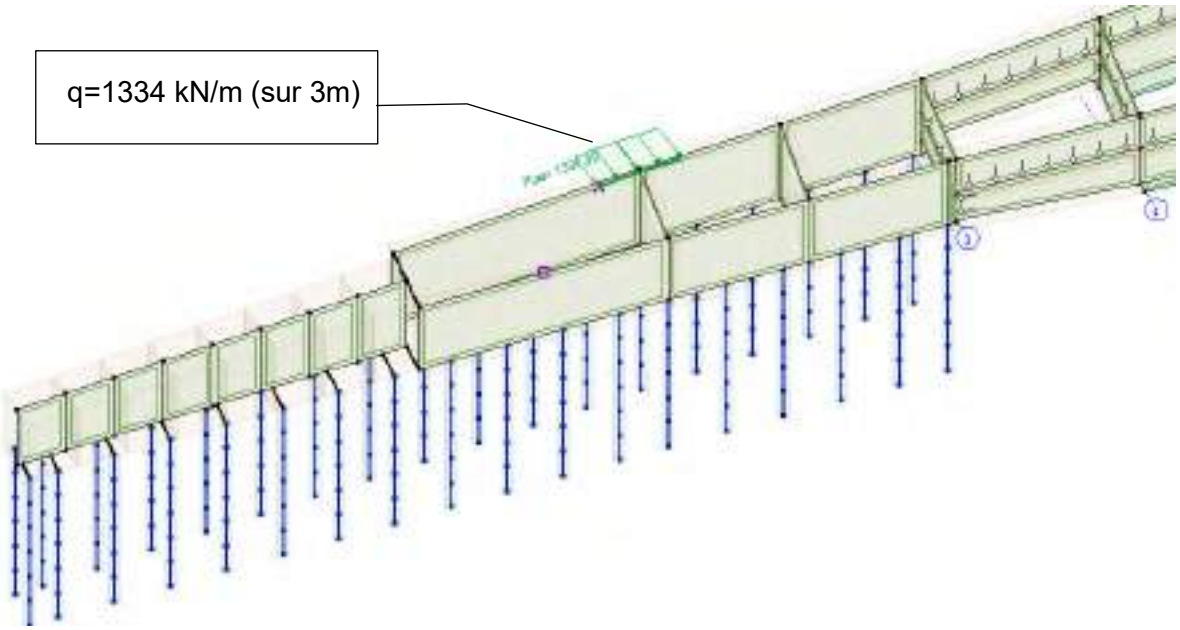
- Cas 5 :



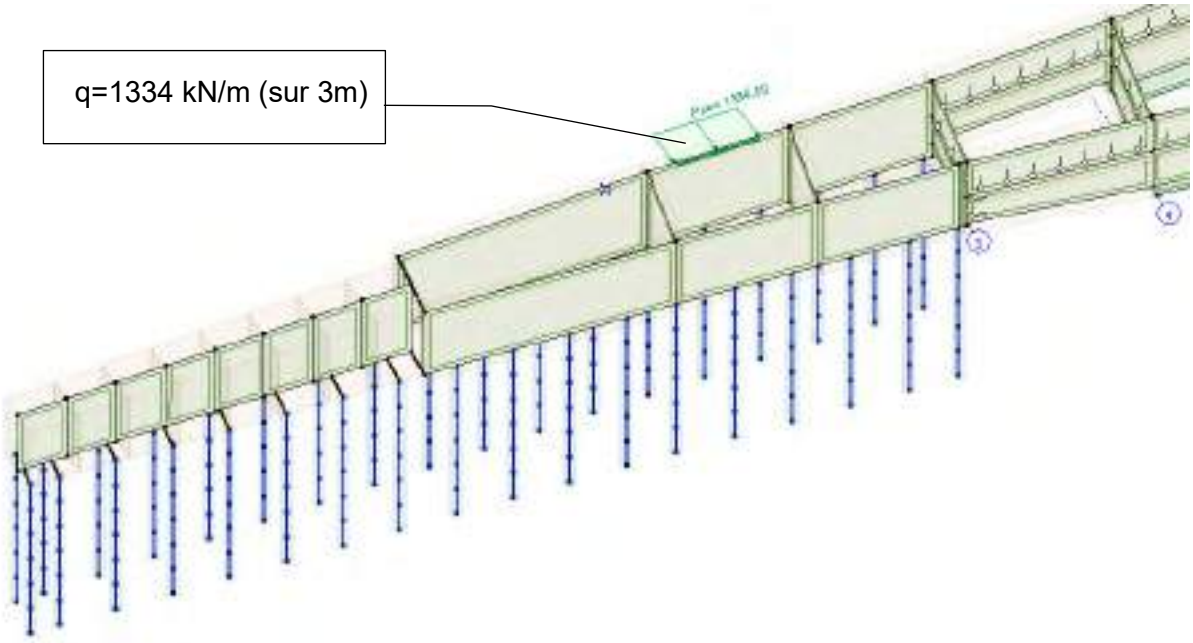
- Cas 6 :



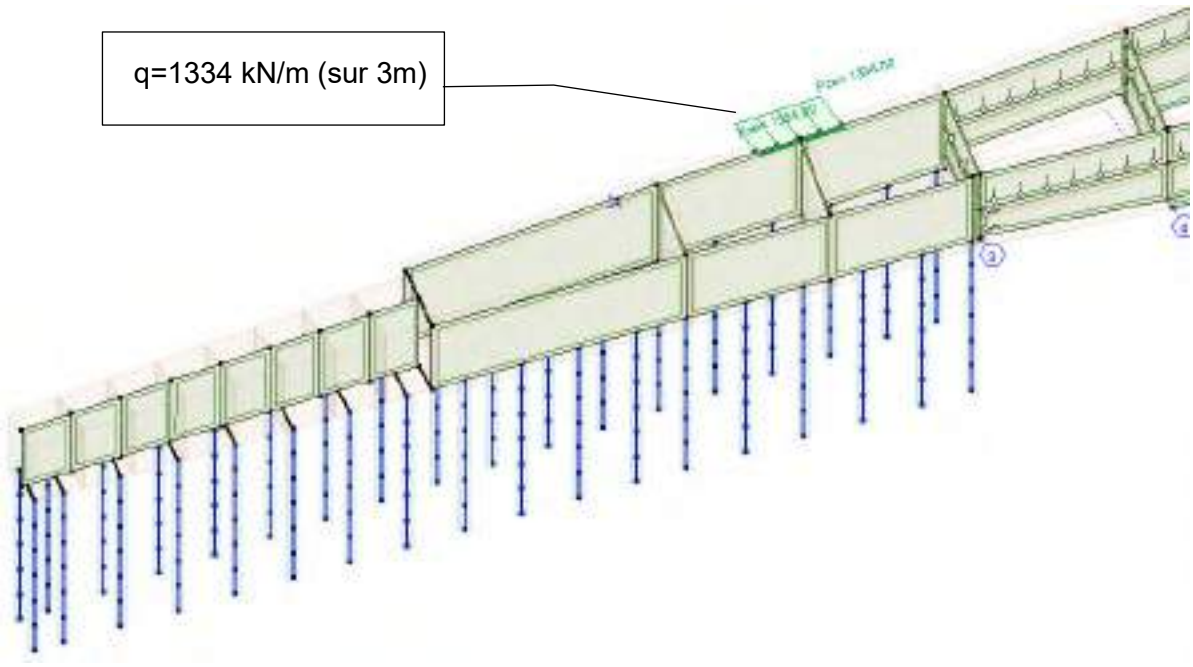
- Cas 7 :



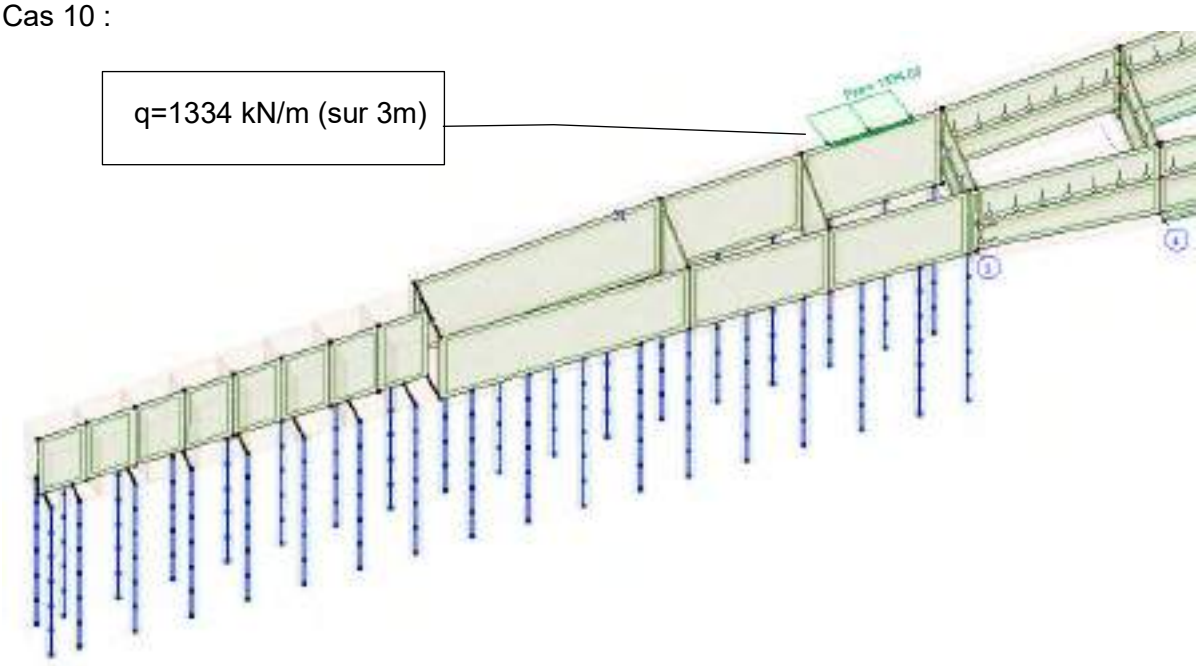
- Cas 8 :



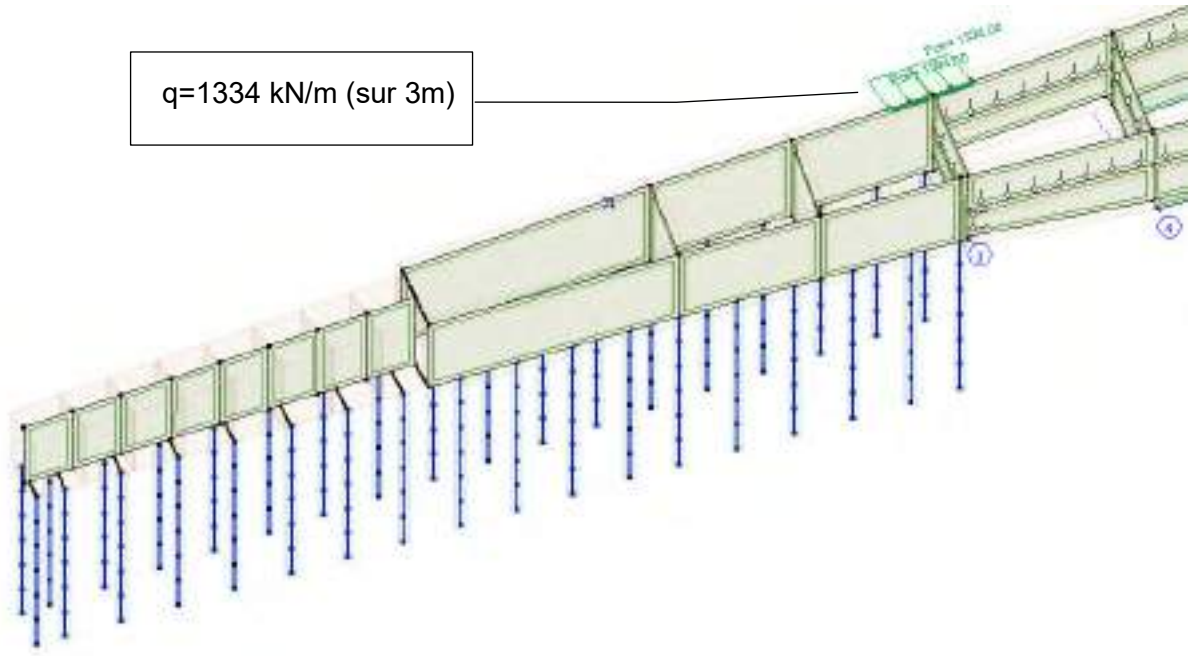
- Cas 9 :



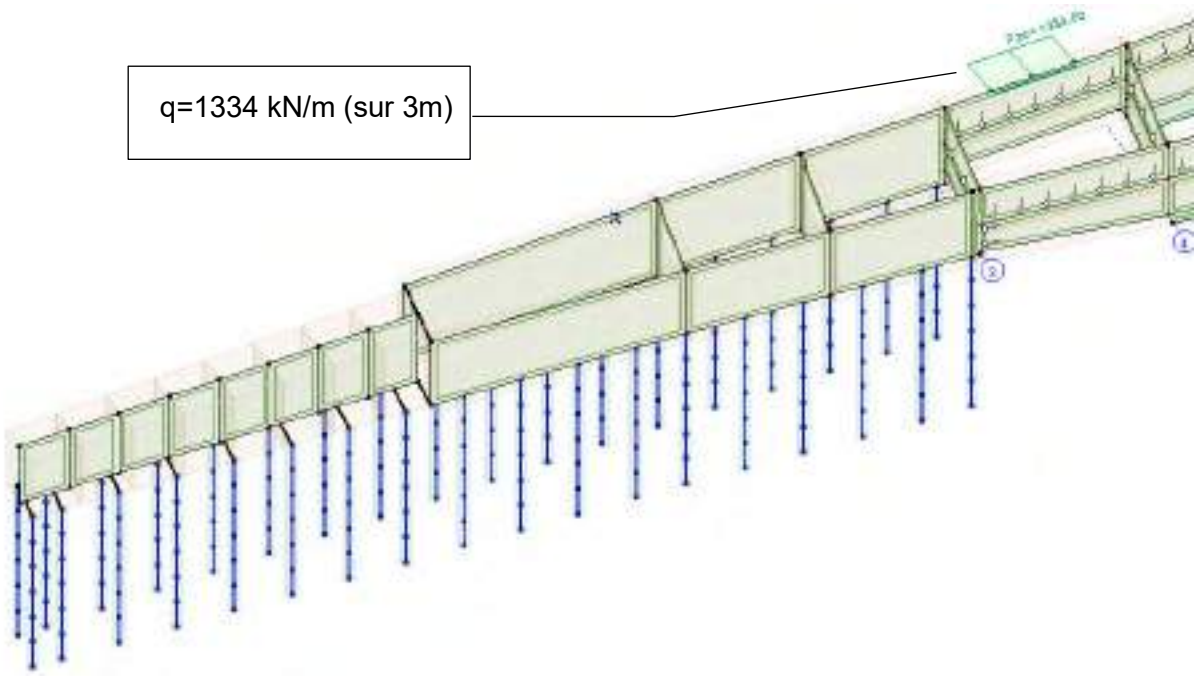
- Cas 10 :



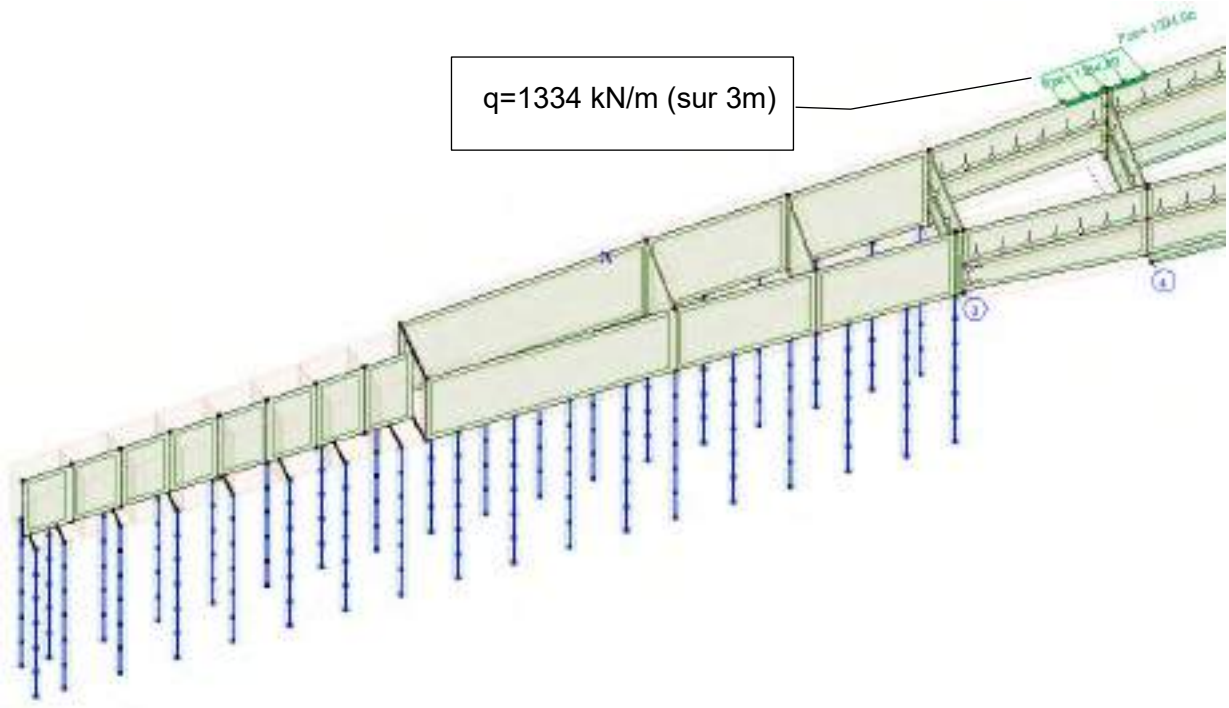
- Cas 11 :



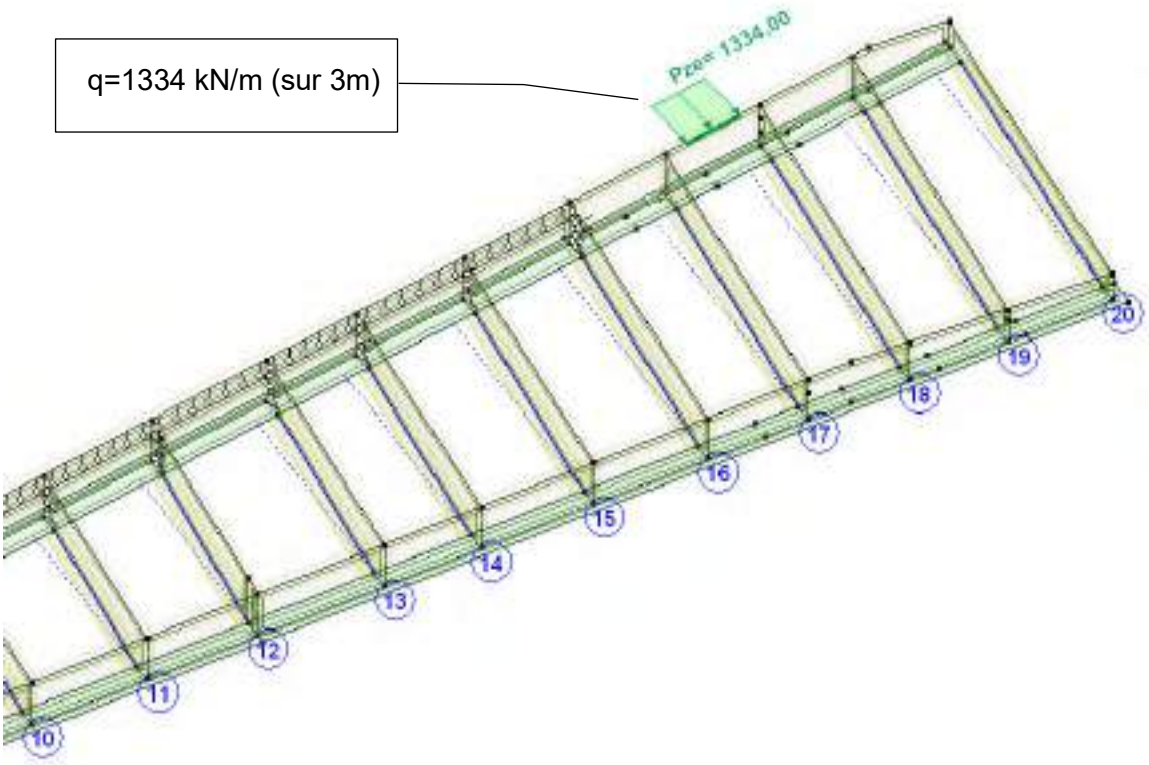
- Cas 12 :



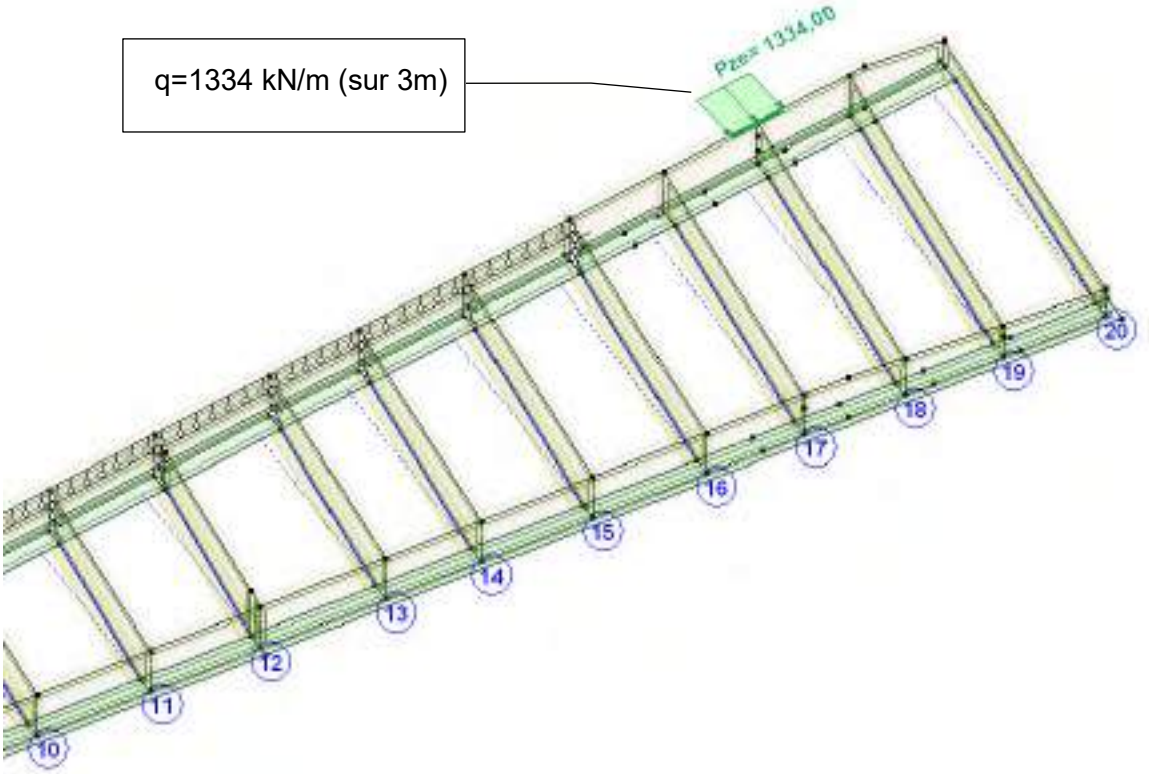
- Cas 13 :



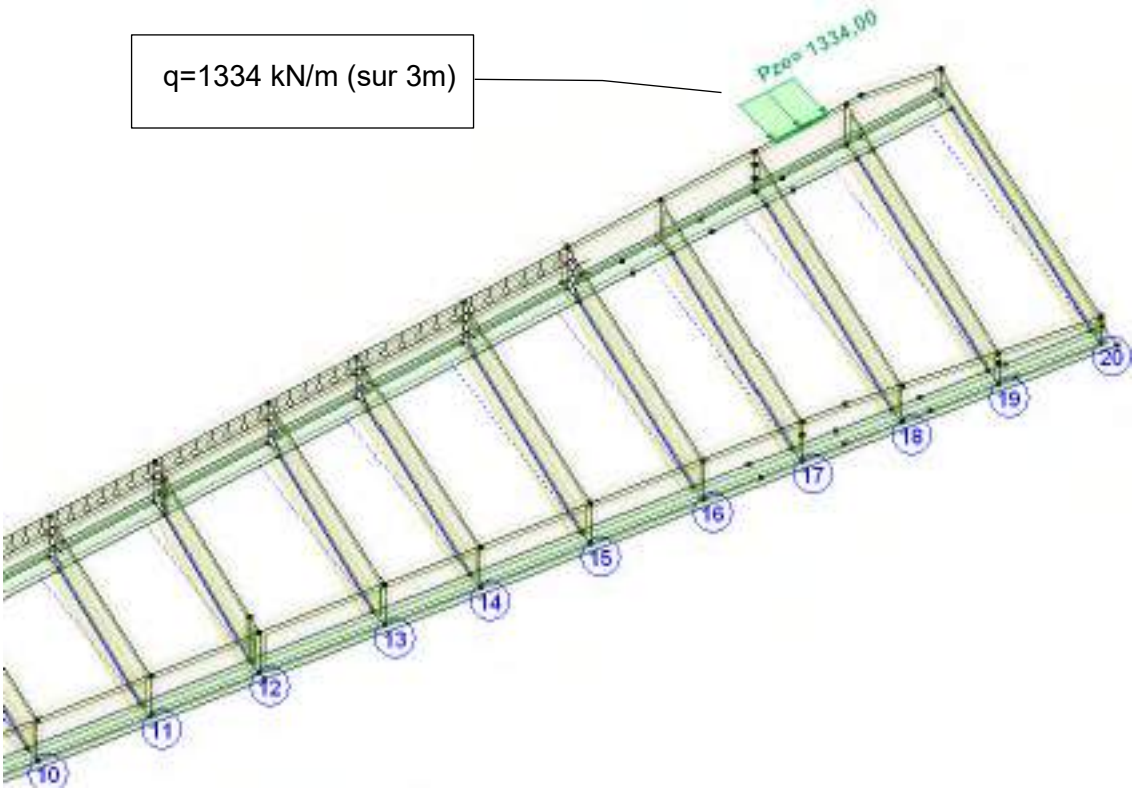
- Ainsi de suite pour les cas 14 à 39
- Cas 40 :



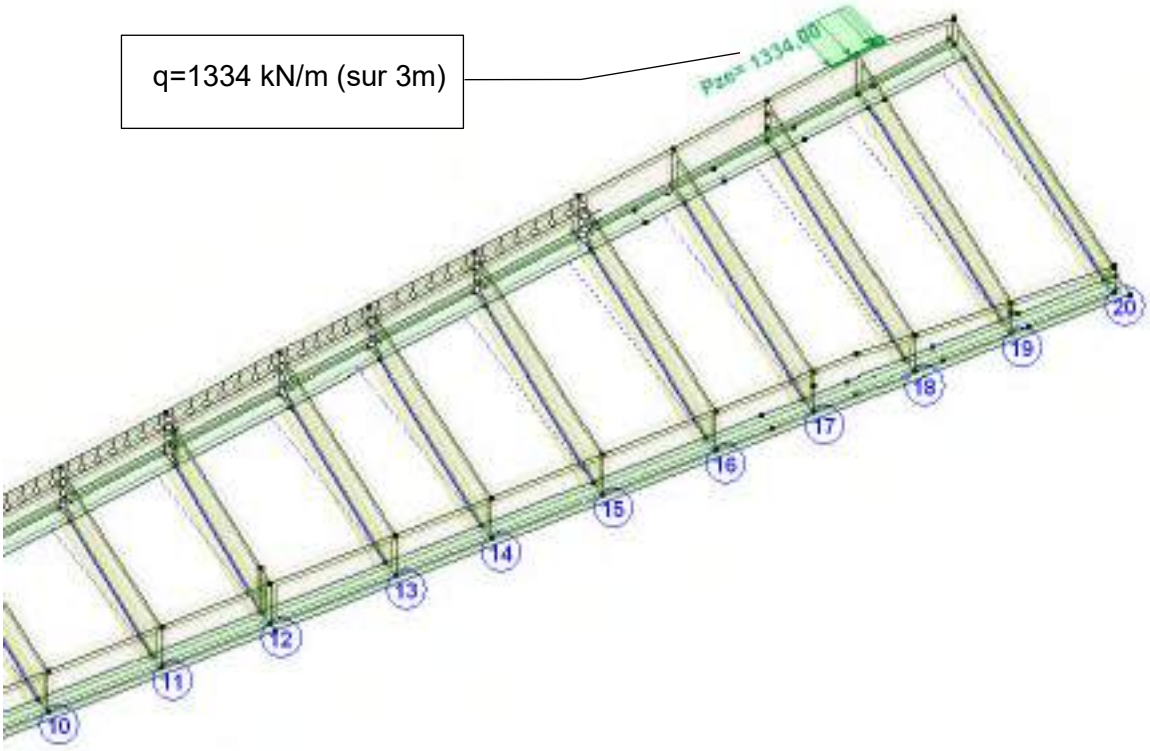
- Cas 41 :



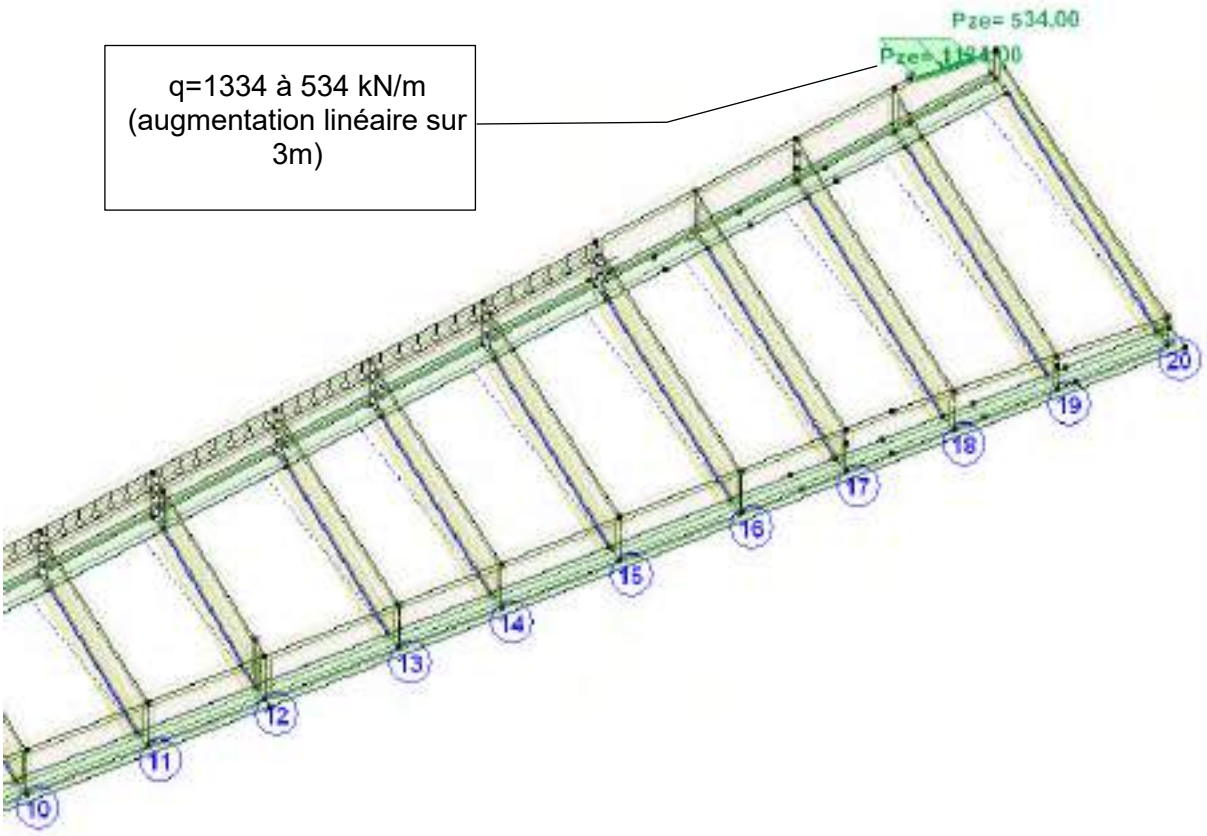
- Cas 42 :


q=1334 kN/m (sur 3m)
Pz=-1334.00
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

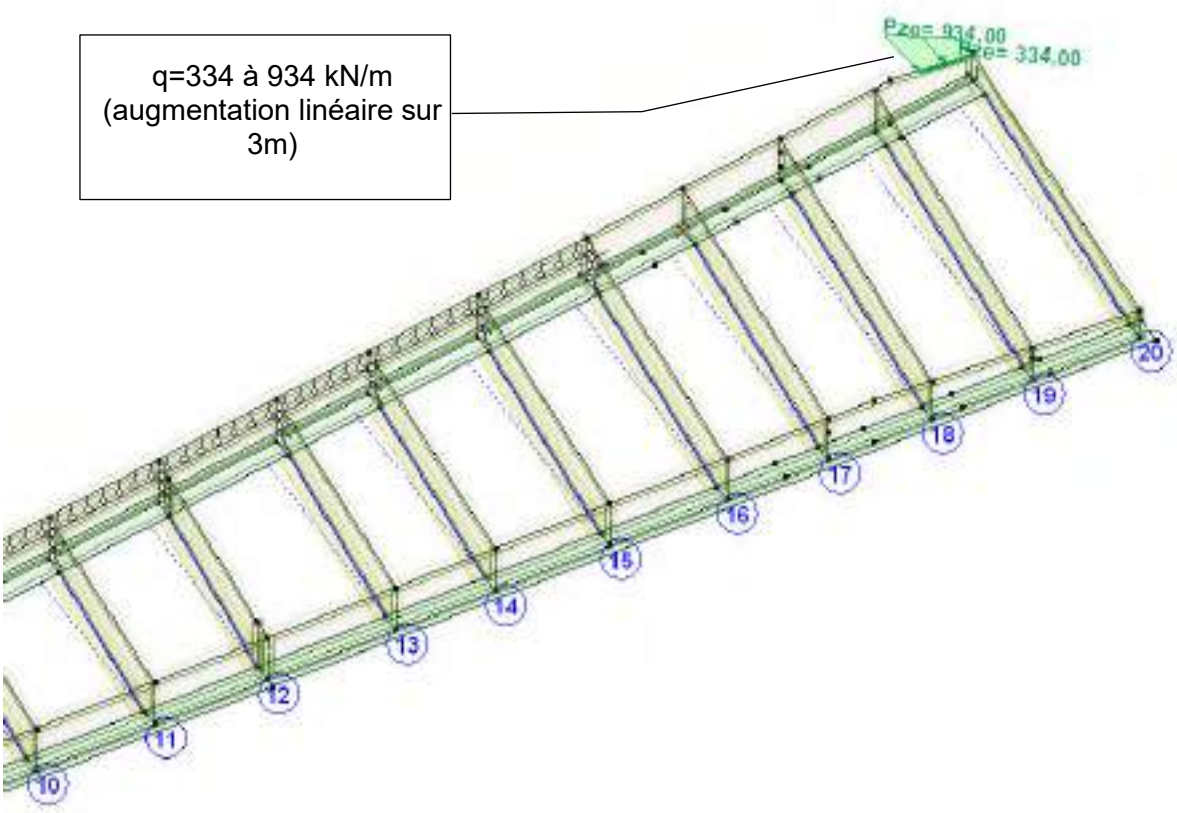
- Cas 43 :


q=1334 kN/m (sur 3m)
Pz=-1334.00
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

- Cas 44 :


q=1334 à 534 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)
Pze= 534.00
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

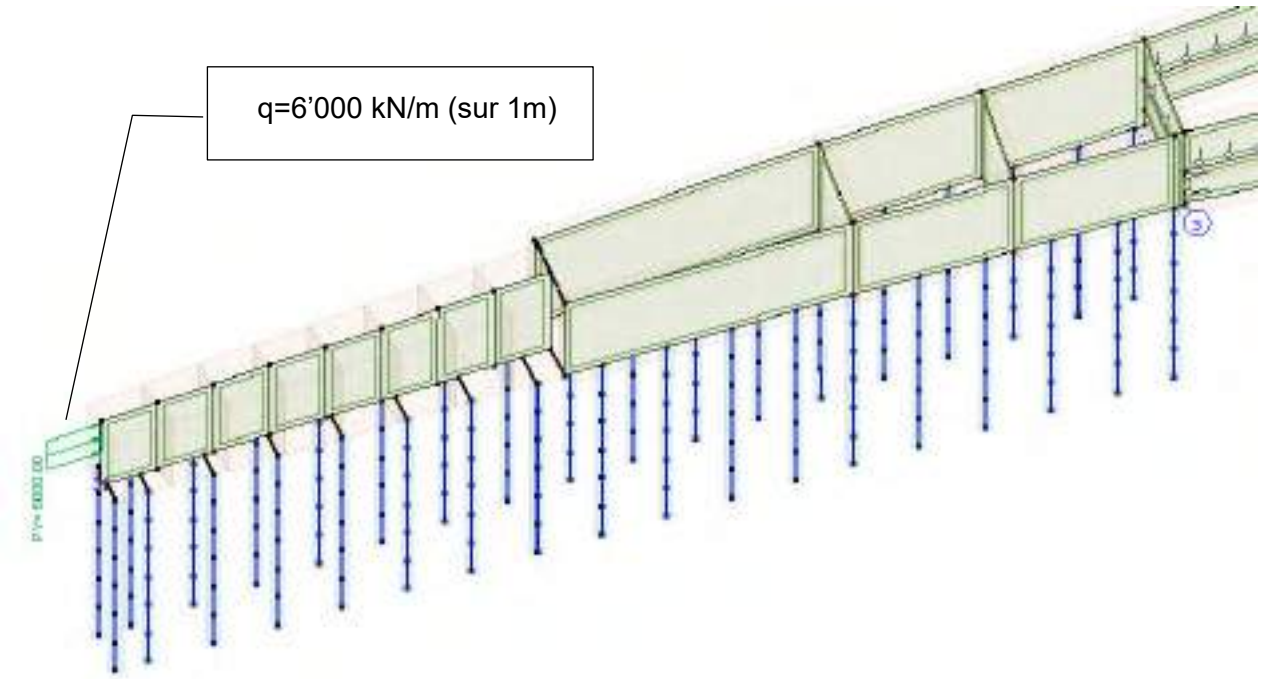
- Cas 45 :


q=334 à 934 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)
Pze= 934.00
Pze= 334.00
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

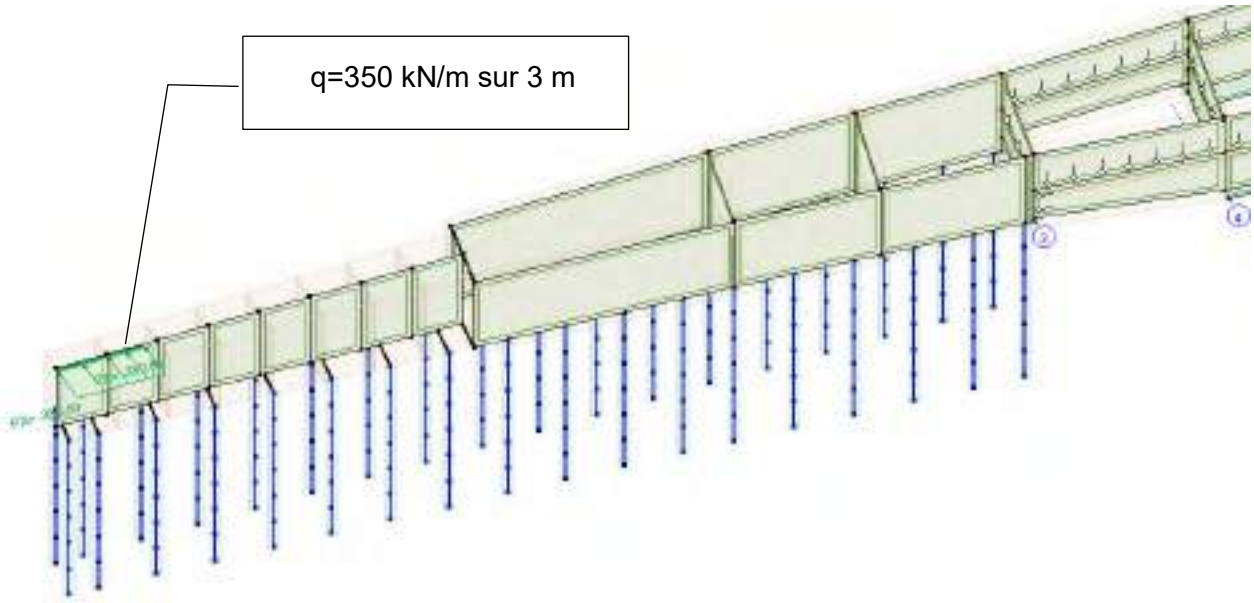
10.1.6. Charges accidentelles – Choc ferroviaire depuis voie 300

Afin de ne pas présenter 36 cas de charge, la logique de répartition des charges est précisée. Les cas de charges impaires sont positionnés sur les travées des murs, les cas de charges paires sont positionnés sur les appuis des murs (intersections avec butons).

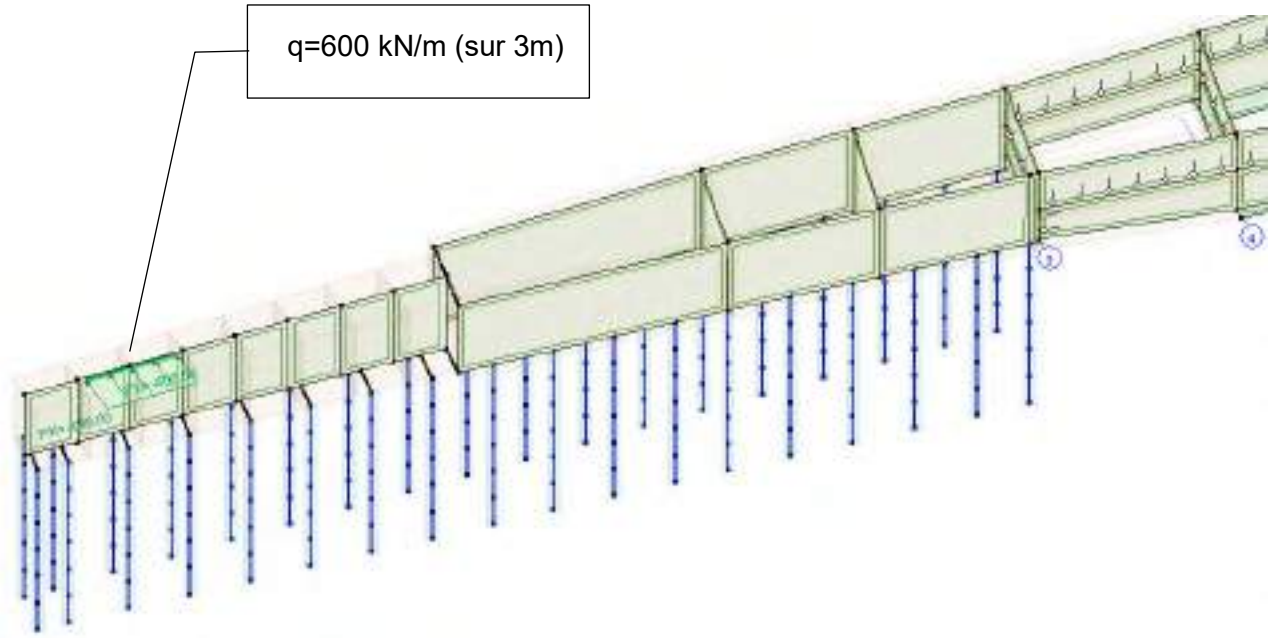
- Cas 0 :



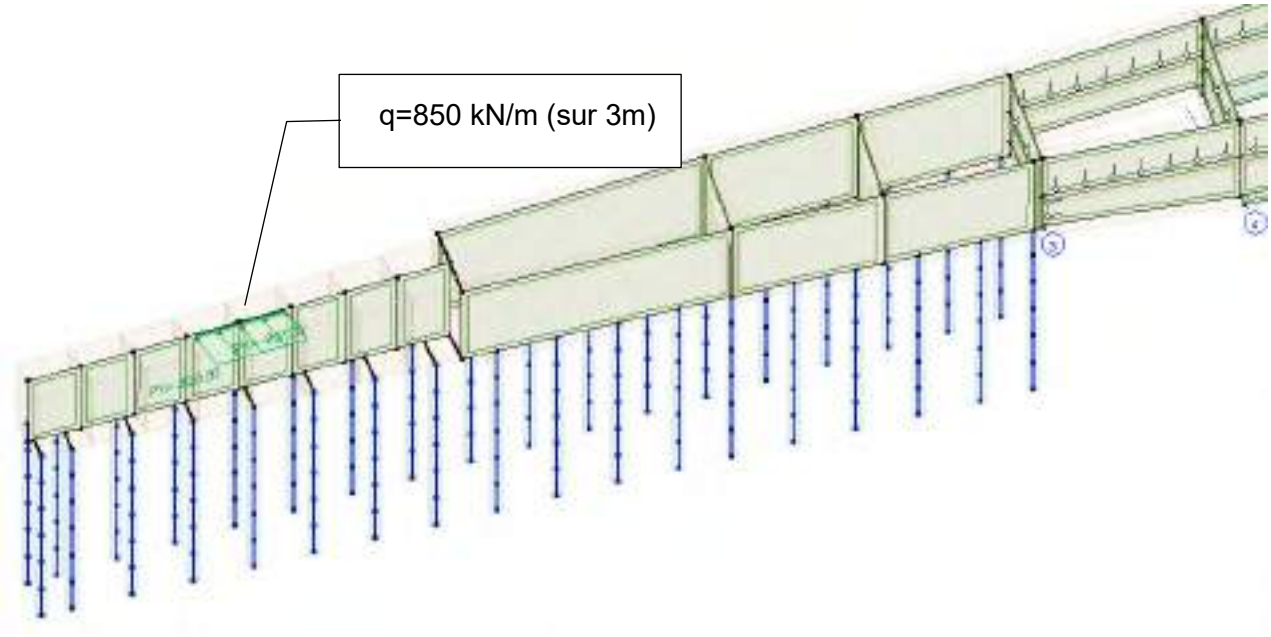
- Cas 1 :



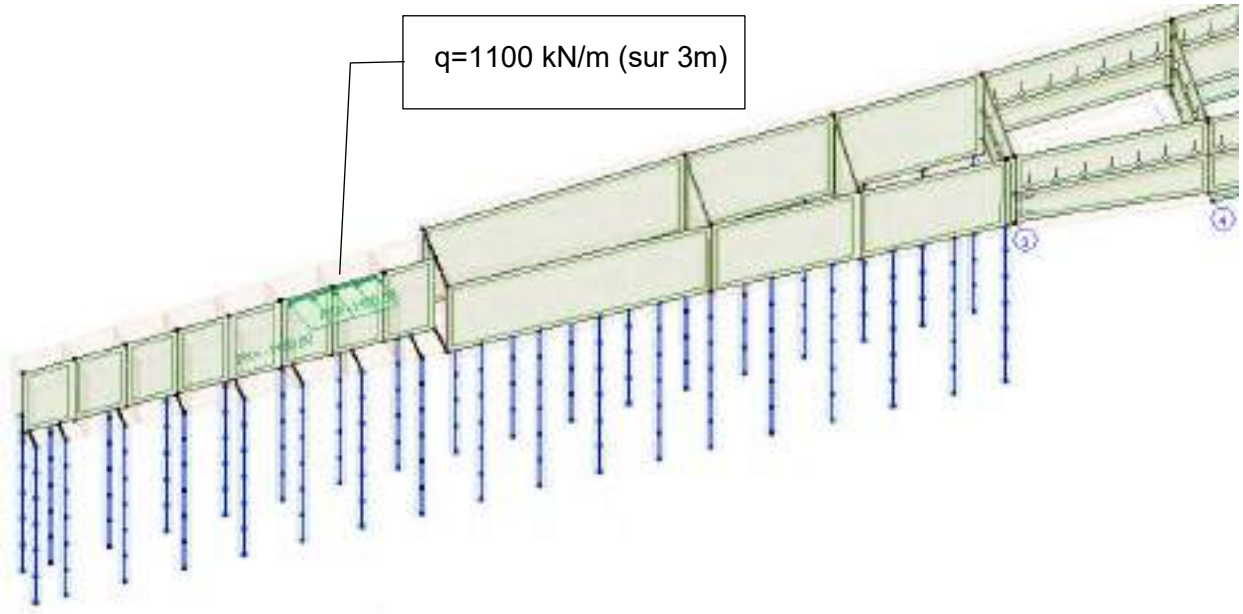
- Cas 2 :



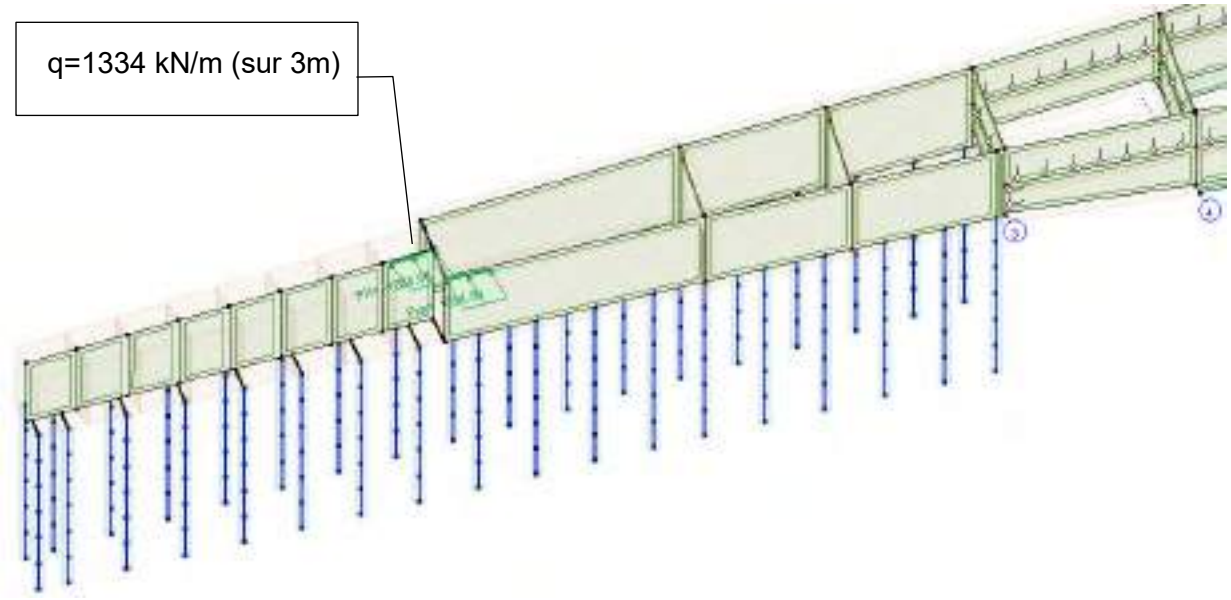
Cas 3 :



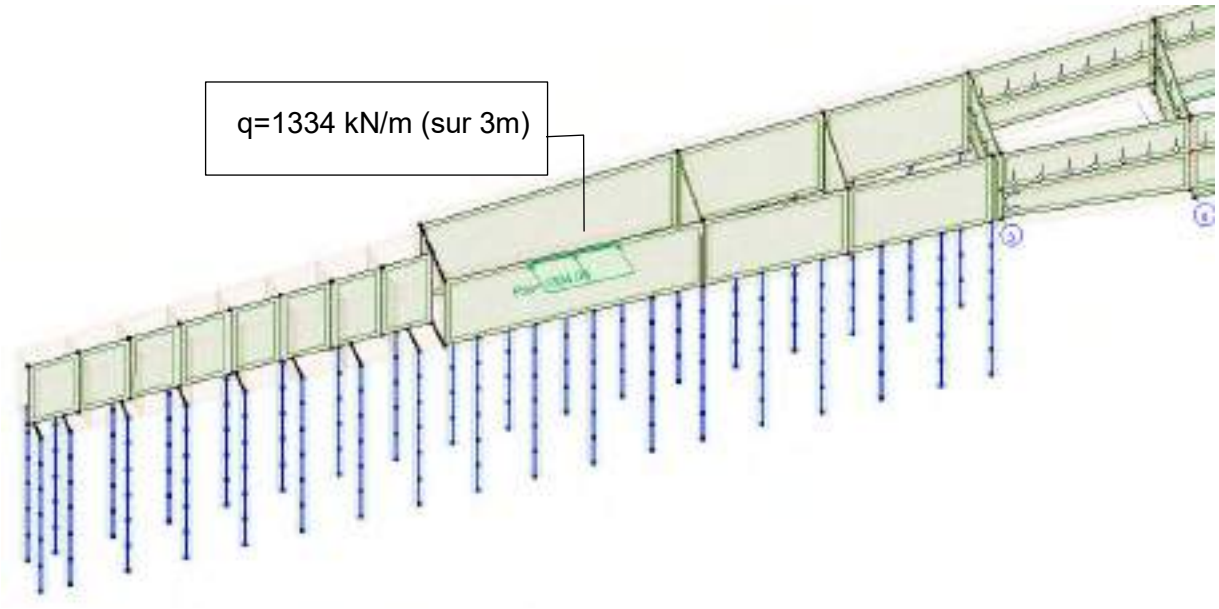
Cas 4 :



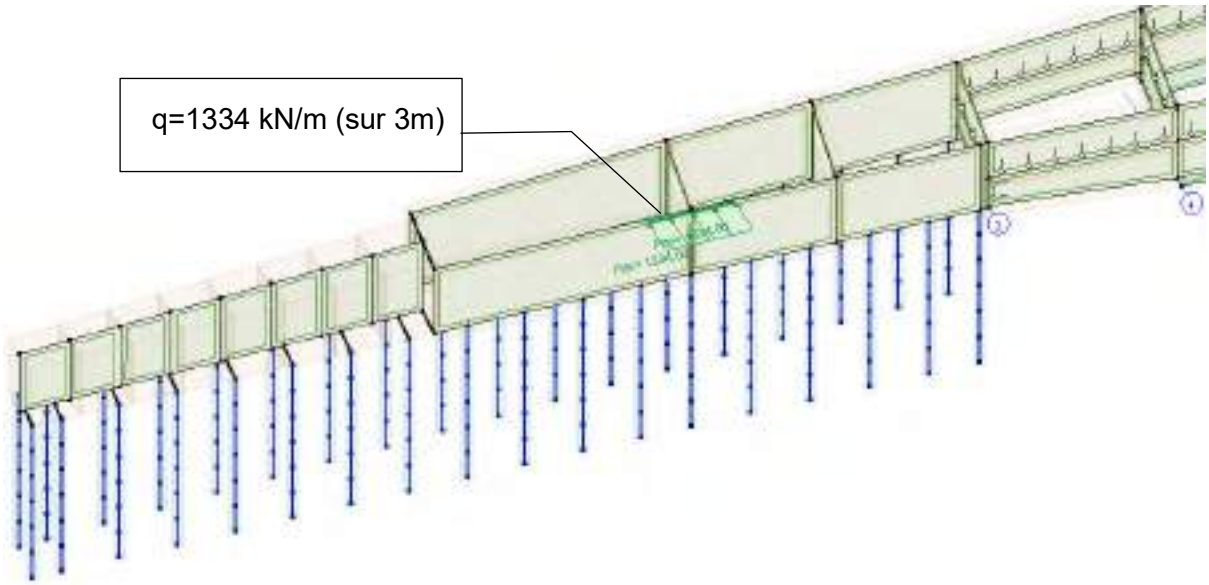
- Cas 5 :



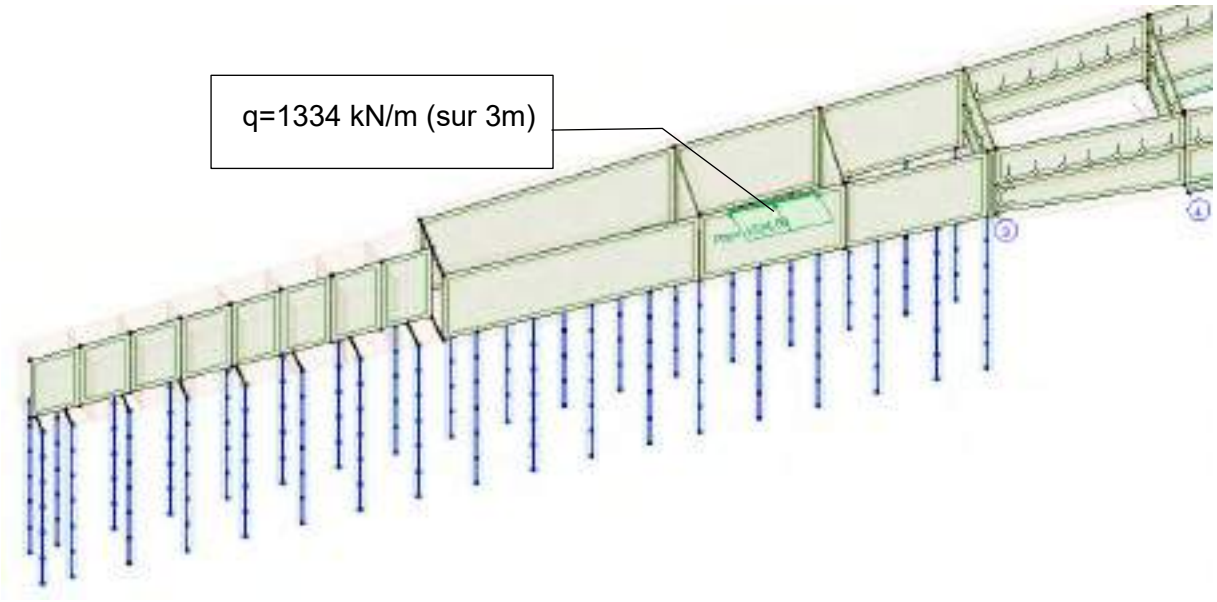
- Cas 6 :



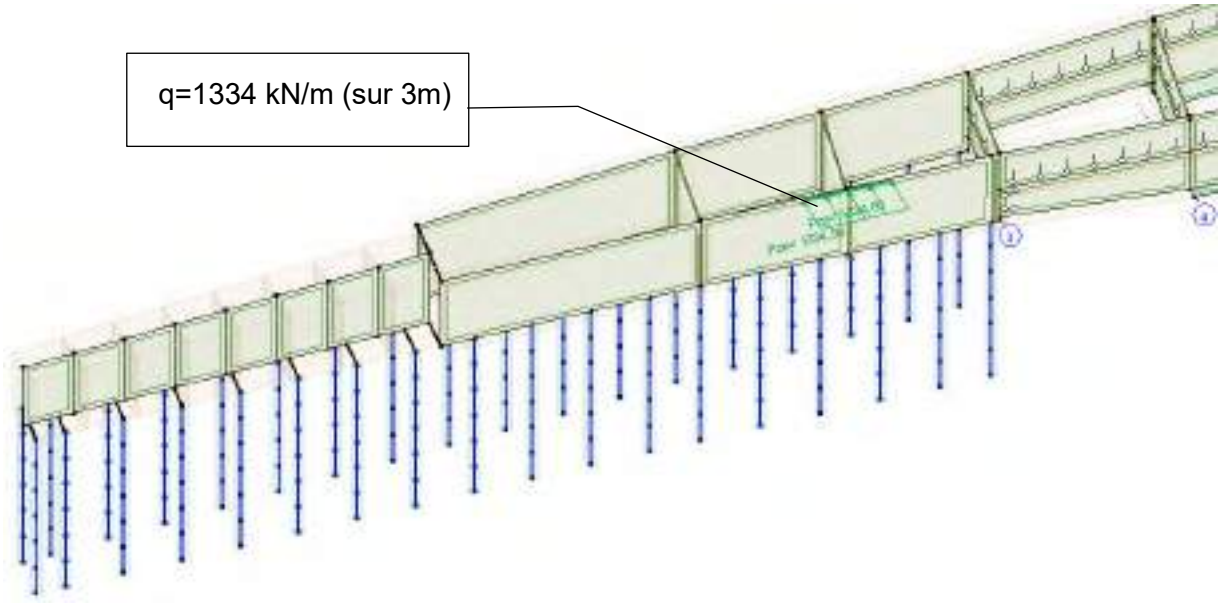
- Cas 7 :



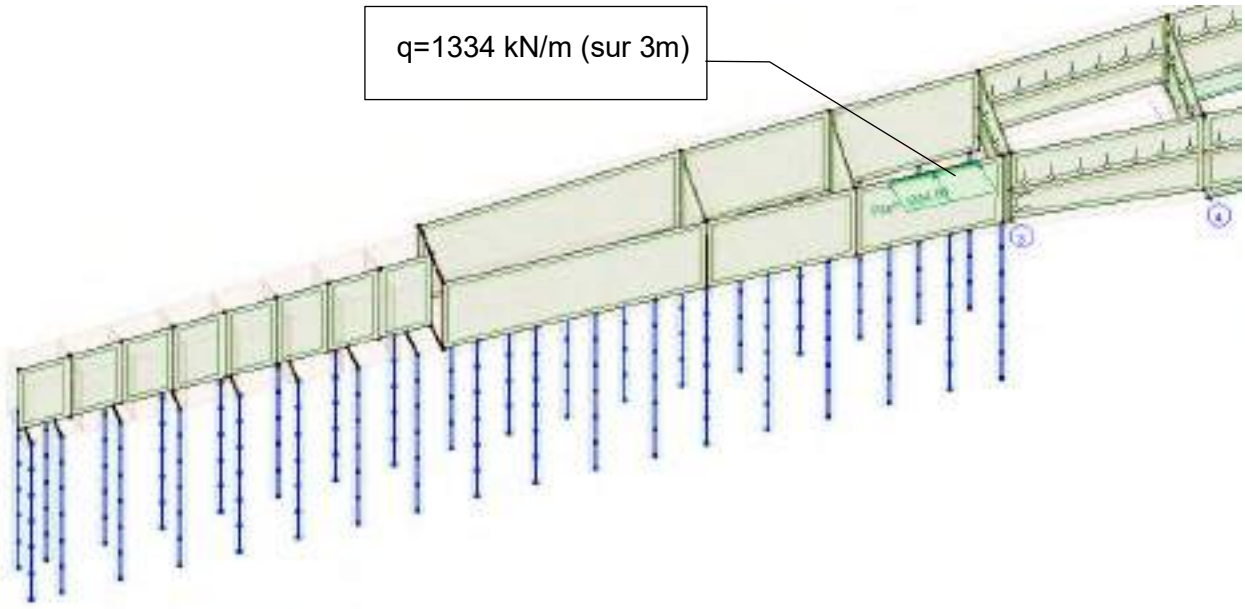
- Cas 8 :



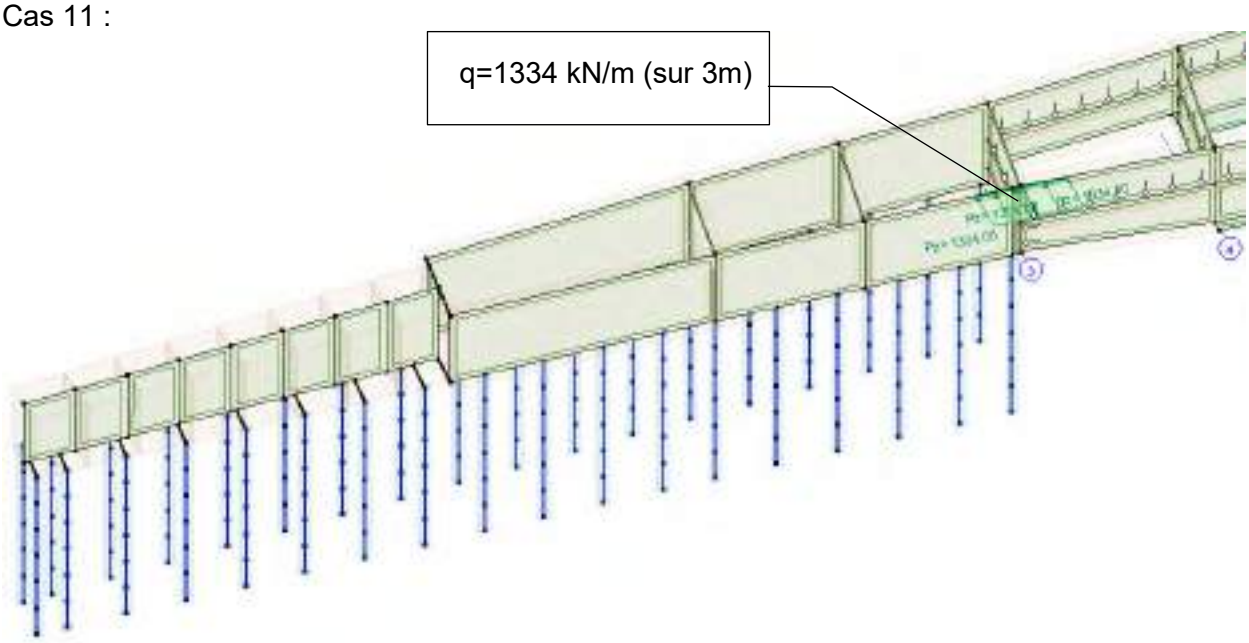
- Cas 9 :



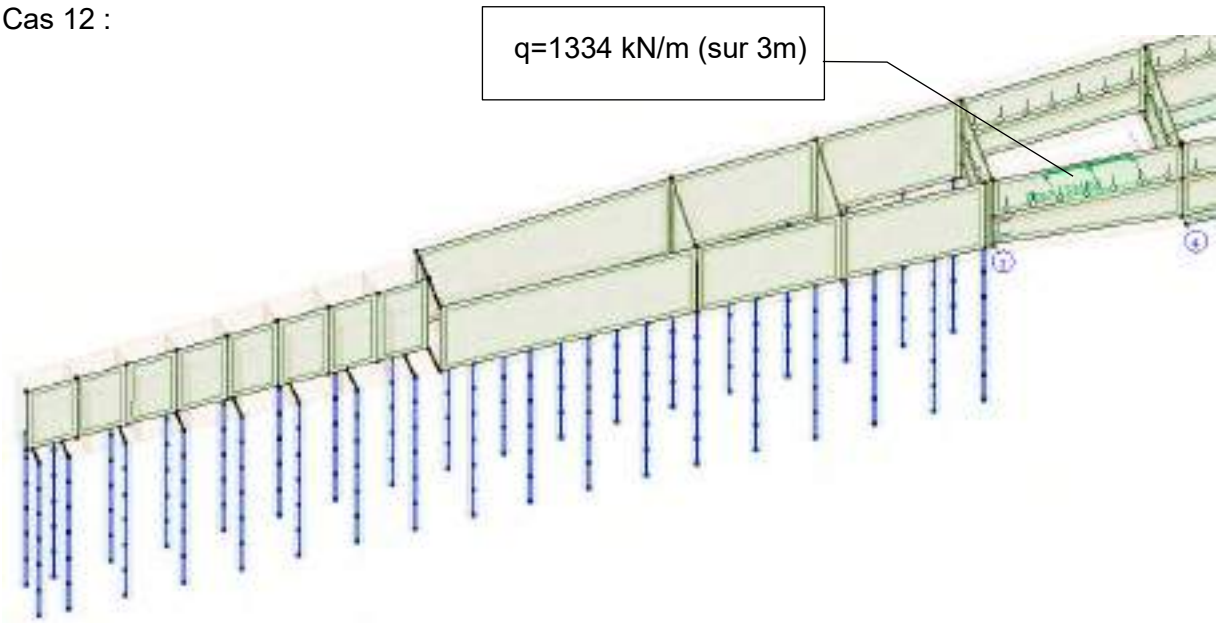
- Cas 10 :



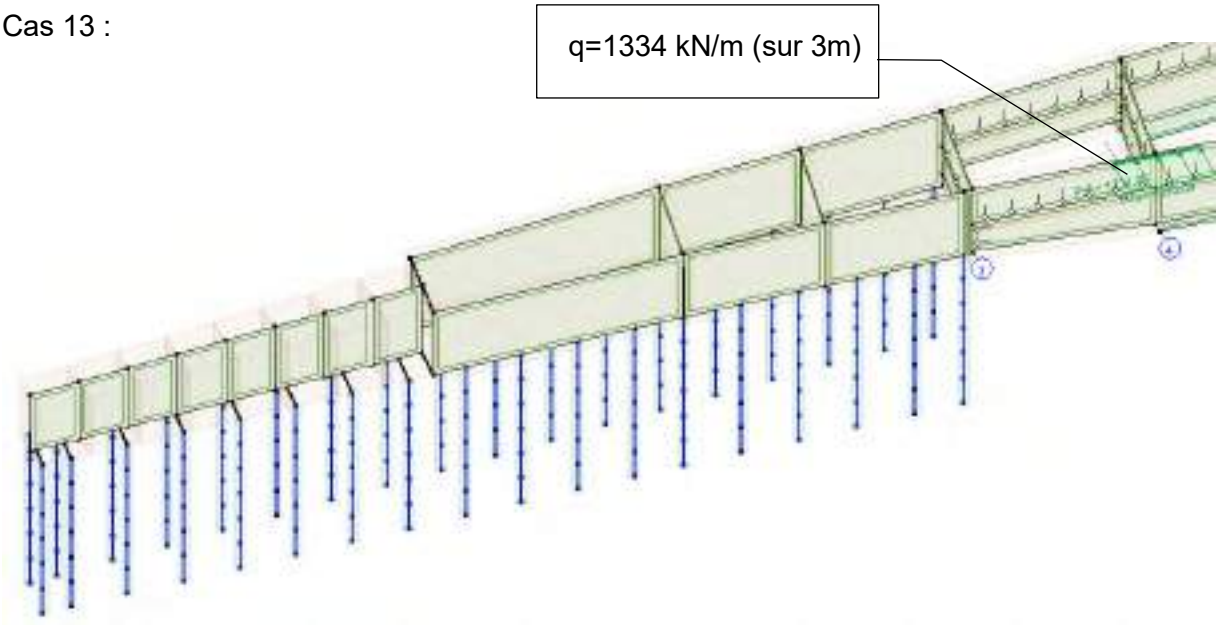
- Cas 11 :



- Cas 12 :

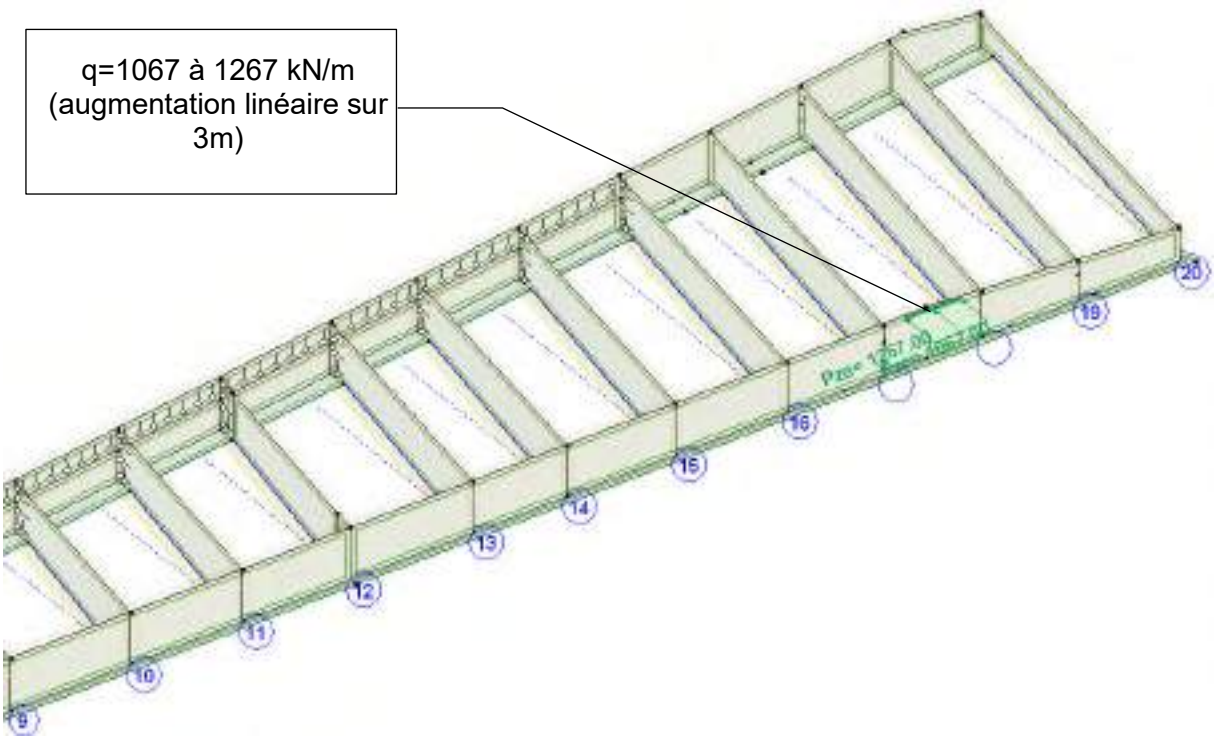


- Cas 13 :

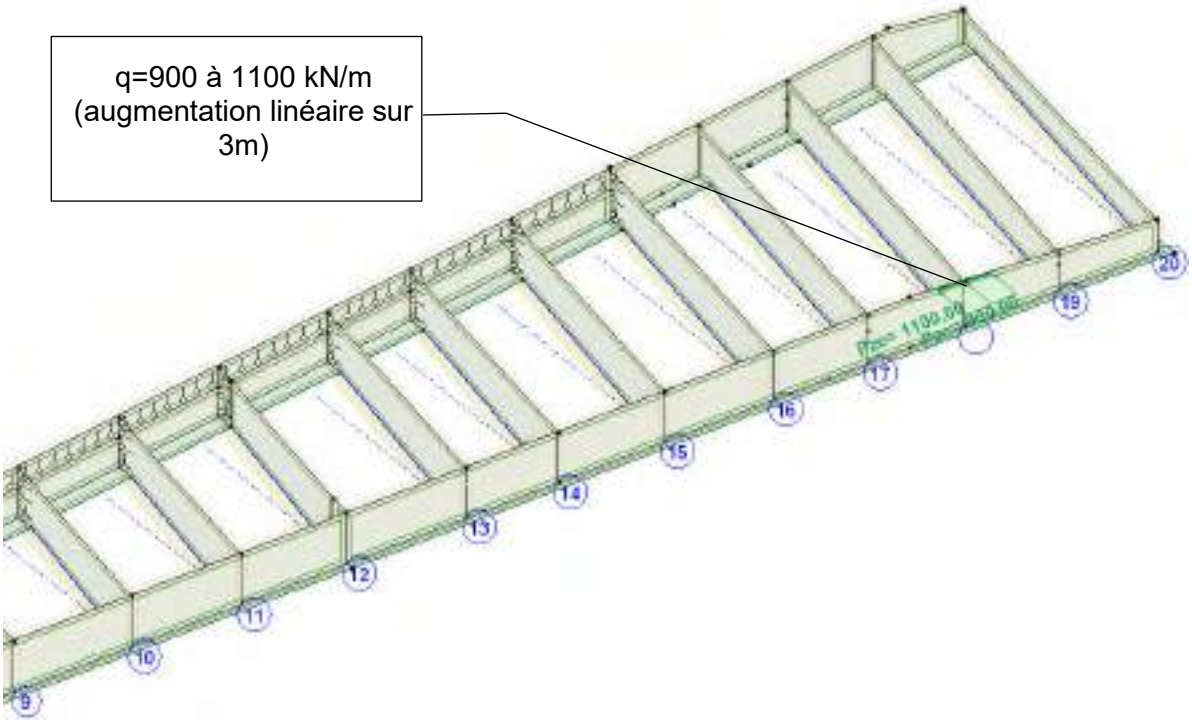


- Ainsi de suite pour les cas 14 à 39

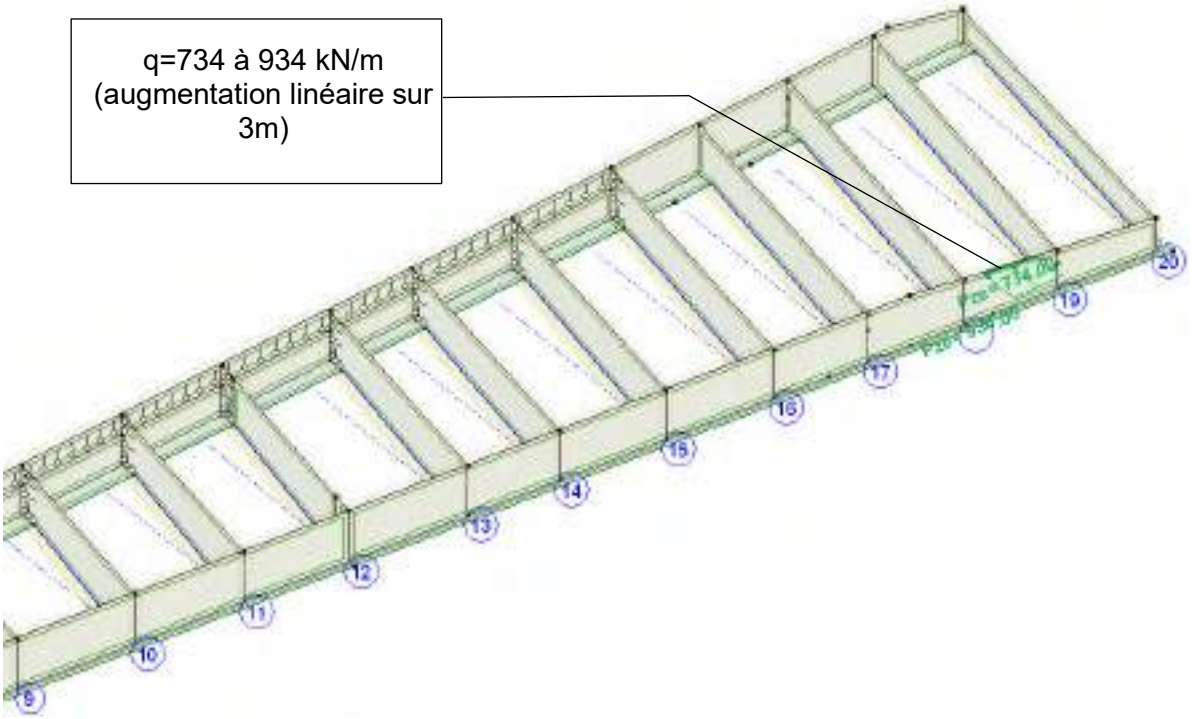
- Cas 40 :


q=1067 à 1267 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)
9
10
11
12
13
14
15
16
19
20

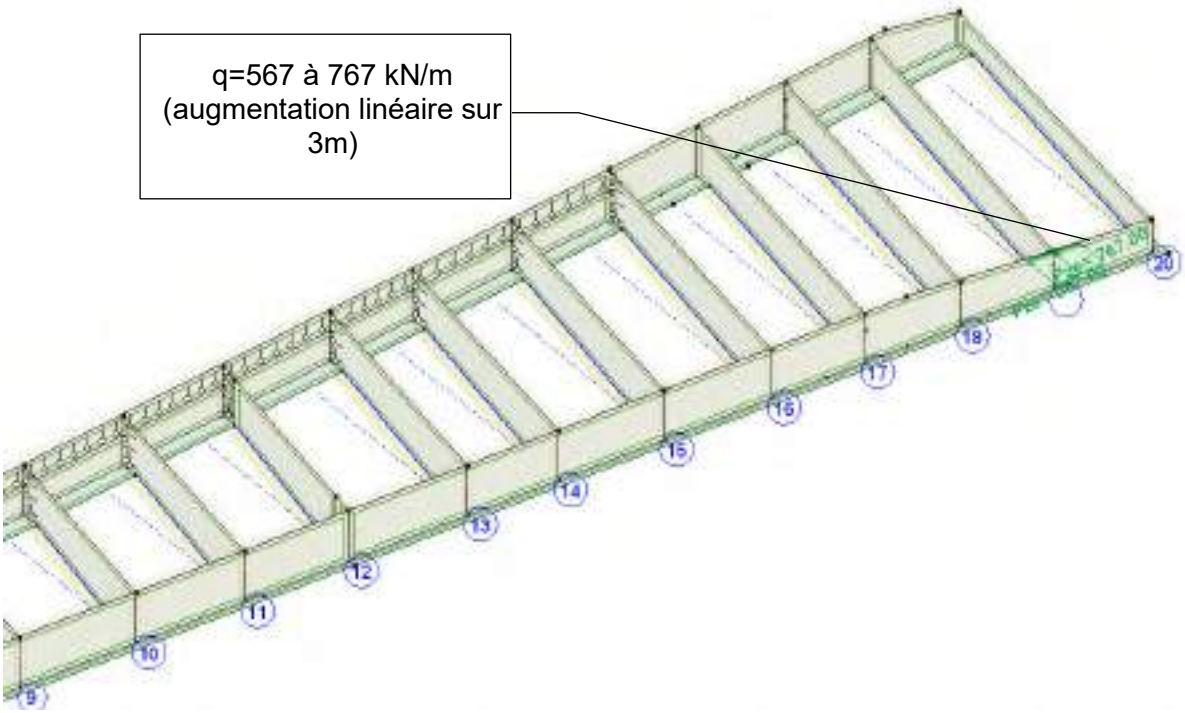
- Cas 41 :


q=900 à 1100 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)
9
10
11
12
13
14
15
16
17
19
20

