

Client demandeur : SATPN 972

Référence et date de commande : 1504485196 du 04/07/2013

Référence du document : SRI – 14/018b – AS/NB

ETUDE DU COMPORTEMENT AU FEU DU PARKING AERIEN D'UN HOTEL DE POLICE A FORT-DE-FRANCE (972)

RAPPORT D'ETUDE



« Établissement certifié qualité ISO 9001, le CTICM assure un suivi de chaque étude dans le plus strict respect de ses procédures qualité »

Date :	26/06/2014	Auteurs :	Arnaud SANZEL	Nombre total de pages : (y compris celle-ci)	77
--------	------------	-----------	---------------	---	----

Révision	Date	Auteurs	Objet
A	13/02/2014	A. SANZEL	Émission originale
B	26/06/2014	A. SANZEL	Mise à jour suite aux modifications des plans et des sections
C			
D			
E			

Date :	26/06/2014	Auteur :	Arnaud SANZEL	Nombre total de pages : (y compris celle-ci)	77
--------	------------	----------	---------------	---	----

SOMMAIRE

1	Introduction	2
1.1	Documents de référence	2
1.1.1	Documents techniques	2
1.1.2	Plans et notes techniques	3
2	Description de la structure porteuse du parking étudié.....	4
3	Méthode de vérification	5
3.1	Scénarios d’incendie retenus dans l’étude.....	5
3.2	Actions thermiques	14
3.3	Transferts thermiques	14
3.4	Actions mécaniques en situation d’incendie.....	14
3.5	Vérification du comportement au feu de la structure métallique du parking	15
3.5.1	Principe et hypothèse de la modélisation de la structure	15
3.5.2	Critères de ruine de la structure porteuse.....	16
4	Résultats des analyses du comportement au feu de la structure du parking et de la rampe d’accès	16
5	Conclusion.....	18
6	Détails constructifs	18
Annexe A.	Détails des calculs de stabilités de la structure du parking aérien largement ventilé.....	21
A.1.	Scénario S1 : véhicules autour d’un poteau fortement chargé	21
A.2.	Scénario S2 : véhicule utilitaire à mi-portée sous une solive interne.....	28
A.3.	Scénario S3 : véhicule utilitaire à mi-portée sous une solive de la rampe d’accès au parking.....	35
A.4.	Scénario S4 : 7 véhicules dont un utilitaire situés au 1 ^{er} étage pour l’analyse des poutres en console	42
A.5.	Scénario S5 : 7 véhicules dont un utilitaire situés au 4 ^{ème} étage sous la partie en console	51
A.6.	Scénario S6 : 5 véhicules dont un utilitaire situés à proximité des solives de rive du parking.....	60
A.7.	Scénario S7 : 7 véhicules dont un utilitaire situés à proximité des poutres de rive du parking aérien largement ventilé.....	68

1 INTRODUCTION

Cette étude a pour but de vérifier la résistance au feu du parking aérien largement ventilé en R+5 de l'hôtel de police de Fort-de-France (972) selon la procédure réglementaire relative à l'ingénierie du comportement au feu, en s'appuyant sur des scénarios d'incendie réel de véhicules tels que définis par l'arrêté du 14 mars 2011 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et ouvrages. Ce rapport de calcul fait suite au rapport de scénarios préalablement transmis [14] et ayant obtenu des avis favorables de la part du bureau de contrôle ANCO Martinique [15] et du SDIS 972 [16].

1.1 DOCUMENTS DE REFERENCE

1.1.1 Documents techniques

- [1] Eurocode 0 : Bases de calcul des structures (NF-EN-1990, Mars 2003, 2e tirage) et son Annexe Nationale (NF-P-06-100-2, Juin 2004, 1er tirage)
- [2] Arrêté du 9 mai 2006 - Articles PS - Parcs de stationnement couverts, Journal Officiel de la République Française, 8 juillet 2006.
- [3] Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, Journal Officiel de la République Française, page 06328, 1 avril 2004.
- [4] CTICM, Guide pour la vérification du comportement au feu de parcs de stationnement largement ventilés en superstructure métallique, 2014.
- [5] CTICM, Guide pour la vérification du comportement au feu de parcs de stationnement largement ventilés en superstructure métallique, 2004.
- [6] D. JOYEUX – Rapport final: « Demonstration of real fire tests in car parks and high buildings », EUR 20466 EN 2002.
- [7] D. JOYEUX – « Statistiques de feu de voitures dans les parcs de stationnement », INC - 99/1.
- [8] Eurocode 1 : Actions sur les structures, Partie 1-2 : Actions générales – Actions sur les structures exposées au feu (NF EN 1991-1-2, Juillet 2003, 1er tirage) et son Annexe Nationale (NF EN 1991-1-2/NA, Février 2007, 1er tirage).
- [9] Eurocode 2 : Calcul des structures en béton, Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu (NF EN 1993-1-2, Novembre 2005) et son Annexe Nationale (NF EN 1993-1-2/NA, Octobre 2007).
- [10] Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton, Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu (NF EN 1994-1-2, Février 2006) et son Annexe Nationale (NF EN 1994-1-2/NA).
- [11] Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton, Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments (NF EN 1994-1-1, juin 2005) et son Annexe Nationale (NF EN 1994-1-2/NA).
- [12] An update Guide for Hazard I version 1.2 » - NISTIR 5410, U.S. Department of commerce – National Institute of Standards and Technology.
- [13] ANSYS, "ANSYS User's Manual for Revision 14.0 - Volume IV – Theory" Swanson Analysis Systems, Inc., Houston U.S.A., 2012.
- [14] SRI 13-169_SATPN 972_rapport_scénarios, CTICM, 25 octobre 2013.
- [15] FED n°7 du 28 octobre 2013, ANCO Martinique (FED 07-281013-Scenario feu parking-AF.pdf).
- [16] Rapport du SDIS 972 du 4 décembre 2013 (HPFDF Rapport SDIS 041213.pdf).
- [17] NF P 06-001 : Charges d'exploitation des bâtiments – juin 1986
- [18] Parcs de stationnement en superstructure largement ventilés – Avis d'expert sur les scénarios d'incendie – INERIS – Octobre 2001.

1.1.2 Plans et notes techniques

- [19] Parking CTICM.gtcx
- [20] 7092_STR_PRO_PH-2ième&demi niv.dwg
- [21] 7092_STR_PRO_PH-1ER.dwg
- [22] 7092_STR_PRO_PH-RDC.dwg
- [23] 7092_STR_PRO_PH-3IEME.dwg
- [24] Mail du 18/10/2013 de M. ARANGUIZ GONZALEZ à M. LE DRIAN

2 DESCRIPTION DE LA STRUCTURE PORTEUSE DU PARKING ETUDIE

La structure porteuse du parking est composée de trois trames différentes ainsi qu'une trame relative à la rampe d'accès aux étages supérieurs du parking. Le schéma constructif du parking est le suivant :

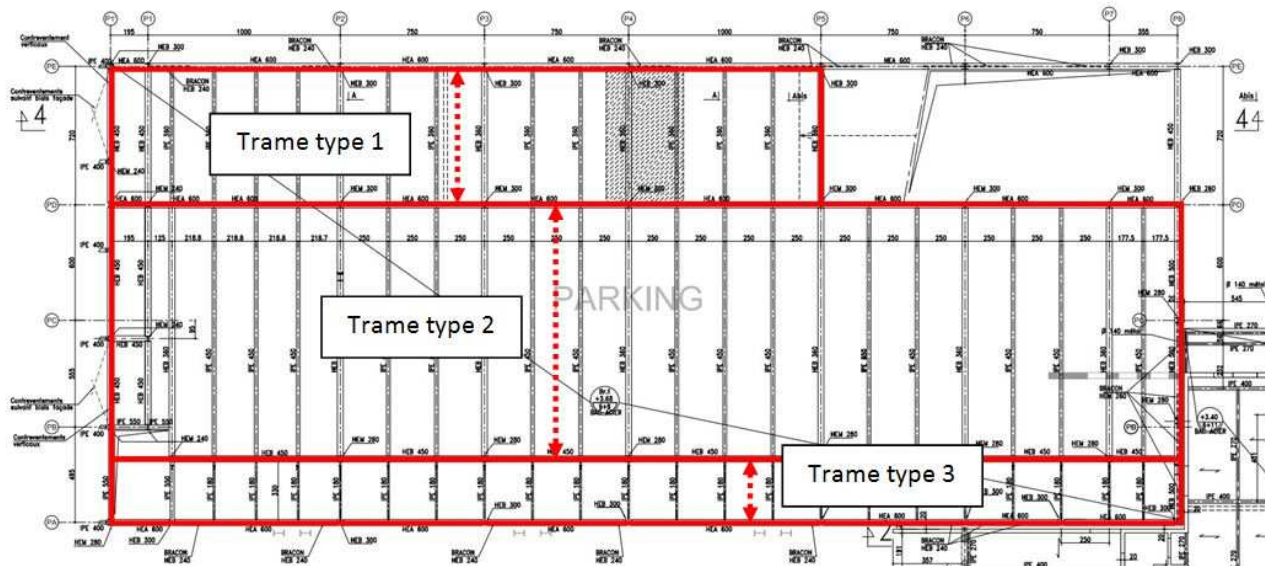


Figure 1 : Schéma du parking et des trames constituant son ossature

Les poutrelles métalliques (solives et poutres) des planchers de ce parking sont toutes connectées à la dalle, constituant ainsi des poutres mixtes acier-béton. La nuance d'acier est unique pour l'ensemble des profilés métalliques horizontaux de ce parking (solives et poutres), à savoir en S235. Les poteaux sont de nuance d'acier S355.

La portée des poutres principales entre deux poteaux consécutifs varie de 1,95 m au minimum dans la zone non-courante de l'escalier à 10,00 m au maximum. La plupart des profilés métalliques des poutres principales est en HEA 600 et certains de ces profilés sont en HEB 500, HEA 500, IPE 500, IPE 550. Exceptionnellement, dans la zone de l'escalier, une poutre est constituée de profilé en IPE 550.

Les profilés métalliques des solives de rive sont respectivement en HEB 400 et HEA 600. Les portées des différentes solives ainsi que les sections transversales des profilés métalliques correspondants sont listées dans le tableau suivant :

Portée (m)	Sections transversales des profilés métalliques
4,80	Couramment : IPE 180
7,35	Couramment : IPE 270
11,55	Couramment : IPE 360

Les sections transversales des profilés métalliques utilisées pour les poteaux sont :

HEB 300 | HEB 360 | HEB 400 | HEA 280 | HEB 600 | IPE 400

Tous les poteaux sont mixtes, excepté ceux inclinés en IPE 400 situés à l'extrémité du parking.

En ce qui concerne la rampe d'accès au parking, les poutres principales sont constituées des profilés métalliques en HEB 360, tandis que les profilés métalliques des solives sont en HEA 240.

La hauteur minimale sous poutre, i.e. sous les poutrelles HEA 600, est de 1,98 m.

La dalle de béton supportée par la structure métallique a une épaisseur totale de 15 cm et celle-ci est faite à partir d'un bac collaborant de type COFRAPLUS 60. Il y est prévu de placer une nappe de treillis soudé uniformément répartie de type ST25C à 45 mm de la face supérieure de la dalle. La nuance d'acier des armatures est S500. La connexion entre les dalles et poutrelles métalliques est assurée par des goujons de type NELSON de diamètre 16 mm sur deux files, régulièrement espacés de 207 mm pour les solives et de 210 mm pour les poutres.

3 METHODE DE VERIFICATION

Conformément à la procédure réglementaire relative à l'ingénierie du comportement au feu, la résistance au feu de la structure métallique du parking est vérifiée selon la procédure suivante :

1. Définition des scénarios d'incendie réel de véhicules les plus défavorables vis-à-vis de la stabilité au feu de la structure ;
2. Pour les scénarios d'incendie retenus, détermination des flux thermiques reçus par des éléments de structure en fonction de leur position par rapport aux véhicules incendiés ;
3. À partir des flux thermiques précédents, détermination de l'échauffement des éléments de structure exposés au feu ;
4. Analyse du comportement au feu de la structure du parking et de la rampe d'accès à partir de l'échauffement préalablement obtenu et vérification de la stabilité au feu de cette structure à partir des résultats relatifs à ses déplacements et aux déformations des armatures, pendant toute la durée de l'incendie, y compris leur phase de refroidissement.

Les différentes étapes des calculs sont décrites dans les paragraphes ci-dessous.

3.1 SCENARIOS D'INCENDIE RETENUS DANS L'ETUDE

Les scénarios d'incendie retenus dans l'étude sont ceux dont les conséquences sont les plus pénalisantes vis-à-vis de la structure porteuse du parking. Dans cette optique, les choix du nombre de véhicules mis en cause, le type de véhicule ainsi que leur emplacement dans la structure modélisée ont été fait en fonction de scénarios prédéfinis par l'INERIS dans le rapport [18]. Ainsi, différentes contraintes thermiques sont appliquées sur les éléments de structure dont le comportement est à évaluer.

Les scénarios prédéfinis et utilisés sont décrits ci-après :

Scénario de base 1 :

Sept véhicules (six de classe 3 et un utilitaire) consécutifs stationnés dans la même rangée sont impliqués dans ce scénario. L'incendie débute sur le véhicule central défini comme un véhicule de classe 3. Par rapport au véhicule central, la propagation se fait de manière symétrique toutes les 12 min d'un véhicule à l'autre.

La sollicitation thermique est de longue durée et d'intensité importante pour la partie du plancher située à proximité des véhicules prenant feu.

Scénario de base 2 :

Ce scénario met en œuvre quatre véhicules (trois de classe 3 et un utilitaire) stationnés en deux rangées différentes et la propagation se fait en 12 minutes sur chaque véhicule à partir d'un des véhicules.

Cette configuration est majorante en termes de sollicitations thermiques pour les poutres qui sont exposées de part et d'autre mais aussi pour un poteau qui se situerait au centre des 4 voitures.

Scénario de base 3 :

L'incendie concerne un véhicule utilitaire situé en dessous de la mi-portée d'une poutre quelconque. Ceci peut correspondre à un véhicule arrêté sur une voie de circulation. Par sa localisation, ce scénario permet de vérifier la stabilité au feu d'une poutre dans la partie rive du plancher.

Ces scénarios génériques sont illustrés dans la figure suivante (Figure 2) :

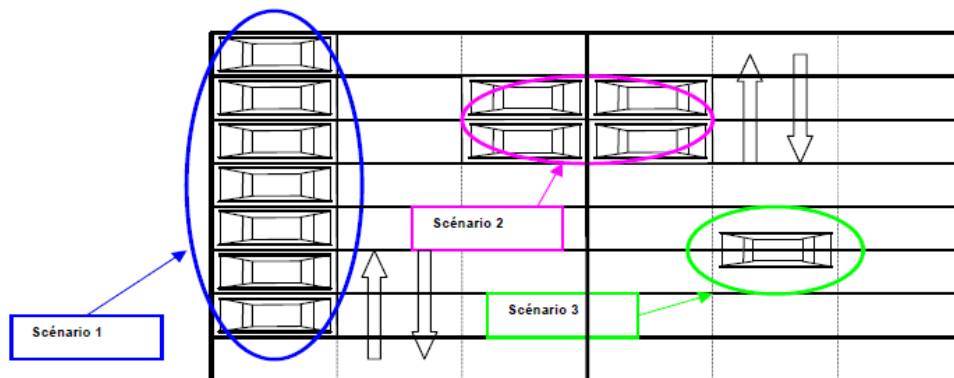


Figure 2 : Scénarios incendie de base proposés par l'INERIS

Sur la base de ces scénarios de référence, les scénarios d'incendie réels sont déterminés en positionnant les véhicules par rapport à la structure de manière à obtenir les sollicitations thermiques les plus importantes. Les scénarios sélectionnés ainsi sont rappelés ci-dessous :

Les éléments en question sont les poutres (principales et de rive), les solives (internes et de rive) ainsi qu'un poteau supportant une trame courante. Pour chaque scénario, le véhicule numéroté 0, de classe 3, est l'initiateur de l'incendie. Pour les scénarios de base 2, la propagation du feu se fait après 12 minutes à un autre véhicule de classe 3 (numéroté 1a) et au véhicule de type utilitaire (numéroté 1b). Pour les scénarios basés sur le type 1, la propagation du feu se fait après 12 minutes à un autre véhicule de classe 3 (numéroté 1a) et au véhicule de type utilitaire (numéroté 1b) et finalement, après 24 minutes, aux deux autres véhicules de classe 3 (numérotés 2a) les plus proches et enfin, après 36 minutes, aux derniers véhicules de classe 3 (numérotés 3a) :

- Scénario S1 (scénario de base 2 avec trois véhicules au lieu de quatre) : impliquant 3 véhicules, dont 2 véhicules de classe 3 et un véhicule de type utilitaire autour d'un poteau interne supportant une surface de plancher importante. Cette situation est critique pour le poteau concerné, étant donné que d'une part, celui-ci sera sollicité thermiquement tout au long de l'incendie et sur toutes ses faces successivement et que d'autre part, il est en même temps le plus chargé mécaniquement. Le scénario S1 est illustré dans la figure ci-dessous :

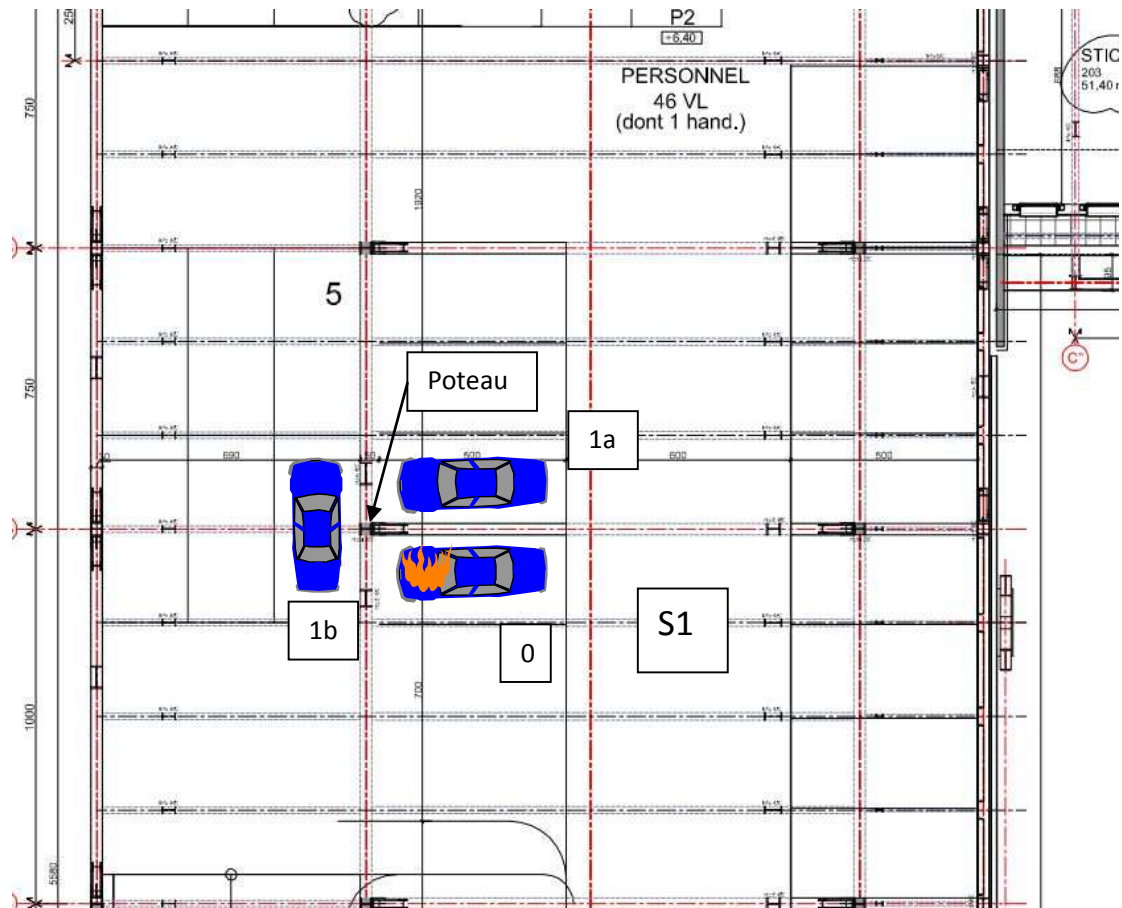


Figure 3 : Illustration du scénario S1

- Le scénario S2 (scénario de base 3) implique 1 véhicule de type utilitaire sur la chaussée et exactement à mi-portée d'une solive de type IPE 360 située à mi-distance de deux poteaux consécutifs. Bien que la voie de circulation ne soit pas exactement centrée sur les solives, nous considérons le véhicule ainsi pour placer le calcul du côté de la sécurité. Le scénario S2 est illustré dans la figure ci-dessous :

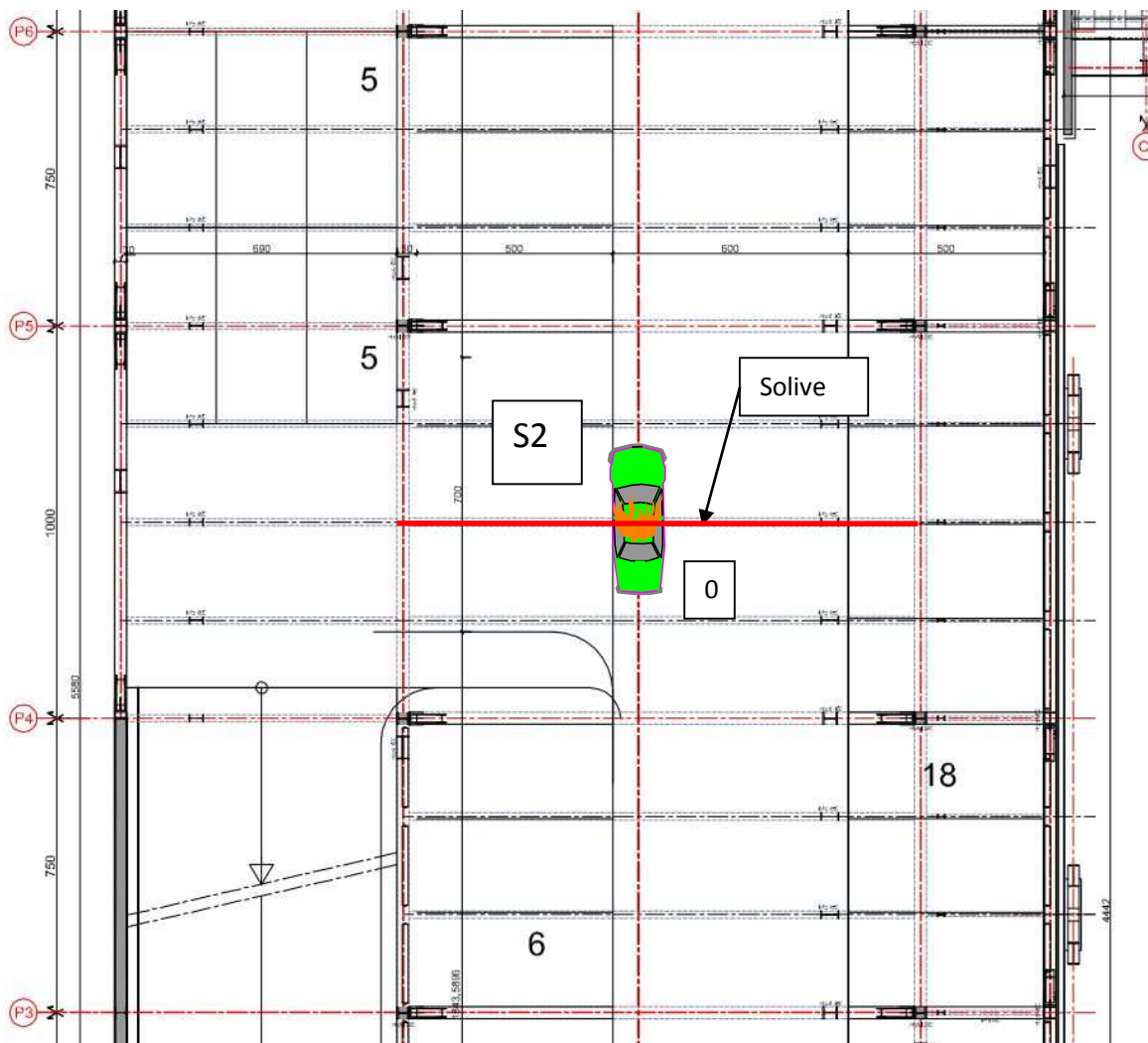


Figure 4 : Illustration du scénario S2

- Scénario S3 (scénario de base 3) : impliquant 1 véhicule de type utilitaire sur la chaussée de la rampe d'accès et à mi-portée d'une solive de type HEA 240 située à mi-distance de deux poteaux consécutifs. Le scénario S3 est illustré dans la figure ci-dessous :

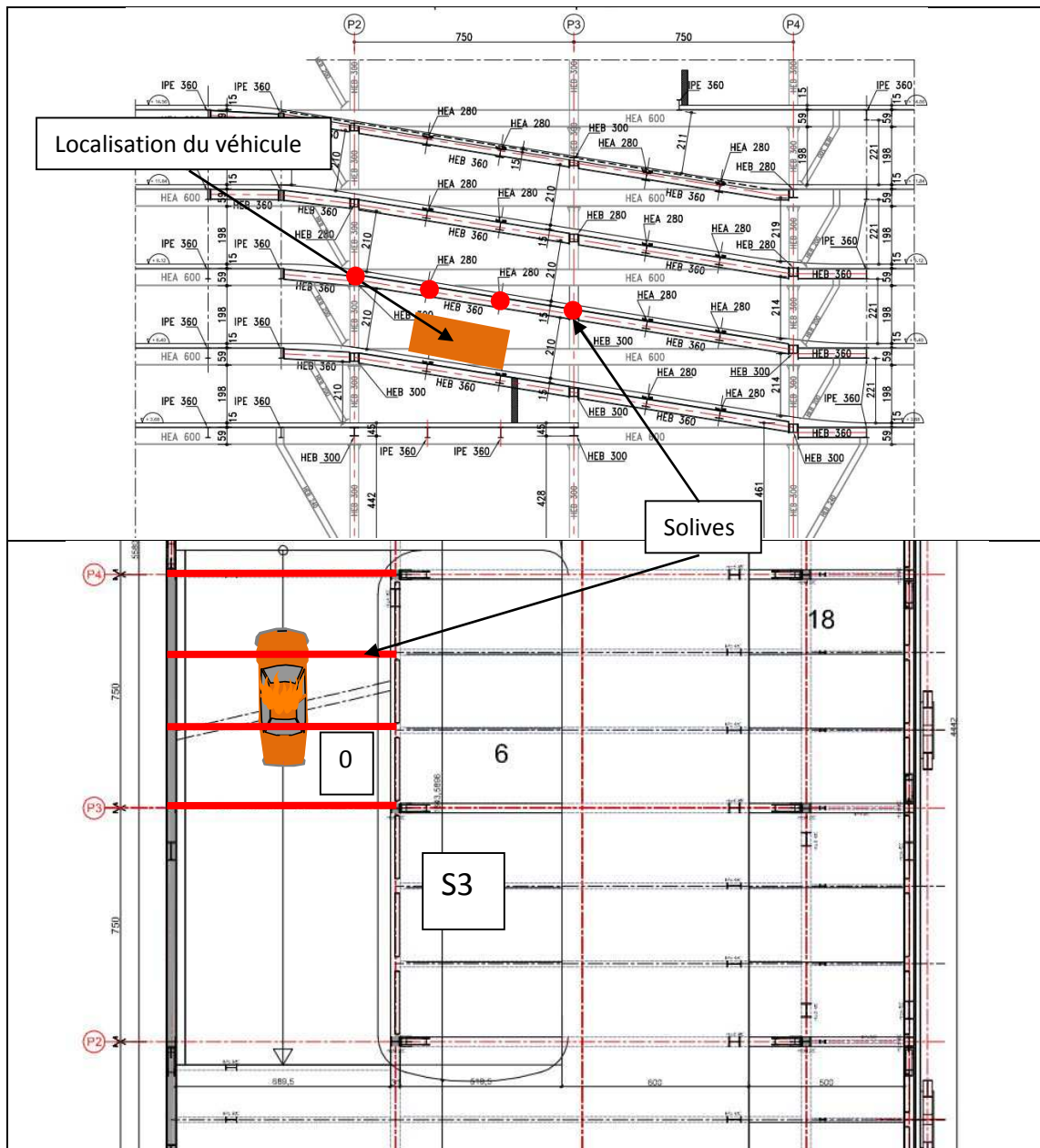


Figure 5 : Illustration du scénario S3

- Le scénario S4 (scénario de base 1) implique 7 véhicules, dont 6 véhicules de classe 3 et un véhicule de type utilitaire perpendiculaires aux solives et proches des poteaux inclinés au premier étage. En effet, à cet étage la poutre reprend une partie importante des descentes de charge de la partie en console. Le scénario S4 est illustré ci-dessous :

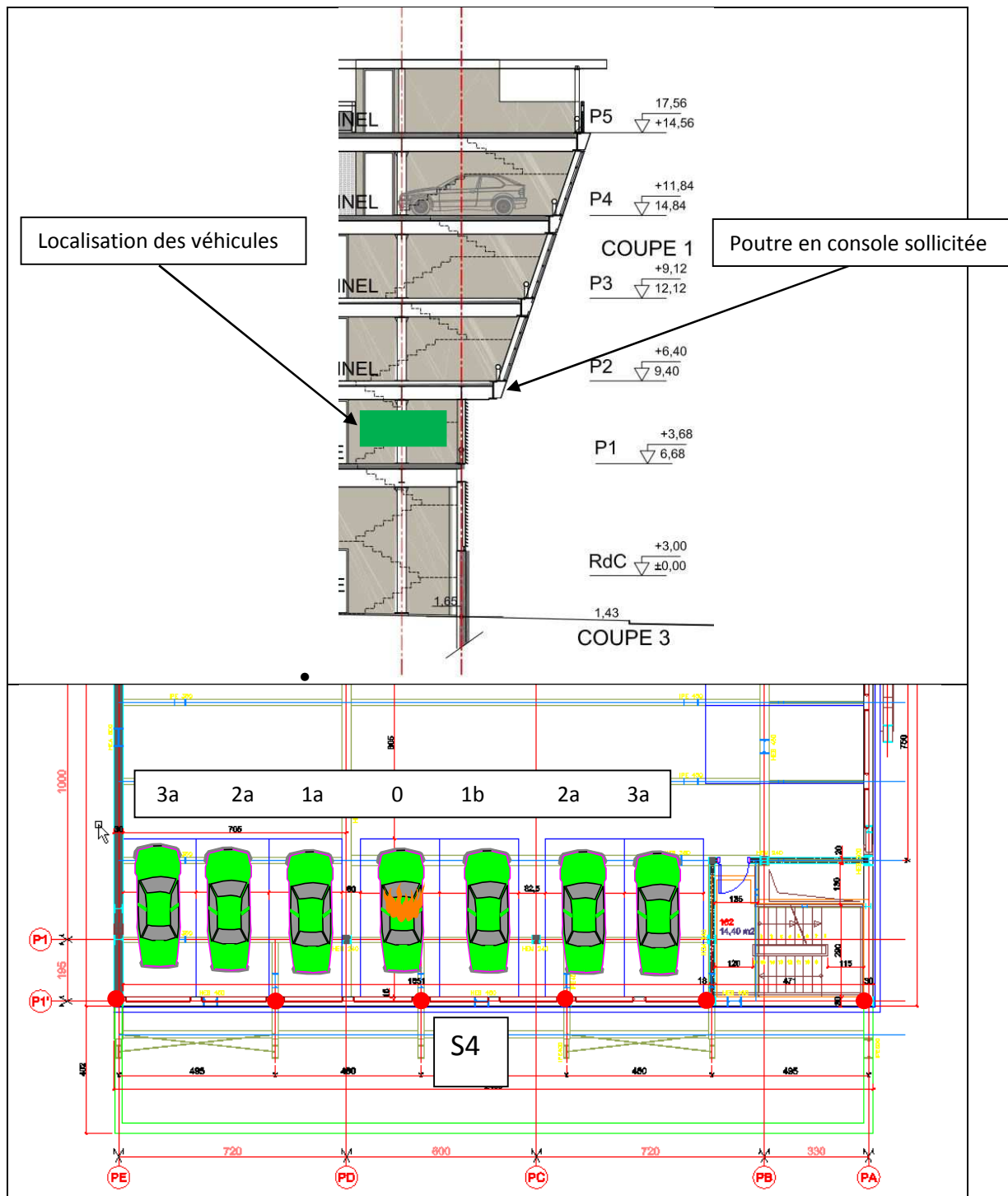


Figure 6 : Illustration du scénario S4

- Scénario S5 (scénario de base 1) : impliquant 7 véhicules, dont 6 véhicules de classe 3 et un véhicule de type utilitaire perpendiculaires aux solives de rive et proche des poteaux inclinés au quatrième étage. En effet, à cet étage la portée des poutres en console est la plus importante, ce qui en fait le scénario le plus critique par rapport aux autres étages pour ces éléments-là. Ce scénario vérifiera aussi la tenue des poteaux inclinés. Le scénario S5 est illustré ci-dessous :

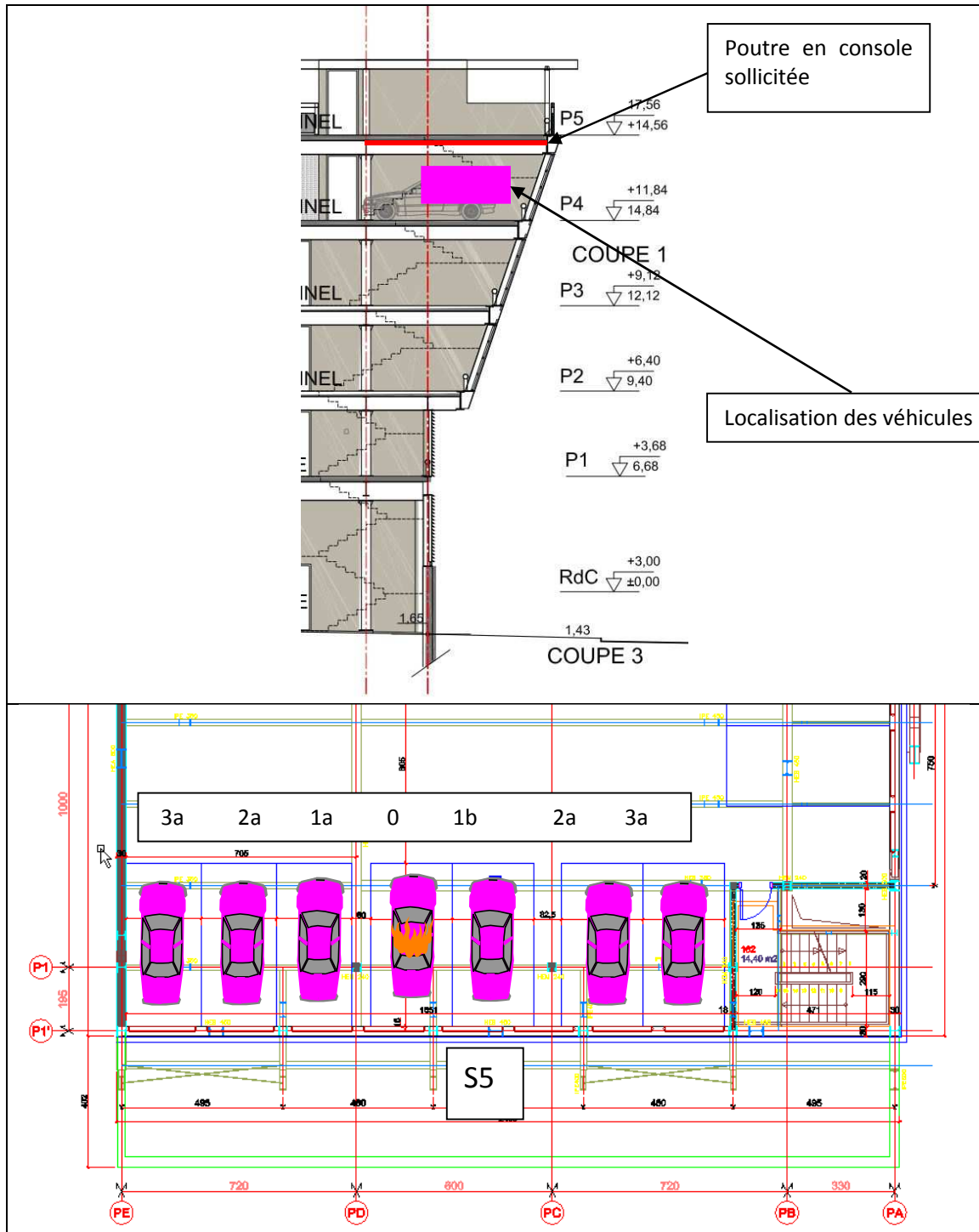


Figure 7 : Illustration du scénario S5

- Scénario S6 (dérivé de scénario de base 1) : impliquant 5 véhicules, dont 4 véhicules de classe 3 et un véhicule utilitaire perpendiculaires aux solives de rive sur la façade nord du parking, la partie en rive ne bénéficiant pas de report de charge sur une autre trame. Le scénario S6 est illustré dans la figure ci-après :

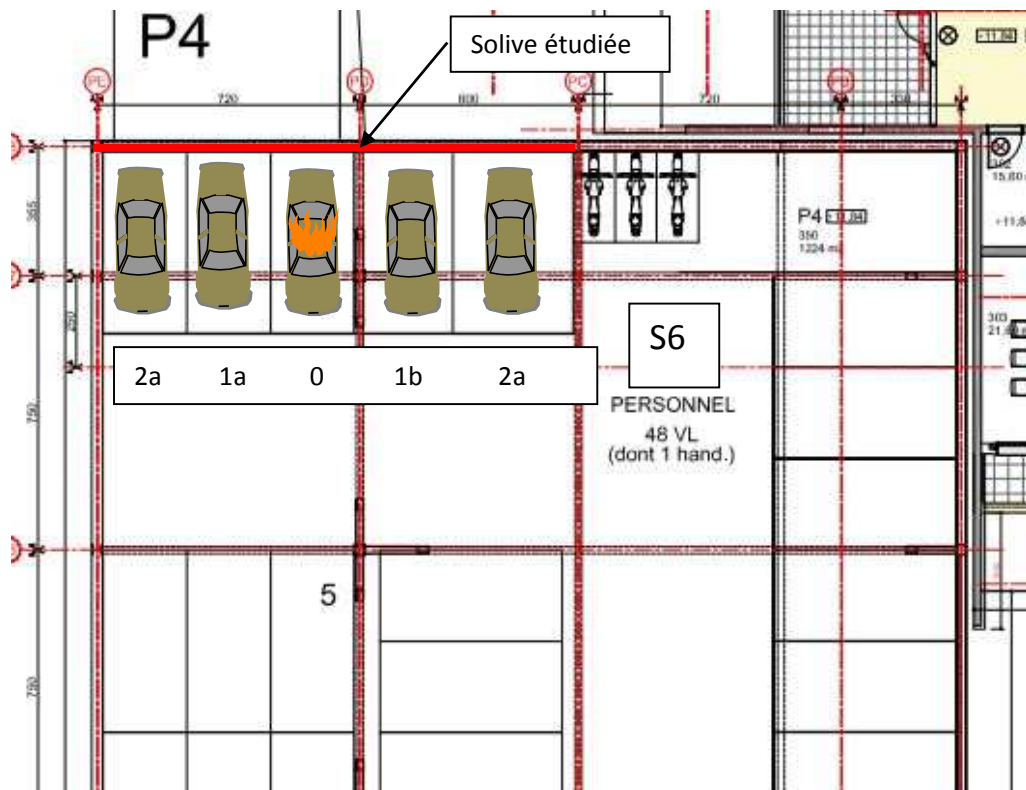


Figure 8 : Illustration du scénario S6

- Le scénario S7 (scénario de base 1) implique 7 véhicules le long de la façade est du parking. Ce scénario sollicite fortement les poutres de rive le long du parking car celles-ci ne bénéficient pas de report de charge sur une autre trame. Le scénario S7 est illustré dans la figure ci-dessous :

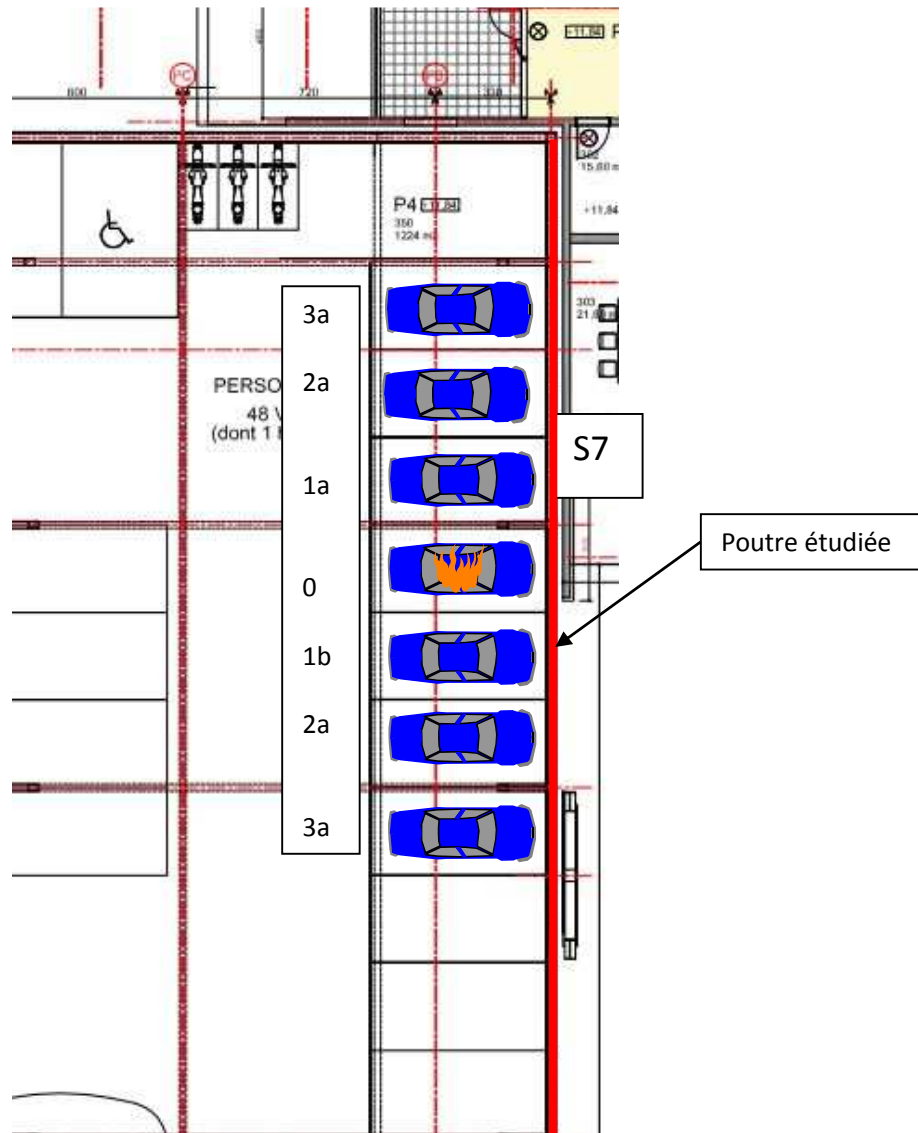


Figure 9 : Illustration du scénario S7

Le tableau ci-dessous résume le nombre de véhicules impliqués dans chaque scénario ainsi que le temps d'inflammation de ces véhicules :

Scénario	Temps d'inflammation			
	0 min	12 min	24 min	36 min
S1	0	1a / 1b		
S2	0			
S3	0			
S4	0	1a / 1b	2a	3a
S5	0	1a / 1b	2a	3a
S6	0	1a / 1b	2a	
S7	0	1a / 1b	2a	3a

Tableau 1 : Temps d'inflammation des véhicules adoptés pour les scénarios d'incendie

3.2 ACTIONS THERMIQUES

Le parking aérien largement ventilé étant classé ouvert conformément aux critères définis dans l'arrêté ministériel du 9 mai 2006 relatif aux parcs de stationnement couverts [2], le feu est considéré localisé du fait que le volume est suffisamment ventilé pour empêcher une généralisation du feu. Les flux thermiques reçus par des éléments de structure en fonction de leur position par rapport au véhicule incendié seront ainsi déterminés sur la base du feu localisé selon la méthode de Hasemi, conformément au principe de l'Annexe C de la norme NF EN1991-1-2 et son Annexe Nationale [8]. Concernant l'action thermique de la couche supérieure de gaz chauds, la courbe température-temps de cette couche sera déterminée en appliquant le modèle de zones CFAST développé par le NIST [12].

Les deux actions thermiques ne seront pas cumulées. Elles sont généralement appliquées d'une manière indépendante au voisinage du foyer (impact des flammes) et éloignées de celui-ci (impact de la couche de fumées). Lorsque le feu est susceptible de se propager ou de s'éteindre localement, ces deux actions peuvent éventuellement être utilisées de manière consécutive en fonction de la prépondérance de l'une sur l'autre.

3.3 TRANSFERTS THERMIQUES

Lorsque le champ de température dans les éléments de structure n'est pas homogène, le calcul du transfert thermique peut être réalisé à l'aide d'un modèle de calcul avancé, tel que ceux recommandés dans les parties feu des Eurocodes. Dans le cadre de cette étude, ces calculs seront réalisés en utilisant le code de calcul ANSYS [13].

3.4 ACTIONS MECANIQUES EN SITUATION D'INCENDIE

Le chargement appliqué en situation d'incendie sur la structure du parking et de la rampe est déterminé conformément à l'Eurocode 1 partie 1.2 [8] et à l'Eurocode 0 [1], qui définit la combinaison des actions en situation d'incendie comme étant :

- $1,0 \times G + 0,7 \times Q$

Où :

- G est la valeur caractéristique des charges permanentes.
- Q est la valeur caractéristique des charges d'exploitation.

Les valeurs de G et Q sont issues de la note de prédimensionnement préalablement fournie par le client [19] :

- $Q = 2,50 \text{ kN/m}^2$
- $G = 2,87 \text{ kN/m}^2$

Il est à noter qu'une minoration des charges d'exploitation Q avec un coefficient de 0,8 est prise en compte dans les calculs ; se référer au paragraphe 2.3 de la norme NF P06-001 [17] qui propose une minoration de ces charges d'exploitation pour les grandes surfaces. Ainsi, la charge appliquée totale en situation d'incendie est donc de $4,27 \text{ kN/m}^2$. Les efforts axiaux sur les poteaux ont été récupérés à l'aide du logiciel Advance Design et du modèle préalablement fourni par le client. Il est à noter que les effets dus au vent n'ont pas été pris en compte du fait que :

- d'une part, la partie de la structure métallique située en dehors de la zone d'incendie permet d'assurer la stabilité de l'ensemble de la structure du parking ;
- d'autre part, les charges les plus pénalisantes en termes de résistance au feu de la structure étudiée sont celles correspondant à la combinaison de charges considérant les charges d'exploitation comme les charges variables dominantes et non pas celle faisant intervenir le vent.

3.5 VERIFICATION DU COMPORTEMENT AU FEU DE LA STRUCTURE METALLIQUE DU PARKING

3.5.1 Principe et hypothèse de la modélisation de la structure

Le comportement au feu de la structure a été analysé à l'aide du logiciel aux éléments finis ANSYS. Les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- Modélisation 3D de la structure à l'aide de trois types d'éléments, à savoir les éléments (voir Figure 10 : Modélisation numérique 3D de la structure du parking) :
 - BEAM24 : élément de poutre-poteau en 3D avec non-linéarités matérielle et géométrique, permettant de prendre en compte les modèles de matériaux type acier et béton ;
 - SHELL91 : élément de coque de multicouches en 3D avec non-linéarités matérielle et géométrique ;
 - PIPE289 : élément de poutre-poteau non-linéaire en 3D.

Seule une partie de la structure est modélisée, les autres parties étant représentées par des conditions aux limites spécifiques permettant de prendre en compte la continuité des dalles. La raison principale de cette démarche est de réduire le temps de calcul tout en restant réaliste vis-à-vis du comportement au feu de la structure :

- Les dimensions des éléments de structure, à savoir poutres principales, poteaux et solives, sont celles indiquées dans le paragraphe 2 de ce rapport ;
- Les assemblages poutre-poteau sont supposés pleinement résistants pendant toute la durée d'exposition au feu du fait de la présence d'éléments additionnels dans la zone des assemblages (plats métalliques, raidisseurs...) qui augmentent la masse de l'acier et par conséquent ralentissent l'échauffement des éléments situés au niveau des assemblages ;
- La charge appliquée est supposée constante pendant toute la durée d'exposition au feu ;
- Les parties béton et acier sont prises en compte simultanément pour l'évaluation de la température des poteaux mixtes au cours du temps. De même, dans le calcul de structure les propriétés mécaniques en fonction de la température des deux différents matériaux sont également prises en compte ;

- Les propriétés thermiques et mécaniques aux températures élevées de l'acier et du béton sont celles de la partie feu de l'Eurocode 4 [10].

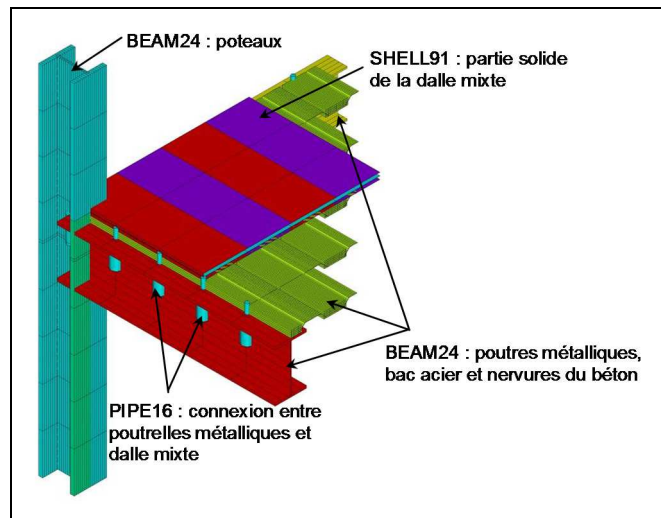


Figure 10 : Modélisation numérique 3D de la structure du parking

3.5.2 Critères de ruine de la structure porteuse

À la suite des analyses mécaniques, il est considéré qu'une ruine localisée de la structure du parking et/ou de la rampe peut se produire, soit par une diminution excessive de la résistance des éléments de plancher (dalle, solives ou poutres) sous l'effet des températures, soit par la perte de stabilité d'un poteau.

Le modèle numérique adopté permet de prévoir la ruine des éléments en acier de manière précise. Toutefois, afin d'éviter des déformations trop importantes susceptibles de remettre en cause les conditions de sollicitation mécanique, les critères suivants sont également utilisés :

- La flèche du plancher à l'incendie doit être inférieure à $1/30^{\text{ème}}$ de la somme des portées de la poutre principale et de la solive, lorsque les solives et poutres forment une trame de structure s'appuyant sur quatre poteaux dans les coins (critère 1), voir [4] ;
- Dans les zones non régulières le critère de vérification suivant peut être utilisé : le déplacement vertical relatif des poutres ou solives par rapport à la flèche à froid doit être inférieur au $1/20^{\text{ème}}$ de la portée de l'élément (critère 2), voir [5] ;
- La déformation mécanique totale des armatures doit être inférieure à 5 %, ce qui correspond à la ductilité minimale de tous types d'armatures confondus selon l'EN 1993-1-2 et son annexe nationale française [9].

4 RESULTATS DES ANALYSES DU COMPORTEMENT AU FEU DE LA STRUCTURE DU PARKING ET DE LA RAMPE D'ACCES

L'ensemble des résultats est détaillé dans les Annexes A.1 à A.7 pour chaque scénario. Les résultats des calculs mécaniques numériques sont donnés en termes de déplacement relatif pour chaque élément (solive et poutre principale). En effet, le déplacement total de la structure horizontale supportant la dalle mixte est la somme des déplacements des solives et des poutres principales. Pour tous les résultats donnés, la flèche à froid a été retranchée. La figure ci-dessous illustre ces propos :

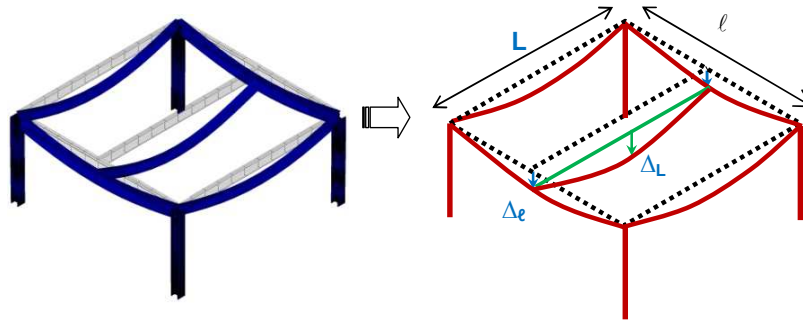


Figure 11 : Schématisation des déplacements globaux relatifs des poutres et des solives

Les tableaux suivants décrivent précisément les flèches maximales obtenues lors des calculs pour les éléments étudiés et pour chaque scénario. Le temps indiqué est celui pour lequel le déplacement maximal est obtenu:

Scénarios	Déplacement maximal au feu (mm) relativement au déplacement maximal à froid				Déformation mécanique des armatures	
	Temps (min)	Total	$L + \ell$ (mm)	Ratio $(L + \ell)/30$	Sens des solives (%)	Sens des poutres principales (%)
S1 (3 véhicules dont 1 utilitaire à proximité du poteau étudié)	32	435	21250	$(L + \ell)/48$	2,6	3,3
S2 (1 véhicule utilitaire à mi-portée sous la solive étudiée)	20	392	21250	$(L + \ell)/54$	3,0	0,6
S3 (1 véhicule utilitaire à mi-distance sous 2 solives de la rampe d'accès)	20	296	14955	$(L + \ell)/50$	3,0	1,2
S5 (7 véhicules dont 1 utilitaire au 4 ^{ème} étage sous la partie en console)	150	158	12480	$(L + \ell)/78$	2,7	2,0
S6 (5 véhicules dont 1 utilitaire situés à proximité des solives de rive de la façade nord)	180	193	10900	$(L + \ell)/56$	1,2	0,9
S7 (7 véhicules dont 1 utilitaire situés à proximité des poutres de rive de la façade est)	54	229	14800	$(L + \ell)/64$	2,0	3,0

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des résultats des 4 scénarios d'incendie étudiés et validés à l'aide du critère 1

Pour les scénarios S4 et S6, le critère sur le déplacement maximal relatif du plancher ne peut pas être utilisé étant donné la forme non régulière des trames en rive :

Scénarios	Déplacement maximal au feu (mm)				Déformation mécanique des armatures		
	Temps (min)	Total	Poutre (portée en l)		Solive (portée en L)	Sens des solives (%)	Sens des poutres principales (%)
S4 (7 véhicules dont 1 utilitaire sous la partie en console du 1 ^{er} étage)	150	212	Console : 34 (l/30)	74 (l/135)	161 (L/71)	1,2	1,5

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des résultats des 2 scénarios d'incendie étudiés et validés à l'aide du critère 2

5 CONCLUSION

L'étude, dont les calculs et les résultats sont présentés dans ce rapport, a pour objectif de vérifier la résistance au feu du parking aérien largement ventilé de l'hôtel de police de Fort-de-France (972) sous conditions d'incendies réels de véhicules. La méthode a été appliquée en suivant la procédure réglementaire relative à l'ingénierie du comportement au feu définie dans l'arrêté du 22 mars 2004 [3].

Les résultats obtenus à partir des différentes hypothèses retenues et des modèles fournis montrent que la structure du parking remplit les objectifs de sécurité exprimés en termes de comportement structurel, ceci pour les différents scénarios d'incendie sélectionnés et validés. En effet, la structure avec les dispositions constructives retenues reste stable au cours des différents scénarios d'incendie étudiés (voir Annexe A). La stabilité au feu est donc vérifiée pour l'ensemble des éléments de structure que sont les poutres, solives, planchers et poteaux.

6 DÉTAILS CONSTRUCTIFS

Pour que les résultats présentés ci-dessus soient valables, les détails constructifs doivent être conformes aux exigences du guide pour la vérification du comportement au feu de parcs de stationnement largement ventilés en superstructure métallique [4], notamment :

- La continuité du treillis soudé (ST25C) dans les deux directions sur toute la surface du plancher du parking doit être assurée ;
- Le plan médian de la nappe du treillis doit se situer à une distance de 45 mm de la surface supérieure de la dalle ;
- Une liaison entre les poteaux de rive et la dalle de béton est nécessaire et doit être assurée par des armatures de diamètre minimum de 12 mm ancrées sur les poteaux en acier avec un recouvrement supérieur ou égal à 500 mm, voir Figure 12 ;

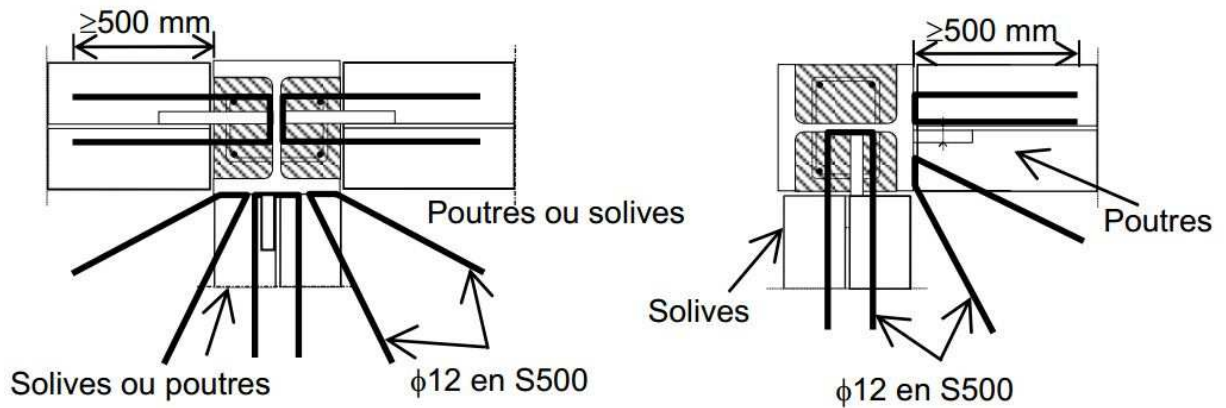


Figure 12 : Liaison entre armatures additionnelles et poteaux de rive

- Pour les poteaux centraux, la continuité des armatures dans la dalle de béton doit être assurée par des armatures additionnelles, voir Figure 13 ;

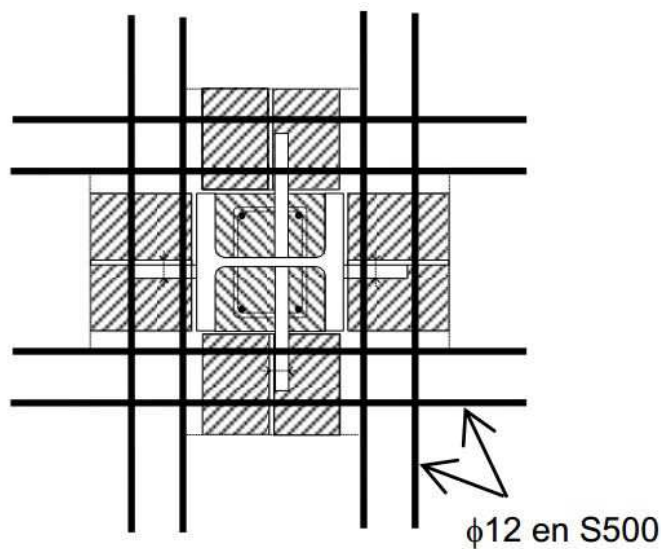


Figure 13 : Disposition des armatures additionnelles pour les poteaux centraux

- L'attache de la nappe du treillis soudé aux poutrelles métalliques à l'aide de goudjons à tête dans la partie rive du plancher doit être effectuée conformément aux dispositions constructives indiquées dans la figure suivante. Lorsque la dalle est arrêtée à l'alignement du poteau, il convient d'employer une liaison à l'aide des barres d'armatures en U dont le recouvrement doit être suffisant. De plus, les règles constructives de la norme NF 1994-1-1 et de son Annexe Nationale doivent être vérifiées :