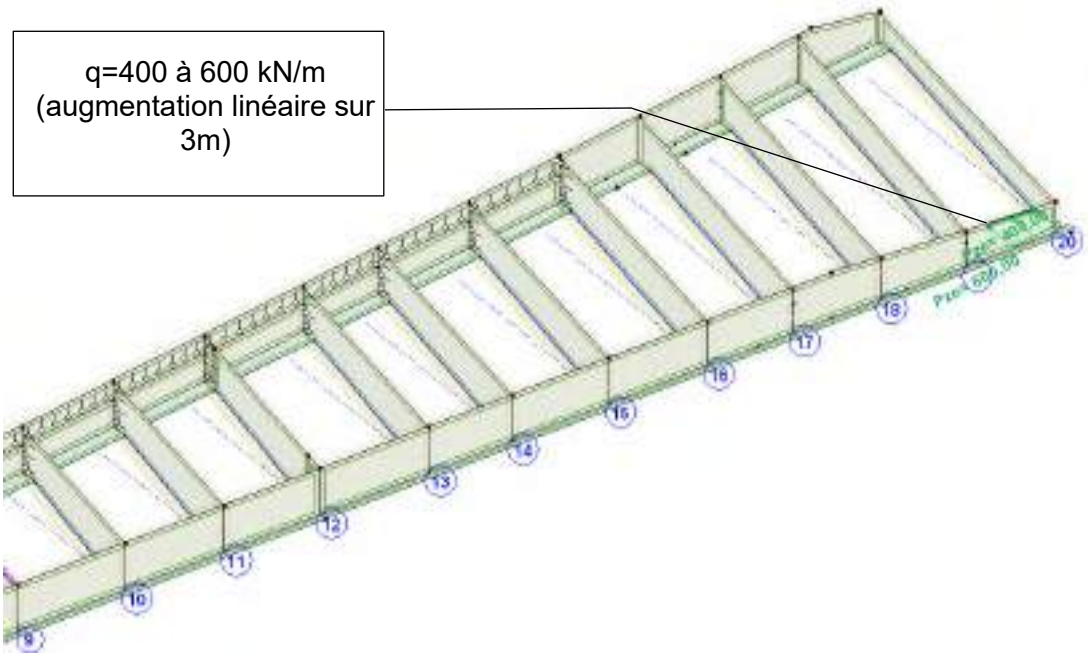
- Cas 42 :


q=734 à 934 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)

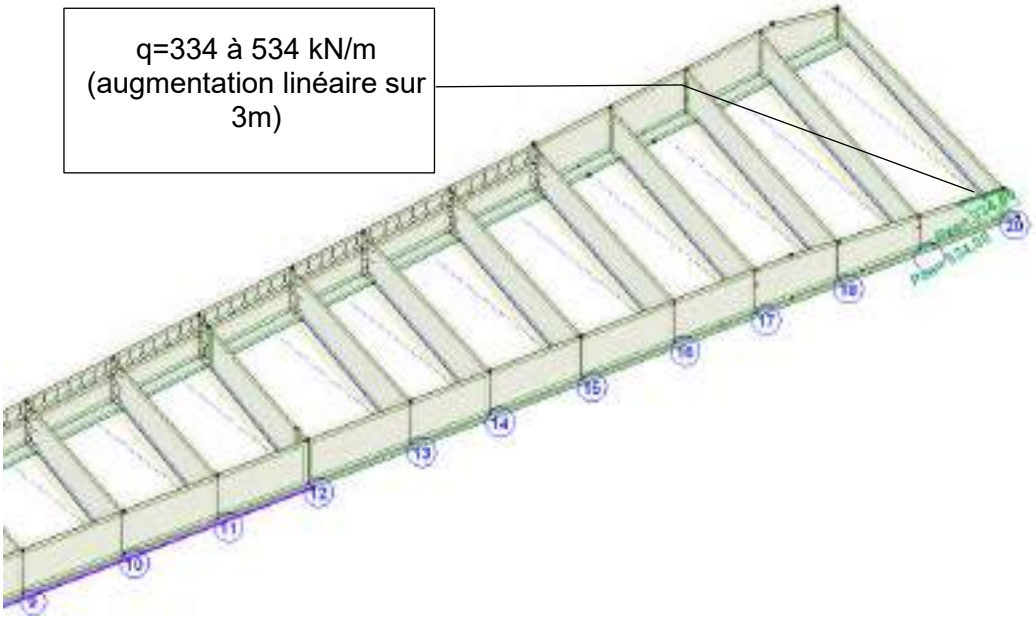
- Cas 43 :


q=567 à 767 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)

- Cas 44 :

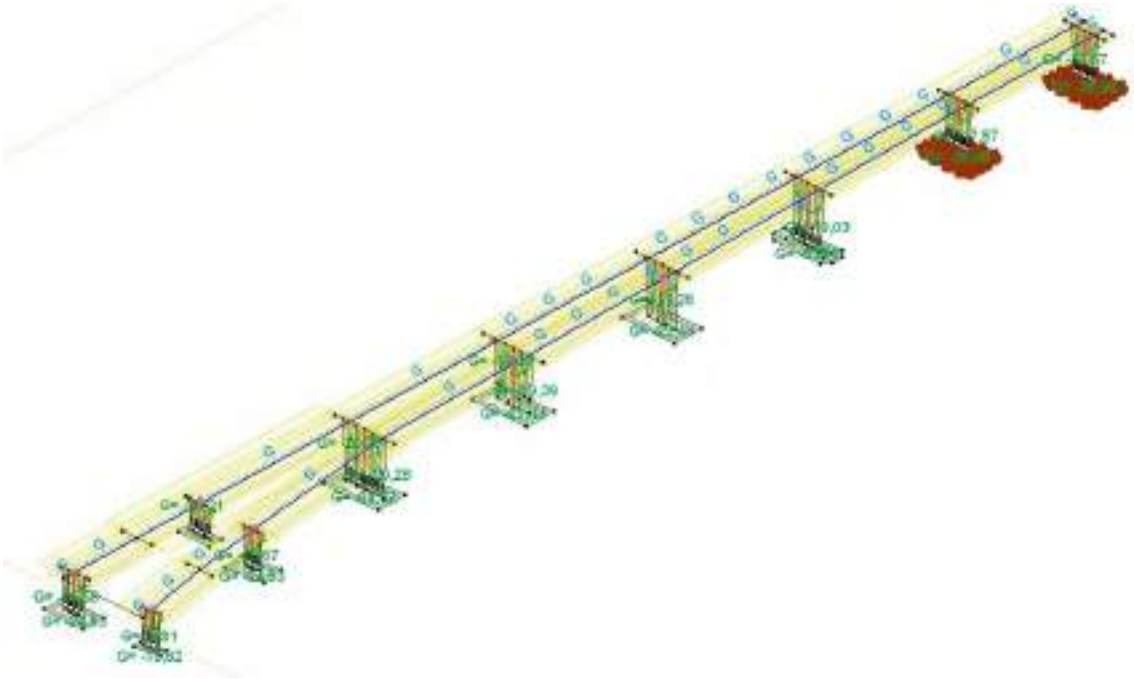

q=400 à 600 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)

- Cas 45 :

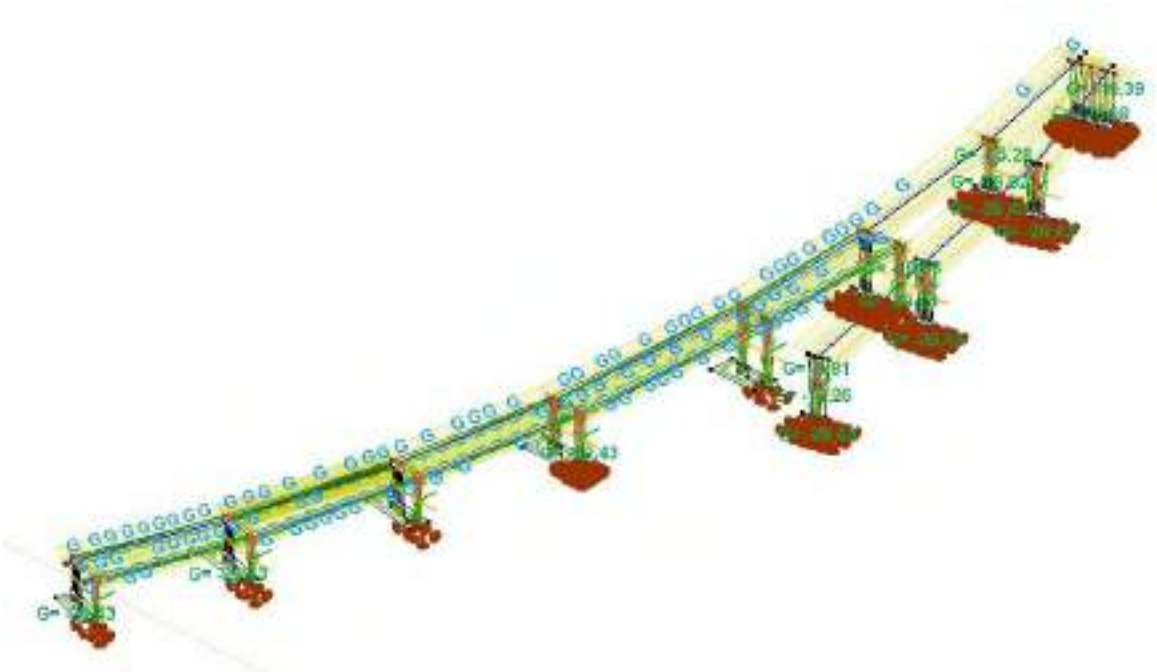

q=334 à 534 kN/m
(augmentation linéaire sur 3m)

10.2. Cas de charges – Piles de ponts existantes

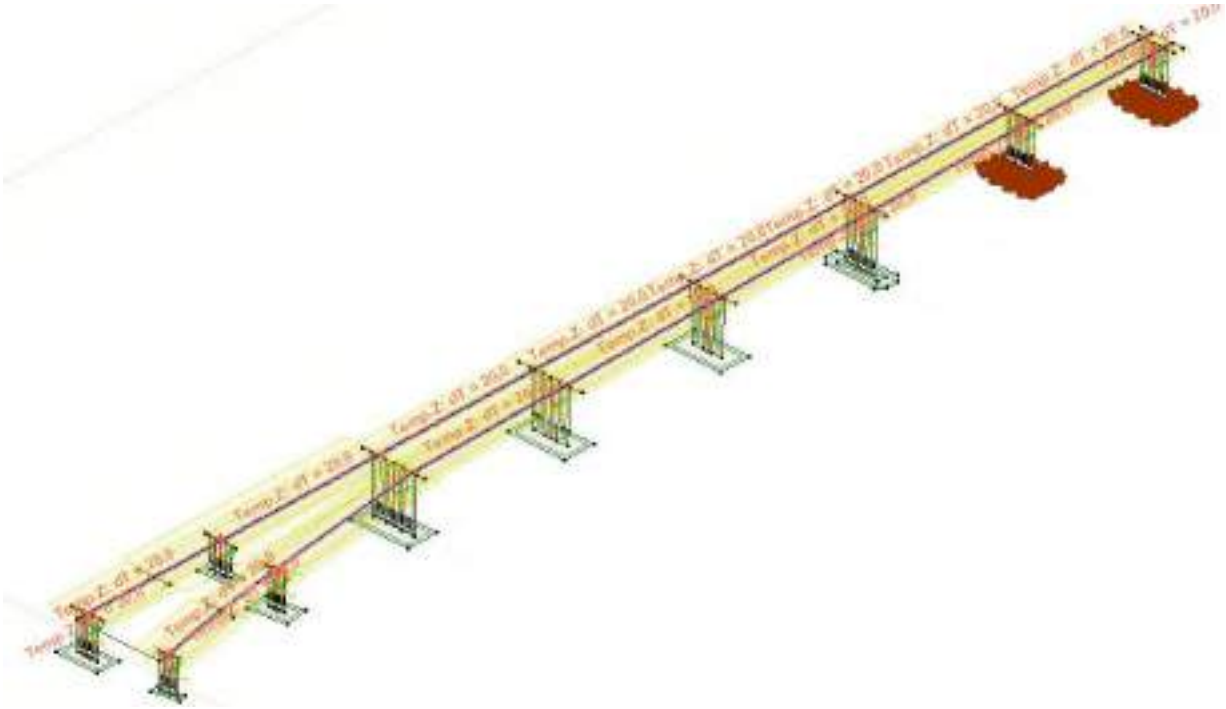
10.2.1. Charges permanentes – poids propre – Pont 2



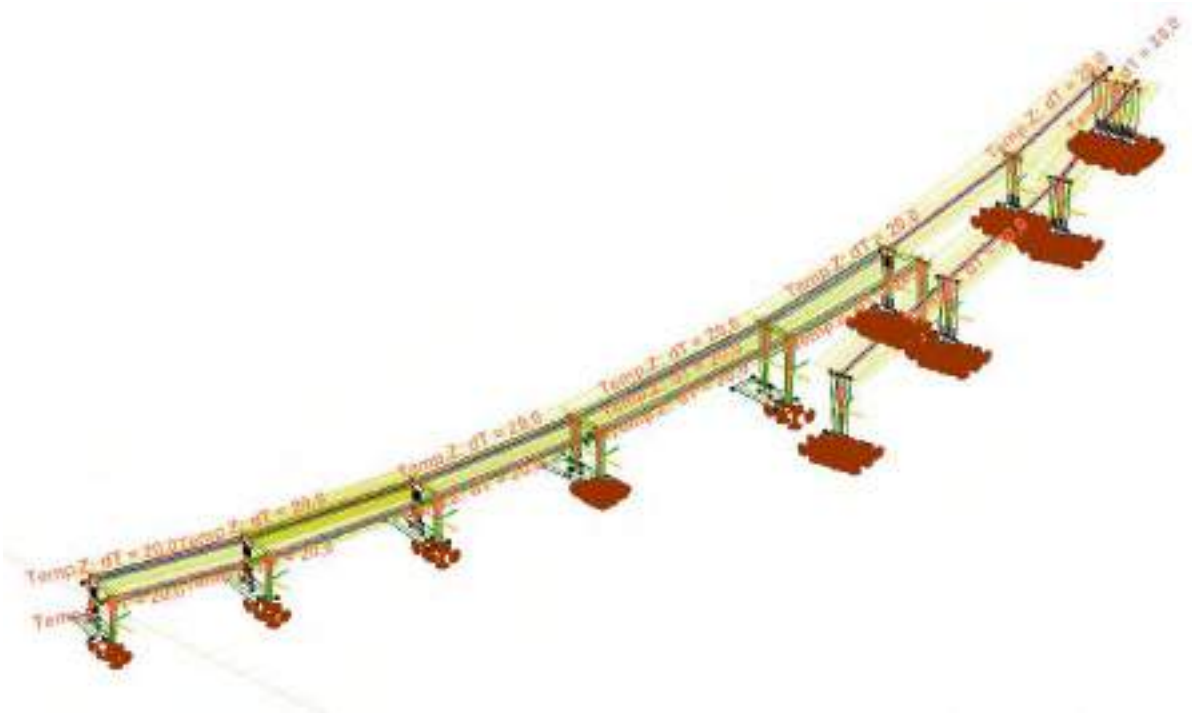
10.2.2. Charges permanentes – poids propre – Pont 3b



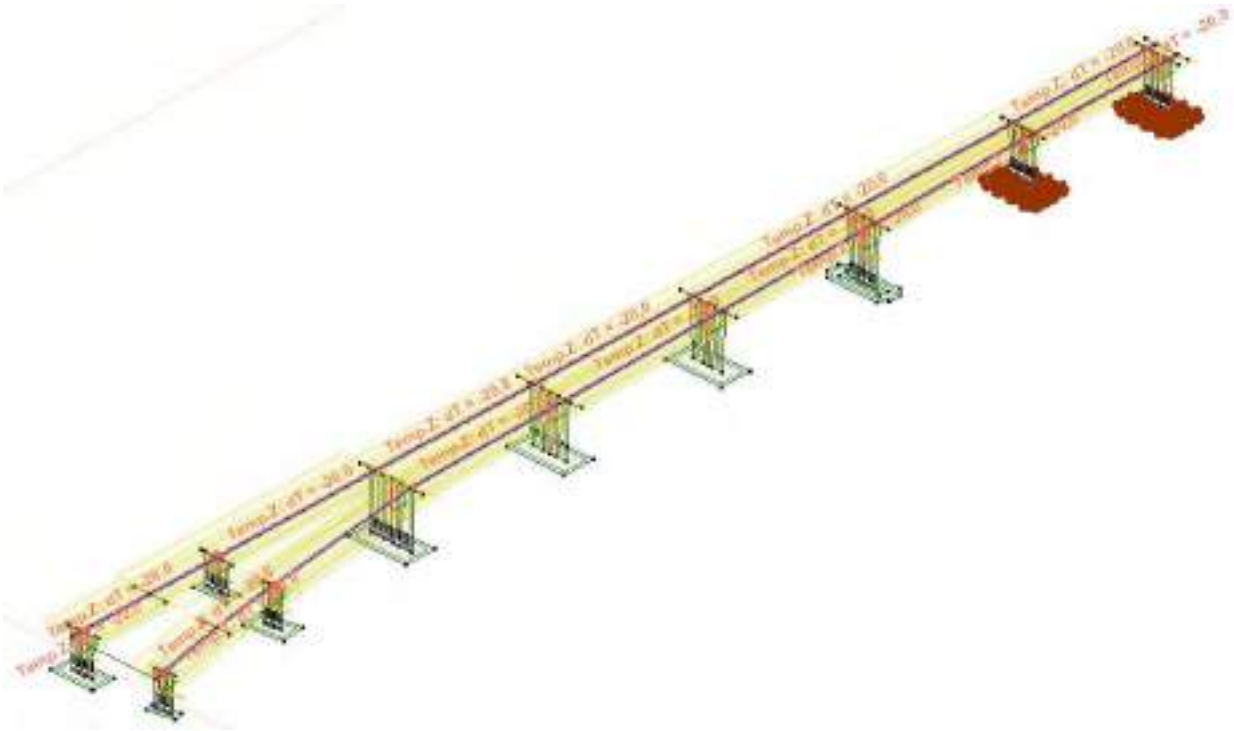
10.2.3. Charges variables – Température homogène +20°C – Pont 2



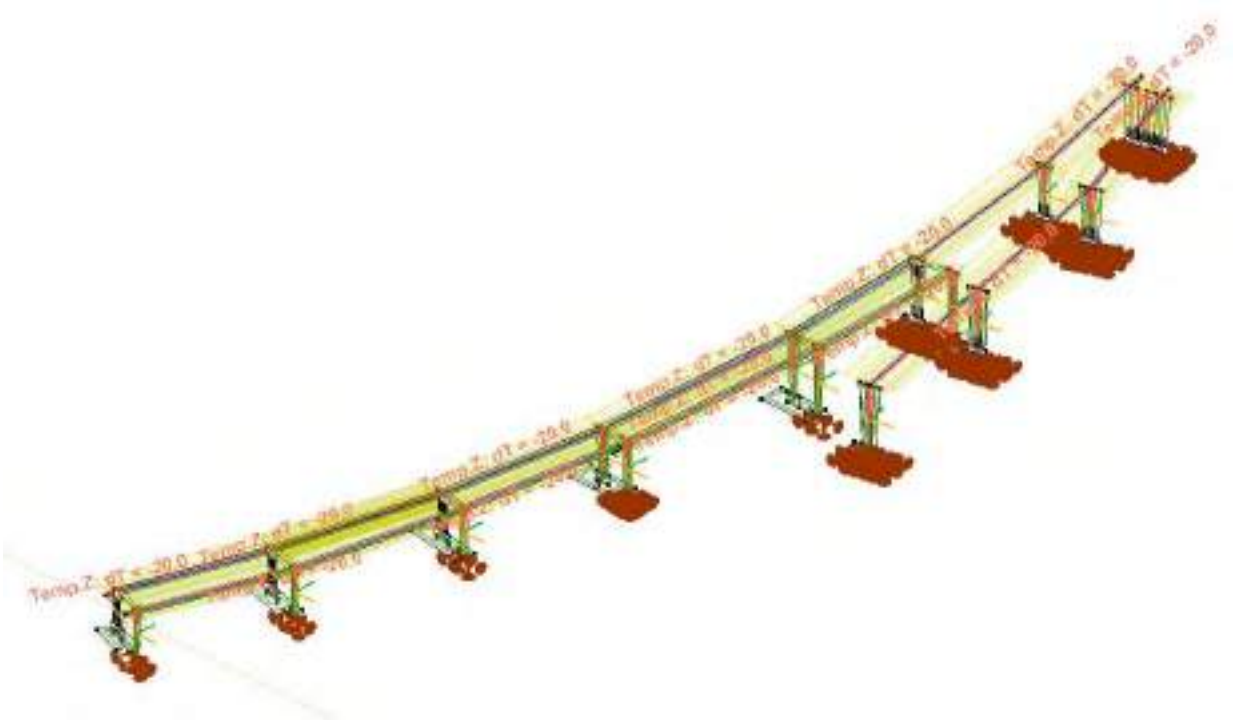
10.2.4. Charges variables – Température homogène +20°C – Pont 3b



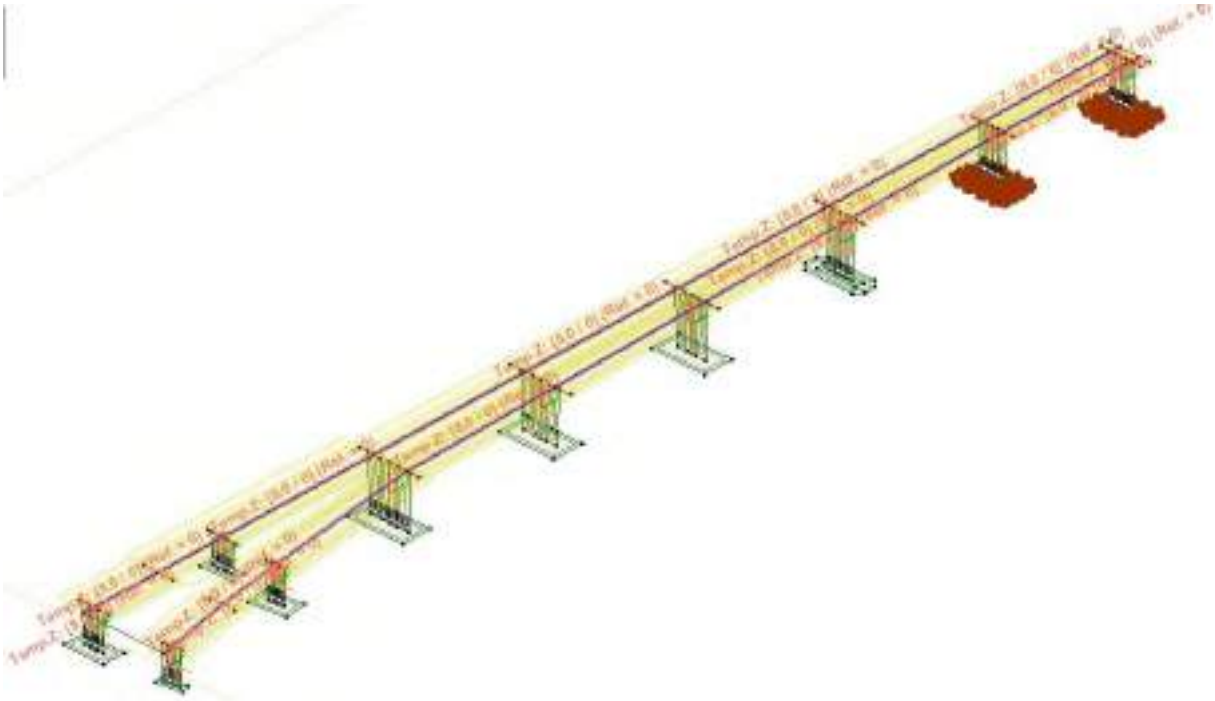
10.2.5. Charges variables – Température homogène -20°C – Pont 2



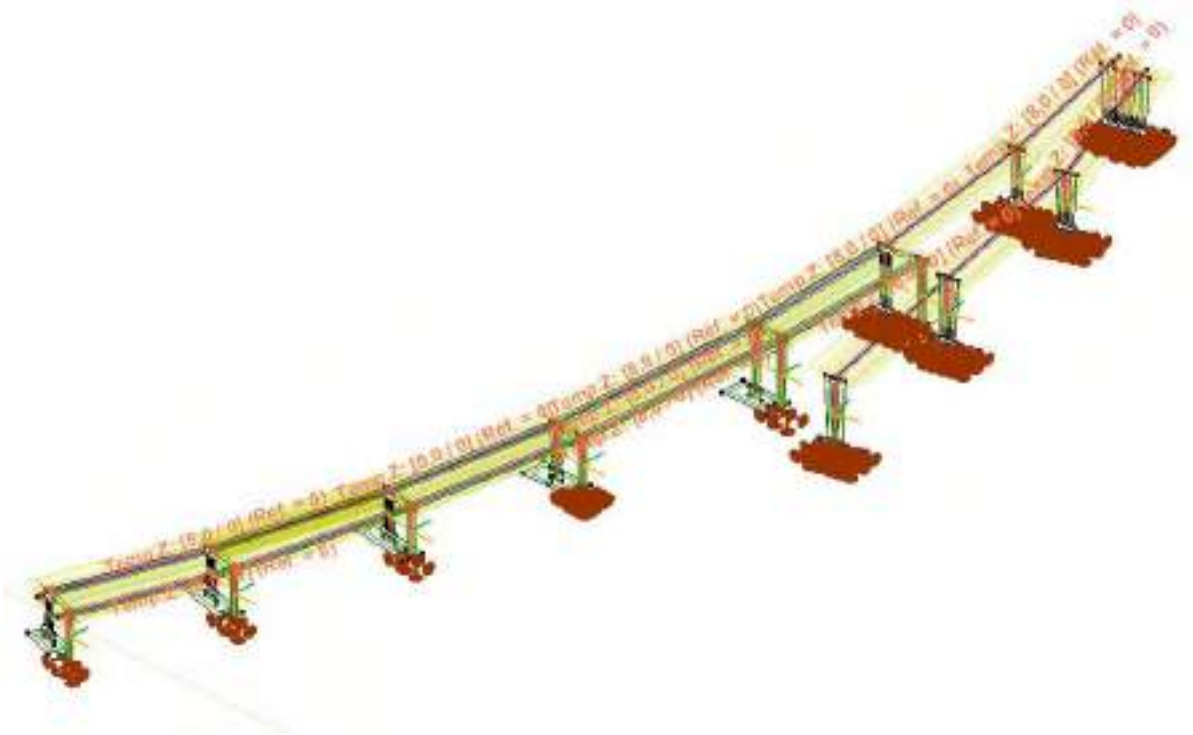
10.2.6. Charges variables – Température homogène -20°C – Pont 3b



10.2.7. Charges variables – Température non homogène +8°C – Pont 2

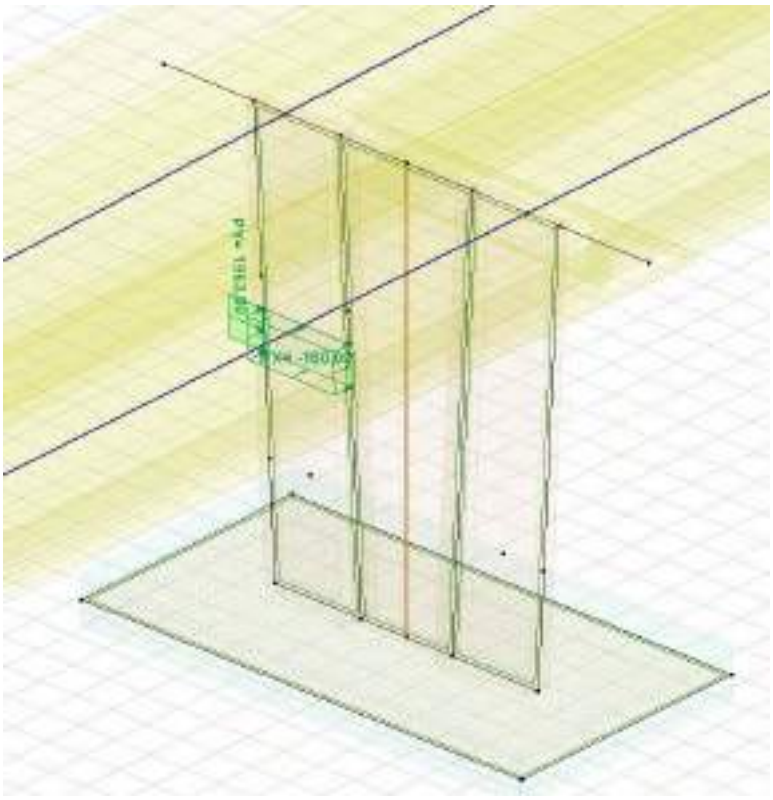


10.2.8. Charges variables – Température non homogène +8°C – Pont 3b



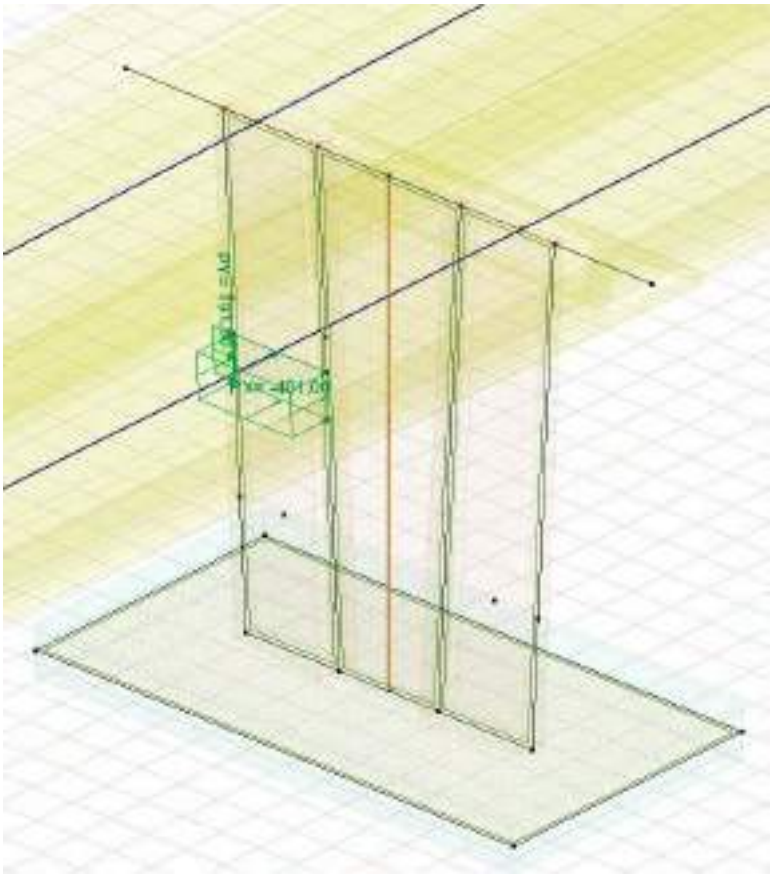
10.2.9. Charges accidentelles – Choc ferroviaire parrallèle aux voies – Pont 2

Niveau d'application centrale des charges : 414,68 m.s.m.



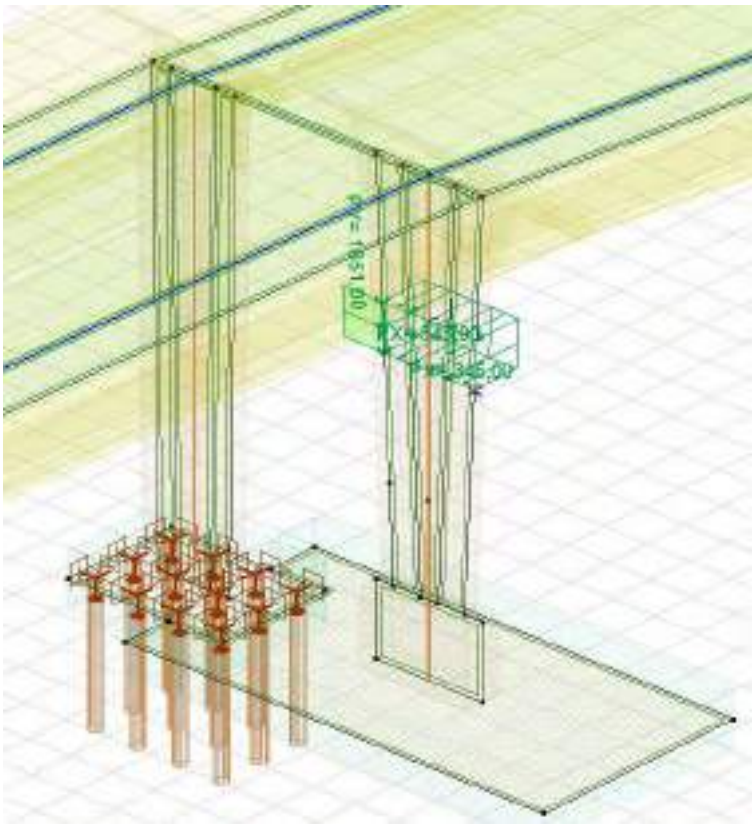
10.2.10. Charges accidentelles – Choc ferroviaire perpendiculaire aux voies – Pont 3b

Niveau d'application centrale des charges : 414,68 m.s.m.



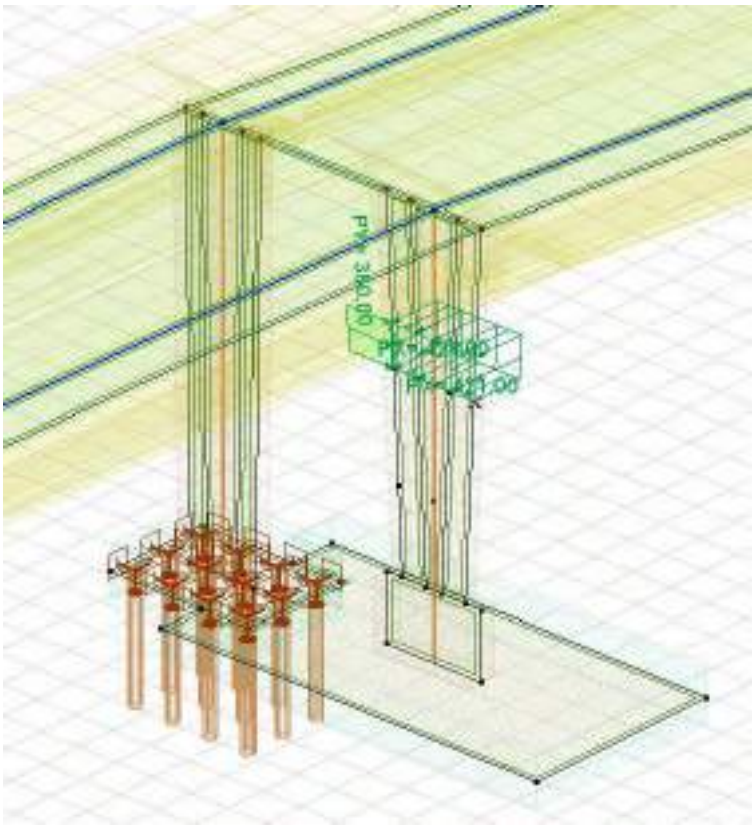
10.2.11. Charges accidentelles – Choc ferroviaire parallèle aux voies – Pont 2

Niveau d'application centrale des charges : 417,24 m.s.m.



10.2.12. Charges accidentelles – Choc ferroviaire perpendiculaire aux voies – Pont 3b

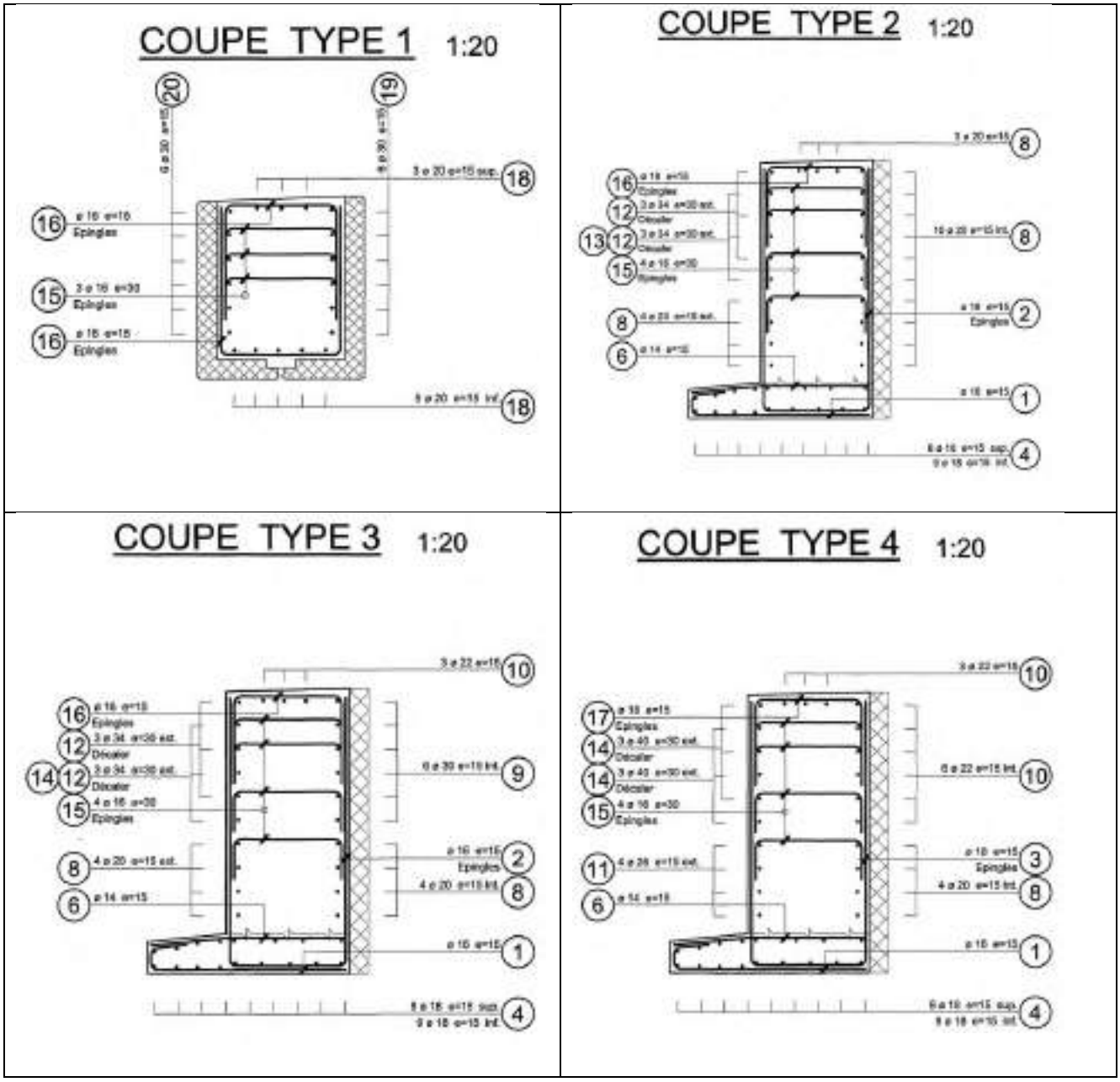
Niveau d'application centrale des charges : 417,24 m.s.m.



10.3. Plans d'armatures

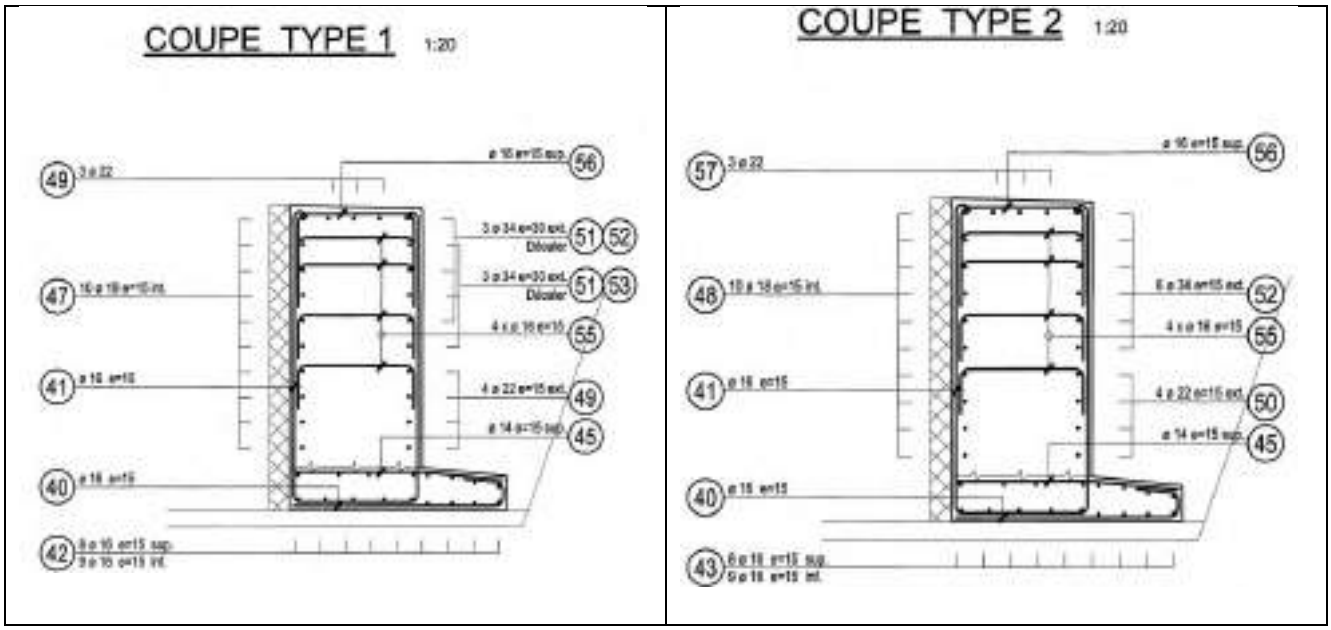
10.3.1. Mur de guidage voie 501 – Etape 1

Les coupes types sont reprises du plan d'origine 1976-b.



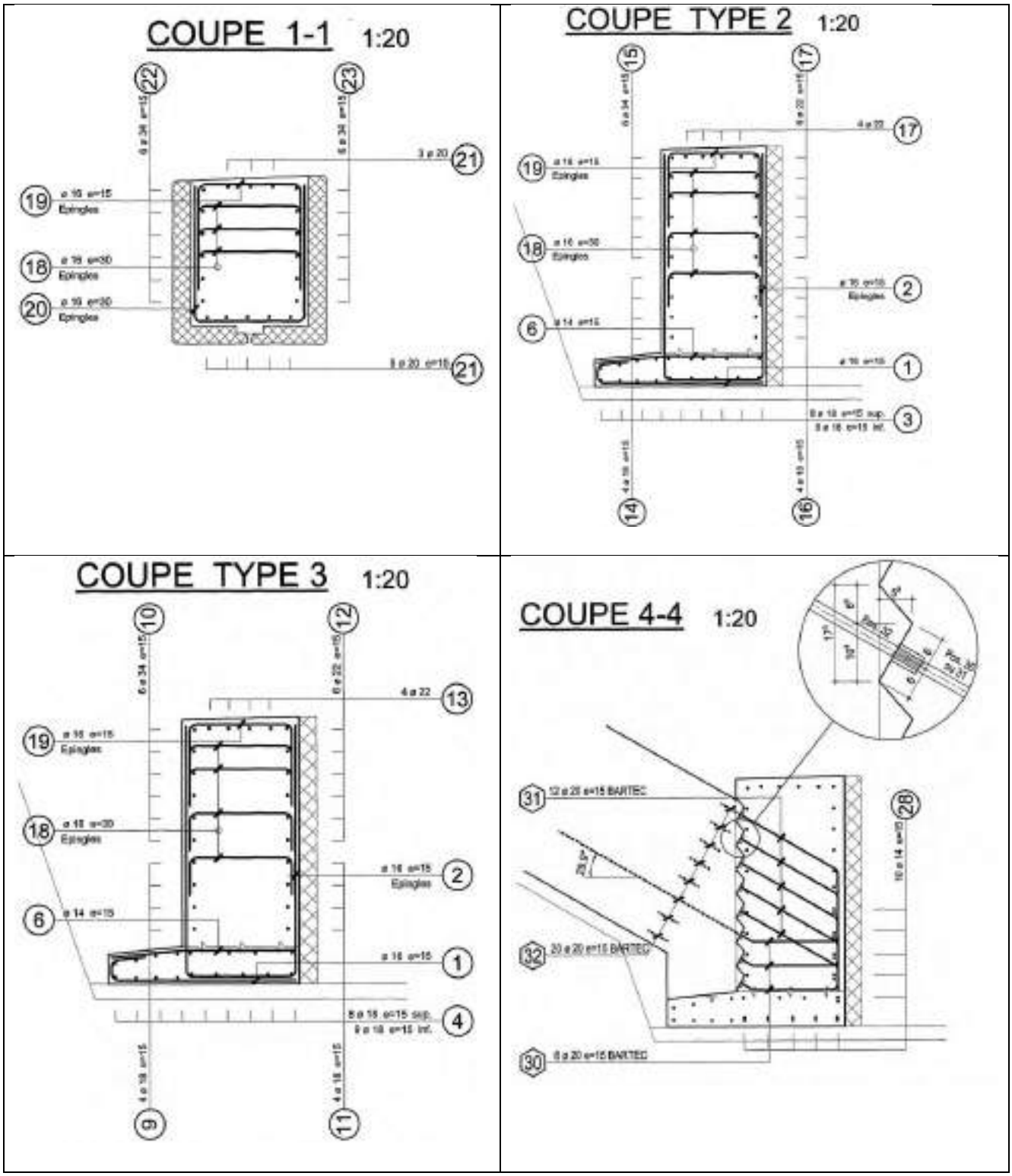
10.3.2. Mur de guidage voie 501 – Etape 2

Les coupes types sont reprises du plan d'origine 1977-b.



10.3.3. Mur de guidage voie 300

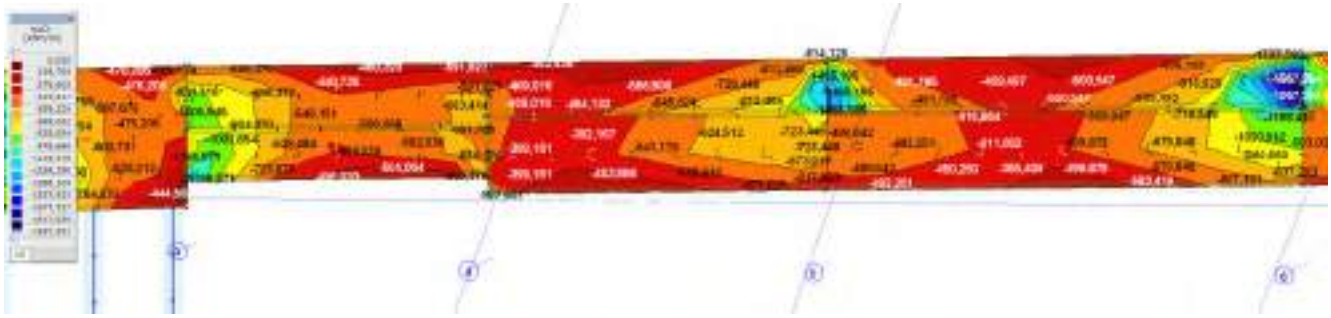
Les coupes types sont reprises du plan d'origine 1973-d.



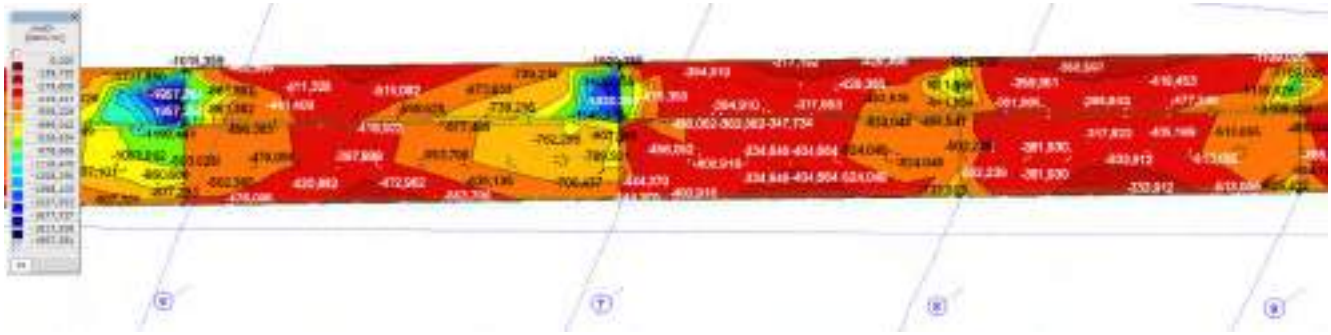
10.4. Sollicitations – Murs de guidage sur semelle

10.4.1. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V501

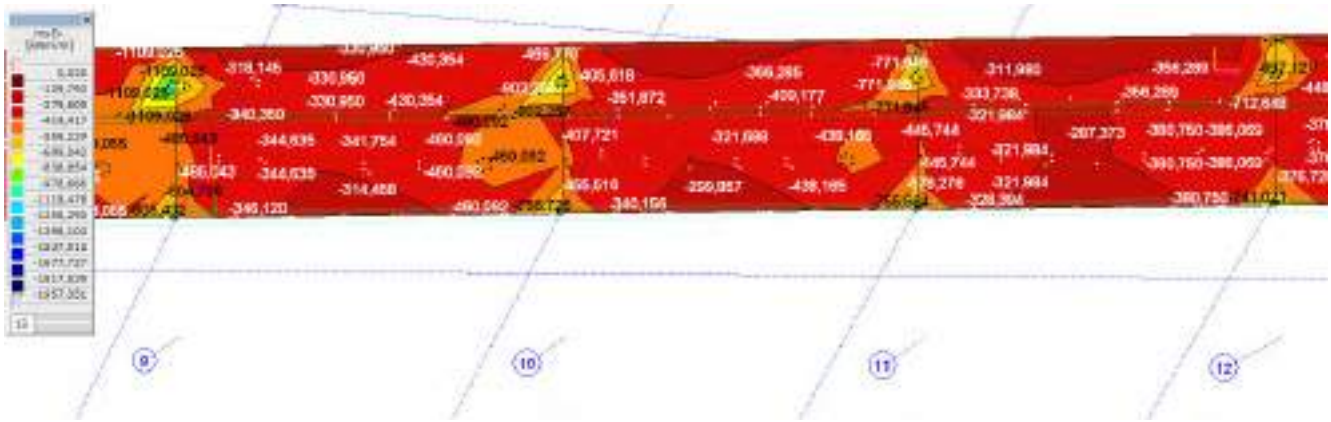
Butons 3 à 6



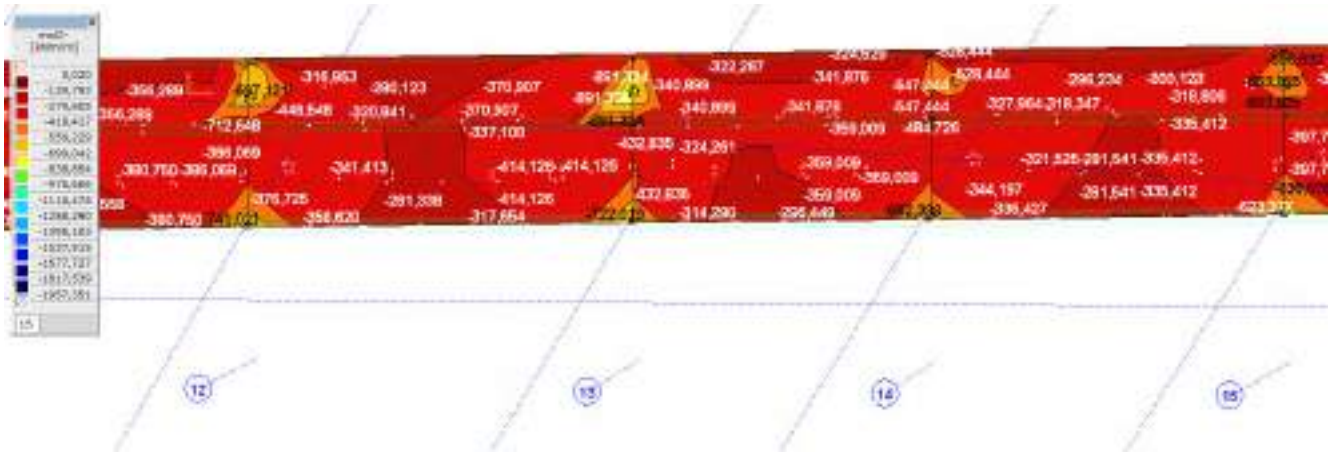
Butons 6 à 9



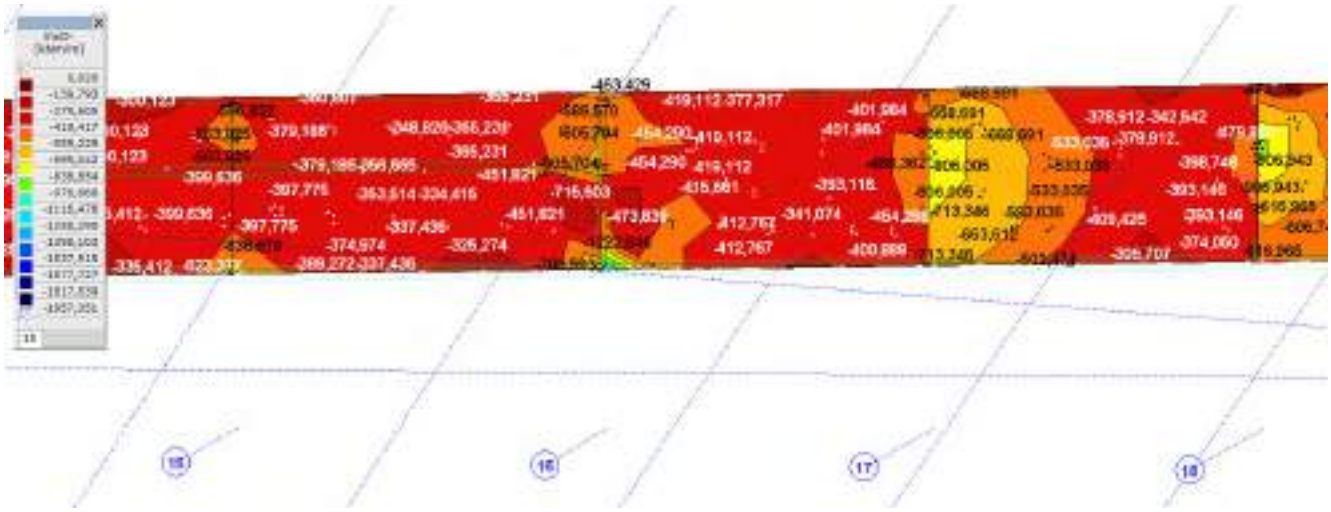
Butons 9 à 12



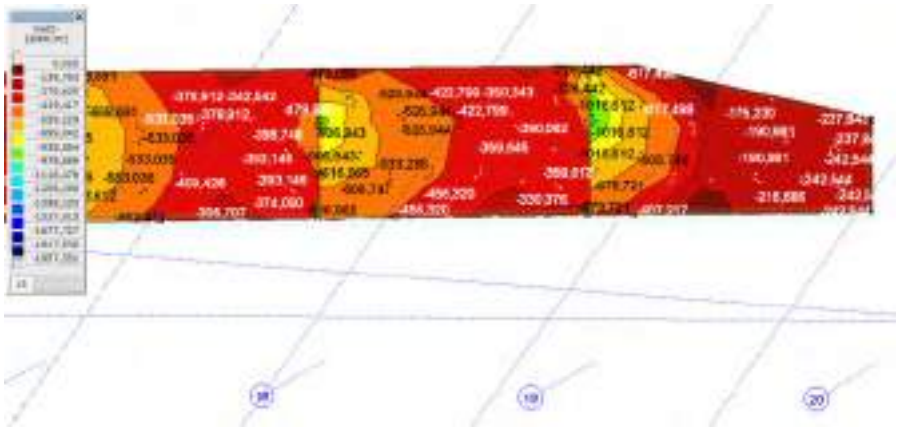
Butons 12 à 15



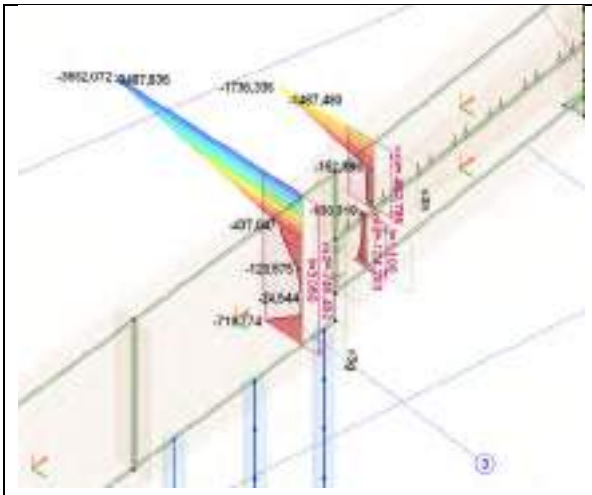
Butons 15 à 18



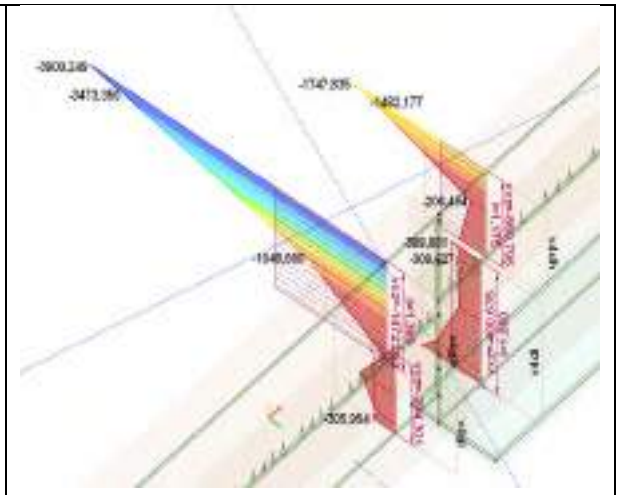
Butons 18 à 20



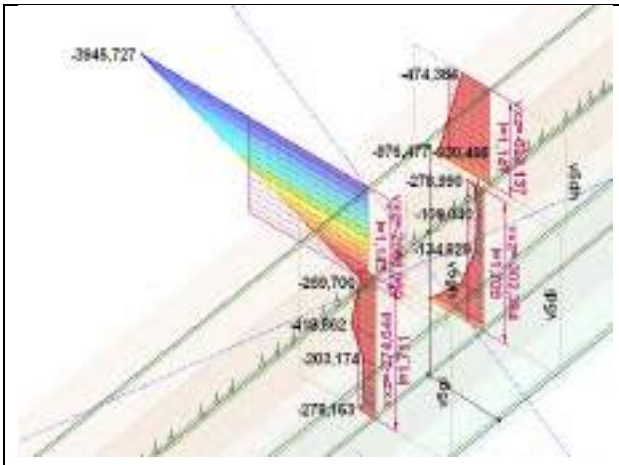
10.4.2. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V501