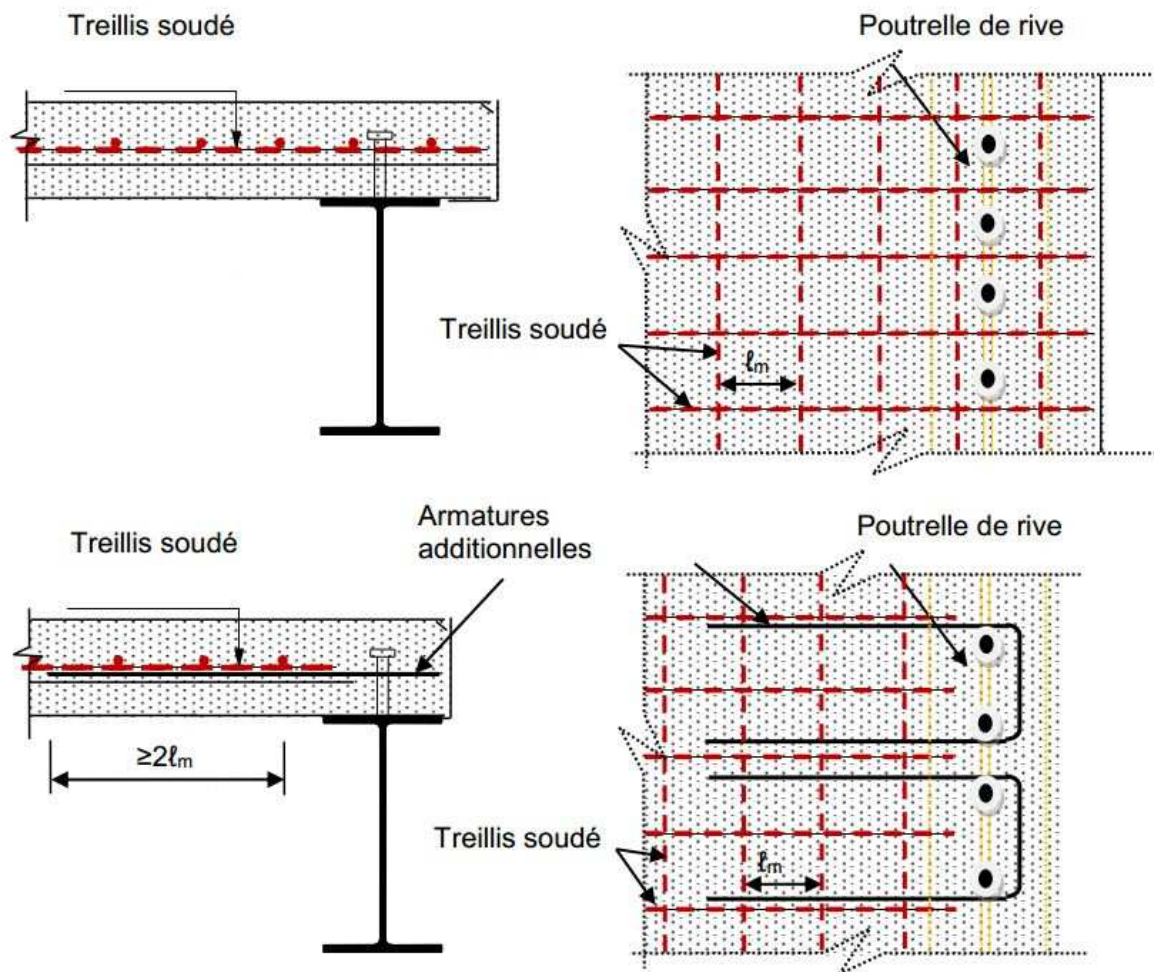


Figure 14 : Liaison entre le treillis soudé et les poutres de rive

ANNEXE A. DÉTAILS DES CALCULS DE STABILITÉS DE LA STRUCTURE DU PARKING AERIEN LARGEMENT VENTILE

A.1. SCENARIO S1 : VEHICULES AUTOUR D'UN POTEAU FORTEMENT CHARGE

La figure suivante illustre la modélisation de la partie du parking pour traiter ce scénario. Le poteau concerné est le poteau situé au « centre » du modèle comme indiqué sur la figure. La partie de la structure métallique non modélisée est prise en compte à l'aide de conditions limites simulant la continuité du plancher au niveau de la dalle mixte :

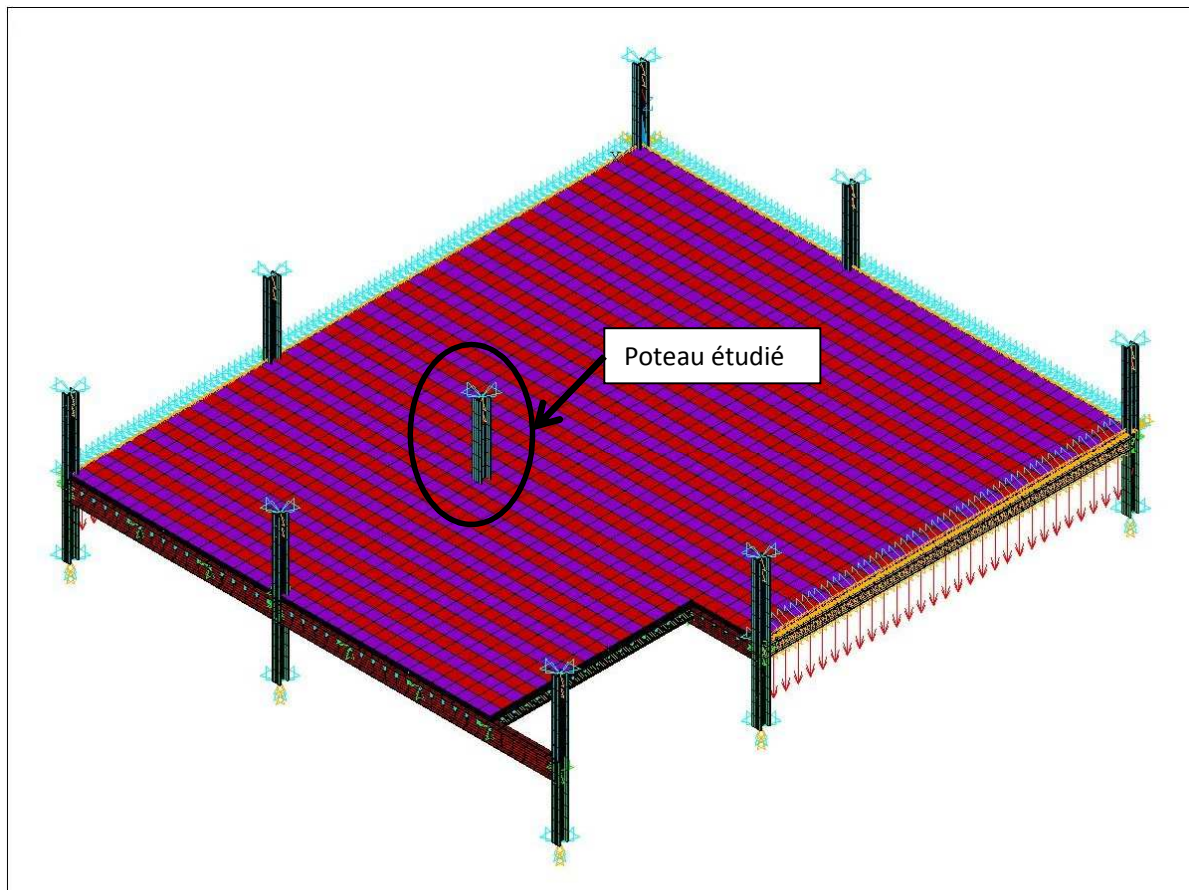


Figure 15 : Modélisation de la partie de structure étudiée

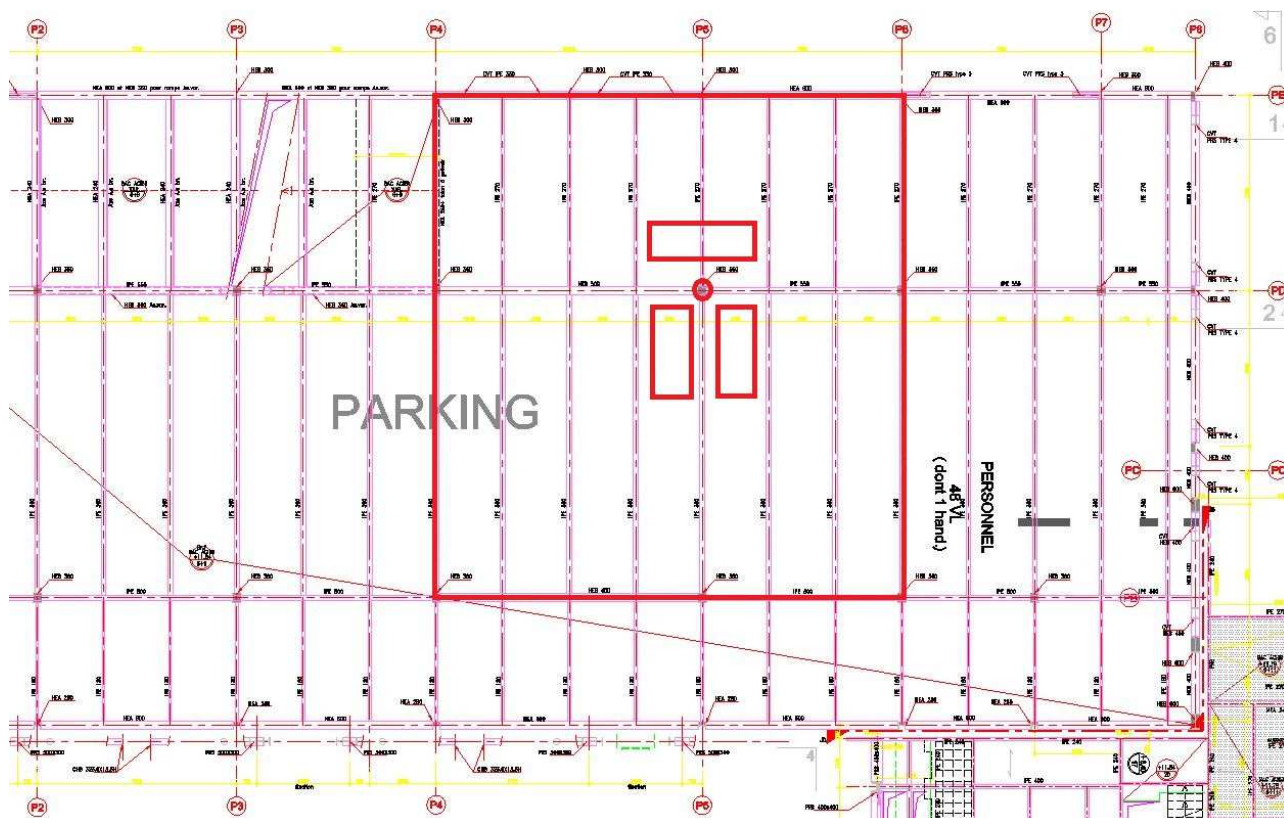


Figure 16 : Emplacement de la trame modélisée des véhicules du scénario d'incendie et du poteau étudié

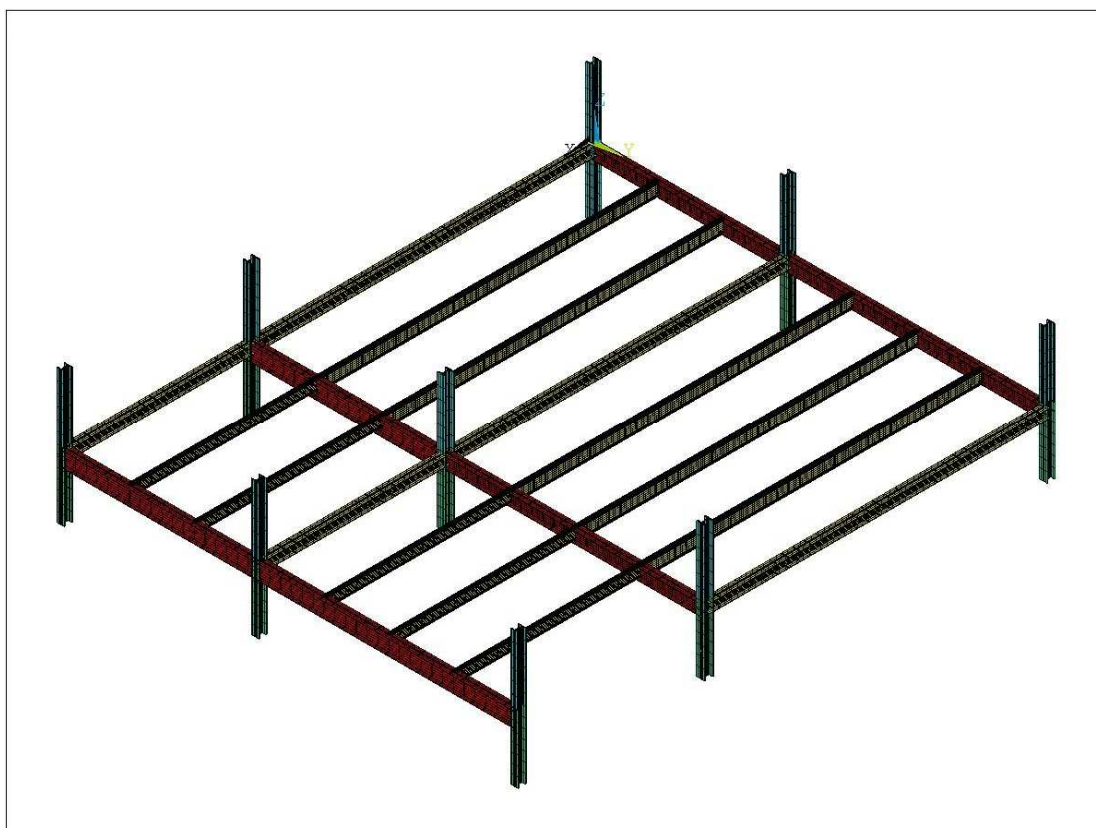


Figure 17 : Charpente métallique de la partie de structure modélisée

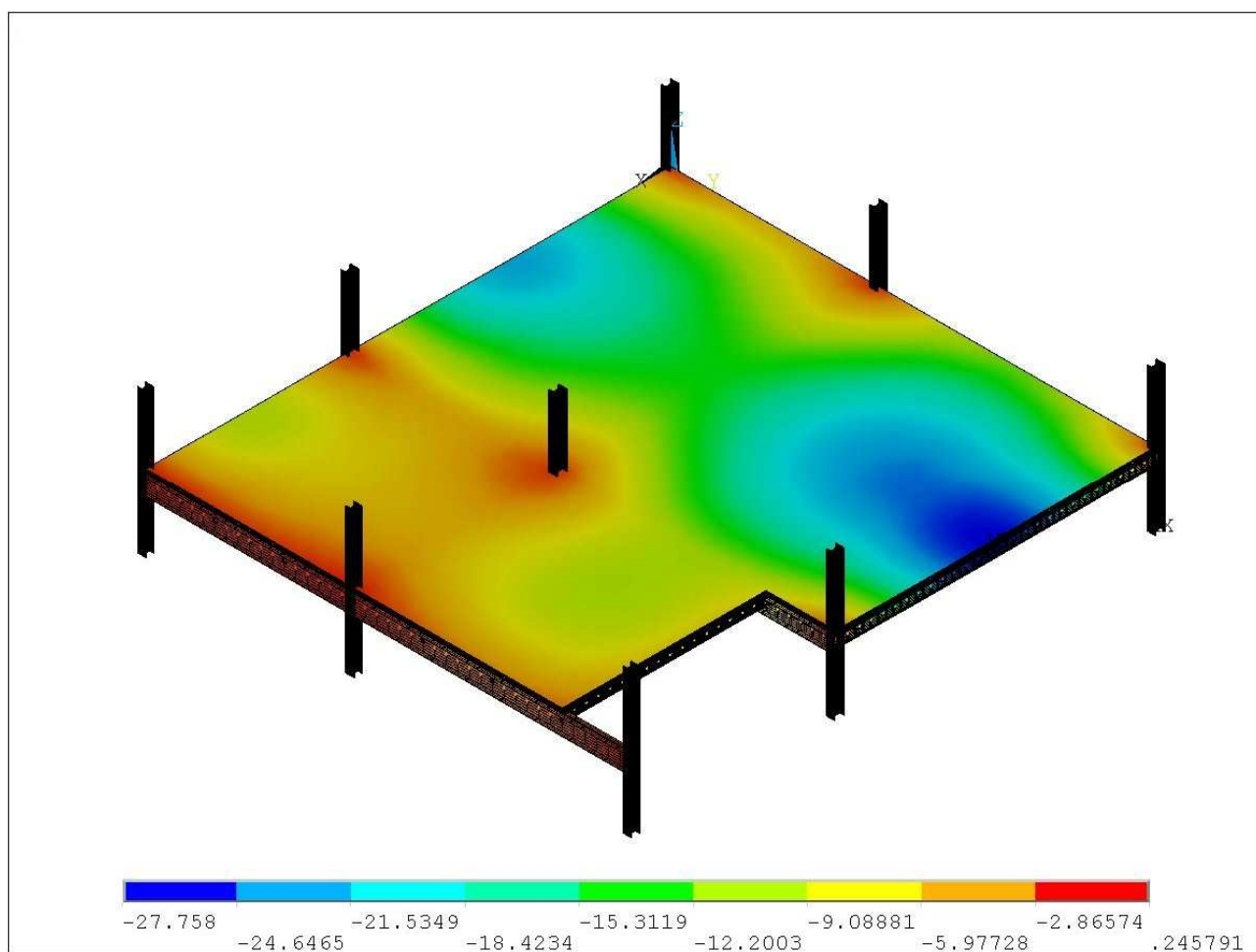


Figure 18 : Déformée du plancher à froid

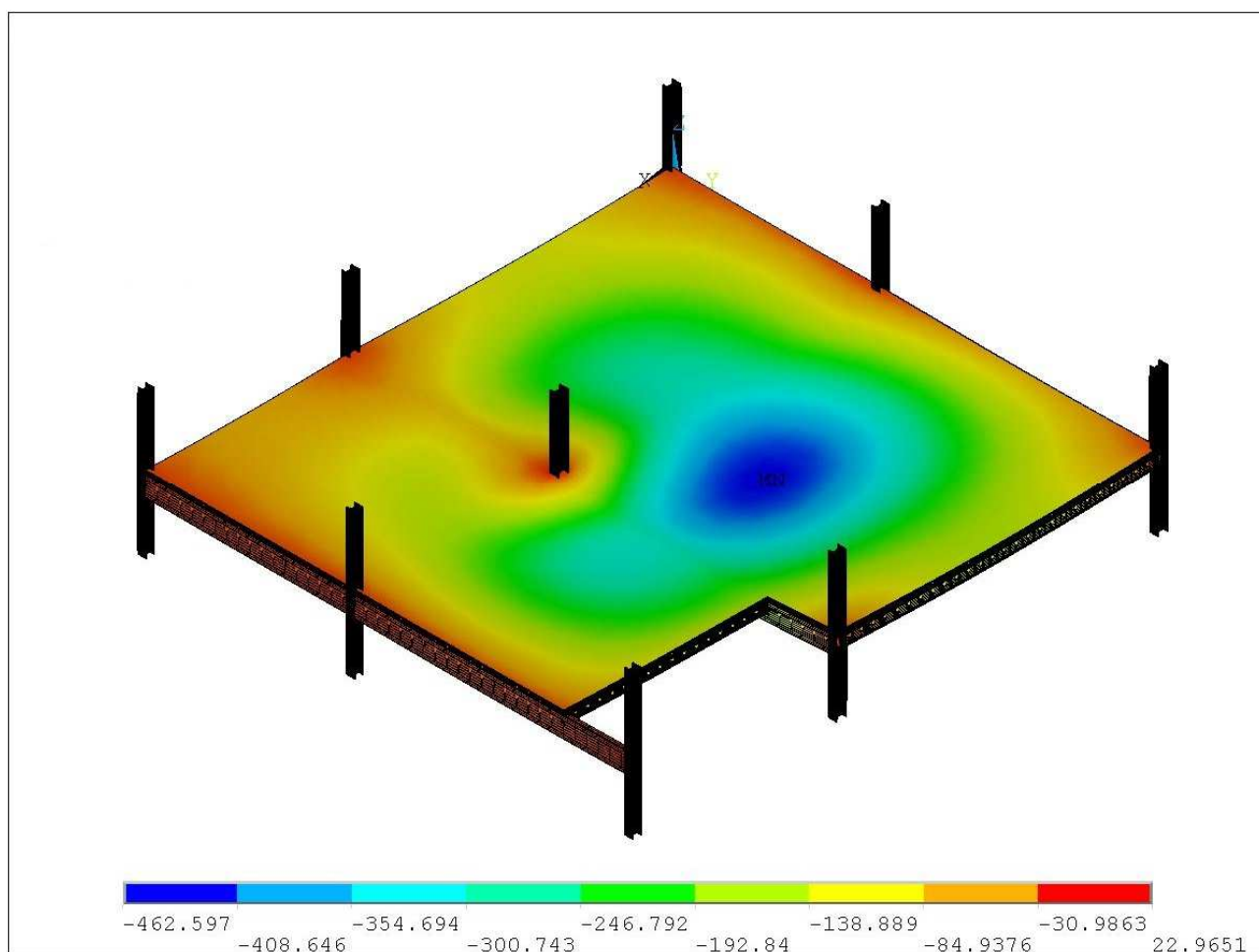


Figure 19 : Déformée du plancher 32 minutes après le départ de l'incendie sur le premier véhicule

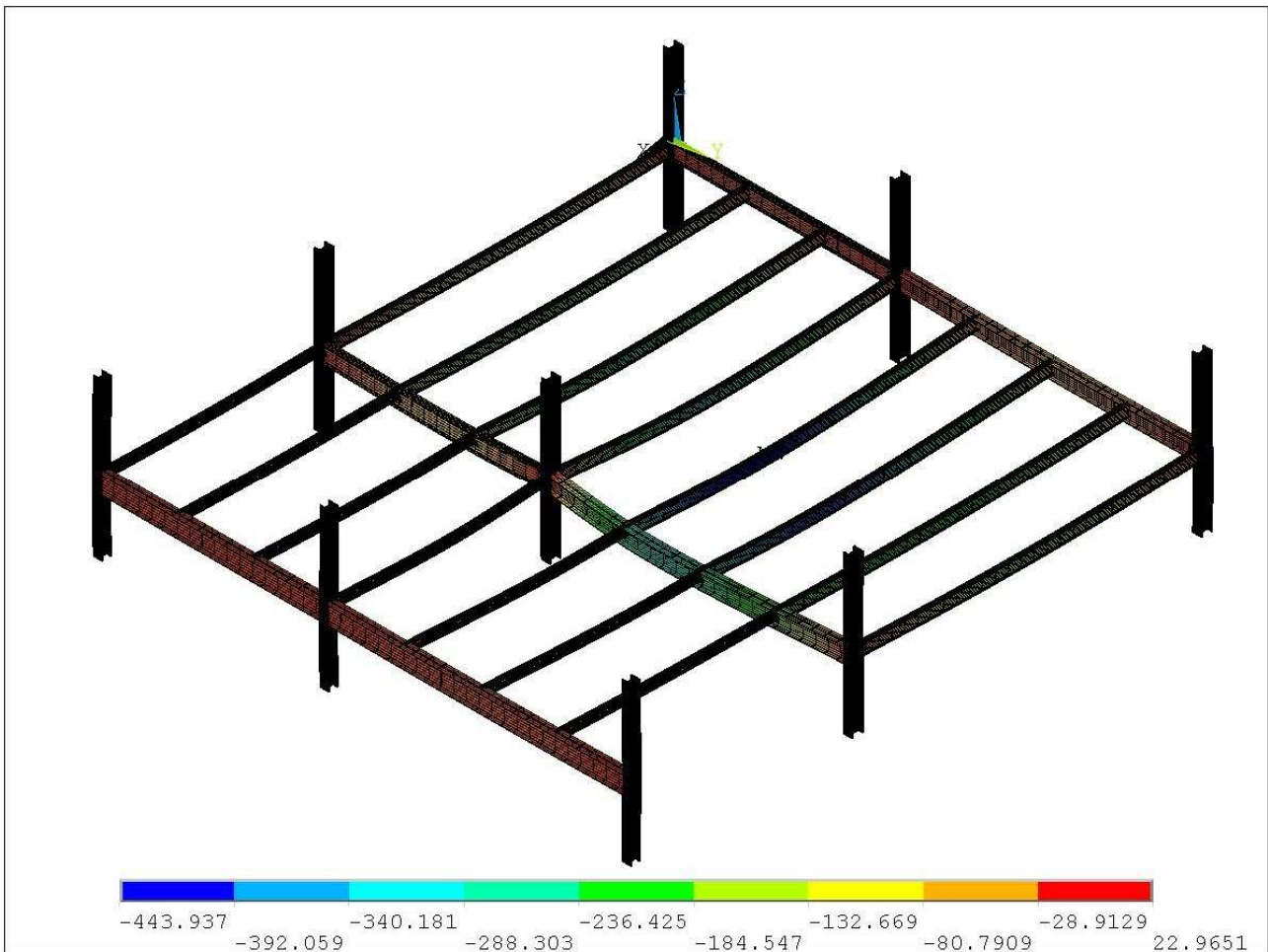


Figure 20 : Déformée de la charpente métallique 32 minutes après le départ du feu sur le premier véhicule

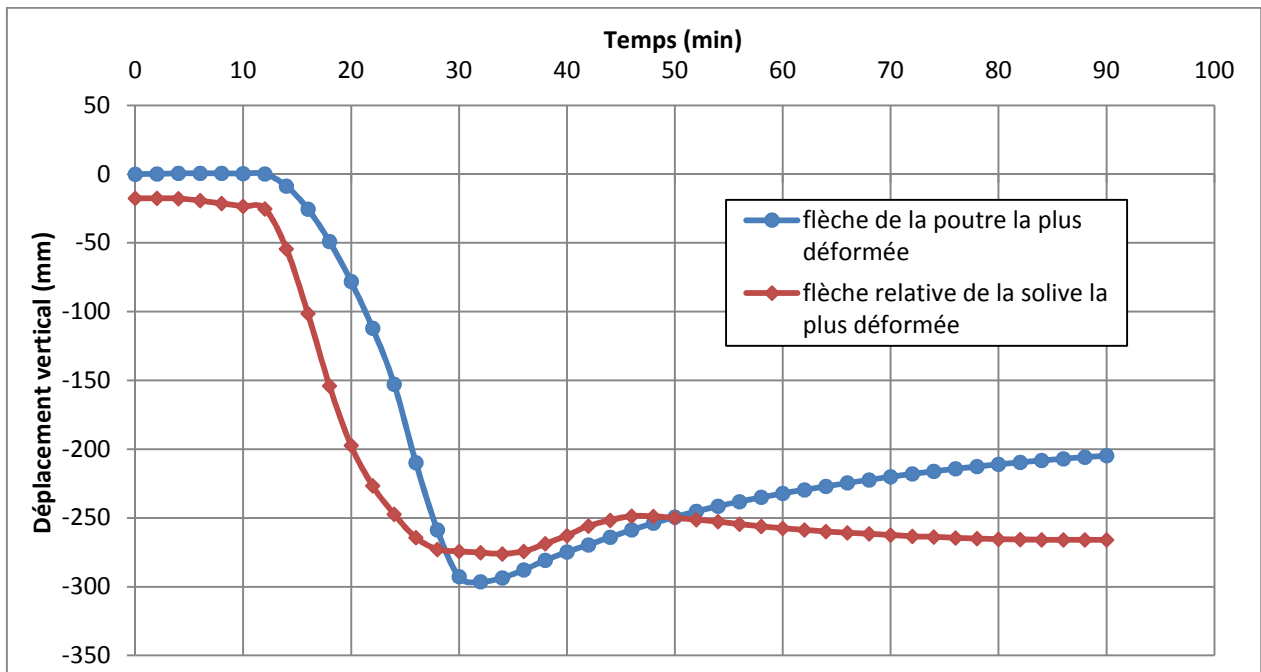


Figure 21 : Évolution du déplacement vertical relatif (mm) au cours du temps (min) de la poutre et de la solive les plus déformées

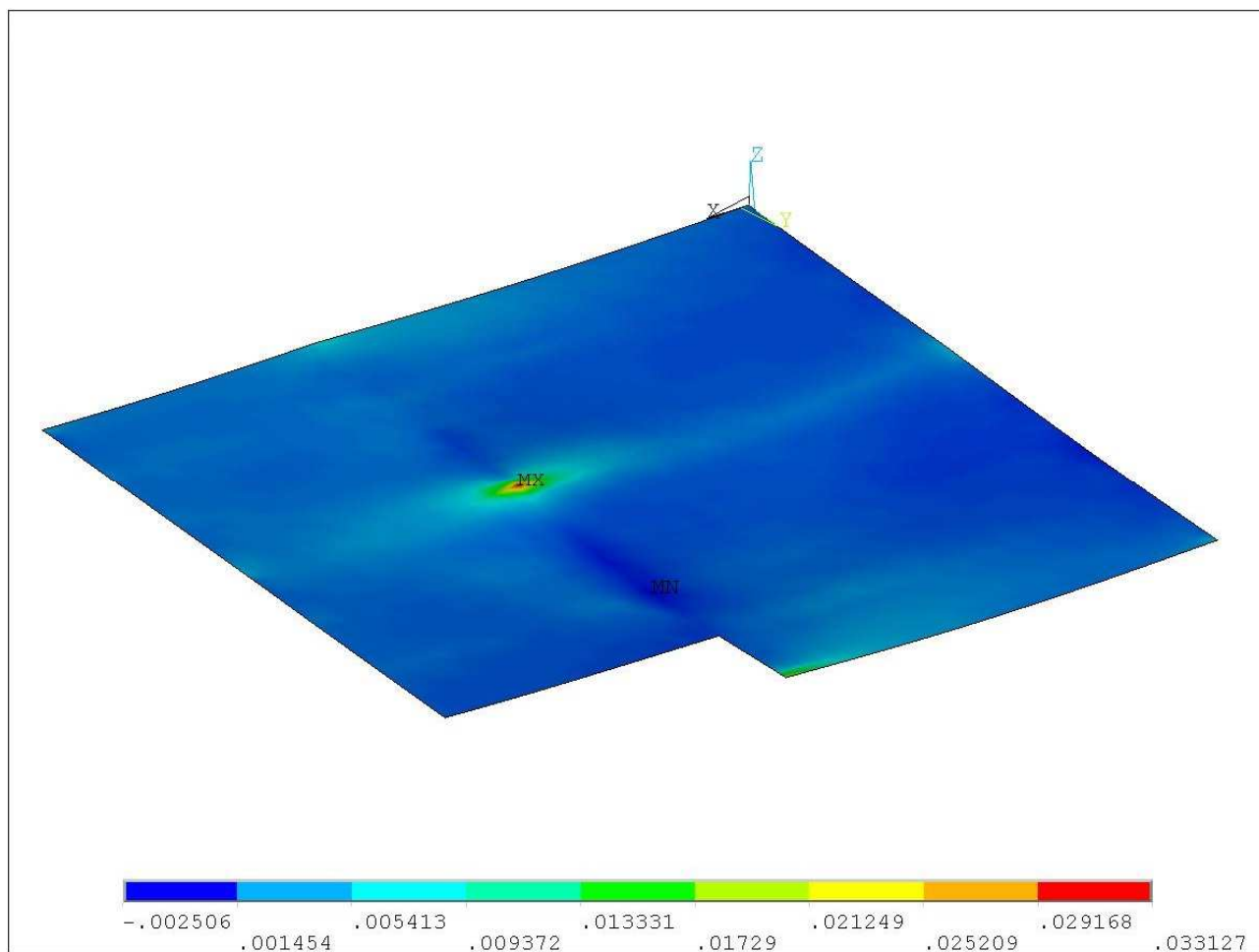


Figure 22 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des poutres

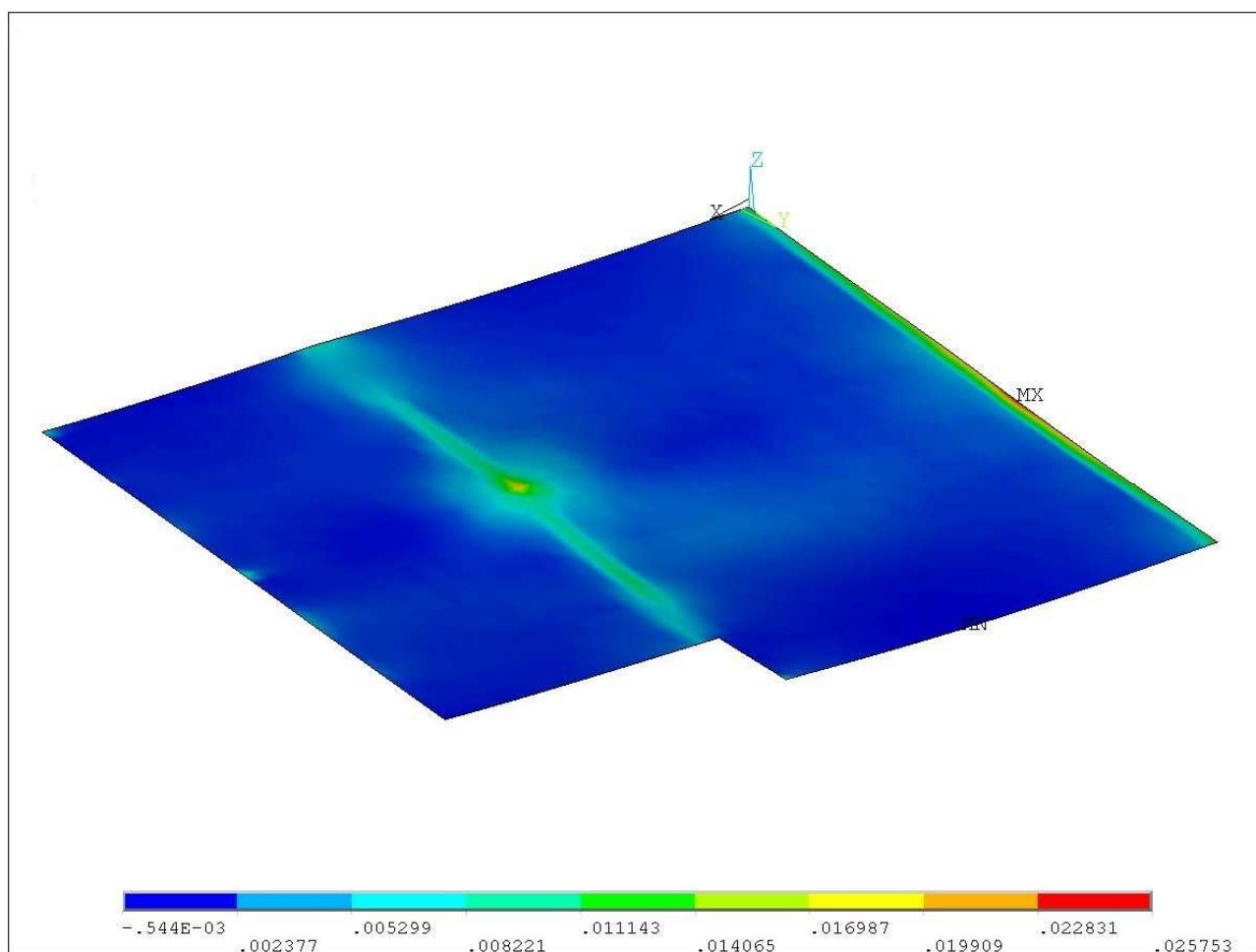


Figure 23 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des solives

A.2. SCENARIO S2 : VEHICULE UTILITAIRE A MI-PORTEE SOUS UNE SOLIVE INTERNE

La partie du parking modélisée pour le scénario d'incendie en question est montrée sur la Figure 24. Les pieds de poteaux sont supposés encastrés. La partie de la structure métallique non modélisée est représentée par des conditions spécifiques permettant de prendre en compte la continuité du plancher au niveau de la dalle mixte ; voir figure ci-dessous :

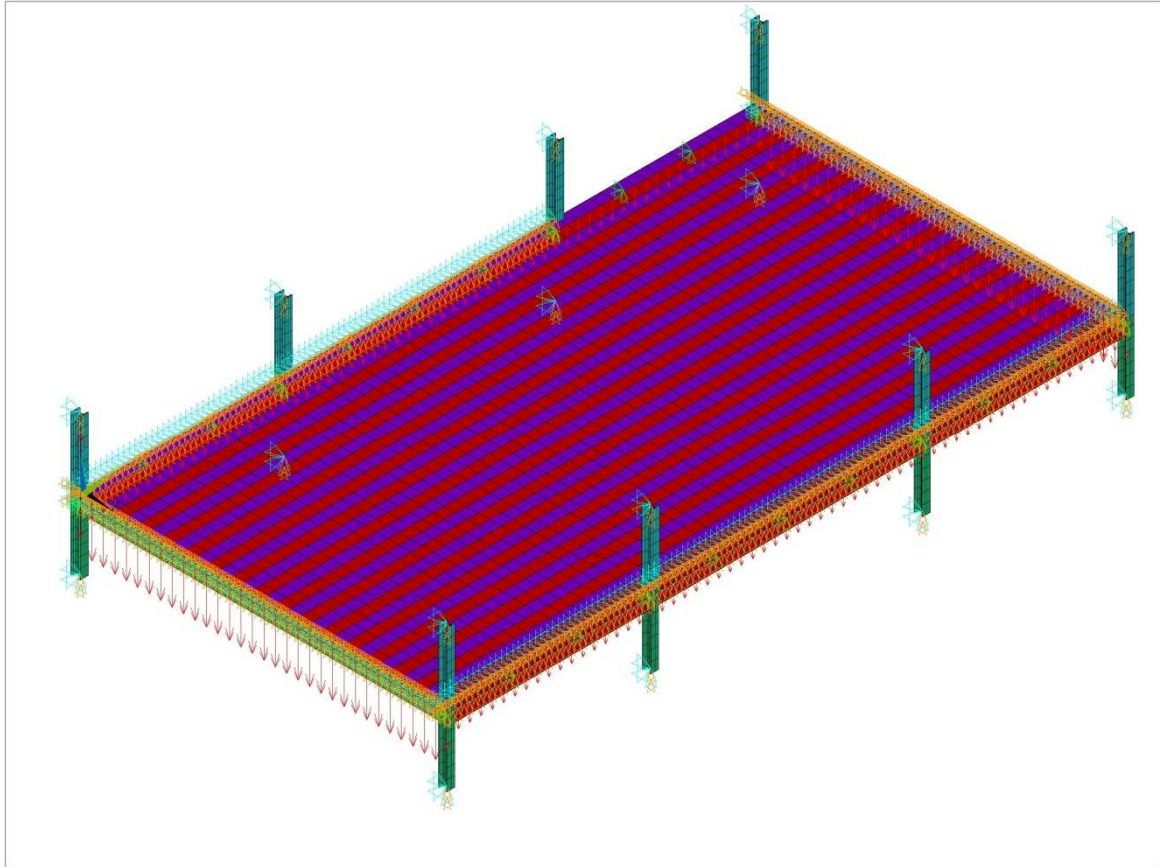


Figure 24 : Modélisation d'une trame courante

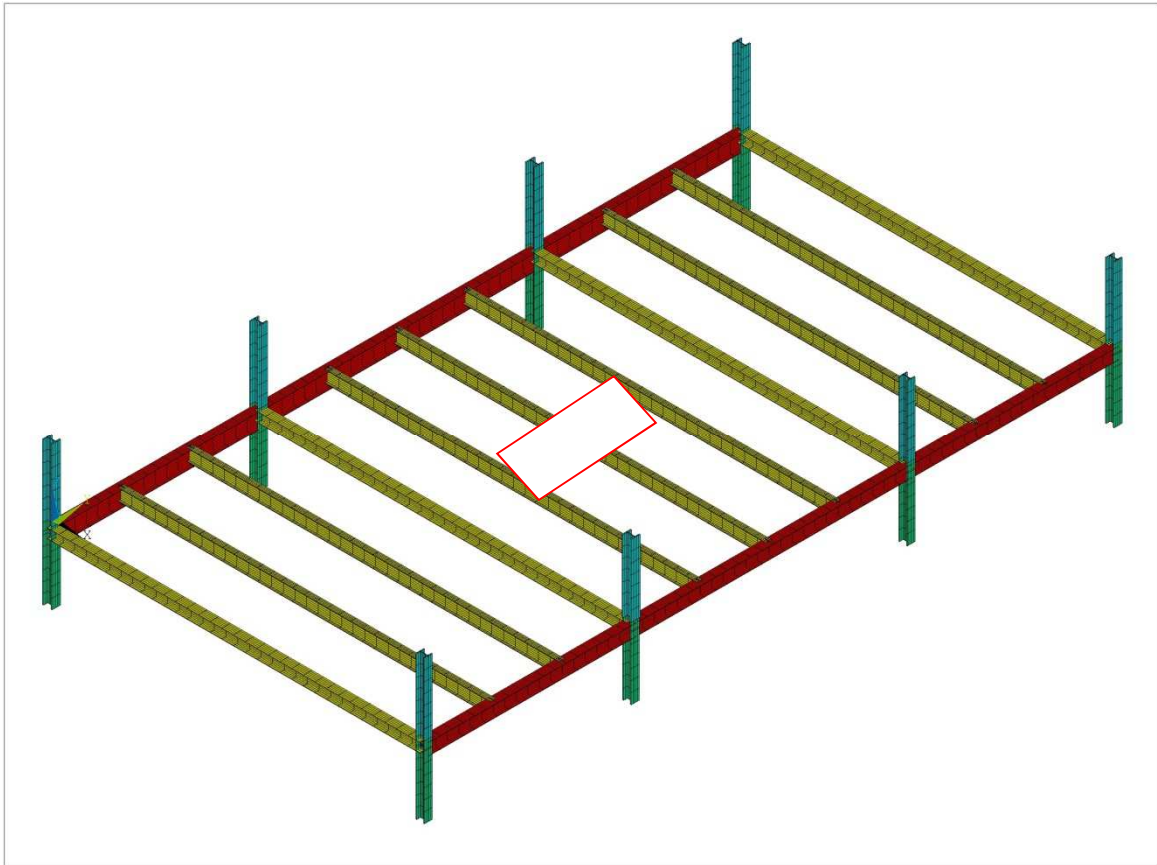


Figure 25 : Charpente métallique et localisation du véhicule en feu

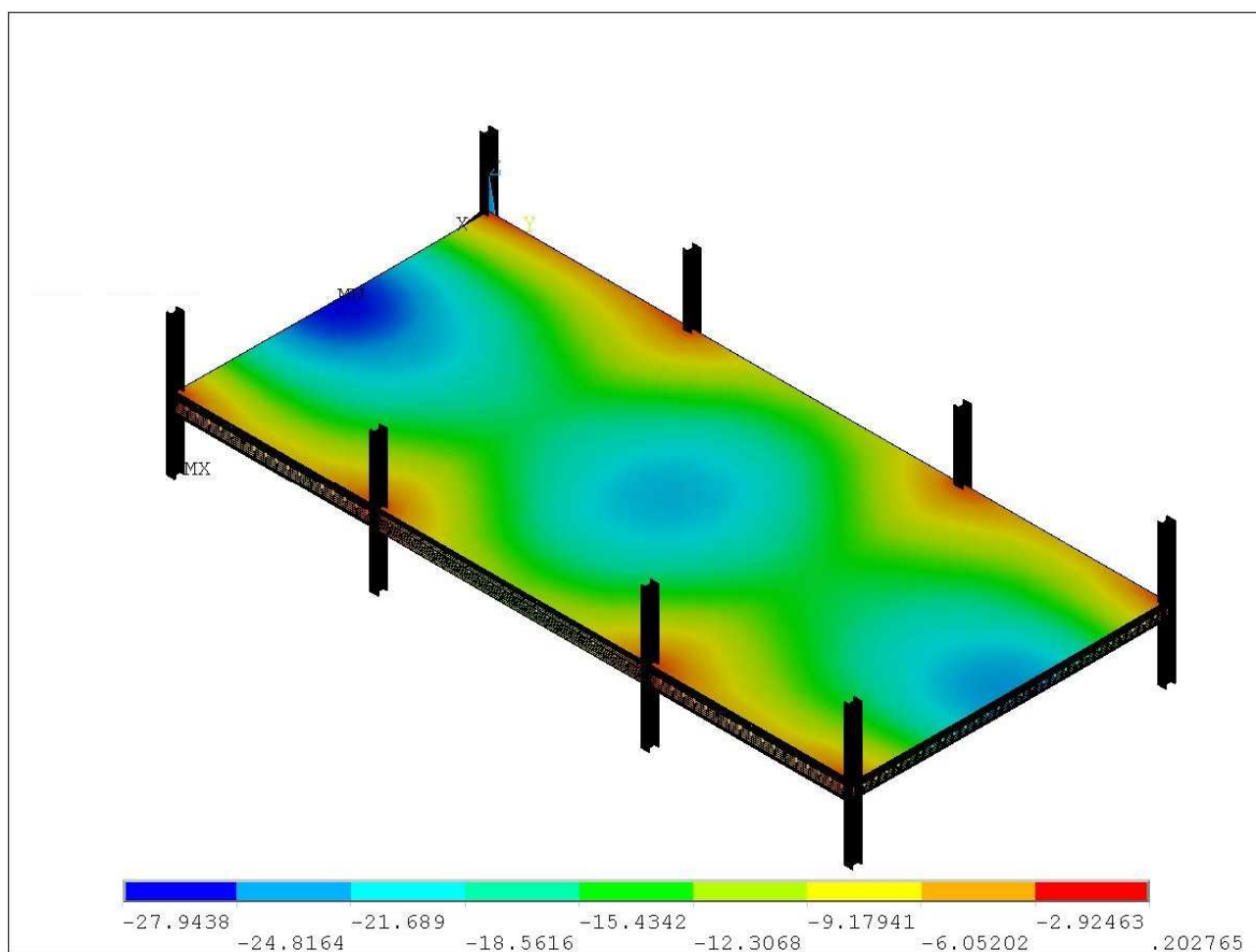


Figure 26 : Déformée du plancher à froid (mm)

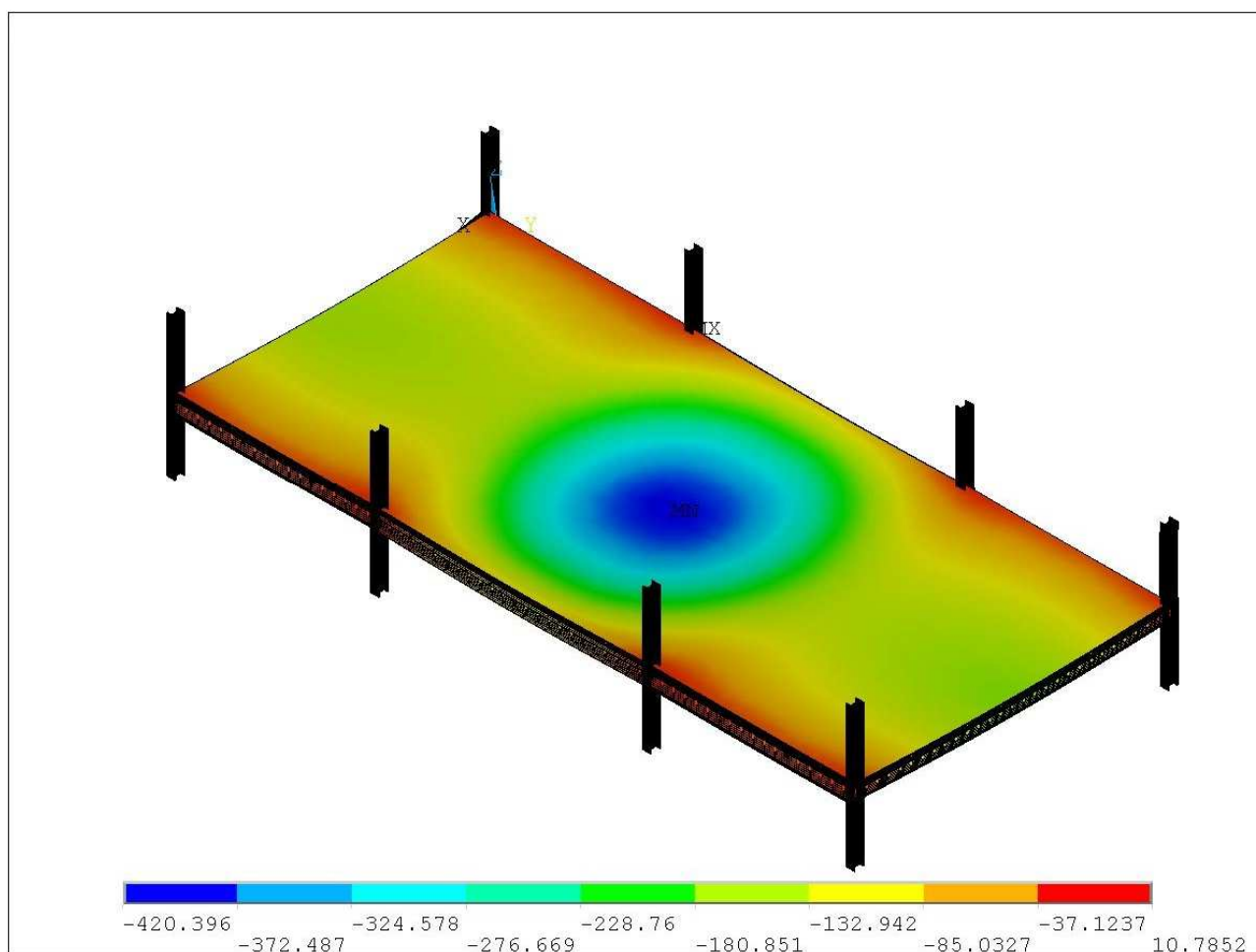


Figure 27 : Déformée du plancher 20 min après le départ de l'incendie (mm)

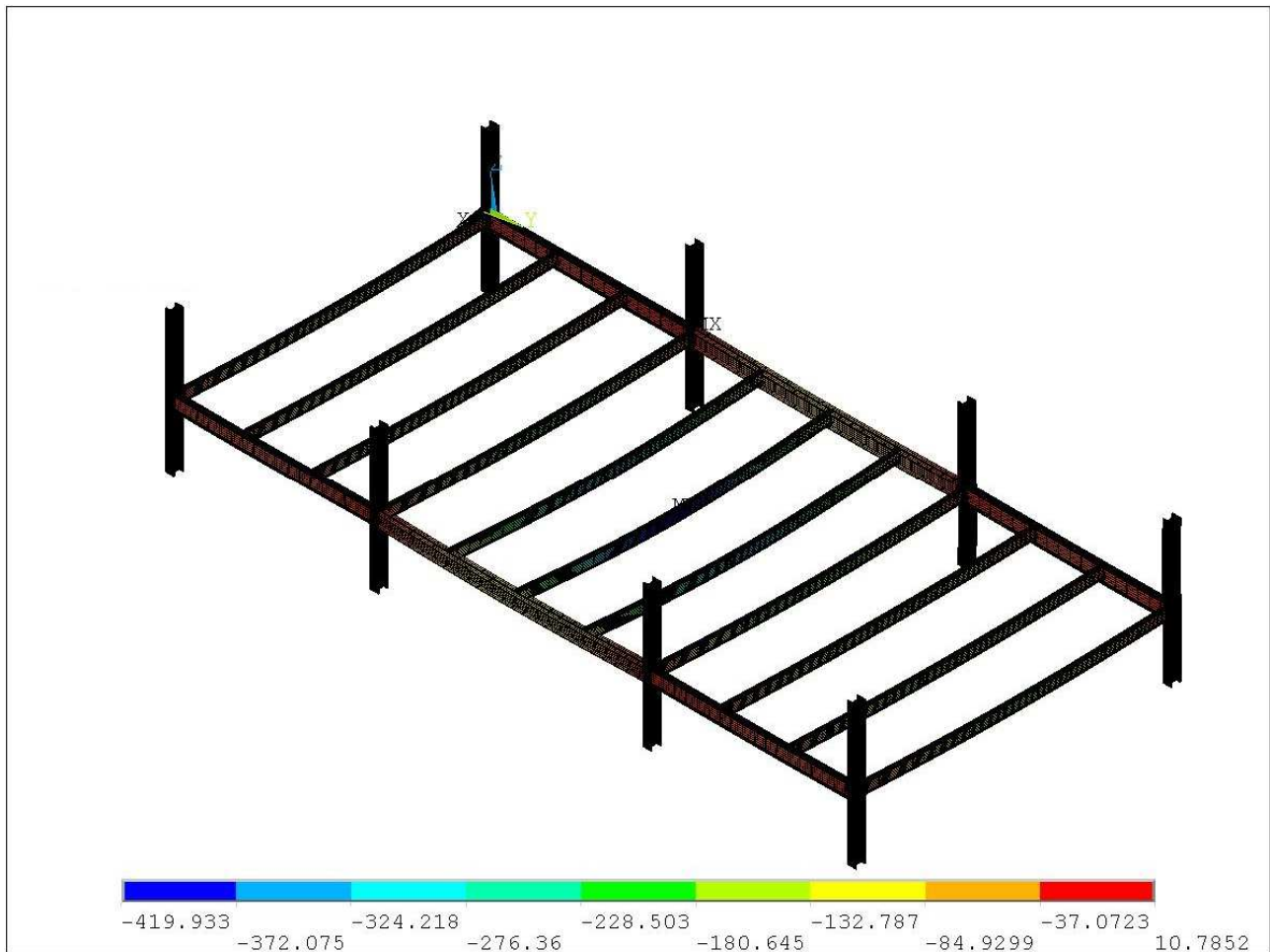


Figure 28 : Flèche verticale (mm) de la structure métallique (poutres et solives) 20 minutes après le départ de l'incendie

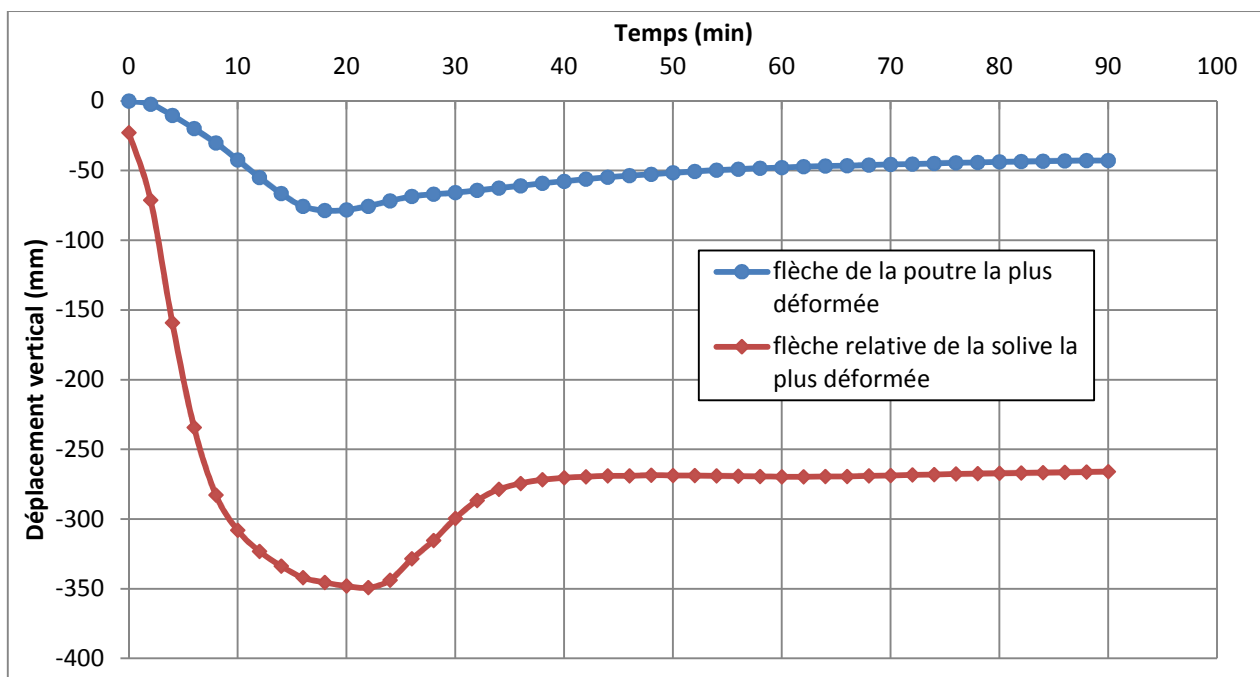


Figure 29 : Évolution du déplacement vertical relatif (mm) au cours du temps (min) de la poutre principale et de la solive les plus déformées

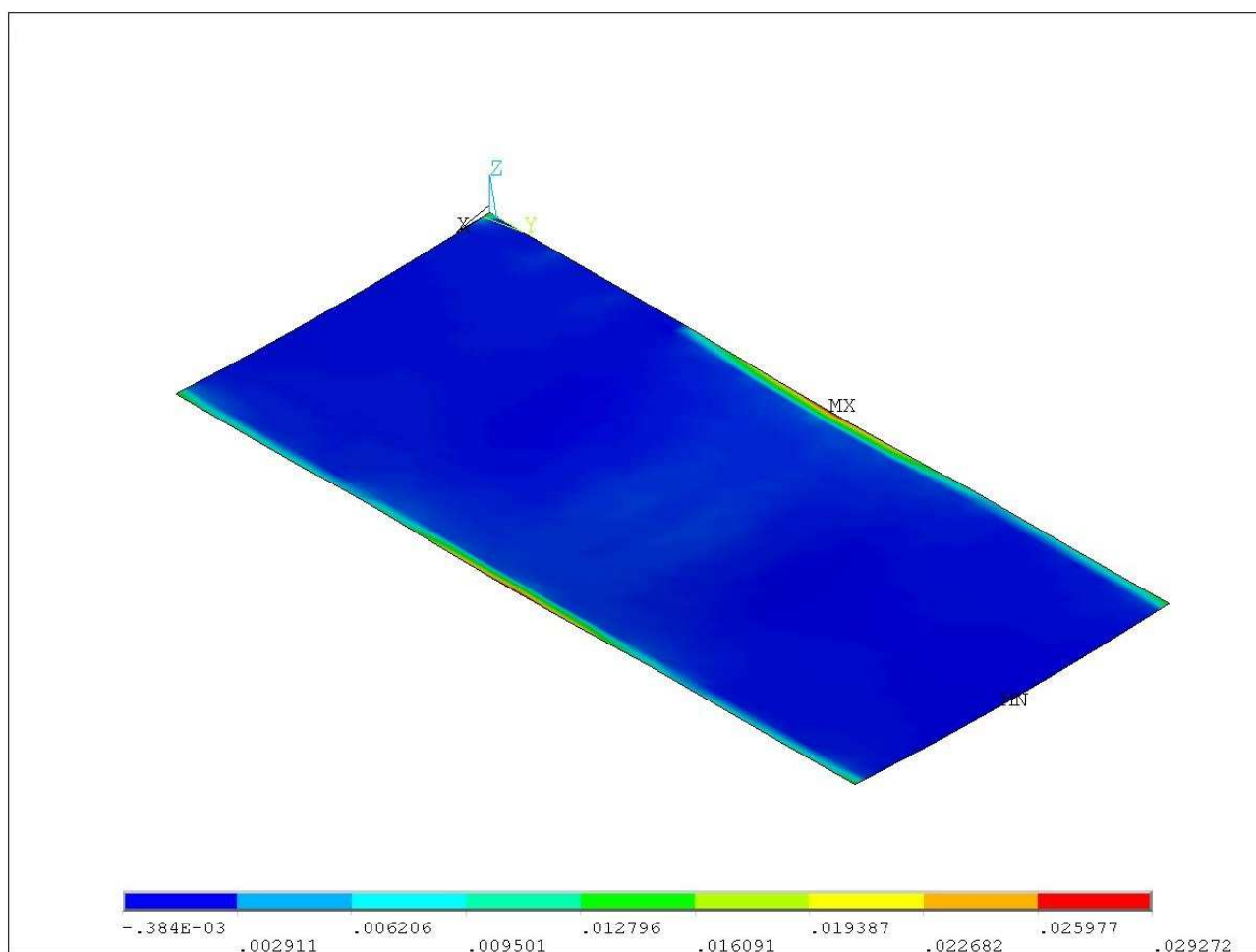


Figure 30 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des solives

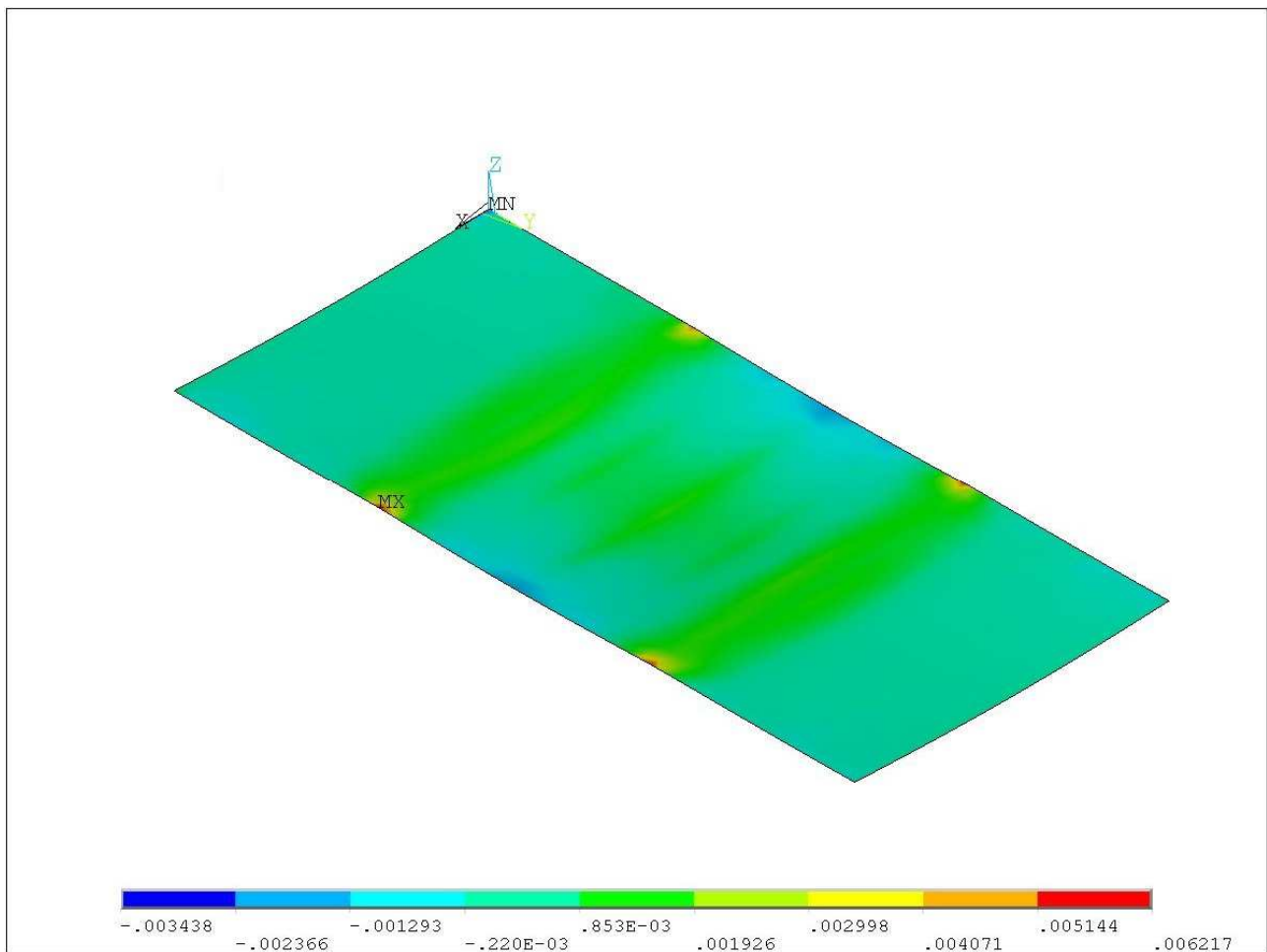


Figure 31 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des poutres principales