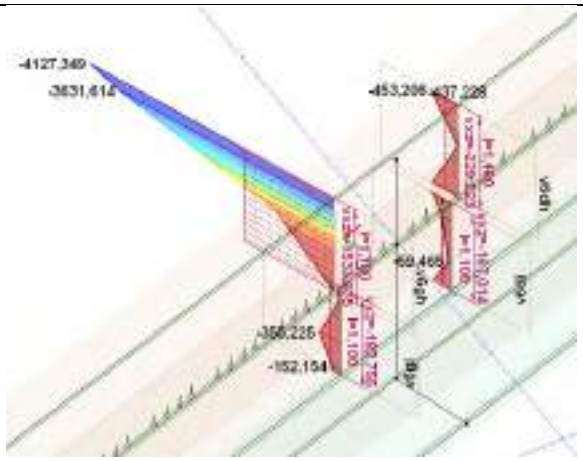
v_{xz} (kN/m) – Buton 3



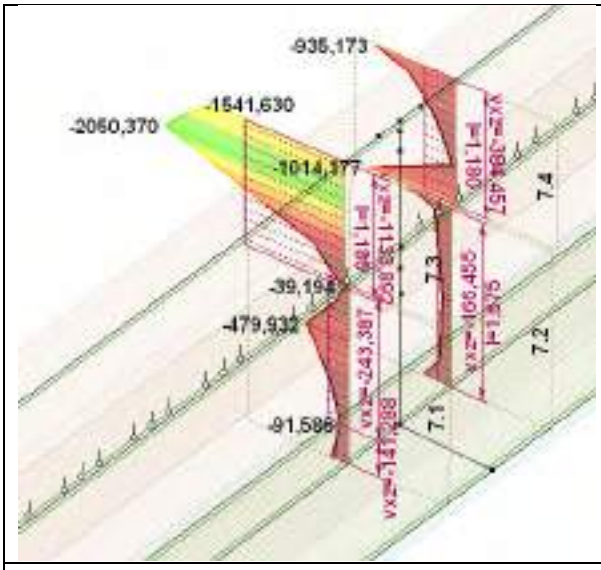
v_{xz} (kN/m) – Buton 4



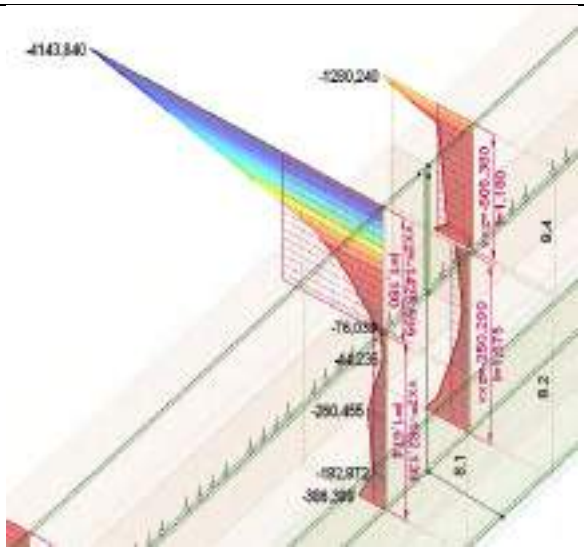
v_{xz} (kN/m) – Buton 5



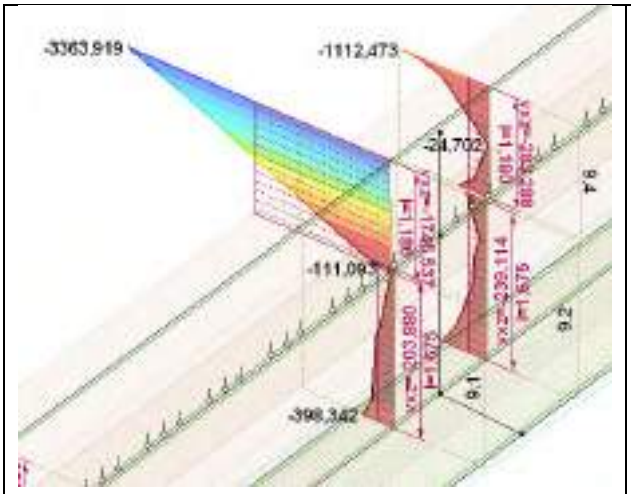
v_{xz} (kN/m) – Buton 6



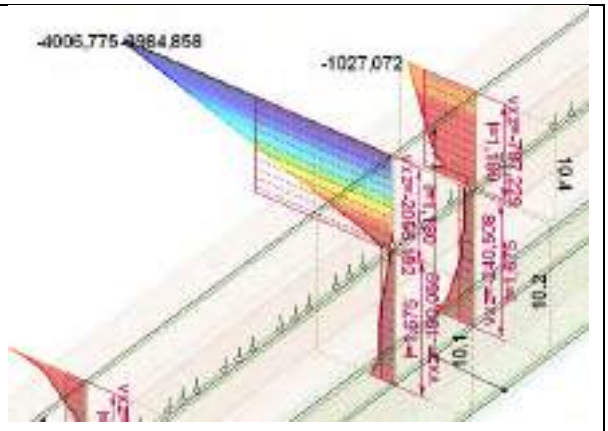
v_{xz} (kN/m) – Buton 7



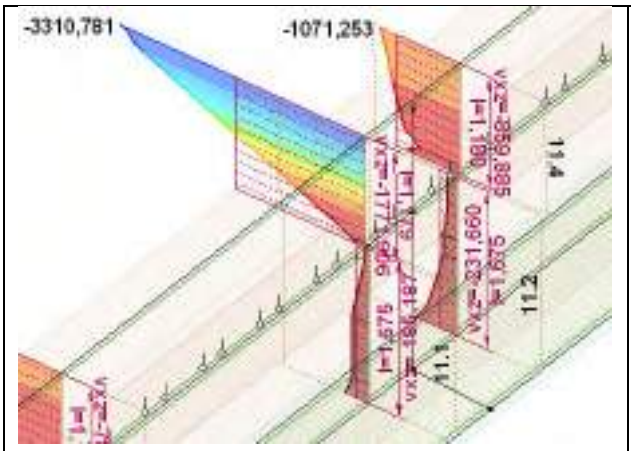
v_{xz} (kN/m) – Buton 8



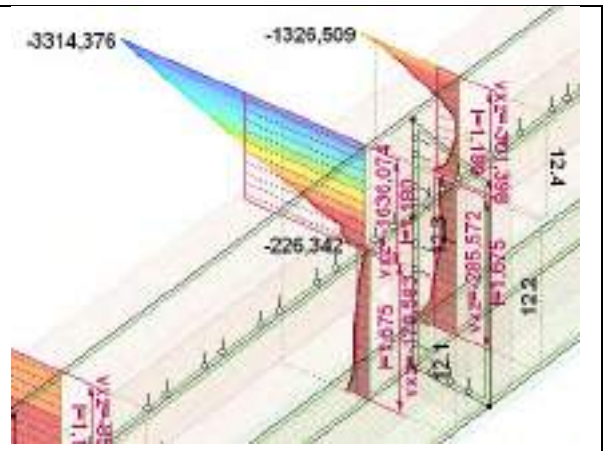
v_{xz} (kN/m) – Buton 9



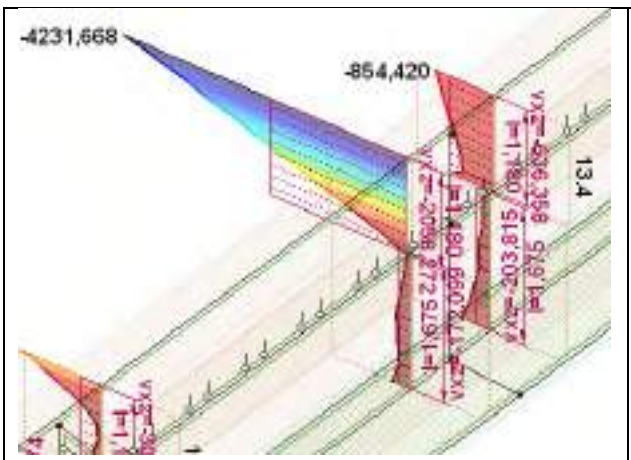
v_{xz} (kN/m) – Buton 10



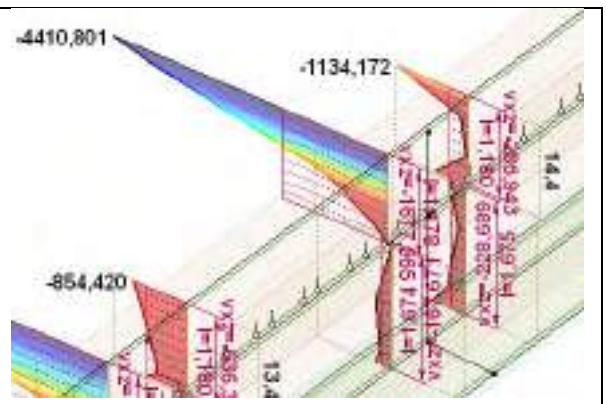
v_{xz} (kN/m) – Buton 11



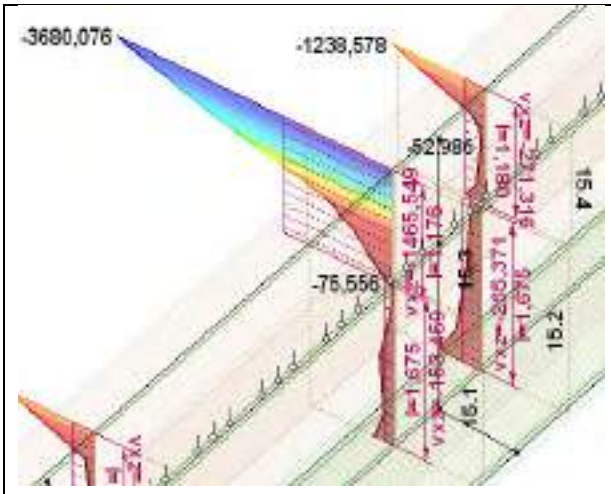
v_{xz} (kN/m) – Buton 12



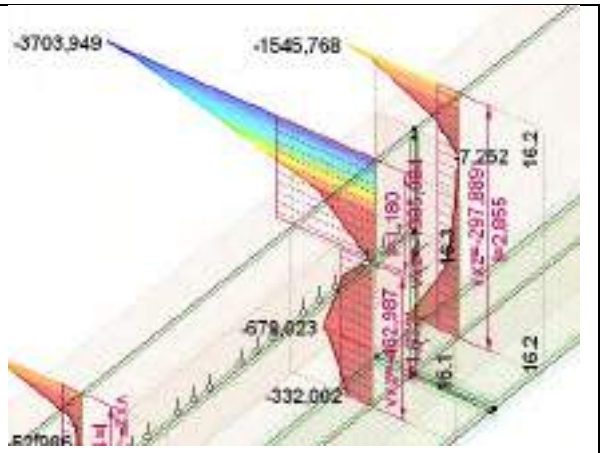
v_{xz} (kN/m) – Buton 13



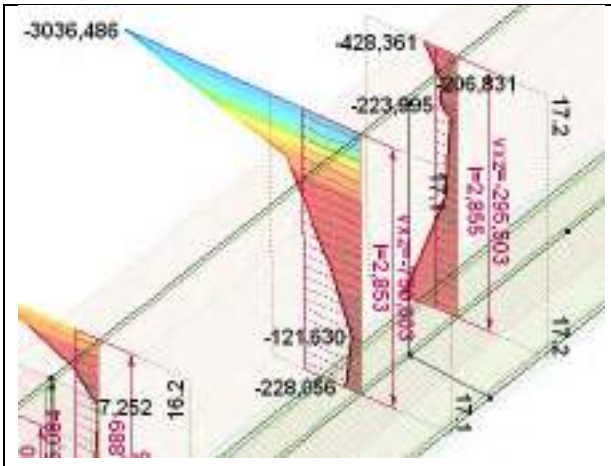
v_{xz} (kN/m) – Buton 14



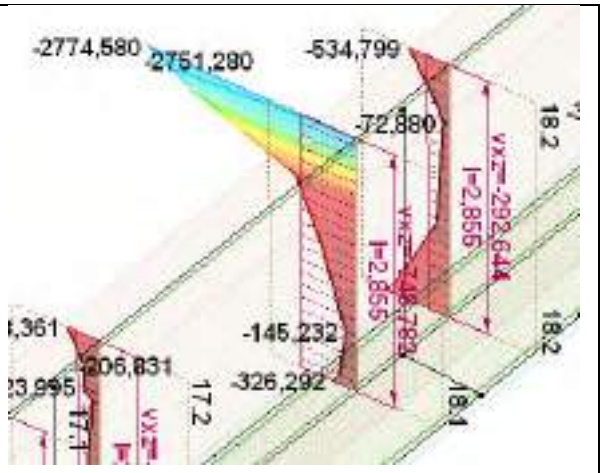
v_{xz} (kN/m) – Buton 15



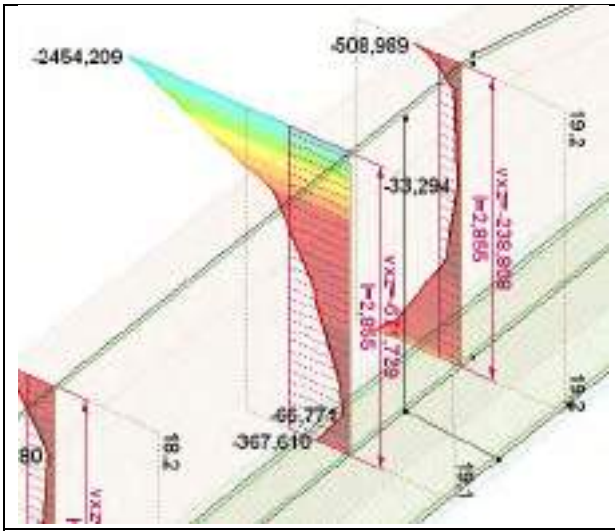
v_{xz} (kN/m) – Buton 16



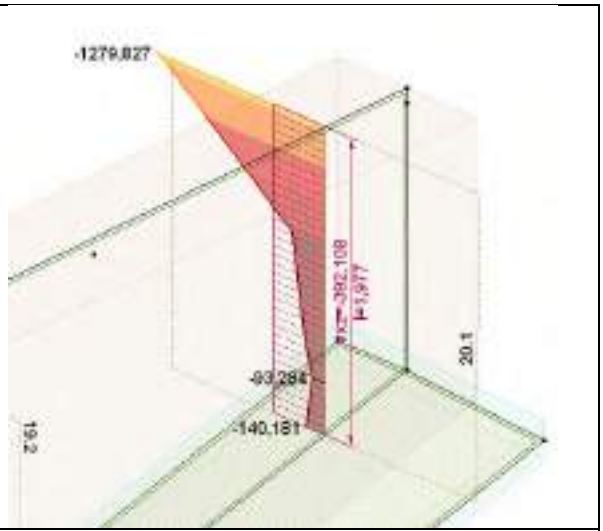
v_{xz} (kN/m) – Buton 17



v_{xz} (kN/m) – Buton 18



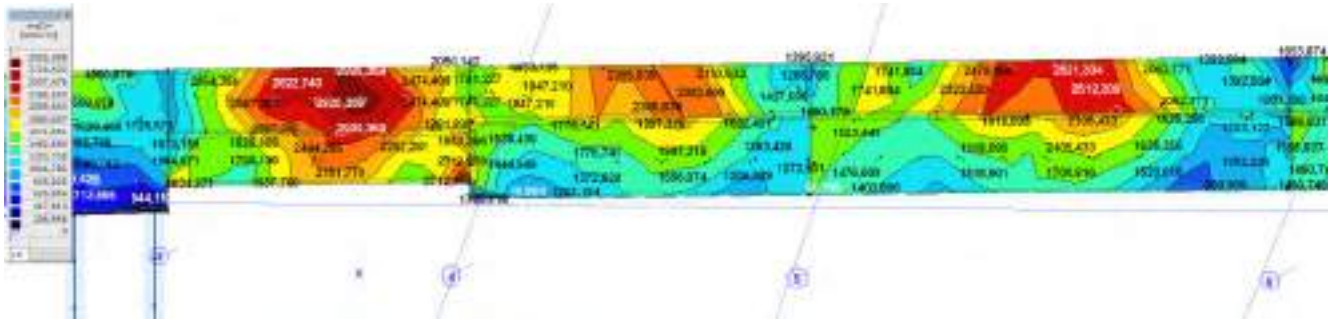
v_{xz} (kN/m) – Buton 19



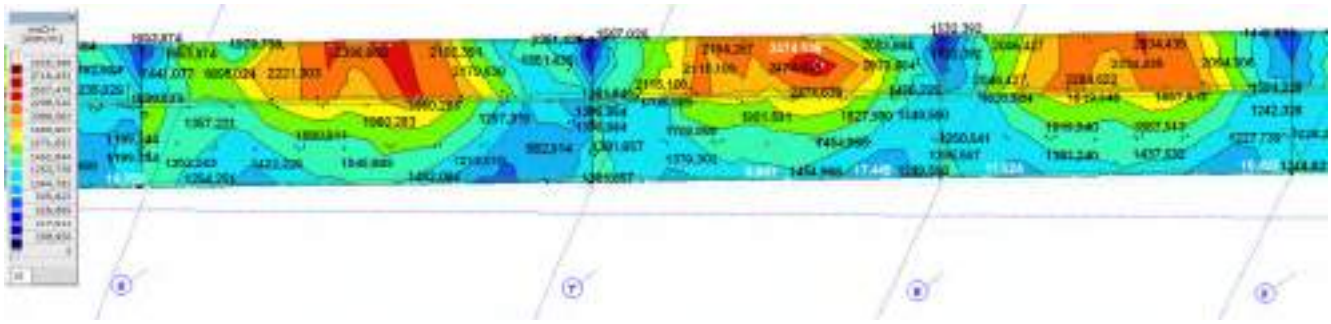
v_{xz} (kN/m) – Buton 20

10.4.3. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V501

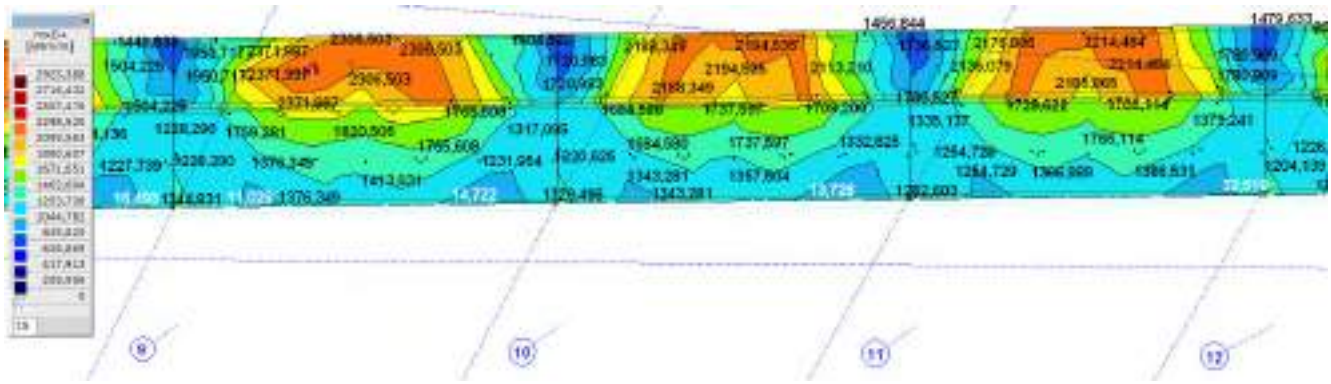
Travées entre butons 3 et 6



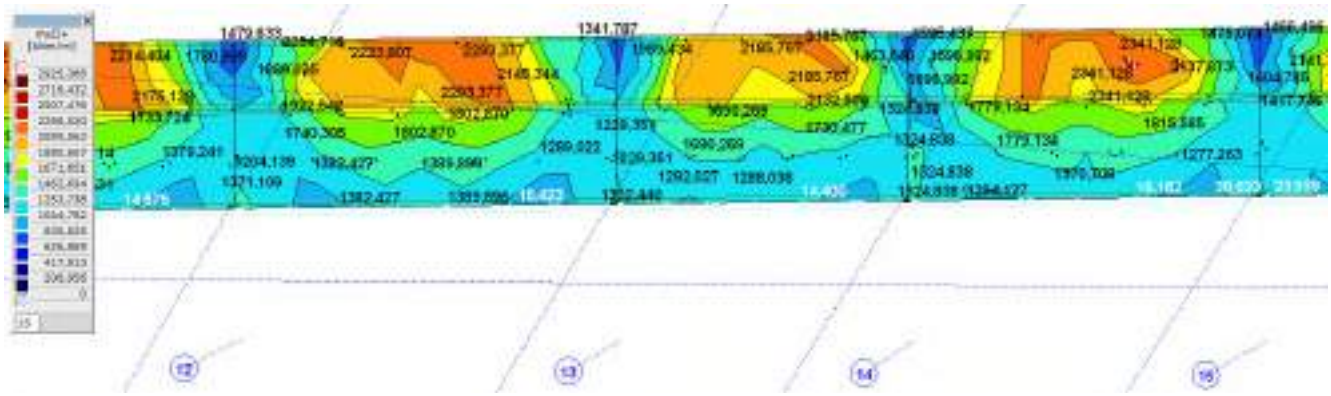
Travées entre butons 6 et 9



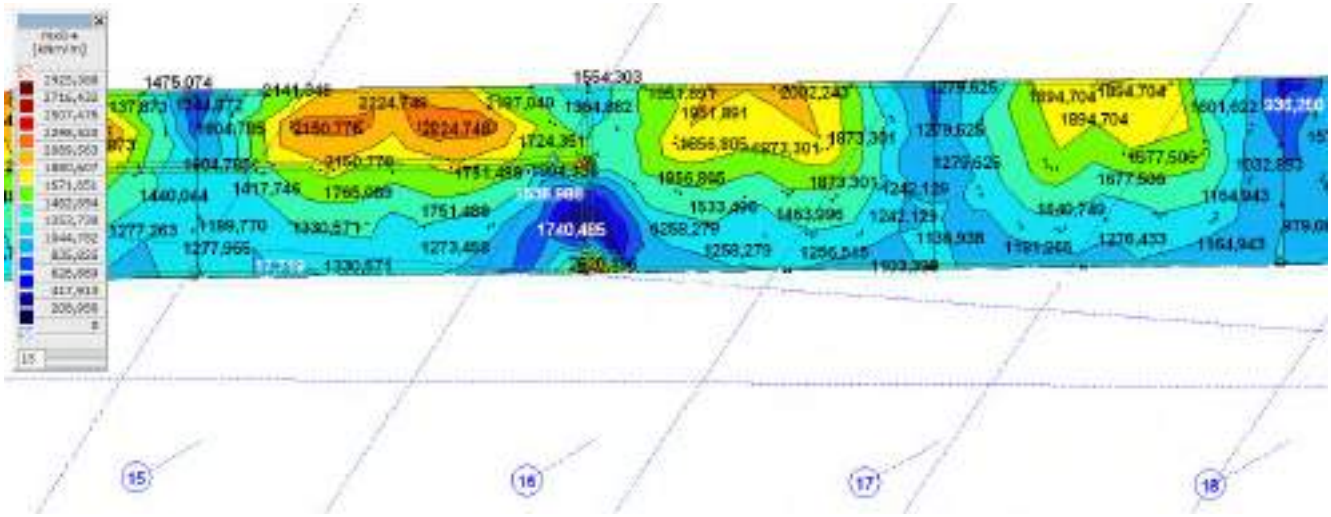
Travées entre butons 9 et 12



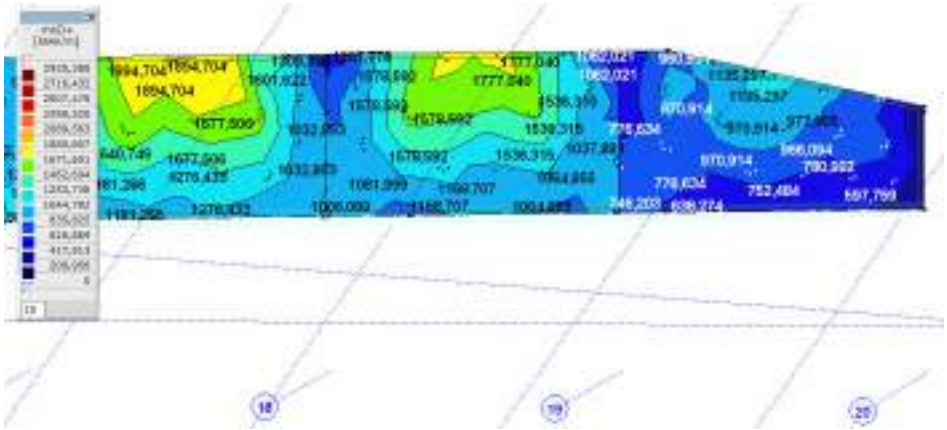
Travées entre butons 12 et 15



Travées entre butons 15 et 18

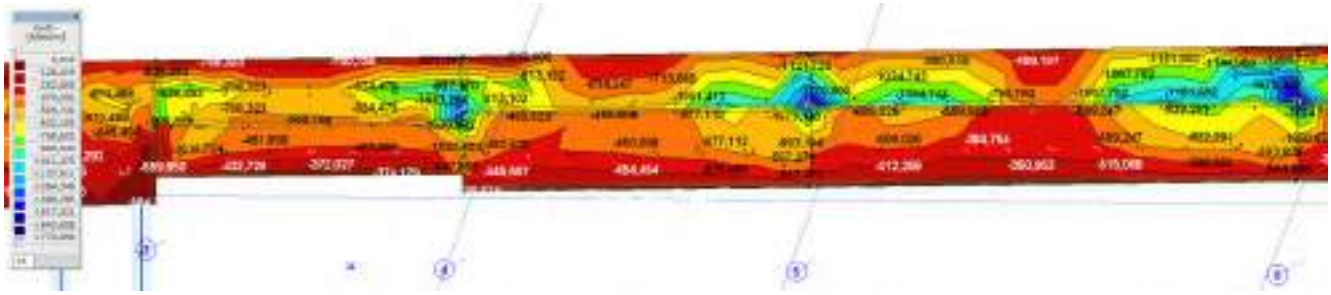


Travées entre butons 18 et 20

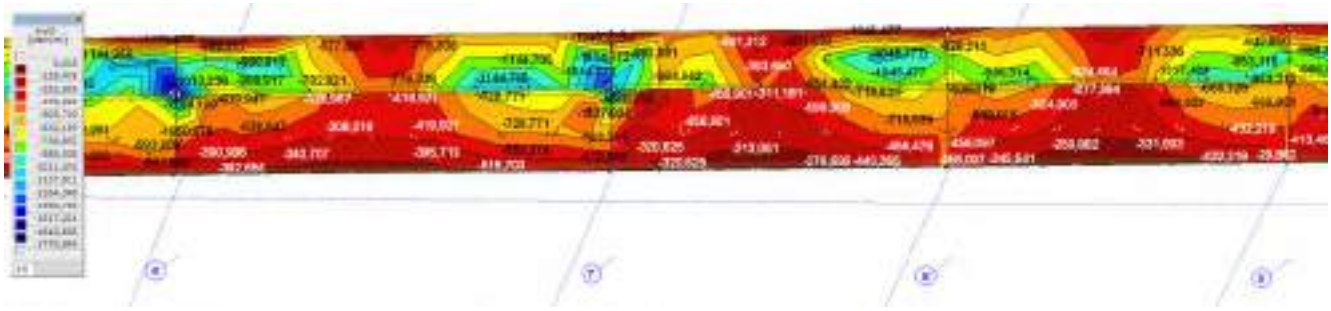


10.4.4. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V501

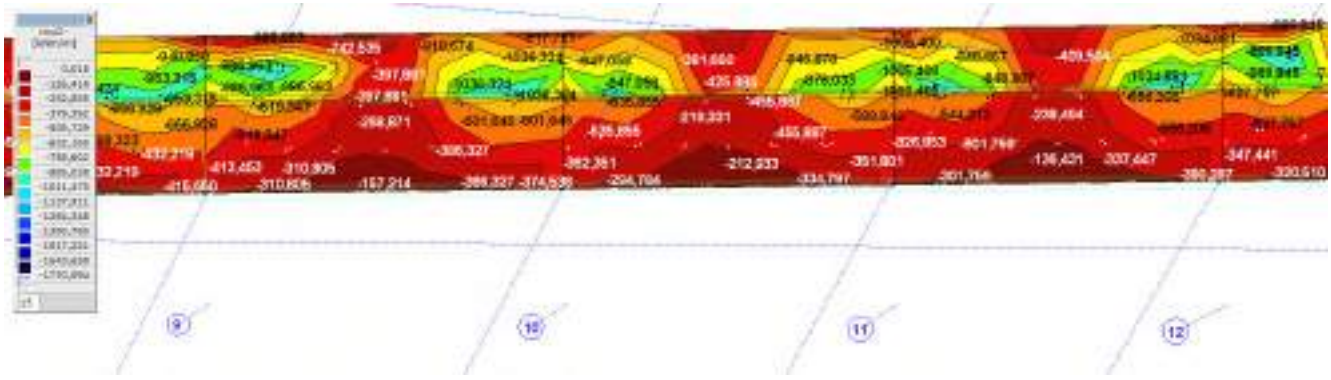
Travées entre butons 3 et 6



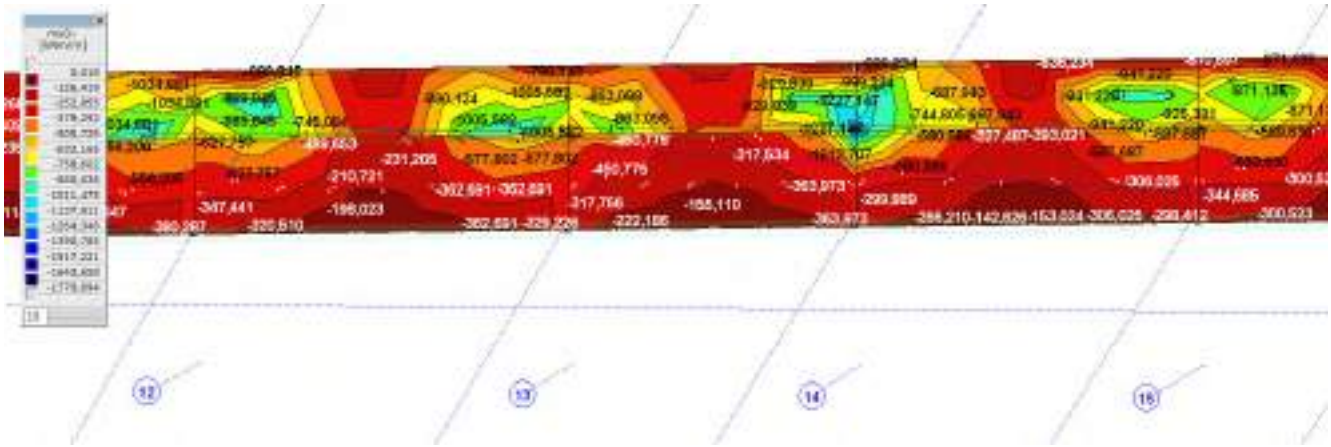
Travées entre butons 6 et 9



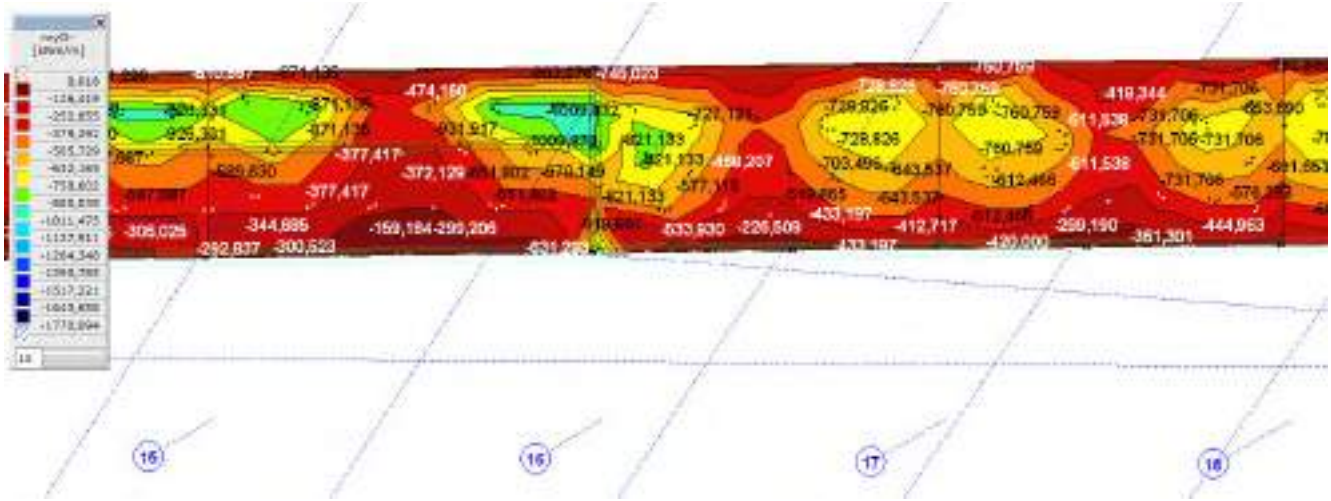
Travées entre butons 9 et 12



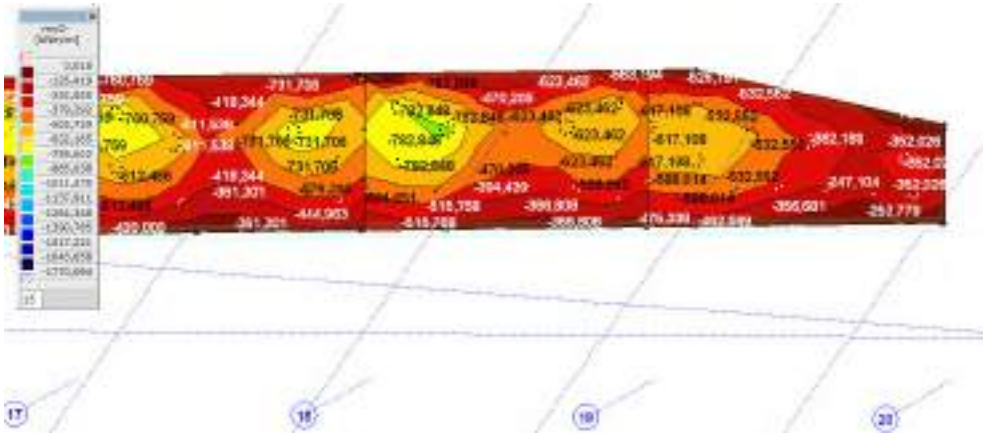
Travées entre butons 12 et 15



Travées entre butons 15 et 18

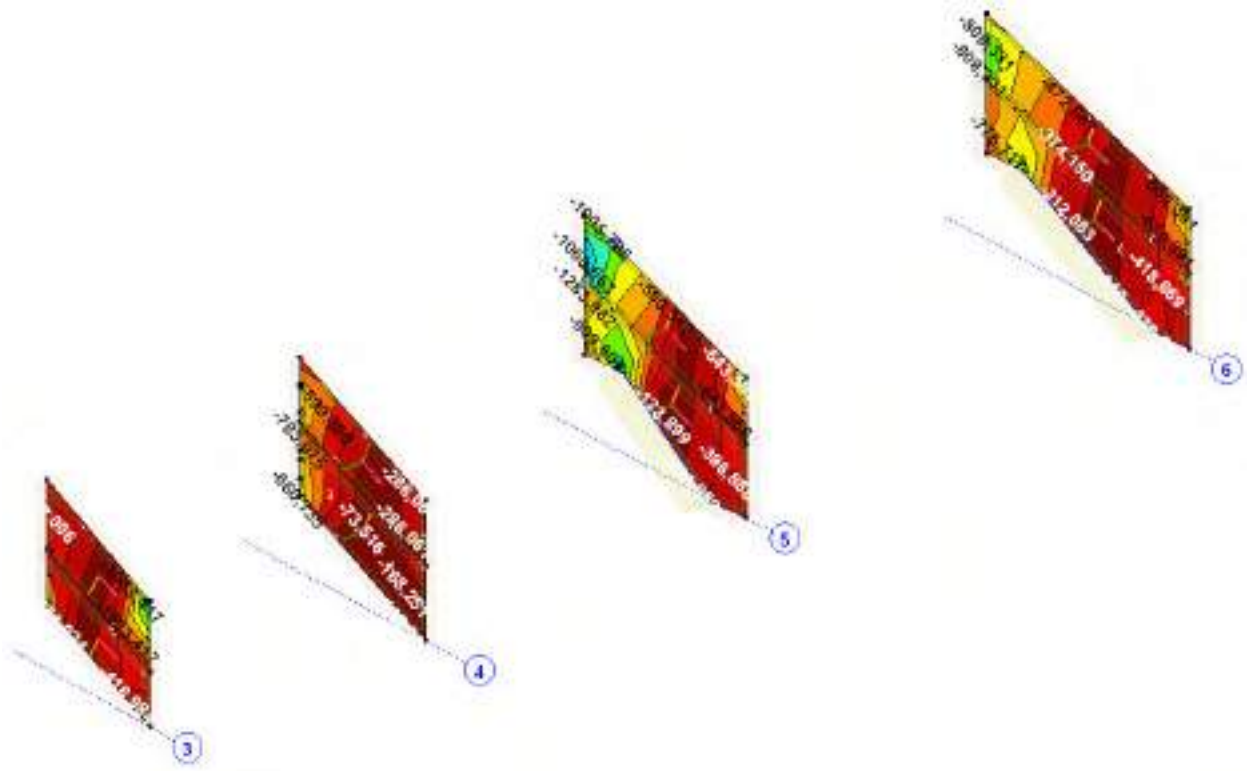


Travées entre butons 18 et 20

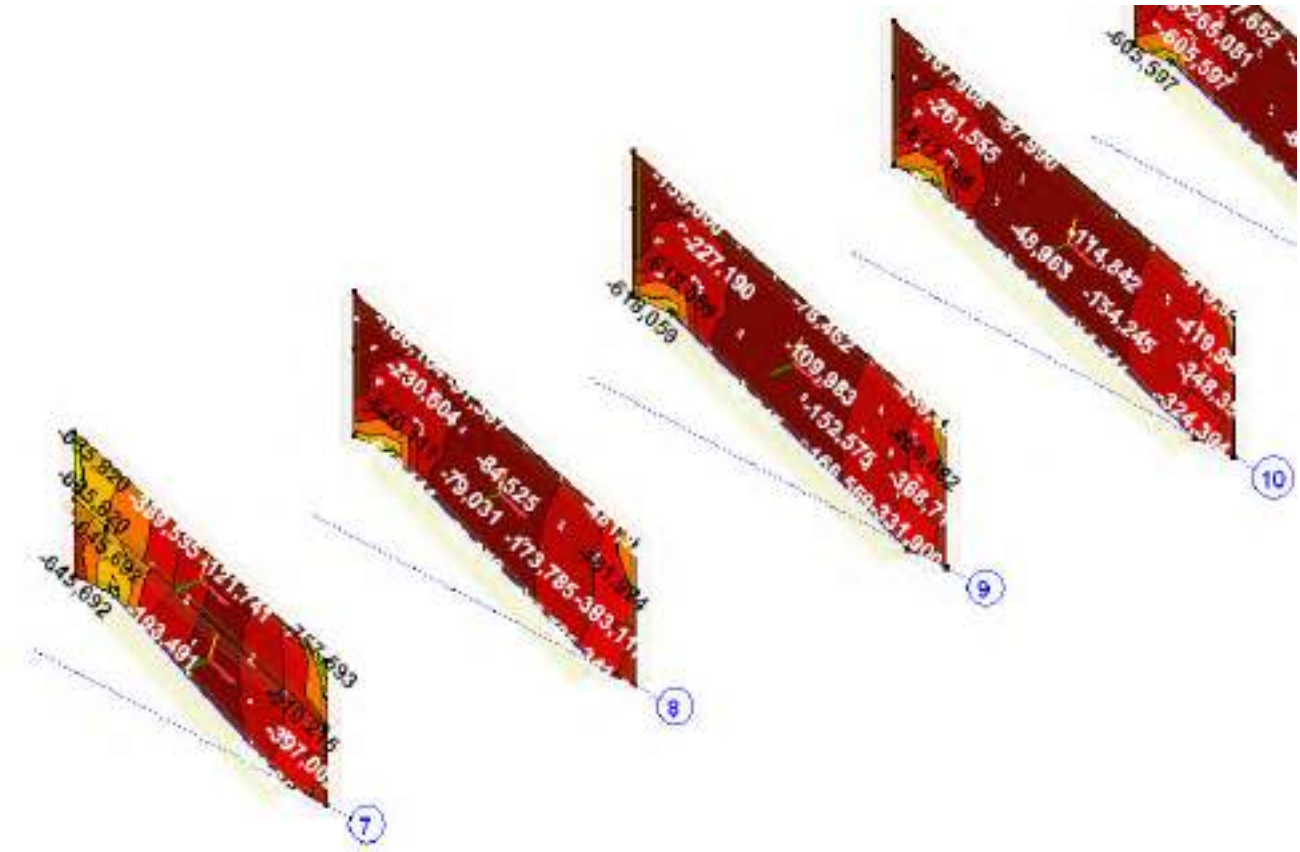


10.4.5. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V501

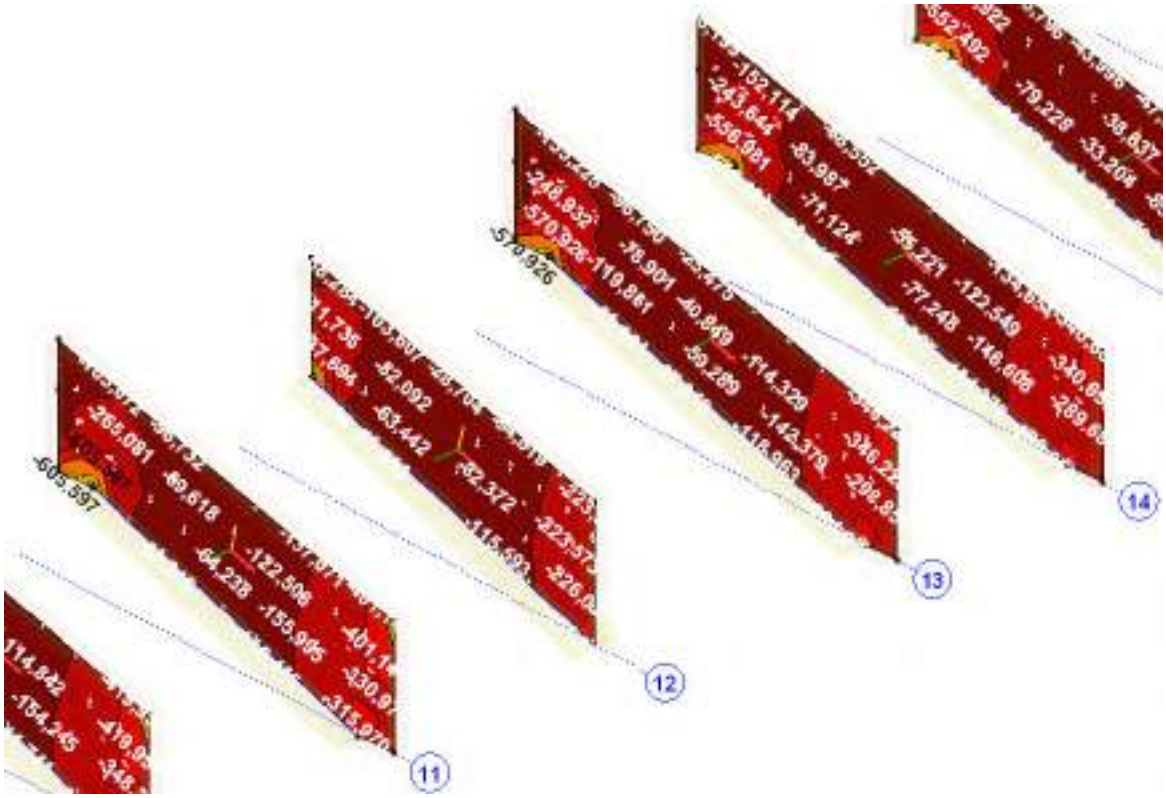
Butons 3 à 6



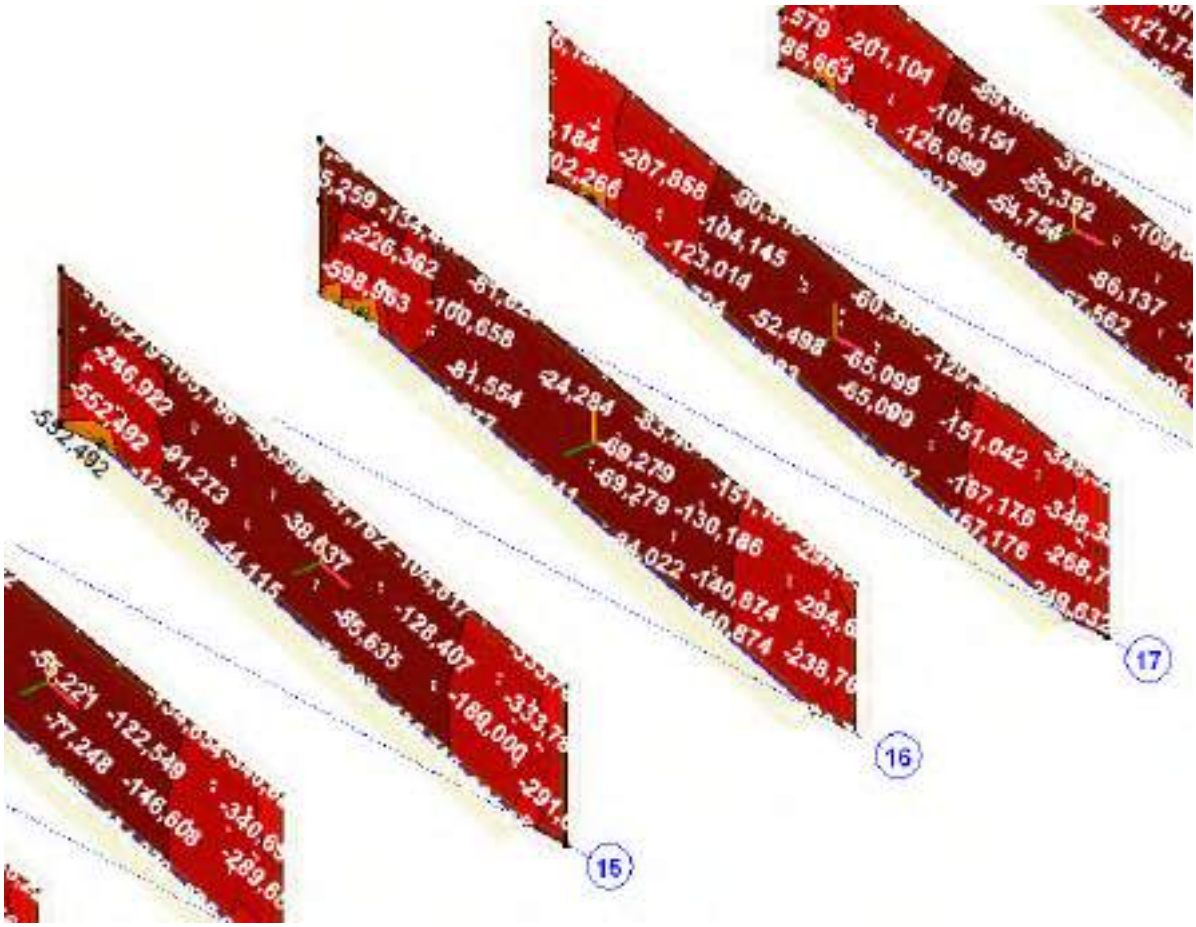
Butons 7 à 10



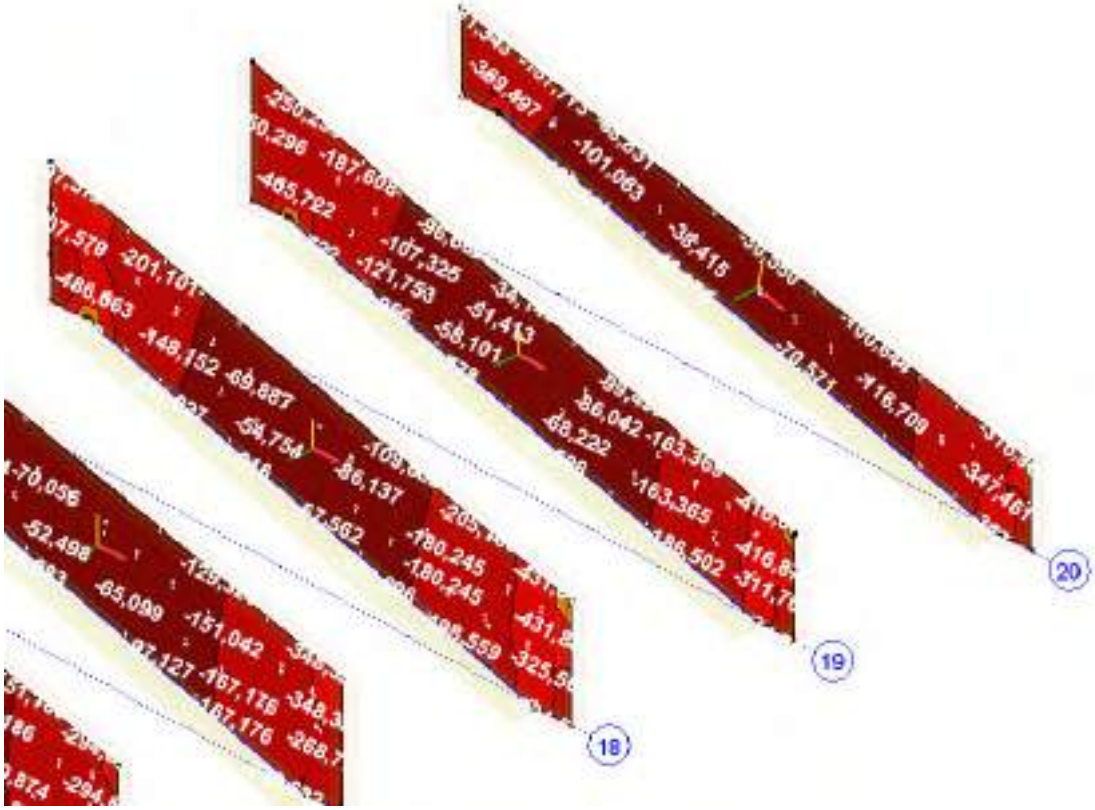
Butons 11 à 14



Butons 15 à 17

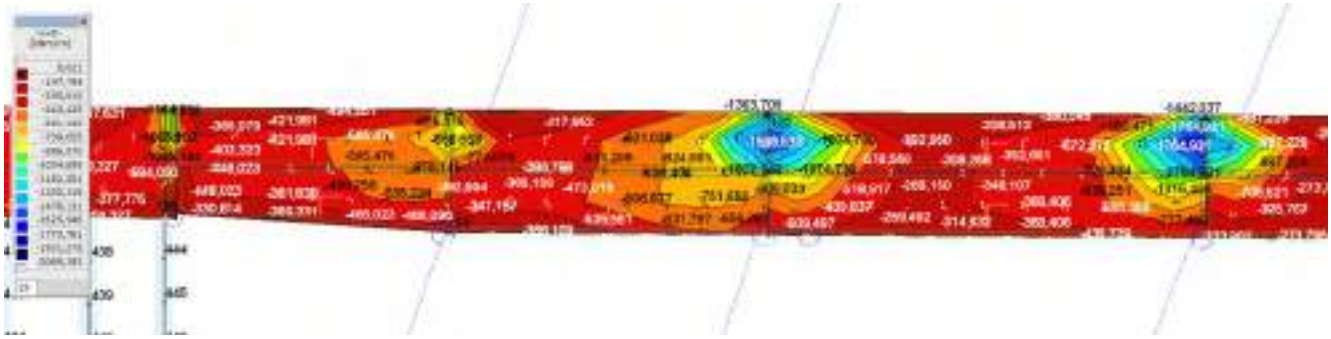


Butons 18 à 20

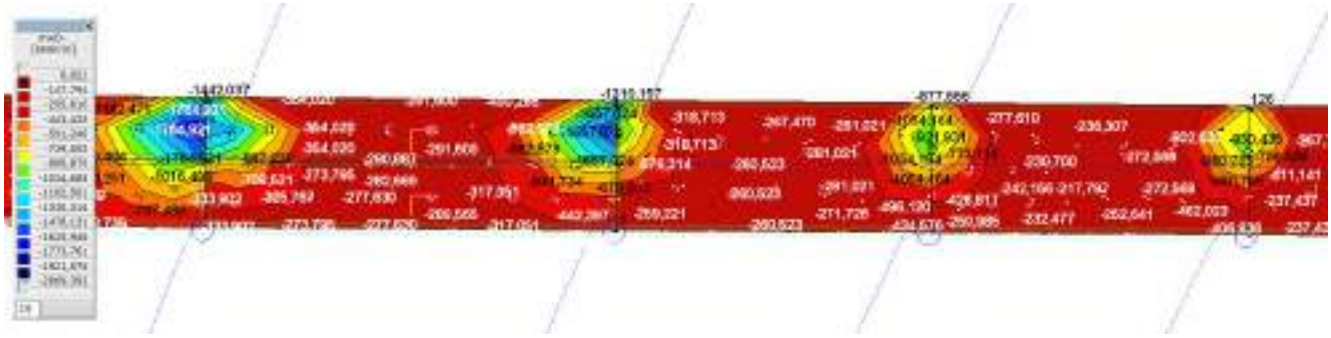


10.4.6. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V300

Travées entre butons 3 et 6



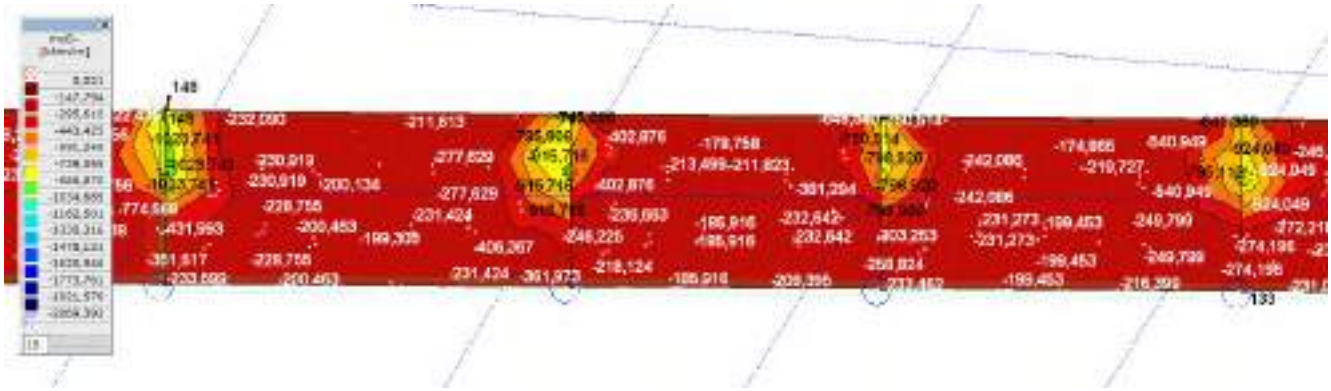
Travées entre butons 6 et 9



Travées entre butons 9 et 12



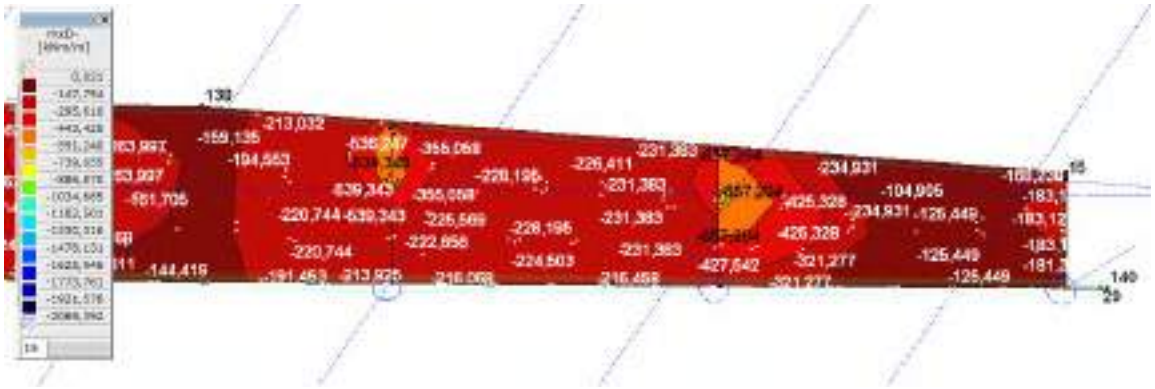
Travées entre butons 12 et 15



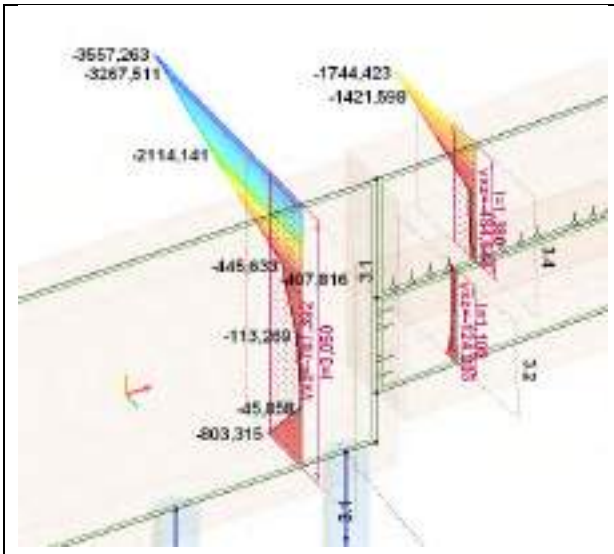
Travées entre butons 15 et 18



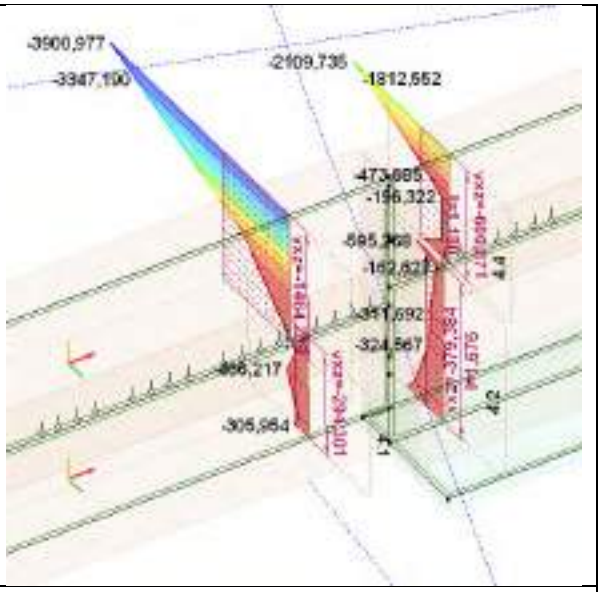
Travées entre butons 18 et 20



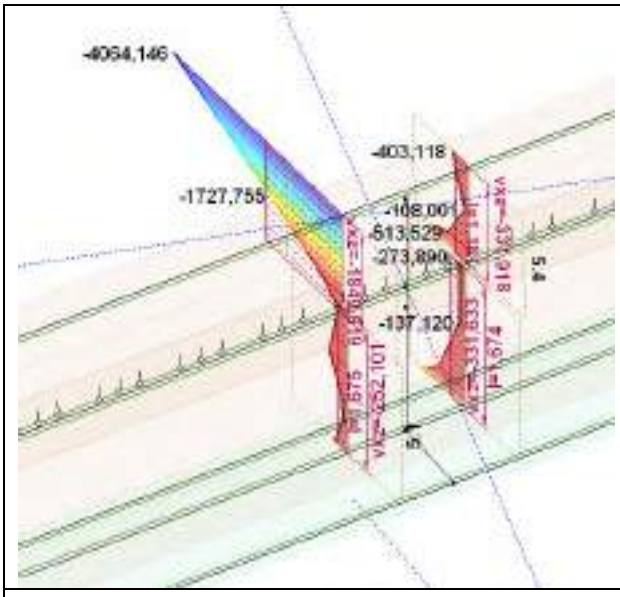
10.4.7. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V300