A.3. SCÉNARIO S3 : VÉHICULE UTILITAIRE À MI-PORTÉE SOUS UNE SOLIVE DE LA RAMPE D'ACCÈS AU PARKING

La partie du parking modélisée pour le scénario d'incendie en question est montrée sur la Figure 32. Les pieds de poteaux sont supposés encastrés. La partie de la structure métallique de la rampe non modélisée est représentée par des conditions spécifiques permettant de prendre en compte la continuité du plancher au niveau de la dalle mixte :

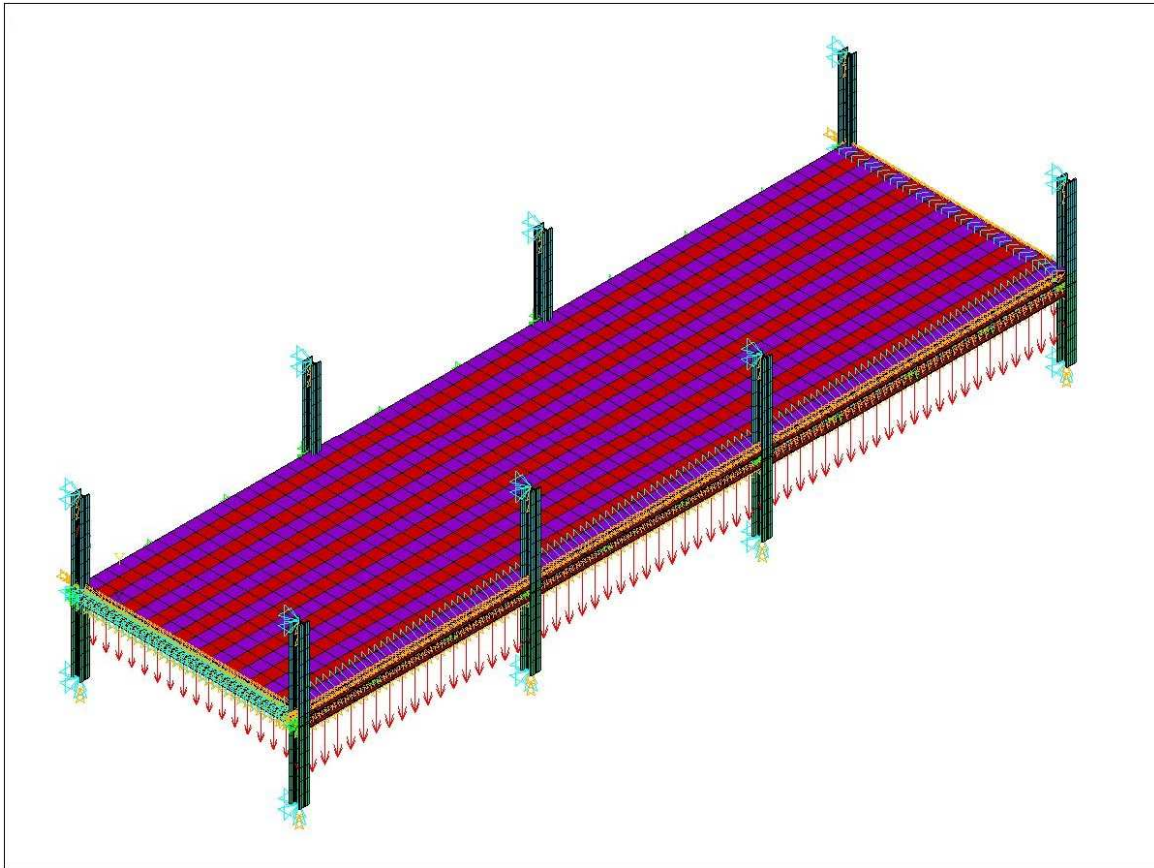


Figure 32 : Modélisation de la rampe d'accès au parking

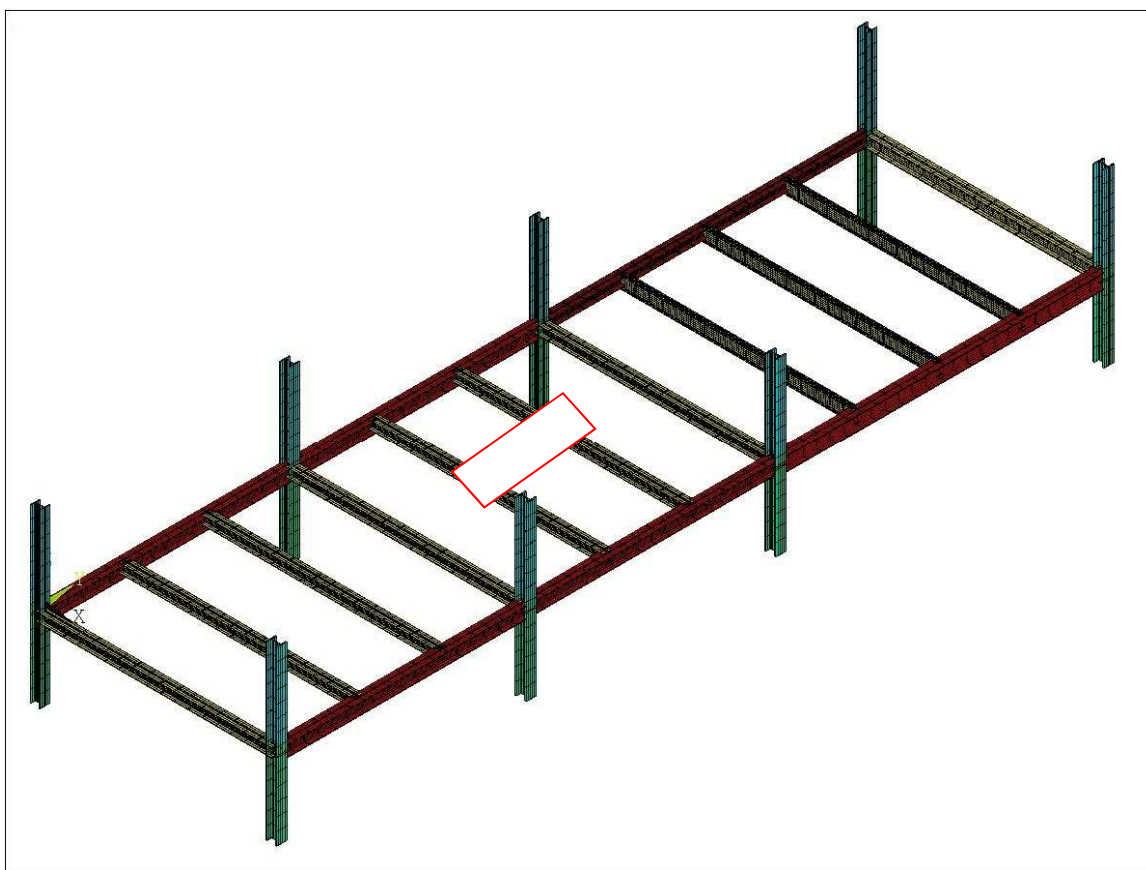


Figure 33 : Charpente métallique de la rampe d'accès et localisation du véhicule en feu

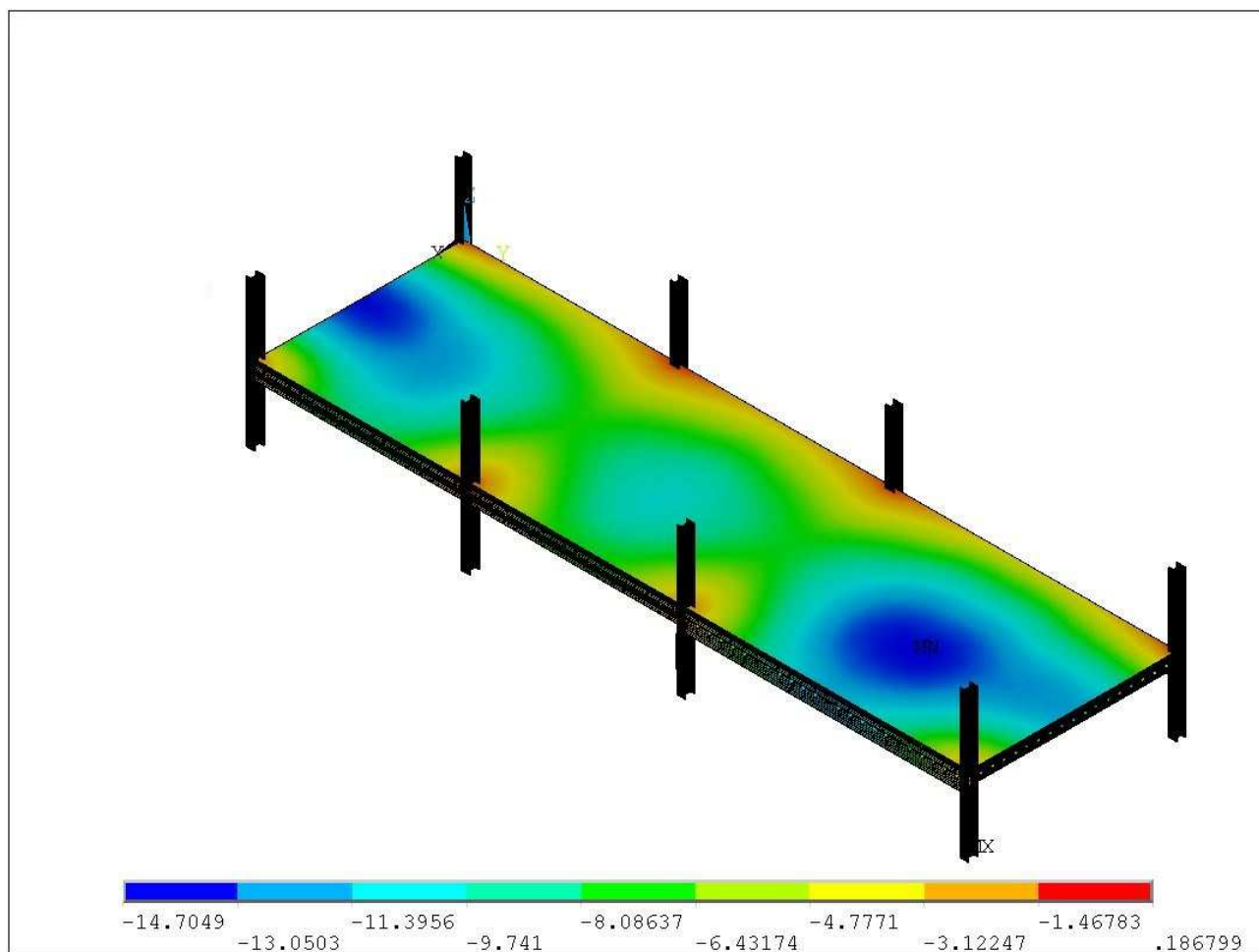


Figure 34 : Déformée du plancher de la rampe d'accès à froid (mm)

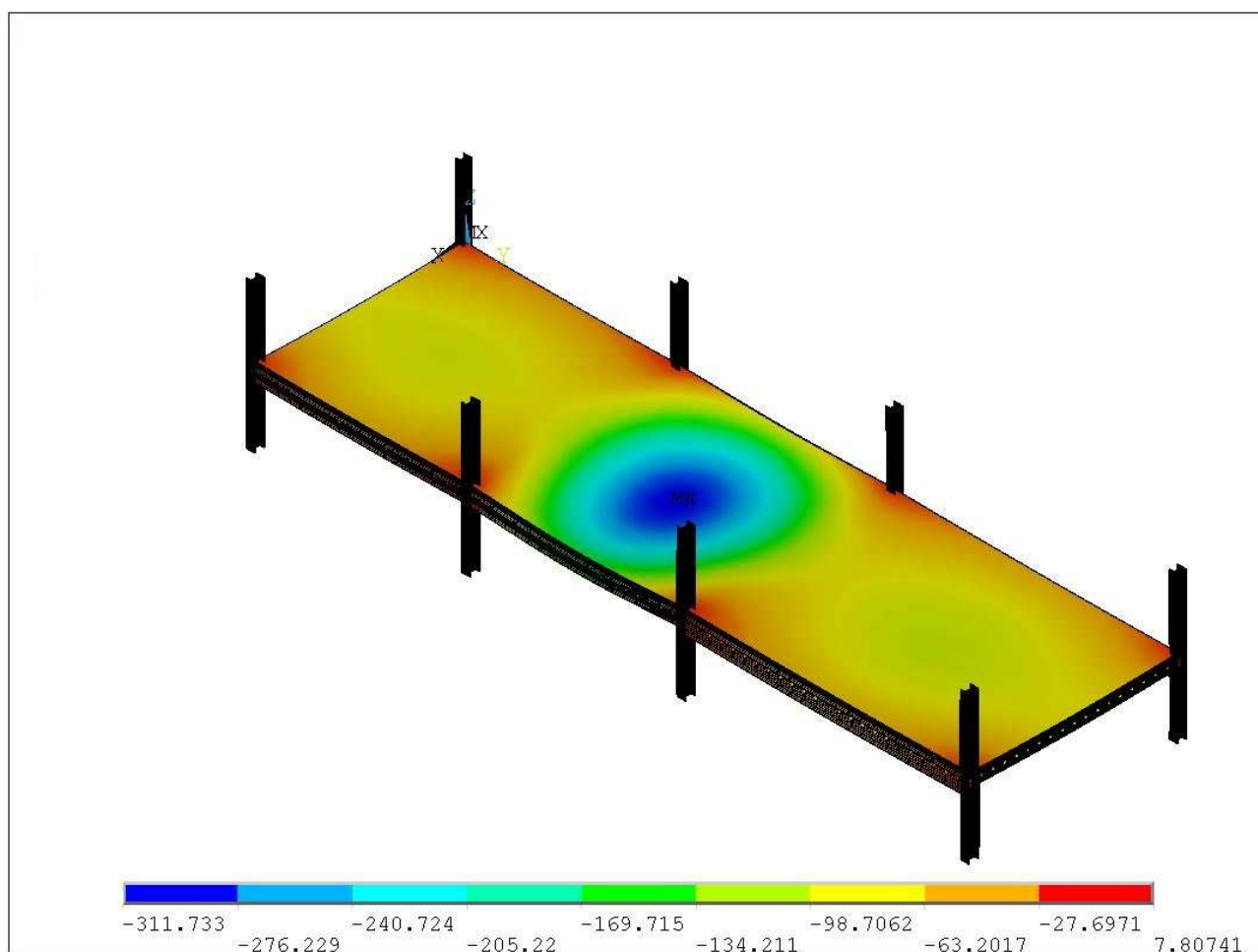


Figure 35 : Déformée du plancher de la rampe d'accès après 20 minutes d'incendie

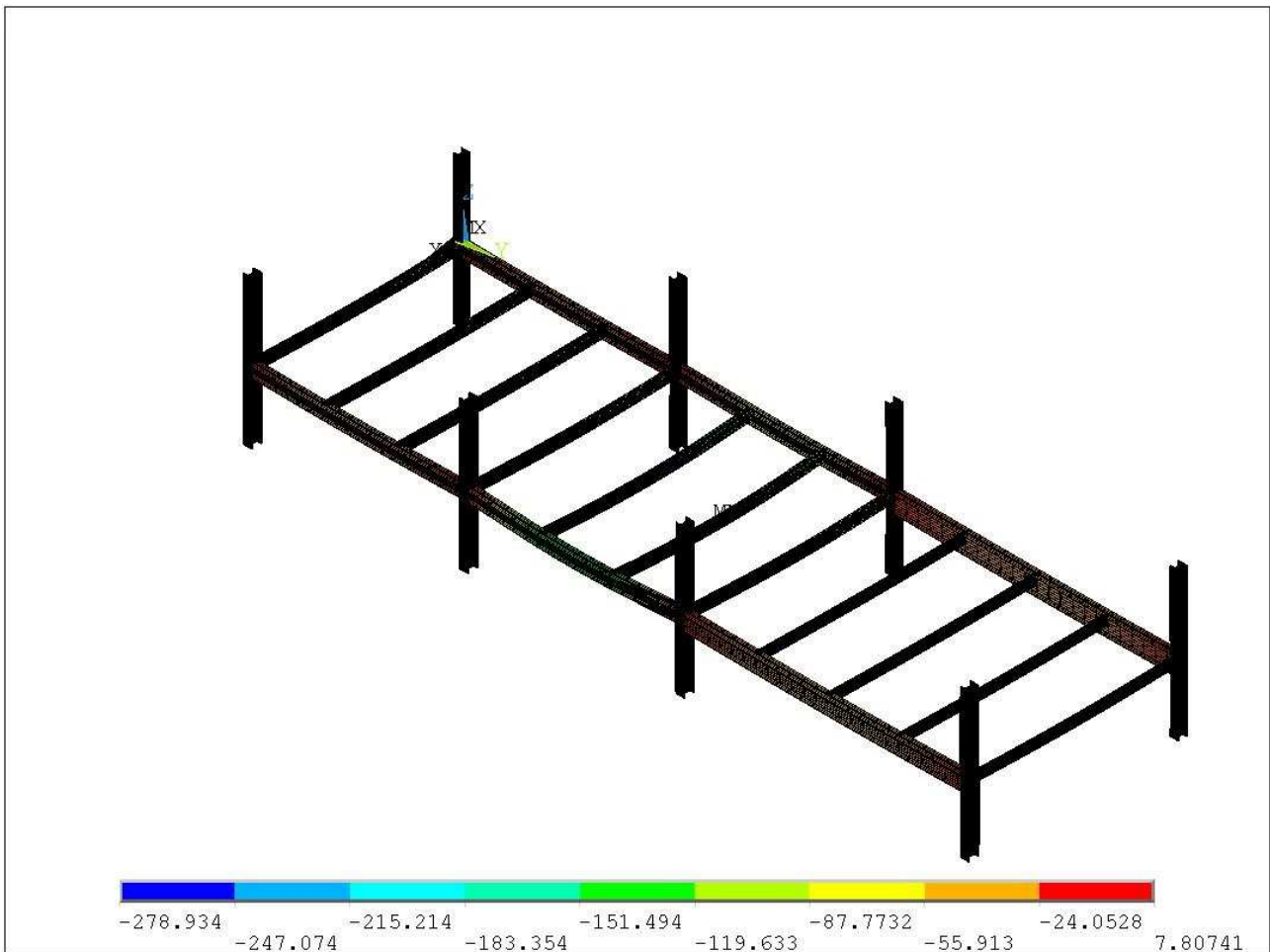


Figure 36 : Déformée de la charpente métallique de la rampe d'accès 20 minutes après le départ de l'incendie

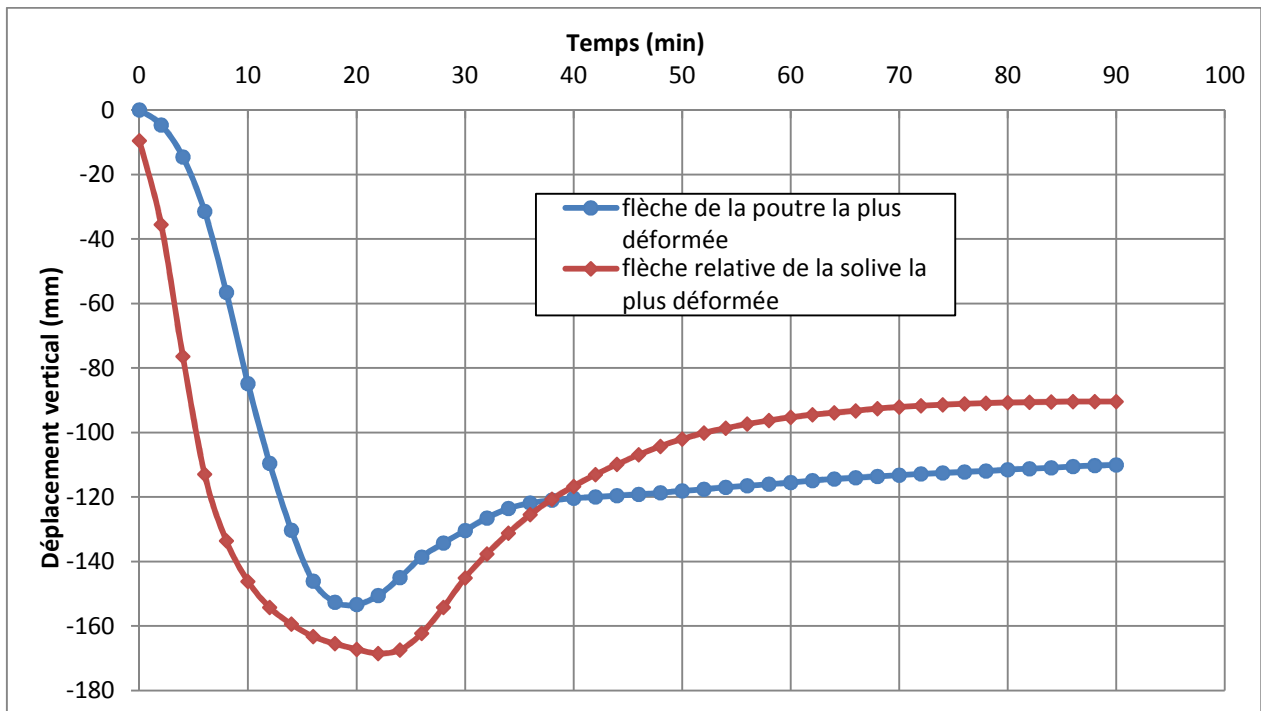


Figure 37 : Évolution du déplacement vertical relatif (mm) au cours du temps (min) de la poutre et de la solive les plus déformées

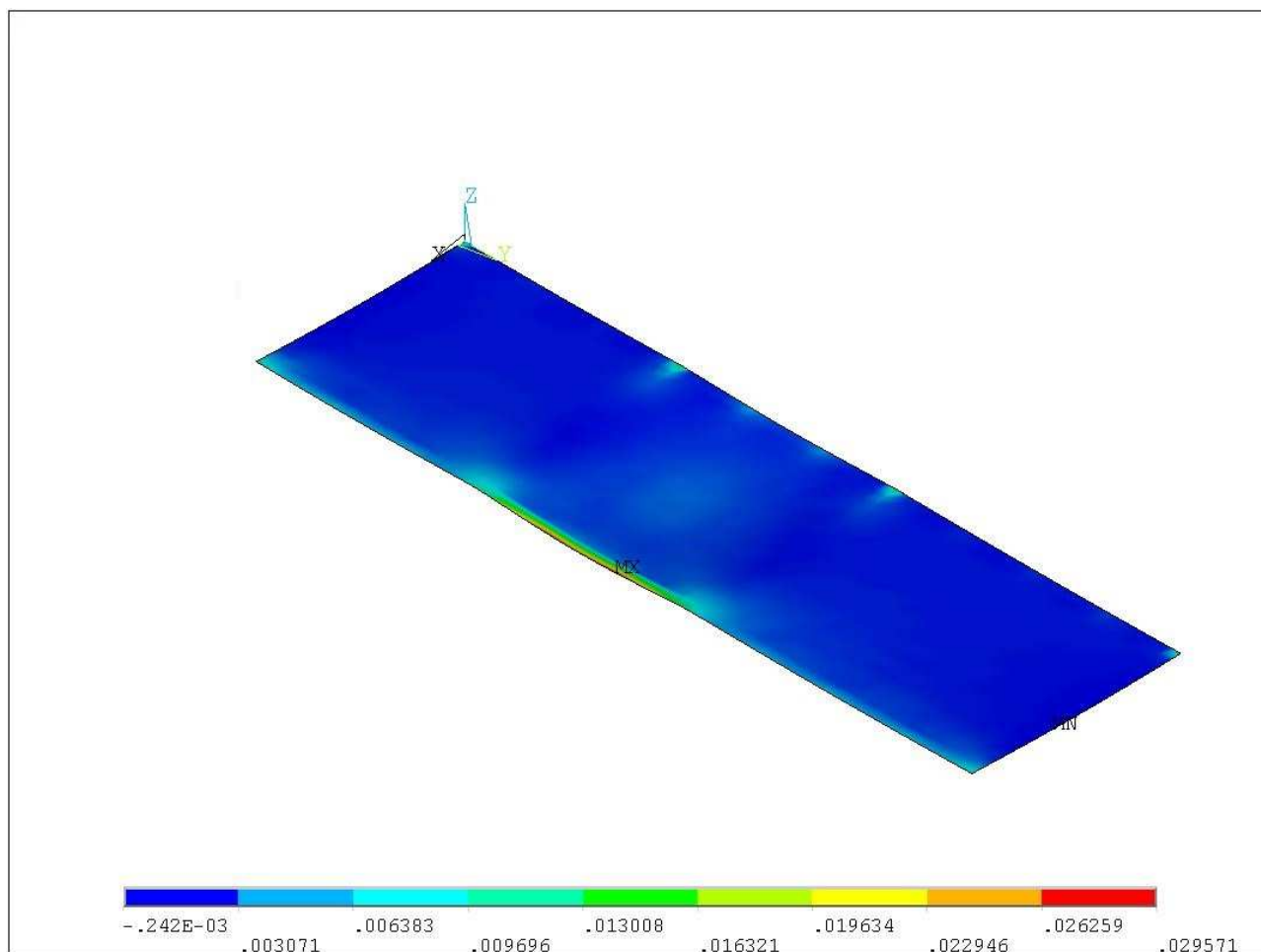


Figure 38 : Déformation mécanique totale maximale du treillis dans le sens des solives

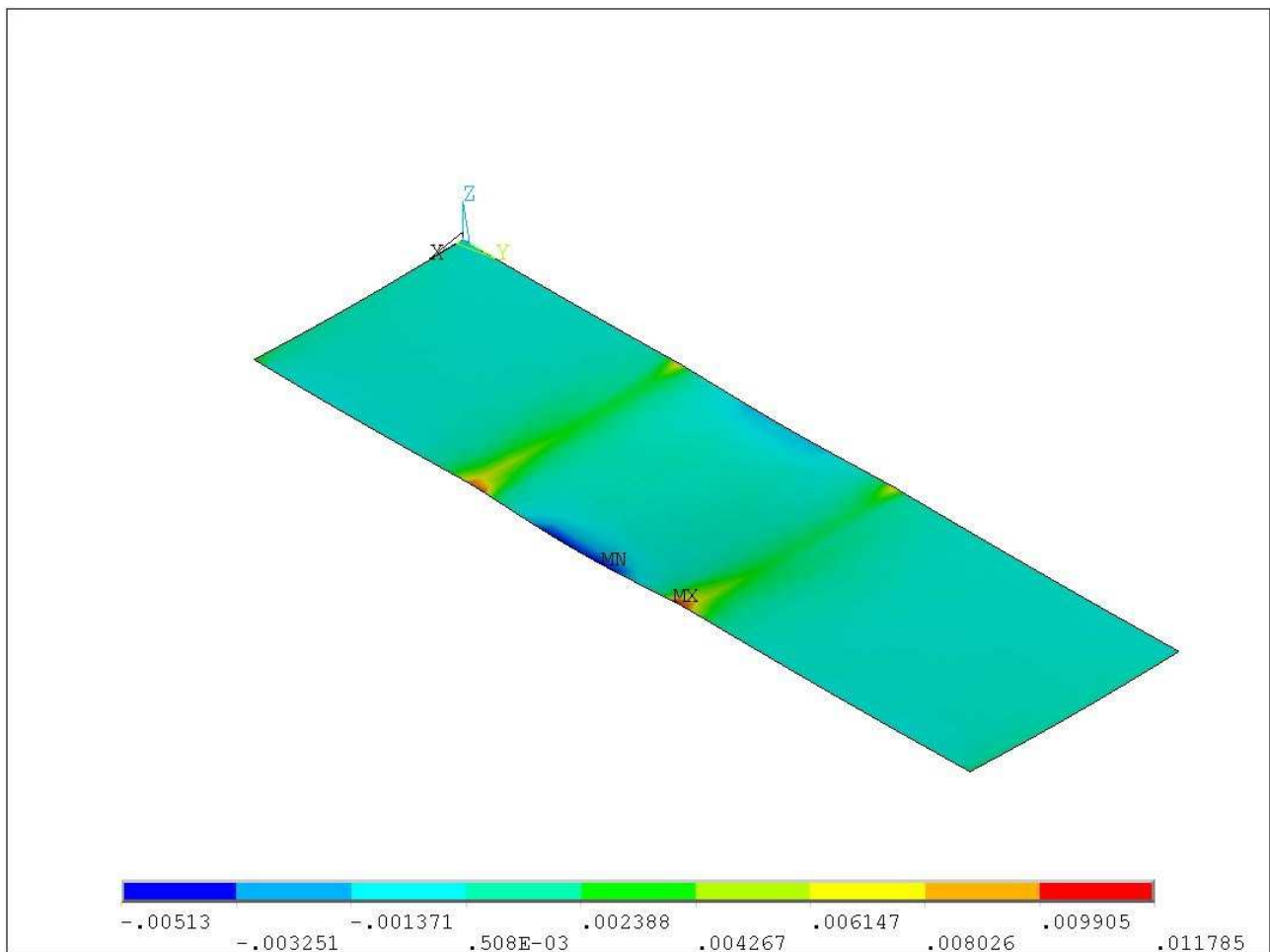


Figure 39 : Déformation mécanique totale maximale du treillis dans le sens des poutres principales

A.4. SCÉNARIO S4 : 7 VÉHICULES DONT UN UTILITAIRE SITUES AU 1^{ER} ETAGE POUR L'ANALYSE DES POUTRES EN CONSOLE

La partie de la structure du parking aérien ayant été modélisée pour ce scénario est illustrée dans la Figure 40 et localisée dans la Figure 41. Il s'agit de la structure du plancher du 2^{ème} étage, au niveau de la partie en console, comme indiqué en rouge ci-dessous:

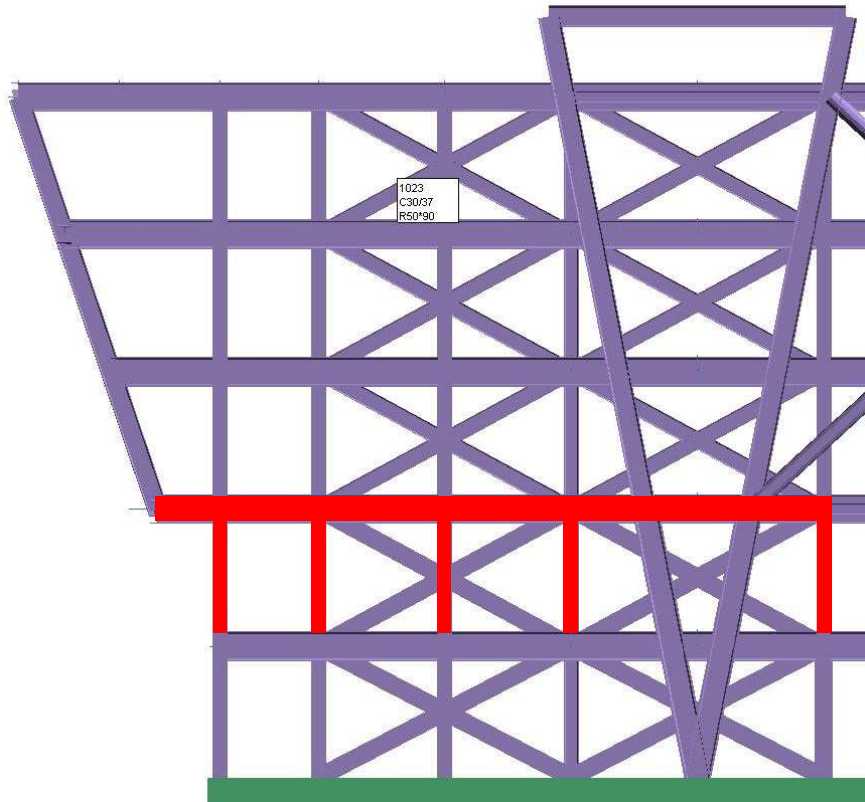


Figure 40 : Vue de profil de l'extrémité du parking et localisation de la zone modélisée

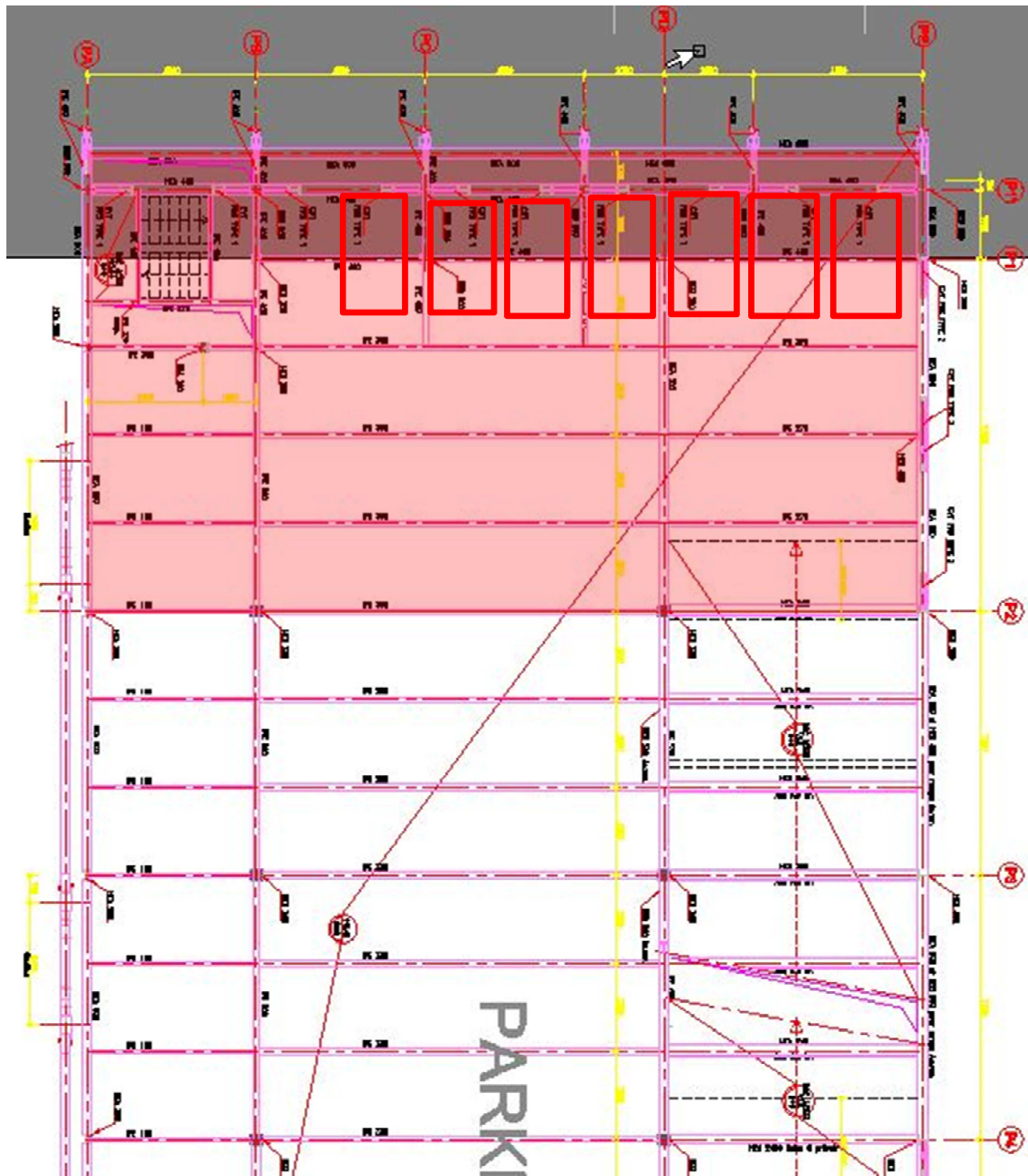


Figure 41 : Emplacement de la trame du parking modélisée pour ce scénario ainsi que les véhicules concernés

La modélisation numérique est illustrée dans la figure suivante. Les pieds de poteaux sont encastrés et la partie du parking non modélisée est représentée à l'aide de conditions de continuité. Les charges représentant les poteaux inclinés non modélisés sont pris en compte dans le modèle :

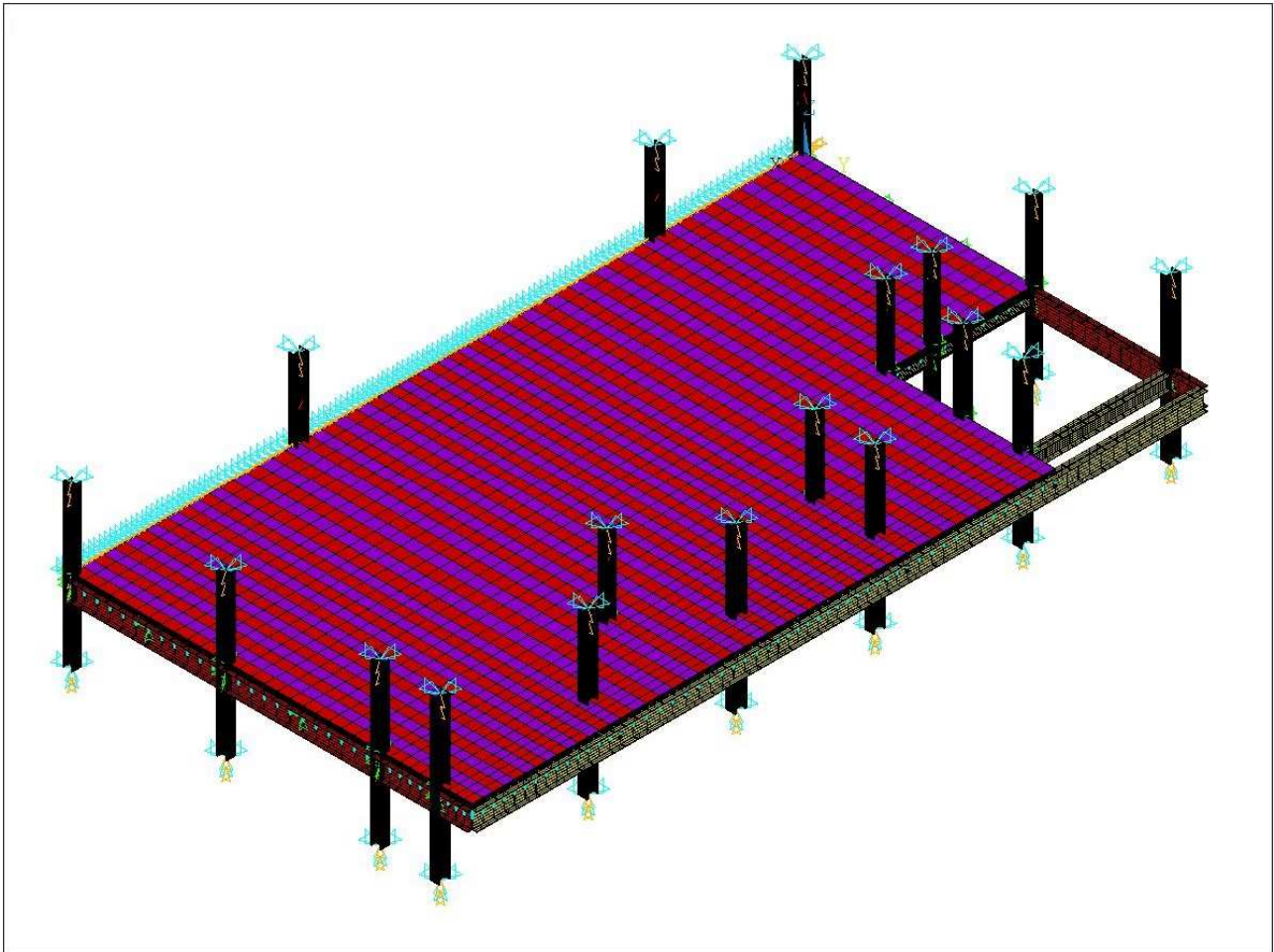


Figure 42 : Modélisation de la partie de structure étudiée

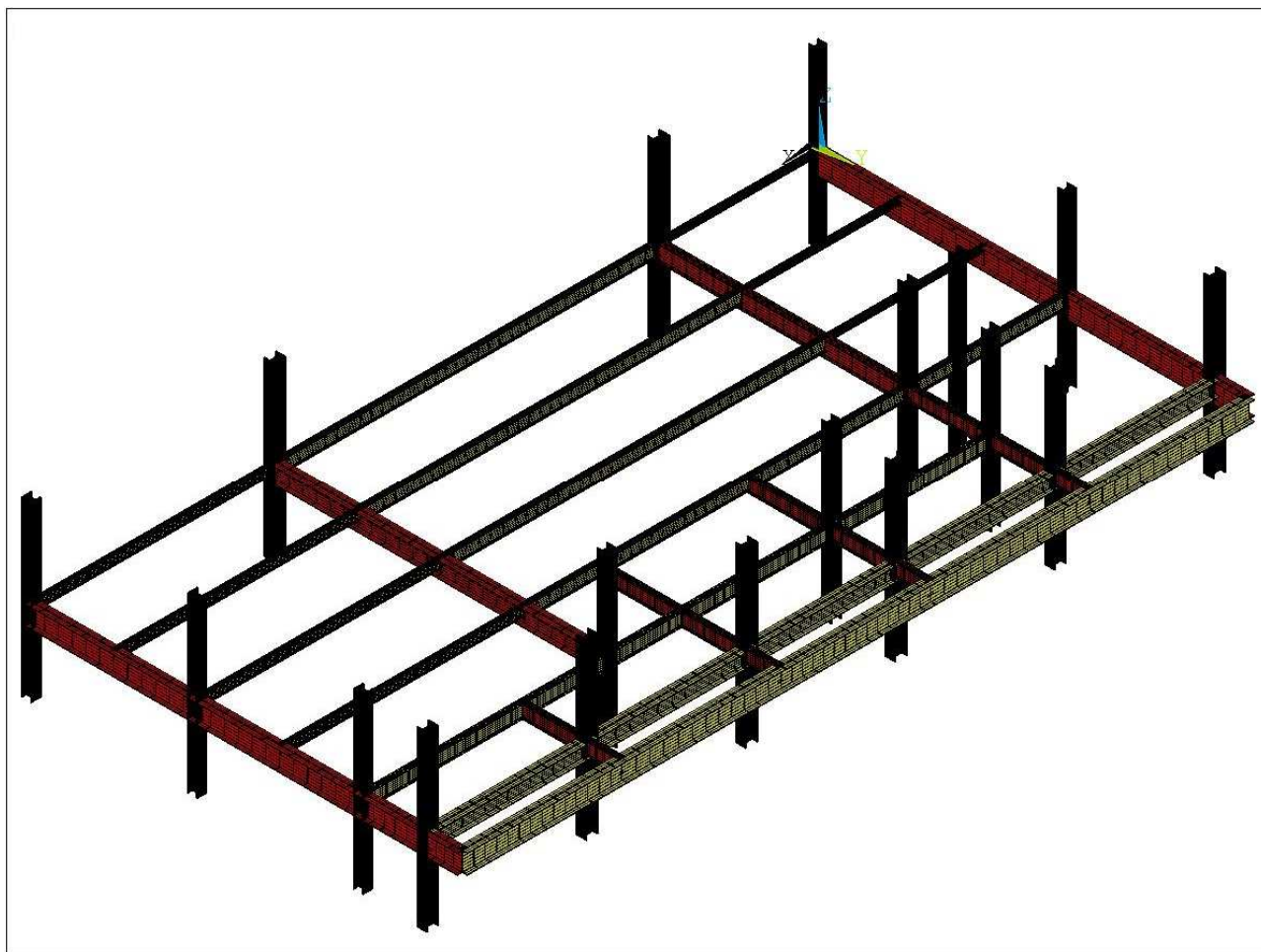


Figure 43 : Modélisation de la charpente métallique de la partie considérée

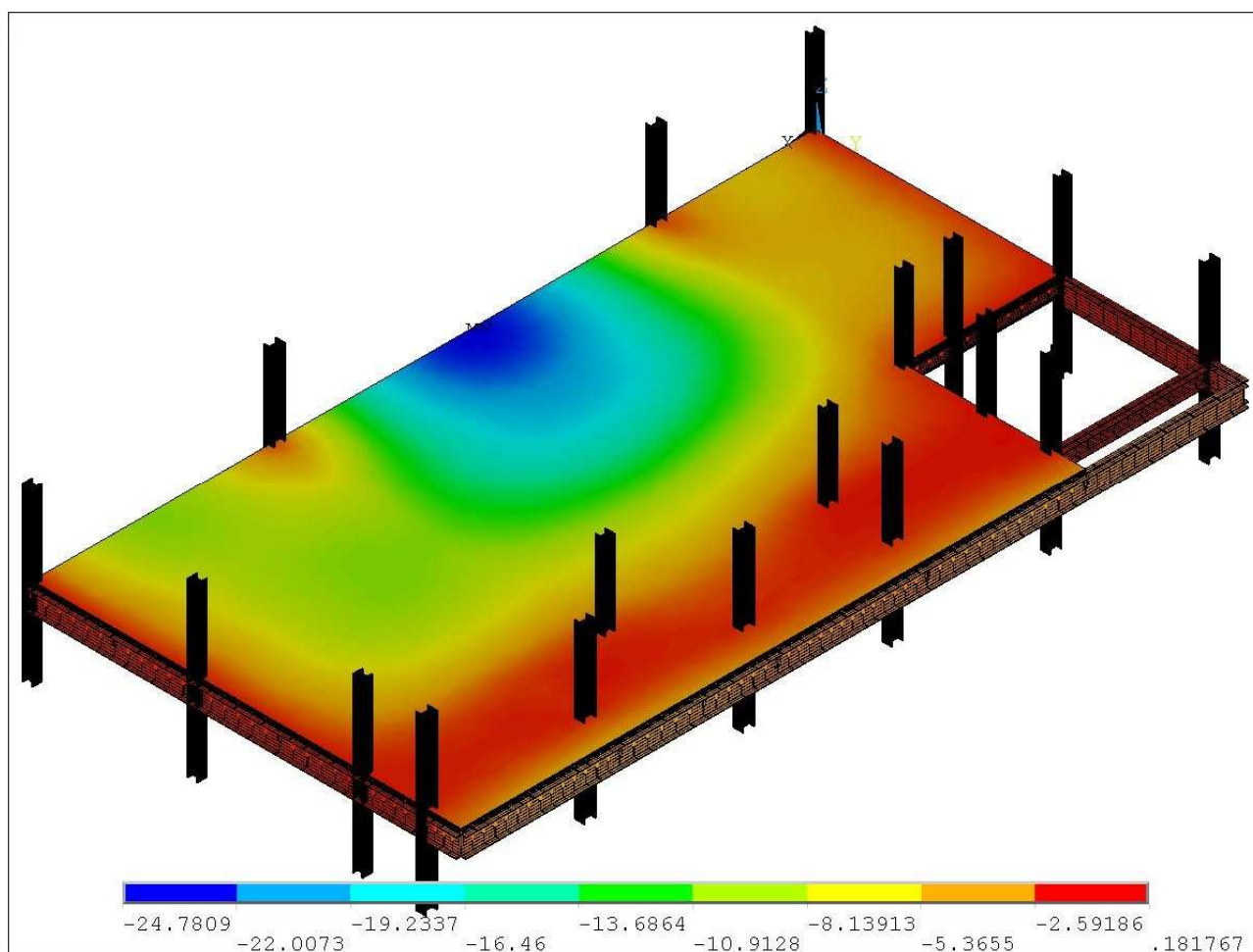


Figure 44 : Déformée du plancher à froid

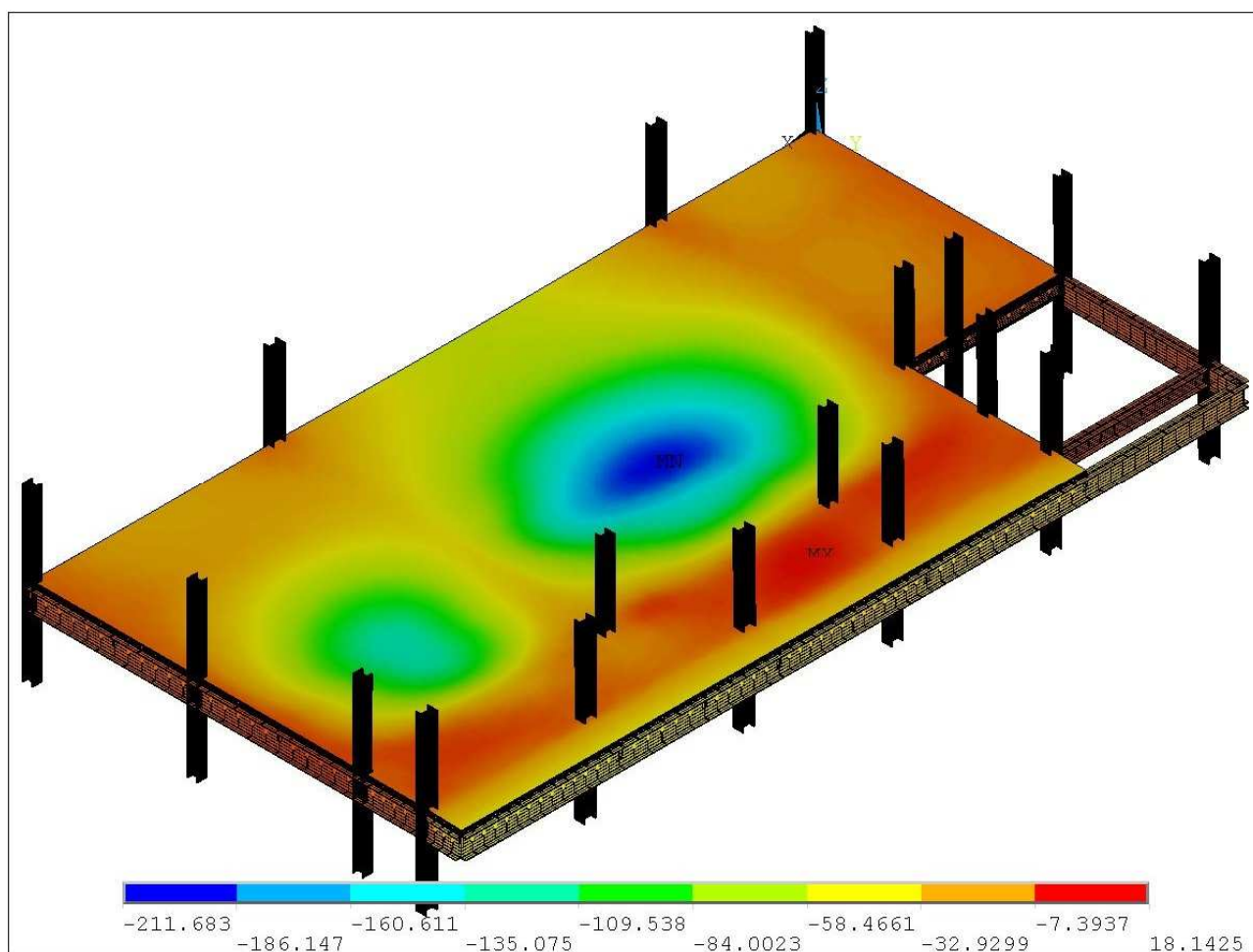


Figure 45 : Déformée du plancher 150 minutes après le départ de l'incendie sur le premier véhicule

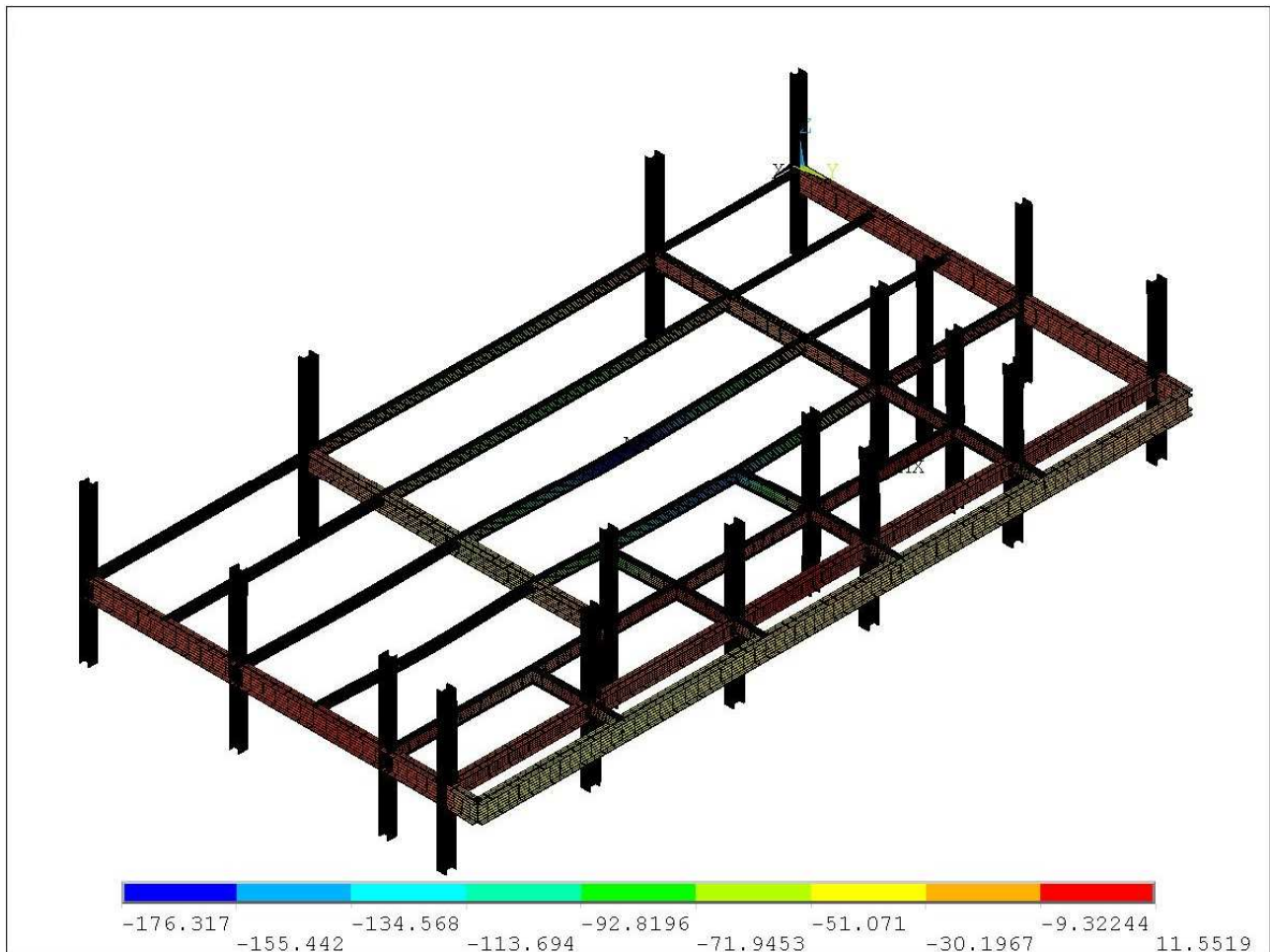


Figure 46 : Déformée de la charpente 150 minutes après le départ de l'incendie sur le premier véhicule

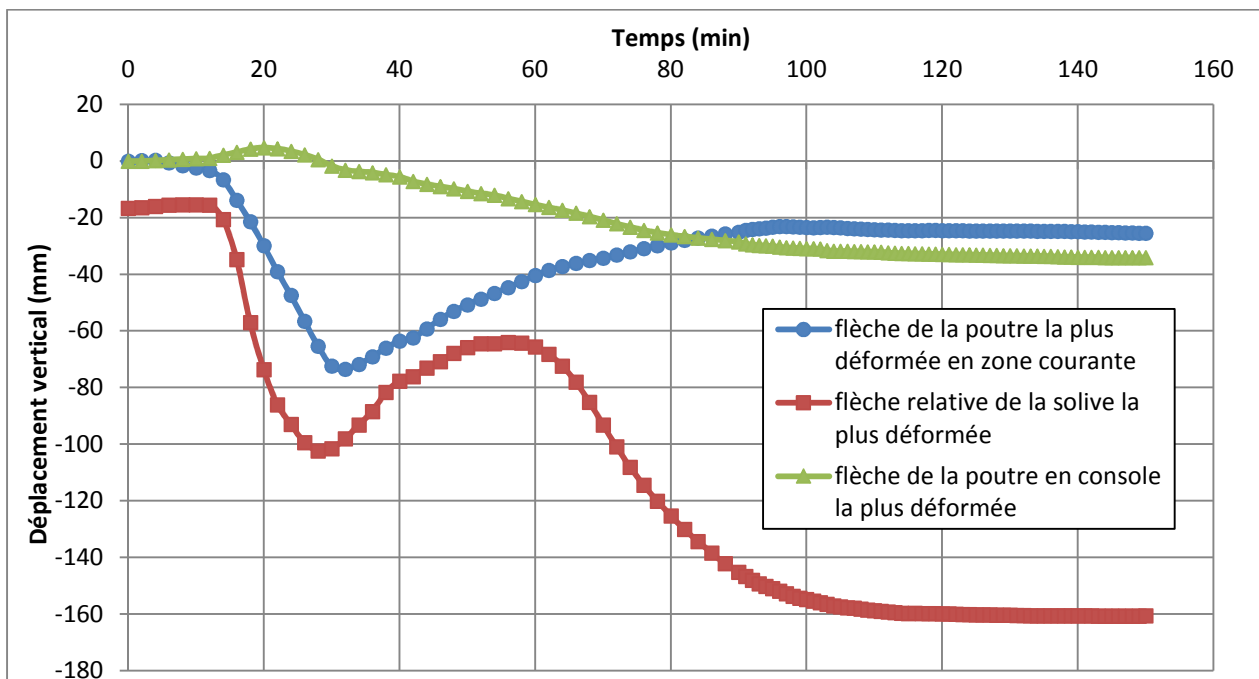


Figure 47 : Évolution du déplacement vertical relatif (mm) au cours du temps (min) de la poutre principale, en console et de la solive les plus déformées

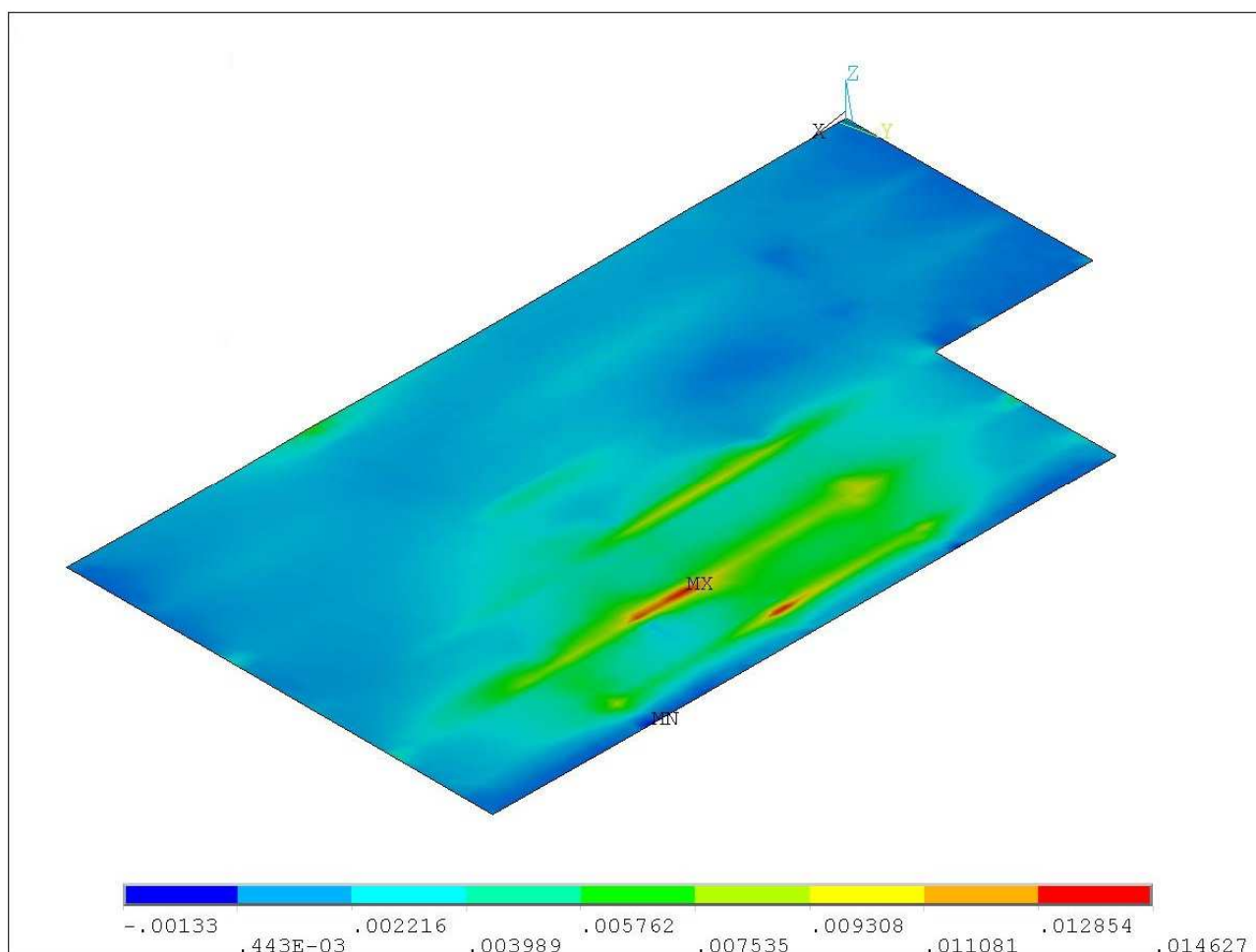


Figure 48 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des poutres

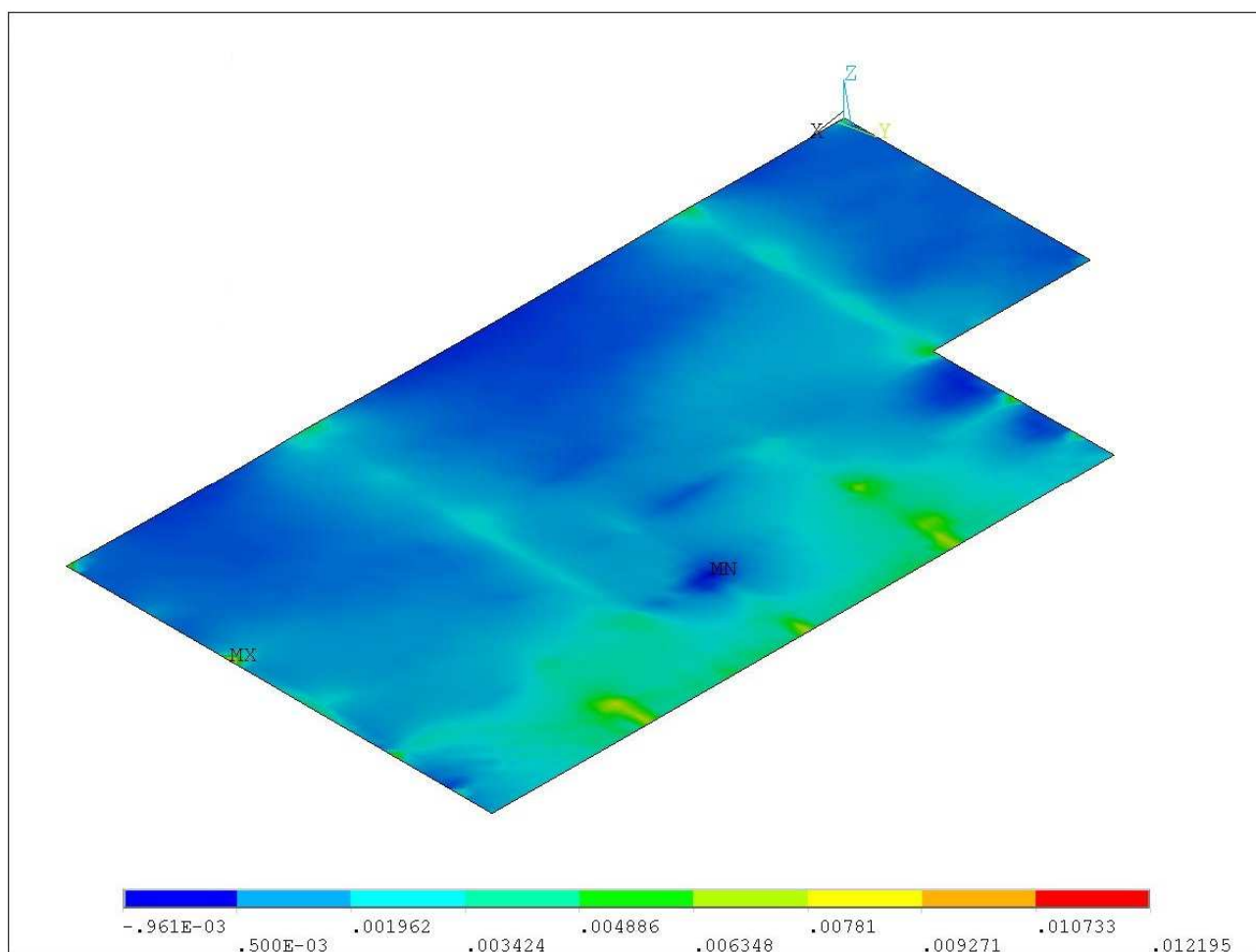


Figure 49 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des solives

A.5. SCÉNARIO S5 : 7 VÉHICULES DONT UN UTILITAIRE SITUÉS AU 4^{EME} ETAGE SOUS LA PARTIE EN CONSOLE

La partie du parking modélisée pour le scénario d'incendie en question est montrée sur les Figure 50 et Figure 51. Les pieds de poteaux sont supposés encastrés. La partie de la structure métallique non modélisée est représentée par des conditions spécifiques de continuité. La structure de la zone correspondant à la cage d'escalier est prise en compte mais aucun plancher n'est y modélisé. Les poteaux inclinés ont été modélisés verticalement pour le calcul de transfert thermique. Cette modélisation est sécuritaire par rapport à la structure réelle car elle majore le flux thermique effectivement reçu par les poteaux suite aux incendies des différents véhicules (voir Figure 47 pour la localisation et l'inclinaison des poteaux). Pour le calcul mécanique, les flux reçus ont été conservés mais les poteaux ont été modifiés et inclinés, comme proposé dans les plans de construction (voir schéma surligné en rouge dans la figure suivante) :

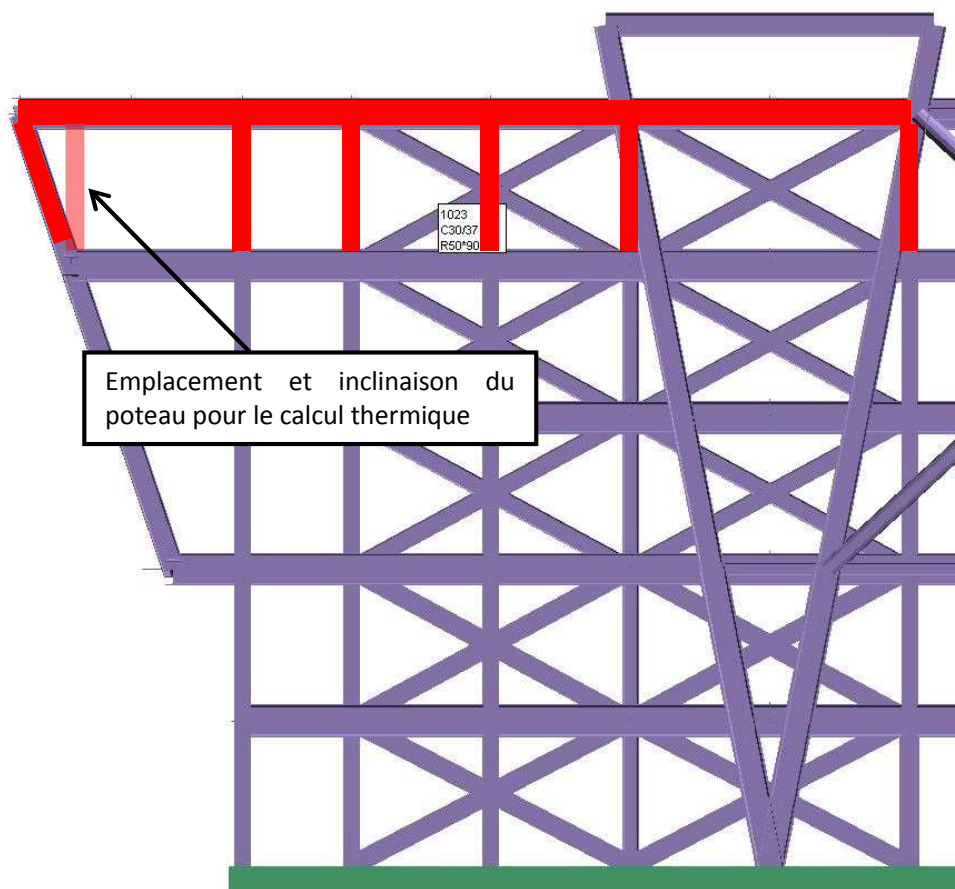


Figure 50 : Vue de profil de l'extrémité du parking et localisation de la zone modélisée

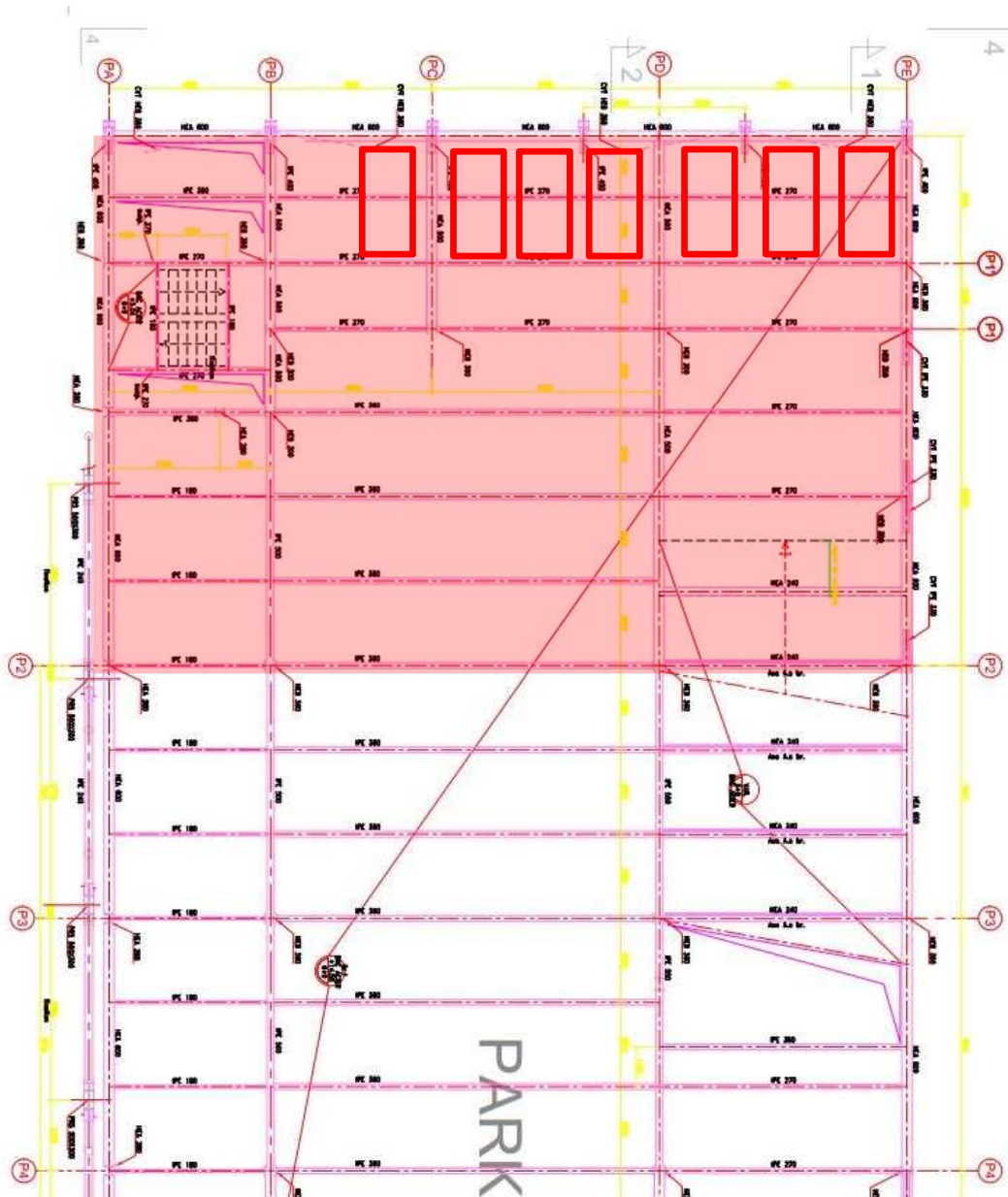


Figure 51 : Emplacement de la trame du parking modélisée pour ce scénario ainsi que les véhicules concernés

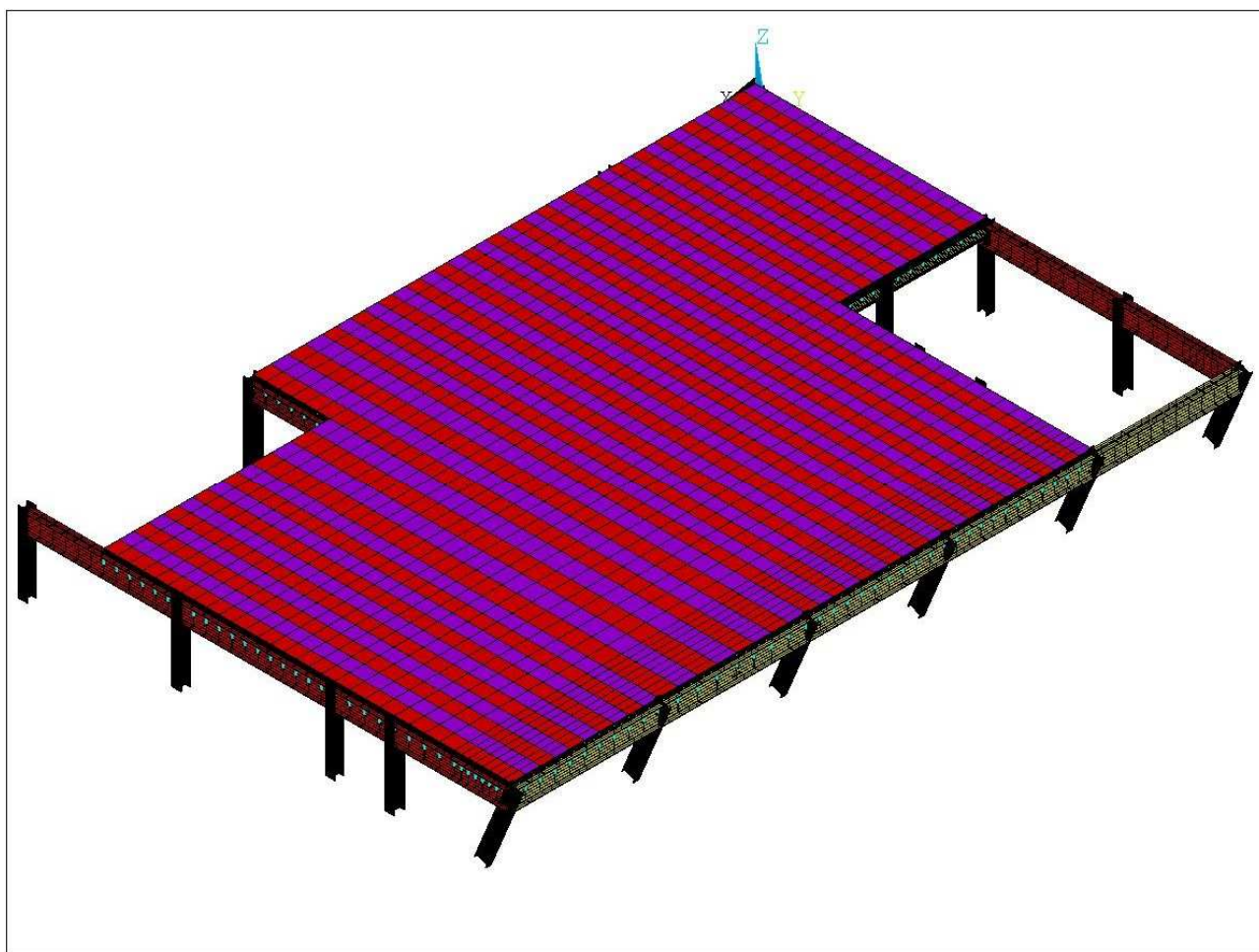


Figure 52 : Modélisation de la partie de structure étudiée

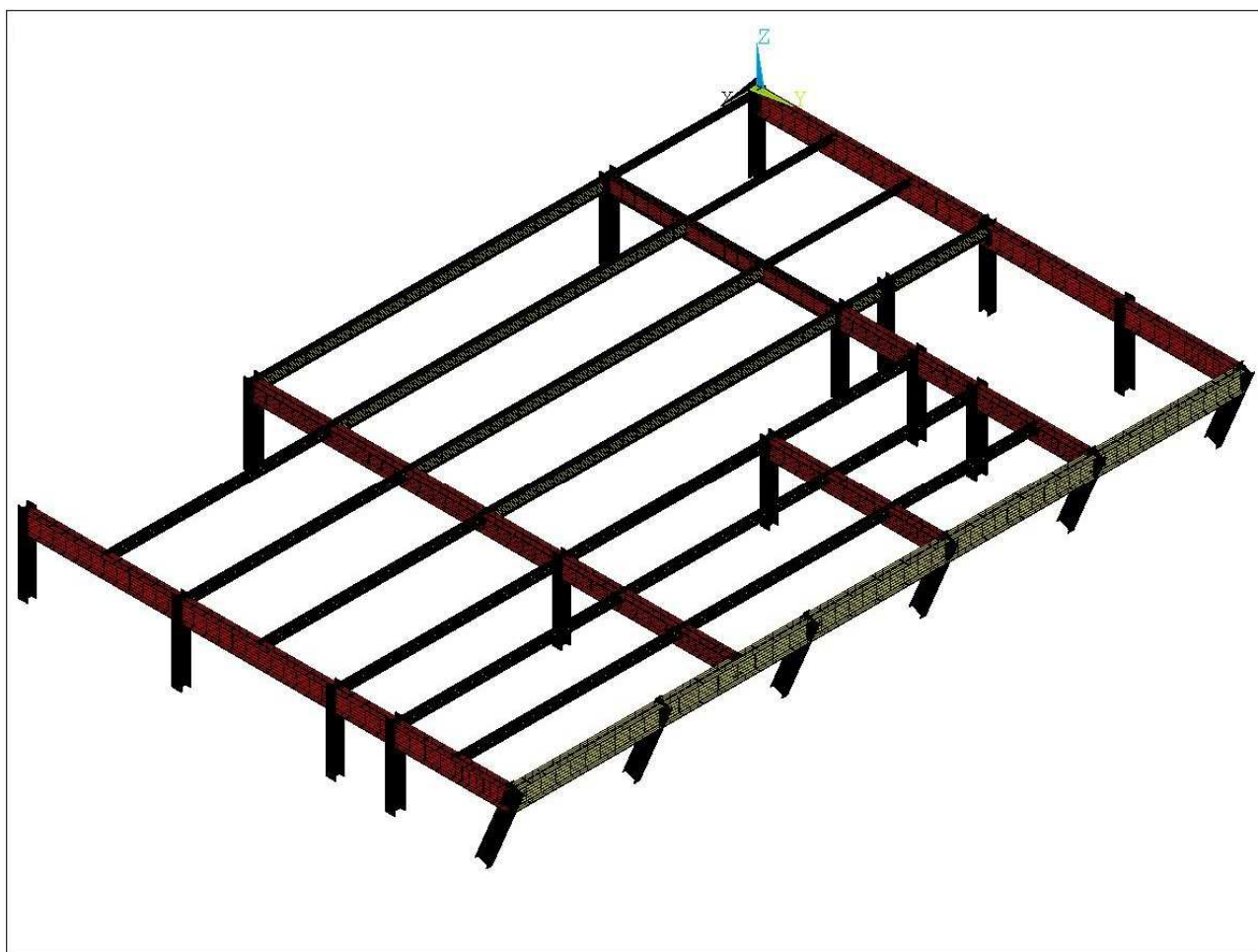


Figure 53 : Modélisation de la charpente métallique de la partie considérée

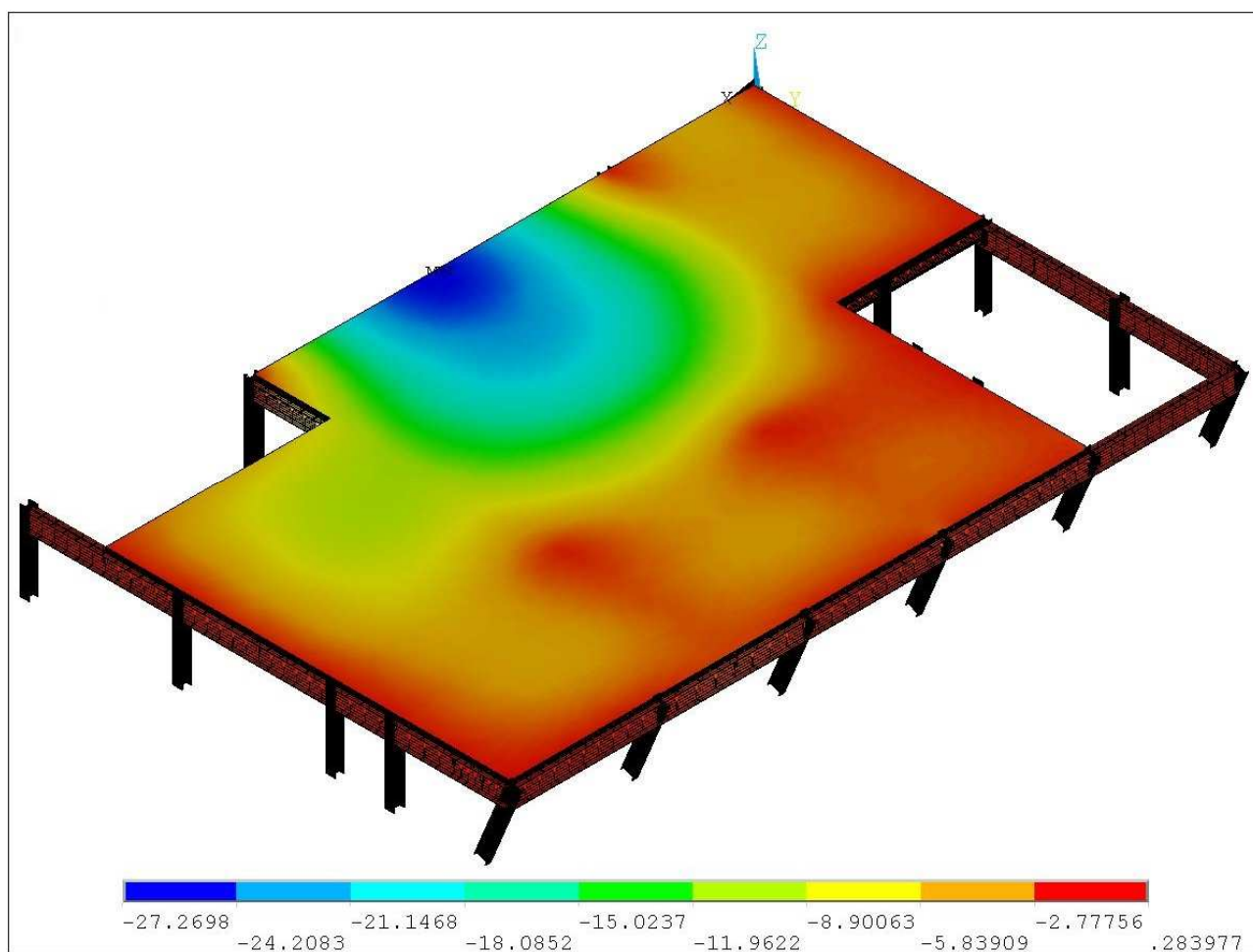


Figure 54 : Déformée du plancher à froid (mm)

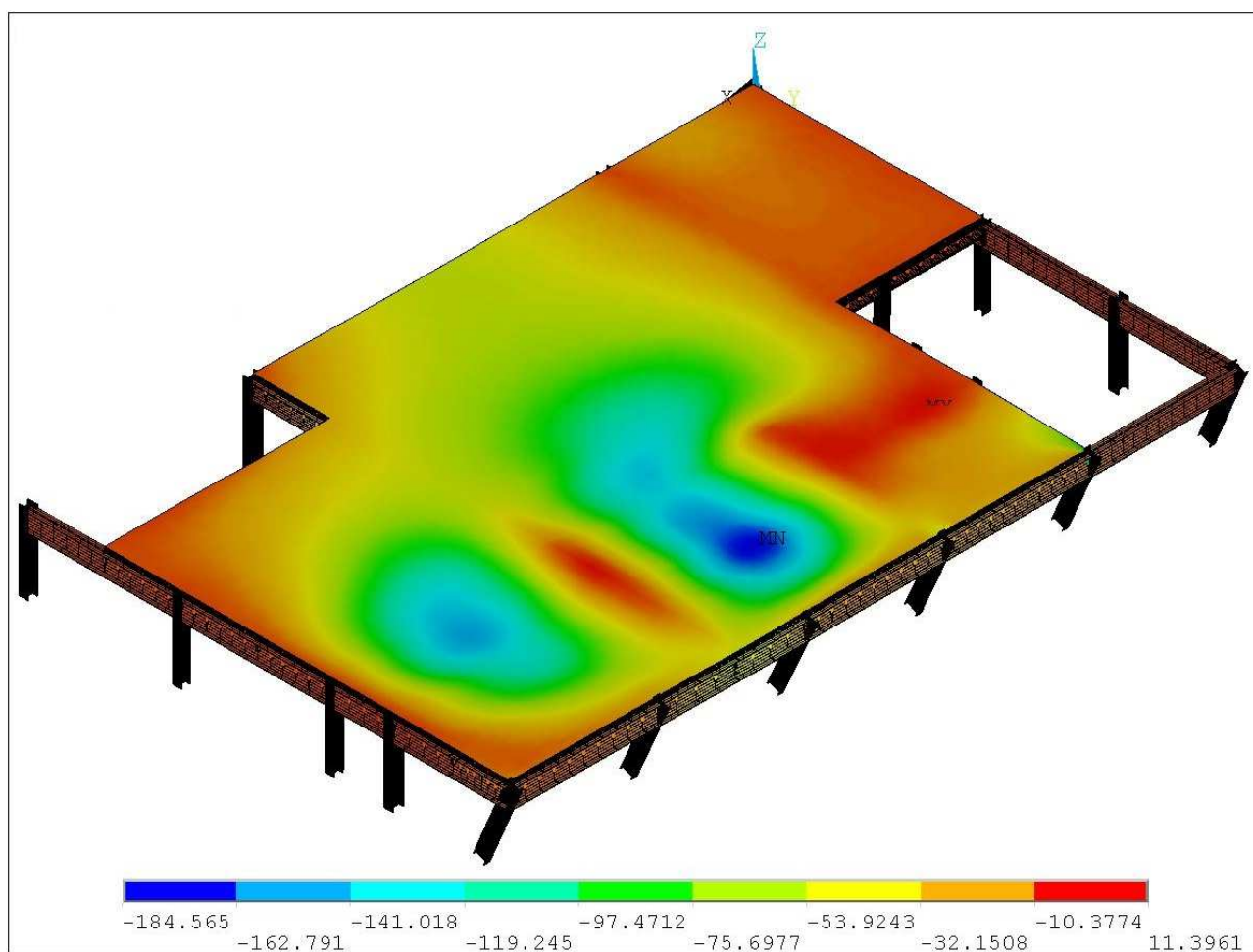


Figure 55 : Déformée du plancher 150 minutes après le départ de l'incendie

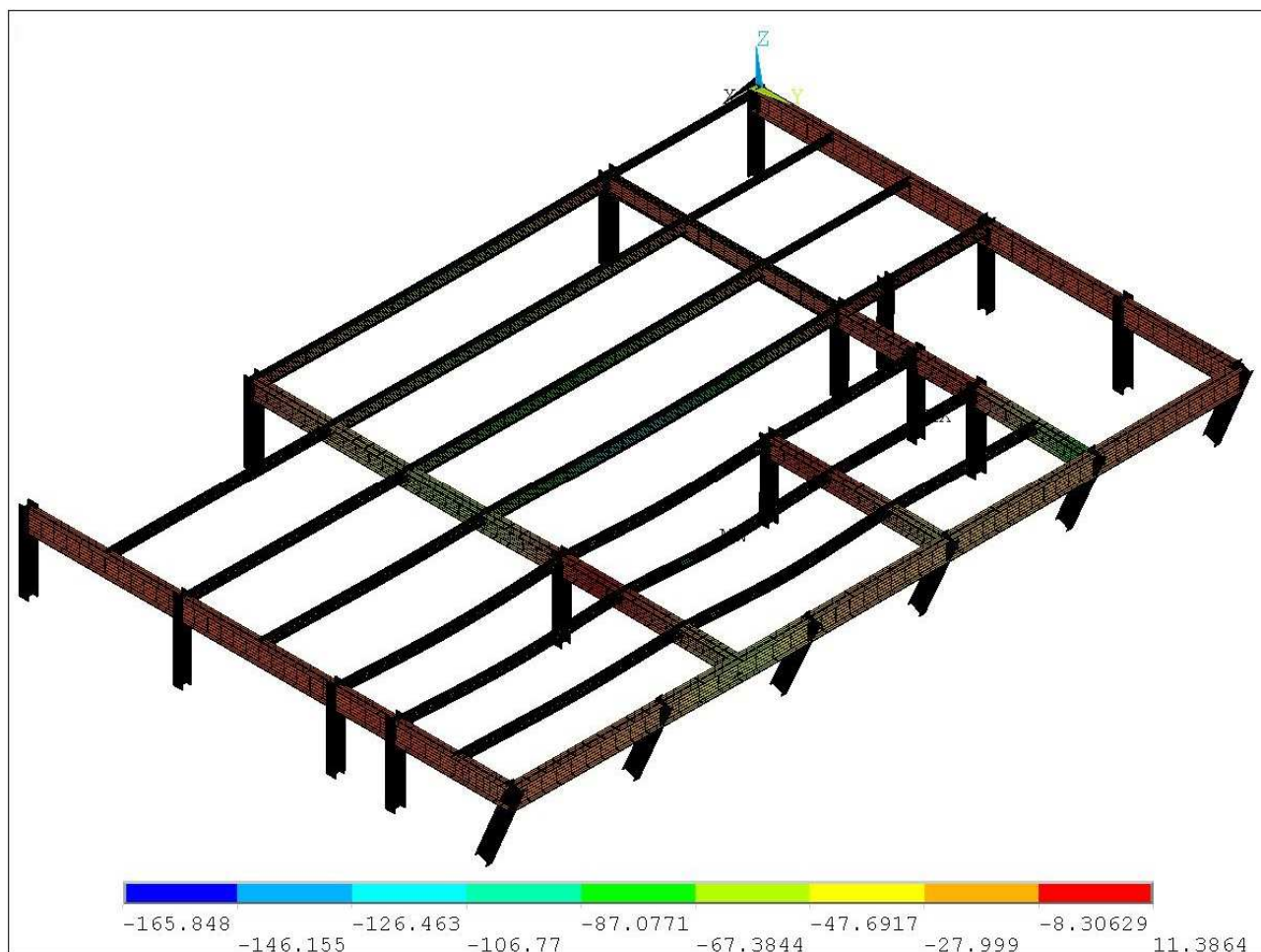


Figure 56 : Déformée de la charpente métallique 150 minutes après le départ de l'incendie