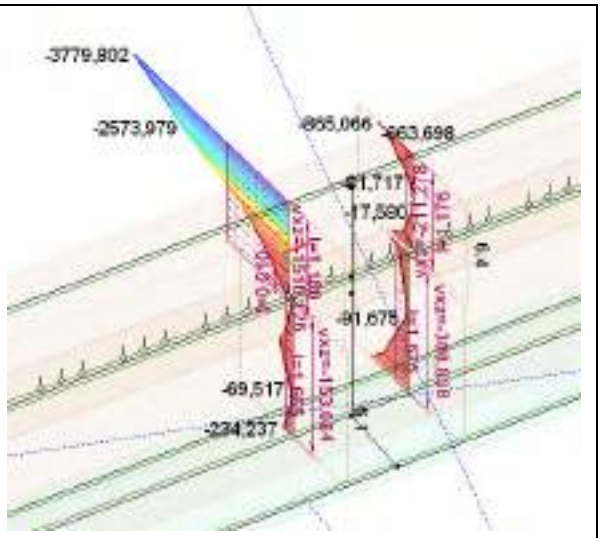
v_{xz} (kN/m) – Buton 3



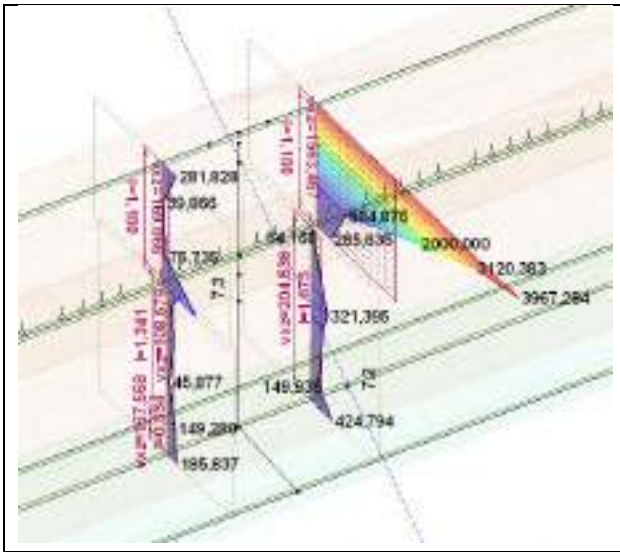
v_{xz} (kN/m) – Buton 4



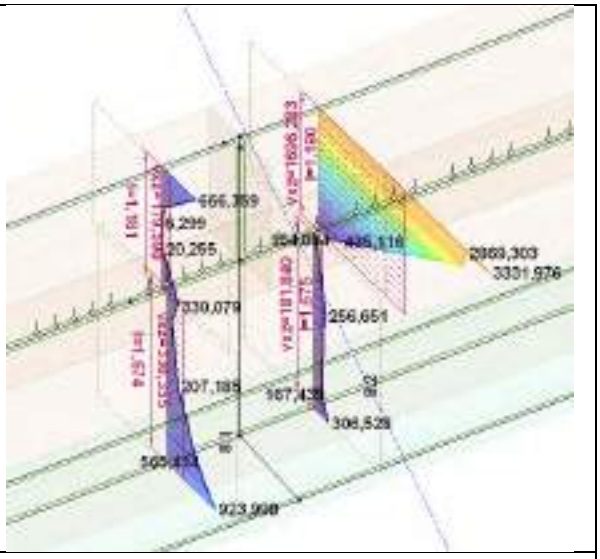
v_{xz} (kN/m) – Buton 5



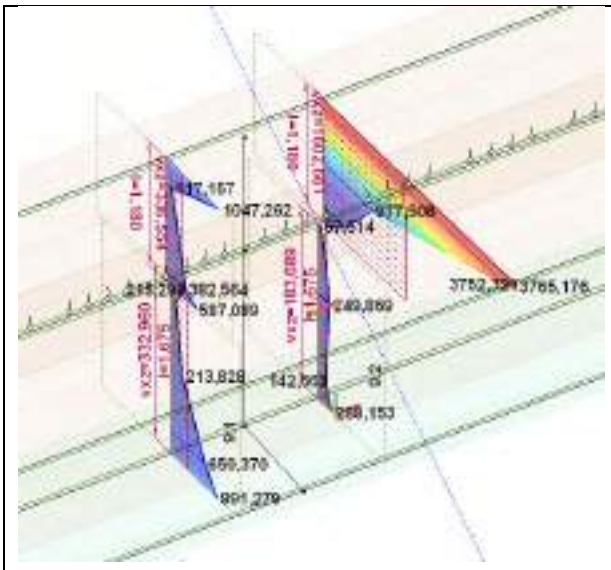
v_{xz} (kN/m) – Buton 6



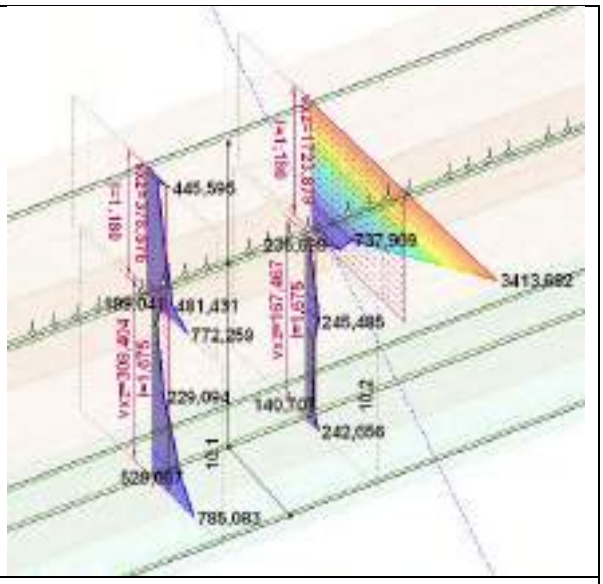
v_{xz} (kN/m) – Buton 7



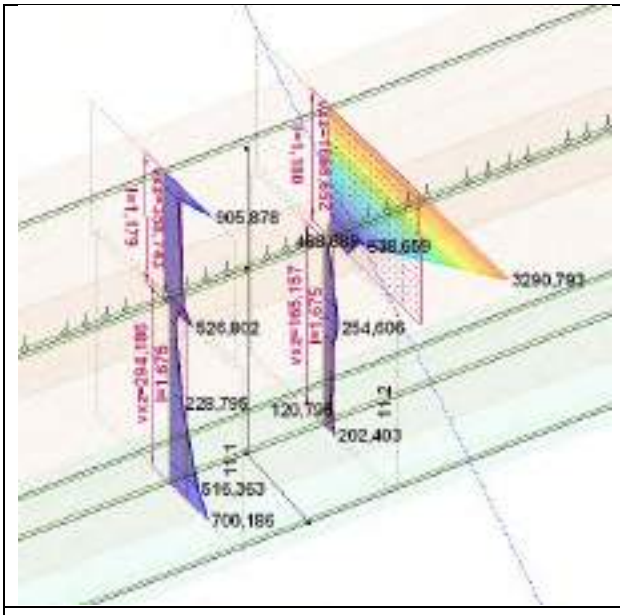
v_{xz} (kN/m) – Buton 8



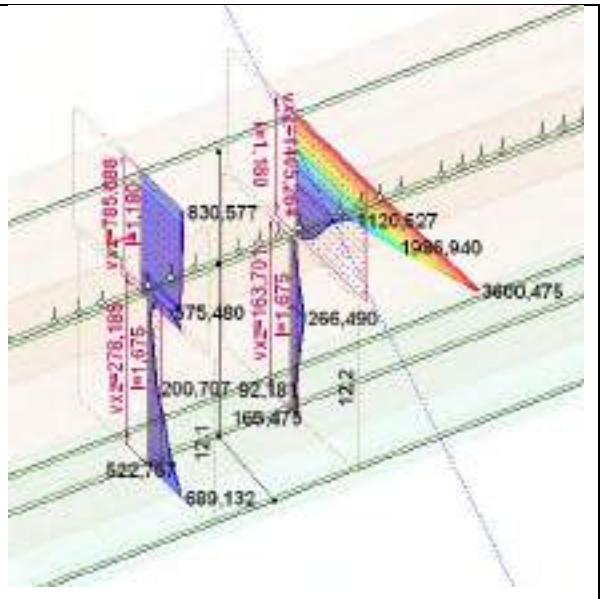
v_{xz} (kN/m) – Buton 9



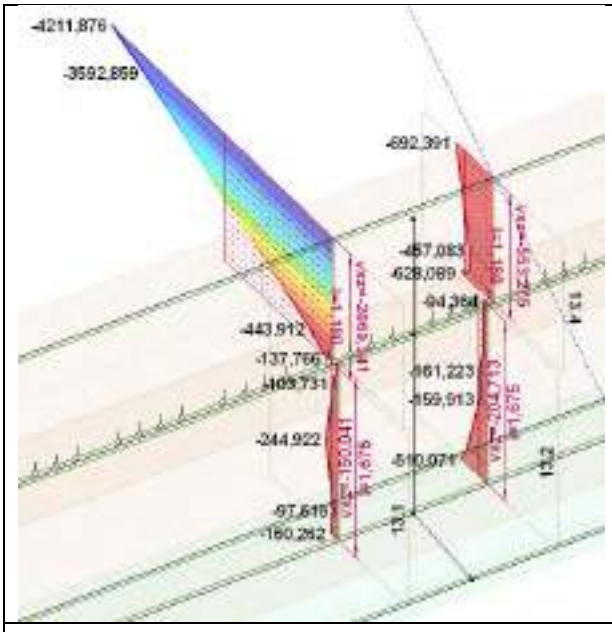
v_{xz} (kN/m) – Buton 10



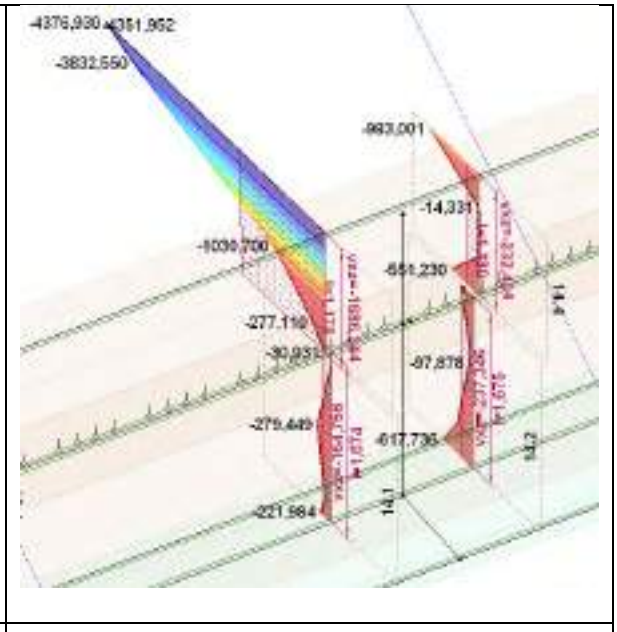
v_{xz} (kN/m) – Buton 11



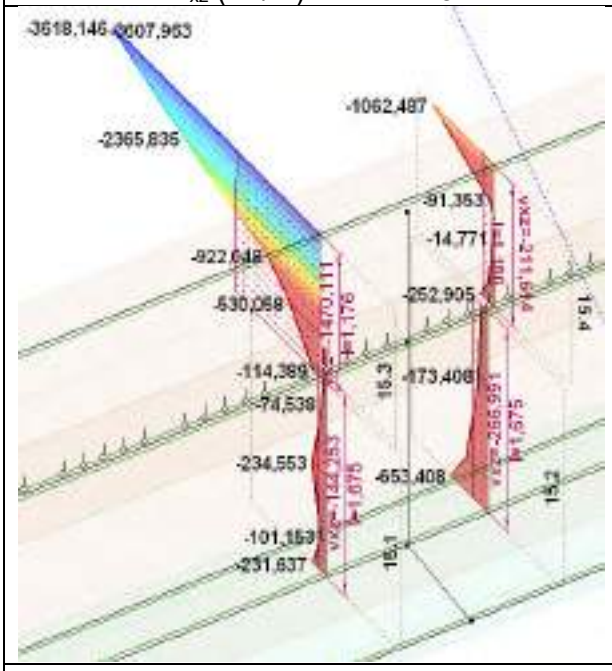
v_{xz} (kN/m) – Buton 12



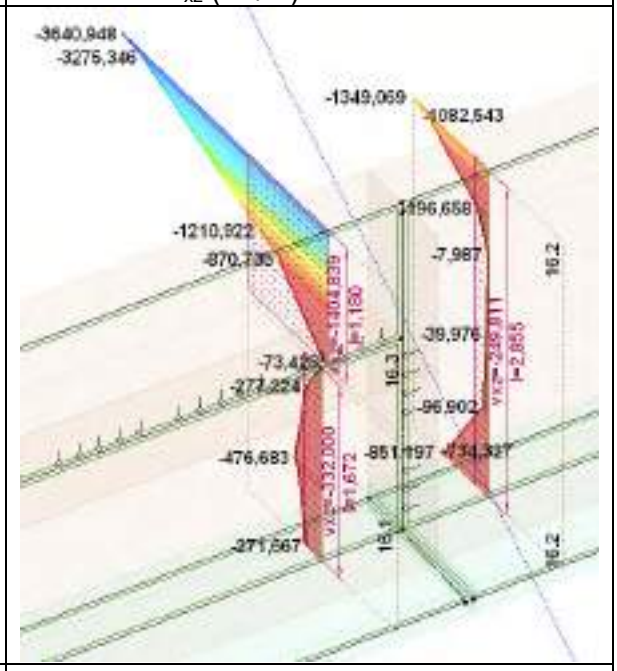
v_{xz} (kN/m) – Buton 13



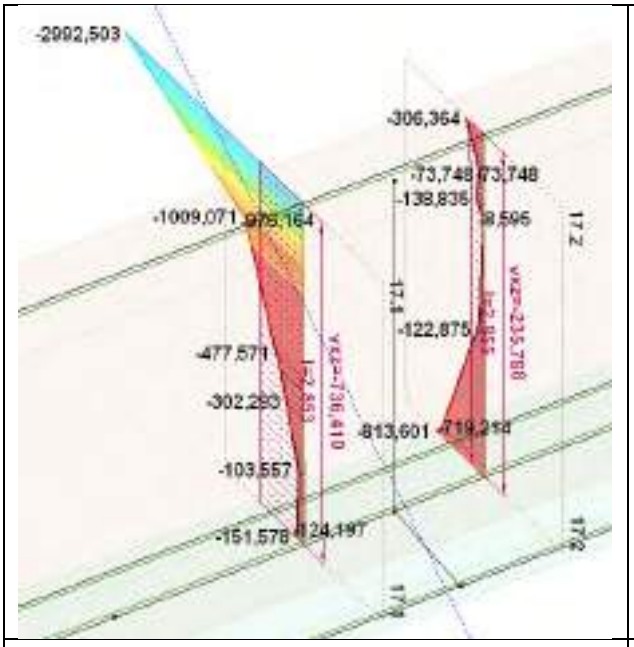
v_{xz} (kN/m) – Buton 14



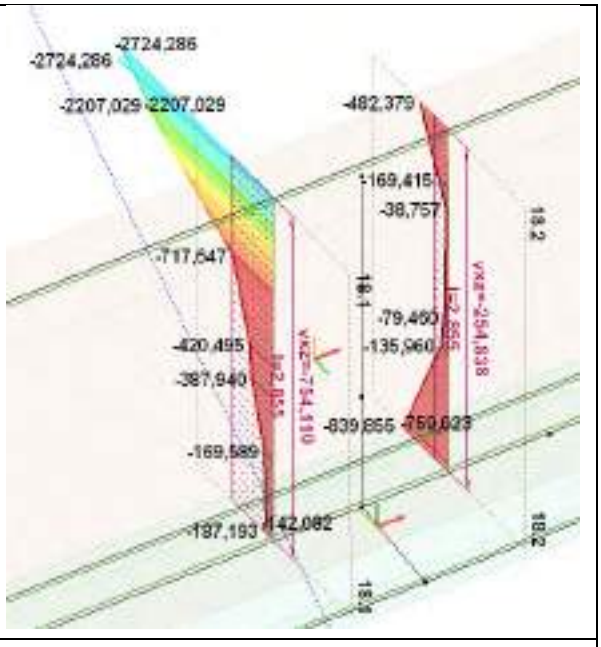
v_{xz} (kN/m) – Buton 15



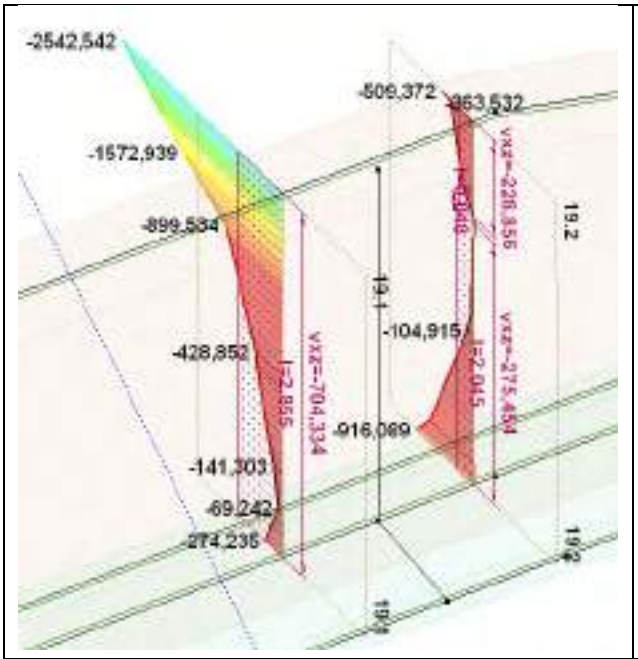
v_{xz} (kN/m) – Buton 16



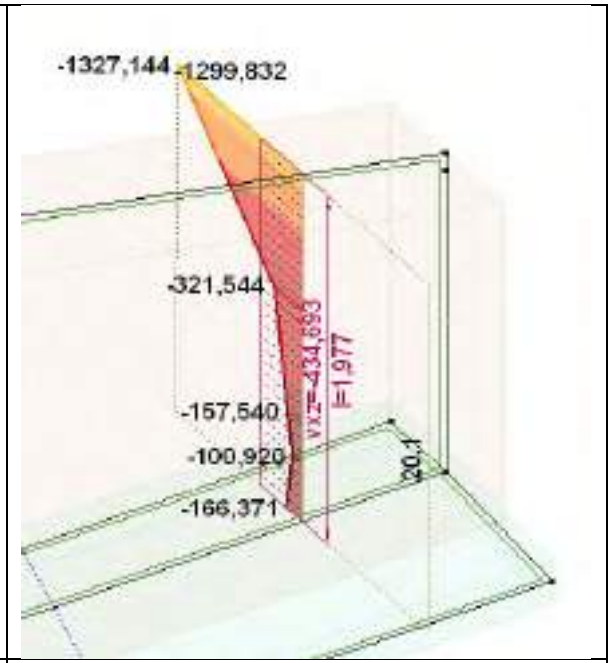
v_{xz} (kN/m) – Buton 17



v_{xz} (kN/m) – Buton 18



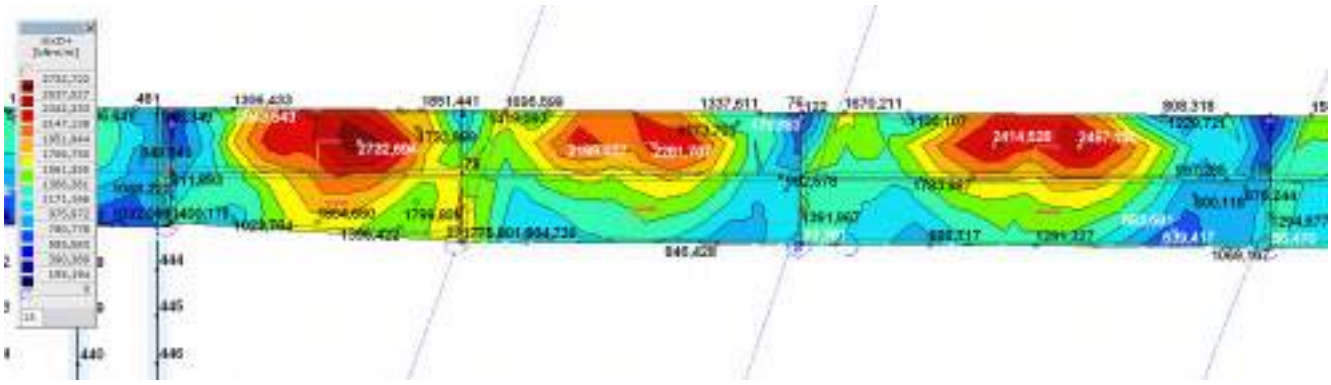
v_{xz} (kN/m) – Buton 19



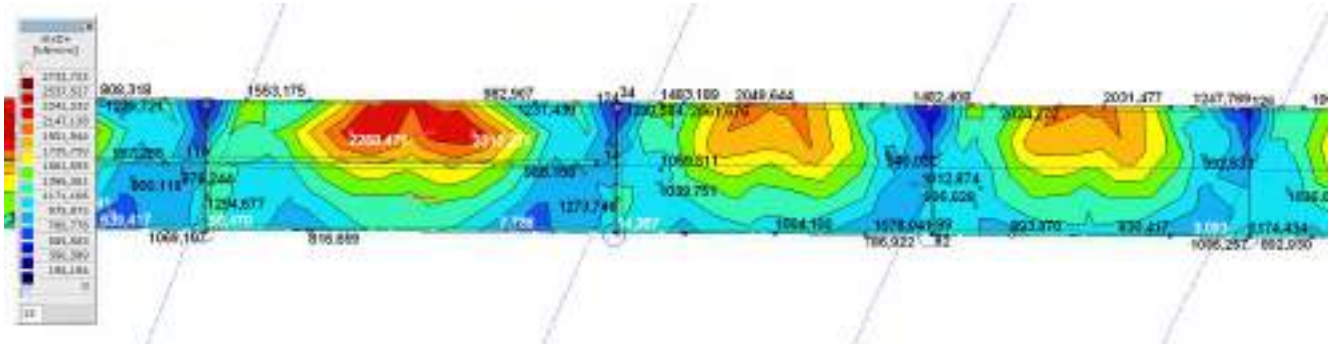
v_{xz} (kN/m) – Buton 20

10.4.8. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V300

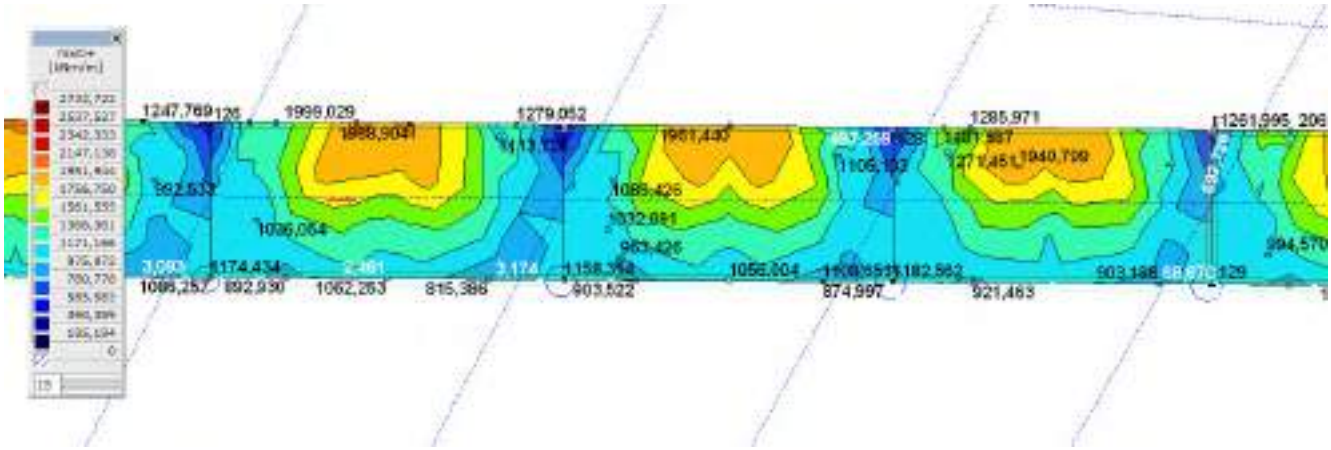
Travées entre butons 3 et 6



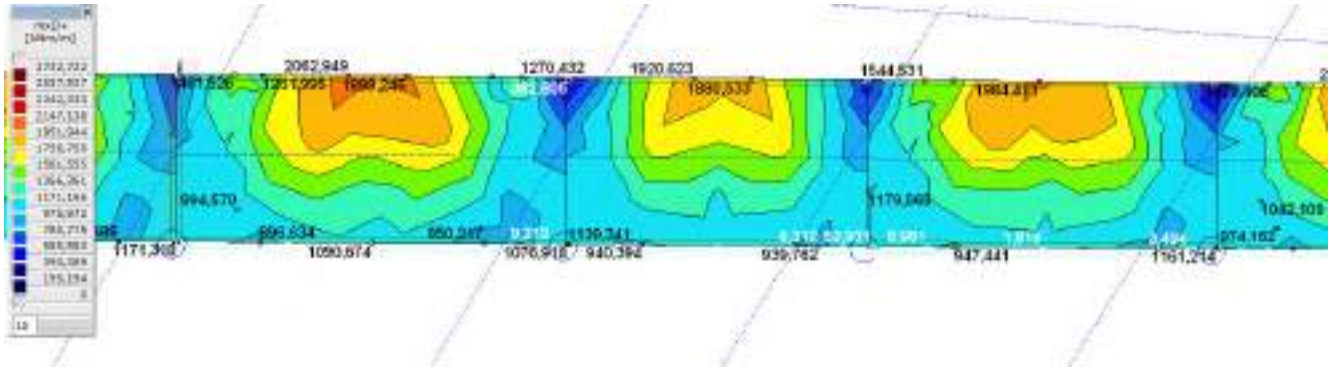
Travées entre butons 6 et 9



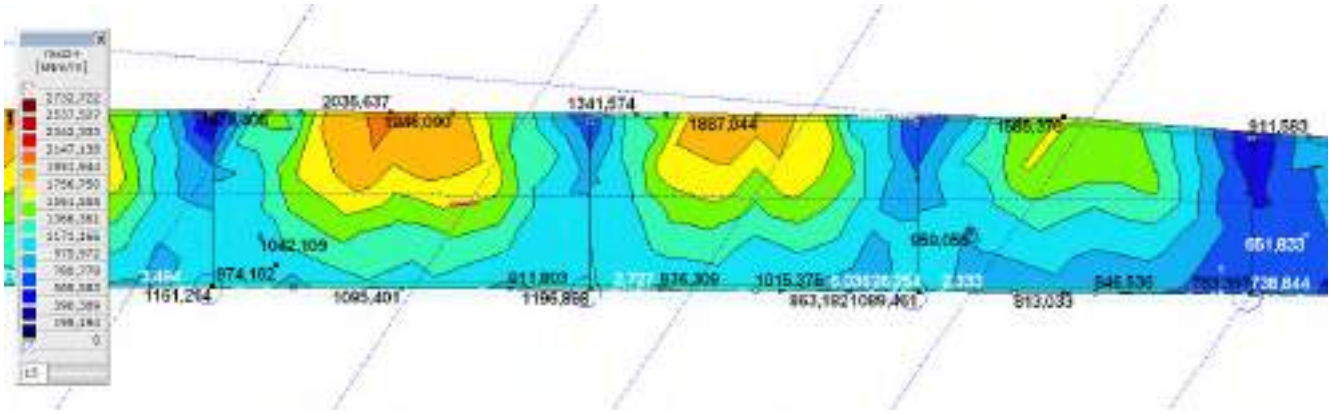
Travées entre butons 9 et 12



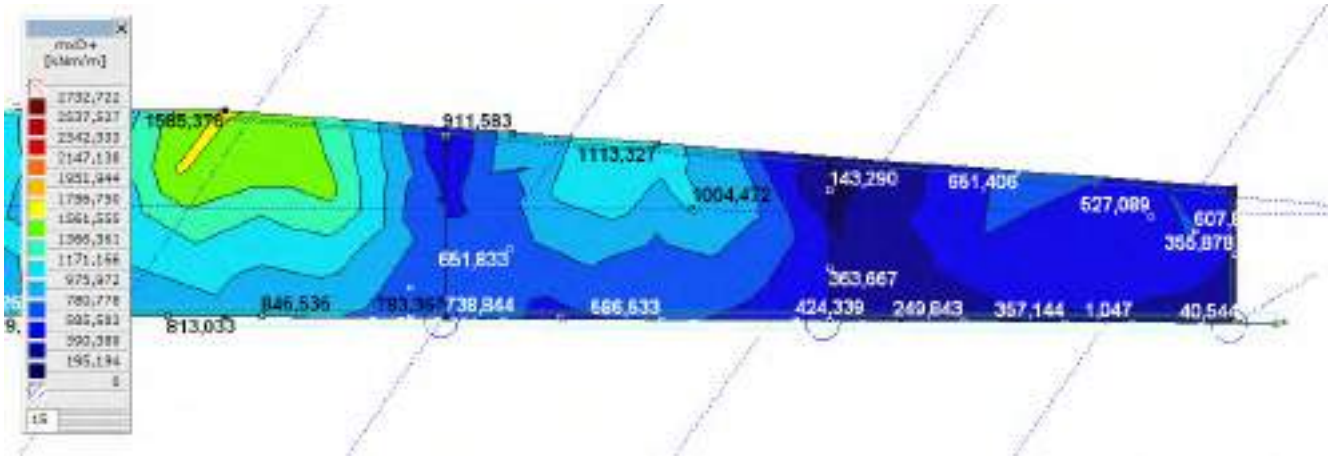
Travées entre butons 12 et 15



Travées entre butons 15 et 18

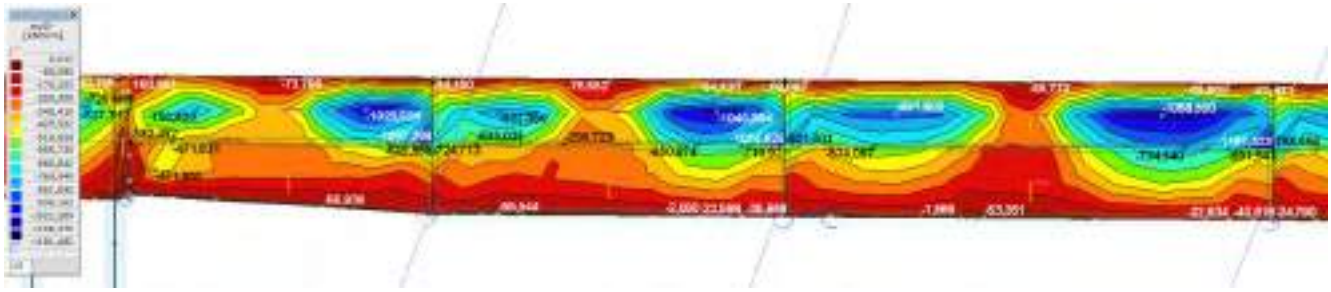


Travées entre butons 18 et 20

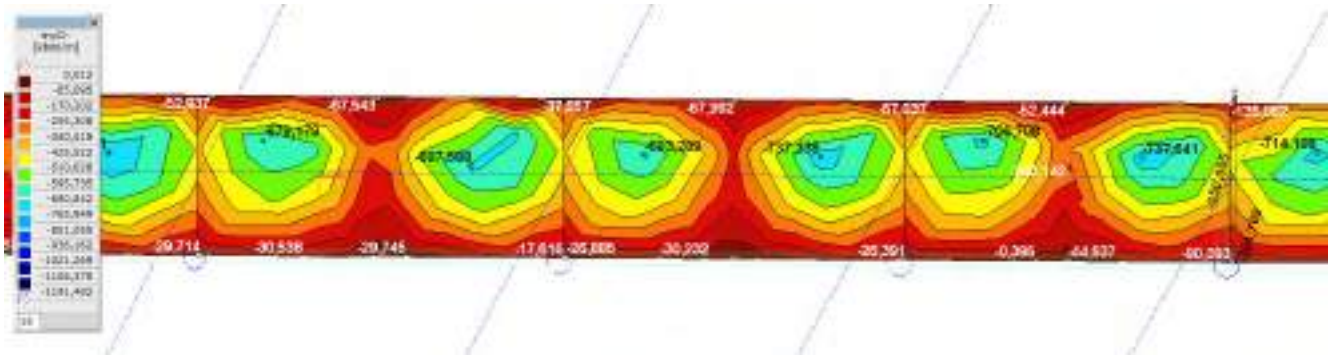


10.4.9. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V300

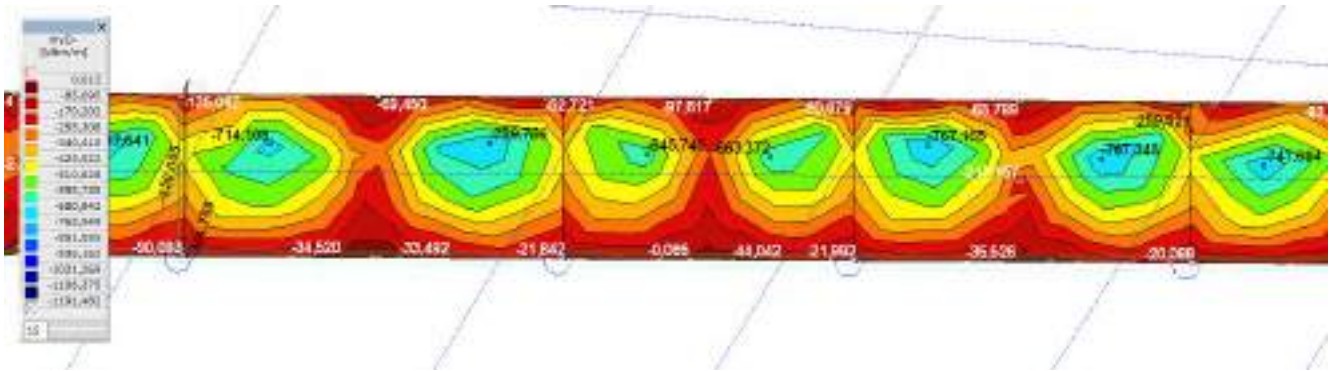
Travées entre butons 3 et 6



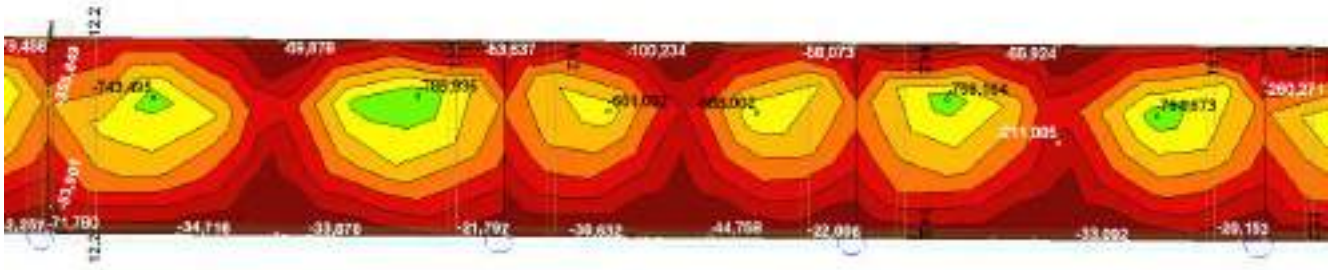
Travées entre butons 6 et 9



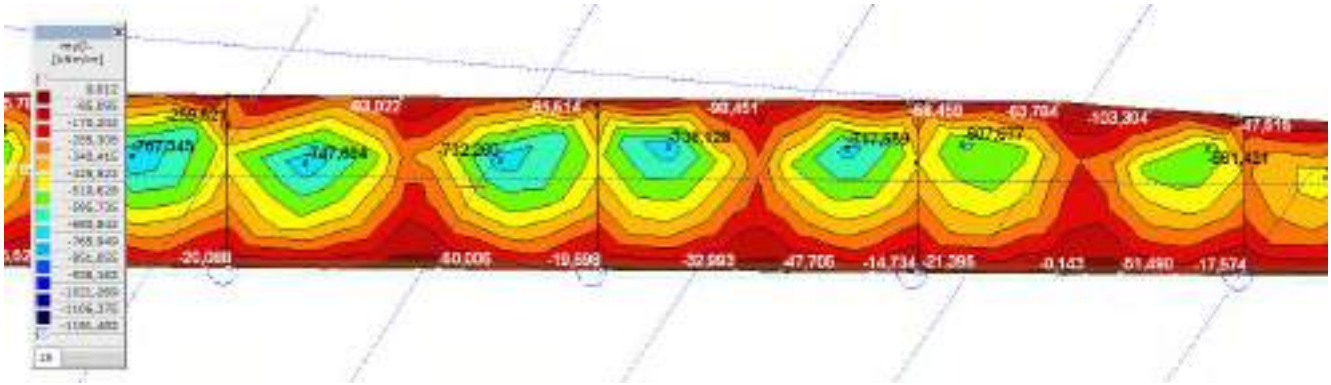
Travées entre butons 9 et 12



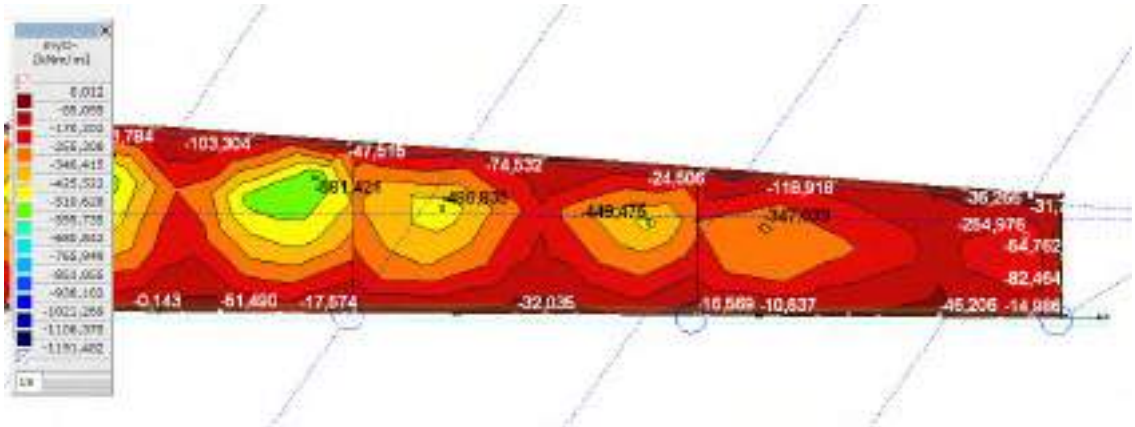
Travées entre butons 12 et 15



Travées entre butons 15 et 18

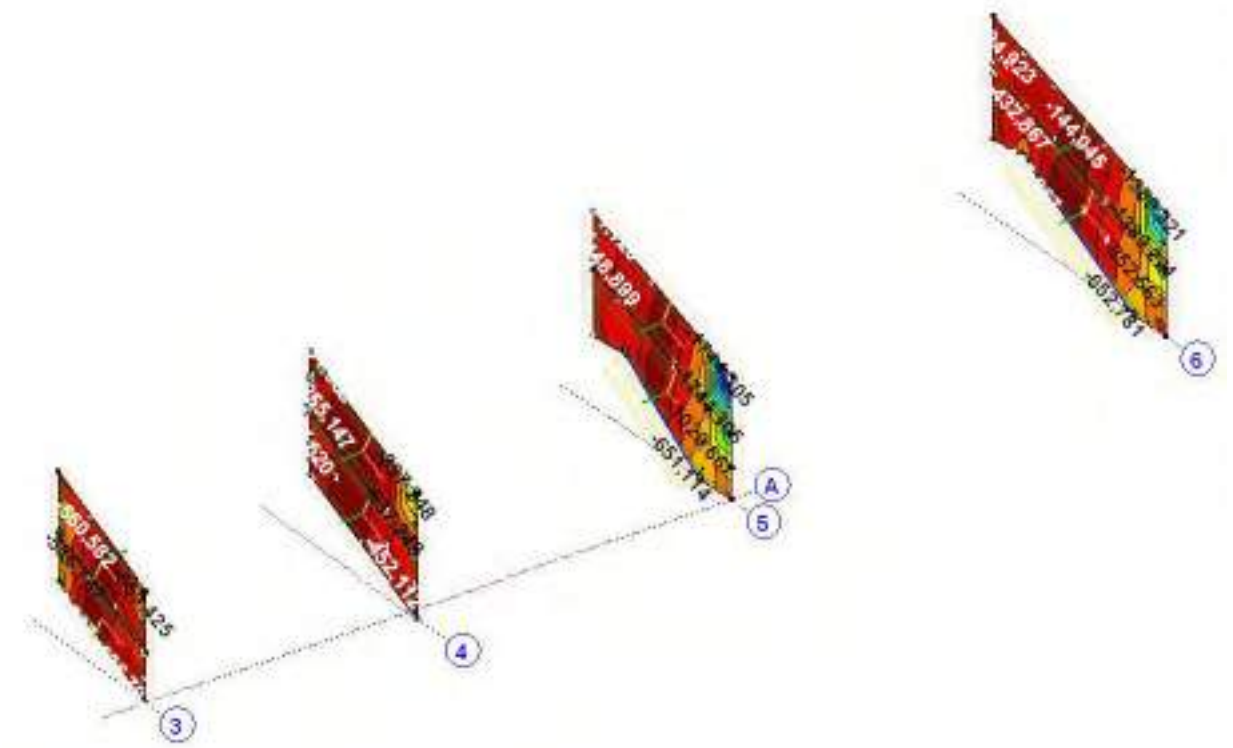


Travées entre butons 18 et 20

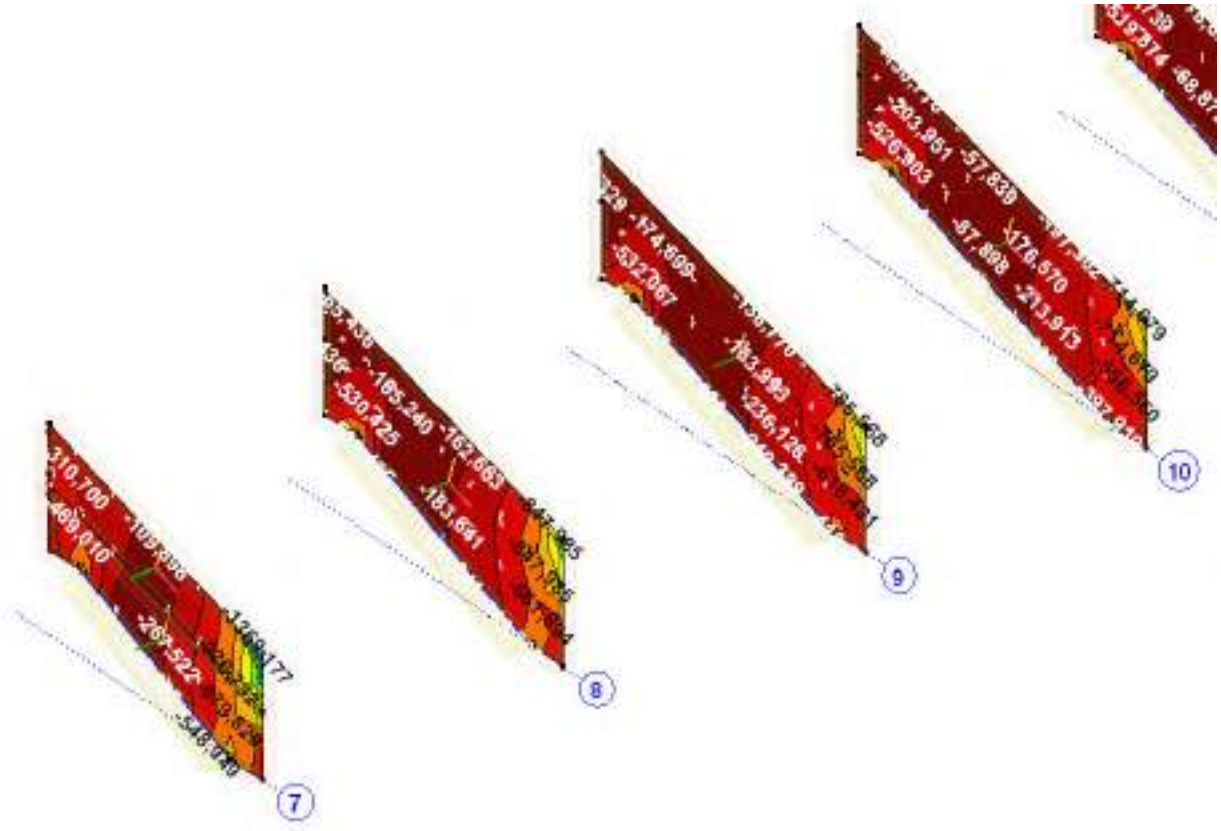


10.4.10. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V300

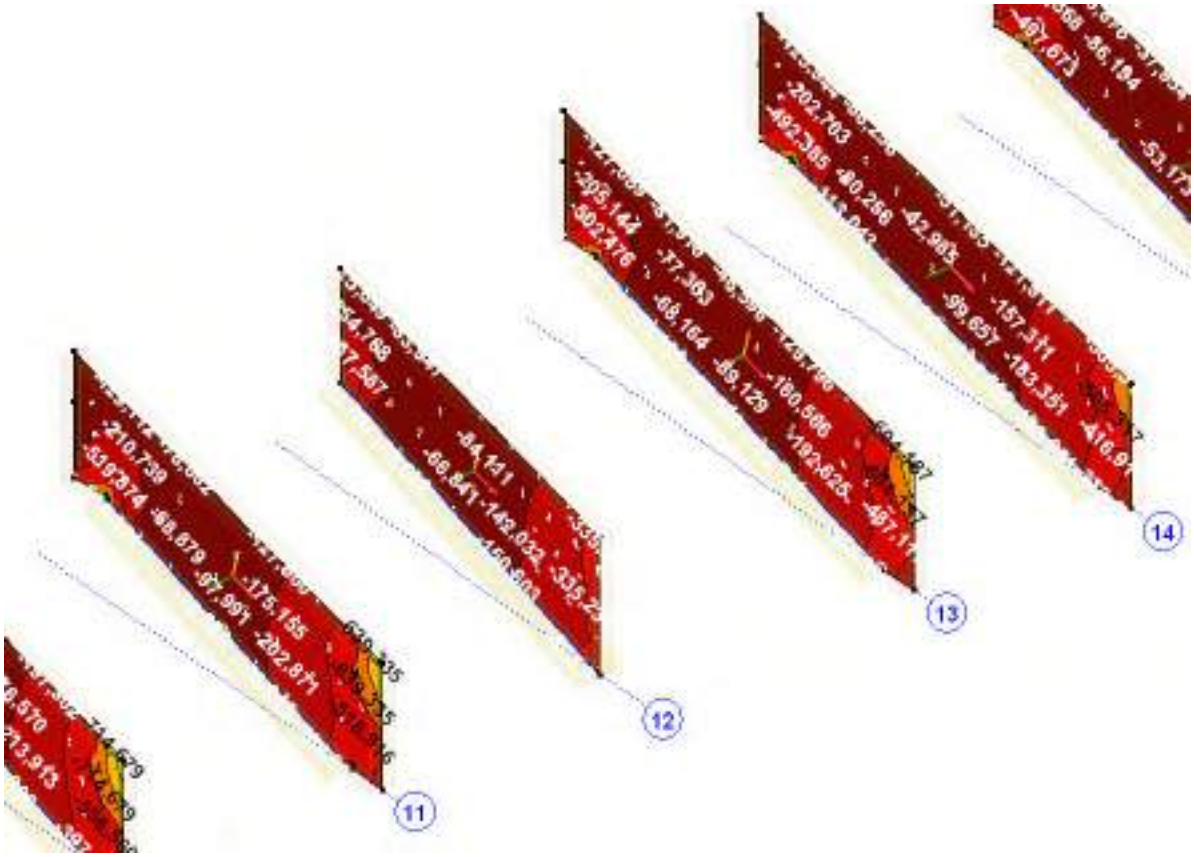
Butons 3 à 6



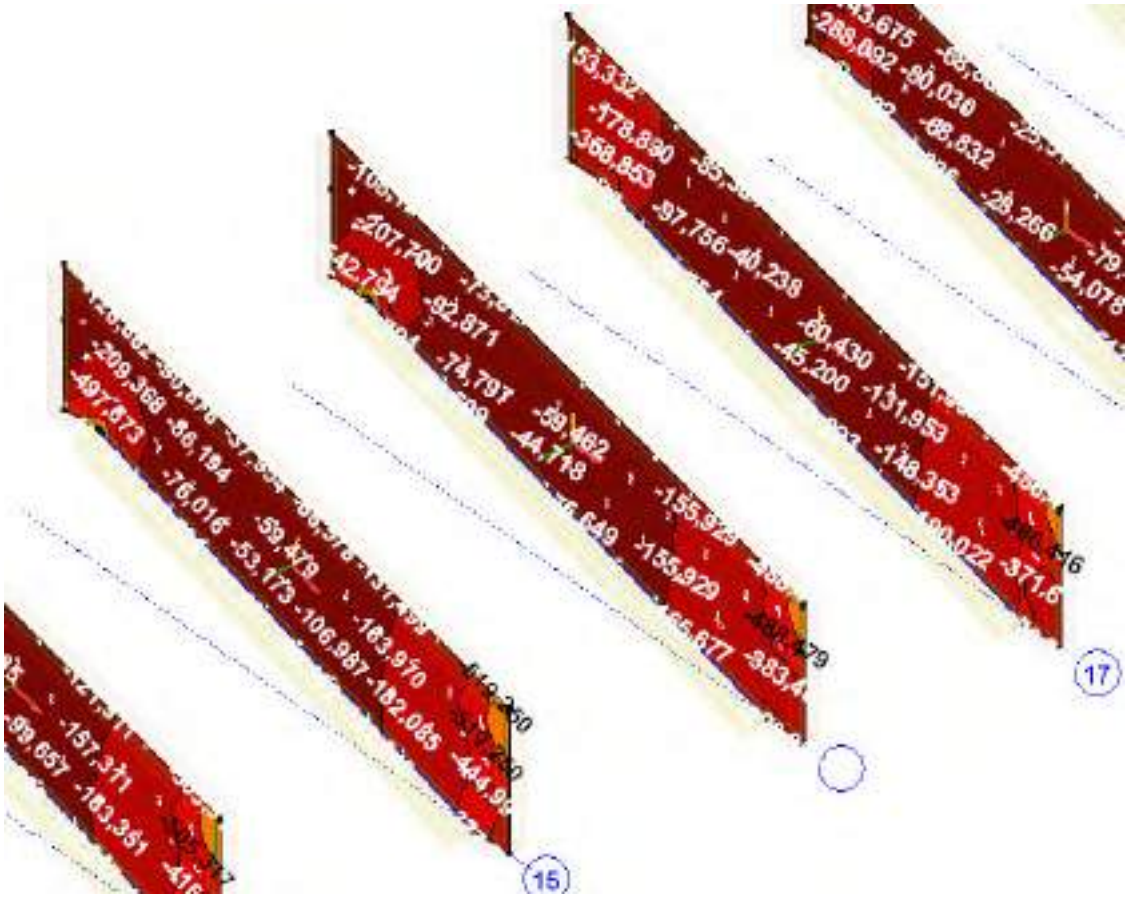
Butons 7 à 10



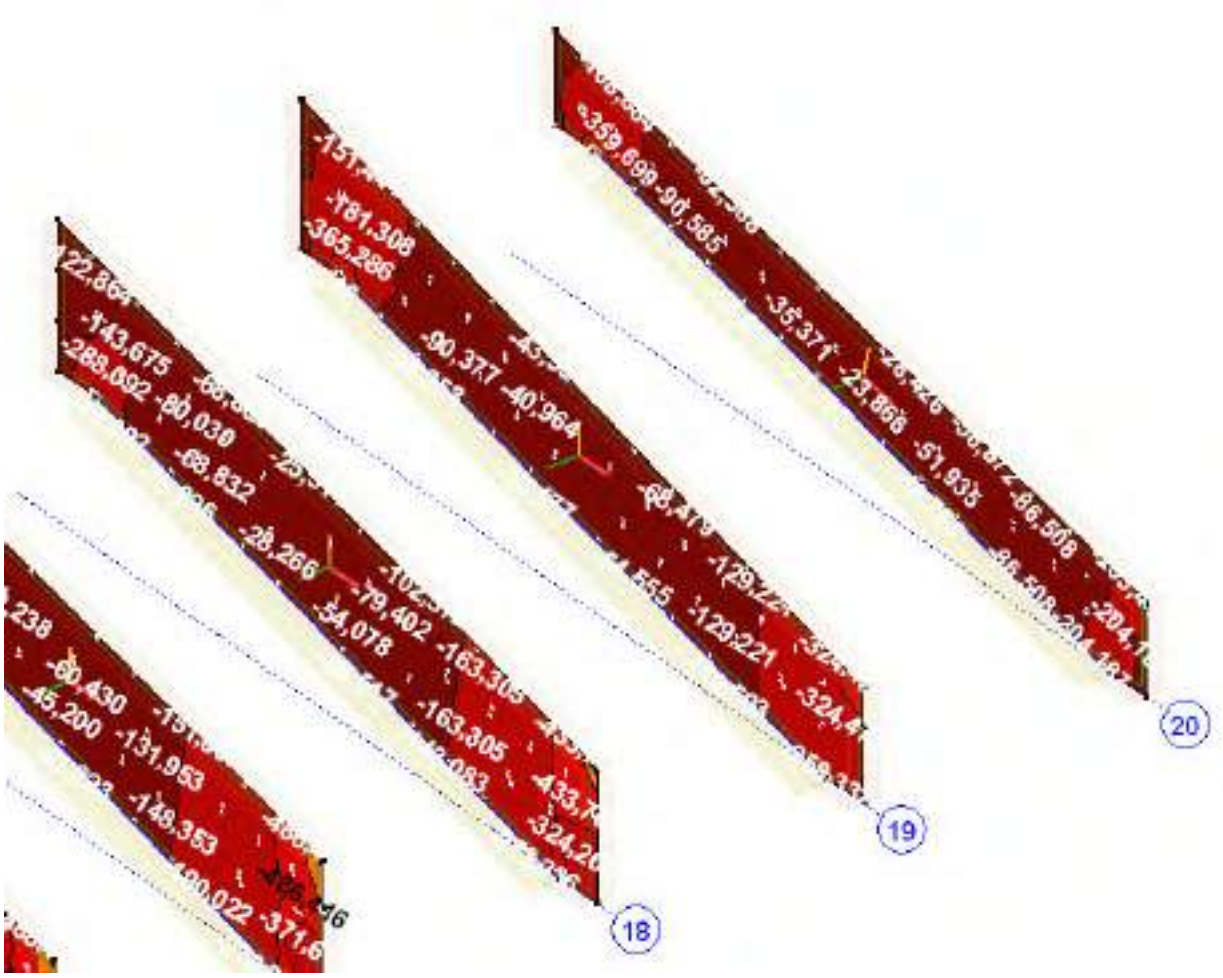
Butons 11 à 14



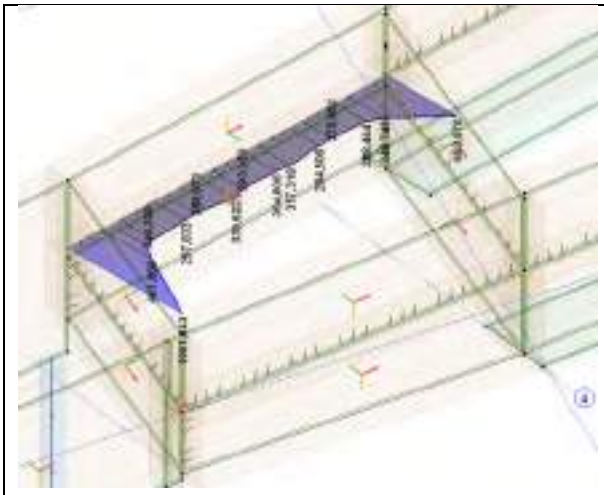
Butons 15 à 17



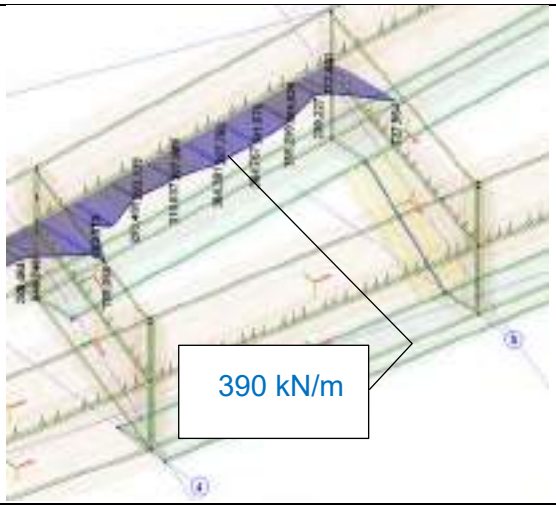
Butons 18 à 20



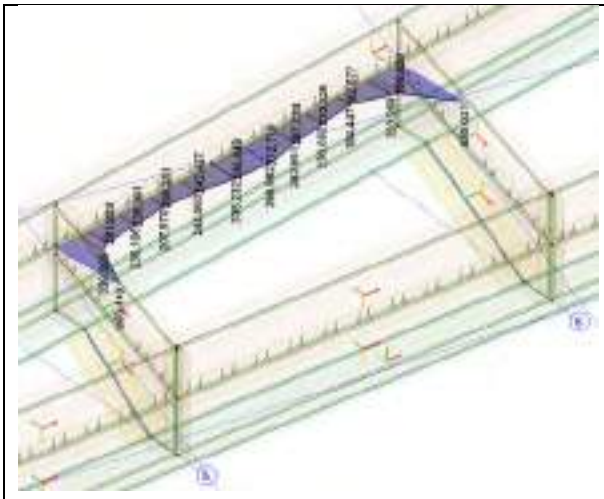
10.4.11. Enveloppe des combinaisons accidentelles – vRz mur V501



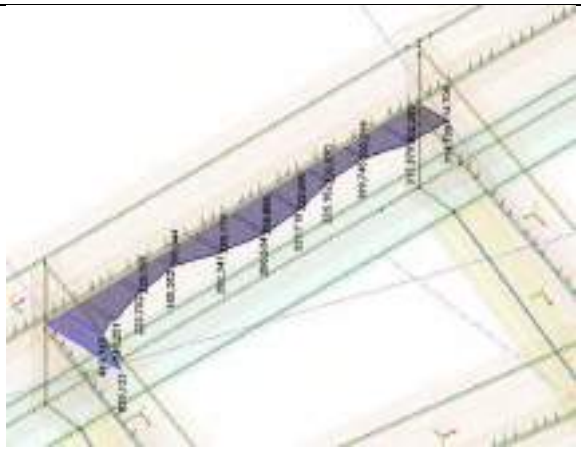
v_{Rz} (kN/m) entre butons 3 et 4



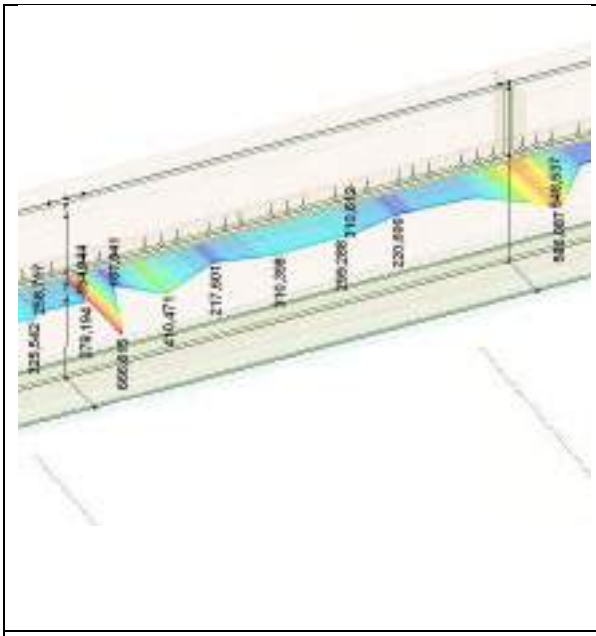
v_{Rz} (kN/m) entre butons 4 et 5



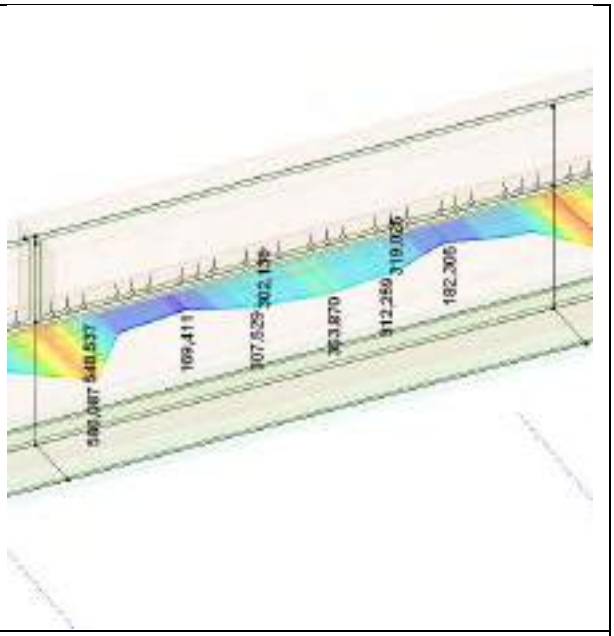
v_{Rz} (kN/m) entre butons 5 et 6



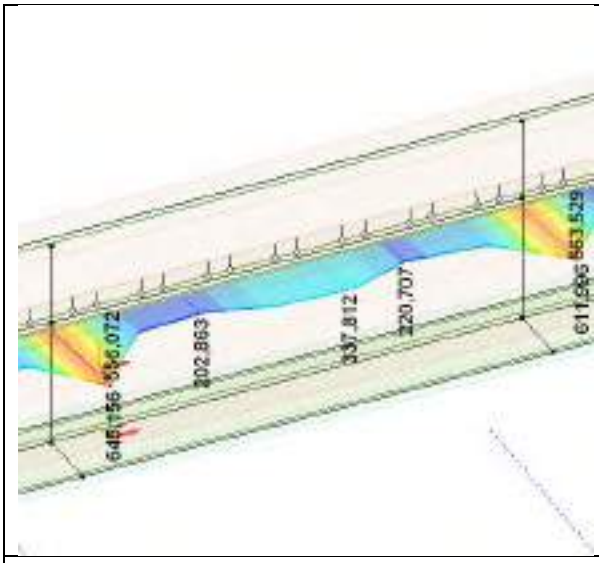
v_{Rz} (kN/m) entre butons 6 et 7



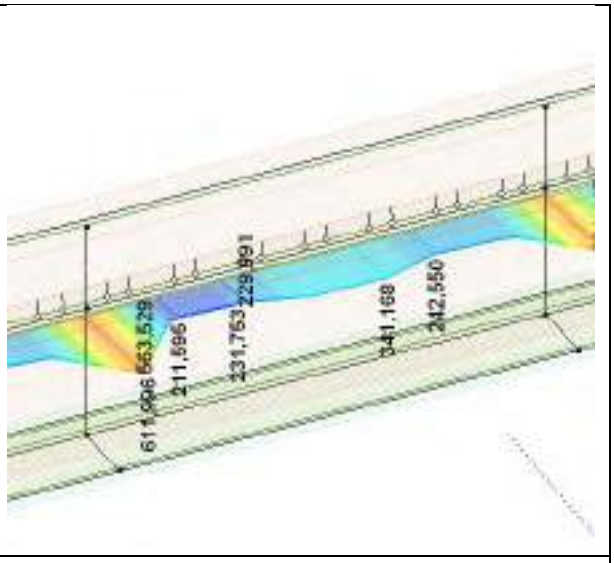
v_{Rz} (kN/m) entre butons 7 et 8



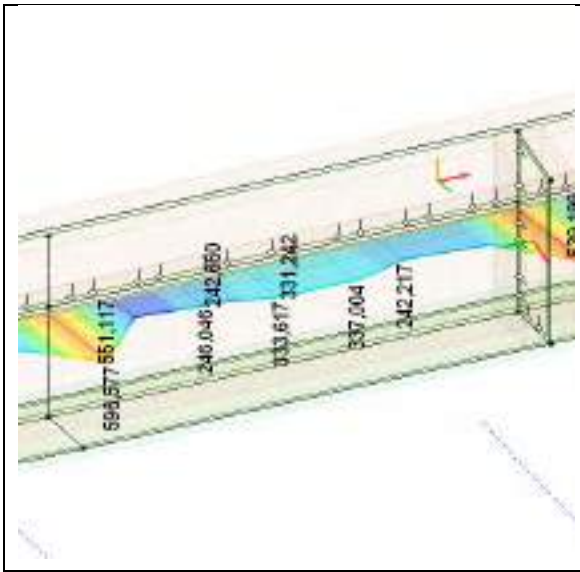
v_{Rz} (kN/m) entre butons 8 et 9



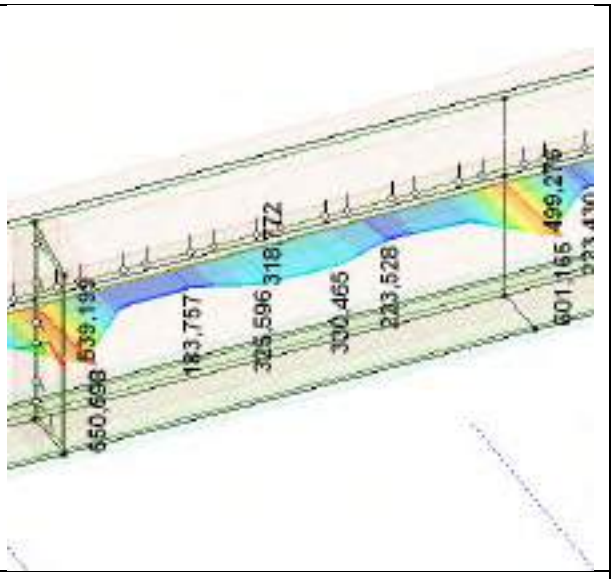
v_{Rz} (kN/m) entre butons 9 et 10



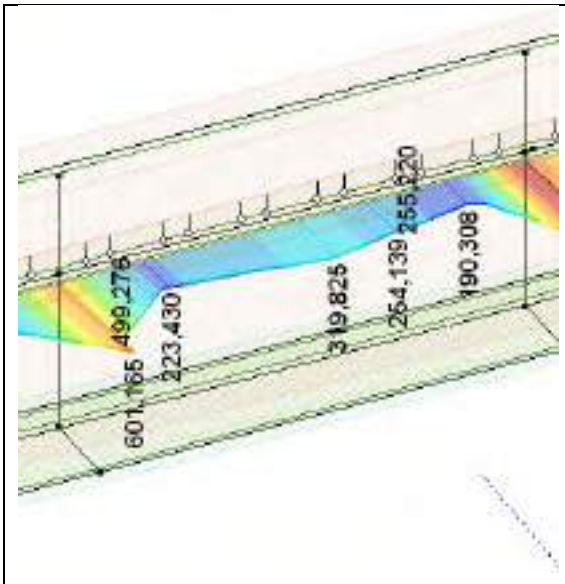
v_{Rz} (kN/m) entre butons 10 et 11



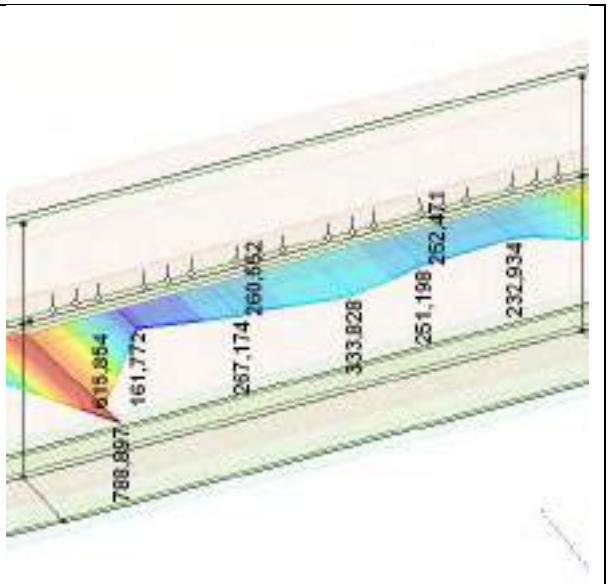
v_{Rz} (kN/m) entre butons 11 et 12



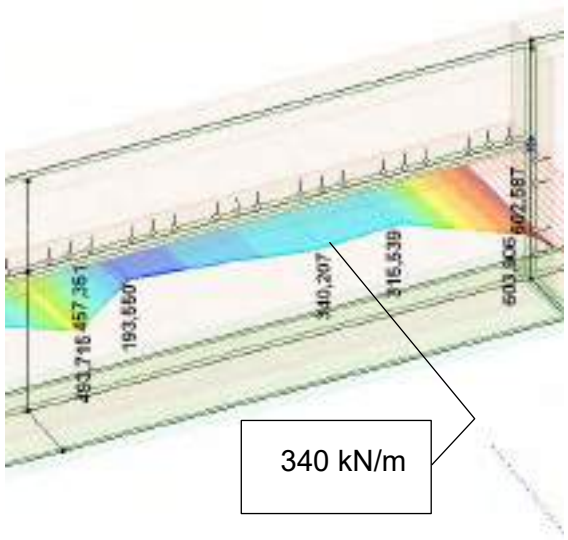
v_{Rz} (kN/m) entre butons 12 et 13



v_{Rz} (kN/m) entre butons 13 et 14

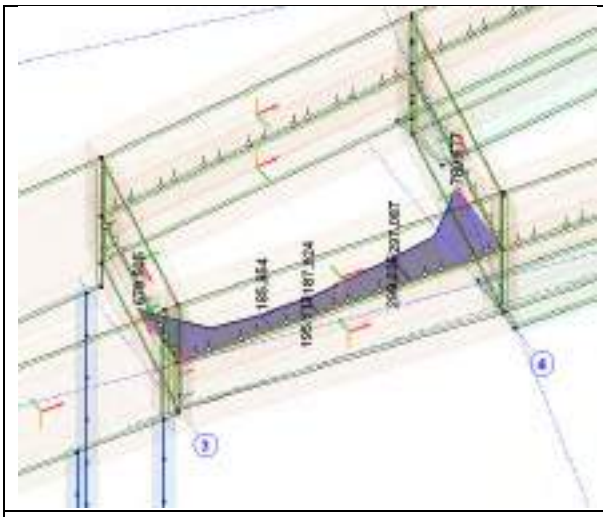


v_{Rz} (kN/m) entre butons 14 et 15

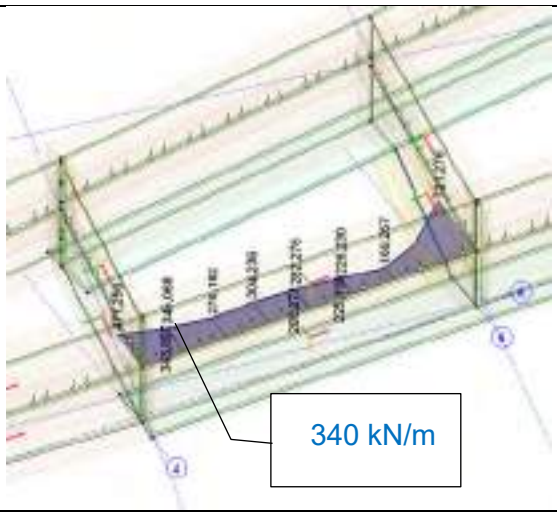


v_{Rz} (kN/m) entre butons 15 et 16

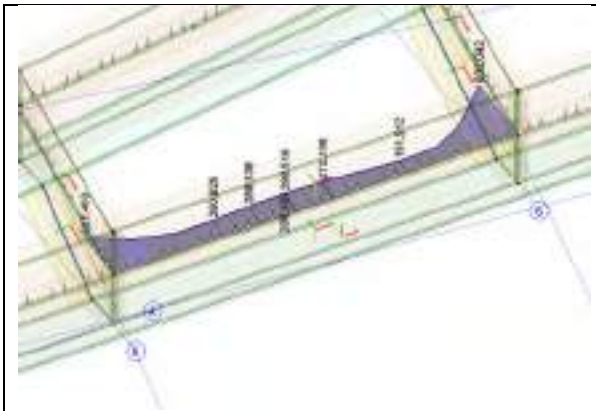
10.4.12. Enveloppe des combinaisons accidentelles – vRz mur V300



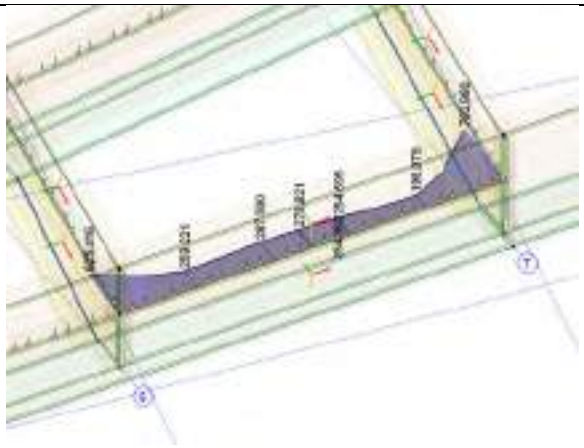
v_{Rz} (kN/m) entre butons 3 et 4



v_{Rz} (kN/m) entre butons 4 et 5

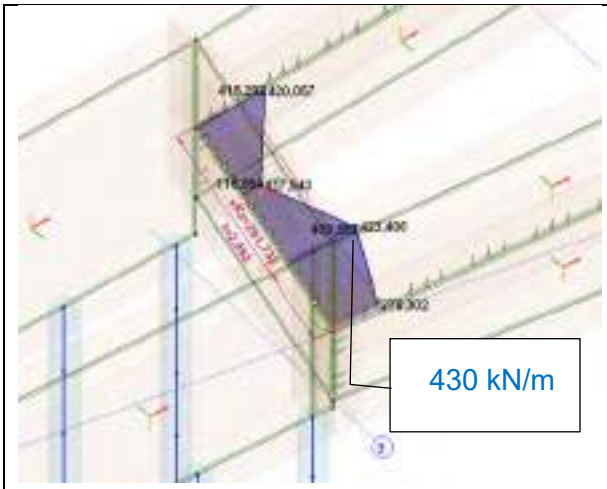


v_{Rz} (kN/m) entre butons 5 et 6

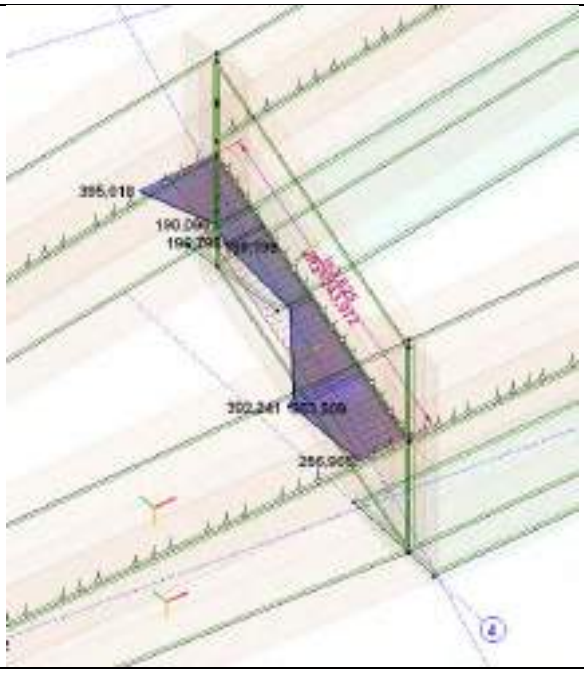


v_{Rz} (kN/m) entre butons 6 et 7

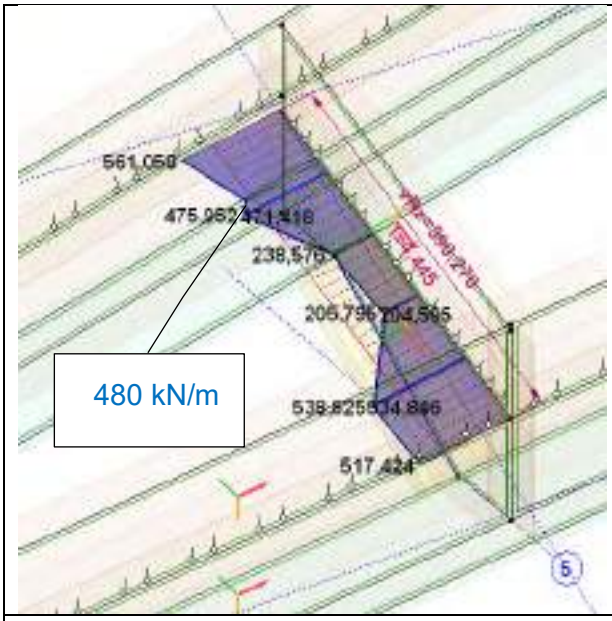
10.4.13. Enveloppe des combinaisons accidentelles – vRz entre butons existants et réhaussements de butons



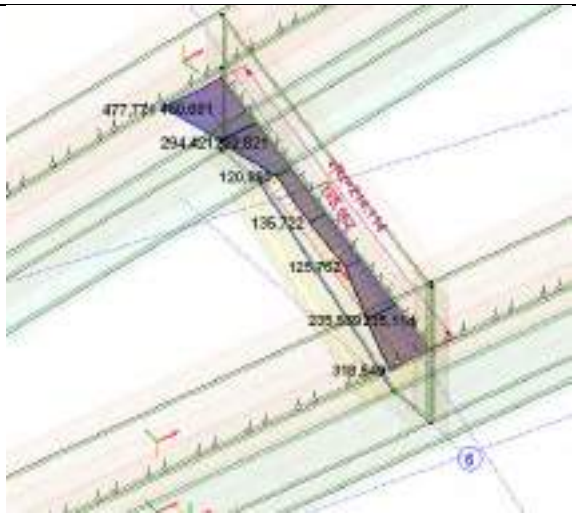
v_{Rz} (kN/m) buton 3



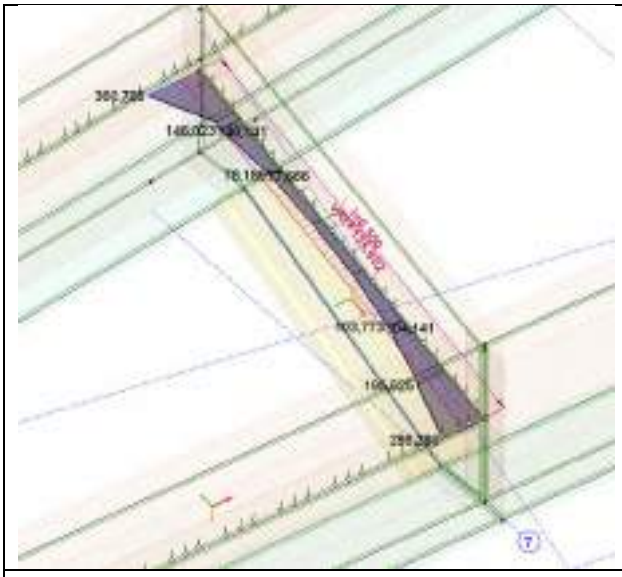
v_{Rz} (kN/m) buton 4



v_{Rz} (kN/m) buton 5



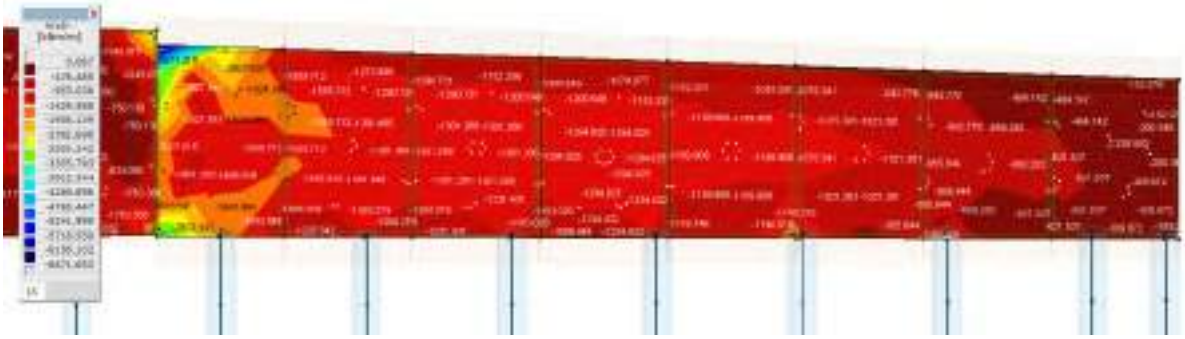
v_{Rz} (kN/m) buton 6

	
v_{Rz} (kN/m) buton 7	

10.5. Sollicitations – Murs de guidage sur pieux

10.5.1. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V501

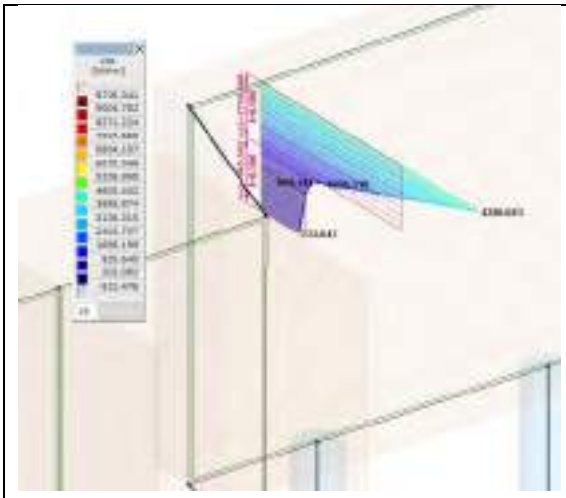
Partie pleine en extrémité est des murs de guidage



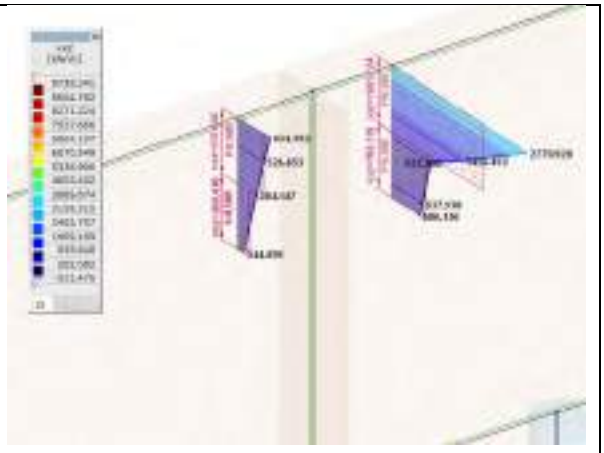
Butons 1 et 2



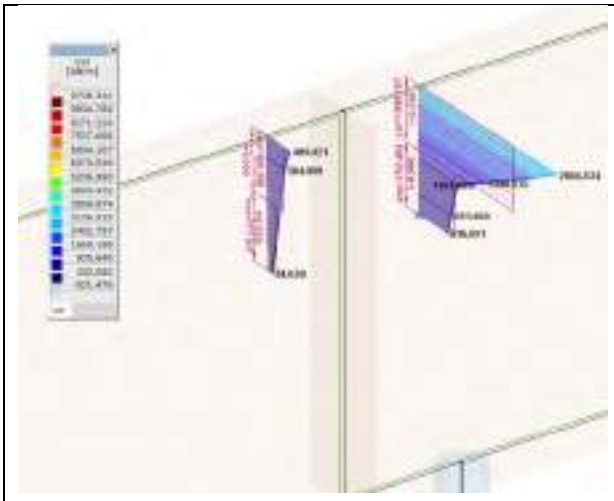
10.5.2. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V501



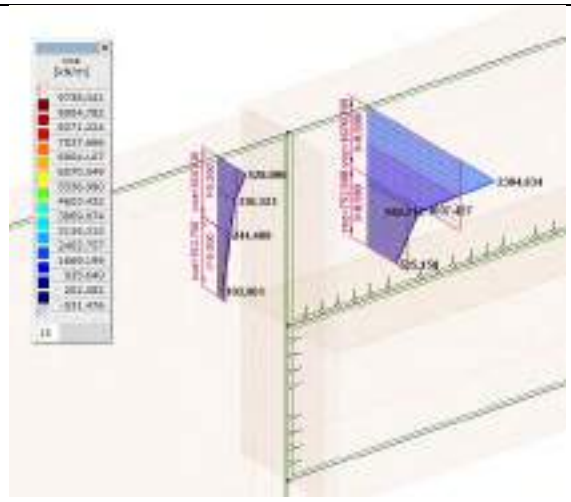
v_{xz} (kN/m) – Jonction avec partie pleine



v_{xz} (kN/m) – Buton 1



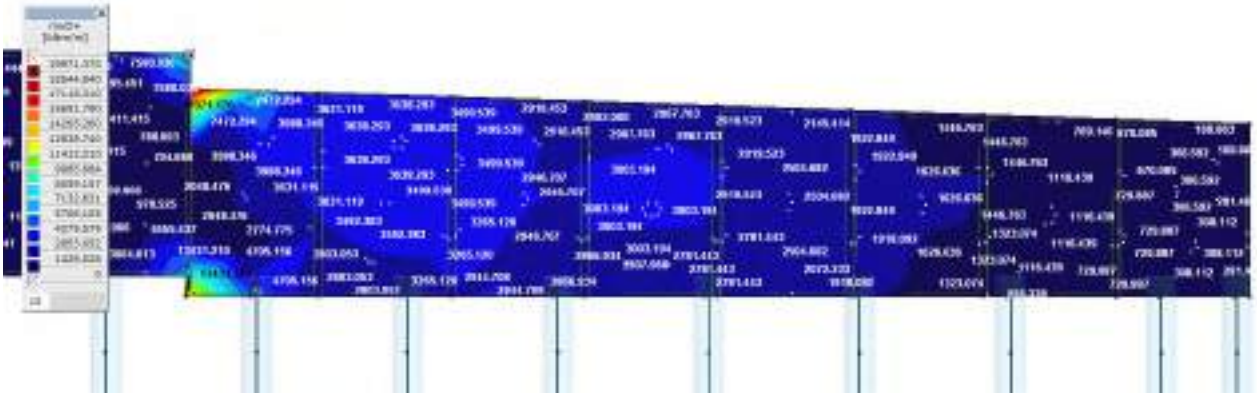
v_{xz} (kN/m) – Buton 2



v_{xz} (kN/m) – Buton 3

10.5.3. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V501

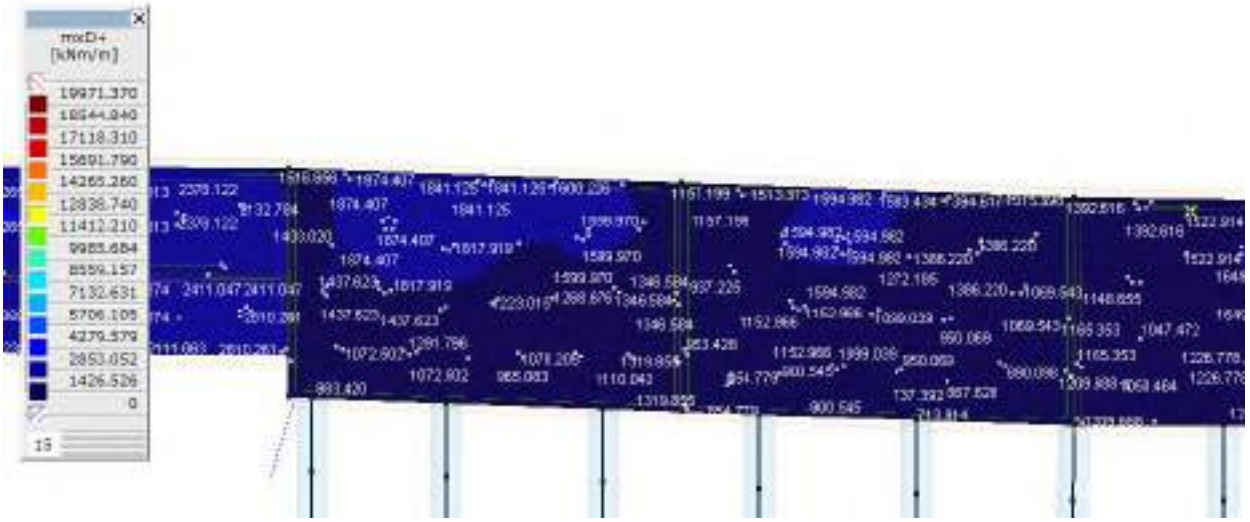
Partie pleine en extrémité est des murs de guidage



Travée entre partie pleine et buton 1

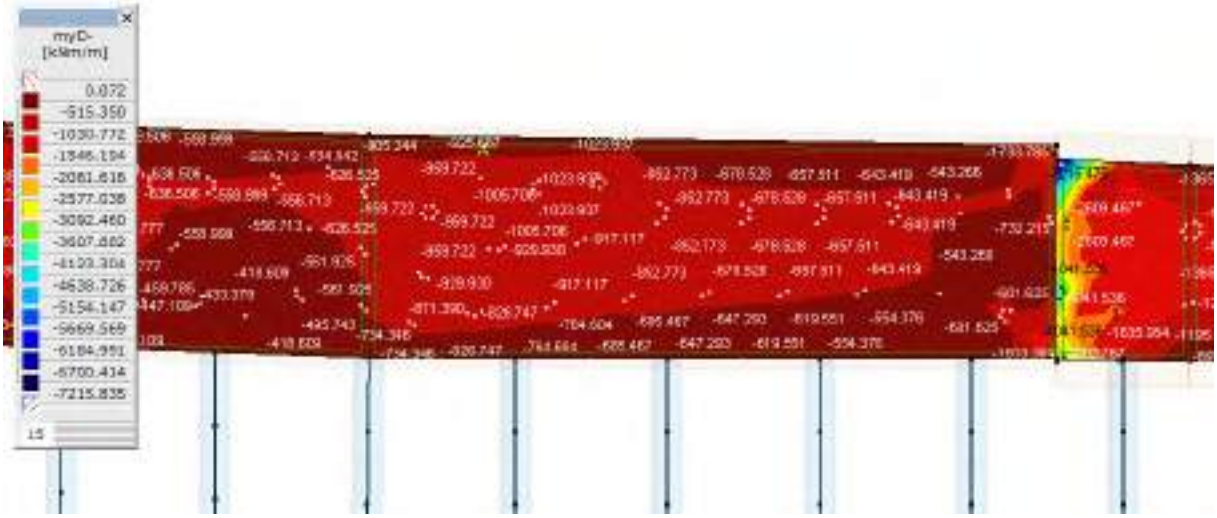


Travée entre butons 1 et 2, puis 2 et 3



10.5.4. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V501

Travées entre partie pleine et buton 1

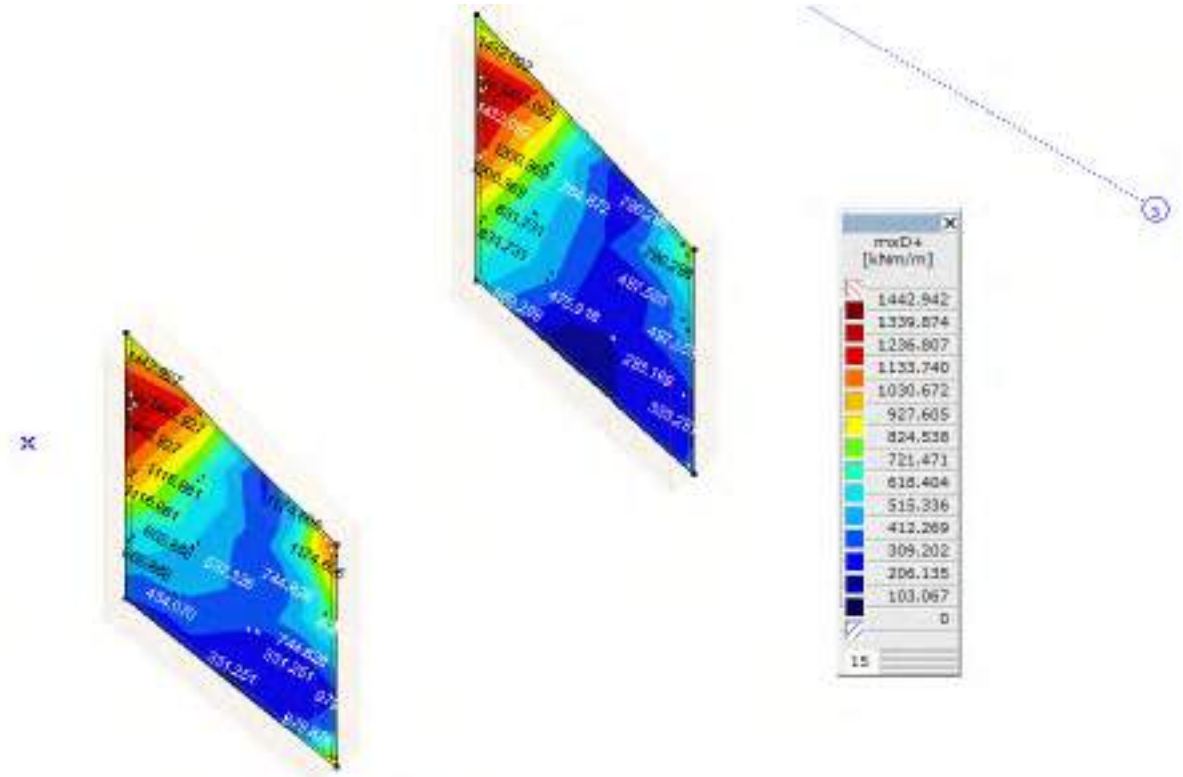


Travées entre butons 1 et 2, puis 2 et 3



10.5.5. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V501

Butons 1 à 2

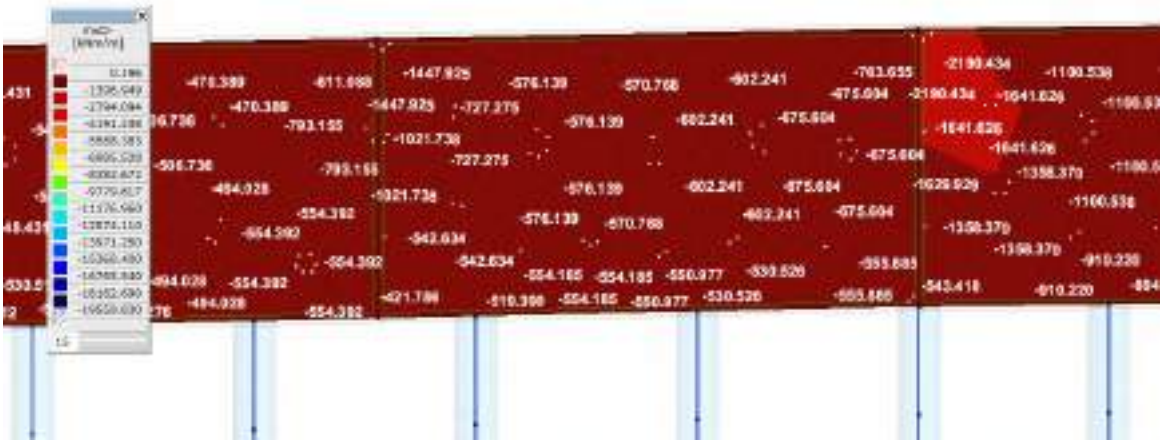


10.5.6. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd- mur V300

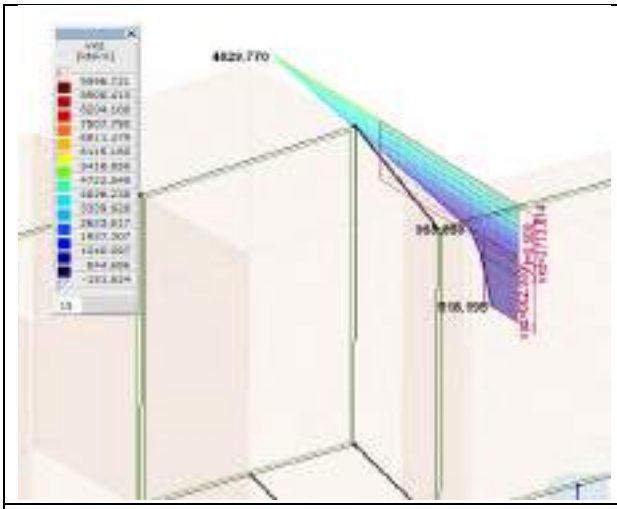
Partie pleine en extrémité est des murs de guidage



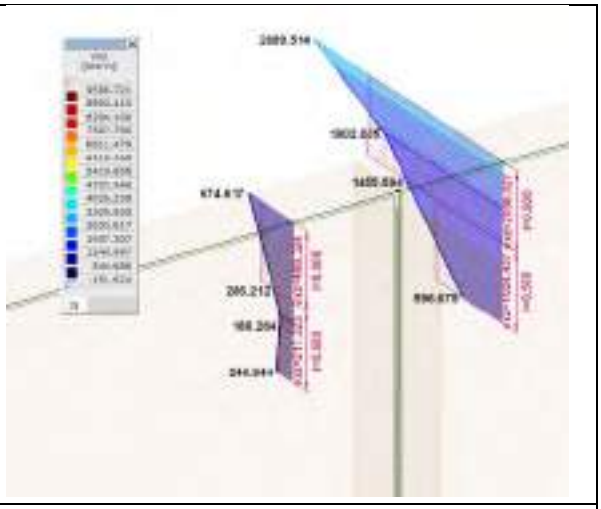
Butons 1 et 2



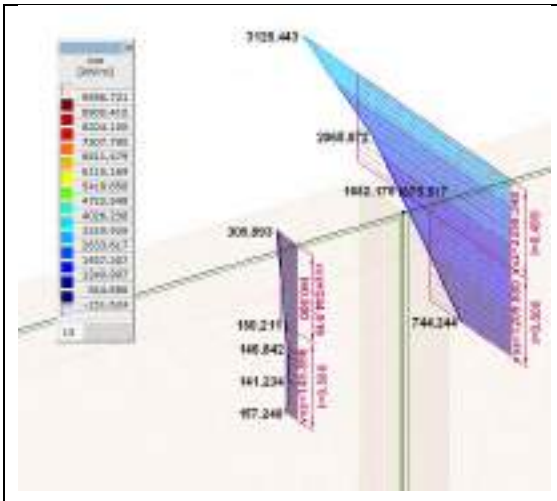
10.5.7. Enveloppe des combinaisons accidentelles – v_{xz} mur V300



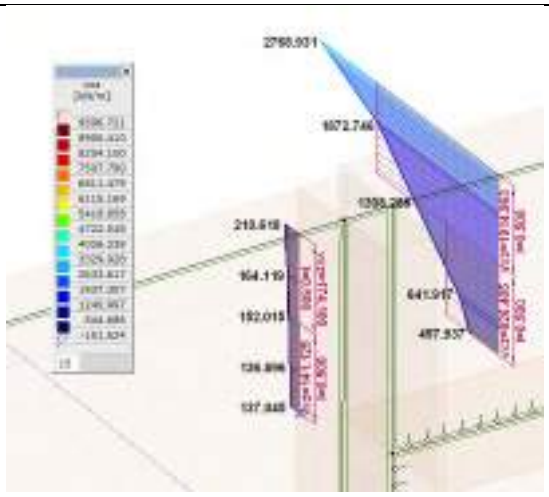
v_{xz} (kN/m) – Partie pleine



v_{xz} (kN/m) – Buton 1



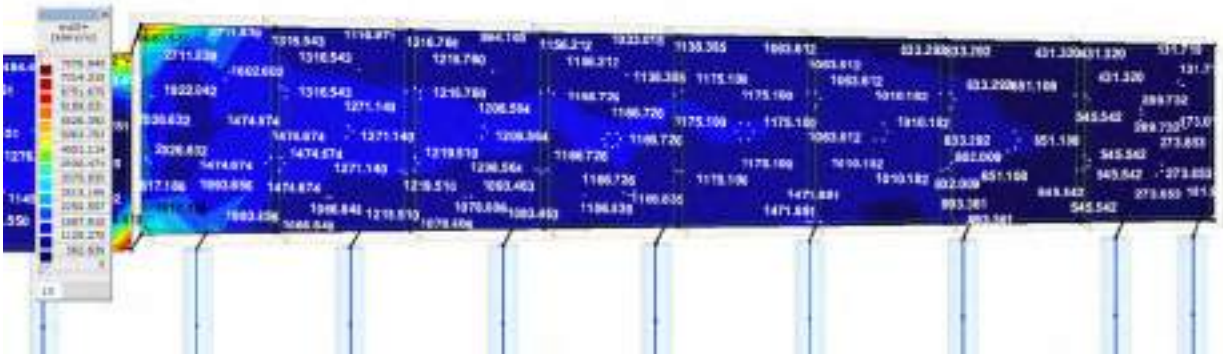
v_{xz} (kN/m) – Buton 2



v_{xz} (kN/m) – Buton 3

10.5.8. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Mxd+ mur V300

Partie pleine en extrémité est des murs de guidage



Travée entre partie pleine et buton 1

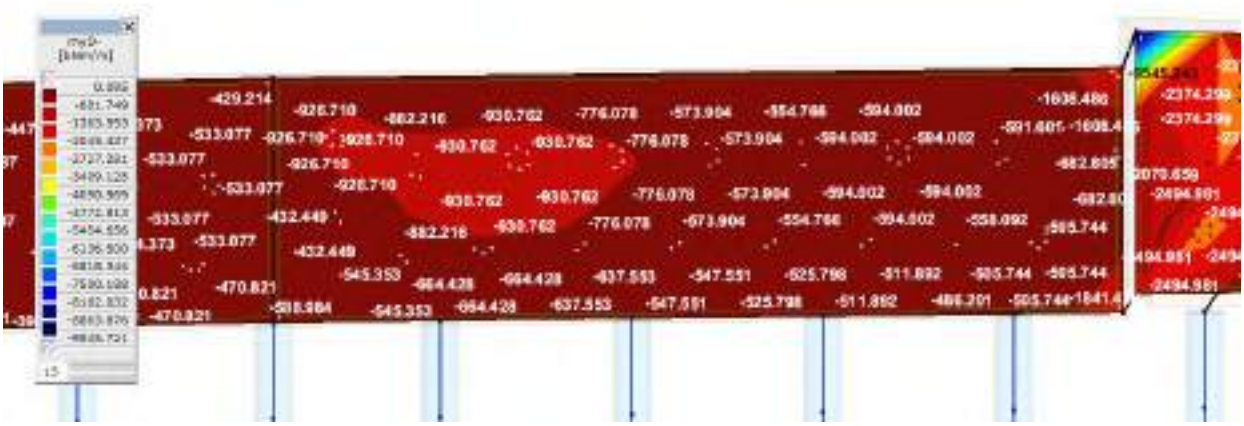


Travée entre butons 1 et 2, puis 2 et 3

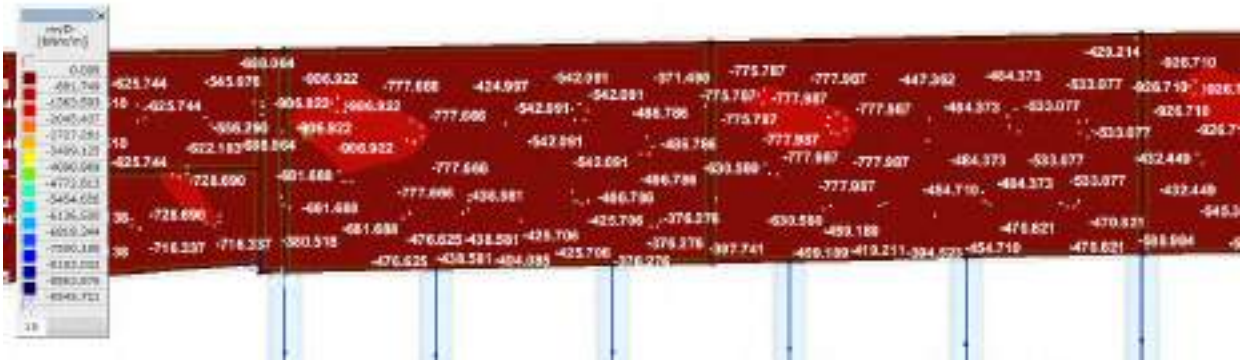


10.5.9. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Myd- mur V300

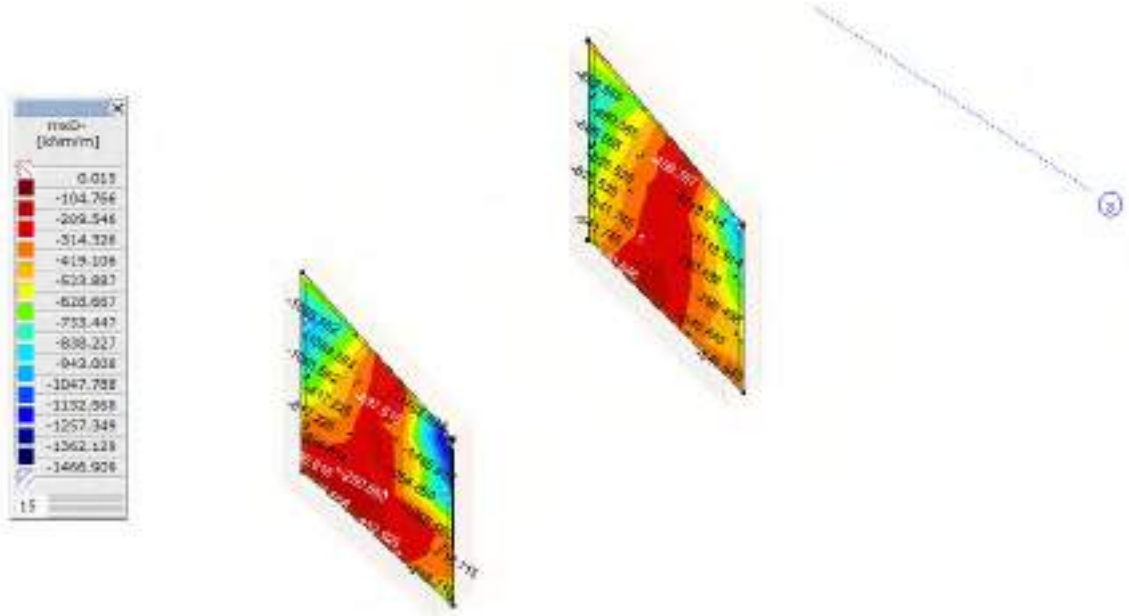
Travées entre partie pleine et buton 1



Travées entre butons 1 et 2, puis 2 et 3

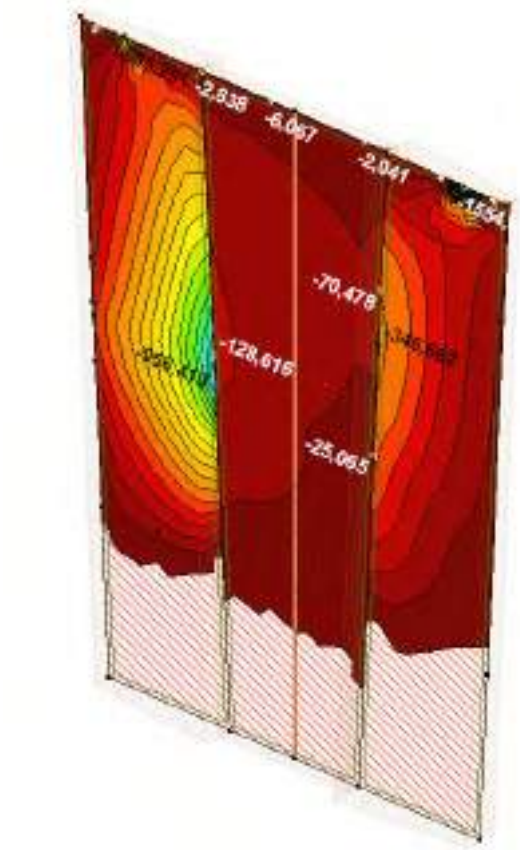


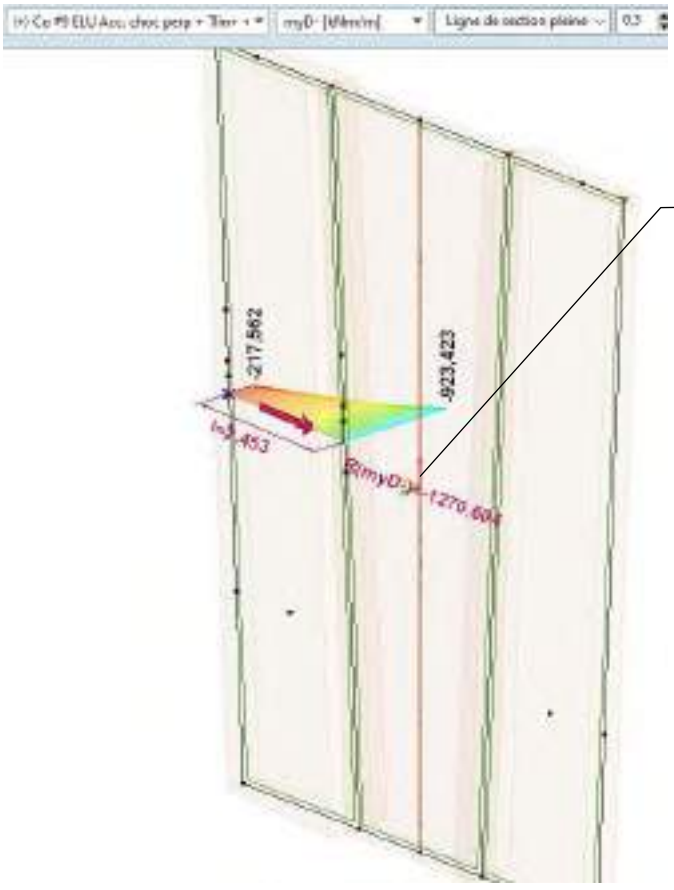
10.5.10. Enveloppe des combinaisons accidentelles – Butons Mxd- mur V300



10.6. Sollicitations – Pile P30 - Pont 2

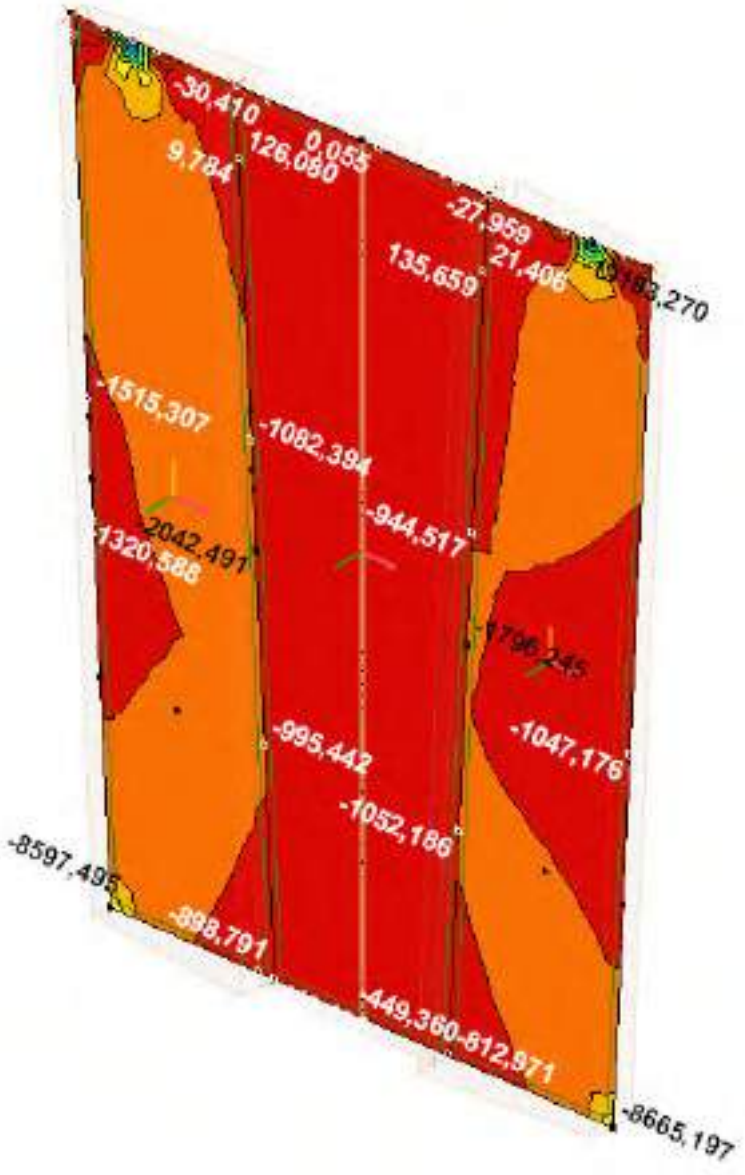
10.6.1. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – MyD-





Valeurs résultante ligne de section sur élément de bord : myd- = 1270 kNm

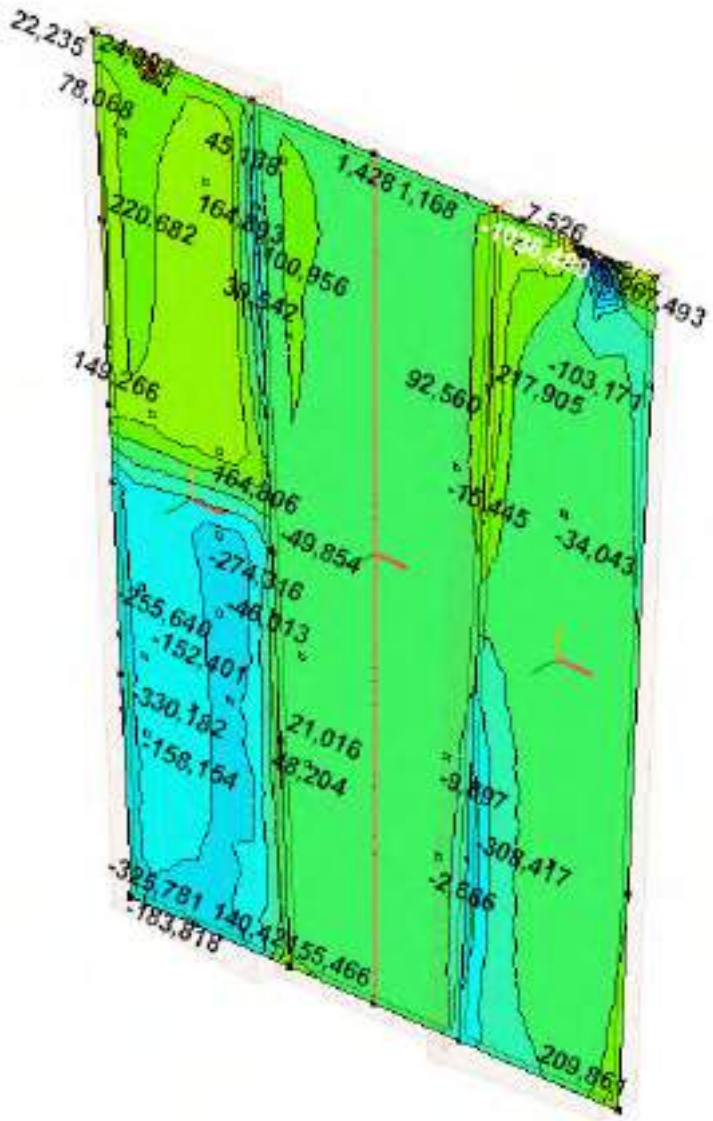
10.6.2.Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – nyD



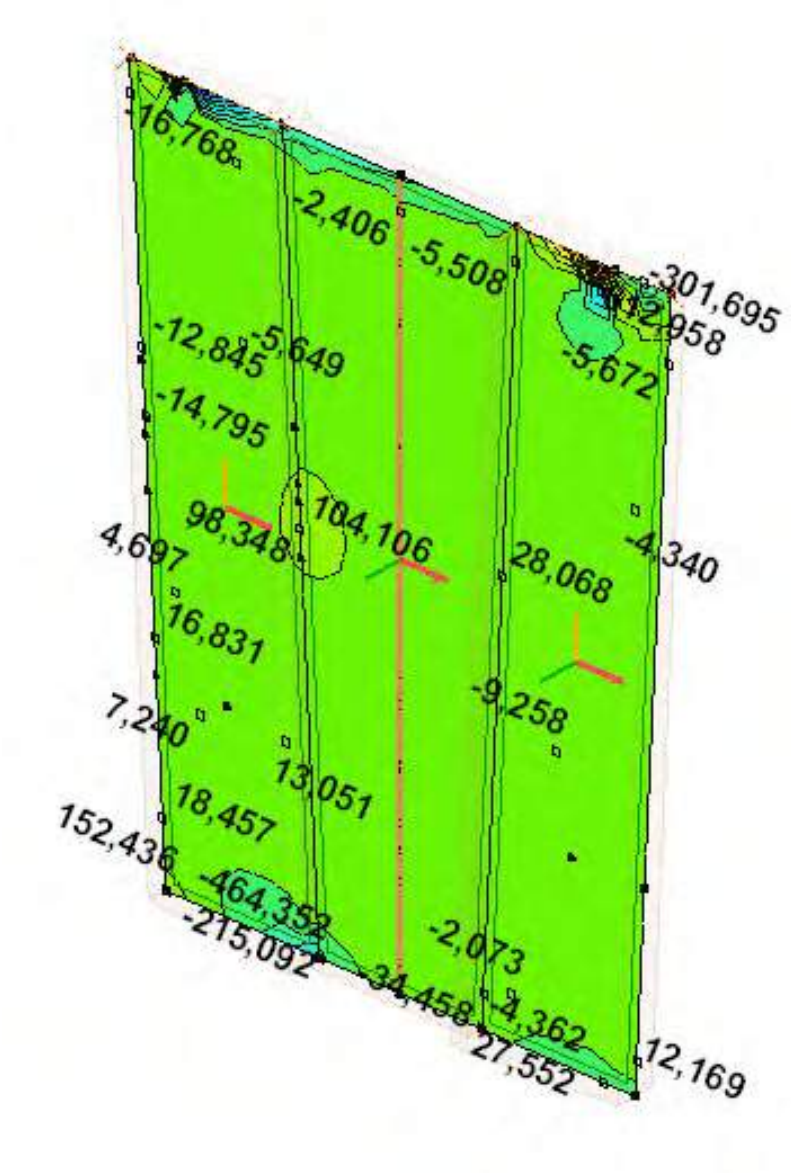
10.6.3.Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – MxD-



10.6.4. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – vyz

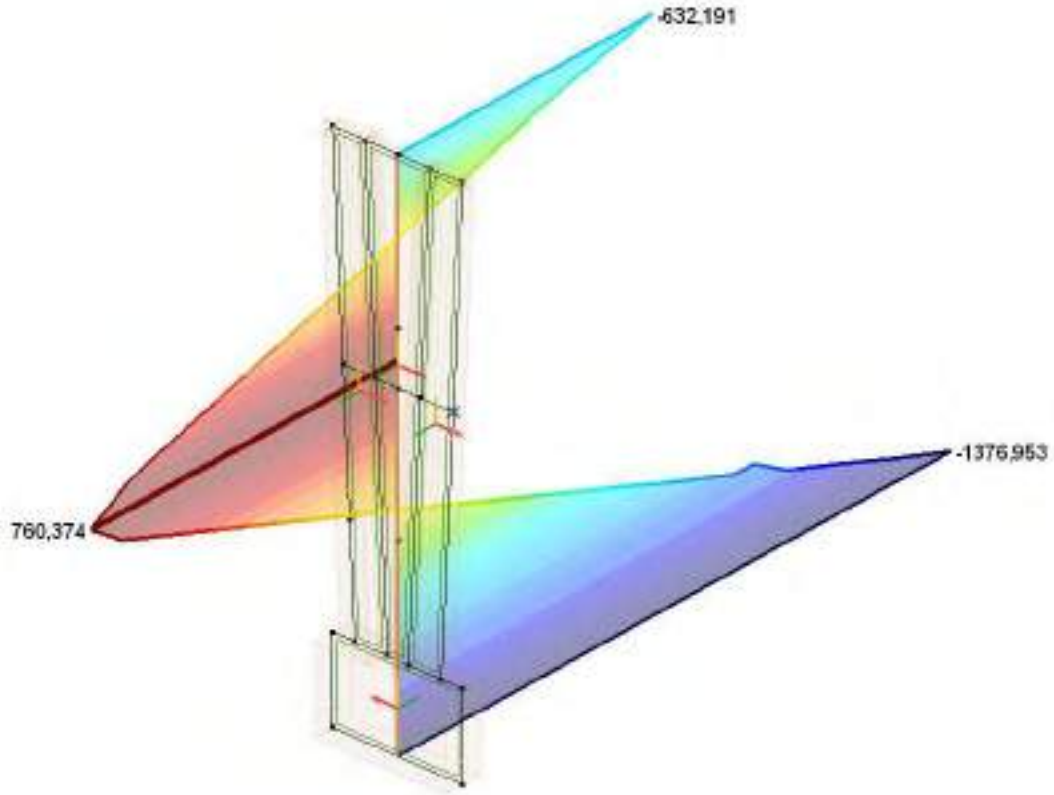


10.6.5. Cas de charge déterminant – choc perpendiculaire – vxz

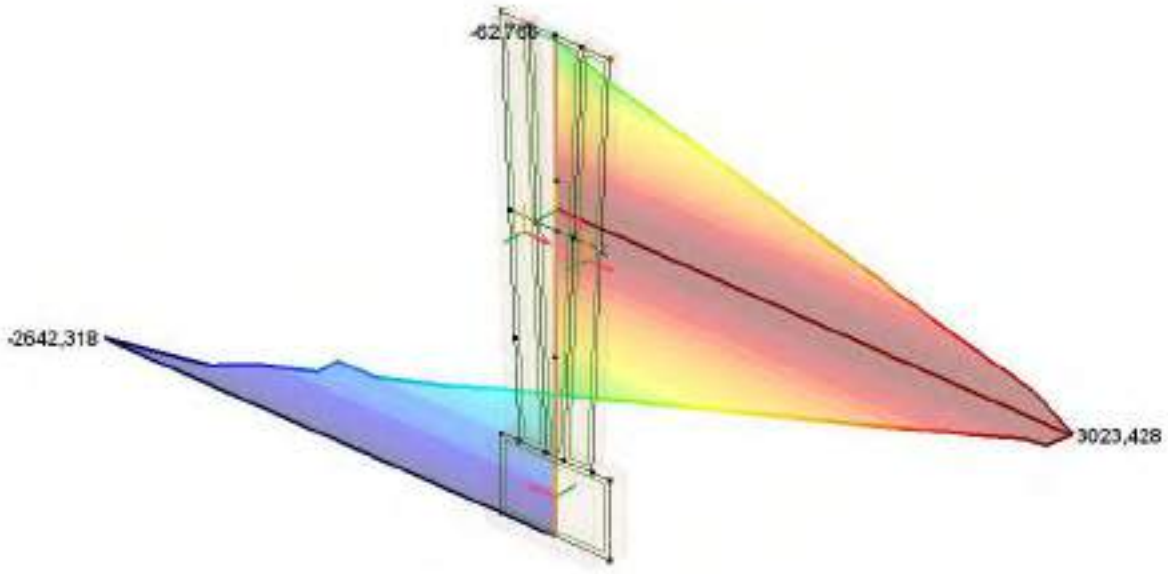


10.7. Sollicitations – Pile P90 - Pont 3b

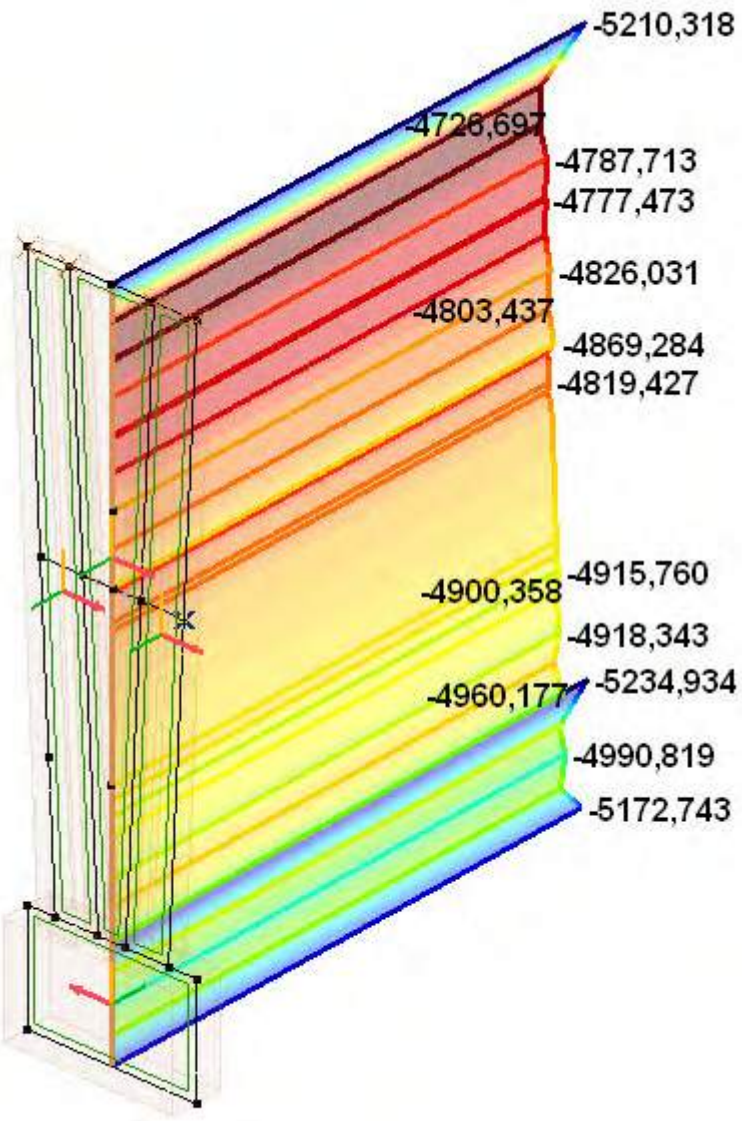
10.7.1. Cas de choc parallèle déterminant – My



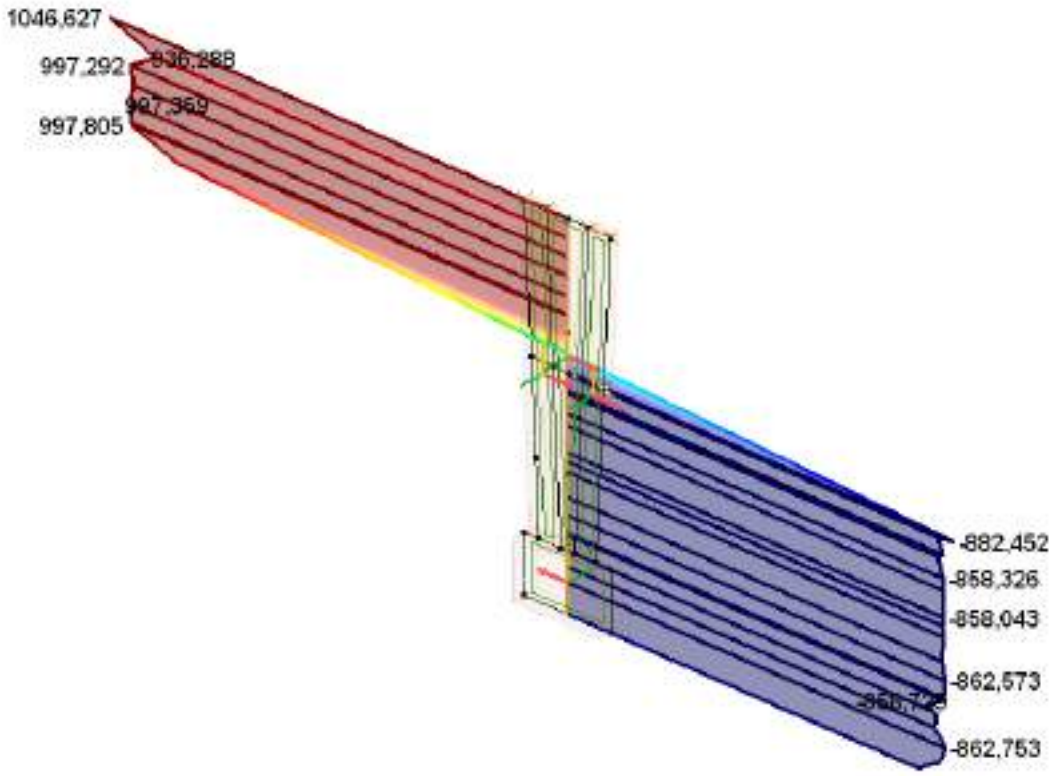
10.7.2. Cas de choc parallèle déterminant – Mz



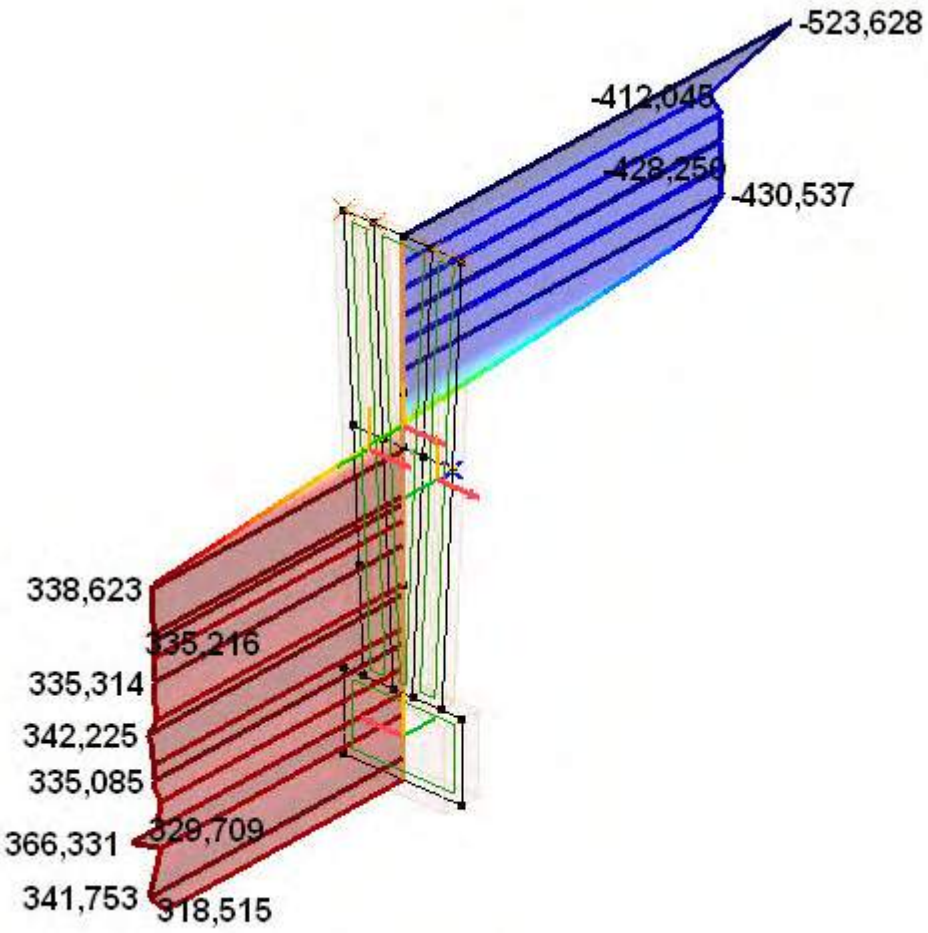
10.7.3.Cas de choc parallèle déterminant – Nx



10.7.4. Cas de choc parallèle déterminant – Vy

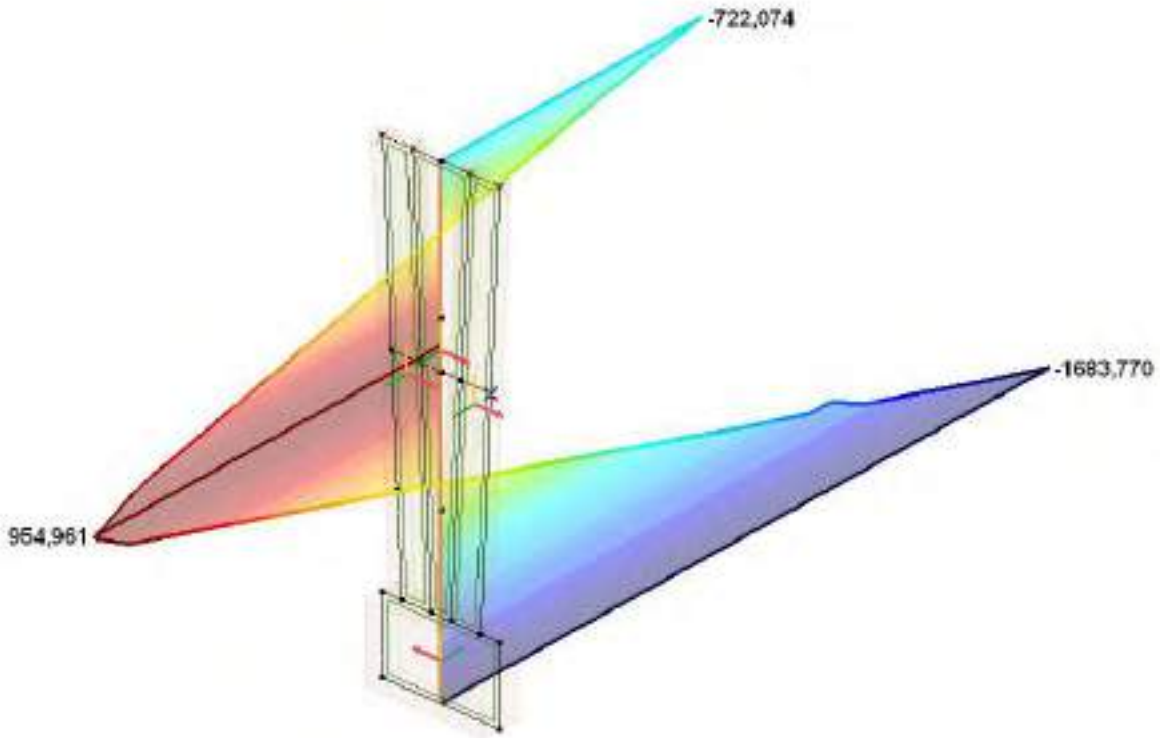


10.7.5.Cas de choc parallèle déterminant – Vz

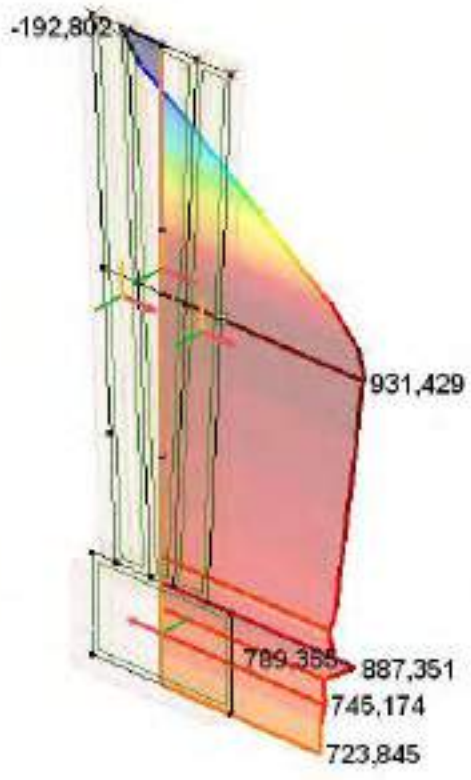


10.8. Sollicitations – Pile P90 - Pont 3b

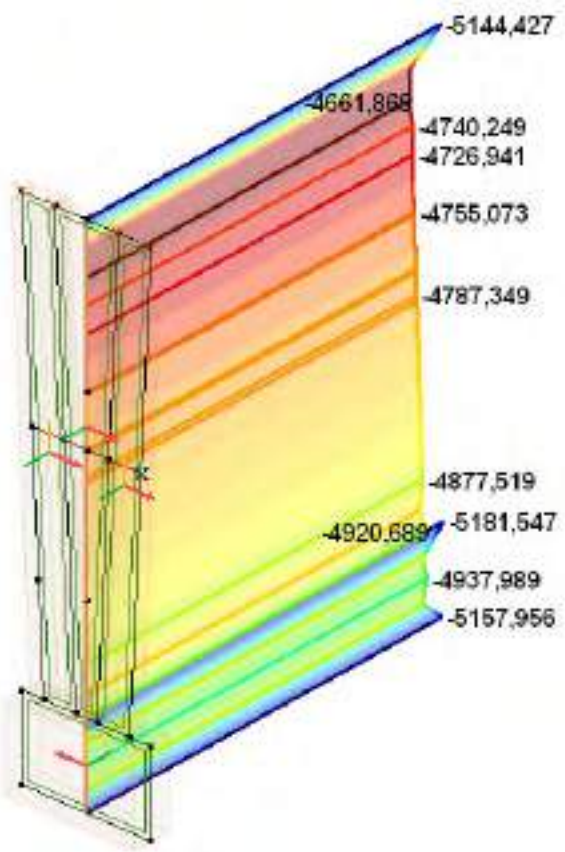
10.8.1. Cas de choc perpendiculaire déterminant – My



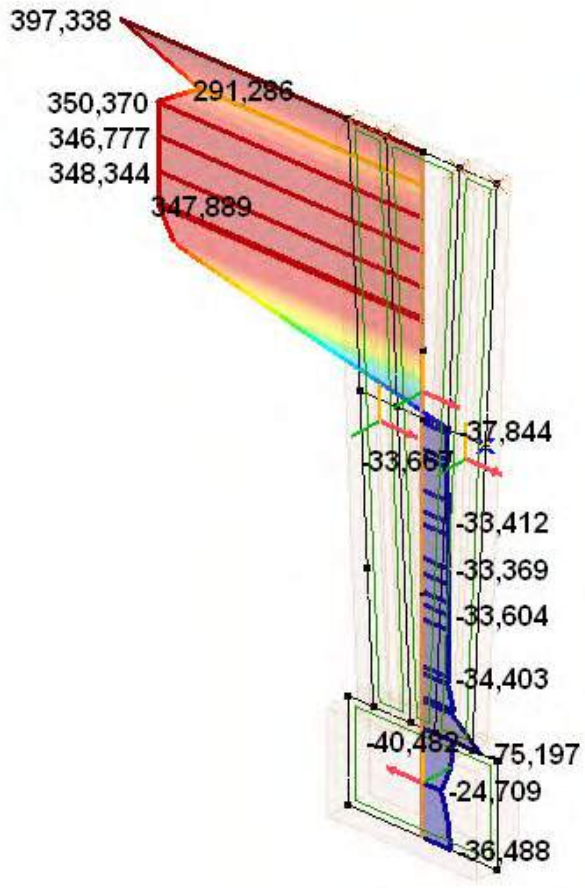
10.8.2. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Mz



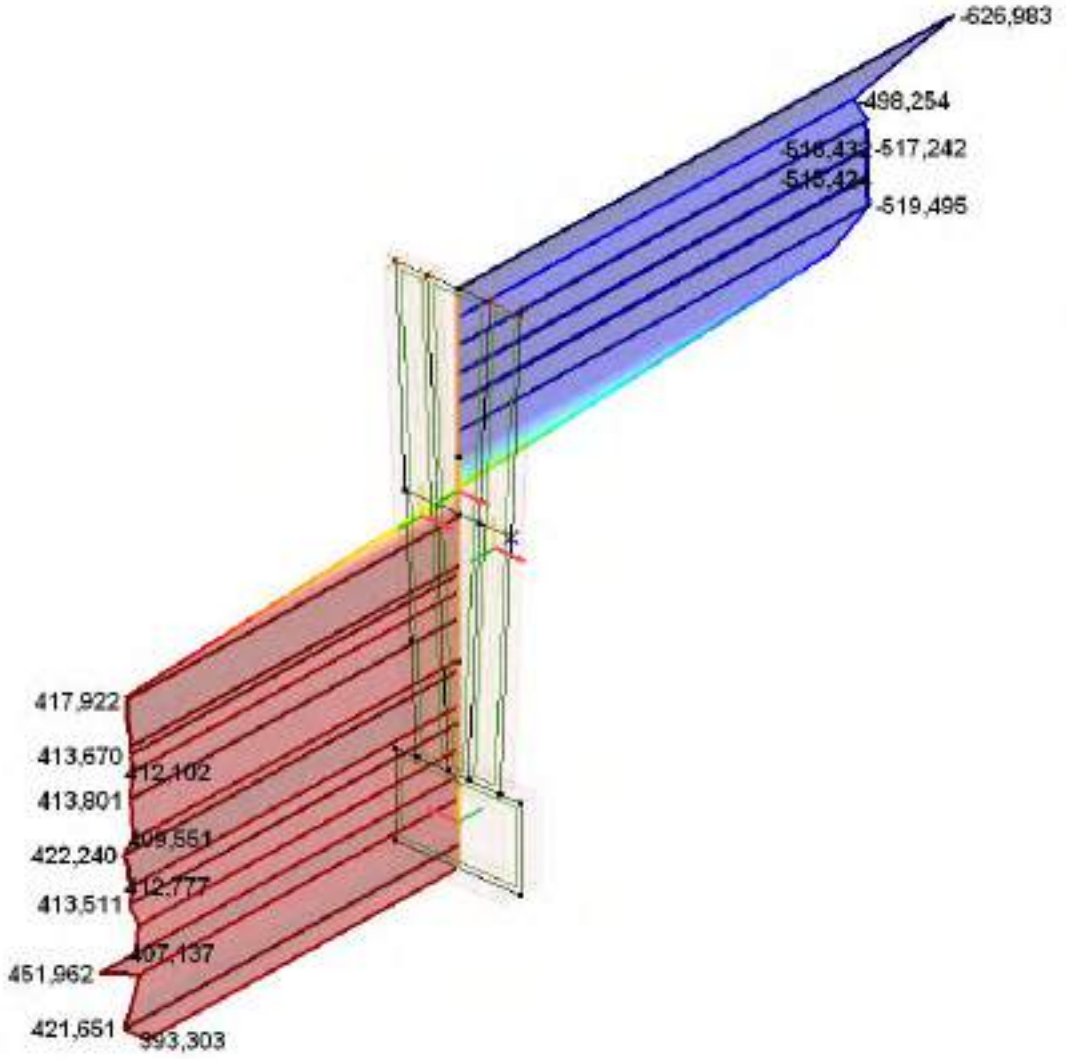
10.8.3. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Nx



10.8.4. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Vy



10.8.5. Cas de choc perpendiculaire déterminant – Vz



10.9. Vérification – Dimensionnement des pieux (murs de guidage sur pieux)

10.9.1. Vérifications interractions (M-N) et (V-T)

Vérifications réalisées sur Fagus-9.

Armatures longitudinales : 6 Ø 34
Armatures transversales (spirales) : Ø 14 // 150 mm

Sollicitations / Taux d'exploitation: eff(M,N)=0.7, eff(V,T) =0.64 admissible

No	AP	P	Flexion et effort normal N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	eff(M,N) [-]	Effort tranchant et torsion V_y [kN]	V_z [kN]	T [kNm]	eff(V,T) [-]	Section complète eff(M,N,V,T) [-]
1	!ELU		-60.0	120.0	10.0	0.65	15.0	149.0	0	0.64	
2	!ELU		149.0	40.0	48.0	0.37	25.0	77.0	0	0.33	
3	!ELU		-96.0	65.0	5.0	0.35	60.0	20.0	0	0.26	
4	!ELU		117.0	10.0	80.0	0.45	70.0	10.0	0	0.30	
5	!ELU		70.0	10.0	125.0	0.70	10.0	10.0	0	0.04	

Paramètres d'analyse !ELU Norme: SIA

ID	σ-ε-Diagramme c	s	p	M	Déf. limite ε_{c1d} [‰]	ε_{c2d} [‰]	ε_{ud} [‰]	σ_s [N/mm²]	Facteurs de résistance γ_c [-]	γ_s [-]	γ_p [-]	γ_M [-]	Divers α [-]	φ [-]		
!ELU	4/0	1	1	1	-2.	-3.	20.		1.5	1.15	1.15	1.05	45.	0.		

Contraintes et dilatations extrêmes (Résultats du calcul No 5)

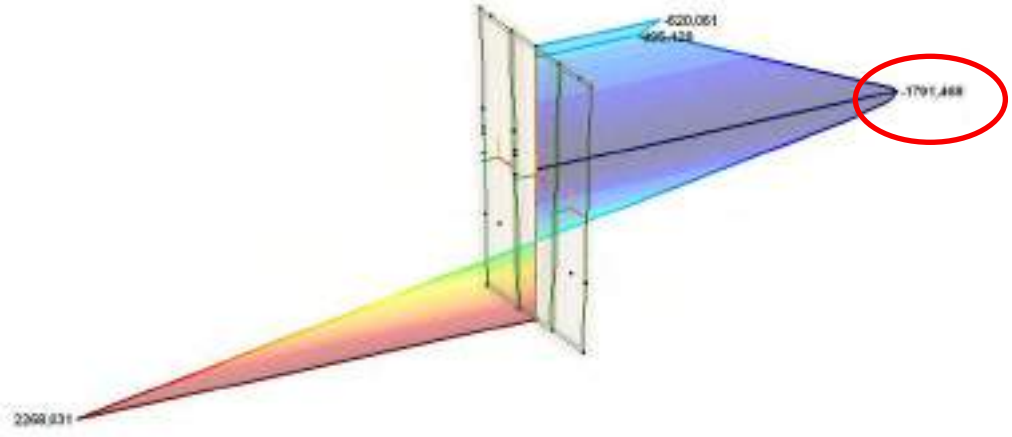
Nom	Classe	y_q [m]	z_q [m]	ε [‰]	σ_d [N/mm²]	γ [-]
C	C25/30	0.2	0.02	-3.	-16.7	1.50
C	C25/30	-0.2	-0.02	4.5	0.	1.50
CR	B500B	0.11	0.	-1.2	-254.7	1.15
CR	B500B	-0.11	0.	2.7	434.8	1.15
Étriers (!SIG-ASW					279.2	

10.10. Vérification – Pile P30 - Pont 2

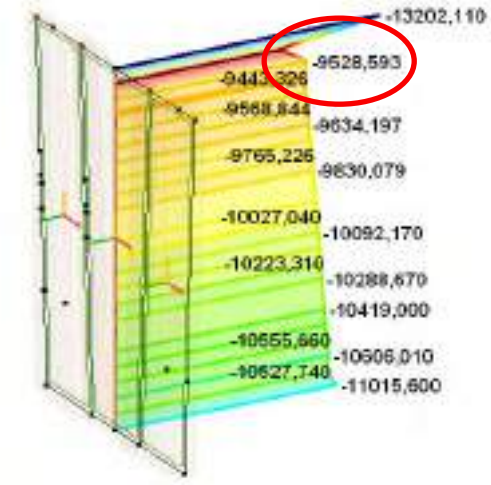
10.10.1. Prise en compte des excentricités

Les excentricités, selon chap. 4.3.7 de la SIA 262, e_{0d} (dues aux imperfections), e_{1d} (au 1er ordre dues aux actions), e_{2d} (dues à la déformation de l'élément comprimé) sont calculées et présentés à la suite. Les efforts calculés sont utilisés et entrés dans logiciel Fagus pour avoir le résultat de l'interaction M-N.
Les excentricités sont prises en compte uniquement dans le sens de la faible inertie de la pile, pour laquelle l'influence n'est pas négligeable.

M_Y = 1792 kNm (valeur relevée dans la pile représentée comme une poutre virtuelle dans le modèle Axis pour le cas de charge déterminant)



Hauteur pile = 10,64 m
N_{Ed} = 9'530 kN (valeur relevée en tête de pile représentée comme une poutre virtuelle dans le modèle Axis)



$$e_{0Y} = \max\left(0{,}00816\,;\,0{,}028\right) = 0{,}028\,m$$

$$e_{1Y} = \frac{1792}{9530} = 0{,}188\,m$$

$$e_{2Y} = \frac{2\times450}{205000\times(0{,}84-0{,}13)} \times \frac{10{,}64^2}{\pi^2} = 0{,}071\,m$$ avec dy = 0,84 m et dy' = 0,13 m

M_Y = 9530 x (0,028+0,188+0,071) = 2736 kNm
Les vérifications sont réalisées en tenant compte des moments My et Mz relevés sur l'ensemble de la pile (modèle poutre) appliqués sur le seul élément de bord, ce qui place la vérification du côté sécuritaire.

10.10.2. Vérification (M-N) au niveau du choc ferroviaire

Sollicitations / Taux d'exploitation: eff(M,N)=0.63 admissible

No	AP	P	Flexion et effort normal N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	eff(M,N) [-]	Effort tranchant et torsion V_y [kN]	V_z [kN]	T [kNm]	eff(V,T) [-]	Section complète eff(M,N,V,T) [-]
1	!ELU		-4584.0	2736.0	254.0	0.63					

Paramètres d'analyse !ELU Norme: SIA

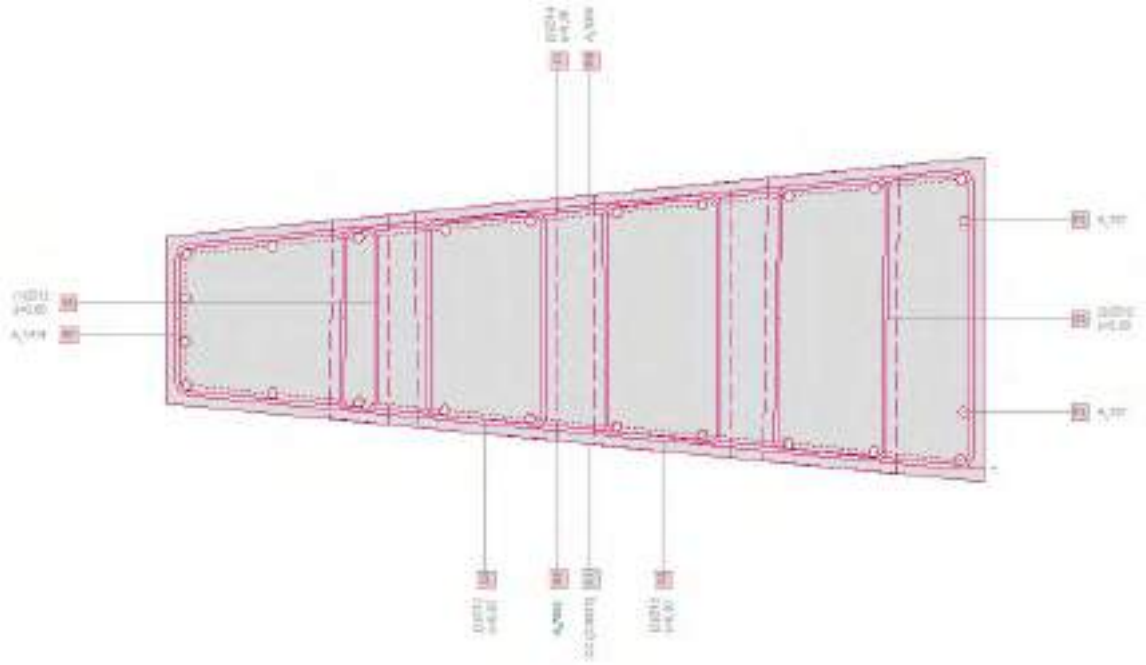
ID	σ-ε-Diagramme c	s	β	M	Déf. limite ε_{c1d} [‰]	ε_{c2d} [‰]	ε_{ud} [‰]	σ_s [N/mm²]	Facteurs de résistance γ_c [-]	γ_s [-]	γ_a [-]	γ_M [-]	Divers α [-]	φ [-]
!ELU	4/0	1	1	1	-2.	-3.	20.		1.5	1.15	1.15	1.05	45.	0.

Contraintes et dilatations extrêmes

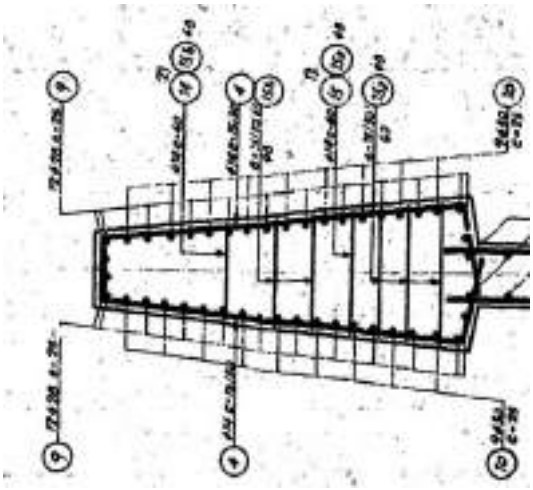
Nom	Classe	y_o [m]	z_o [m]	ε [‰]	σ_d [N/mm²]	γ [-]
C1	C30/37	-1.56	0.49	-3.	-20.	1.50
C1	C30/37	-1.56	-0.49	8.3	0.	1.50
R8	ACIER III	-1.63	0.42	-2.3	-449.6	1.15
R6	ACIER III	-1.63	-0.42	7.5	449.6	1.15

État limite "!ELU"

Efforts intérieurs N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Élongation et courbures ε_x [‰]	χ_y [km⁻¹]	χ_z [km⁻¹]	Rigidités N/ε_x [kN]	M_y/χ_y [kNm²]	M_z/χ_z [kNm²]
-7233.6	4317.	401.	1.9	11.7	-0.7	3807753.76	370465.46	583682.85

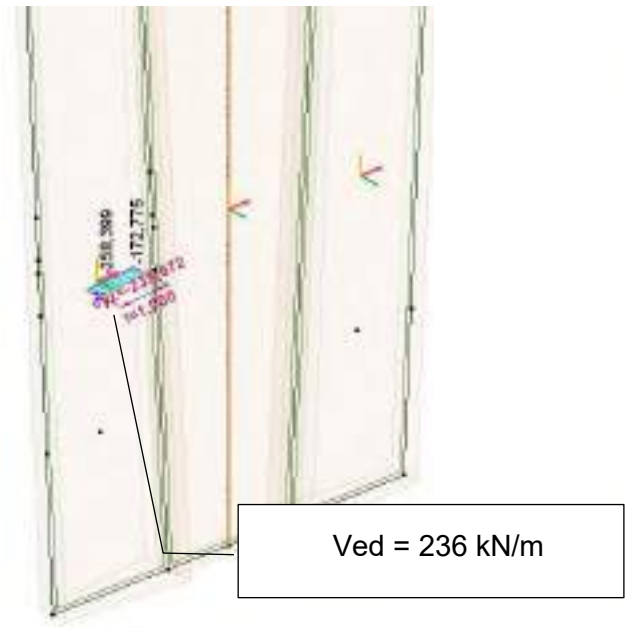


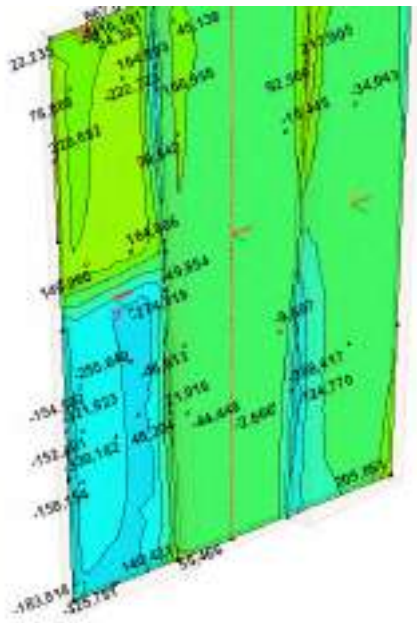
10.10.3. Vérification effort tranchant au niveau du choc



Epaisseur d'élement de pile : 50 à 100 cm

Effort tranchant sur la hauteur de la pile (relevé horizontalement) : V_{Ed} = 236 kN/m





a_{sw} = 616 mm²/m (Ø14 e_{trans} = 250 mm ; 4.Ø14 / m')
e_{long} = 300 mm
z = 570 mm
α = 30°

$$V_{Rd,s} = \frac{616}{300} \times 570 \times 500 \times \frac{1}{\tan(30°)} = 1013\ kN/m$$

$V_{Rd,s}$ = 1013 kN/m > V_{Ed} = 236 kN/m ; n = 0,23 → ***Vérifié***

10.10.4. Vérification (M-N) en pied de pile

Sollicitations / Taux d'exploitation: eff(M,N)=0.68 admissible

No	ΔP	P	Flexion et effort normal N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	eff(M,N) [-]	Effort tranchant et torsion V_y [kN]	V_z [kN]	T [kNm]	eff(V,T) [-]	Section complète eff(M,N,V,T) [-]
1	!ELU		-4978.0	2962.0	328.0	0.68					

Paramètres d'analyse !ELU Norme: SIA

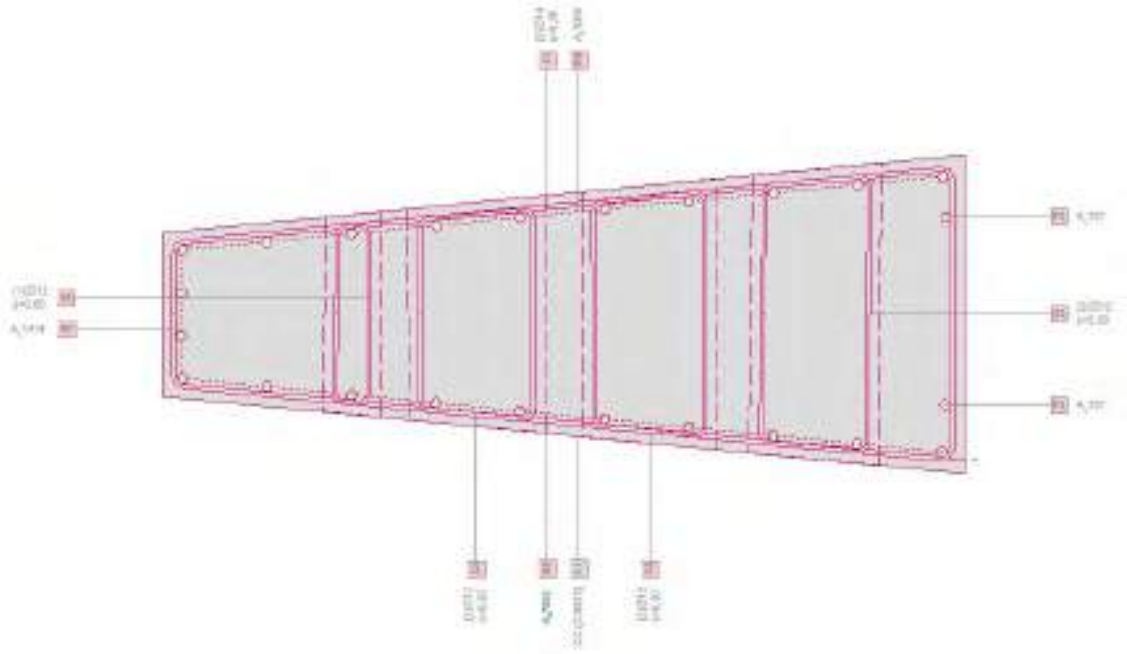
ID	σ-ε-Diagramme c	s	p	M	Déf. limite ε_{c1d} [‰]	ε_{c2d} [‰]	ε_{yd} [‰]	σ_s [N/mm²]		γ_c [-]	γ_s [-]	γ_R [-]	γ_M [-]	Divers α [-]	φ [-]		
!ELU	4/0	1	1	1	-2.	-3.	20.			1.5	1.15	1.15	1.05	45.	0.		

Contraintes et dilatations extrêmes

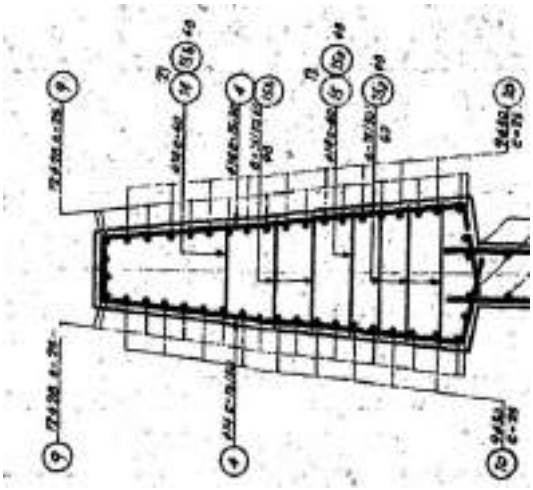
Nom	Classe	y_0 [m]	z_0 [m]	ε [‰]	σ_y [N/mm²]	γ [-]
C1	C30/37	-1.56	0.48	-3.	-20.	1.50
C1	C30/37	-1.56	-0.48	8.1	0.	1.50
R8	ACIER III	-1.63	0.42	-2.3	-449.6	1.15
R8	ACIER III	-1.63	-0.42	7.3	449.6	1.15

État limite "!ELU"

Efforts intérieurs N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Elongation et courbures ε_x [‰]	χ_y [km⁻¹]	χ_z [km⁻¹]	Rigidités N/ε_x [kN]	M_y/χ_y [kNm²]	M_z/χ_z [kNm²]
-7270.7	4325.7	479.2	1.8	11.4	-0.6	3952505.57	378359.09	743550.73



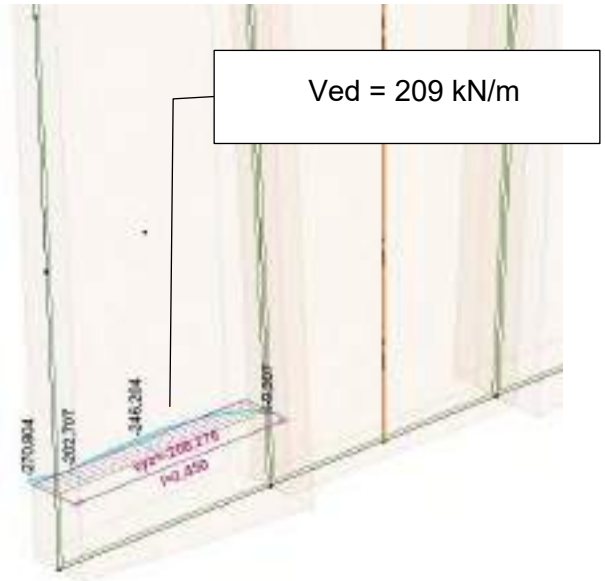
10.10.5. Vérification effort tranchant en pied de pile

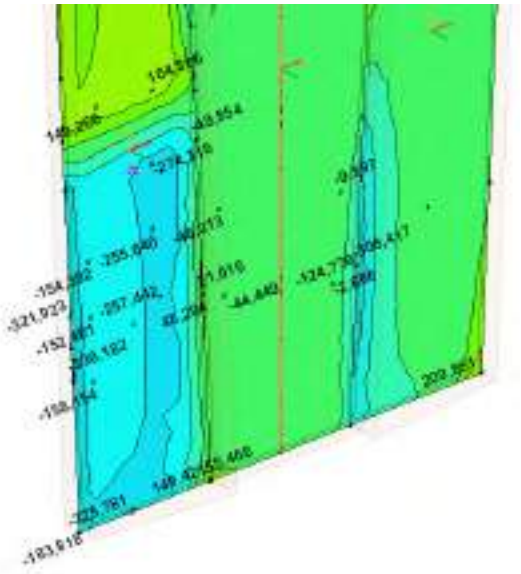


La partie gauche de l'élément de bord de la pile n'est pas armé d'armatures d'effort tranchant.

Epaisseur d'élement de pile : 50 à 100 cm

Effort tranchant sur la hauteur de la pile (relevé horizontalement) :





$V_{Rd,c} = 355\ kN/m$ > V_{Ed} = 209 kN/m ; n = 0,59 → ***Vérifié***

Effort tranchant agissant :		V_{Ed} =	[kN]	209.00			
RESISTANCE A L'EFFORT TRANCHANT DU BETON							
Armature plastique		k_d	[-]	0.37	SIA 262	§ 4.3.3.2.1	36
Armature élastique		k_d	[-]	0.70	SIA 262	§ 4.3.3.2.1	36
Hauteur statique efficace		d_v	[mm]	466.00			
Déformation spécifique (armature domaine plast		ε_v	[-]	0.00366	SIA 262	§ 4.3.3.2.2	39
Déformation spécifique (armature domaine élast		ε_v	[-]	0.00093	SIA 262	§ 4.3.3.2.2	38
		k_g	[-]	1.00	SIA 262	§ 4.3.3.2.1	37
Effort tranchant résistant (plastique) :		V_{Rd} =	[kN]	188.72			
Effort tranchant résistant (élastique) :		V_{Rd} =	[kN]	355.91			
Taux d'exploitation :		**n =**	**[-]**	**0.59**			

10.11. Vérification – Pile P90 - Pont 3b

10.11.1. Prise en compte des excentricités

Les excentricités ont une grande influence au niveau du choc ferroviaire. Selon le tableau repris en partie du chapitre 6.4.2, les sollicitations suivantes sont majorées des efforts dus aux excentricités.

	Mz (kNm)	My (kNm)	Vz (kN)	Vy (kN)	Nx (kN)
Cas choc parallèle – au niveau du choc	3023	760	431	997	4870
Cas choc perpendiculaire – au niveau du choc	932	955	520	348	4790

Cas de choc parallèle :
M_Y = 760 kNm ; M_Z = 3023 kNm
Hauteur pile = 8,47 m
N_{Ed} = 5210 kN (valeur relevée en tête de pile représentée comme une poutre virtuelle dans le modèle Axis)

dy = 0,51 m ; dy' = 0,11 m
dz = 2,00 m ; dz' = 0,12 m

$$e0Y = \max(0{,}073\,;\,0{,}017) = 0{,}017\ m$$
$$e0Z = \max(0{,}073\,;\,0{,}067) = 0{,}067\ m$$

$$e1Y = \frac{760}{5210} = 0{,}146\ m$$
$$e1Z = \frac{3023}{5210} = 0{,}580\ m$$

$$e2Y = \frac{2 \times 450}{205000 \times (0{,}51 - 0{,}11)} \times \frac{8{,}47^2}{\pi^2} = 0{,}080\ m$$
$$e2Z = \frac{2 \times 450}{205000 \times (2{,}00 - 0{,}12)} \times \frac{8{,}47^2}{\pi^2} = 0{,}017\ m$$

M_Y = 5210 x (0,017+0,146+0,080) = 1266 kNm
M_Z = 5210 x (0,067+0,580+0,017) = 3460 kNm

Cas de choc perpendiculaire :
M_Y = 955 kNm ; M_Z = 932 kNm
Hauteur pile = 8,47 m
N_{Ed} = 5150 kN (valeur relevée en tête de pile représentée comme une poutre virtuelle dans le modèle Axis)

dy = 0,51 m ; dy' = 0,11 m
dz = 2,00 m ; dz' = 0,12 m

$$e0Y = \max(0{,}073\,;\,0{,}017) = 0{,}017\ m$$
$$e0Z = \max(0{,}073\,;\,0{,}067) = 0{,}067\ m$$

$$e1Y = \frac{955}{5150} = 0{,}186\ m$$
$$e1Z = \frac{932}{5150} = 0{,}181\ m$$

$$e2Y = \frac{2 \times 450}{205000 \times (0{,}51 - 0{,}11)} \times \frac{8{,}47^2}{\pi^2} = 0{,}080\ m$$
$$e2Z = \frac{2 \times 450}{205000 \times (2{,}00 - 0{,}12)} \times \frac{8{,}47^2}{\pi^2} = 0{,}017\ m$$

M_Y = 5150 x (0,017+0,186+0,080) = 1458 kNm
M_Z = 5150 x (0,067+0,181+0,017) = 1365 kNm

10.11.2. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire parallèle – En pied de pile

Sollicitations / Taux d'exploitation: eff(M,N)=0.29 admissible

No	AP	P	Flexion et effort normal N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	eff(M,N) [-]	Effort tranchant et torsion V_y [kN]	V_z [kN]	T [kNm]	eff(V,T) [-]	Section complète eff(M,N,V,T) [-]
1	!ELU		-5230.0	890.0	1052.0	0.29					

Paramètres d'analyse !ELU Norme: SIA

ID	σ-ε-Diagramme c	s	p	M	Déf. limite ε_{c1d} [‰]	ε_{c2d} [‰]	ε_{sud} [‰]	σ_s [N/mm²]	Facteurs de résistance γ_c [-]	γ_s [-]	γ_p [-]	γ_M [-]	Divers α [-]	φ [-]
!ELU	4/0	1	1	1	-2.	-3.	20.		1.5	1.15	1.15	1.05	45.	0.

Contraintes et dilatations extrêmes

Nom	Classe	y_E [m]	z_E [m]	ε [‰]	σ_d [N/mm²]	γ [-]
C1	C30/37	0.42	0.31	-3.	-20.	1.50
C1	C30/37	-0.42	-0.31	1.6	0.	1.50
R3	ACIER III	0.5	0.24	-2.6	-449.6	1.15
R5	ACIER III	-0.49	-0.24	1.2	244.7	1.15

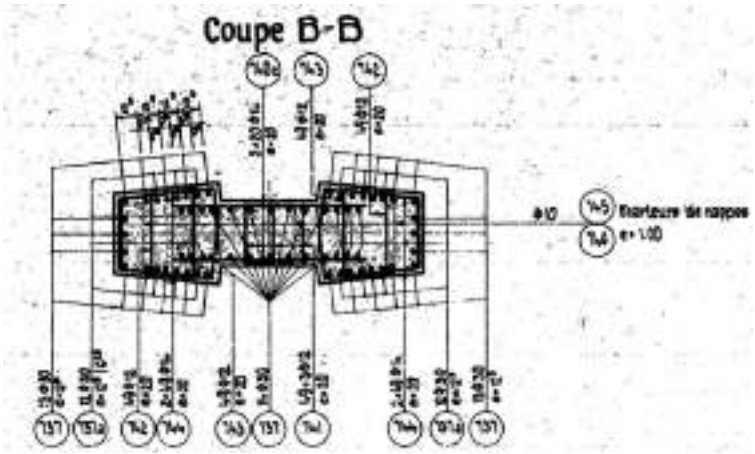
État limite "!ELU"

Efforts intérieurs N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Élongation et courbures ε_x [‰]	χ_y [km⁻¹]	χ_z [km⁻¹]	Rigidités N/ε_x [kN]	M_y/χ_y [kNm²]	M_z/χ_z [kNm²]
-17741.	3018.5	3567.6	-0.7	6.6	0.6	25144239.2	455844.43	6196216.33

Efforts internes comme un couple de forces :

Efforts intérieurs de traction et compression	Sct princip. [kN]	Armature [kN]	Somme [kN]	Moments M	Unité [kNm]	Valeurs géométriques z	Unité [m]	x_c d	Unité [m]
Compr. F_c=	-11043.8	-8408.5	-20052.3	M_c=	-2761.1	z_c=	0.14	x_c =	0.43
Tract. F_s=	0.	2311.3	2311.3	M_s =	-555.1	z_s =	0.24	d =	0.59
N =			-17741.	M =	-3316.2	z =	0.38	x/d =	0.77

10.11.3. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire parallèle - En pied de pile



Epaisseur de pile 40 à 60 cm

a_{sw} = 1100 mm²/m (7 brins Ø12 + 2 brins Ø14)
e_{long} = 200 mm
z = 360 mm
α = 30°

$$V_{Rd,s} = \frac{1100}{200} \times 360 \times 500 \times \frac{1}{\tan(30°)} = 1714\ kN/m$$

$V_{Rd,s}$ = 1714 kN/m > V_{Ed} = 366 kN/m ; n = 0,22 → ***Vérifié***

10.11.4. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire parallèle – Au niveau du choc

Sollicitations / Taux d'exploitation: eff(M,N)=0.46 admissible

No	AP	P	Flexion et effort normal N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	eff(M,N) [-]	Effort tranchant et torsion V_y [kN]	V_z [kN]	T [kNm]	eff(V,T) [-]	Section complète eff(M,N,V,T) [-]
1	!ELU		-4879.0	1266.0	3460.0	0.46					

Paramètres d'analyse !ELU Norme: SIA

ID	G-ε-Diagramme c	s	p	M	Déf. limite ε_{c1d} [‰]	ε_{c2d} [‰]	ε_{sd} [‰]	σ_s [N/mm²]	Facteurs de résistance γ_c [-]	γ_s [-]	γ_p [-]	γ_M [-]	Divers α [-]	φ [-]
!ELU	4/0	1	1	1	-2.	-3.	20.		1.5	1.15	1.15	1.05	45.	0.

Contraintes et dilatations extrêmes

Norm	Classe	y_0 [m]	z_0 [m]	ε [‰]	σ_0 [N/mm²]	γ [-]
C1	C30/37	1.07	0.25	-3.	-20.	1.50
C1	C30/37	-1.05	-0.25	2.5	0.	1.50
R3	ACIER III	1.	0.2	-2.6	-449.6	1.15
R5	ACIER III	-0.99	-0.2	2.1	434.6	1.15

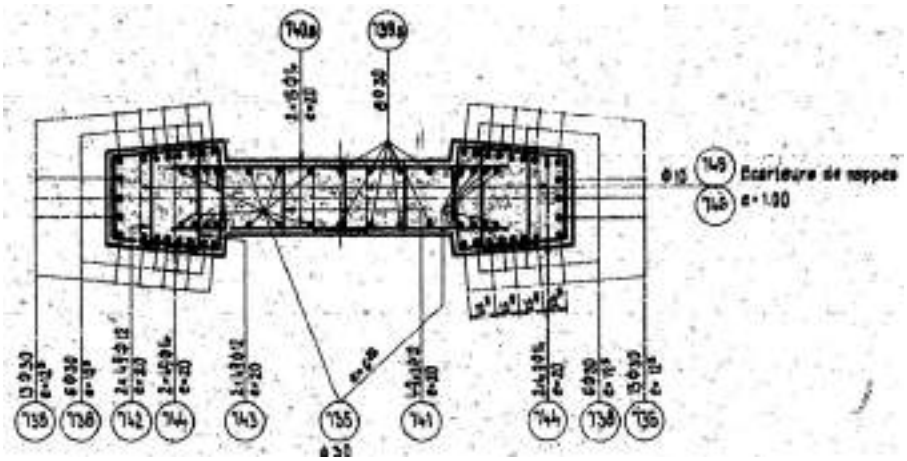
État limite "!ELU"

Efforts intérieurs N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Élongation et courbures ε_s [‰]	χ_y [km⁻¹]	χ_z [km⁻¹]	Rigidités N/ε_s [kN]	M_y/χ_y [kNm²]	M_z/χ_z [kNm²]
-10628.	2762.8	7550.3	-0.2	6.2	1.1	44623000.3	443017.71	6650975.9

Efforts internes comme un couple de forces :

Efforts intérieurs de traction et compression	Sct princip. [kN]	Armature [kN]	Somme [kN]	Moments M	Unité [kNm]	Valeurs géométriques z	Unité [m]	x, d	Unité [m]
Compr. F_c=	-8721.5	-6185.7	-14907.2	M_c=	-2879.4	z_c=	0.19	x_c =	0.47
Tract. F_s=	0.	4279.2	4279.2	M_s =	-1190.9	z_s =	0.28	d =	0.71
N =			-10628.	M =	-4070.3	z =	0.47	x/d =	0.66

10.11.5. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire parallèle - Au niveau du choc



Epaisseur de pile 40 à 60 cm

a_{sw} = 1100 mm²/m (7 brins Ø12 + 2 brins Ø14)
e_{long} = 200 mm
z = 410 mm
α = 30°

$$V_{Rd,s} = \frac{1100}{200} \times 410 \times 500 \times \frac{1}{\tan(30°)} = 1952\ kN/m$$

$V_{Rd,s}$ = 1952 kN/m > V_{Ed} = 431 kN/m ; n = 0,22 → ***Vérifié***

10.11.6. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire perpendiculaire – En pied de pile

Sollicitations / Taux d'exploitation: eff(M,N) =0.33 admissible

No	AP	P	Flexion et effort normal N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	eff(M,N) [-]	Effort tranchant et torsion V_y [kN]	V_z [kN]	T [kNm]	eff(V,T) [-]	Section complète eff(M,N,V,T) [-]
1	ELU		-5150.0	1082.0	882.0	0.33					

Paramètres d'analyse ELU Norme: SIA

ID	σ-ε-Diagramme c	s	p	M	Déf. limite ε_{c1u} [‰]	ε_{c2u} [‰]	ε_{sd} [‰]	σ_p [N/mm²]	Facteurs de résistance γ_c [-]	γ_s [-]	γ_p [-]	γ_u [-]	Divers α [-]	φ [-]
ELU	4/0	1	1	1	-2.	-3.	20.		1.5	1.15	1.15	1.05	45.	0.

Contraintes et dilatations extrêmes

Nom	Classe	y_e [m]	z_e [m]	ε [‰]	σ_d [N/mm²]	γ [-]
C1	C30/37	0.43	0.31	-3.	-20.	1.50
C1	C30/37	-0.43	-0.31	1.9	0.	1.50
R3	ACIER II	0.5	0.24	-2.6	-449.6	1.15
R5	ACIER II	-0.49	-0.24	1.4	289.9	1.15

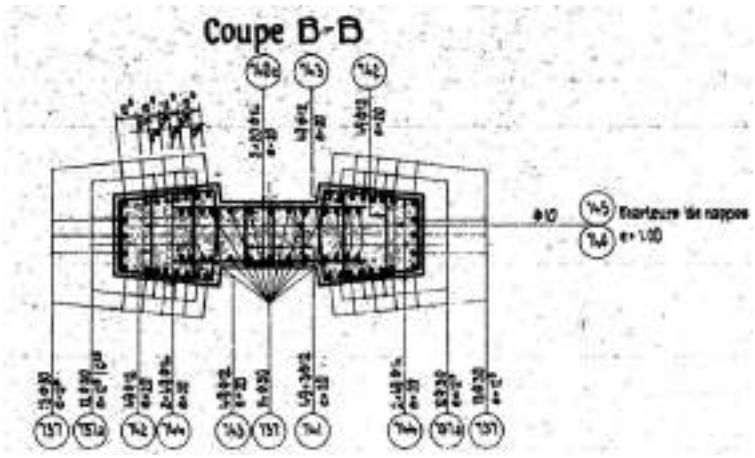
État limite "ELU"

Efforts intérieurs N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Élongation et courbures ε_s [‰]	χ_y [km-1]	χ_z [km-1]	Rigidités N/ε [kN]	M_y/χ_y [kNm²]	M_z/χ_z [kNm²]
-15690.1	3296.	2686.4	-0.6	7.2	0.4	27502631.1	455589.01	6087015.43

Efforts internes comme un couple de forces :

Efforts intérieurs de traction et compression	Sct princip. [kN]	Armature [kN]	Somme [kN]	Moments M	Unité [kNm]	Valeurs géométriques z	Unité [m]	x, d	Unité [m]
Compr. F_c =	-10727.8	-8259.8	-18987.5	M_c =	-2748.7	z_c =	0.14	x_c =	0.41
Tract. F_s =	0.	3297.4	3297.4	M_s =	-706.	z_s =	0.21	d =	0.55
N =			-15690.1	M =	-3454.7	z =	0.36	x/d =	0.75

10.11.7. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire perpendiculaire - En pied de pile



Epaisseur de pile 40 à 60 cm

a_{sw} = 1100 mm²/m (7 brins Ø12 + 2 brins Ø14)
e_{long} = 200 mm
z = 360 mm
α = 30°

$$V_{Rd,s} = \frac{1100}{200} \times 360 \times 500 \times \frac{1}{\tan(30°)} = 1714\ kN/m$$

$V_{Rd,s}$ = 1714 kN/m > V_{Ed} = 403 kN/m ; n = 0,24 → ***Vérifié***

10.11.8. Vérification (M-N) – cas de choc ferroviaire perpendiculaire - Au niveau du choc

Sollicitations / Taux d'exploitation eff(M,N)=0.41 admissible

No	AP	P	Flexion et effort normal N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	eff(M,N) [-]	Effort tranchant et torsion V_y [kN]	V_z [kN]	T [kNm]	eff(V,T) [-]	Section complète eff(M,N,V,T) [-]
1	!ELU		-4790.0	1458.0	1365.0	0.41					

Paramètres d'analyse !ELU Norme: SIA

ID	σ-ε-Diagramme c	ε	β	M	Déf. limite ε_{c0} [‰]	ε_{c0} [‰]	ε_{yd} [‰]	σ_s [N/mm²]	Facteurs de résistance γ_c [-]	γ_s [-]	γ_θ [-]	γ_M [-]	Divers α [-]	φ [-]
!ELU	4/0	1	1	1	-2.	-3.	20.		1.5	1.15	1.15	1.05	45.	0.

Contraintes et dilatations extrêmes

Nom	Classe	y_0 [m]	z_0 [m]	ε [‰]	σ_d [N/mm²]	γ [-]
C1	C30/37	0.43	0.31	-3.	-20.	1.50
C1	C30/37	-0.43	-0.31	2.4	0.	1.50
R3	ACIER III	0.5	0.24	-2.5	-449.6	1.15
R5	ACIER III	-0.49	-0.24	1.9	395.5	1.15

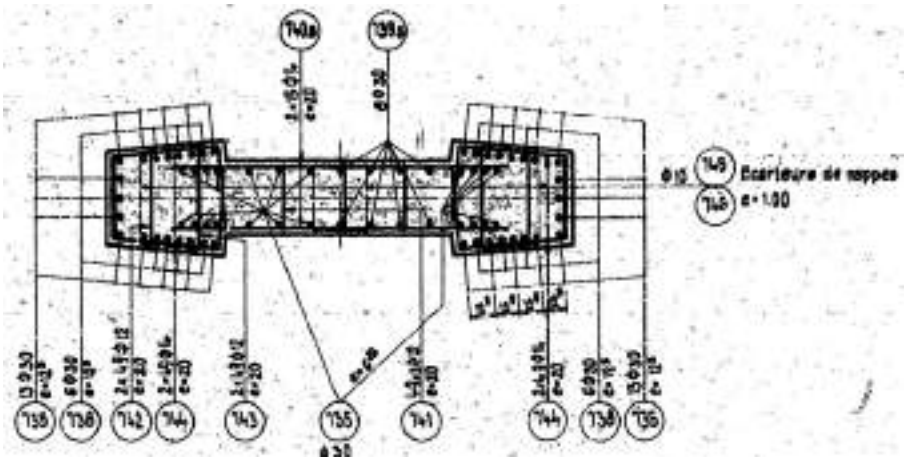
État limite "!ELU"

Efforts intérieurs N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Élongation et courbures ε_x [‰]	χ_y [km-1]	χ_z [km-1]	Rigidités N/ε_x [kN]	M_y/χ_y [kNm2]	M_z/χ_z [kNm2]
-11620.5	3536.5	3310.5	-0.3	8.0	0.6	39810709.1	442677.71	6001911.18

Efforts internes comme un couple de forces :

Efforts intérieurs de traction et compression	Sct princip. [kN]	Armature [kN]	Somme [kN]	Moments M	Unité [kNm]	Valeurs géométriques z	Unité [m]	x, d	Unité [m]
Compr. F_c=	-9202.5	-7571.4	-16773.8	M_c=	-2688.8	z_c=	0.16	x_c =	0.37
Tract. F_s=	0.	5153.3	5153.3	M_s =	-1067.3	z_s =	0.21	d =	0.55
N =			-11620.5	M =	-3756.1	z =	0.37	x/d =	0.69

10.11.9. Vérification effort tranchant – cas de choc ferroviaire perpendiculaire - Au niveau du choc



Epaisseur de pile 40 à 60 cm

a_{sw} = 1100 mm²/m (7 brins Ø12 + 2 brins Ø14)
e_{long} = 200 mm
z = 410 mm
α = 30°

$$V_{Rd,s} = \frac{1100}{200} \times 410 \times 500 \times \frac{1}{\tan(30°)} = 1952\ kN/m$$

$V_{Rd,s}$ = 1952 kN/m > V_{Ed} = 520 kN/m ; n = 0,27 → ***Vérifié***

10.12. Bases géotechniques – caractéristiques des appuis surfaciques des semelles – Institut Géotechnique SA

10.12.1. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles - Valeur verticale du ressort des murs de guidage ks,v – Mur voie 501 – 11.08.2026

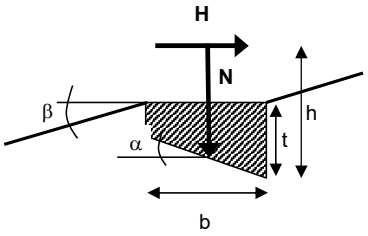
Tragfähigkeit und Verformung von Flachfundationen
Berechnung gemäss SIA 267:2003

Projekt Nr.: 39.0101
Projekttitel: Renens, murets-guides
Bauteil: Mur amont (voie 501)

1. Fundamentabmessungen & Lasten

		Geometrie	Einwirkungen charakt. (Gebrauch)	Einwirkungen design (Bemessung)
Länge l	[m]	110.00		
Breite b	[m]	1.40		
Einbindetiefe t	[m]	1.00		
Fundamentdicke d_l	[m]	0.20		
Sohlneigung a	[°]			
Elastizitätsmodul Beton	[MN/m^2]	30 000		
Normalkraft ständig N_G	[kN]		7 570	10219.5
Eigengewicht G	[kN]			0.0
Normalkraft veränderlich N_Q	[kN]			0.0
H-Last ständig H_G^b (parallel b)	[kN]			0.0
H-Last veränderlich H_Q^b (parallel b)	[kN]		2857	4000.0
Hebelarm h	[m]			
H-Last ständig H_G^l (parallel l)	[kN]			0.0
H-Last veränderlich H_Q^l (parallel l)	[kN]			0.0
Hebelarm h	[m]			
ggf. seitliche Auflast	[kN/m^2]			0.0
ggf. zus. Aushubentlastung zu γ*t	[kN/m^2]			

Skizze der Abmessungen:



2. Bodenaufbau ab OK-Gelände

Geländeneigung b [°]

Beschreibung	*OK [m]*	*UK [m]*	*γ / γ' [kN/m^3]*	*φ' [°]*	*c' [kN/m^2]*	*M_E [MN/m^2]*	*M_E'/M_E*
Remblai	0	1	20.5	32.0	1.0	20	3.0
Remblai	1	1.2	20.5	32.0	1.0	20	3.0
Fluvio-glaciaire faciès fin	1.2	1.5	20.0	28.5	5.0	5	3.0
Fluvio-glaciaire faciès fin (nappe)	1.5	5	10.0	28.5	5.0	5	3.0
Fluvio-glaciaire faciès sableux (nappe)	5	15	10.0	31.0	1.0	30	3.0

Tragfähigkeit und Verformung von Flachfundationen
Berechnung gemäss SIA 267:2003

Projekt Nr.: 39.0101
Projekttitel: Renens, murets-guides
Bauteil: Mur amont (voie 501)

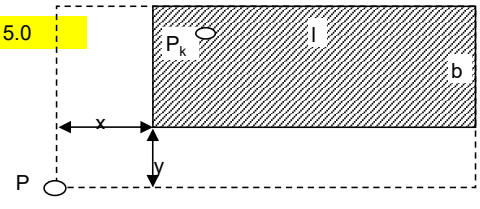
3. Setzungsberechnung
Grenztiefe für charakt. Punkt

Grenztiefe bei x Prozent von γ*z	[%]	20%
z=	[m]	3.50

Setzung

char. Punkt P_k	[cm]	1.0
Eckpunkt	[cm]	0.4
Mittelpunkt	[cm]	1.1
beliebiger Punkt P		
x	*0*	
y	*0*	
Setzung	*[cm]*	*0.4*

Kv = 5.0

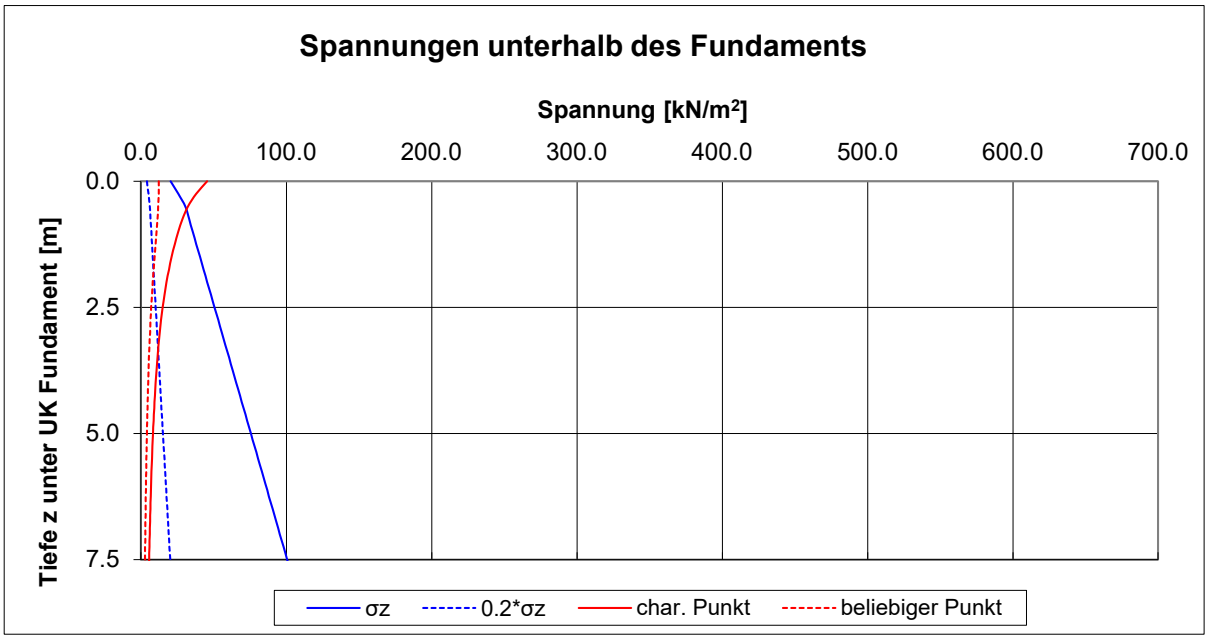


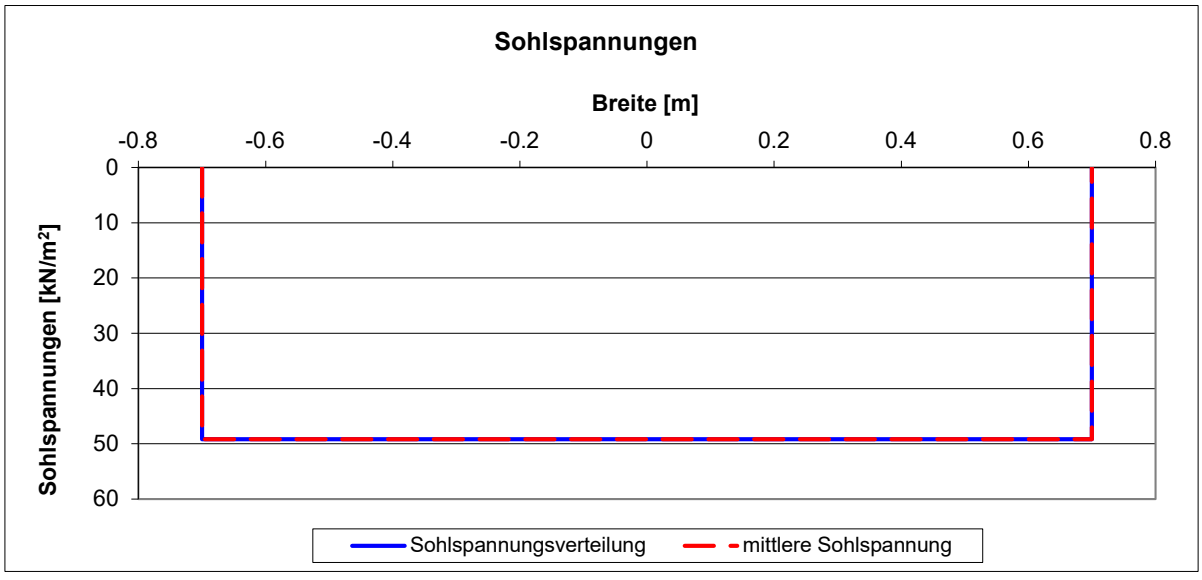
Tragfähigkeit und Verformung von Flachfundationen
Berechnung gemäss SIA 267:2003

Projekt Nr.: 39.0101
Projekttitel: Renens, murets-guides
Bauteil: Mur amont (voie 501)

4. Systemsteifigkeit Fundamentes

K_s	[-]	7.5131E-07
Verhalten Fundament		schlaff





10.12.2. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles - Valeur verticale du ressort des murs de guidage ks,v – Mur voie 300 – 11.08.2026

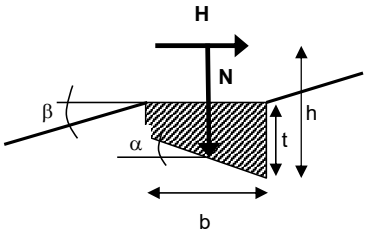
Tragfähigkeit und Verformung von Flachfundationen
Berechnung gemäss SIA 267:2003

Projekt Nr.: 39.0101
Projekttitel: Renens, murets-guides
Bauteil: Mur amont (voie 300)

1. Fundamentabmessungen & Lasten

		Geometrie	Einwirkungen charakt. (Gebrauch)	Einwirkungen design (Bemessung)
Länge l	[m]	110.00		
Breite b	[m]	1.40		
Einbindetiefe t	[m]	1.00		
Fundamentdicke d_l	[m]	0.20		
Sohlneigung a	[°]			
Elastizitätsmodul Beton	[MN/m^2]	30 000		
Normalkraft ständig N_G	[kN]		7 370	9949.5
Eigengewicht G	[kN]			0.0
Normalkraft veränderlich N_Q	[kN]			0.0
H-Last ständig H_G^b (parallel b)	[kN]			0.0
H-Last veränderlich H_Q^b (parallel b)	[kN]		2857	4000.0
Hebelarm h	[m]			
H-Last ständig H_G^l (parallel l)	[kN]			0.0
H-Last veränderlich H_Q^l (parallel l)	[kN]			0.0
Hebelarm h	[m]			
ggf. seitliche Auflast	[kN/m^2]			0.0
ggf. zus. Aushubentlastung zu γ*t	[kN/m^2]			

Skizze der Abmessungen:



2. Bodenaufbau ab OK-Gelände

Geländeneigung b [°] 0.0

Beschreibung	*OK [m]*	*UK [m]*	*γ / γ' [kN/m^3]*	*φ' [°]*	*c' [kN/m^2]*	*M_E [MN/m^2]*	*M_E'/M_E*
Remblai	0	1	20.5	32.0	1.0	20	3.0
Remblai	1	1.2	20.5	32.0	1.0	20	3.0
Fluvio-glaciaire faciès fin	1.2	1.5	20.0	28.5	5.0	5	3.0
Fluvio-glaciaire faciès fin (nappe)	1.5	3.5	10.0	28.5	5.0	5	3.0
Fluvio-glaciaire faciès sableux (nappe)	3.5	10	10.0	31.0	1.0	30	3.0

Tragfähigkeit und Verformung von Flachfundationen
Berechnung gemäss SIA 267:2003

Projekt Nr.: 39.0101
Projekttitel: Renens, murets-guides
Bauteil: Mur amont (voie 300)

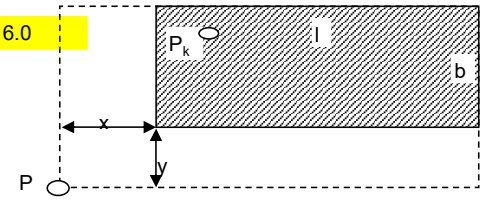
3. Setzungsberechnung
Grenztiefe für charakt. Punkt

Grenztiefe bei x Prozent von γ*z	[%]	20%
z=	[m]	3.50

Setzung

char. Punkt P_k	[cm]	0.8
Eckpunkt	[cm]	0.3
Mittelpunkt	[cm]	0.9
beliebiger Punkt P		
x	*0*	
y	*0*	
Setzung	*[cm]*	*0.3*

Kv = 6.0

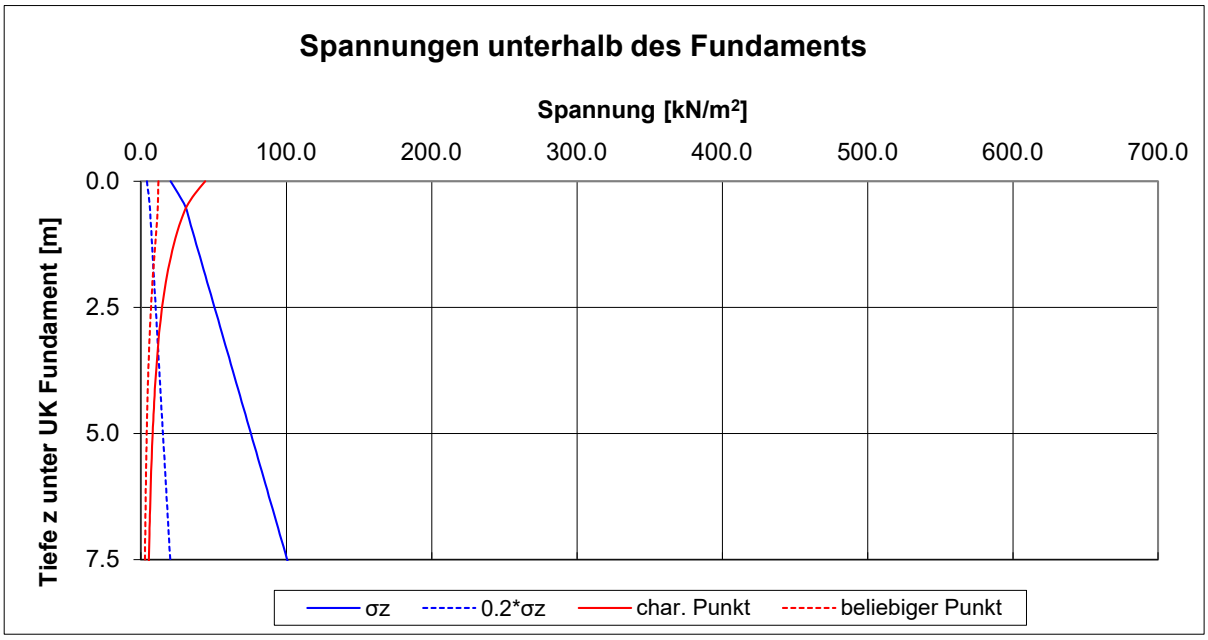


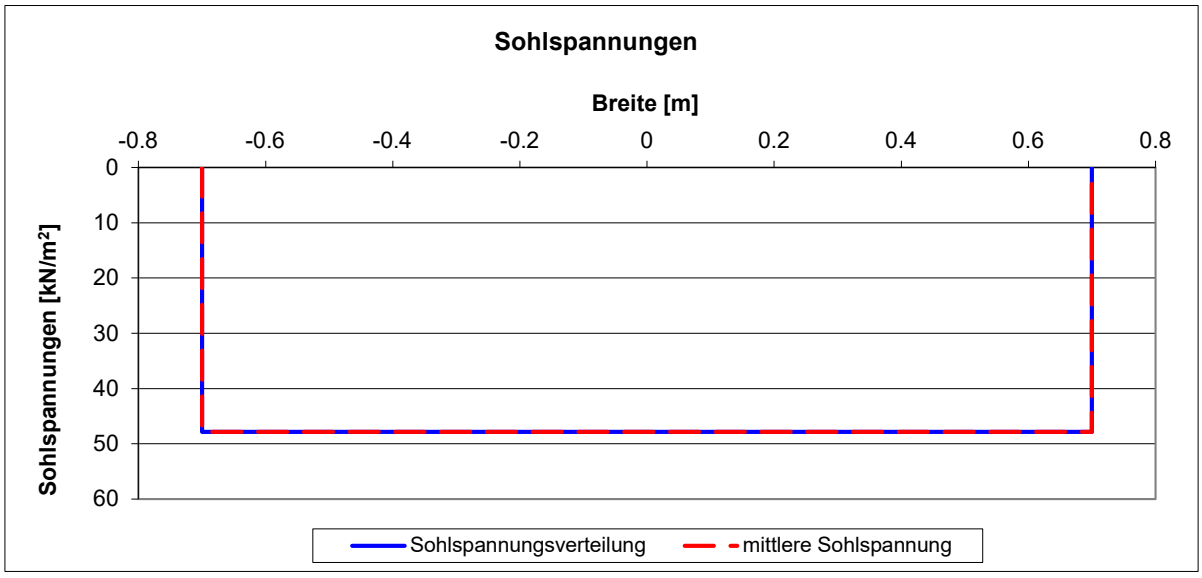
Tragfähigkeit und Verformung von Flachfundationen
Berechnung gemäss SIA 267:2003

Projekt Nr.: 39.0101
Projekttitel: Renens, murets-guides
Bauteil: Mur amont (voie 300)

4. Systemsteifigkeit Fundamentes

K_s	[-]	7.5131E-07
Verhalten Fundament		schlaff





10.12.3. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles - Valeur horizontale du ressort des murs de guidage ks,h – Murs voie 501 et 300 – 11.08.2026

Largeur de la fondation sollicitée : 3.00m

	ME (Mpa)	NSPT	Em (MN/m2)	Coefficients rhéologiques α	Es (MN/m2) Si B<=0.6m	Es (MN/m2) Si B>0.6m	kh (MN/m2/m)
Remblai	20	6	3.0	0.33	-	18.8	12.56
Fluvio-glaciaire faciès fin	5	5	2.5	0.50	-	10.2	6.80
Fluvio-glaciaire faciès sableux	30	10	5.0	0.33	-	31.4	20.93

Largeur de la fondation sollicitée : 4.00m

	ME (Mpa)	NSPT	Em (MN/m2)	Coefficients rhéologiques α	Es (MN/m2) Si B<=0.6m	Es (MN/m2) Si B>0.6m	kh (MN/m2/m)
Remblai	20	6	3.0	0.33	-	21.3	10.64
Fluvio-glaciaire faciès fin	5	5	2.5	0.50	-	11.2	5.59
Fluvio-glaciaire faciès sableux	30	10	5.0	0.33	-	35.5	17.73

Largeur de la fondation sollicitée : 5.00m

	ME (Mpa)	NSPT	Em (MN/m2)	Coefficients rhéologiques α	Es (MN/m2) Si B<=0.6m	Es (MN/m2) Si B>0.6m	kh (MN/m2/m)
Remblai	20	6	3.0	0.33	-	23.2	9.30
Fluvio-glaciaire faciès fin	5	5	2.5	0.50	-	12.0	4.79
Fluvio-glaciaire faciès sableux	30	10	5.0	0.33	-	38.7	15.50

kh : coefficient de réaction horizontale pour des sollicitations de courte durée

10.12.4. Caractéristiques des appuis surfaciques des semelles – Valeurs du frottement latéral q_s – 04.05.2026

De : Elodie Brunet-Manquat <elodie.brunet@geo-online.ch>
Envoyé : lundi 4 mai 2026 16:59
À : ATB SA, Robin Parent <robin.parent@atb-sa.ch>
Cc : Claude Girardin <claude.girardin@geo-online.ch>
Objet : RE: CFF Renens, Muret-guide

Salut Robin,

Comme convenu, je ne regarde pas les ressorts mais uniquement les valeurs de frottement latéral pour les pieux.

Concernant la méthodologie de réalisation, compte tenu des caractéristiques des terrains, il faut prévoir un tubage. Ou alors, il faudra un fluide pour assurer le maintien des terres (par ex. boue). Ci-dessous les valeurs pour le frottement latéral dans ces conditions :

Paramètre	Remblai	Fluvio-glaciaire faciès fin	Fluvio-glaciaire faciès sableux
Frottement latéral (kN/m2)	À négliger	0-10	45-55

Pour mobiliser plus de frottement, il faudrait faire des pieux à refoulement (p.ex. type Smartex), mais je ne sais pas si le type de machine est adapté aux conditions d'accès (alors que c'est déterminant pour ce projet) et il faudrait également avoir l'autorisation du service de l'environnement car en secteur Au de protection des eaux souterraines.

A disposition si nécessaire.
Meilleures salutations,
Elodie

Institut Géotechnique
Société anonyme
depuis 1962

Elodie Brunet-Manquat
Dipl. Ingénieure géotechnique
Institut Géotechnique SA
Rue du Vieux Moulin 4, 2854 Bassecourt
T: +41 32 461 20 48 D: +41 32 461 37 02
elodie.brunet@geo-online.ch

De : ATB SA, Robin Parent <robin.parent@atb-sa.ch>
Envoyé : lundi, 4 mai 2026 10:59
À : Elodie Brunet-Manquat <elodie.brunet@geo-online.ch>
Objet : TR: CFF Renens, Muret-guide

Salut Elodie,

Pourrais-tu estimer de manière prudente le qs (frottement latéral) des pieux (DN 400, forés non tubés) pour les 3 couches de sol, dans le tableau qui suit ?

A disposition

Robin Parent
Ingénieur

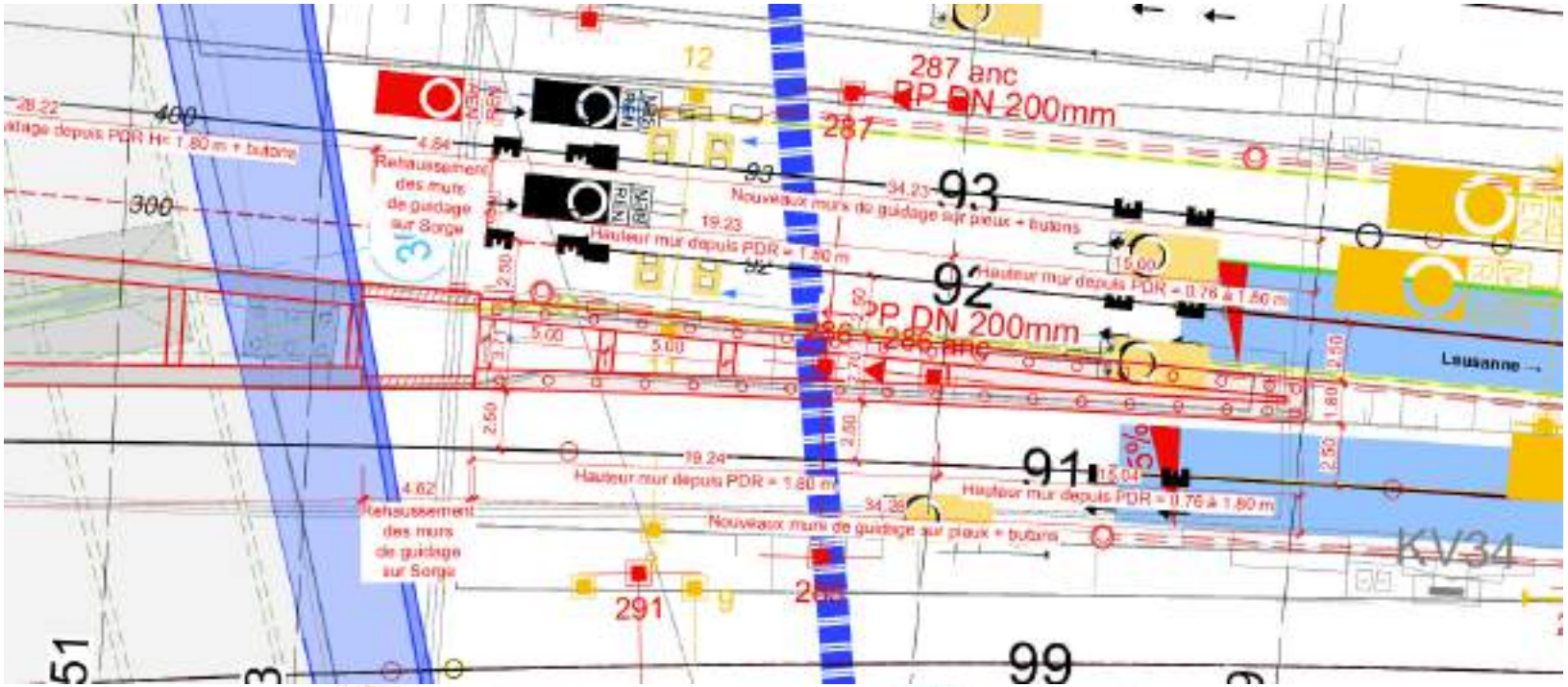
ATB SA

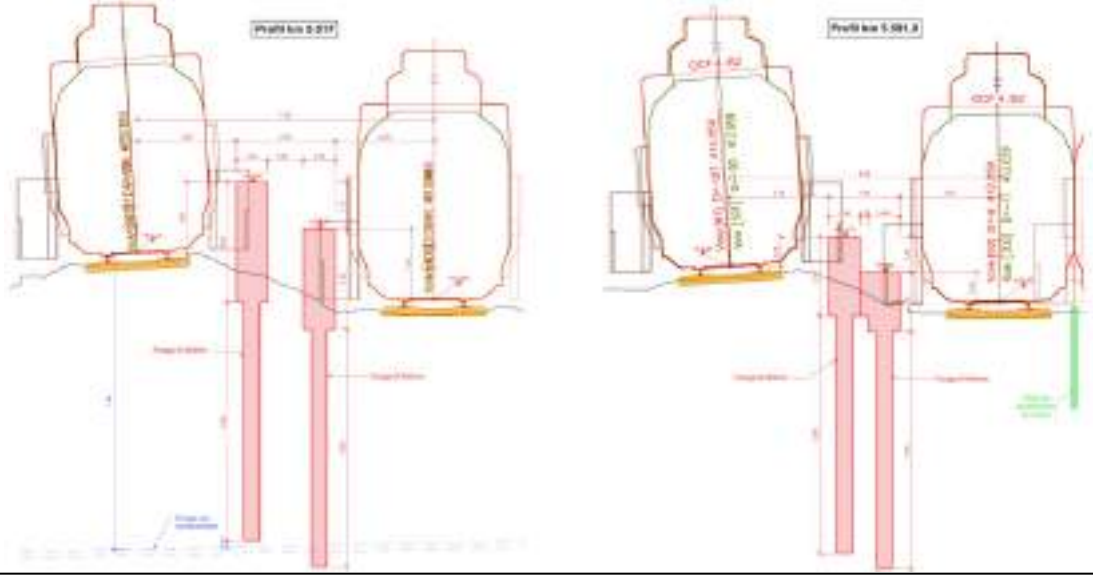
10.13. Bases géotechniques – Modèle EF 3D sur logiciel ZSoil – GeoMod SA – 11.08.2028

- Slides 1 – 40 : Présentation des résultats du modèle EF 3D réalisé sur logiciel ZSoil, selon les cas de charges présentés page 5 du rapport Geomod, et les caractéristiques de sol présentées en page 3.
- Slide 42 : Présentation du maillage
- Slide 43 : Position de la nappe considérée
- Slides 44-45 : Caractéristiques détaillées (paramètres HSM) des 2 couches de sol renseignées
- Slides 46-47 : Comparaison des résultats en déplaces d'un modèle de sol avec cohésion nulle et cohésion c=5kPa.
- Slides 48-49 : Justification du choix d'un modèle « piles » considéré dans les slides 1-40, par comparaison des déplacements entre modèle « piles » et modèle « pieux en éléments continus » (tenant compte de l'effort de groupe des pieux).

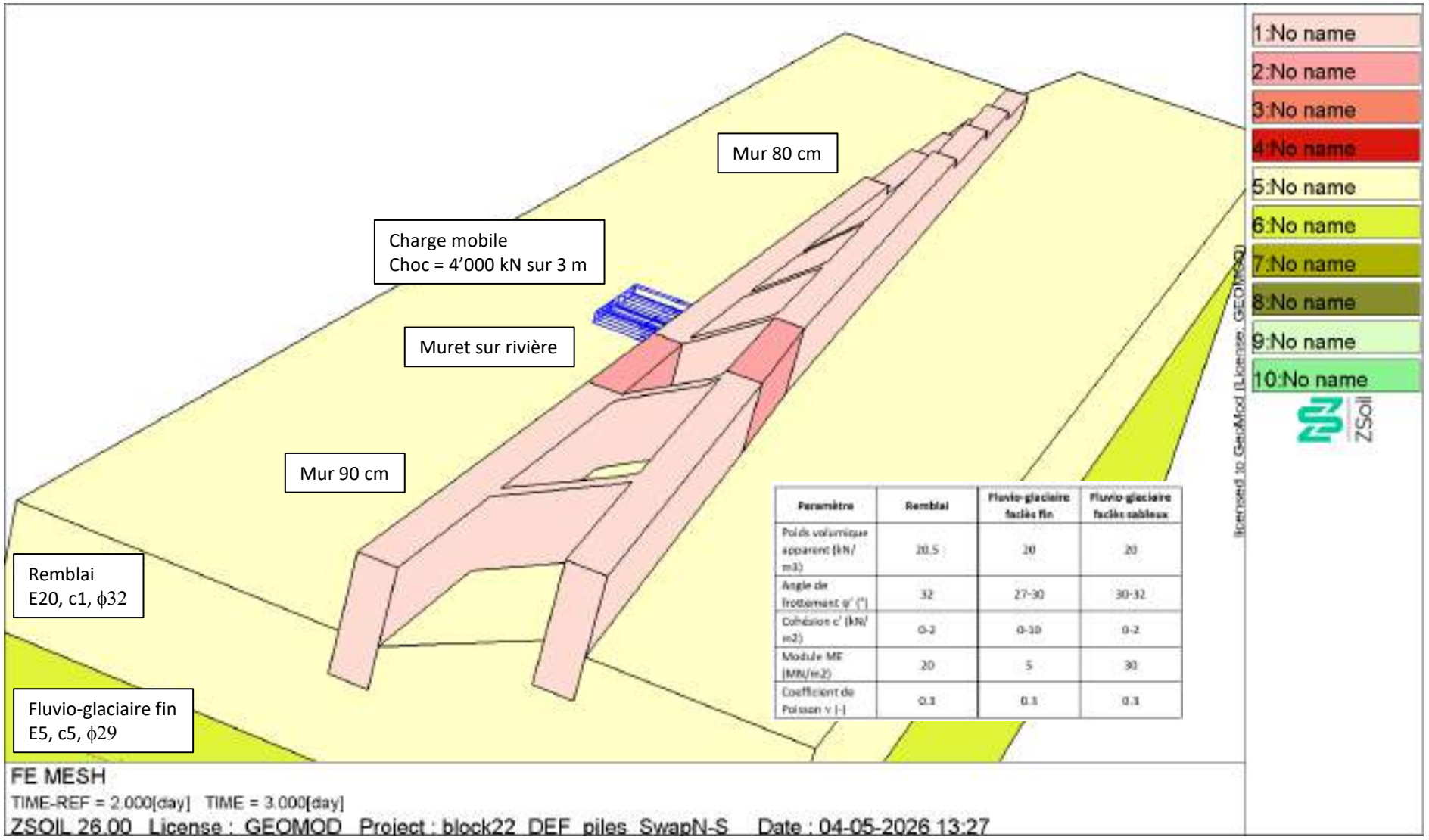
No. Mandat	:	1539
Mandant	:	ATB SA
Objet	:	Murets CFF - choc
Titre	:	Modèle EF 3D

Version	:	v5 avec compléments dès slide 41
Voir aussi	:	
Remarque	:	
Type	:	
Elaboration	:	S. Commend
Visa	:	
Collaboration	:	
Distribution	:	ATB SA
Date	:	11.08.2026
Lieu	:	Lausanne



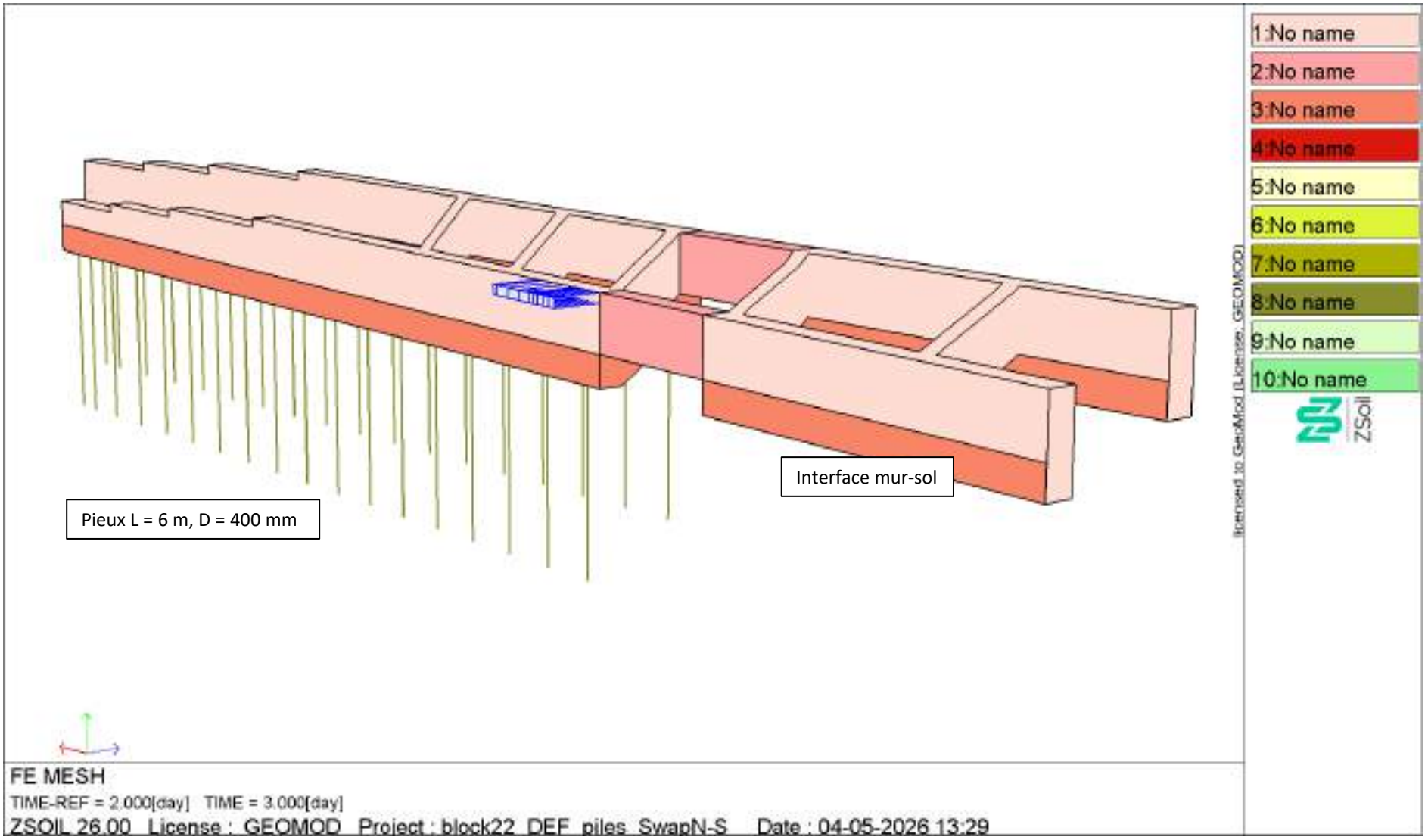


Données d'entrée (extrait, document ATB)



Paramètre	Remblai	Fluvio-glaciaire faciès fin	Fluvio-glaciaire faciès sableux
Poids volumique apparent (kN/m3)	20.5	20	20
Angle de frottement φ' (°)	32	27-30	30-32
Cohésion c' (kN/m2)	0-2	0-10	0-2
Module ME (MN/m2)	20	5	30
Coefficient de Poisson ν (-)	0.3	0.3	0.3

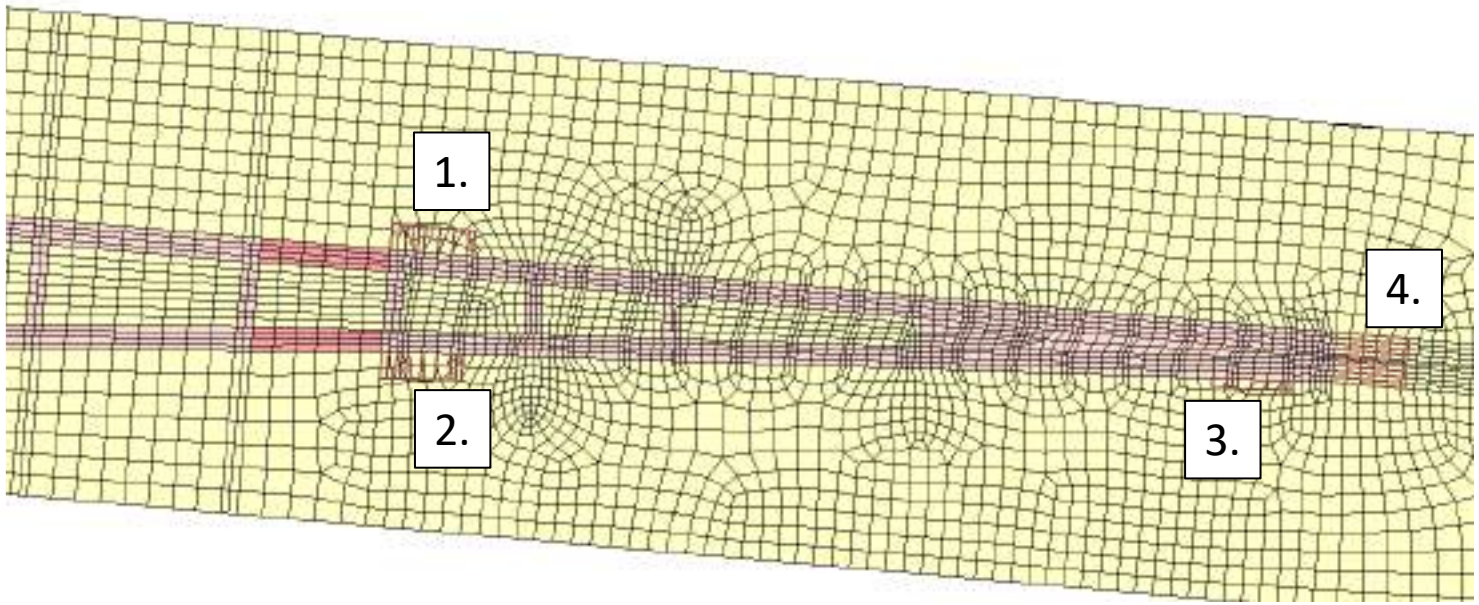
Modèle EF 3D, avec hypothèses sur la géologie et les paramètres géotechniques
HSM avec E(50) = E, E(ur) = 4 E

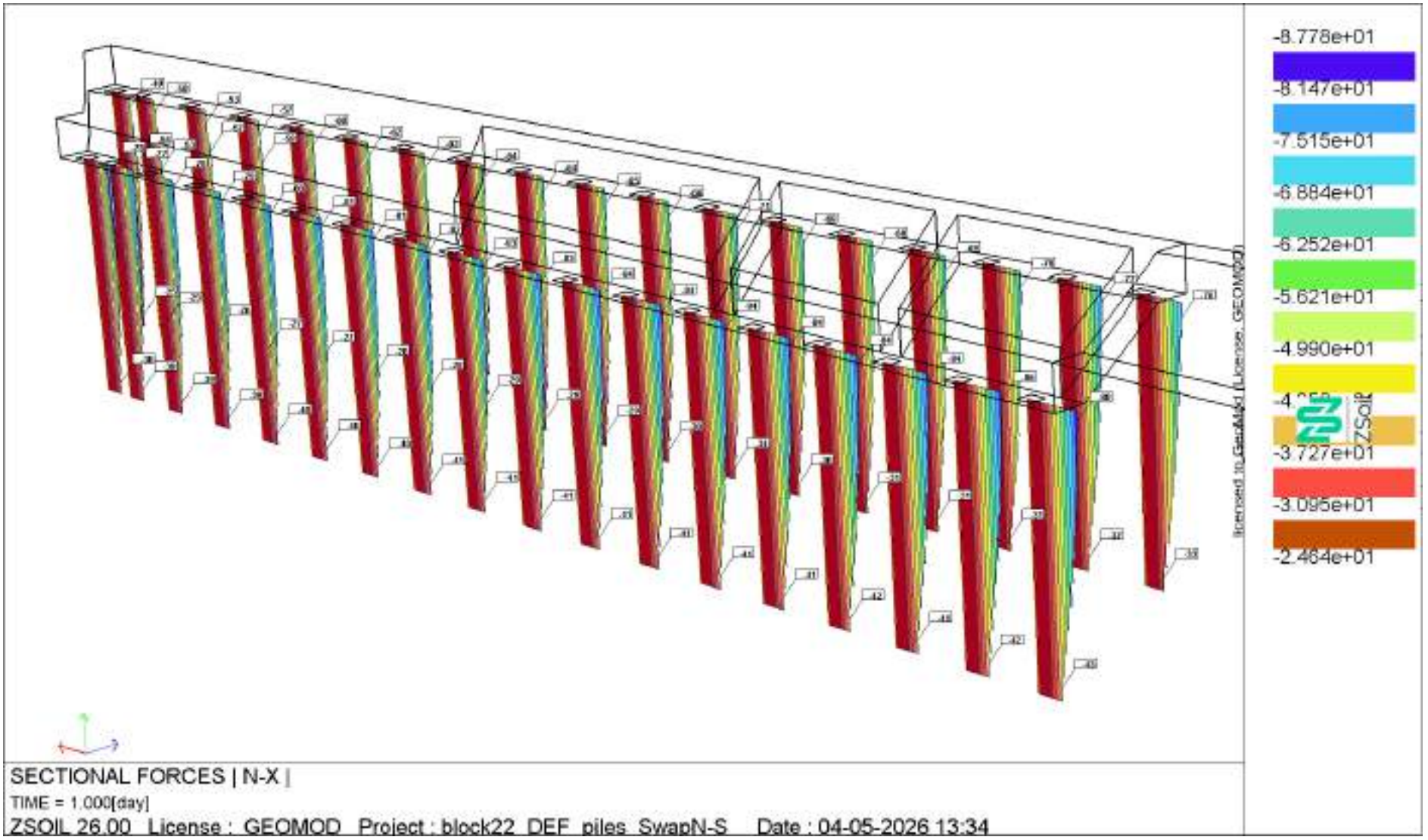


Structures
E(béton) admis = 20 GPa

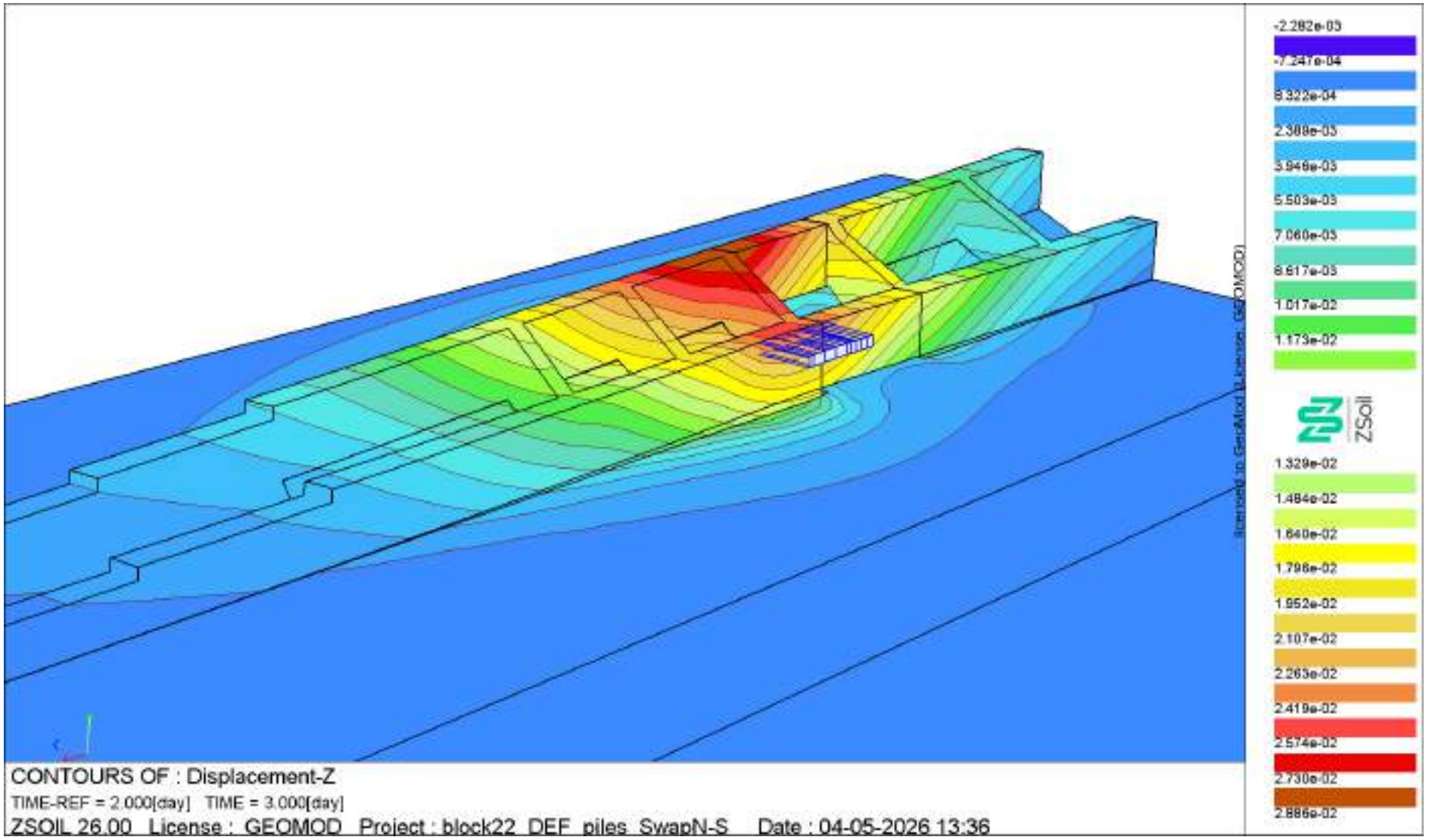
- Cas de charge

1. Q = 4000 kN sur 3 m, à l'aval (N), au bout du mur sur pieux
2. Q = 4000 kN sur 3 m, à l'amont (S), au bout du mur sur pieux
3. Q = 1500 kN sur 3 m, à l'amont (S), côté Lausanne
4. Q = 6000 kN, choc frontal contre le bout du mur aval

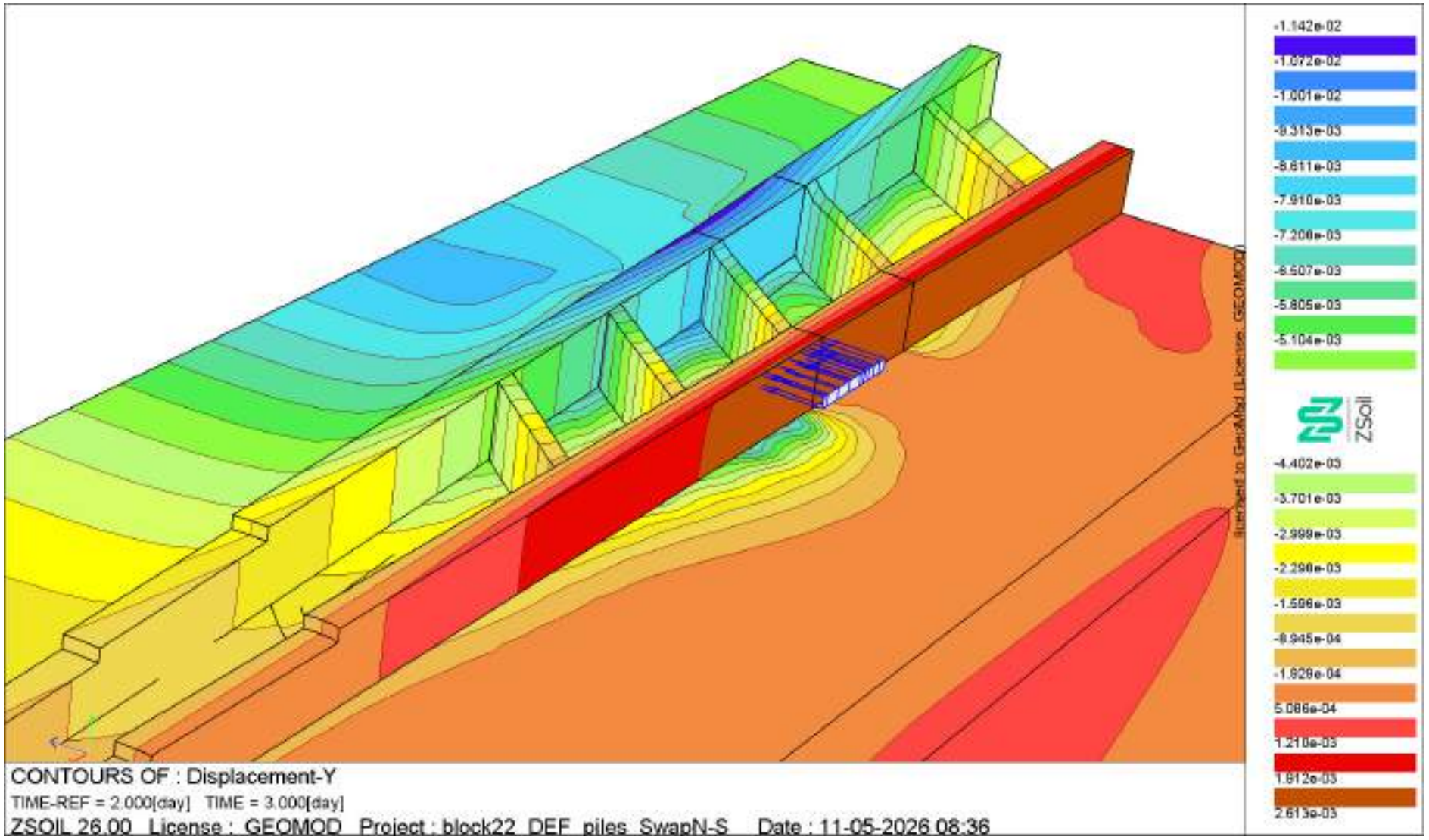




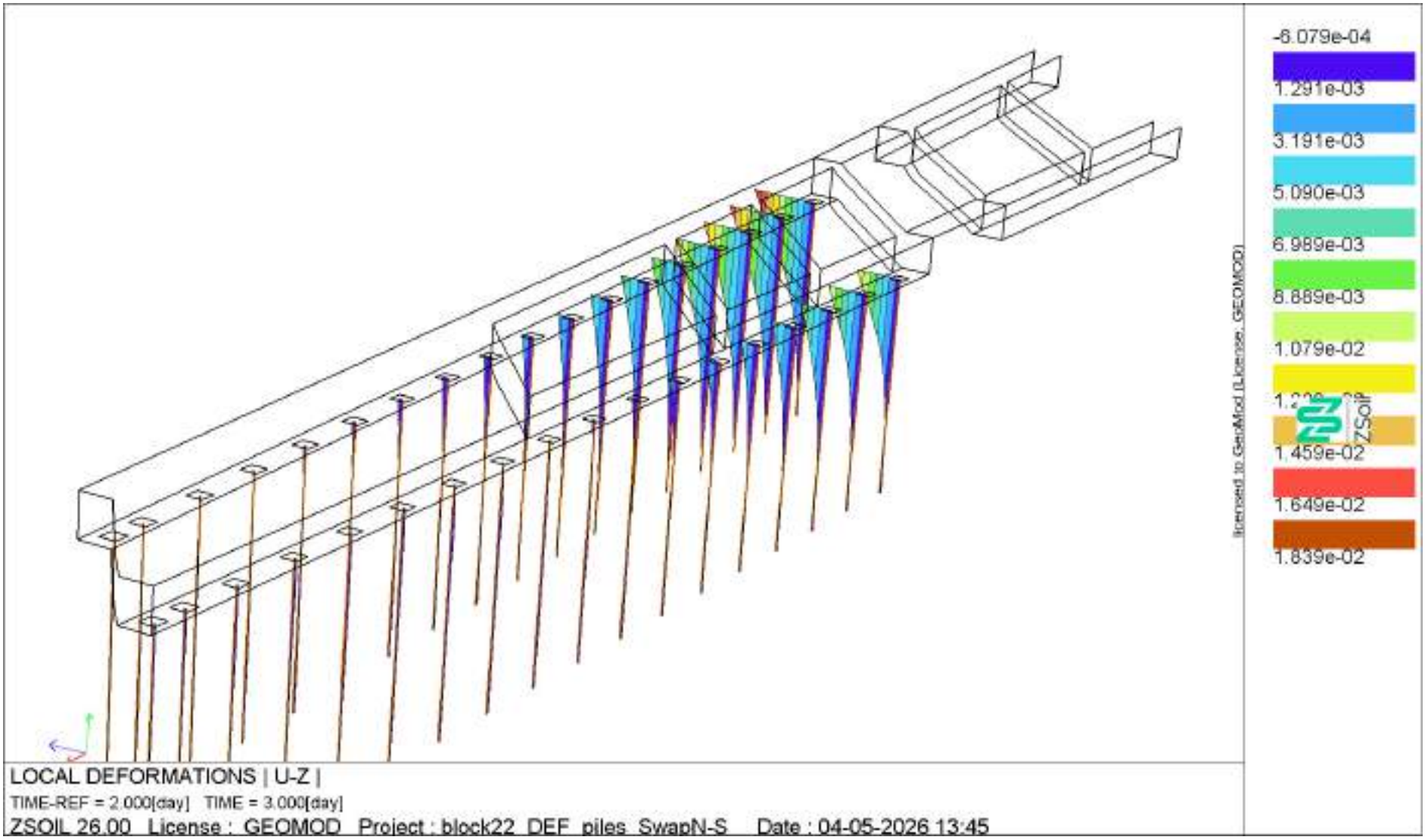
Effort normal dans les pieux (service) sous l'effet du poids propre uniquement, avant choc



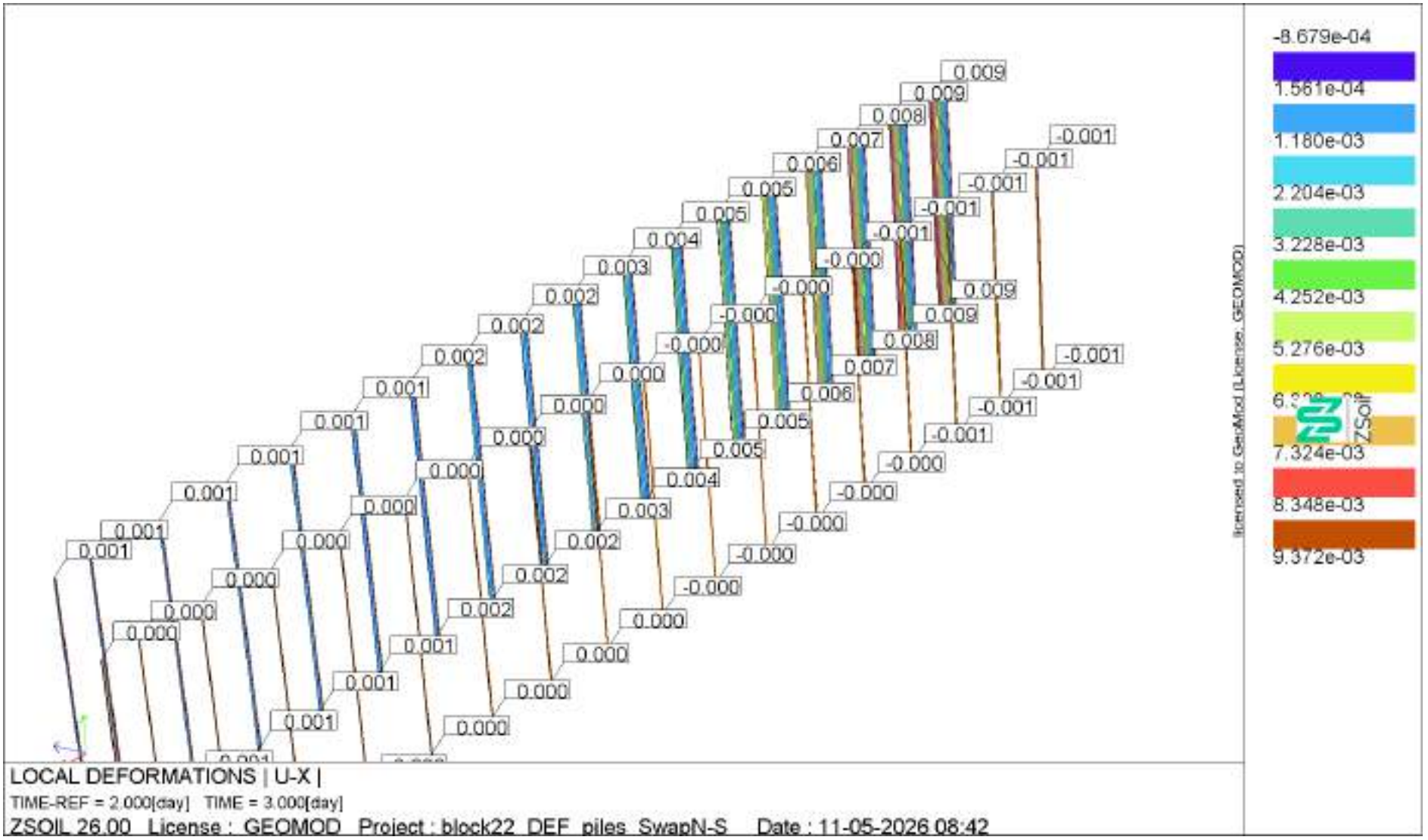
Cas de charge 1
Déplacements horizontaux et maille déformée x 20



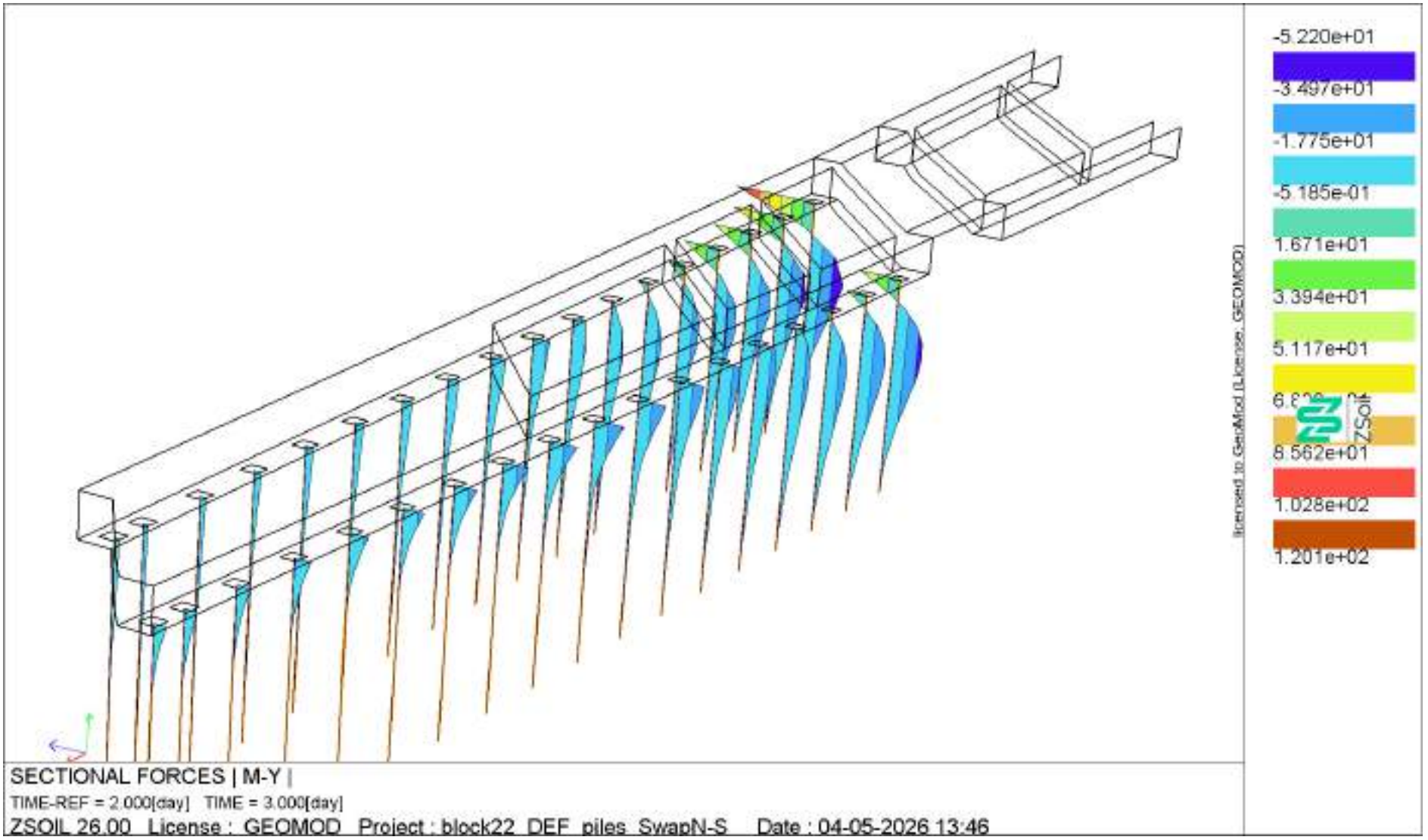
Cas de charge 1
Déplacements verticaux



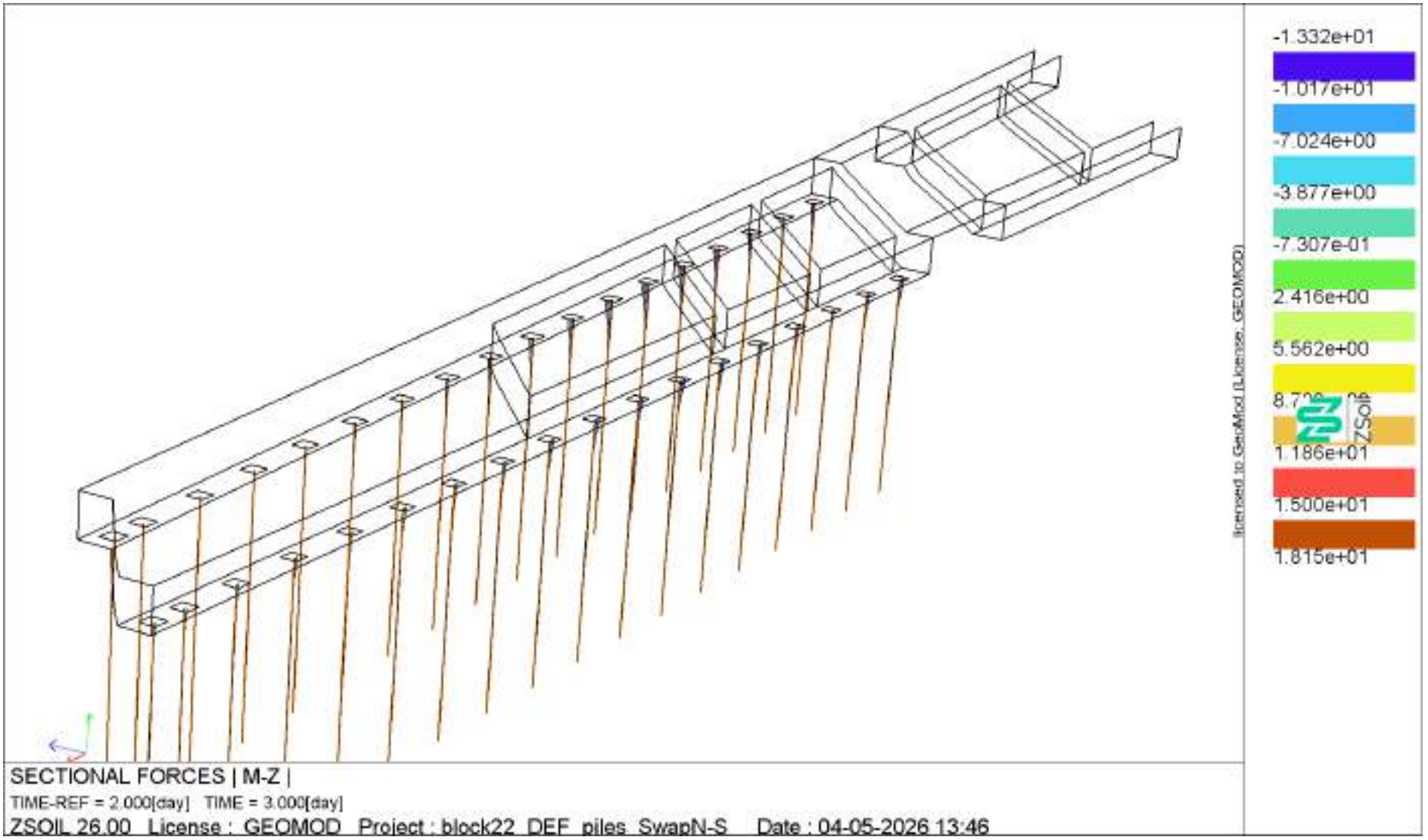
Cas de charge 1
Déplacement horizontal du pieu



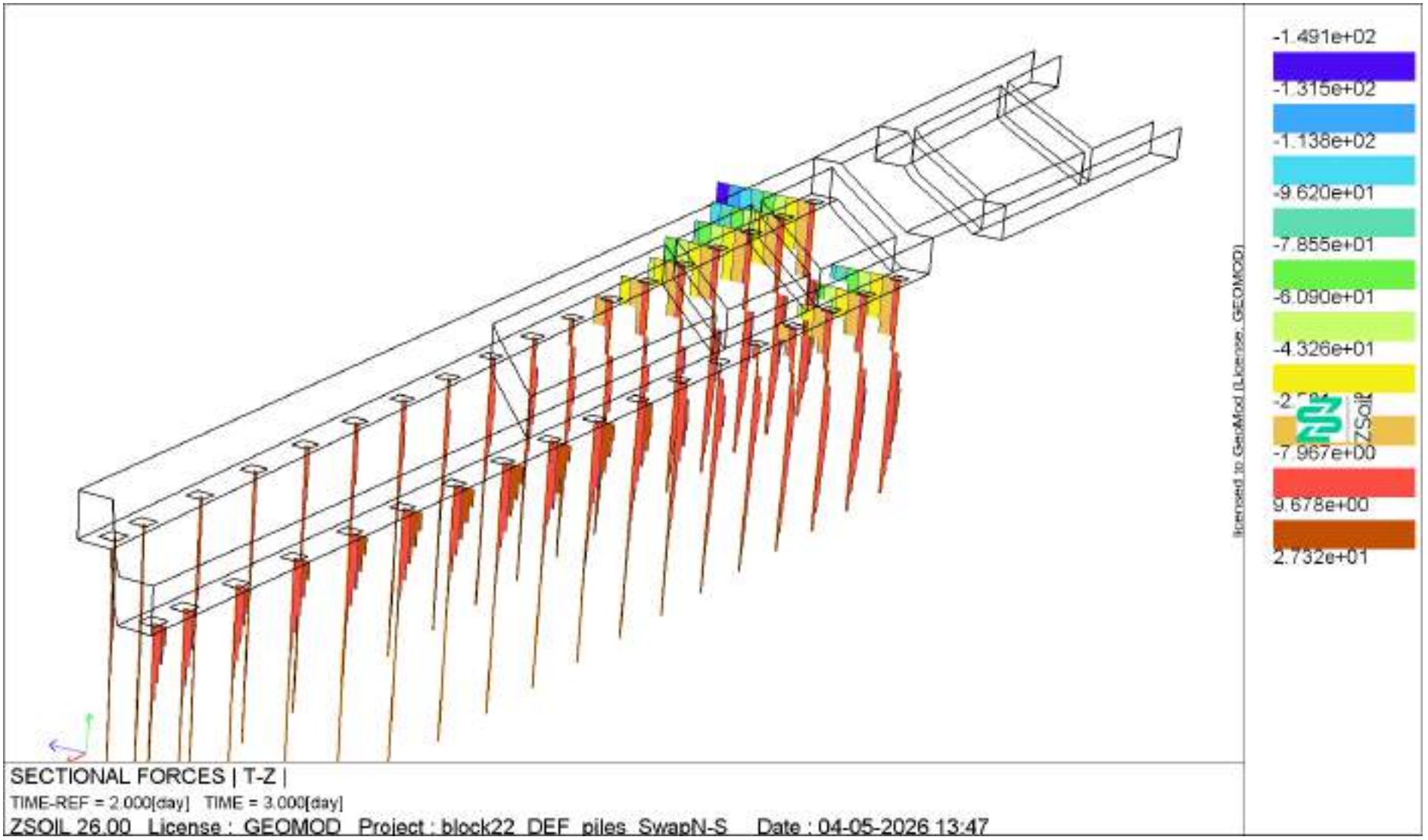
Cas de charge 1
Déplacement vertical (local) du pieu



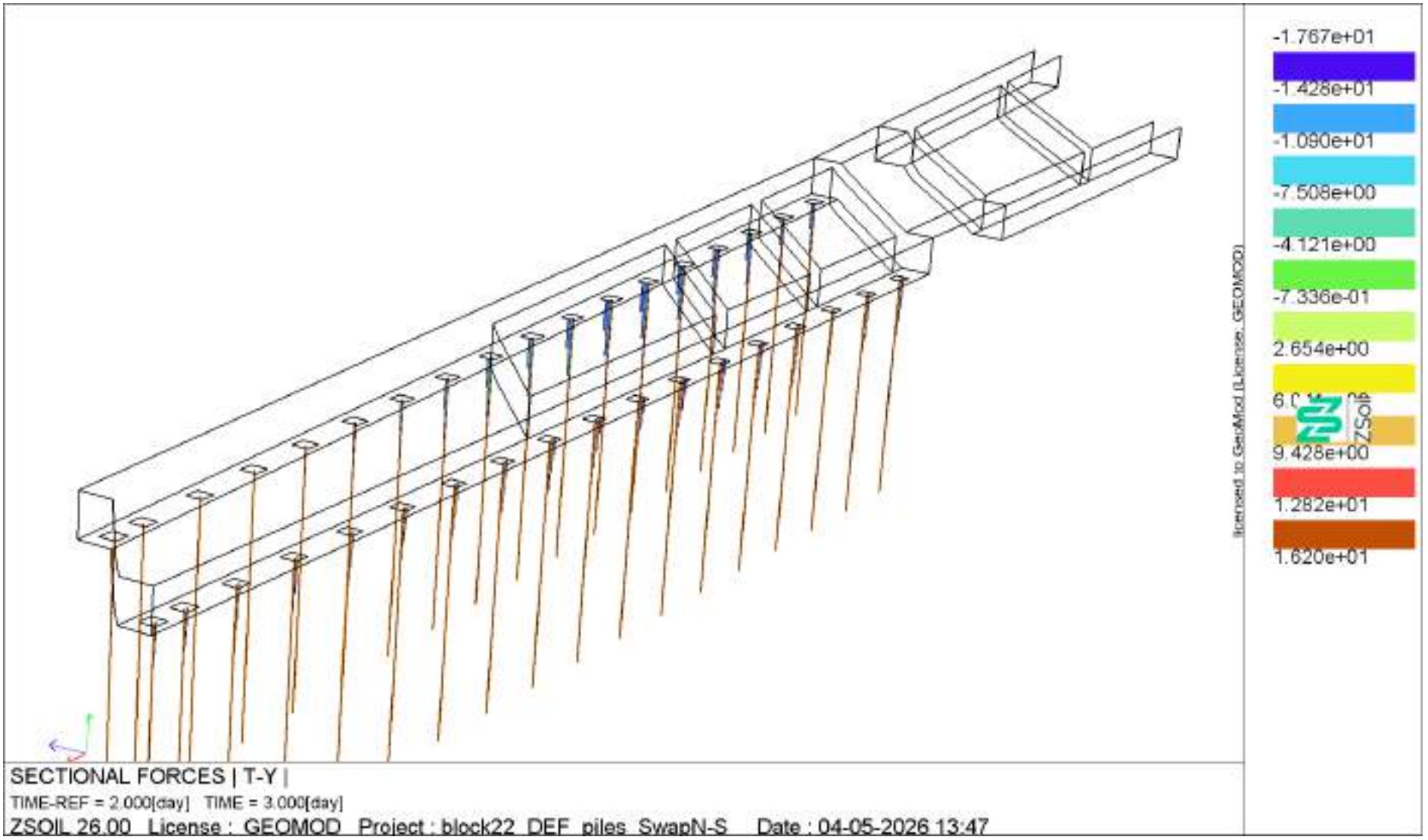
Cas de charge 1
Effort de flexion principal (service)



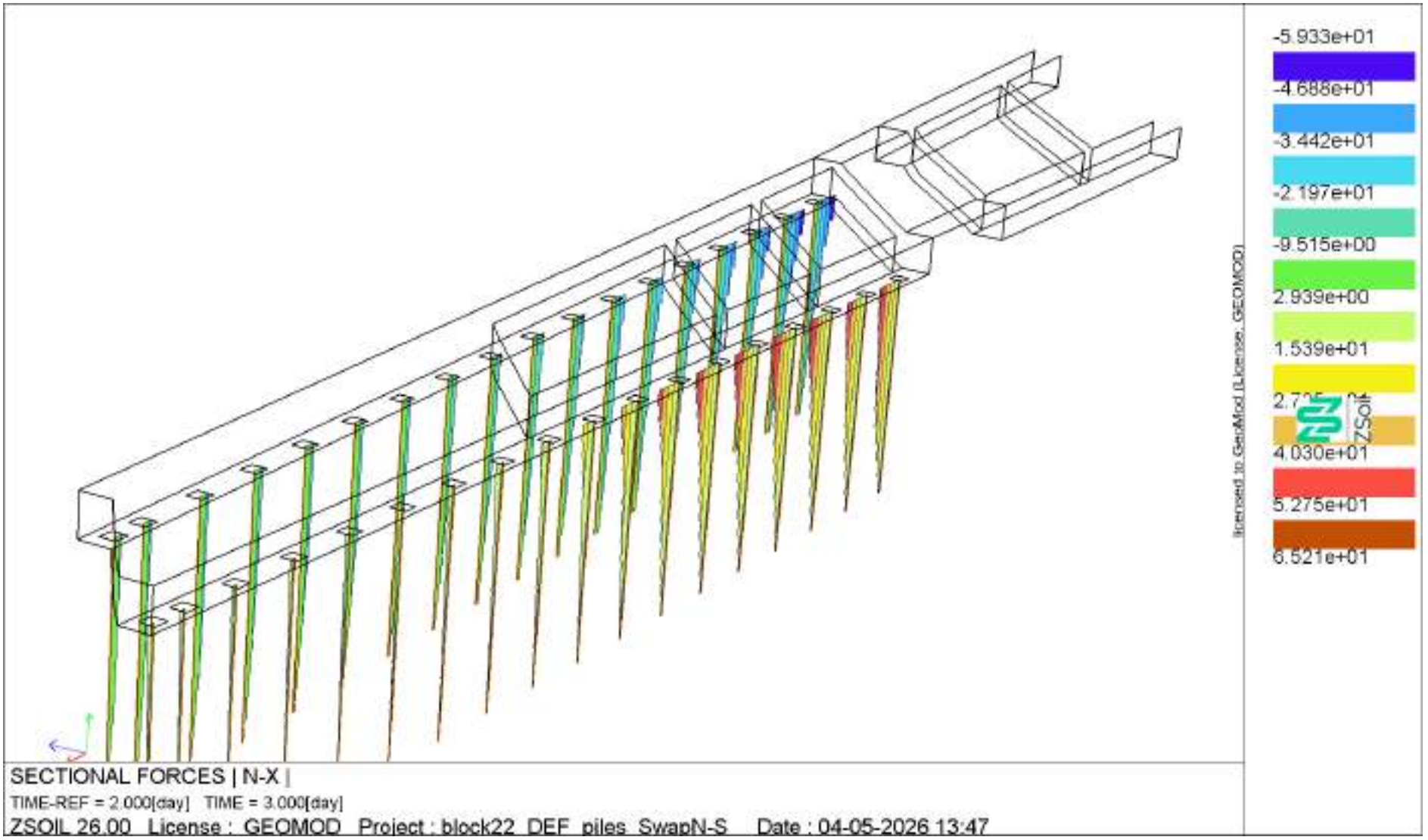
Cas de charge 1
Effort de flexion transversal (service)



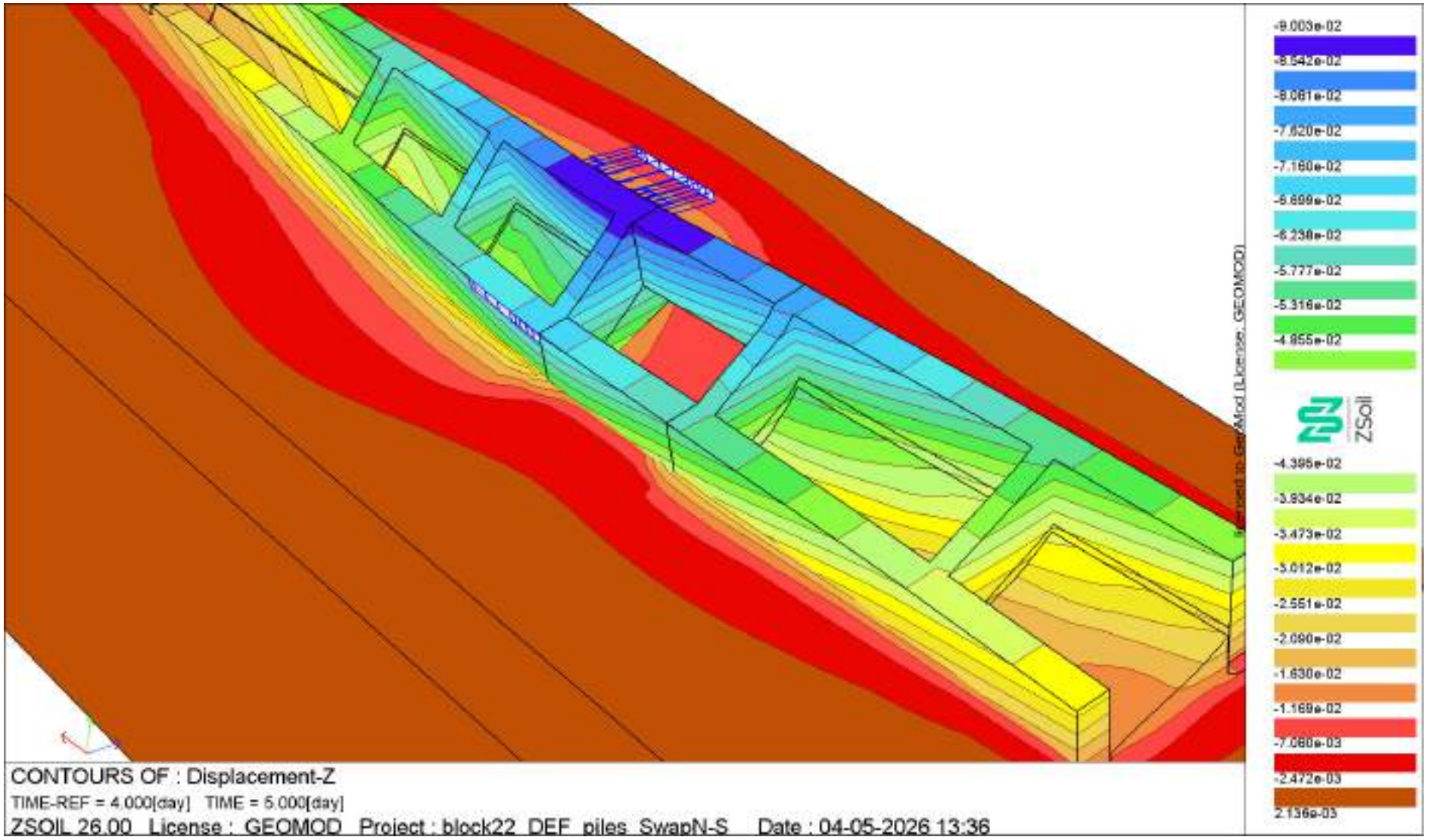
Cas de charge 1
Effort tranchant principal (service)



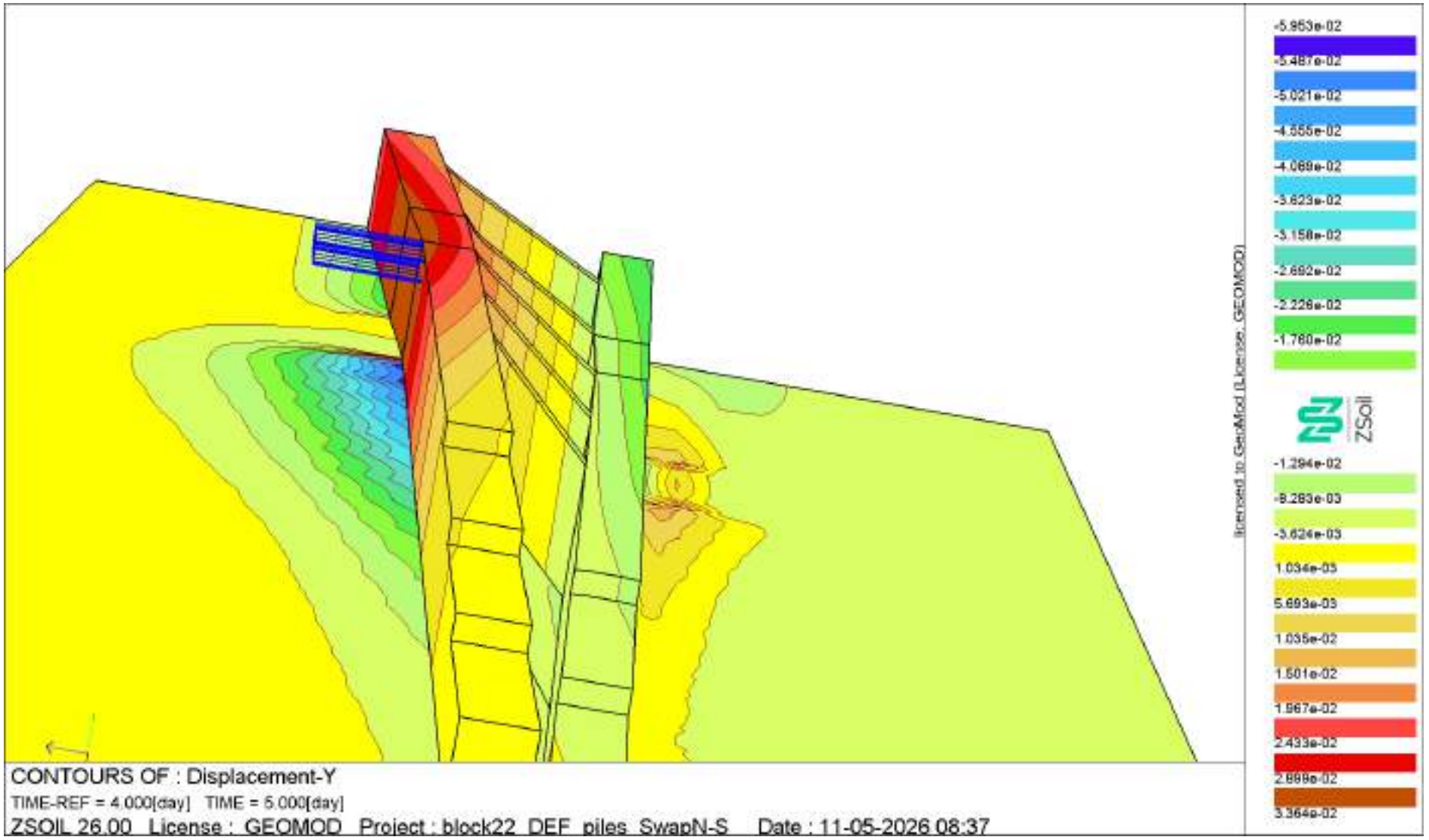
Cas de charge 1
Effort tranchant transversal (service)



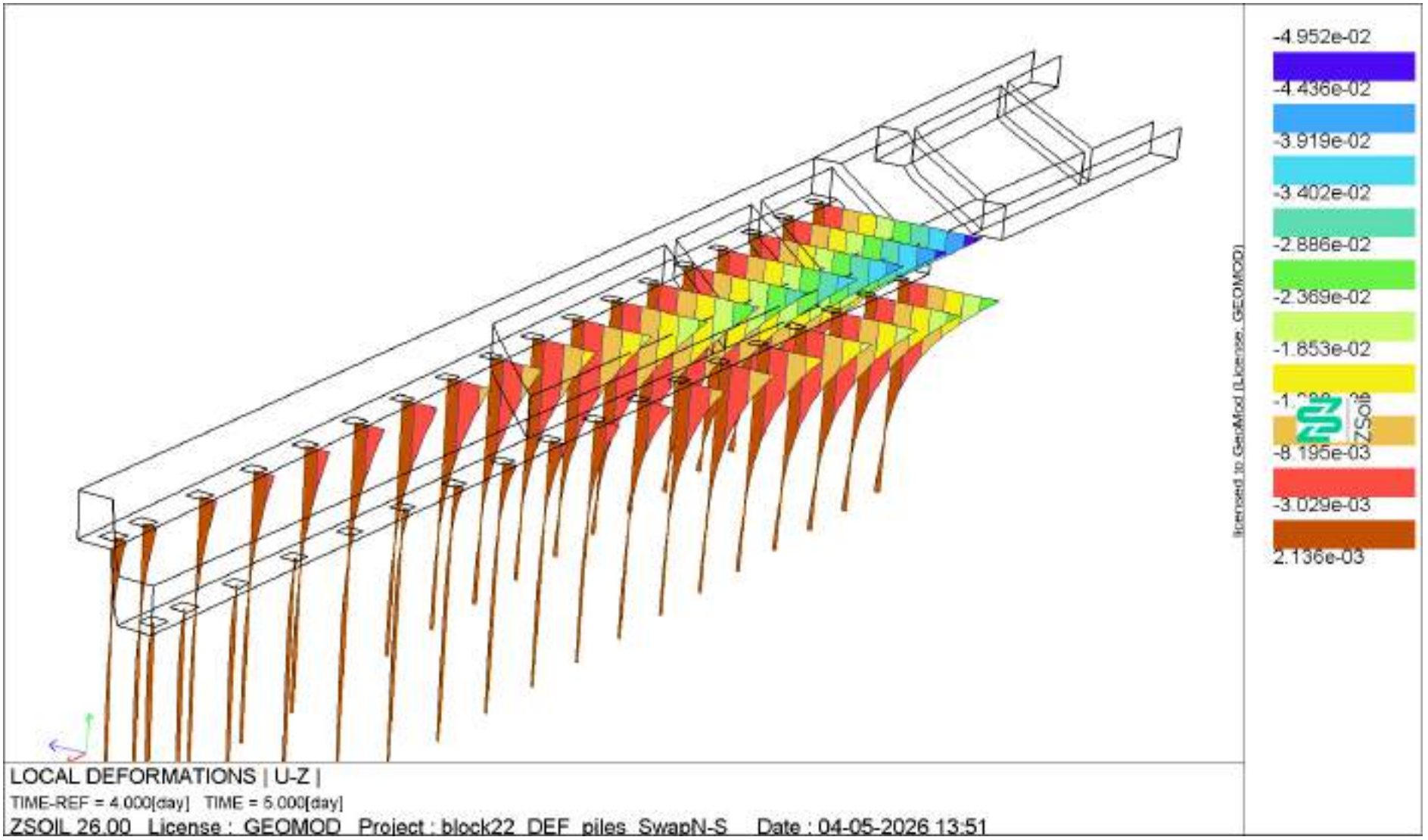
Cas de charge 1
Effort normal (service)



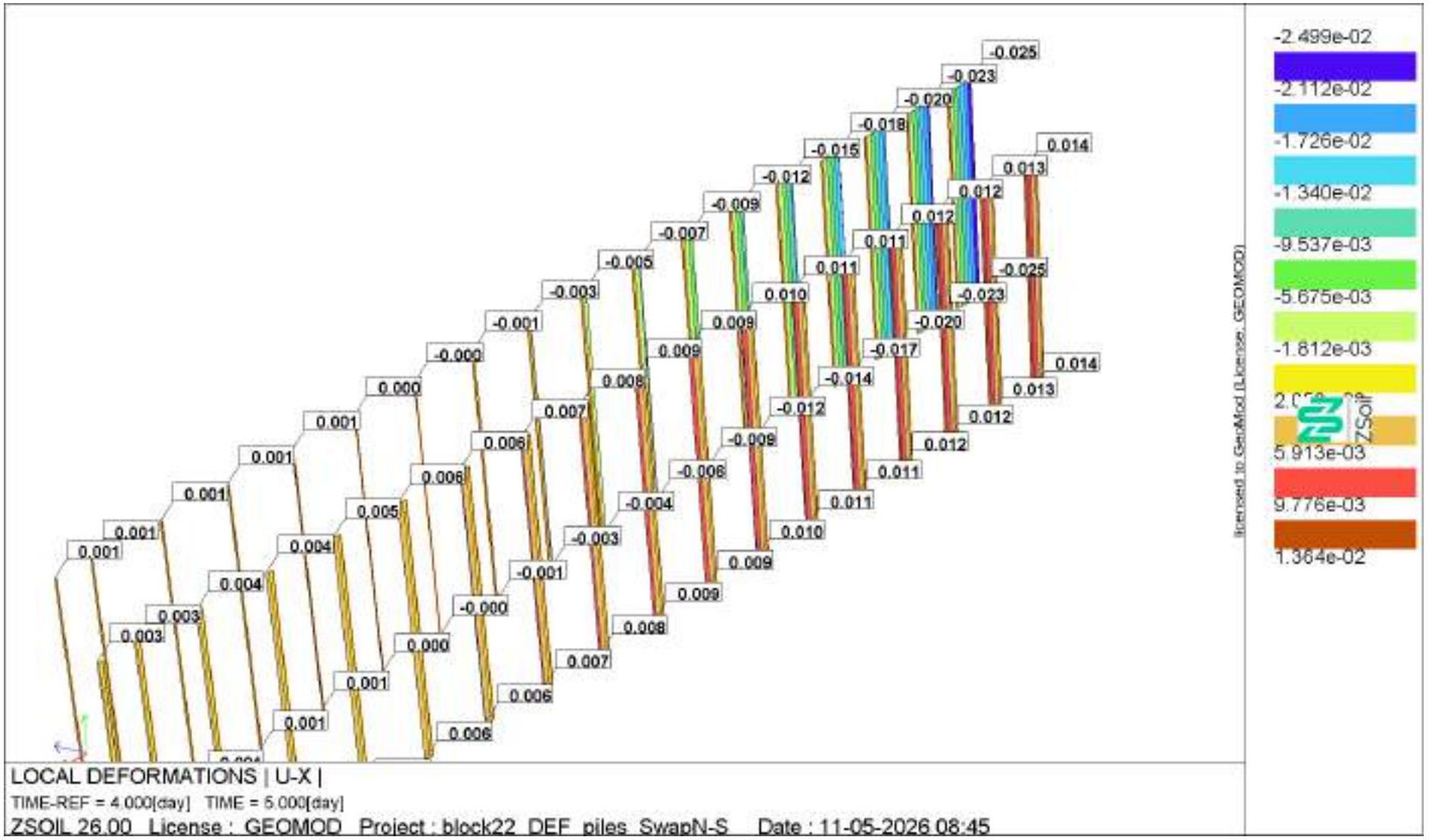
Cas de charge 2
Déplacements horizontaux et maille déformée x 20



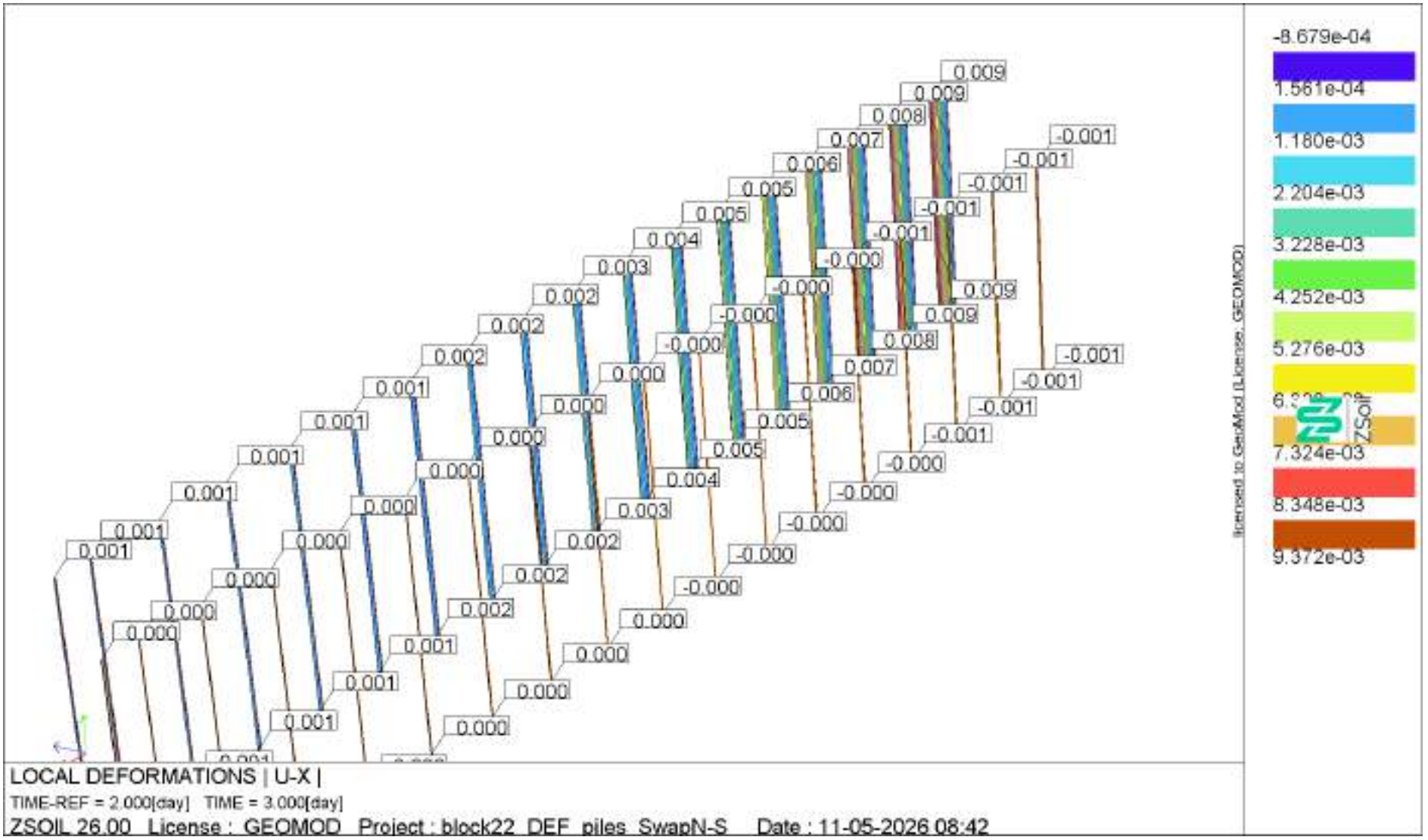
Cas de charge 2
Déplacements verticaux



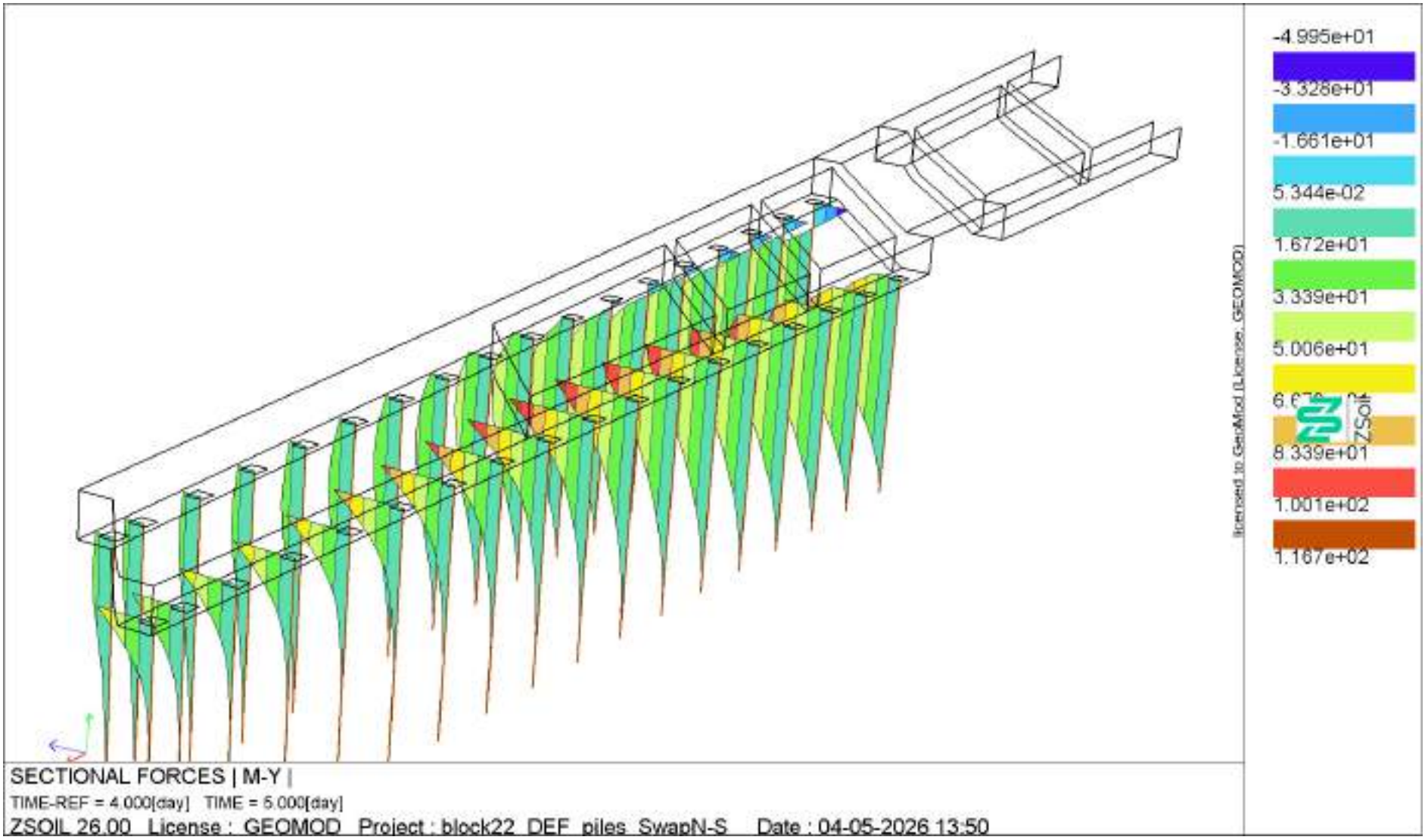
Cas de charge 2
Déplacement horizontal du pieu



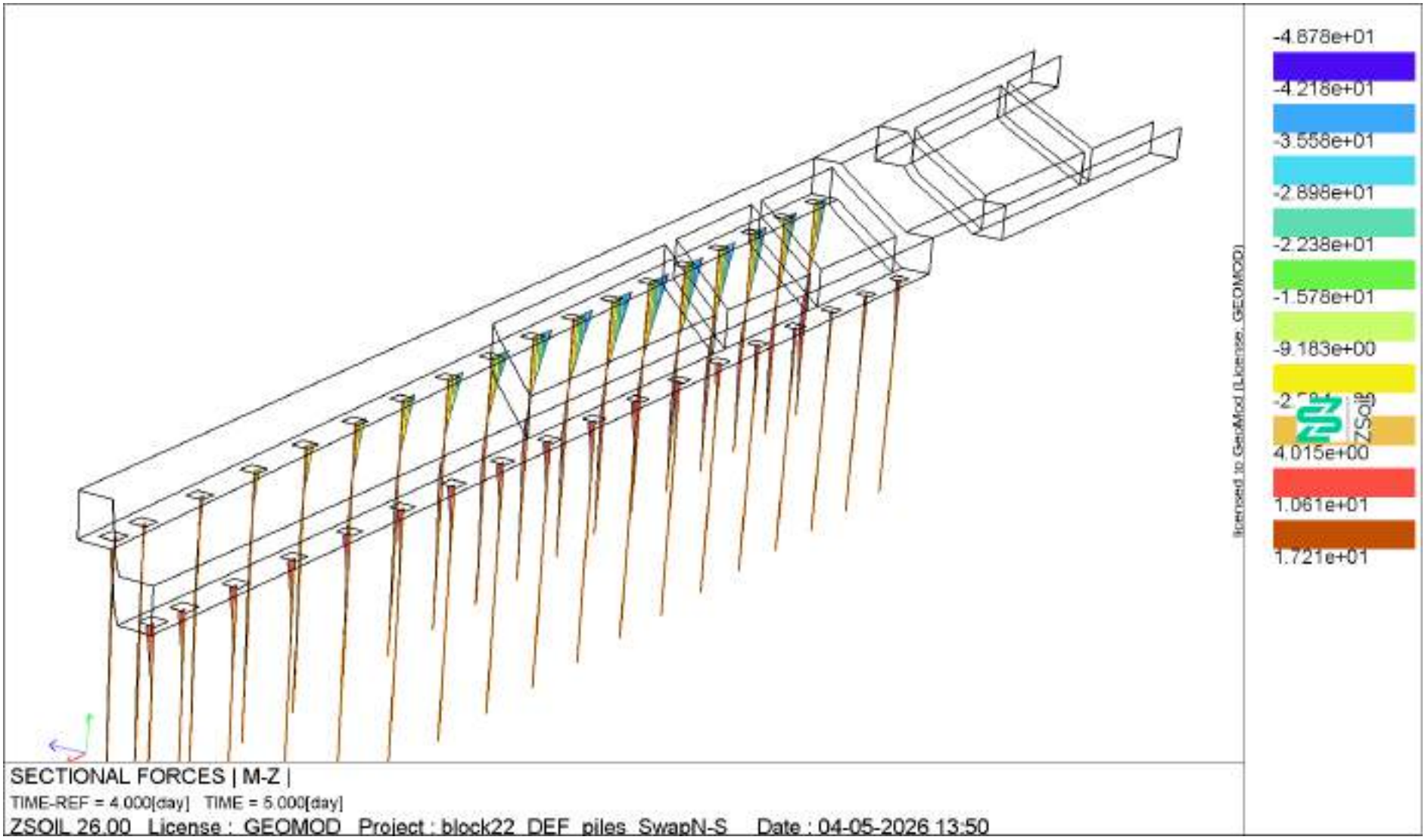
Cas de charge 2
Déplacement vertical (local) du pieu



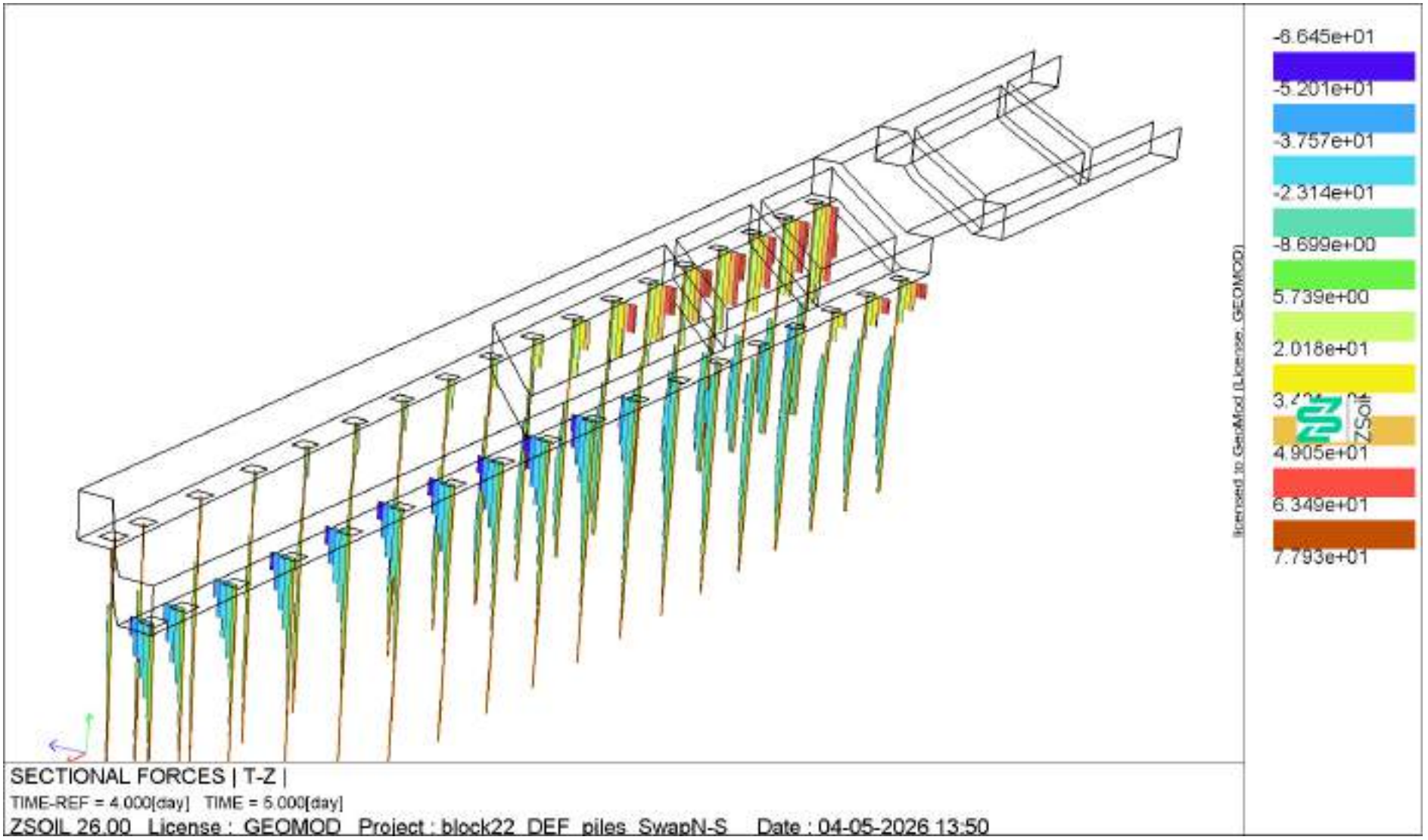
Cas de charge 1
Déplacement vertical (local) du pieu



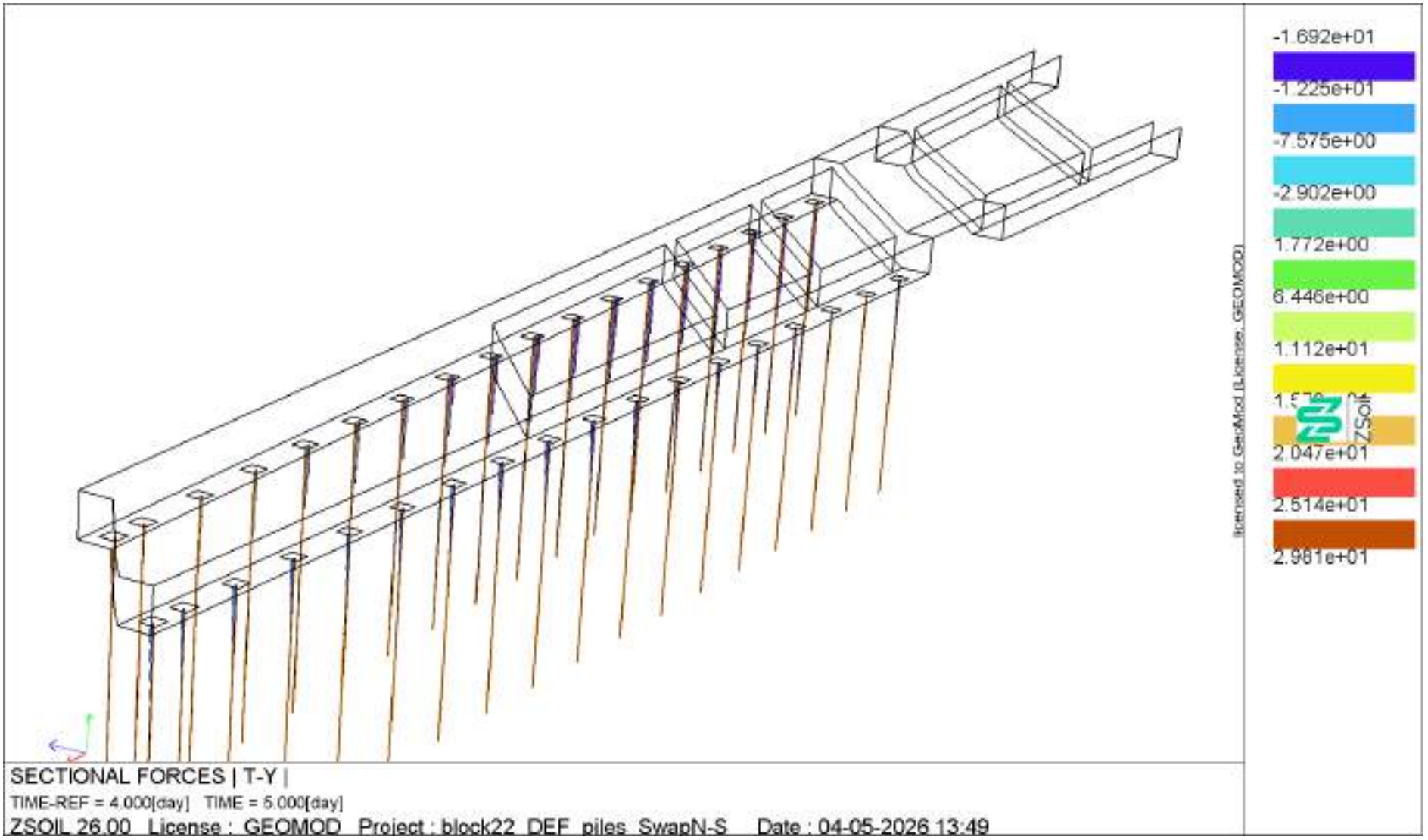
Cas de charge 2
Effort de flexion principal (service)



Cas de charge 2
Effort de flexion transversal (service)



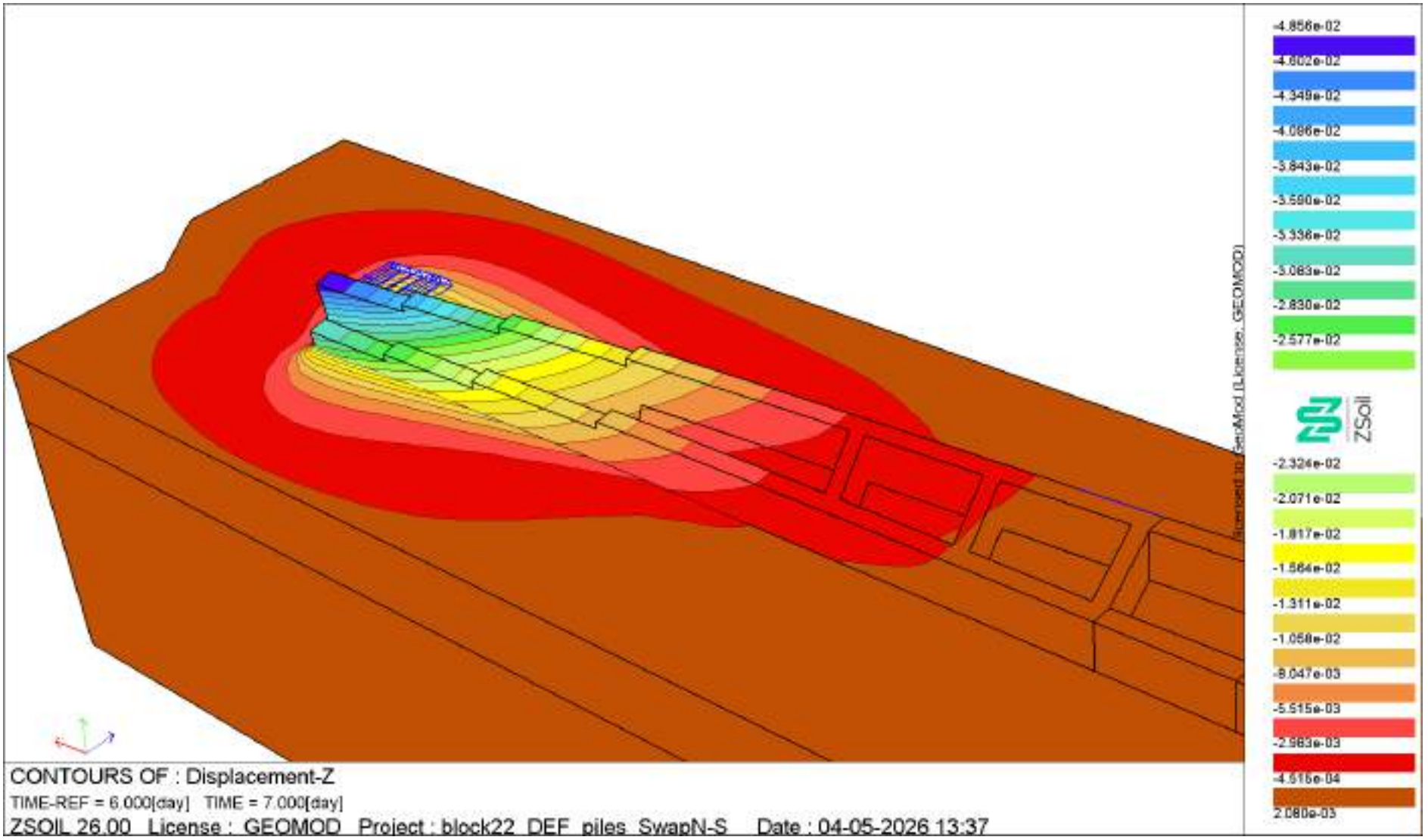
Cas de charge 2
Effort tranchant principal (service)



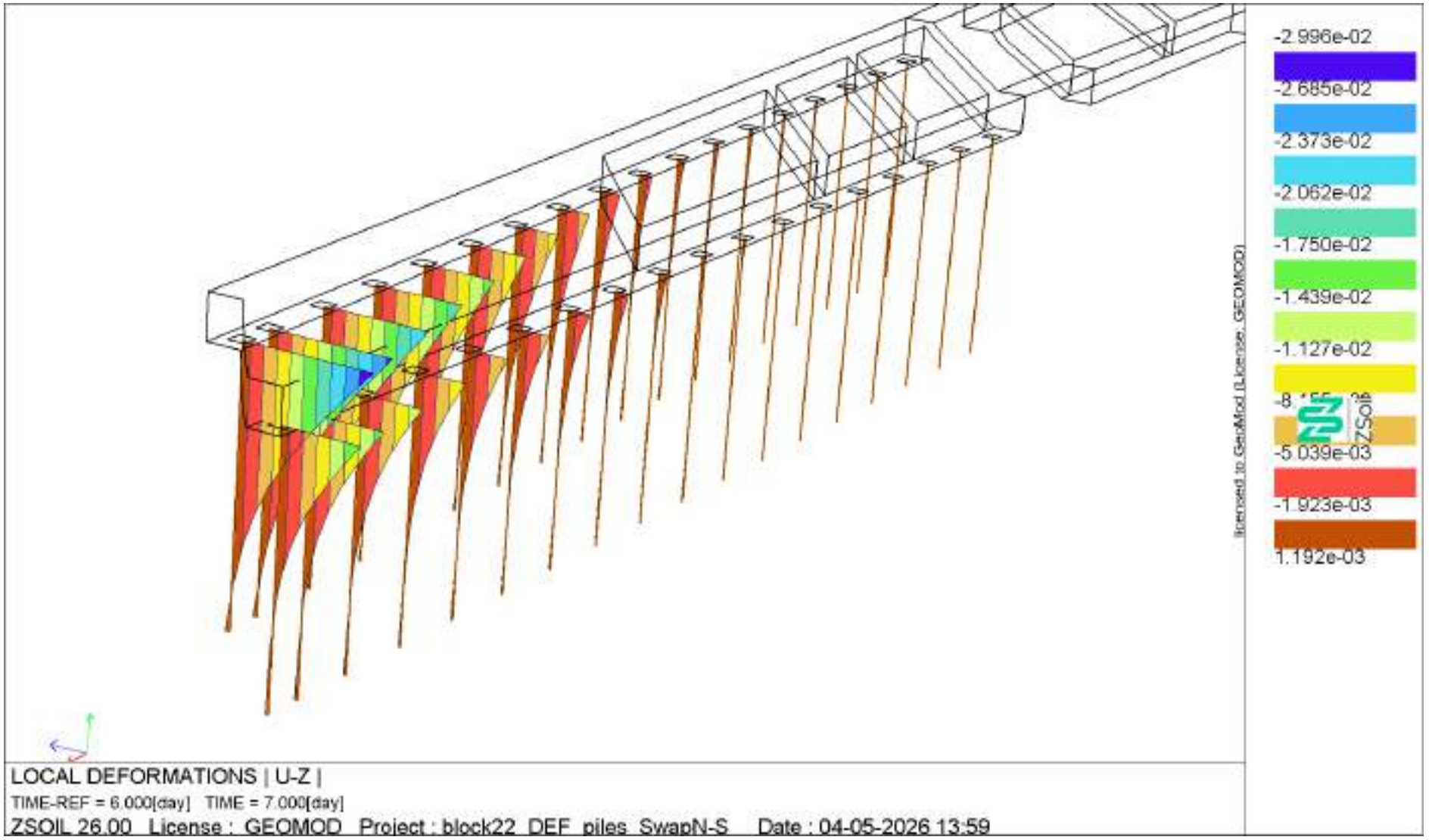
Cas de charge 2
Effort tranchant transversal (service)



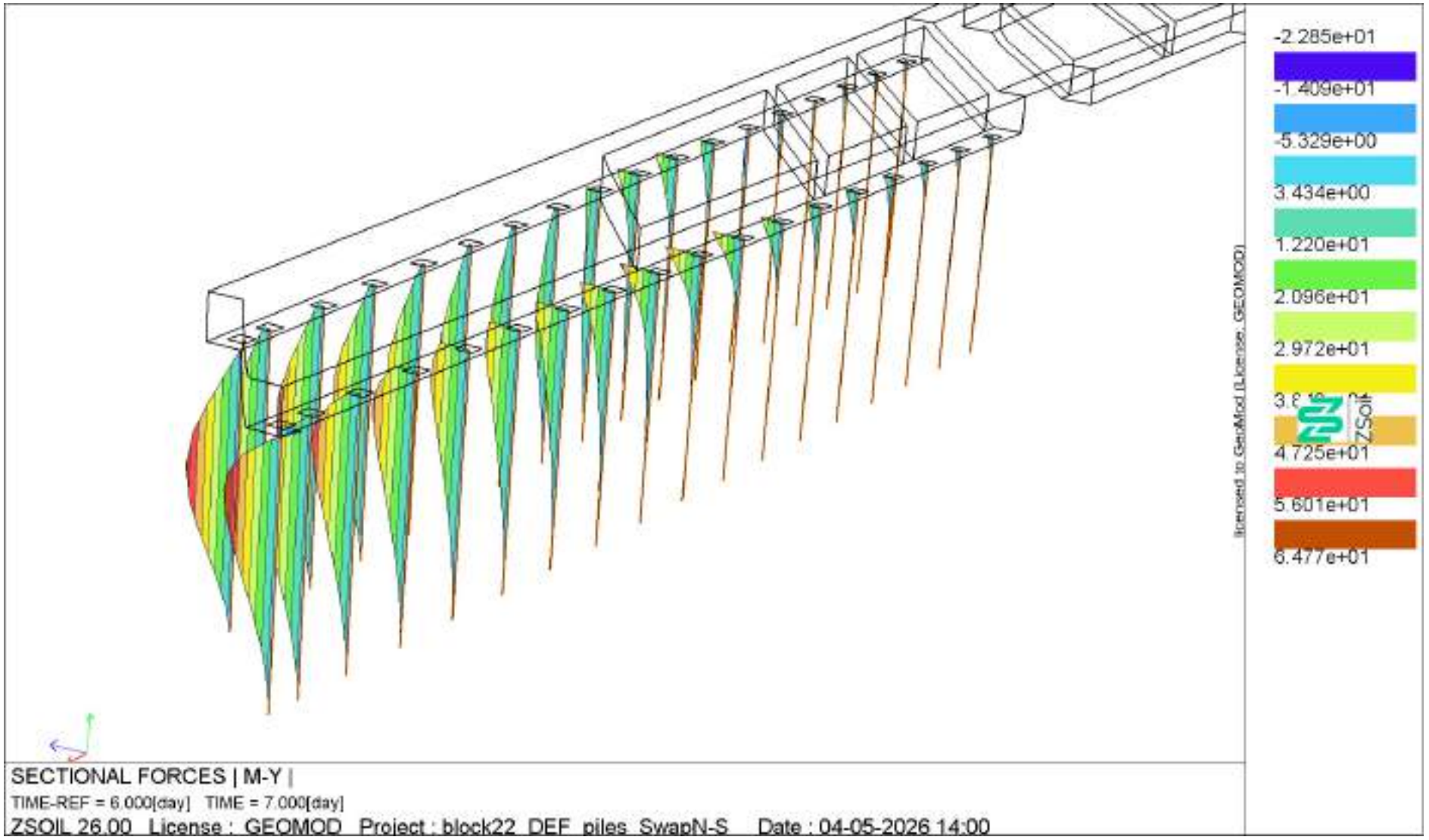
Cas de charge 2
Effort normal (service)



Cas de charge 3
Déplacements horizontaux et maille déformée x 20



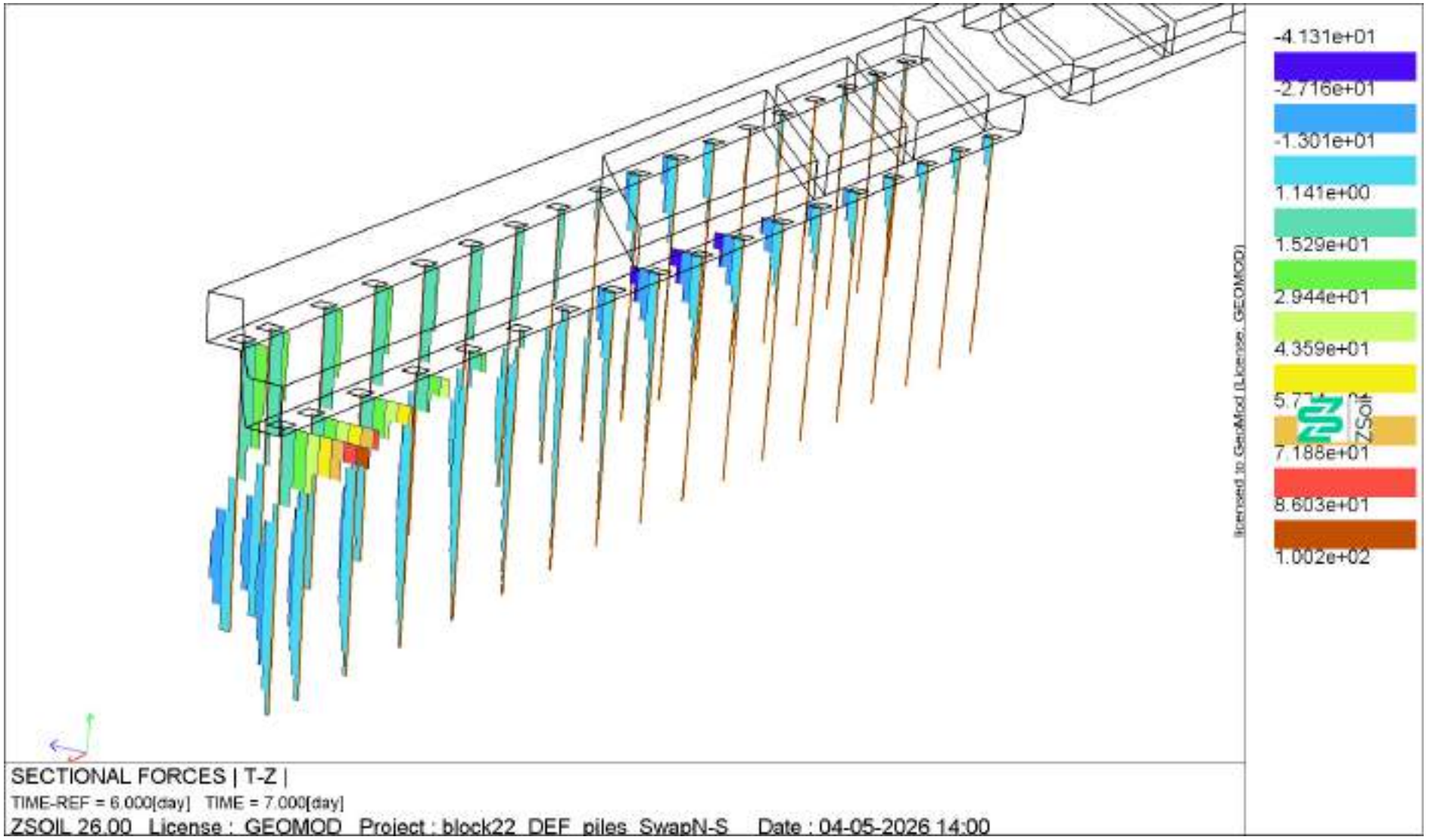
Cas de charge 3
Déplacement horizontal du pieu



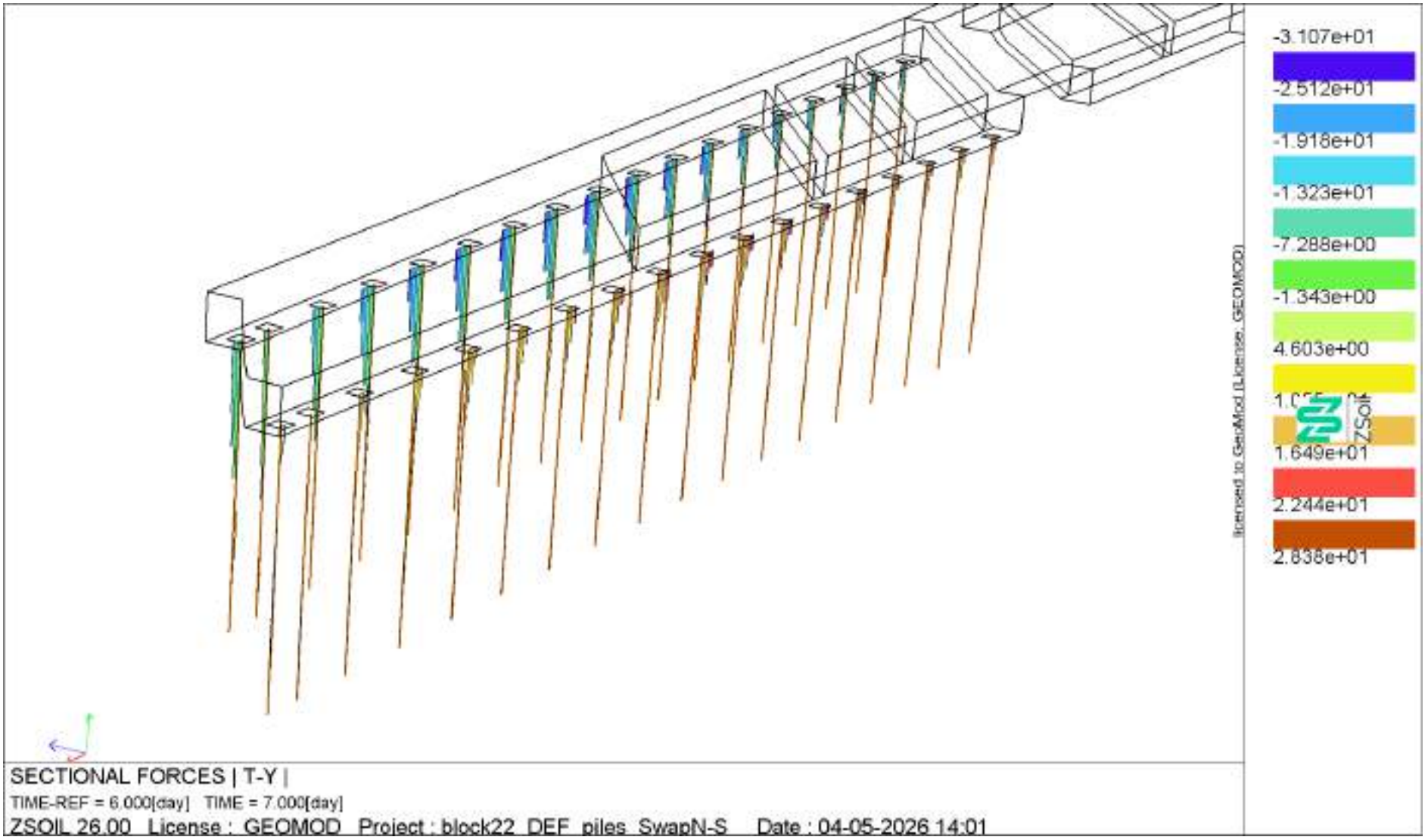
Cas de charge 3
Effort de flexion principal (service)



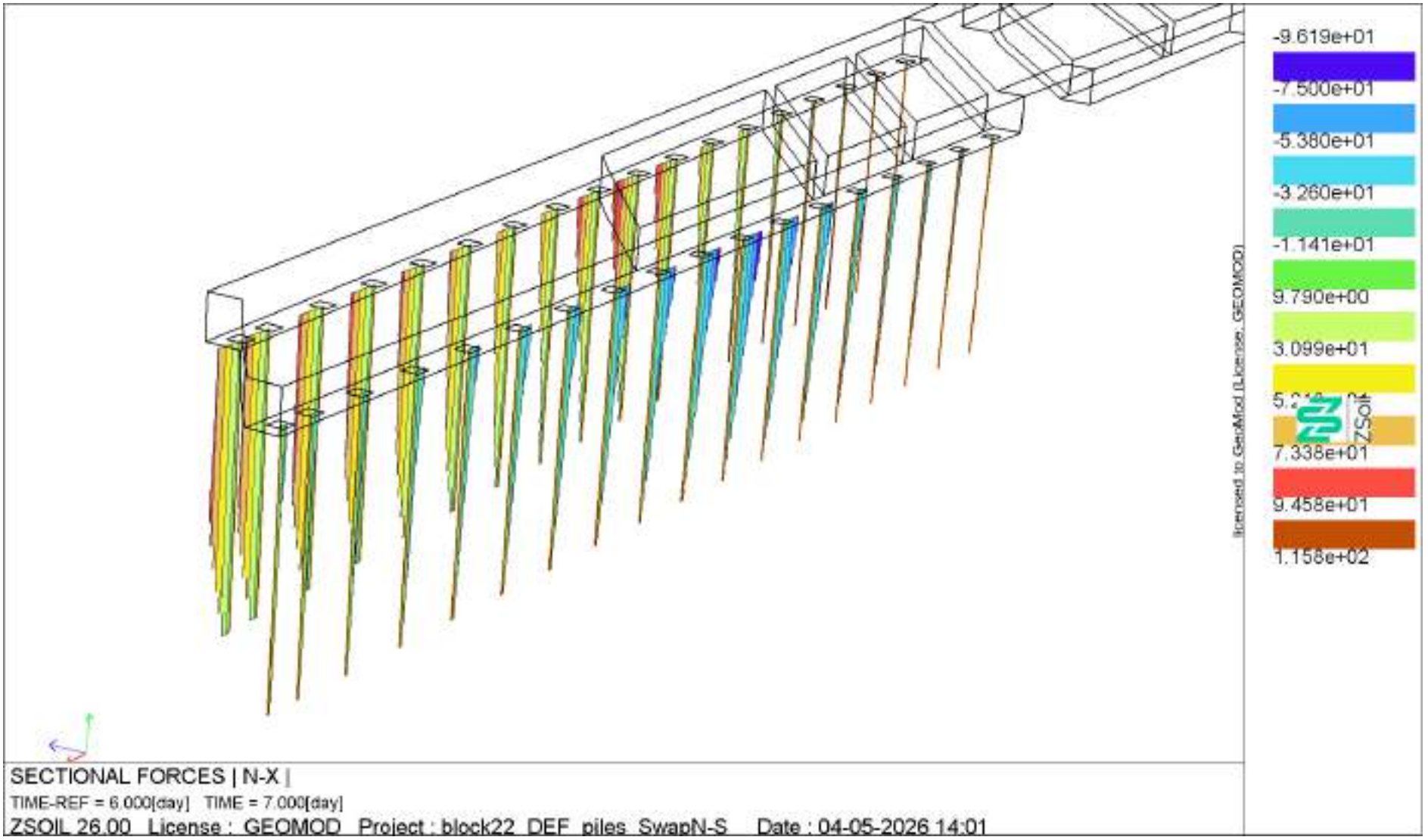
Cas de charge 3
Effort de flexion transversal (service)



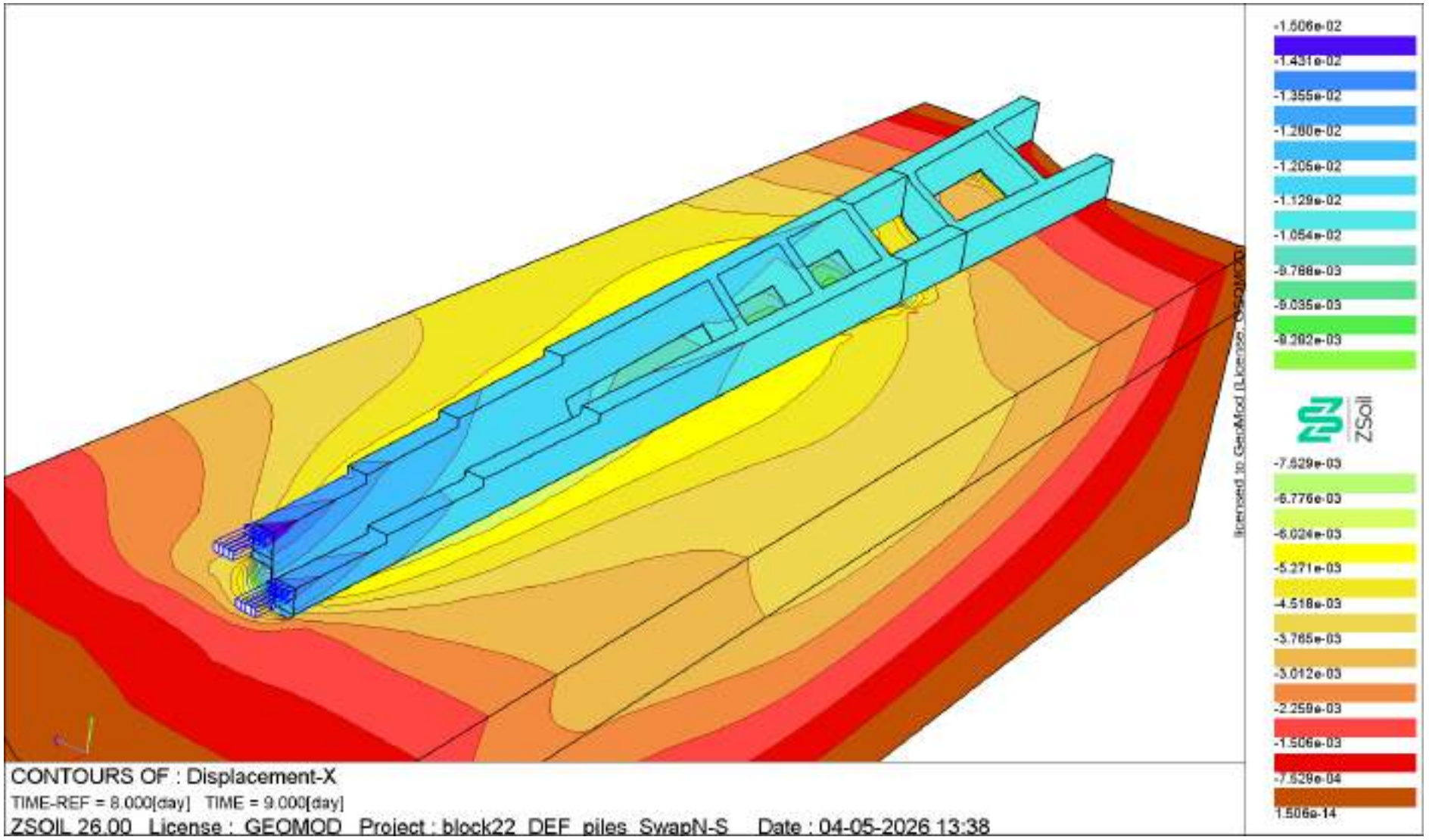
Cas de charge 3
Effort tranchant principal (service)



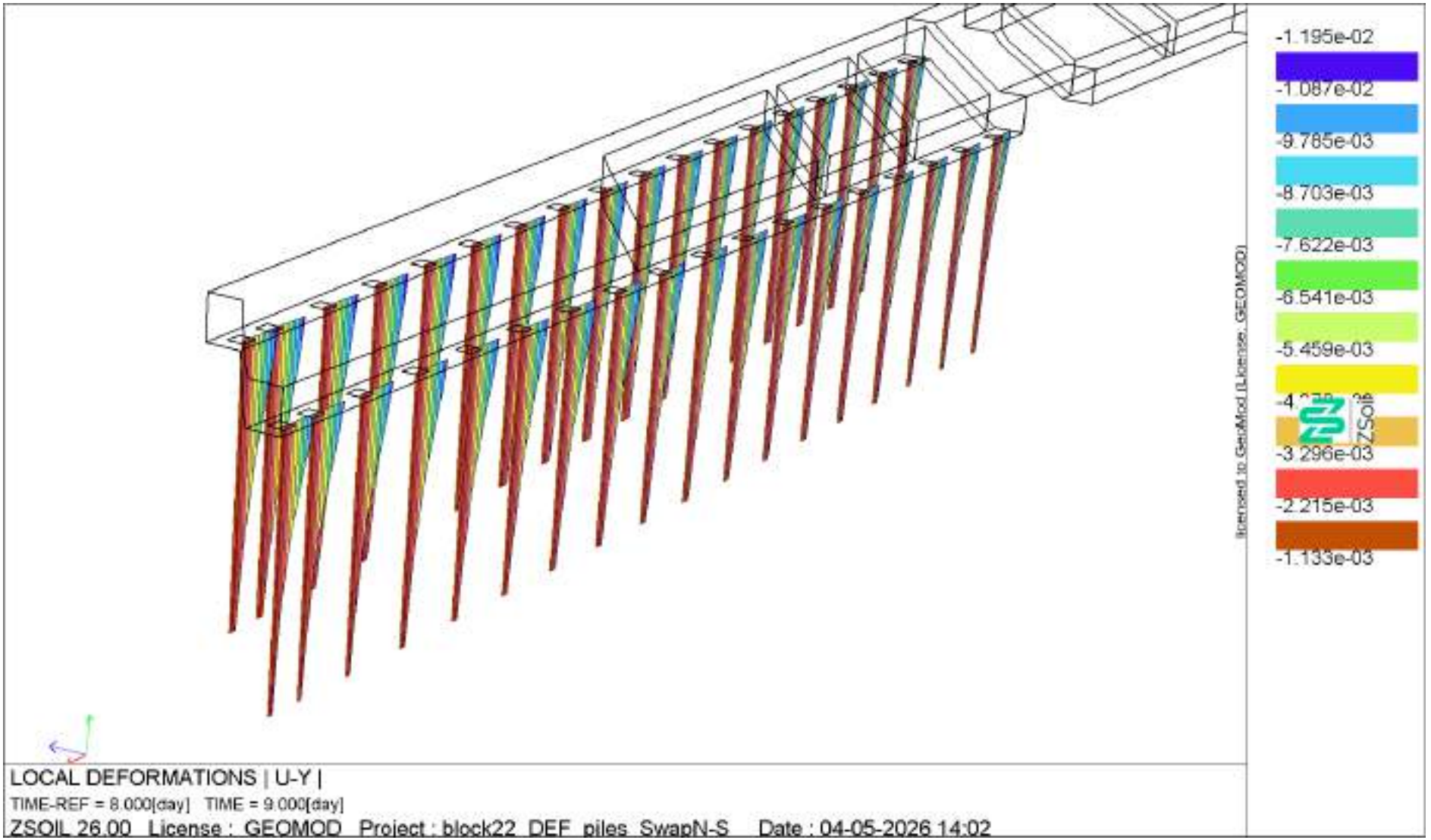
Cas de charge 3
Effort tranchant transversal (service)



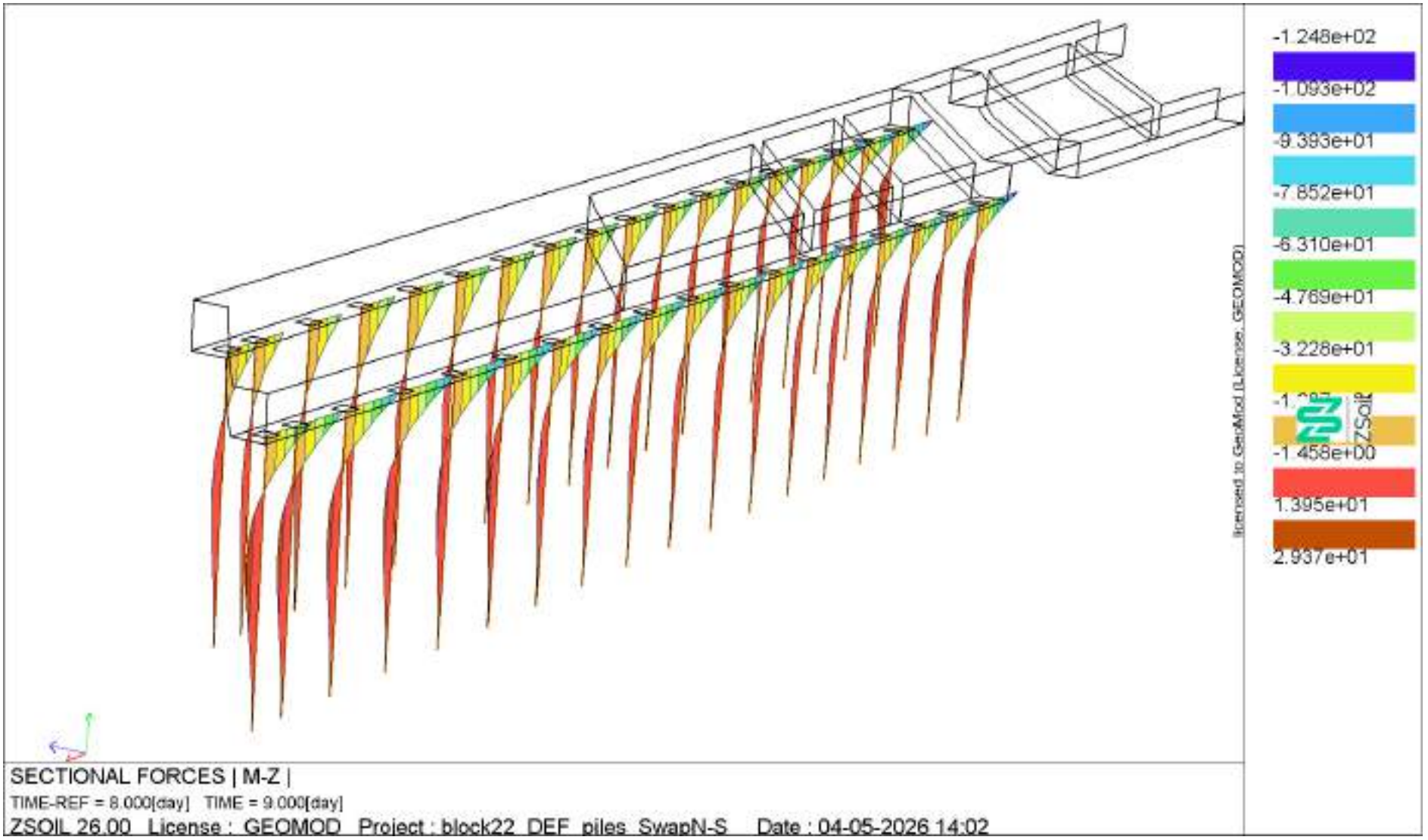
Cas de charge 3
Effort normal (service)



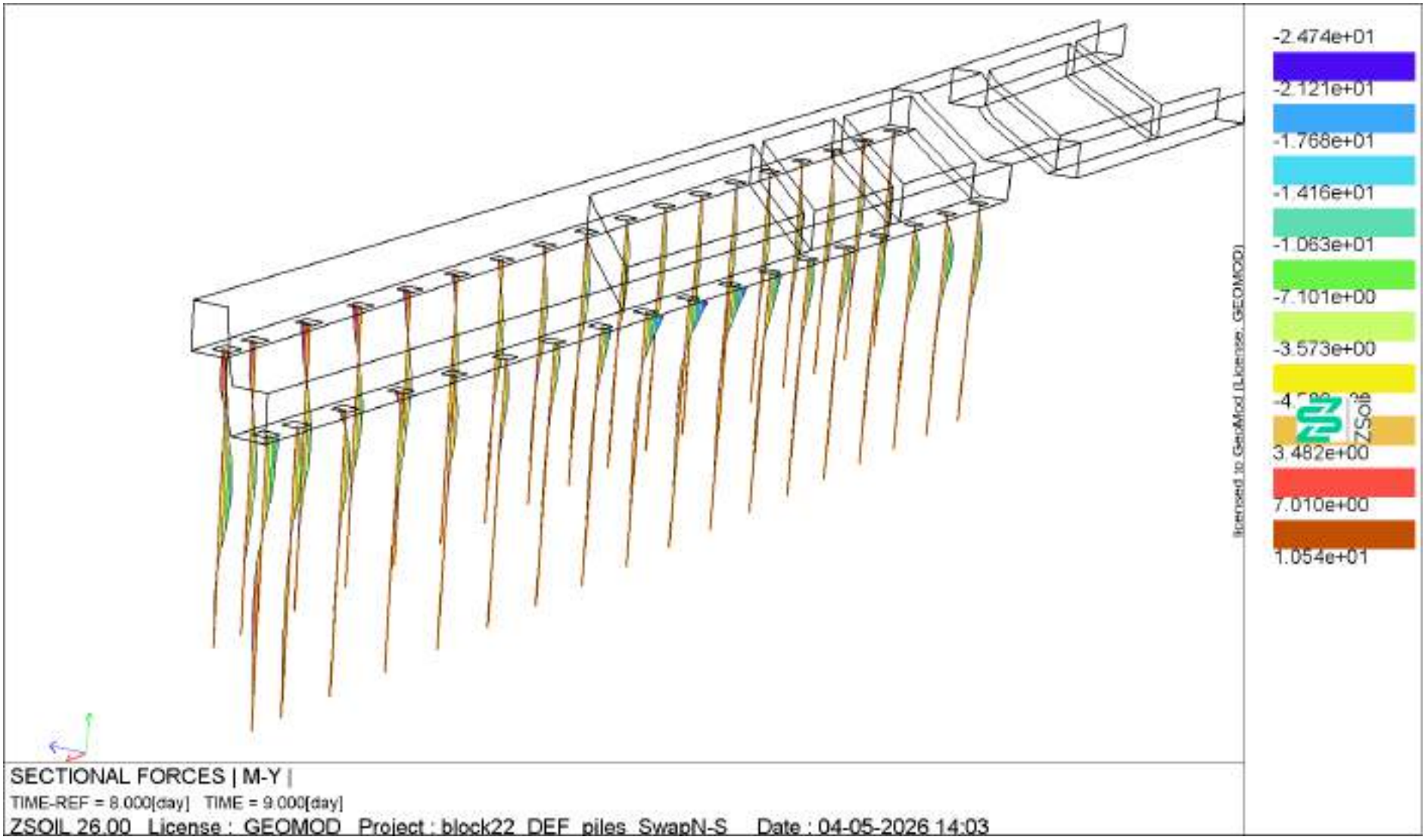
Cas de charge 4
Déplacements horizontaux et maille déformée x 20



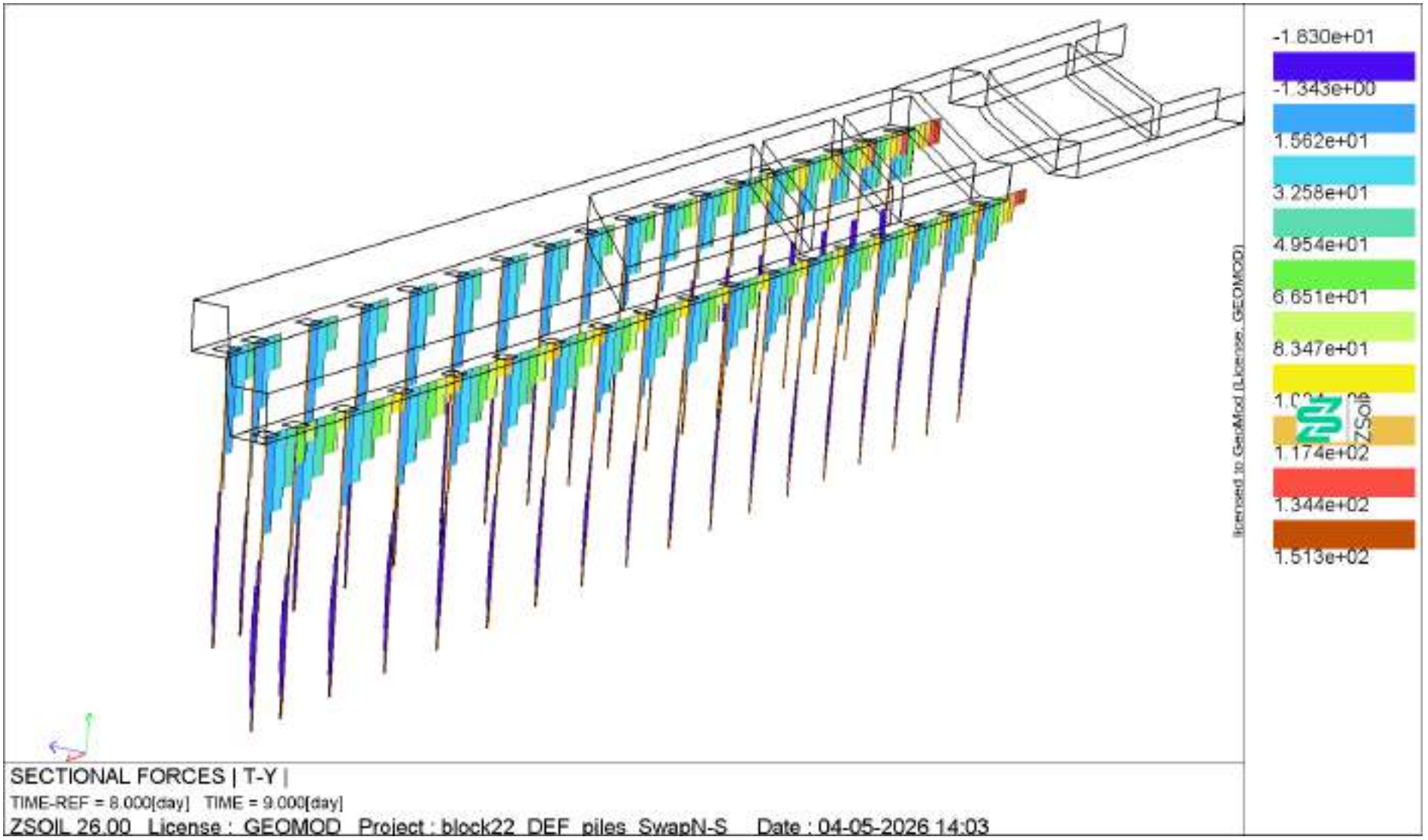
Cas de charge 4
Déplacement horizontal du pieu



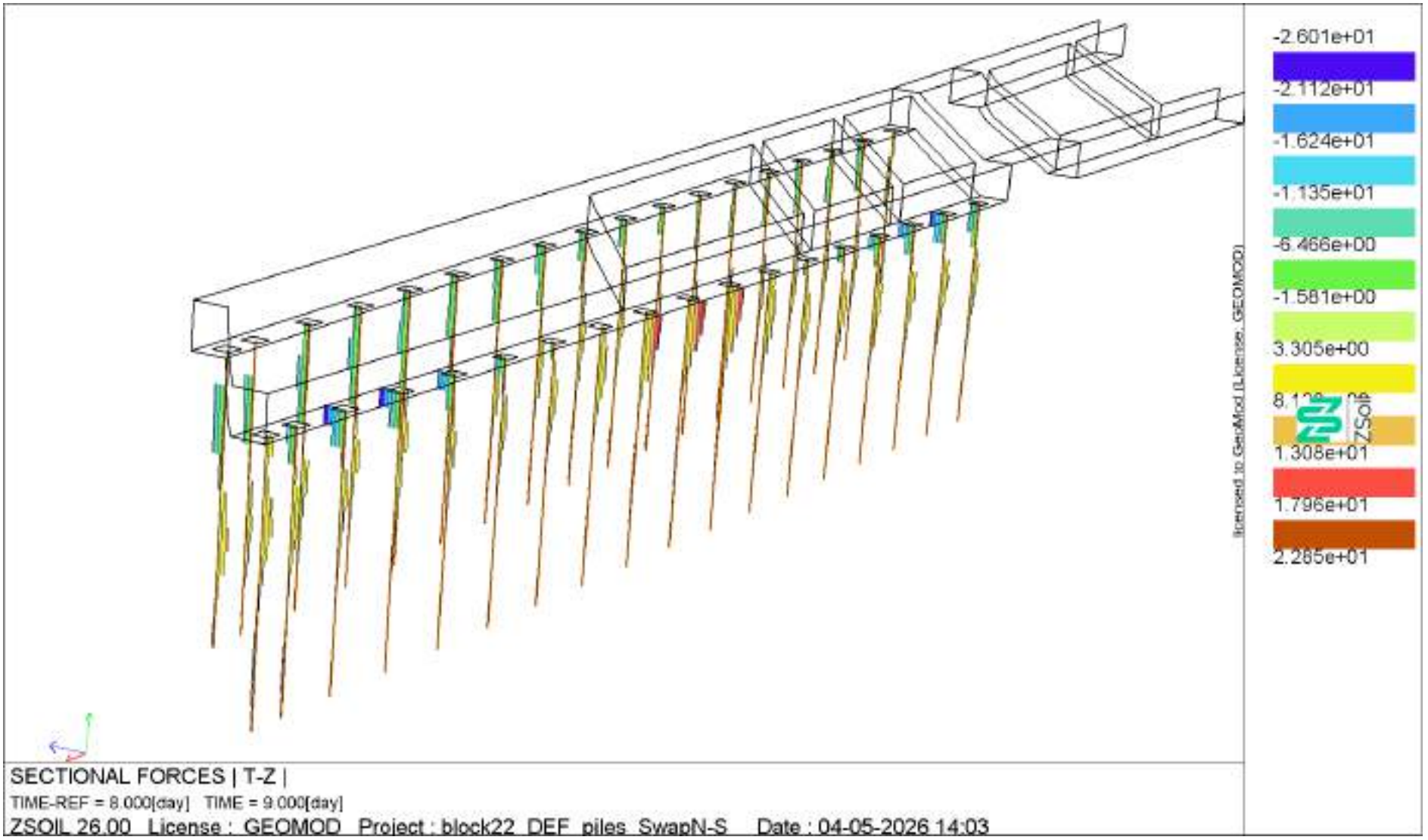
Cas de charge 4
Effort de flexion principal (service)



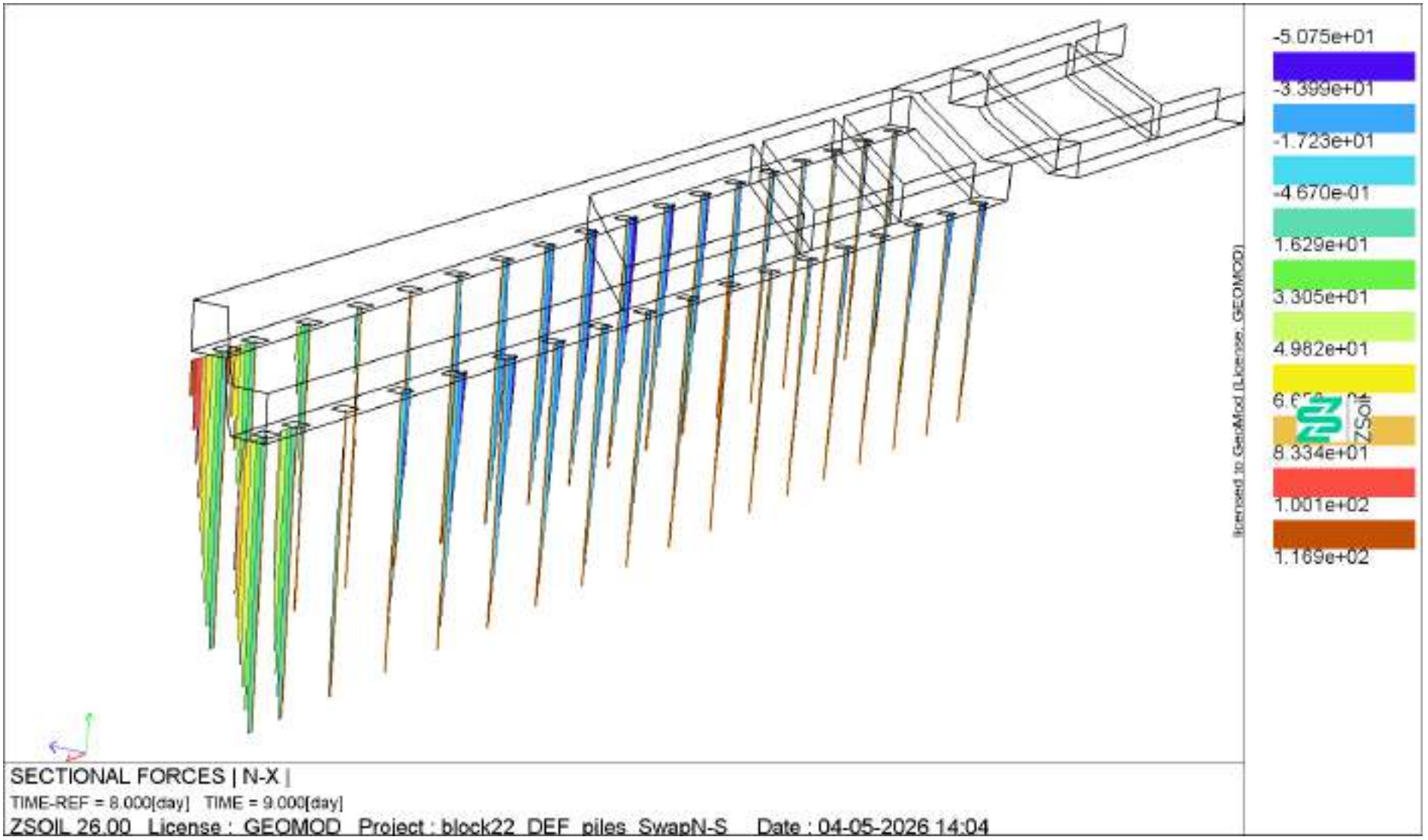
Cas de charge 4
Effort de flexion transversal (service)



Cas de charge 4
Effort tranchant principal (service)

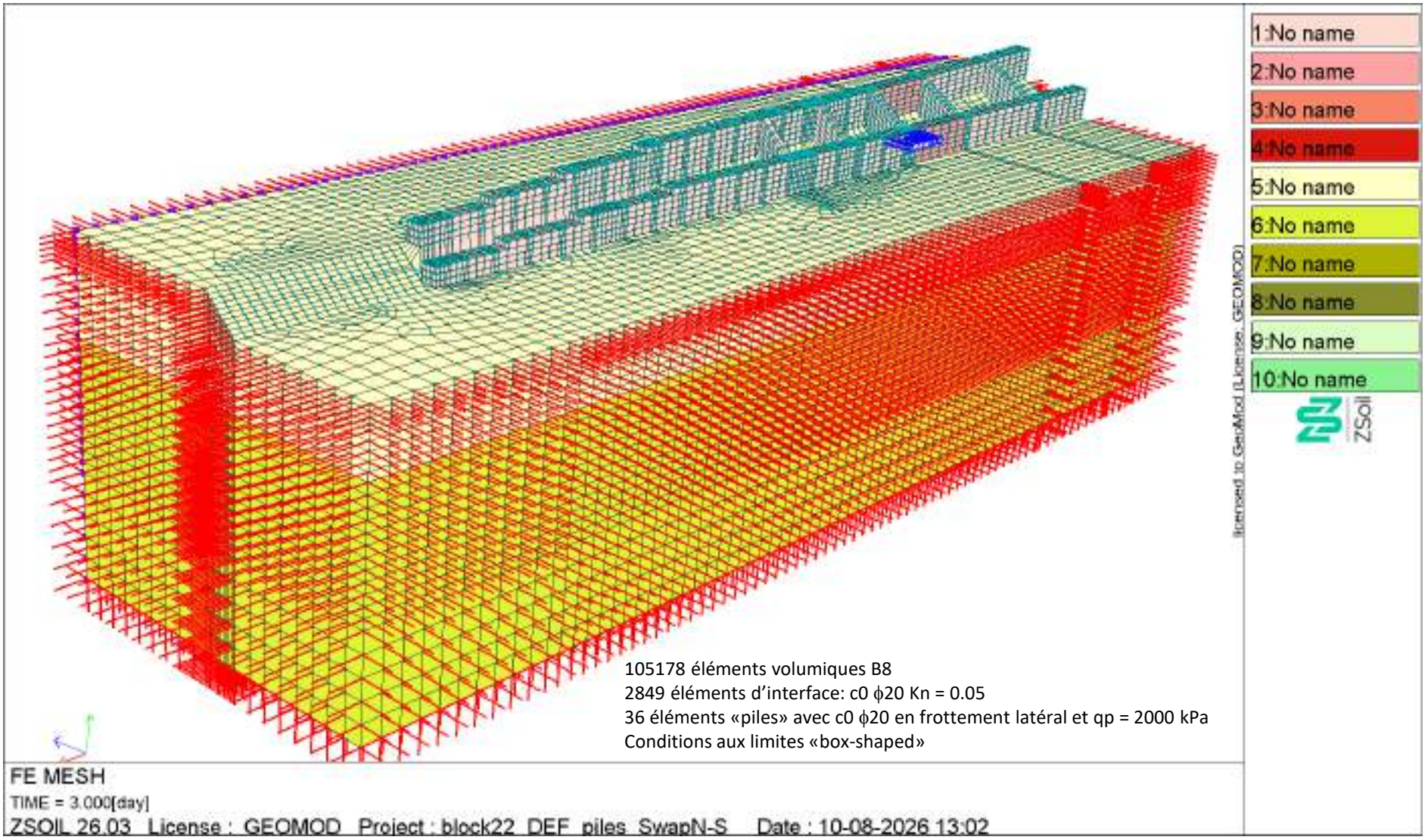


Cas de charge 4
Effort tranchant transversal (service)

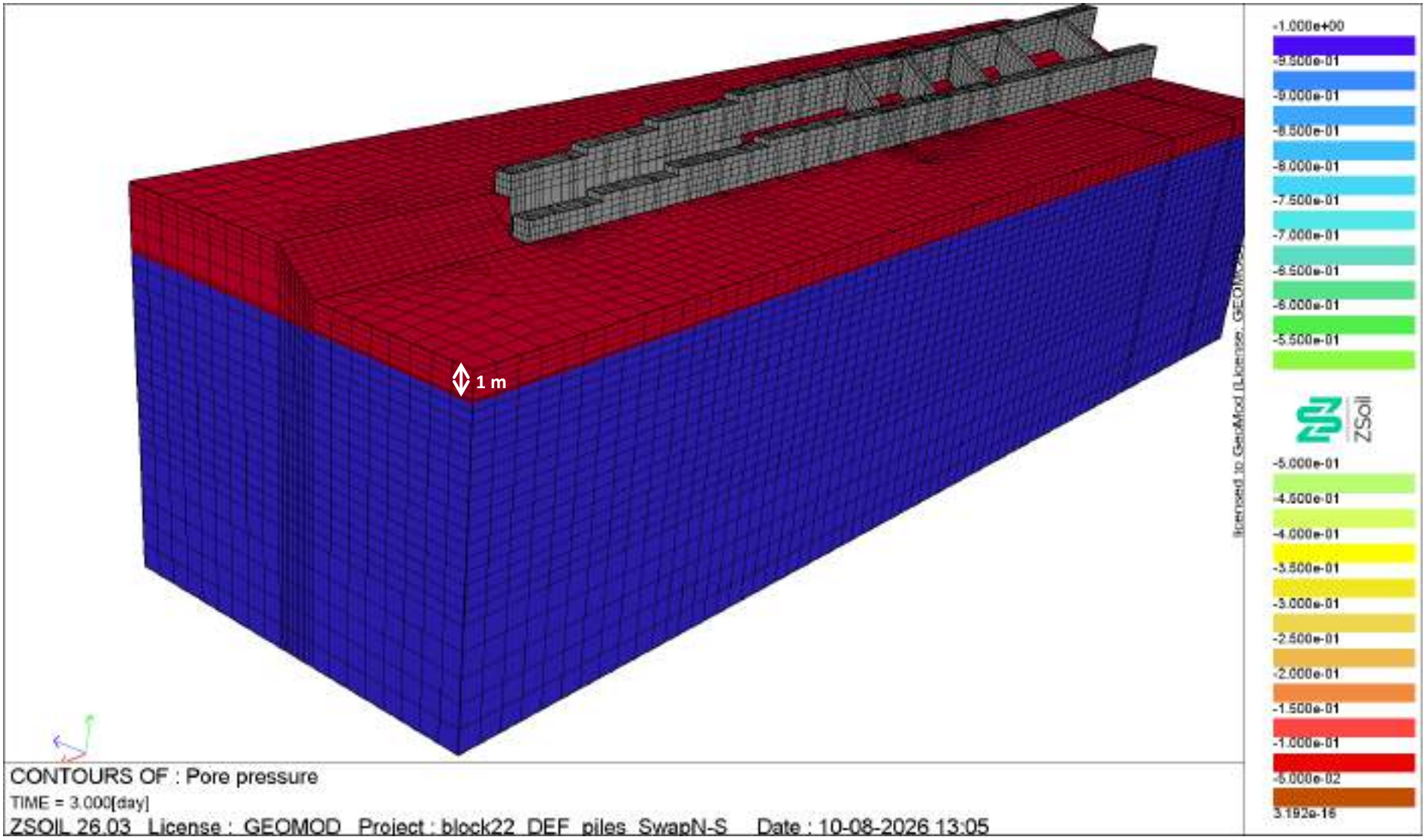


Cas de charge 4
Effort normal (service)

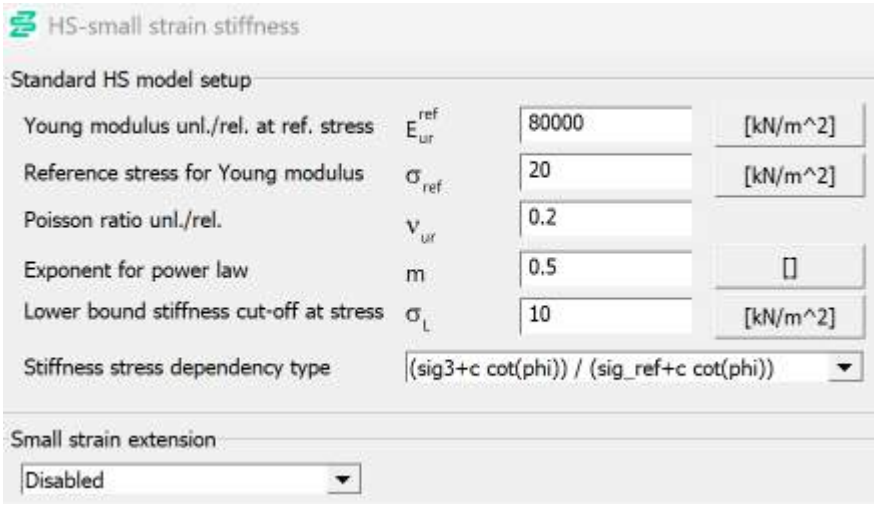
- Compléments, au 11 août 2026

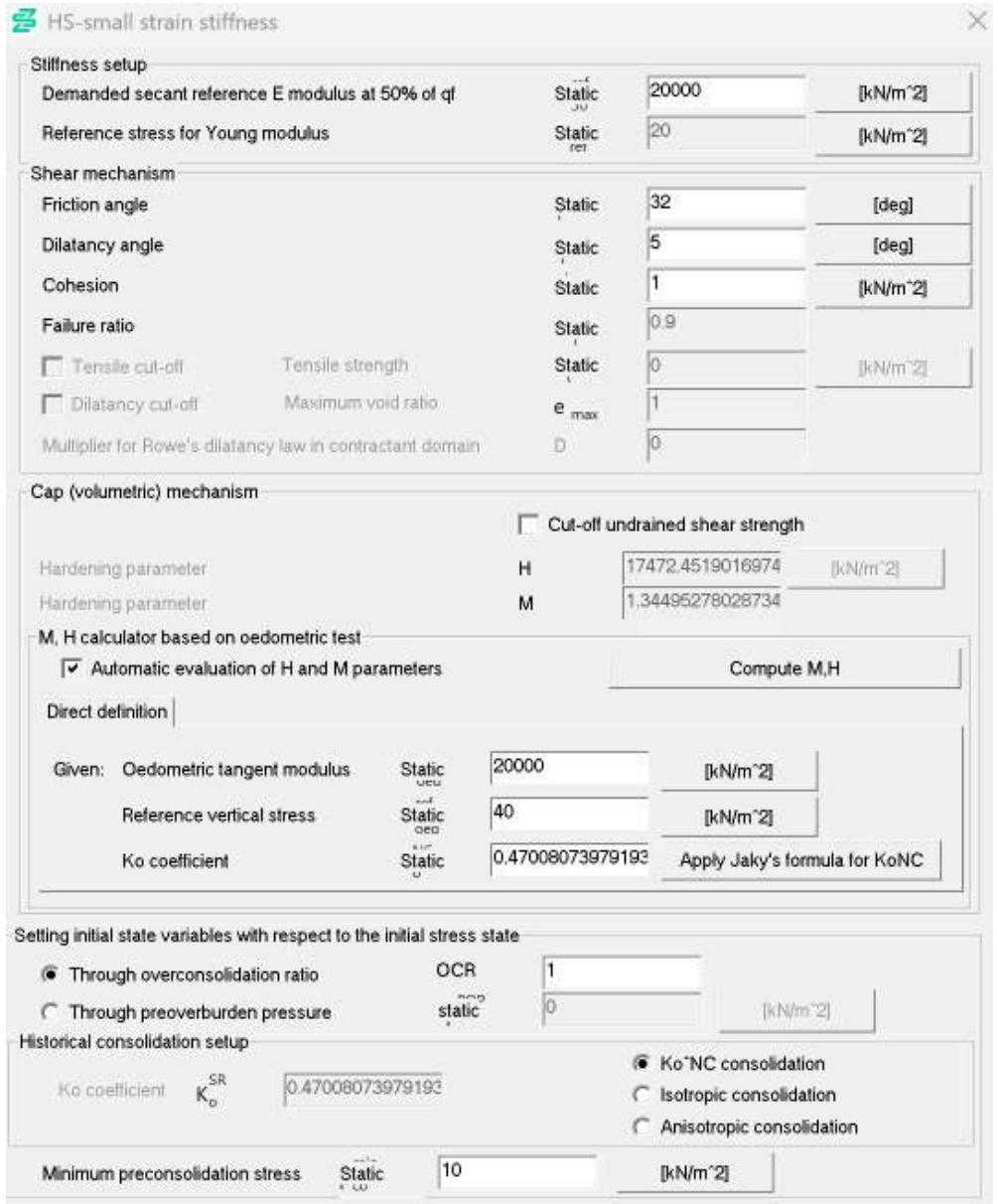


Spécificités du maillage

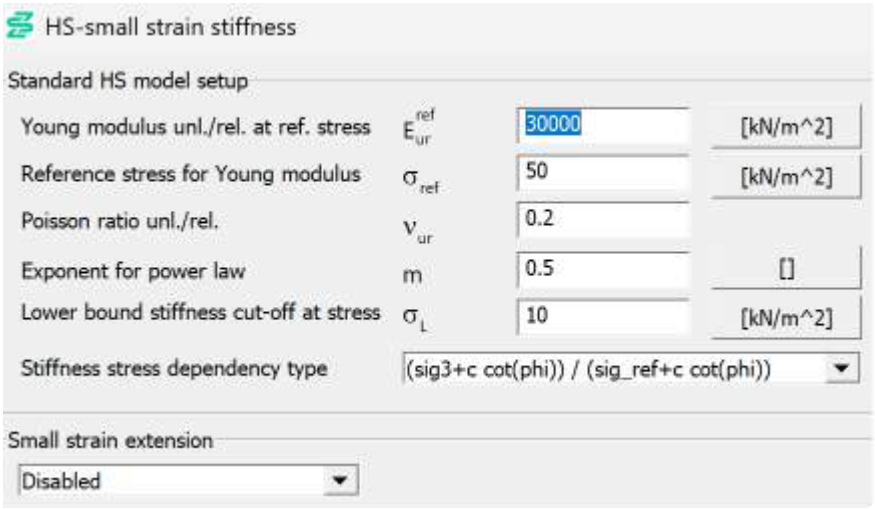


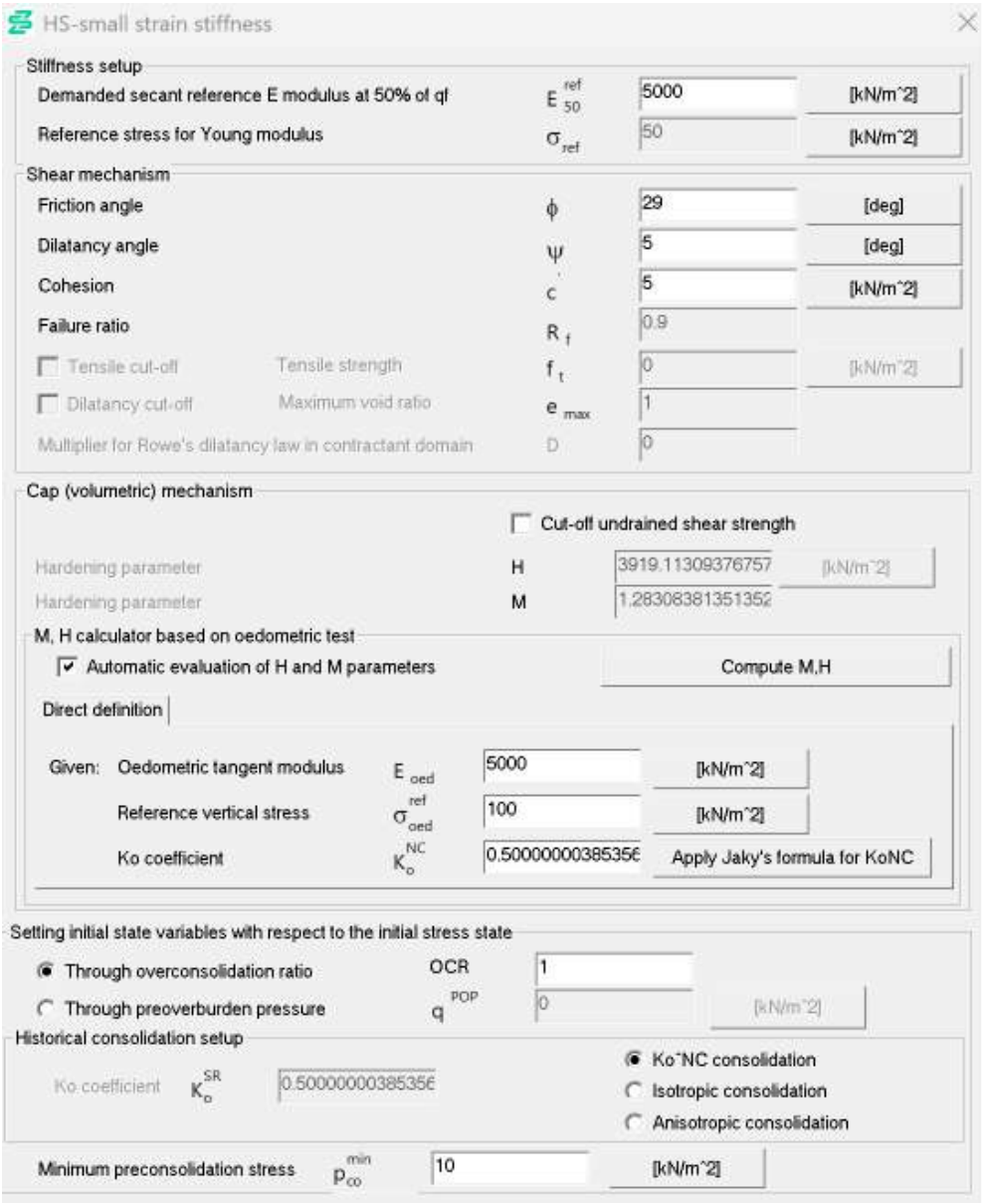
Position de la nappe



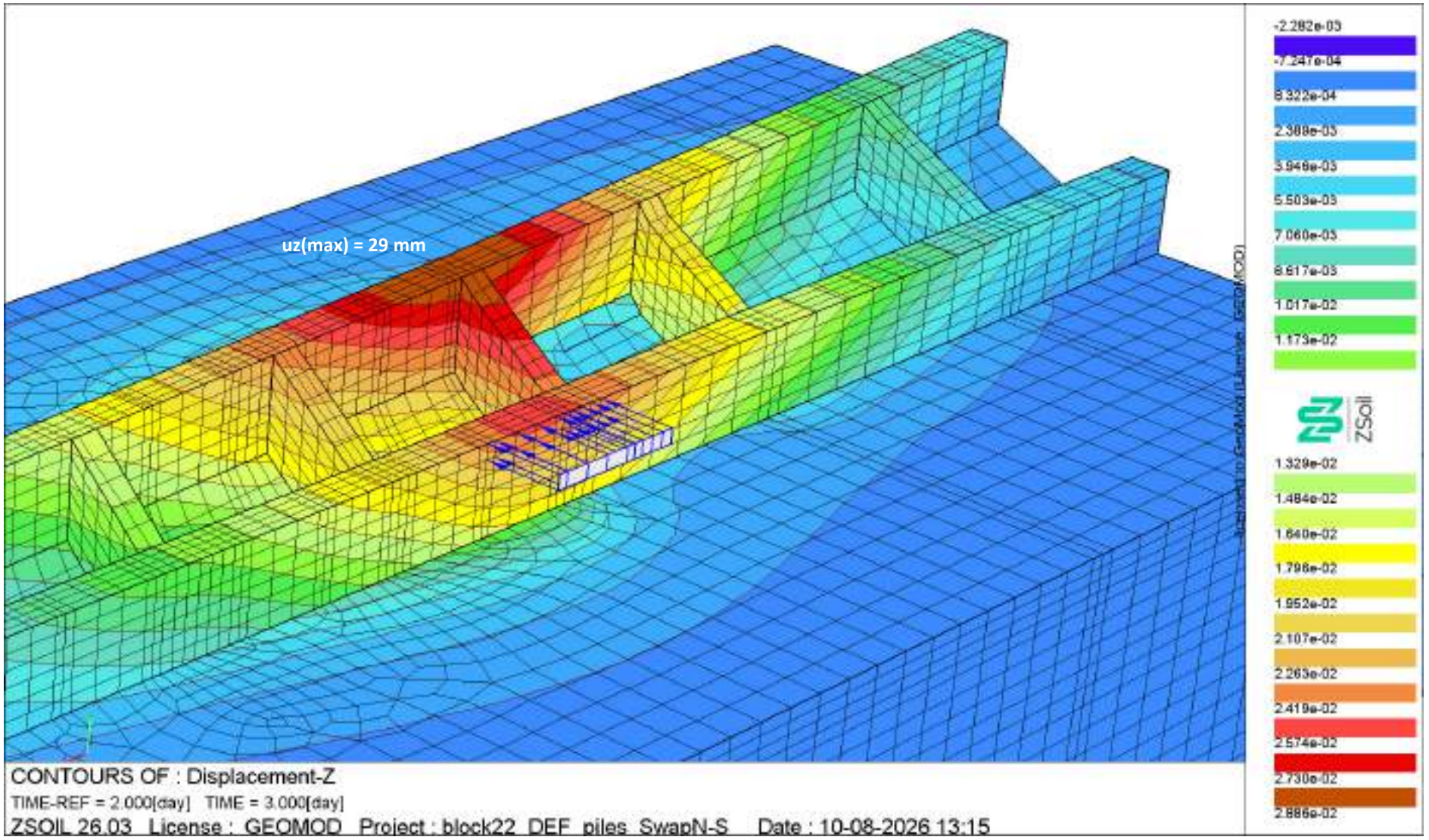


Remblai: paramètres du modèle HSM

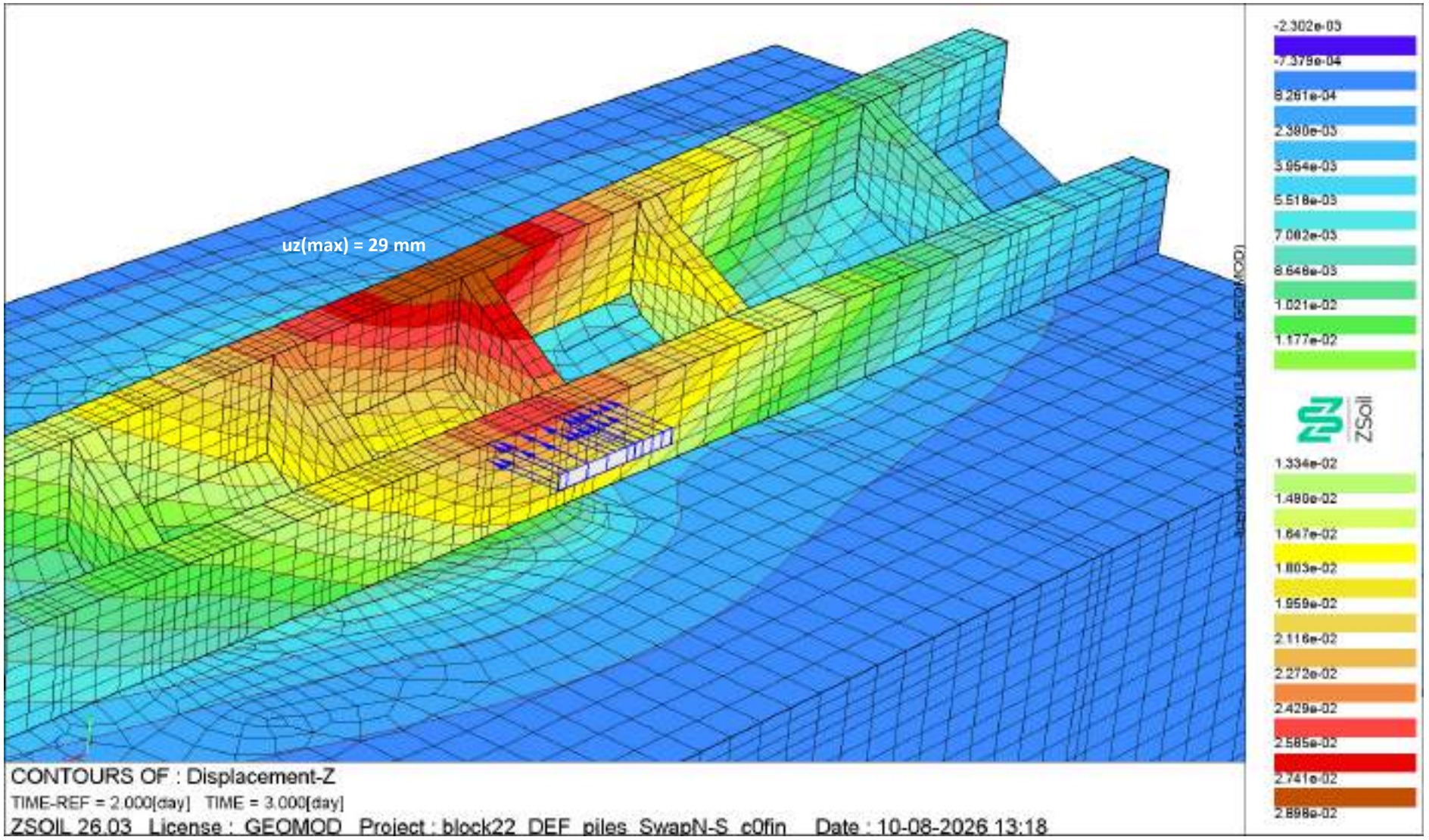




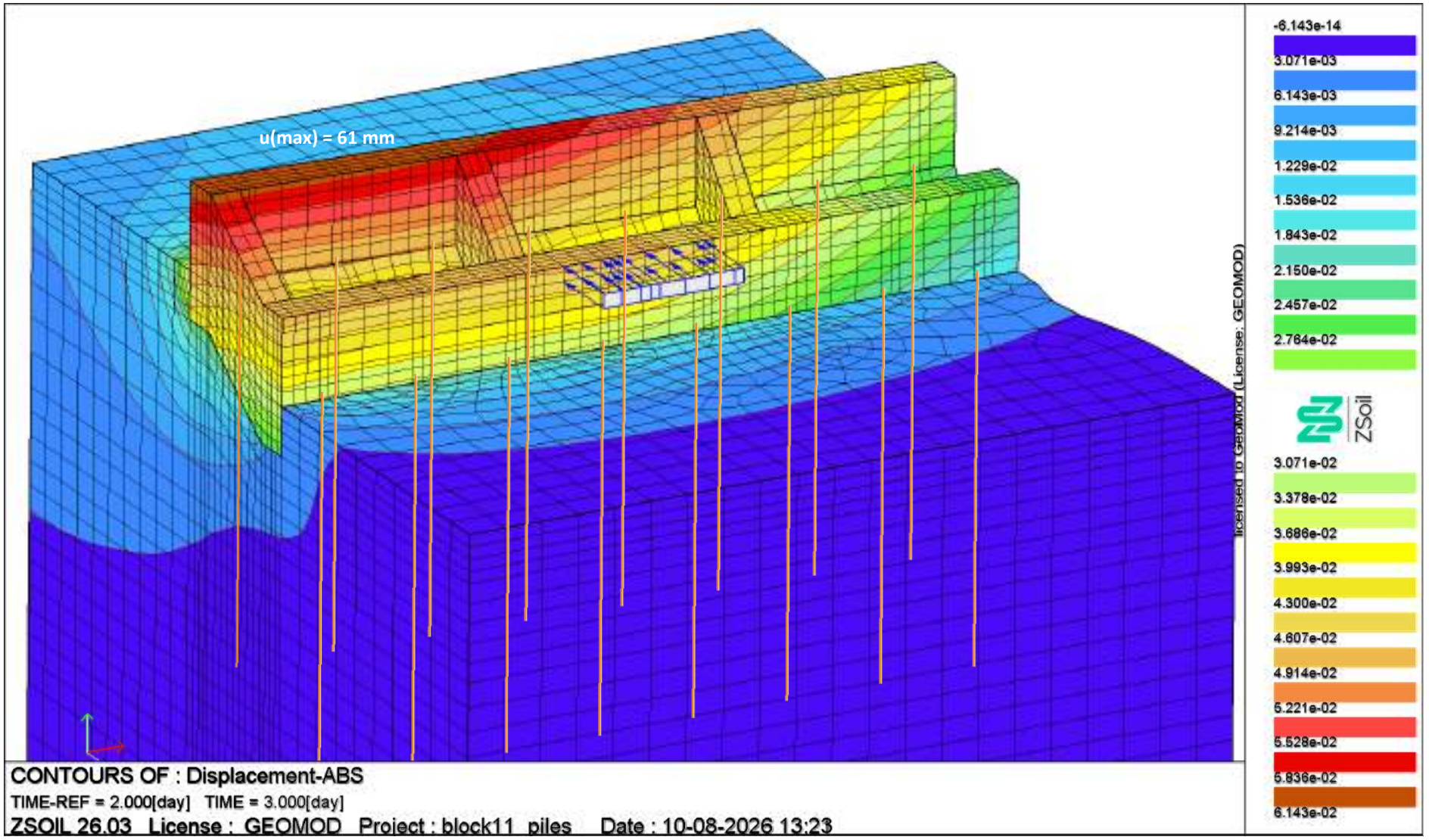
Fluvio-glaciaire fin: paramètres du modèle HSM



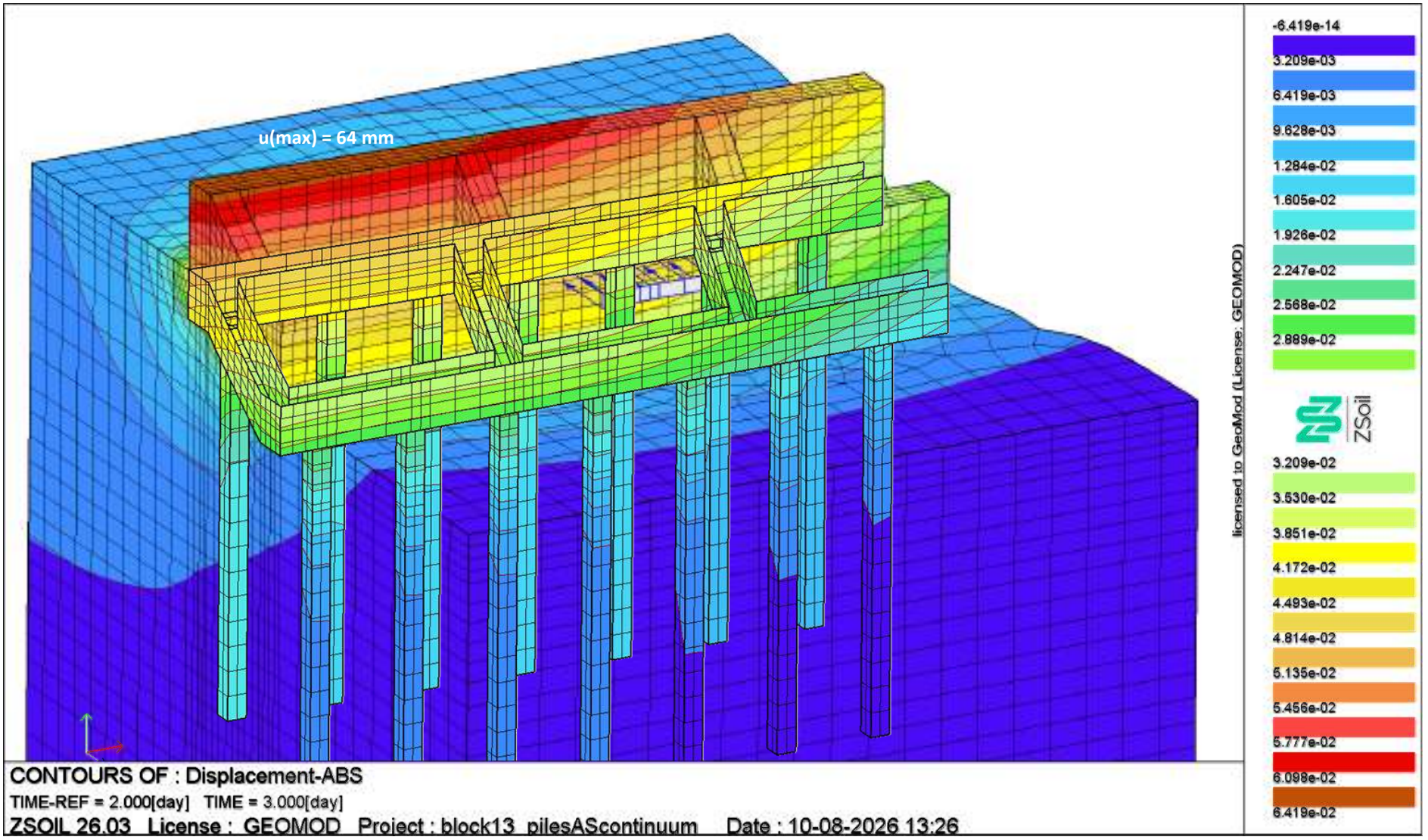
Comparaison des déplacements horizontaux pour cas de charge 1
Fluvio-glaciaire fin avec c = 5 kPa (base)



Comparaison des déplacements horizontaux pour cas de charge 1
Fluvio-glaciaire fin avec c = 0 kPa (variante)



Comparaison des déplacements absolus sur un modèle auxiliaire
Pieux en éléments «pile»



Comparaison des déplacements absolus sur un modèle auxiliaire
Pieux en éléments continus

10.14. Calage du modèle AxisVM sur modèle ZSoil

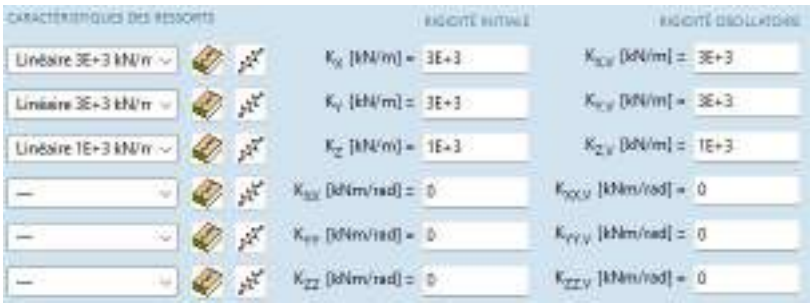
Un calage du modèle AxisVM a été réalisé sur celui du modèle ZSoil du bureau Geomod. Pour cela, les valeurs des ressorts ponctuels modélisés à chaque mètre de profondeur des pieux ont été ajustées de sorte à obtenir des déformations relativement similaires à celles obtenus par le modèle ZSoil, pris comme référence pour définir les sollicitations et déformations relatives aux pieux.

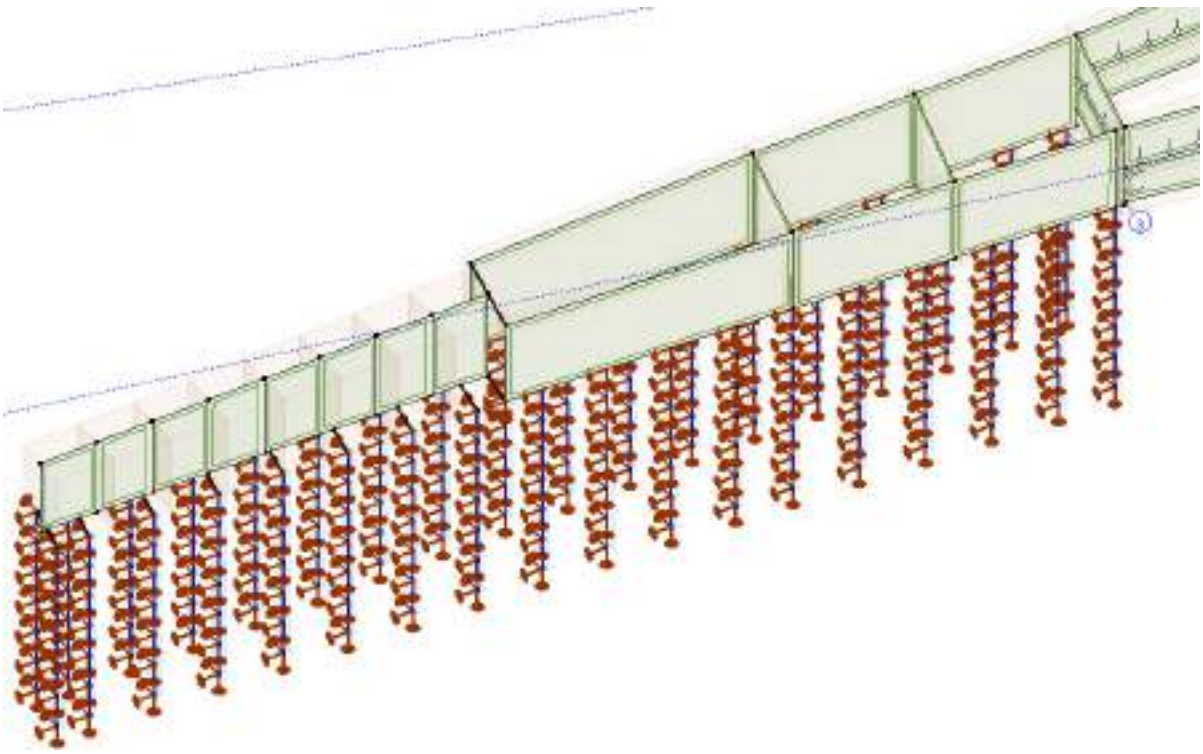
Pour rappel, le modèle Zsoil traite uniquement de la partie des murs sur pieux.

Le calage a été réalisé sur la base du modèle de sol 3 selon 2.2.1. Pour second rappel, les caractéristiques du sol 3 concernent uniquement les valeurs des appuis surfaciques sous les semelles des murs de guidage (hors partie sur pieux). Les valeurs ks_v et ks_h ont été communiquées par le bureau Institut Geotechnique et sont présentées au chapitre 10.12.

Par tâtonnement, les valeurs des appuis ponctuels (à chaque mètre de profondeur des pieux) ont été ajustées pour correspondre au mieux aux déplacements trouvés sur le modèle ZSoil. Les valeurs des appuis suivantes ont été retenues, et les résultats sont présentés à la suite :

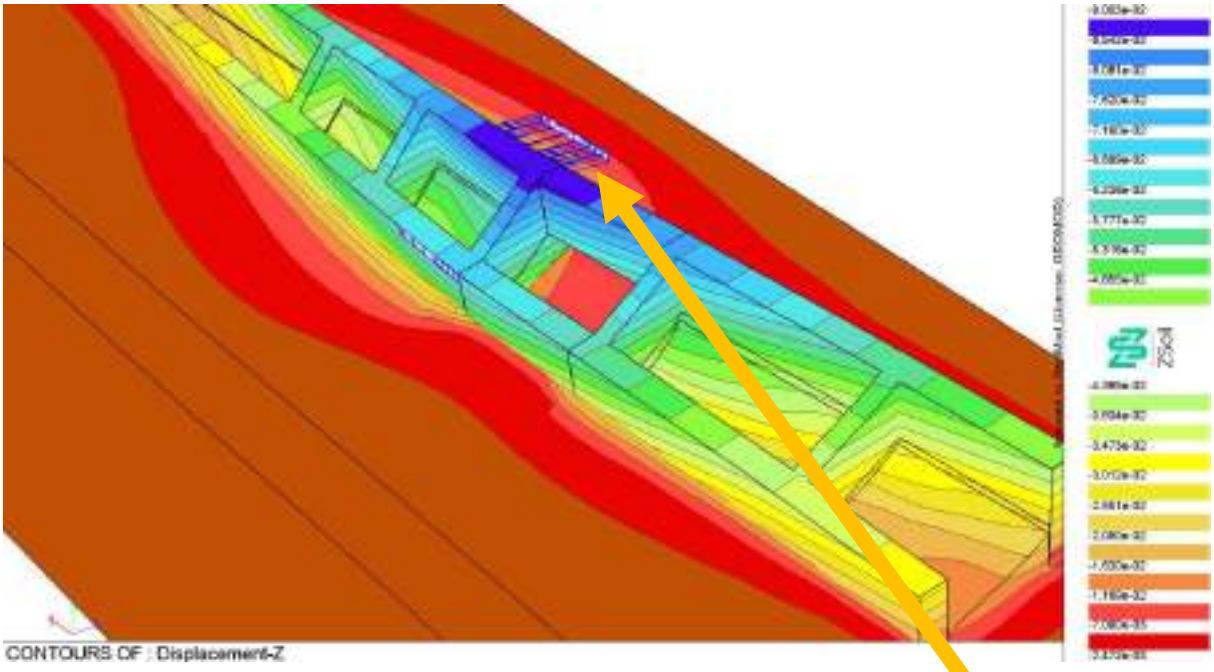
K_X = 3’000 kN/m ; K_Y = 3’000 kN/m ; K_Z = 1’000 kN/m
Rotations libres.



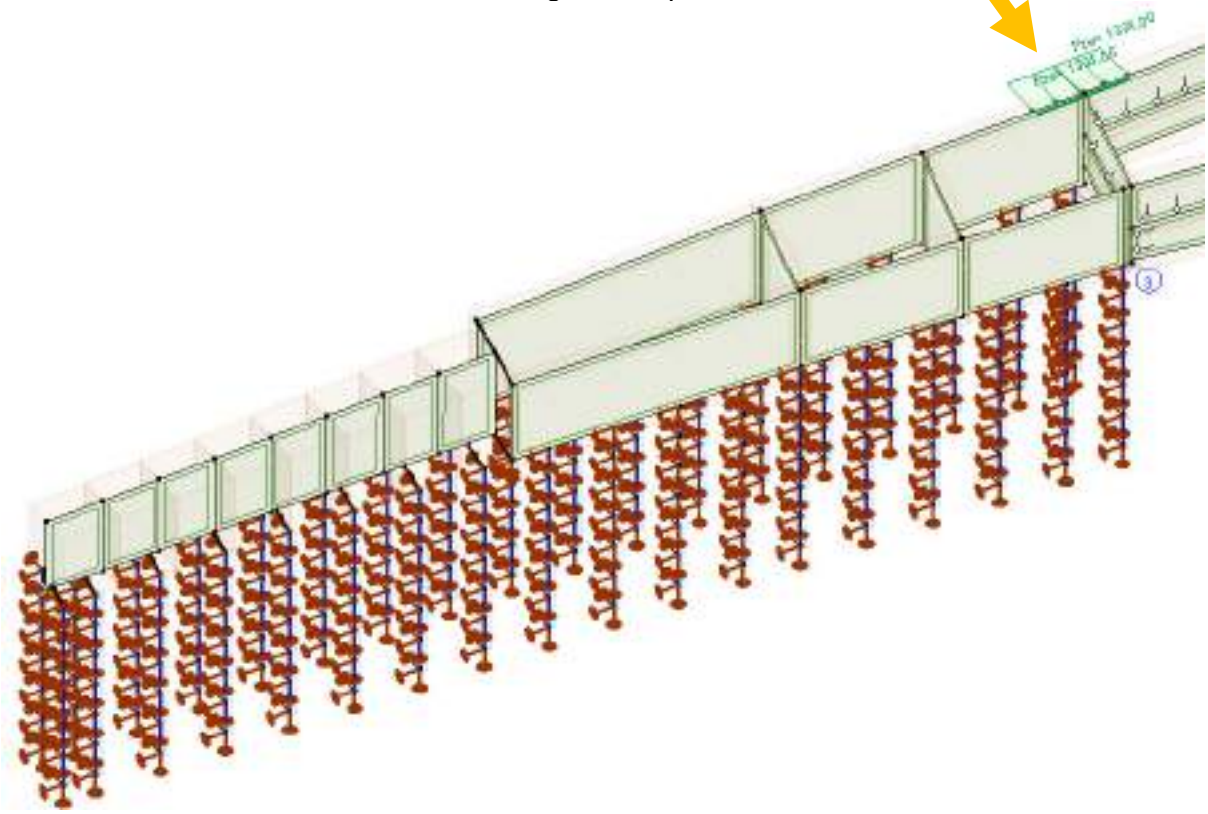


Calage selon cas de charge 2 du modèle ZSoil :

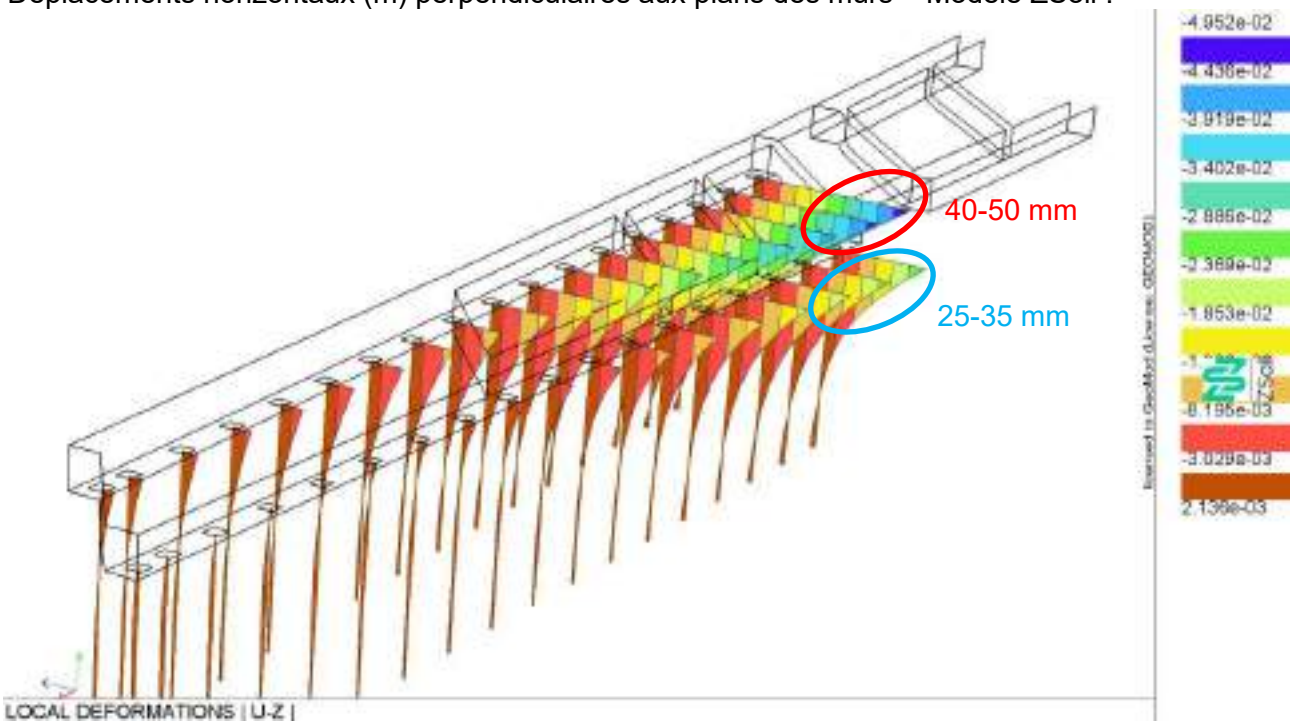
Extrait Modèle ZSoil :



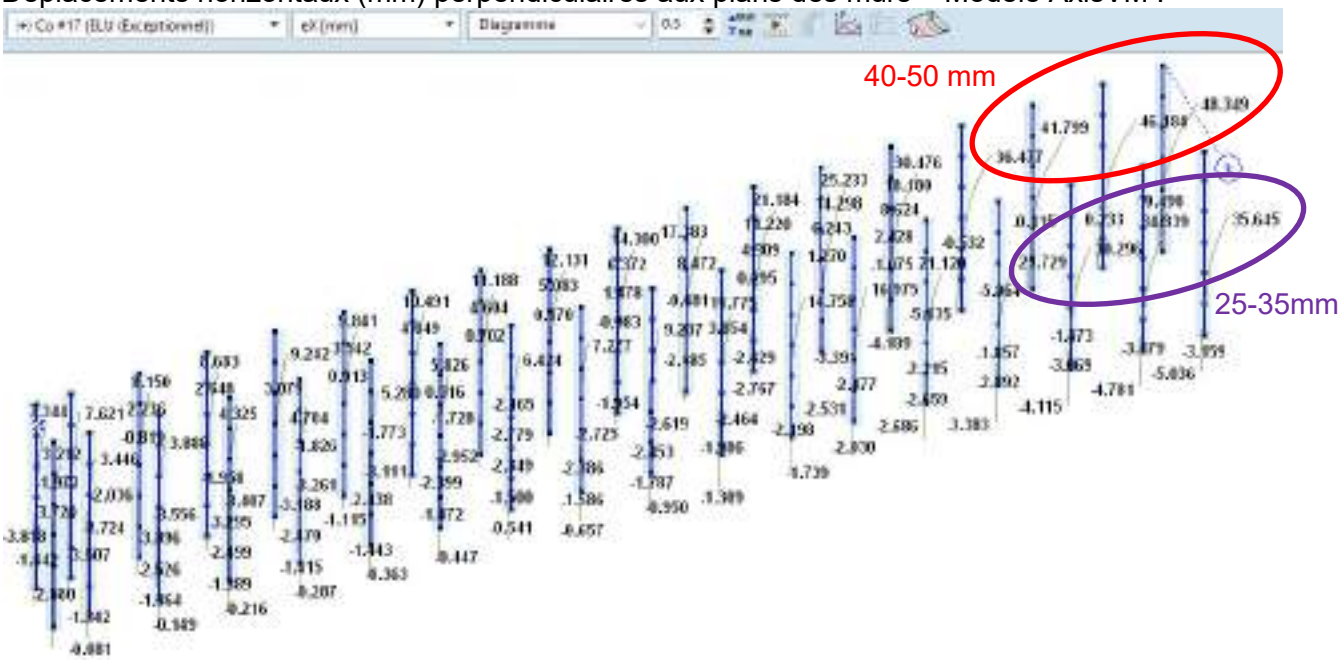
Extrait modèle AxisVM calé – Cas de charge correspondant :



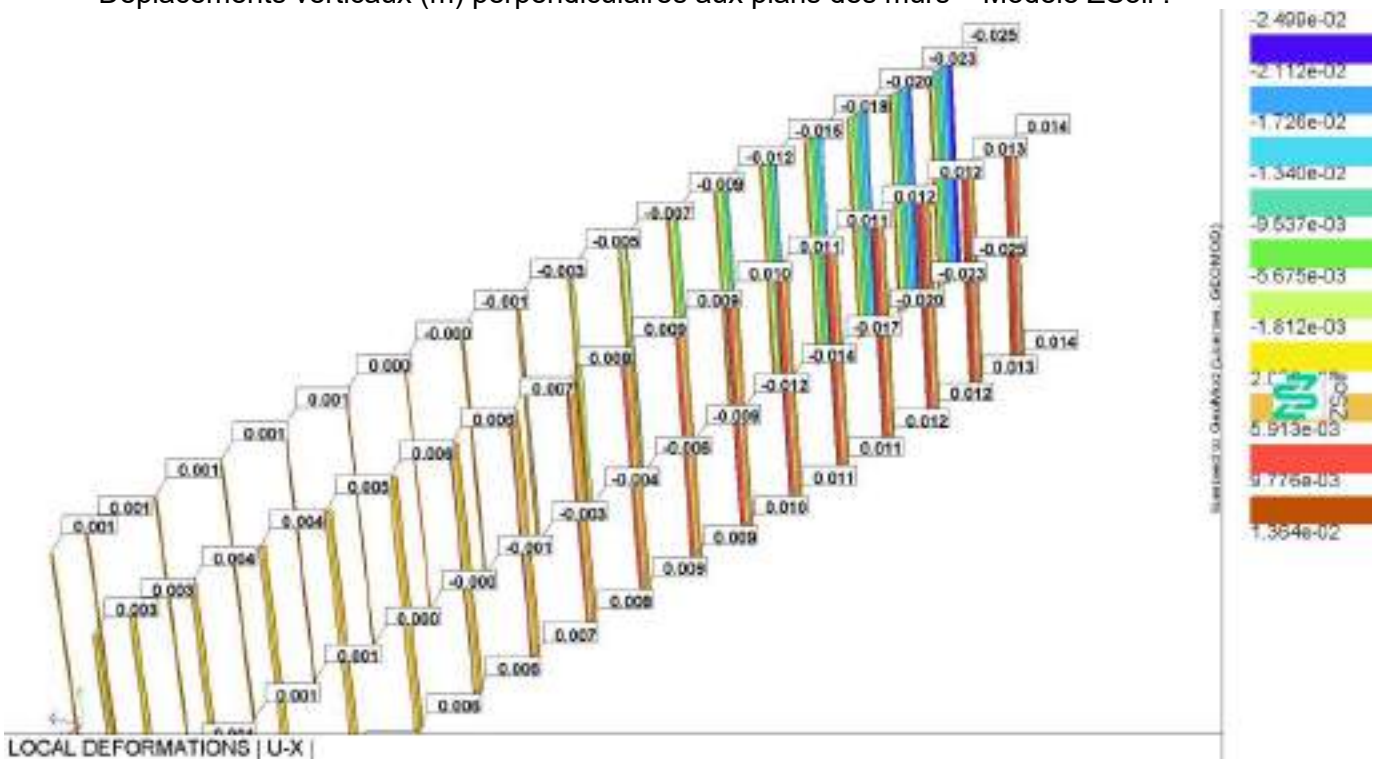
Déplacements horizontaux (m) perpendiculaires aux plans des murs – Modèle ZSoil :



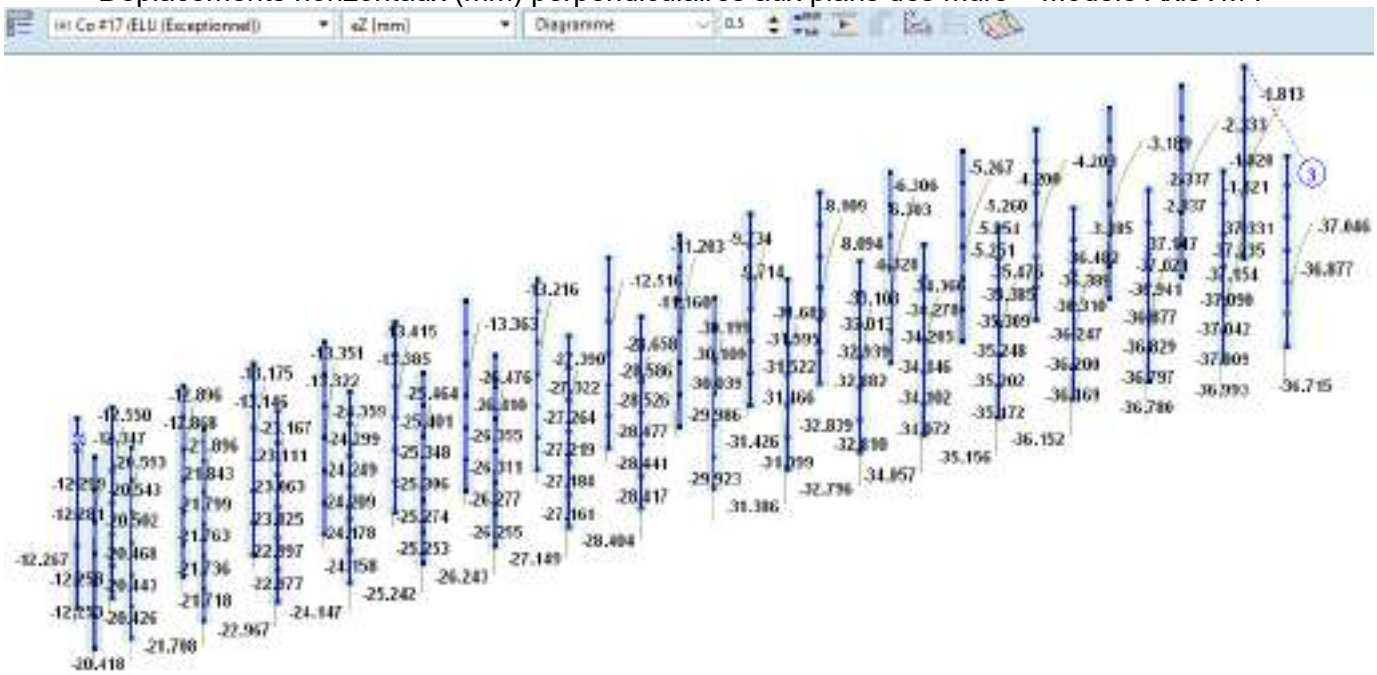
Déplacements horizontaux (mm) perpendiculaires aux plans des murs – Modèle AxisVM :



Déplacements verticaux (m) perpendiculaires aux plans des murs – Modèle ZSoil :

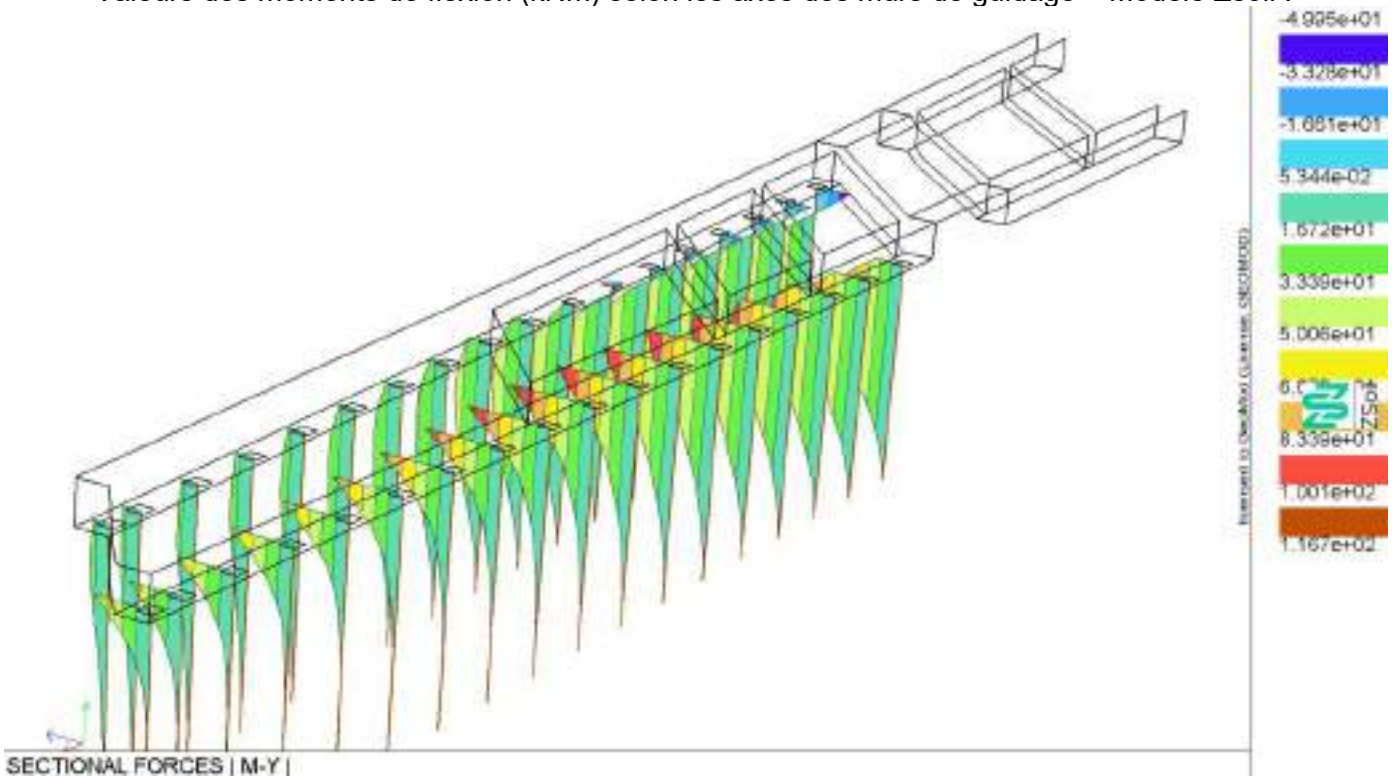


Déplacements horizontaux (mm) perpendiculaires aux plans des murs – Modèle AxisVM :

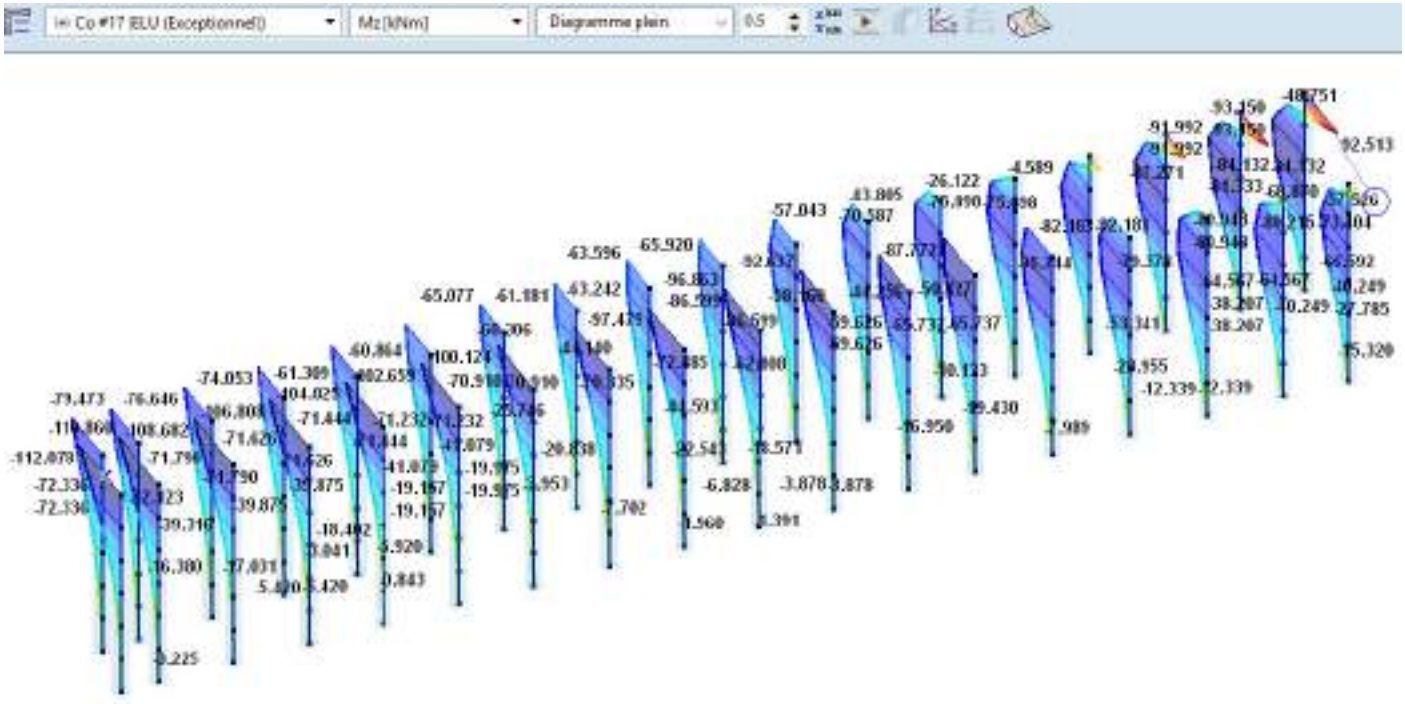


A titre de comparaison, les sollicitations dans les pieux calculées dans le modèle AxisVM sont présentées à la suite. Pour rappel, le modèle AxisVM est calé en déplacements selon le modèle Zsoil, et les pieux sont dimensionnés selon les sollicitations obtenues dans le modèle ZSoil.

Valeurs des moments de flexion (kNm) selon les axes des murs de guidage – Modèle Zsoil :

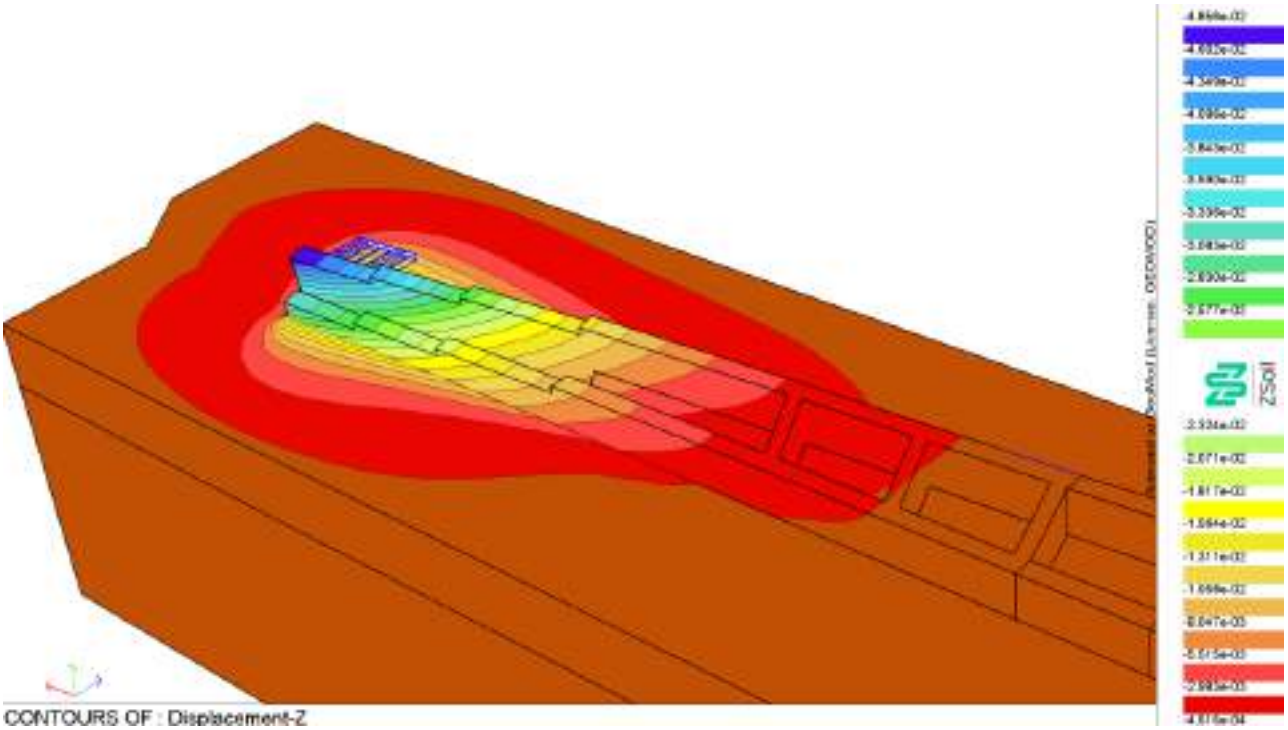


Valeurs des moments de flexion (kNm) selon les axes des murs de guidage – Modèle AxisVM :

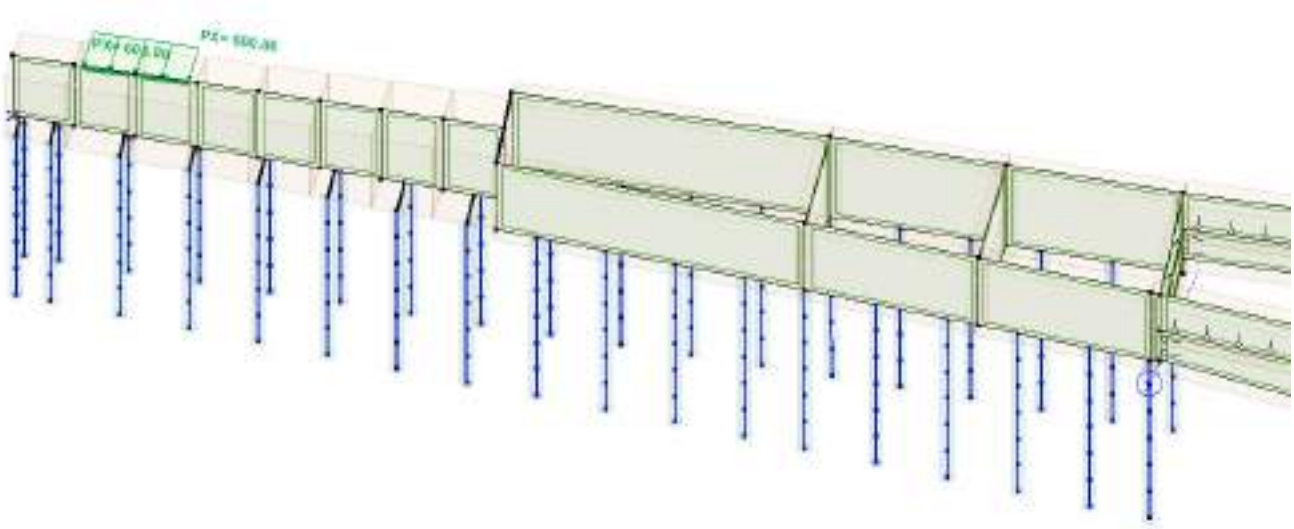


Calage selon cas de charge 3 du modèle ZSoil :

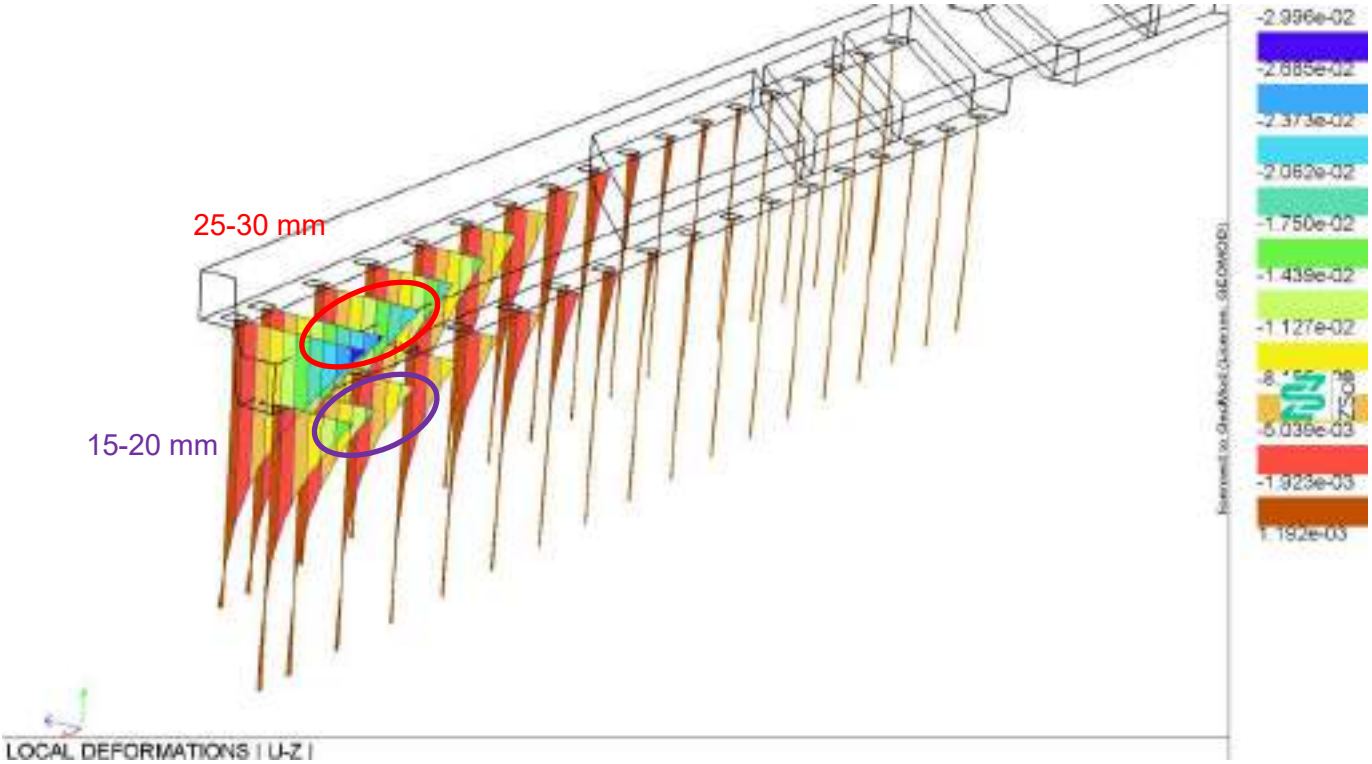
Extrait Modèle ZSoil :



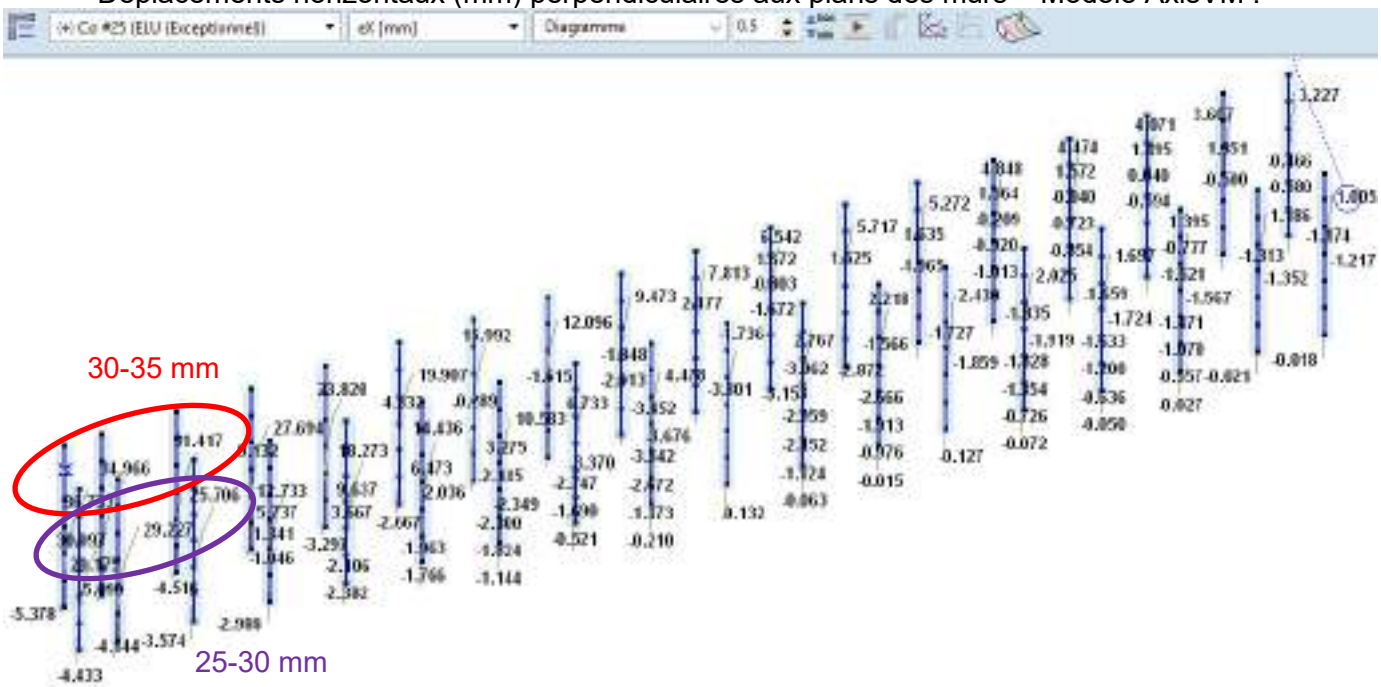
Extrait modèle AxisVM calé – Cas de charge correspondant :



Déplacements horizontaux (m) perpendiculaires aux plans des murs – Modèle ZSoil :



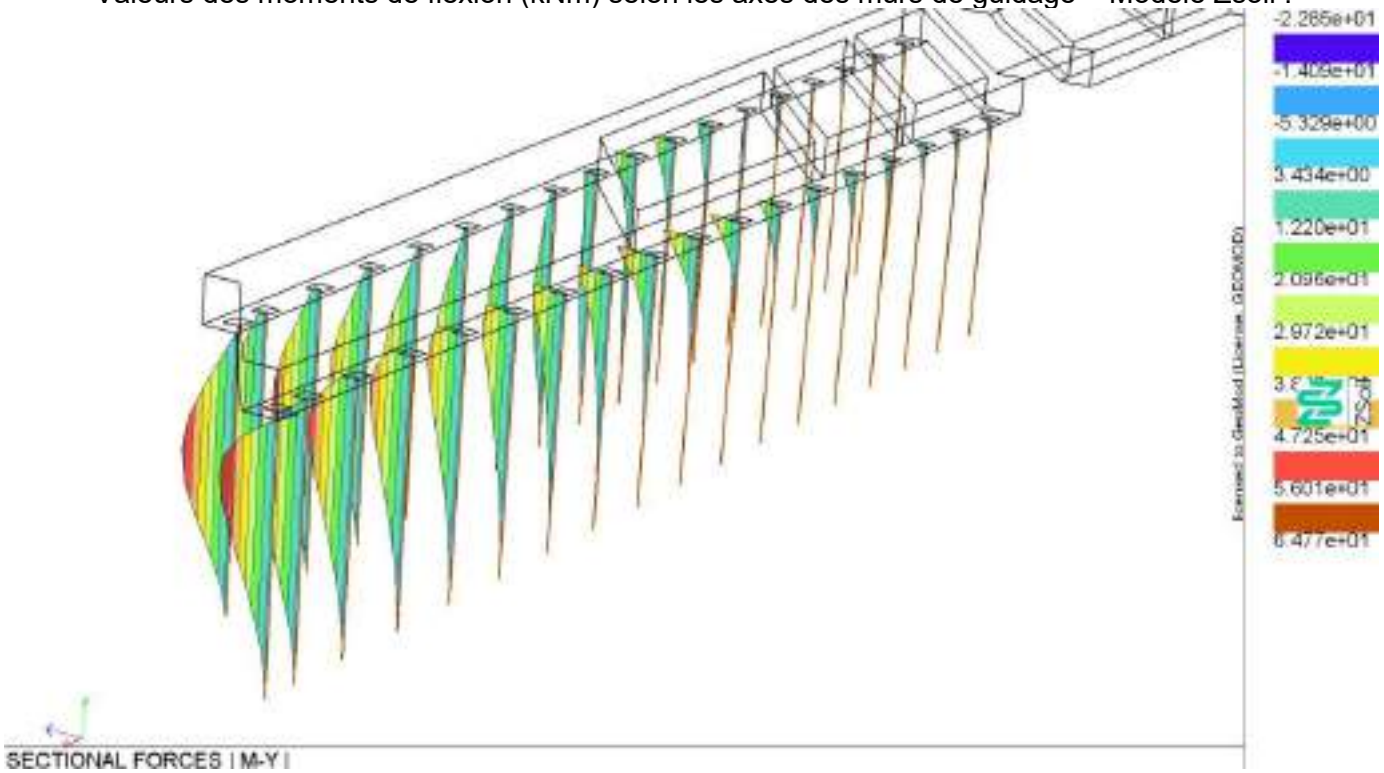
Déplacements horizontaux (mm) perpendiculaires aux plans des murs – Modèle AxisVM :



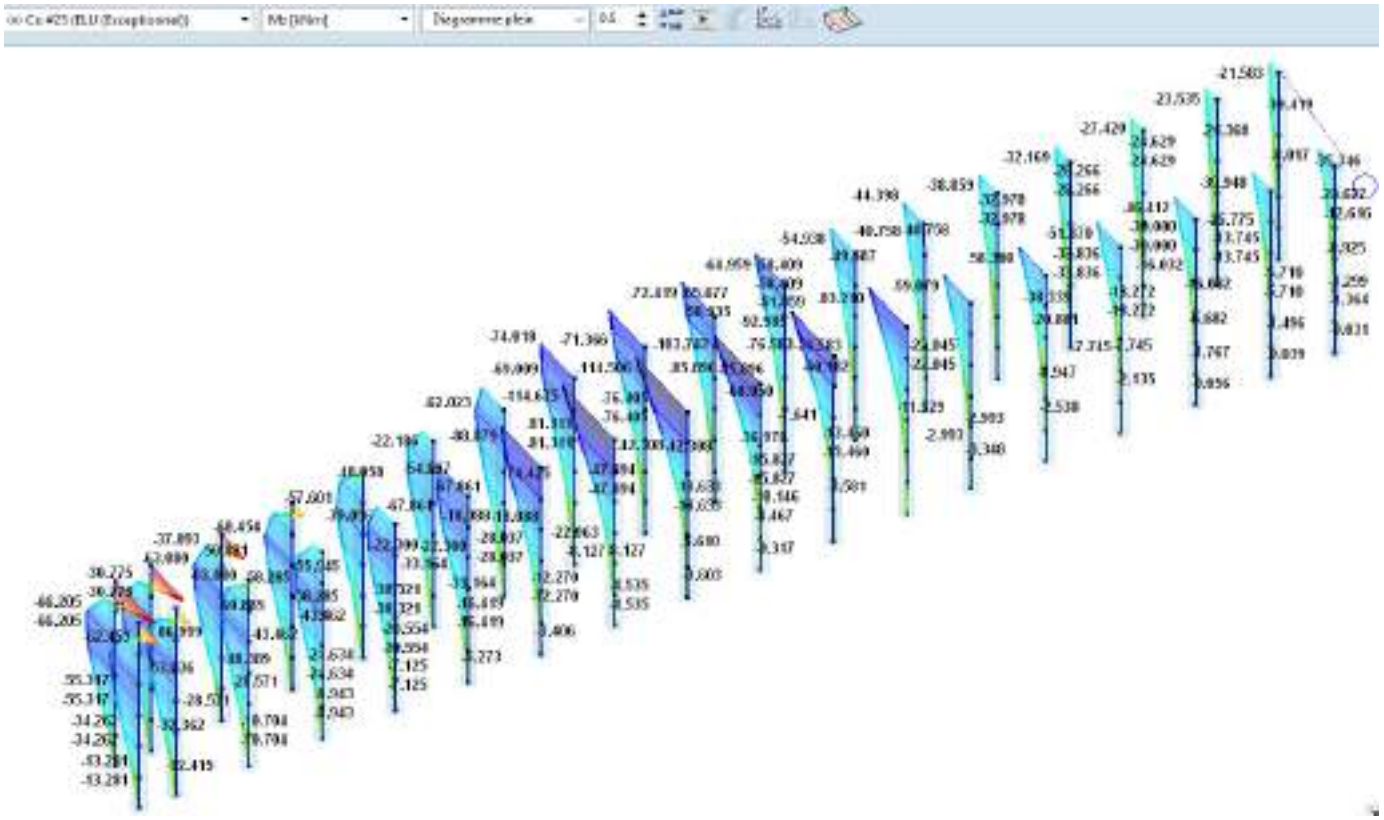
Les légères différences entre valeurs de déplacements des modèles ZSoil et AxisVM sont dues au fait que les valeurs ne sont pas comparées exactement au même endroit, et que la charge de choc considérée diffère légèrement (500 kN/m sur 3 m dans le modèle ZSoil, contre 600 kN/m sur 3 m dans le modèle AxisVM). Par conséquent, les deux modèles correspondent donc assez bien.

A titre de comparaison, les sollicitations dans les pieux calculées dans le modèle AxisVM sont présentées à la suite. Pour rappel, le modèle AxisVM est calé en déplacements selon le modèle Zsoil, et les pieux sont dimensionnés selon les sollicitations obtenues dans le modèle ZSoil.

Valeurs des moments de flexion (kNm) selon les axes des murs de guidage – Modèle Zsoil :

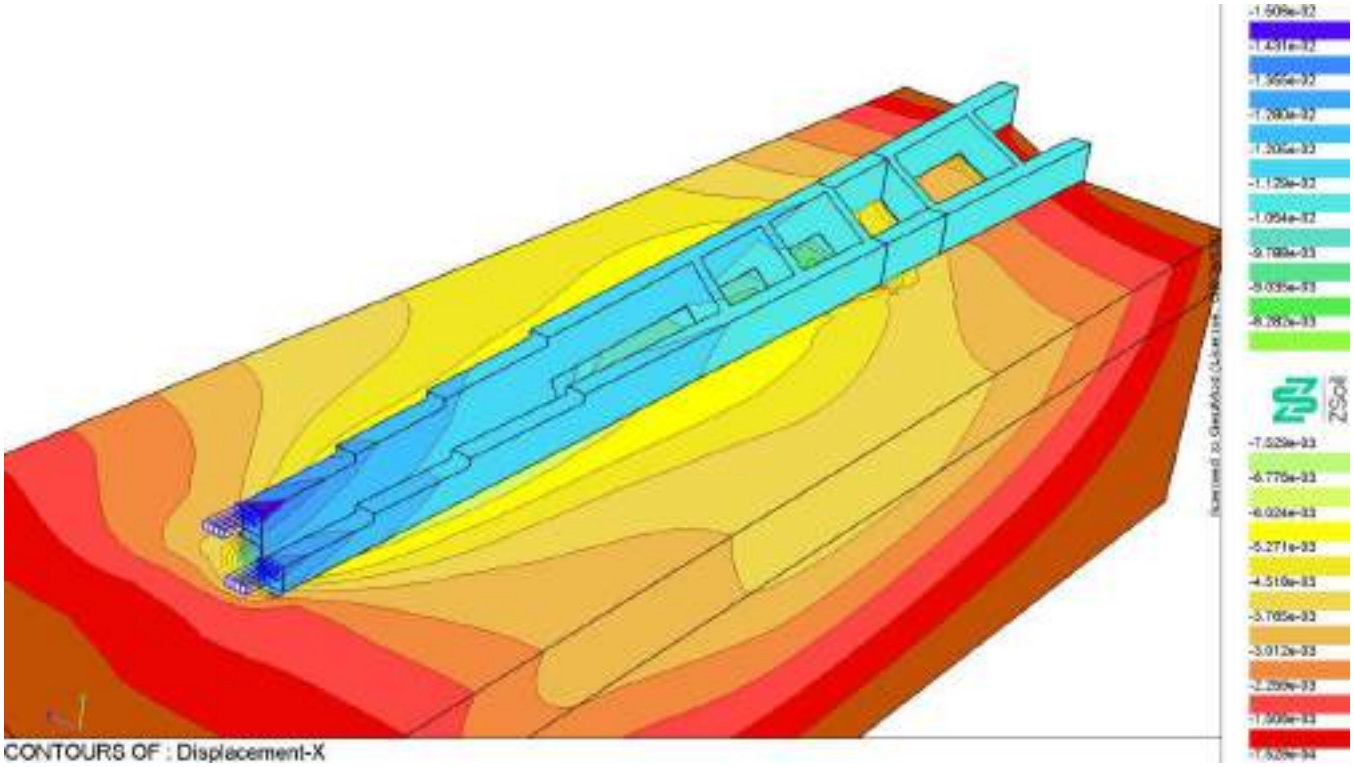


Valeurs des moments de flexion (kNm) selon les axes des murs de guidage – Modèle AxisVM :

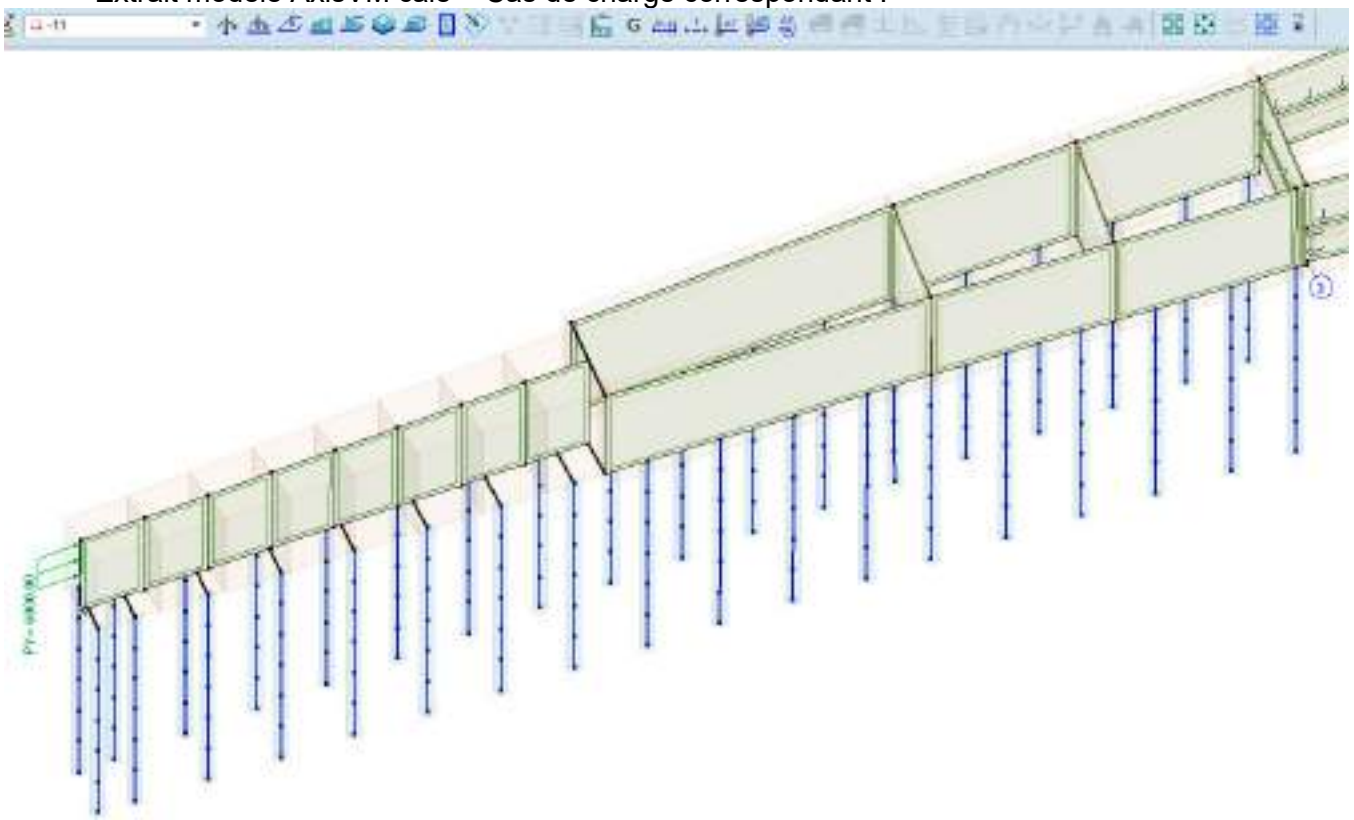


Calage selon cas de charge 4 du modèle ZSoil :

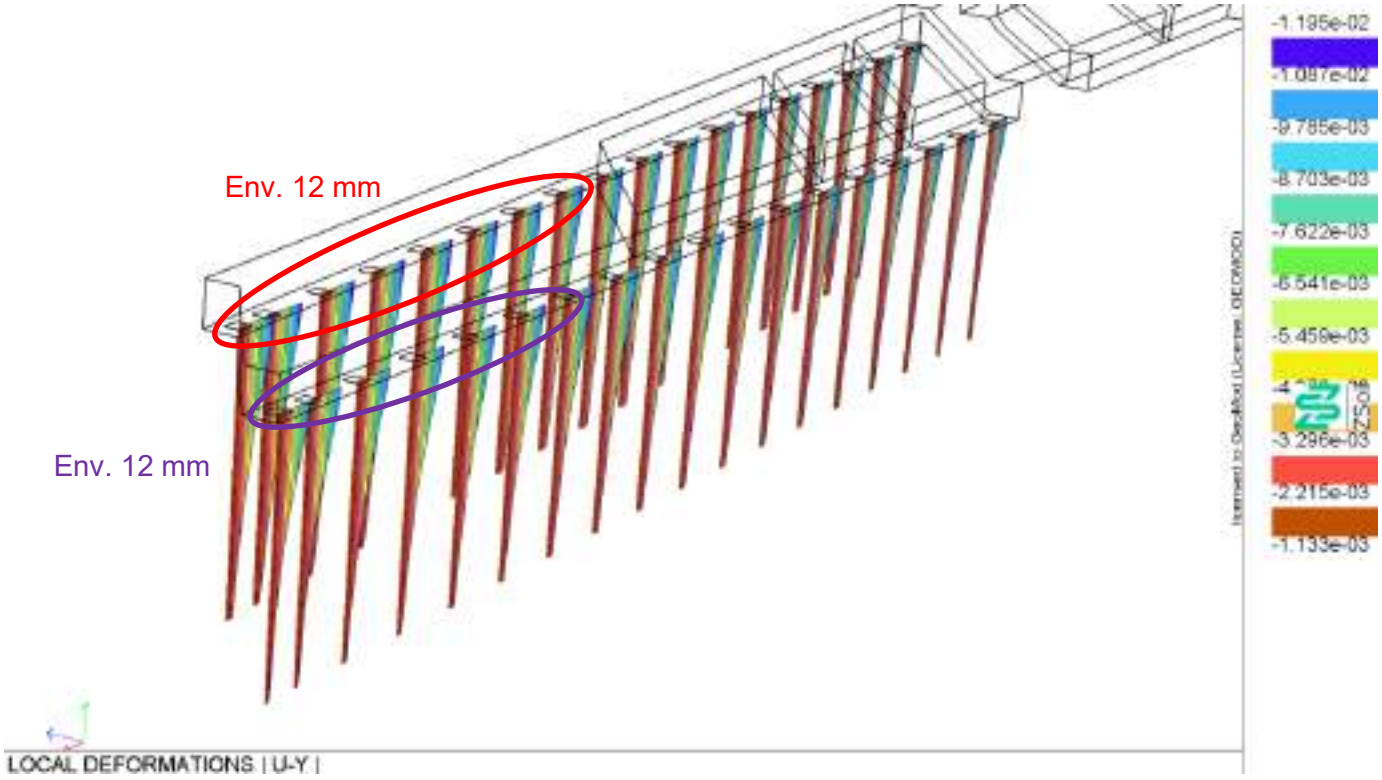
Extrait Modèle ZSoil :



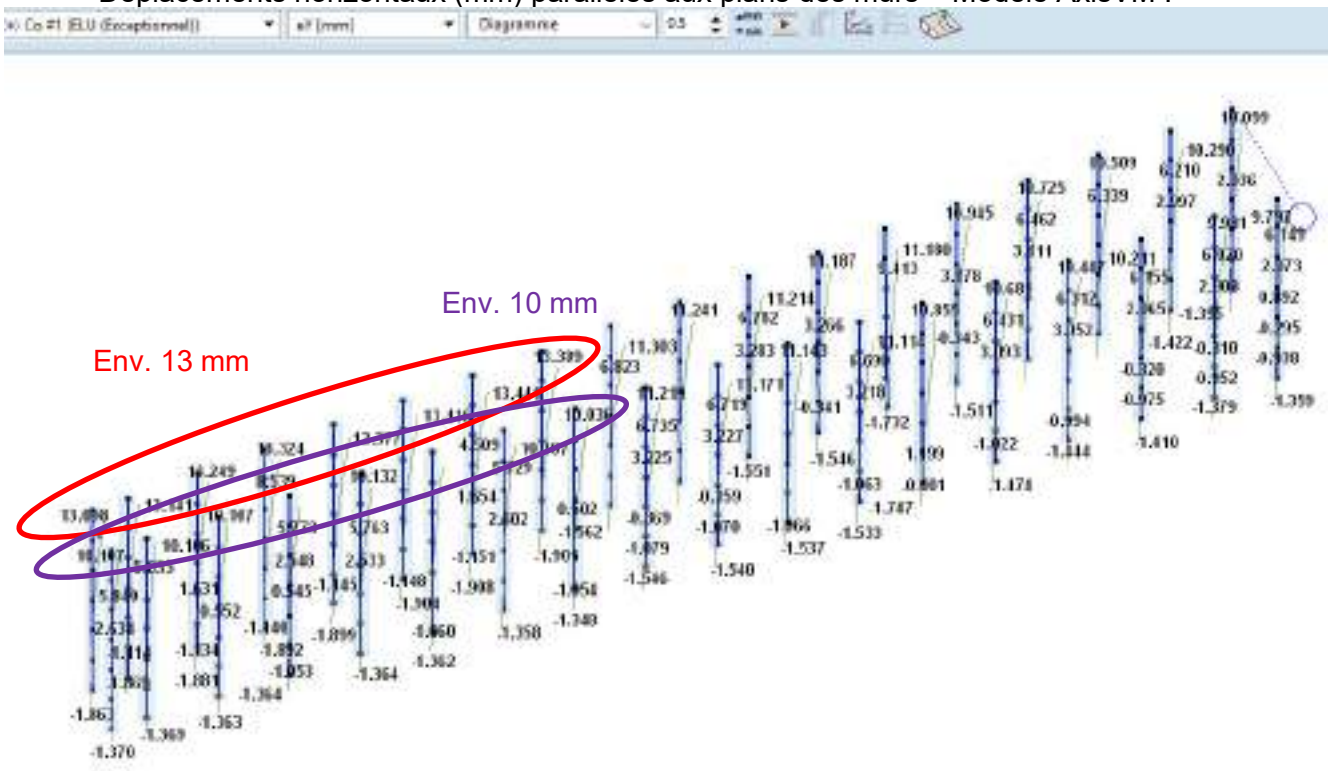
Extrait modèle AxisVM calé – Cas de charge correspondant :



Déplacements horizontaux (m) parallèles aux plans des murs – Modèle ZSoil :

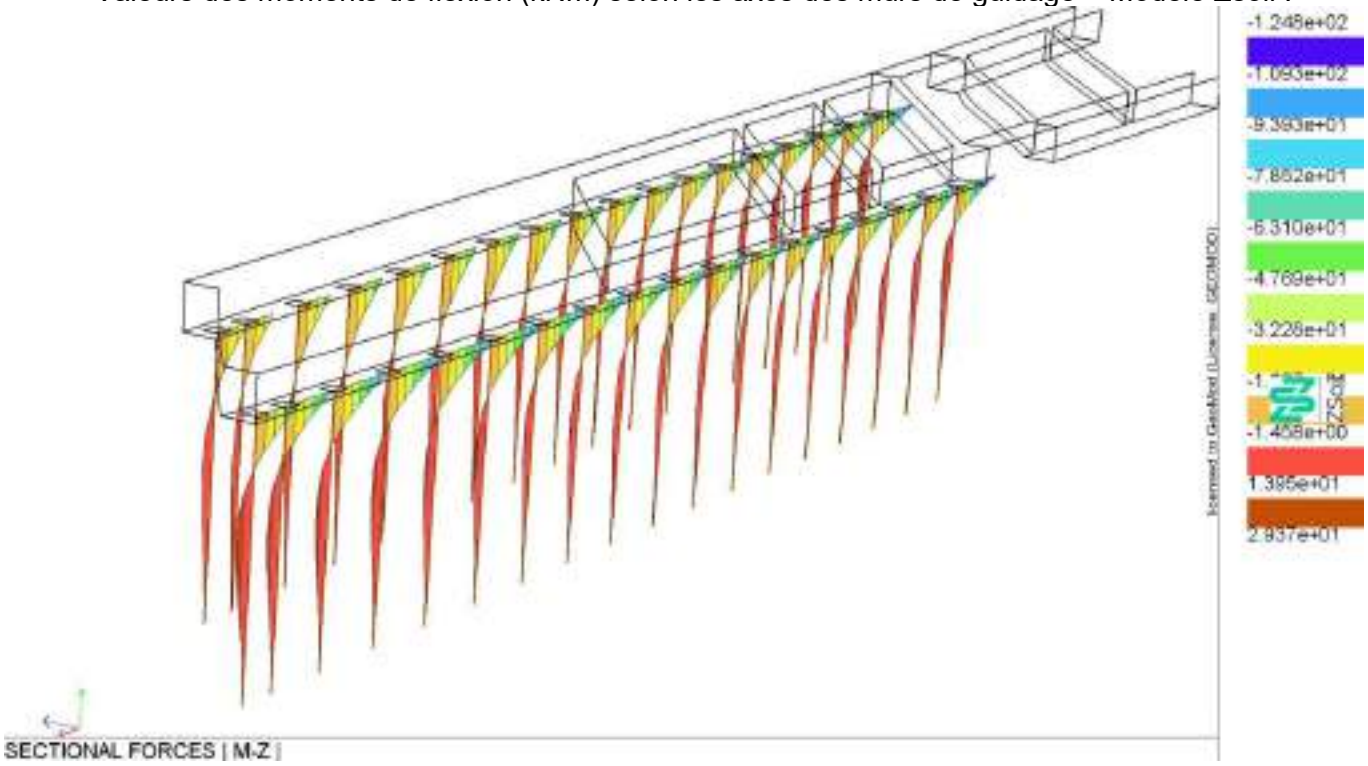


Déplacements horizontaux (mm) parallèles aux plans des murs – Modèle AxisVM :

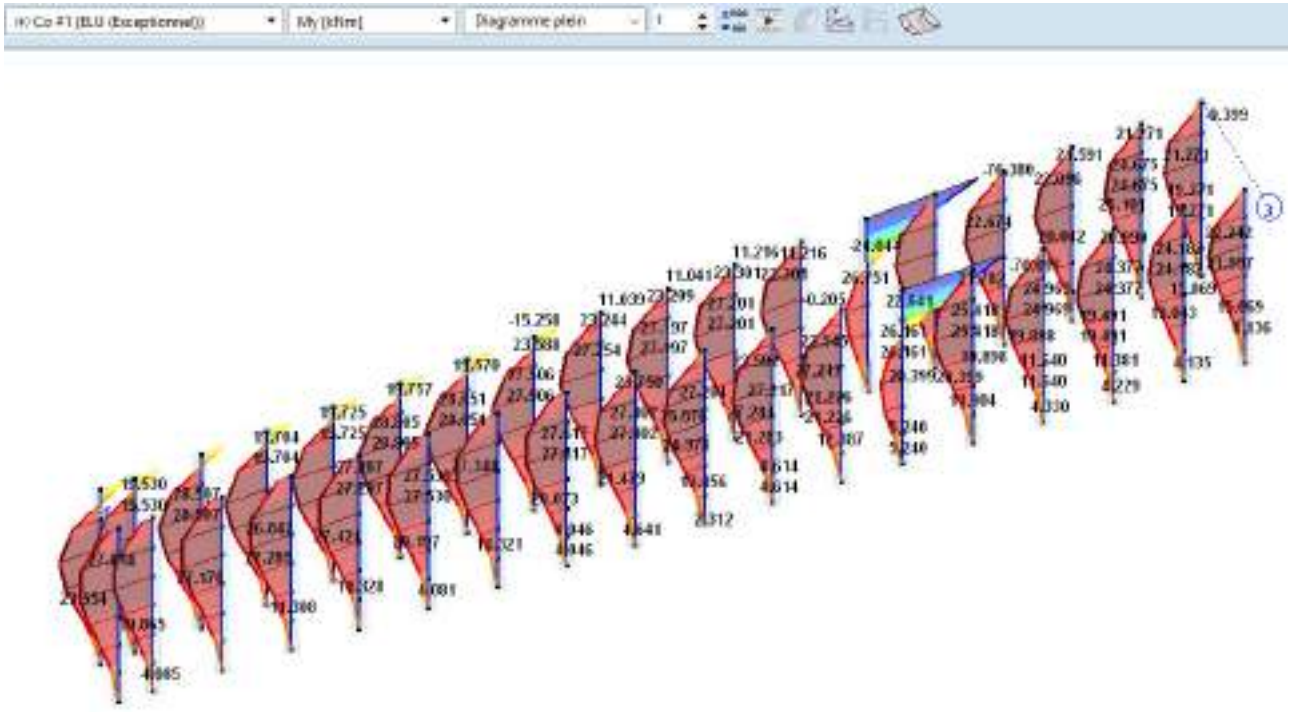


A titre de comparaison, les sollicitations dans les pieux calculées dans le modèle AxisVM sont présentées à la suite. Pour rappel, le modèle AxisVM est calé en déplacements selon le modèle Zsoil, et les pieux sont dimensionnés selon les sollicitations obtenues dans le modèle ZSoil.

Valeurs des moments de flexion (kNm) selon les axes des murs de guidage – Modèle Zsoil :



Valeurs des moments de flexion (kNm) selon les axes des murs de guidage – Modèle AxisVM :



10.15. Analyse de sensibilité entre modèles de sols 1 et 2 et modèles I.G.

Ce chapitre vise à évaluer les différences de comportement, entre le cas de l'ouvrage avec caractéristiques de sols 1 et 2 selon chapitre 2.2.1, et le cas de l'ouvrage avec des caractéristiques de sols transmises par le bureau Institut Géotechnique (IG), communiquées le 12.08.2026, et présentées dans les chapitres 10.12.1, 10.12.2, 10.12.3.

Les valeurs k_v communiquées dernièrement par IG sont englobées par les modèles de sols 1 et 2. Ce n'est pas le cas pour les valeurs de k_h communiquées par IG qui sont supérieures à la valeur du modèle de sol 2.

Des modèles supplémentaires ont été réalisés, avec les valeurs « hautes » de IG. La valeur de k_h étant plus haute que pour le sol 2, on constate au droit des butons des valeurs de sollicitations très légèrement supérieures à celles du modèle de sol 2 (env. 1 à 3% de dépassements au droit des butons). L'influence de l'augmentation du k_h reste faible sur les sollicitations obtenues.

Ces valeurs plus hautes obtenues avec les caractéristiques de sol de IG sont vérifiées par les sections d'armatures choisies $A_{s,réel}$ qui sont effectivement plus importantes que les sections d'armatures nécessaires $A_{s,néc}$. Les armatures et les coefficients de conformité associés sont présentées aux ch. 6.2 et 6.3.

	Sol 1	**Valeurs basses selon Institut Geotechnique**		**Sol 2**	**Valeurs hautes selon Institut Geotechnique**	
kv (kN/m/m2)	3000	5000		20000	6000	
kh (kN/m/m2)	600	4790		4000	6800	
	Efforts dimensionnant en travées		n	Efforts dimensionnants au droit des butons		n
MxD+ sur Sorge	2925	2775	0.95	2850	2636	0.92
MyD- sur Sorge	924	948	1.03	1106	1000	0.90
MxD- buton 7				1690	1732	1.02
MxD+ travée 6-7	2398	2190	0.91			

10.16. Analyse de sensibilité – Vérifications au glissement

Ce chapitre vise à caractériser les influences de la hauteur du remblai et de l'angle de frottement du sol dans les vérifications au glissement détaillées au chapitre 7.1.

Vérifications au glissement - zone de murs entre butons 17 à 20 :

Etude de sensibilité - Vérification au glissement - Butons 4 à 8						
φD (°)	23	24	25	26	27	28
haut. remblai (m)	Valeurs du coefficient de conformité n pour vérification au glissement localisée (valeur résistance / valeur sollicitante)					
1.5	0.87	0.91	0.95	1.00	1.04	1.09
1.6	0.89	0.93	0.98	1.02	1.07	1.11
1.7	0.91	0.96	1.00	1.05	1.10	1.14
1.8	0.94	0.98	1.03	1.08	1.12	1.17
1.9	0.96	1.01	1.05	1.10	1.15	1.20
2	0.98	1.03	1.08	1.13	1.18	1.23
2.1	1.01	1.05	1.10	1.16	1.21	1.26
2.2	1.03	1.08	1.13	1.18	1.23	1.29
2.3	1.05	1.10	1.16	1.21	1.26	1.32
2.4	1.08	1.13	1.18	1.24	1.29	1.35
2.5	1.10	1.15	1.21	1.26	1.32	1.38
2.6	1.12	1.18	1.23	1.29	1.35	1.40
2.7	1.14	1.20	1.26	1.32	1.37	1.43
2.8	1.17	1.23	1.28	1.34	1.40	1.46
2.9	1.19	1.25	1.31	1.37	1.43	1.49
3	1.21	1.27	**1.33**	1.40	1.46	1.52

Vérifications au glissement - zone de murs entre butons 4 à 8 :

Etude de sensibilité - Vérification au glissement - Butons 4 à 8						
φD (°)	23	24	25	26	27	28
haut. remblai (m)	Valeurs du coefficient de conformité n pour vérification au glissement localisée (valeur résistance / valeur sollicitante)					
1	0.75	0.79	0.82	0.86	0.90	0.94
1.1	0.77	0.81	0.85	0.89	0.93	0.97
1.2	0.80	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00
1.3	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.03
1.4	0.84	0.88	0.93	0.97	1.01	1.06
1.5	0.87	0.91	0.95	1.00	1.04	1.09
1.6	0.89	0.93	0.98	1.02	1.07	1.11
1.7	0.91	0.96	1.00	1.05	1.10	1.14
1.8	0.94	0.98	1.03	1.08	1.12	1.17
1.9	0.96	1.01	1.05	1.10	1.15	1.20
2	0.98	1.03	**1.08**	1.13	1.18	1.23
2.1	1.01	1.05	1.10	1.16	1.21	1.26
2.2	1.03	1.08	1.13	1.18	1.23	1.29
2.3	1.05	1.10	1.16	1.21	1.26	1.32
2.4	1.08	1.13	1.18	1.24	1.29	1.35
2.5	1.10	1.15	1.21	1.26	1.32	1.38

11. Signatures

33 Phase de procédure d'autorisation / projet de mise à l'enquête

Pilote du consortium InfraW		**Auteur du projet**	
Entreprise :	ATB SA	Entreprise :	ATB SA
Nom :	Christian Simonin	Nom :	Robin Parent
Date :	05.10.2026	Date :	05.10.2026
Signature :		Signature :	
……..		……..	