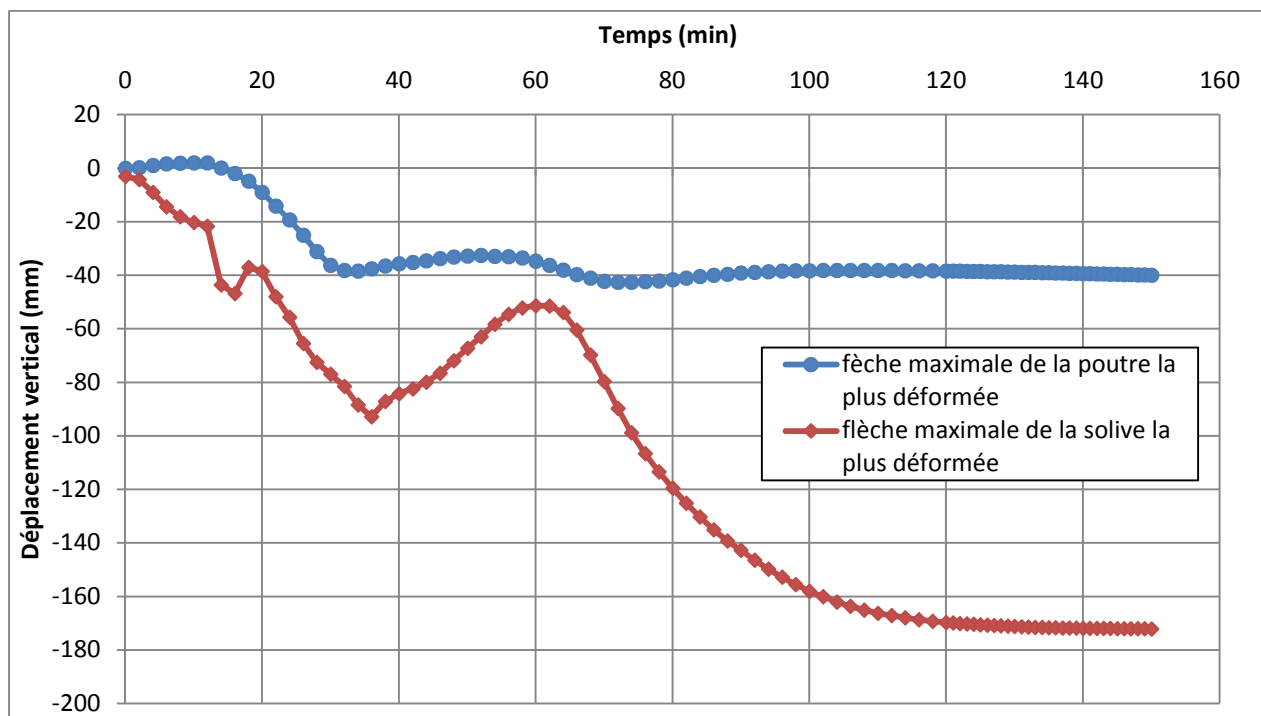


Figure 57 : Évolution du déplacement vertical relatif (mm) au cours du temps (min) de la poutre principale et de la solive les plus déformées

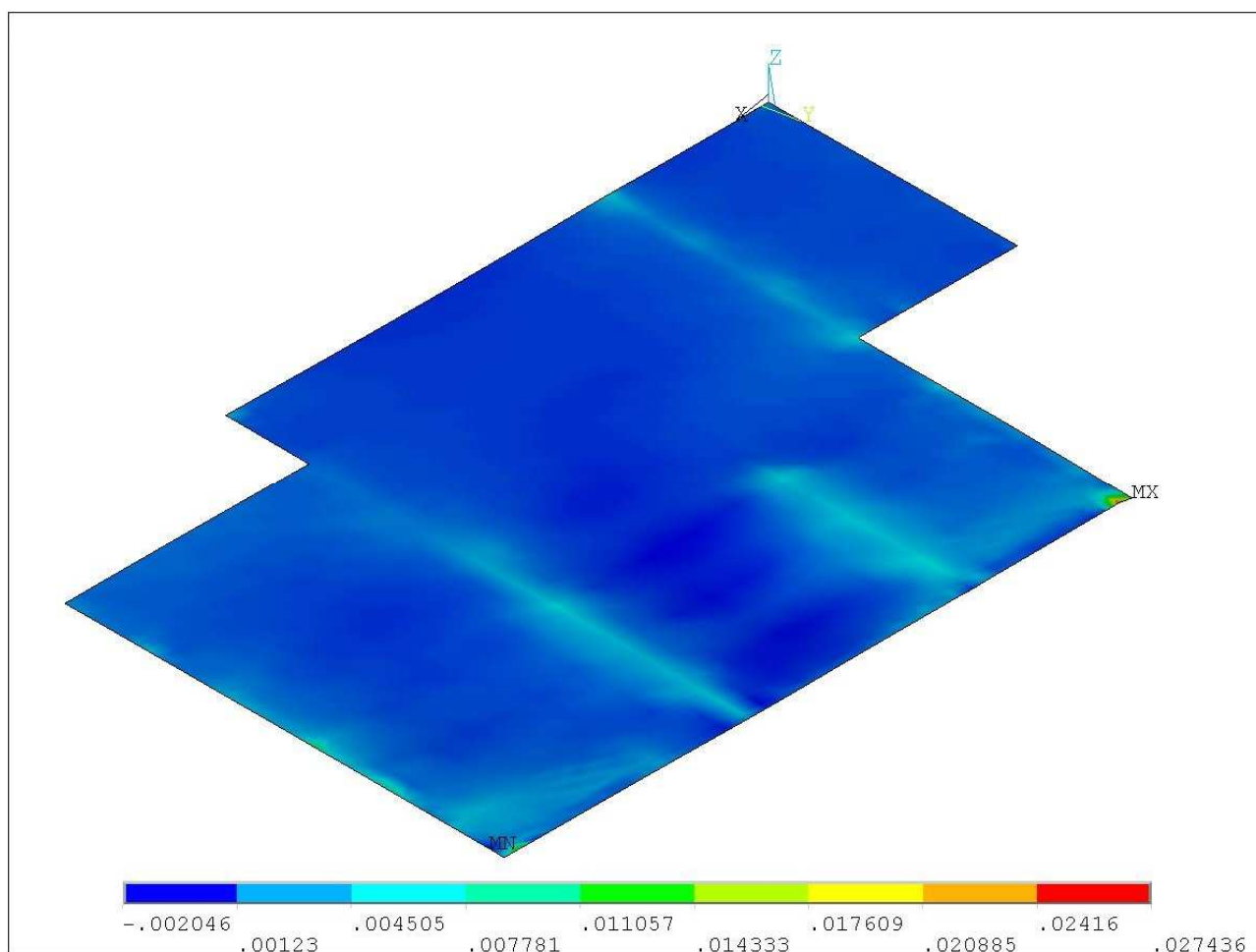


Figure 58 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des solives

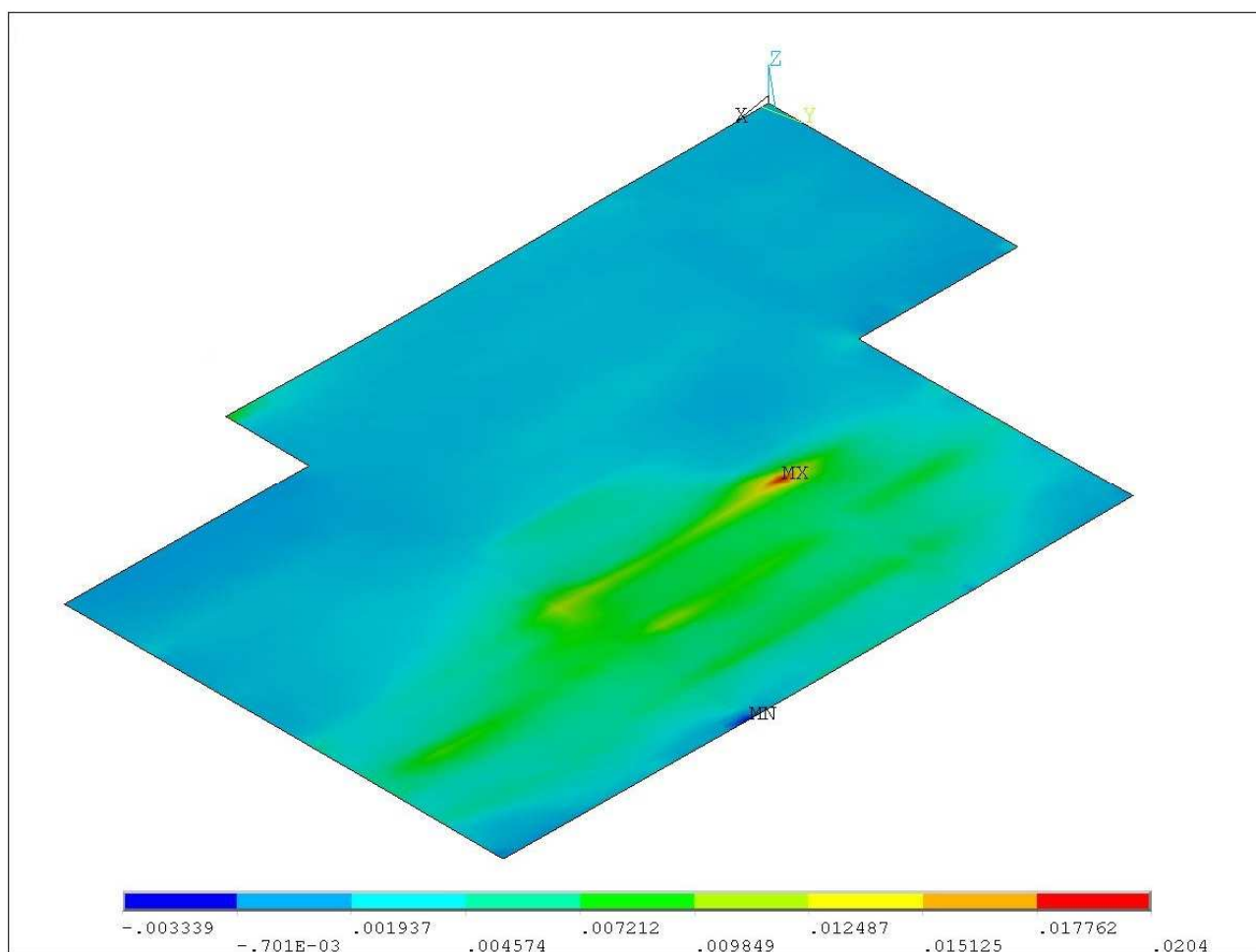


Figure 59 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des poutres principales

A.6. SCÉNARIO S6 : 5 VÉHICULES DONT UN UTILITAIRE SITUÉS A PROXIMITÉ DES SOLIVES DE RIVE DU PARKING

La partie du parking modélisée pour le scénario d'incendie en question est montrée sur la Figure 60 et localisée dans la Figure 61. Les pieds de poteaux sont supposés encastrés. La partie de la structure métallique à l'extrémité du parking est représentée par des conditions spécifiques permettant de prendre en compte la continuité du plancher au niveau de la dalle mixte :

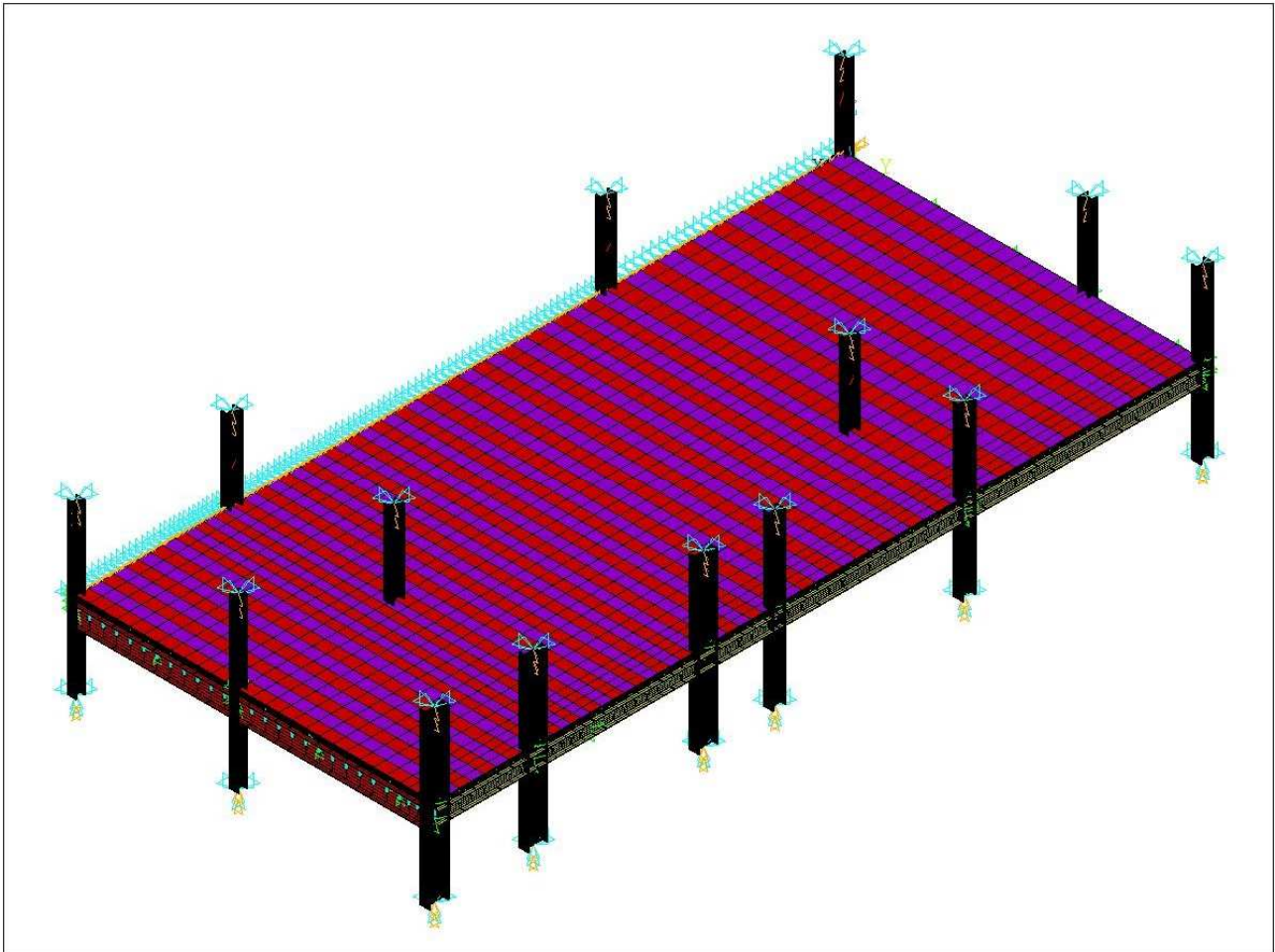


Figure 60 : Modélisation de la structure de l'extrémité nord du parking pour l'étude des solives de rive



Figure 61 : Emplacement de la trame modélisée

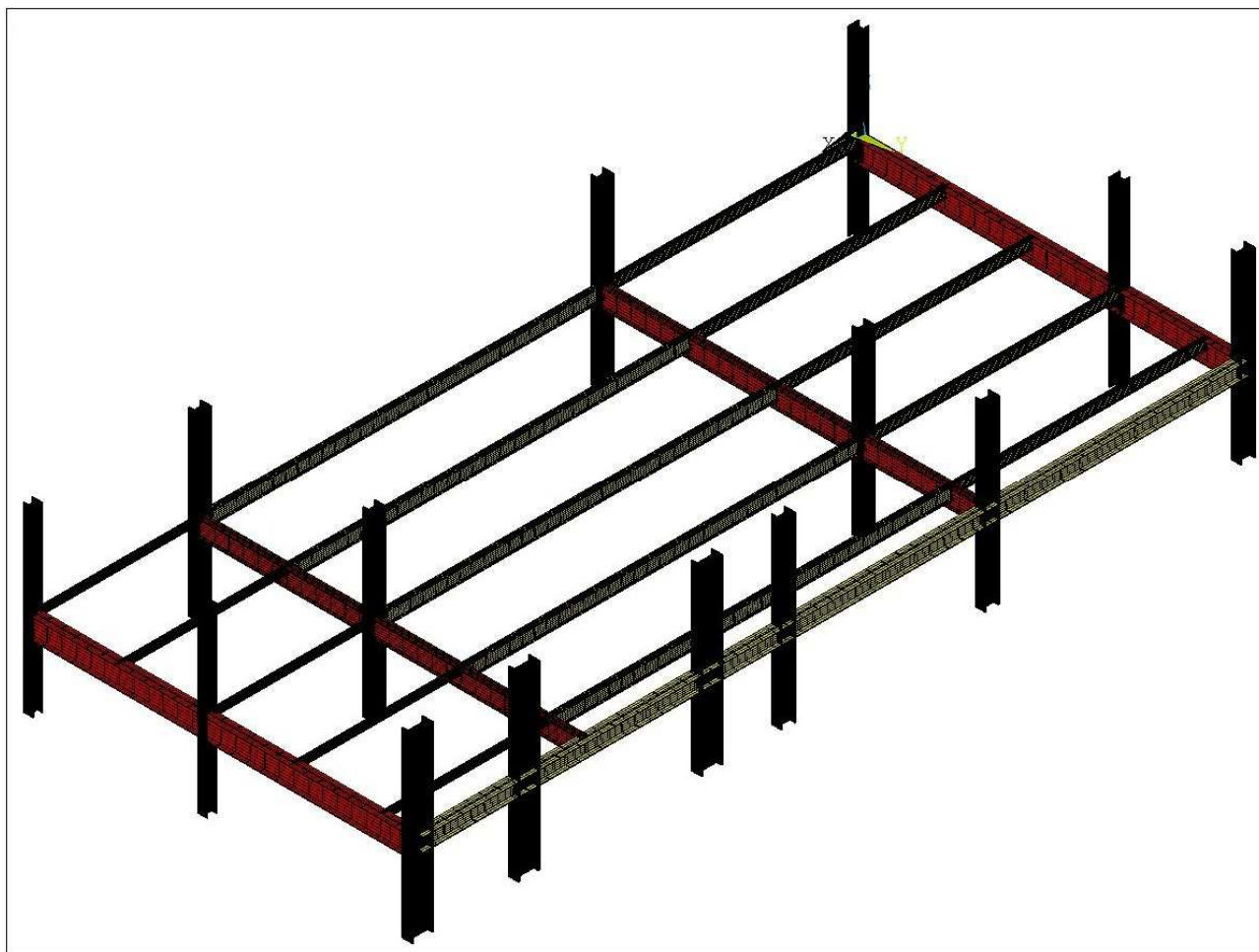


Figure 62 : Charpente métallique de la trame étudiée

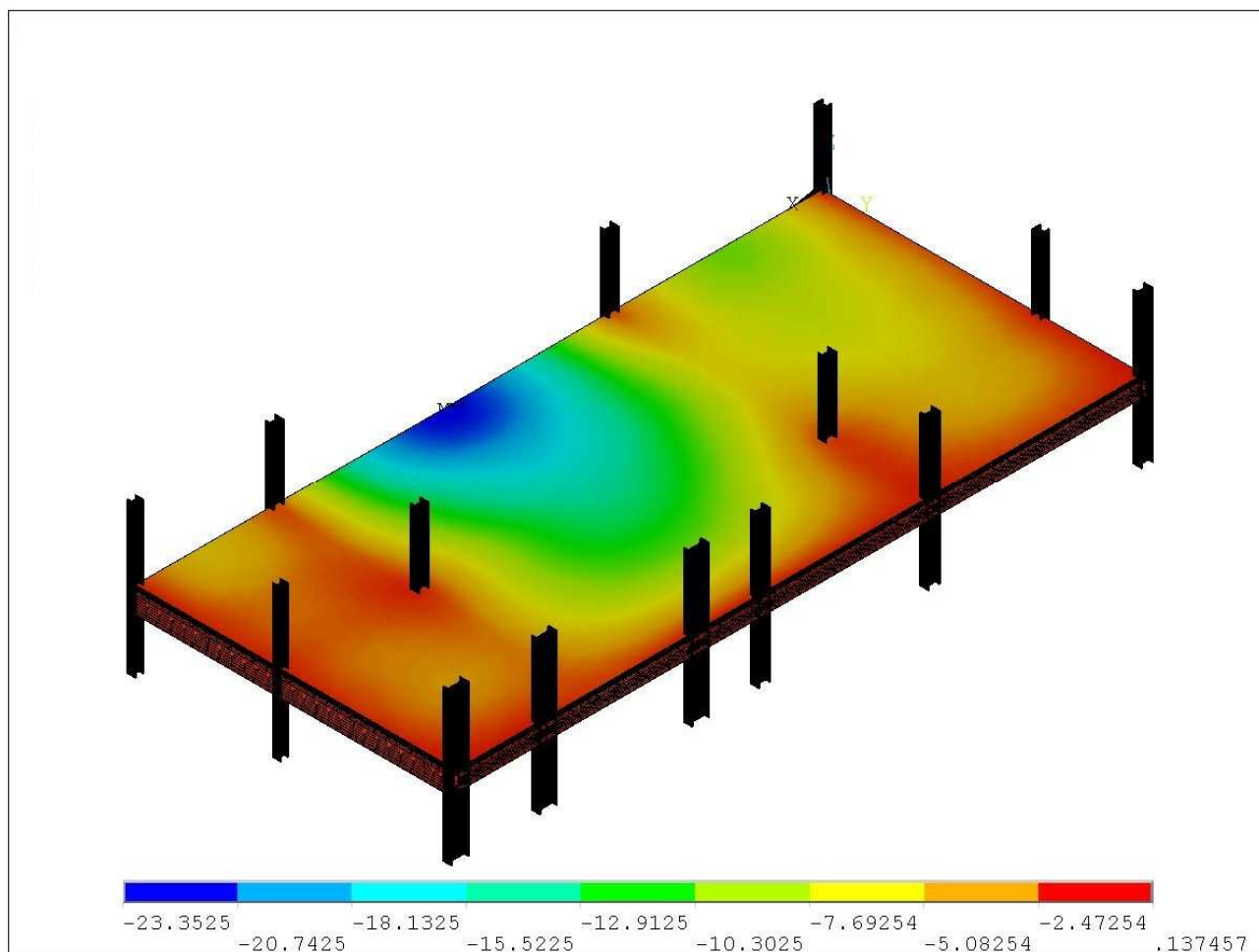


Figure 63 : Déformée du plancher à froid (mm)

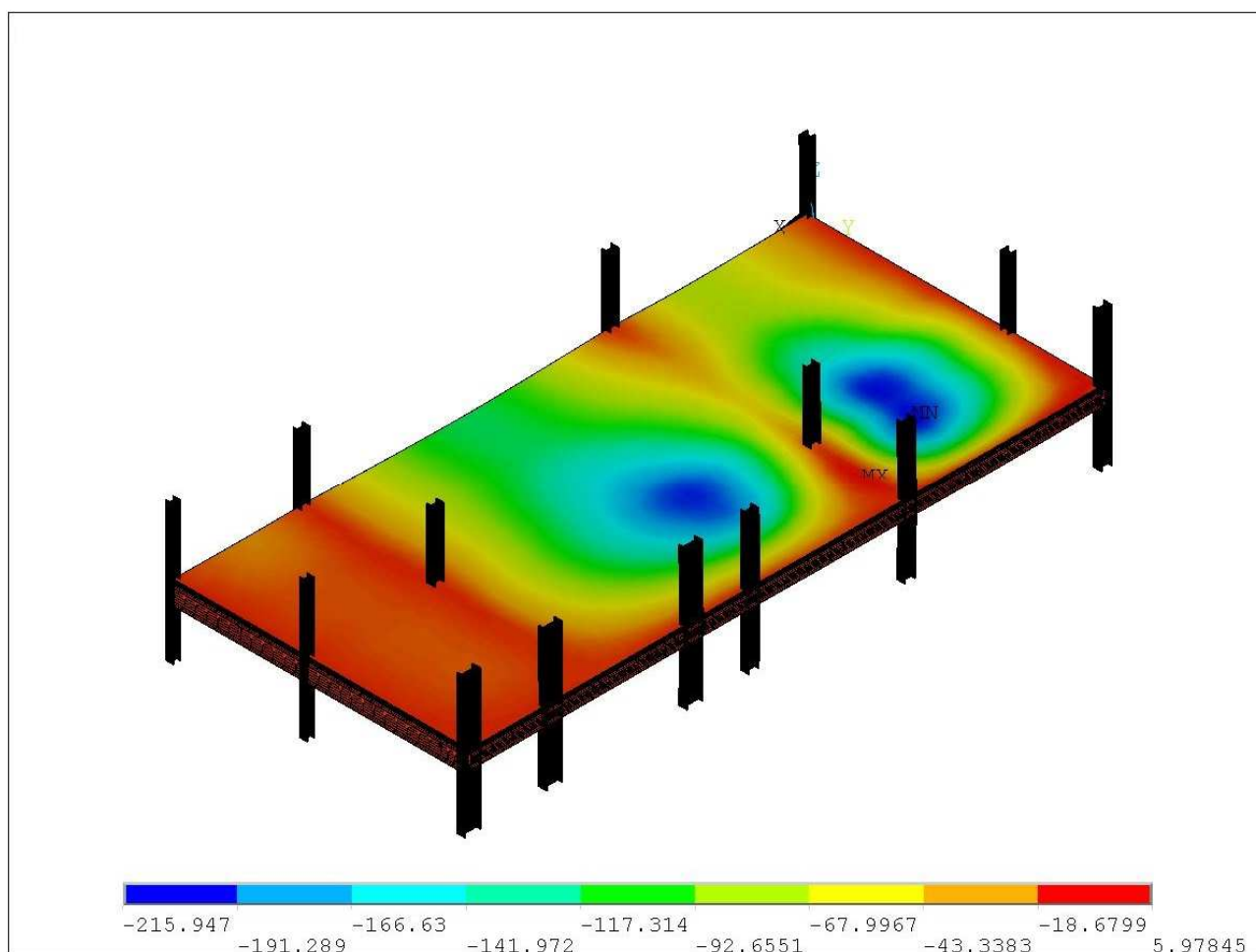


Figure 64 : Déformée du plancher 180 minutes après le départ du feu (mm)

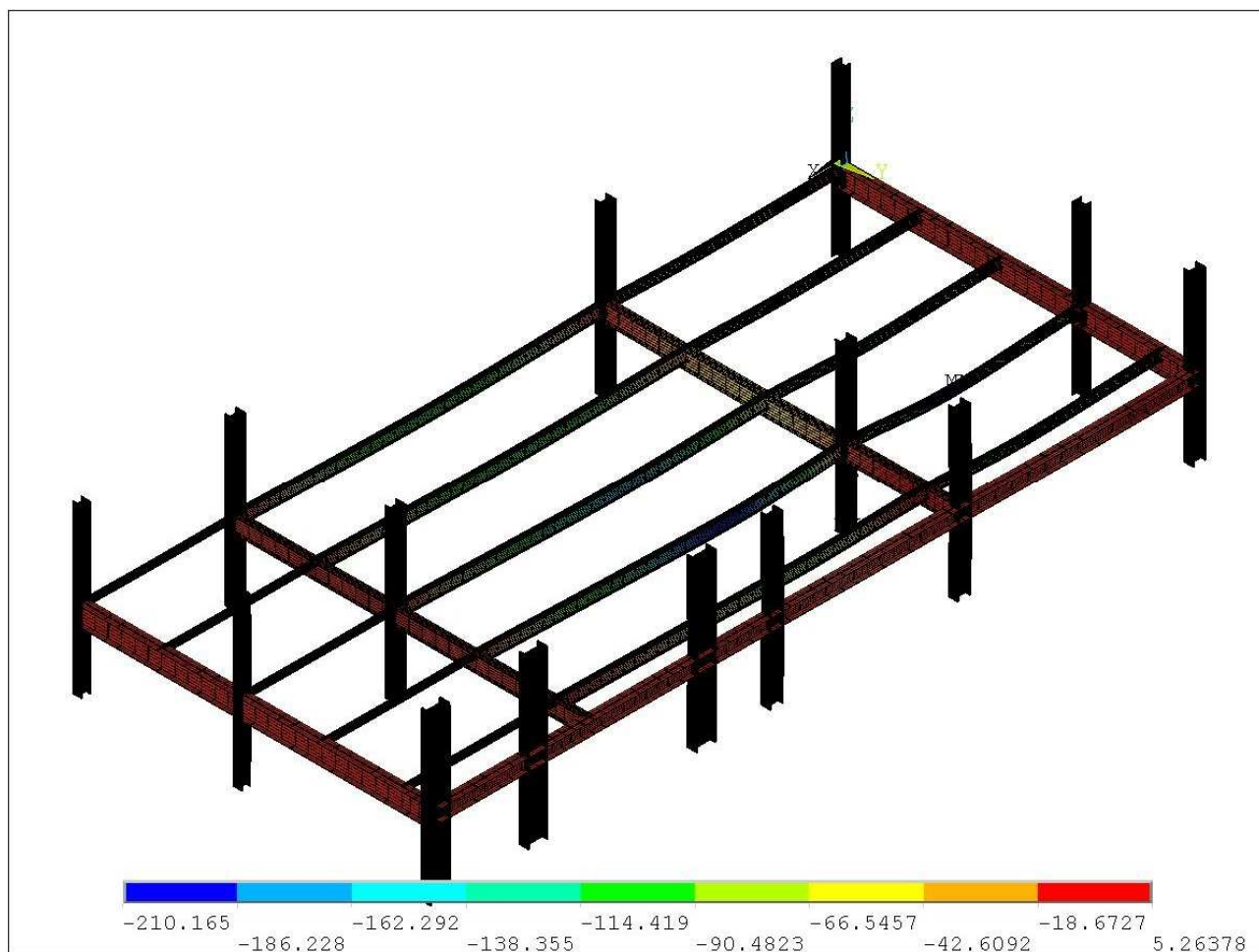


Figure 65 : Déformée de la charpente 180 minutes après l'amorce de l'incendie du premier véhicule (mm)

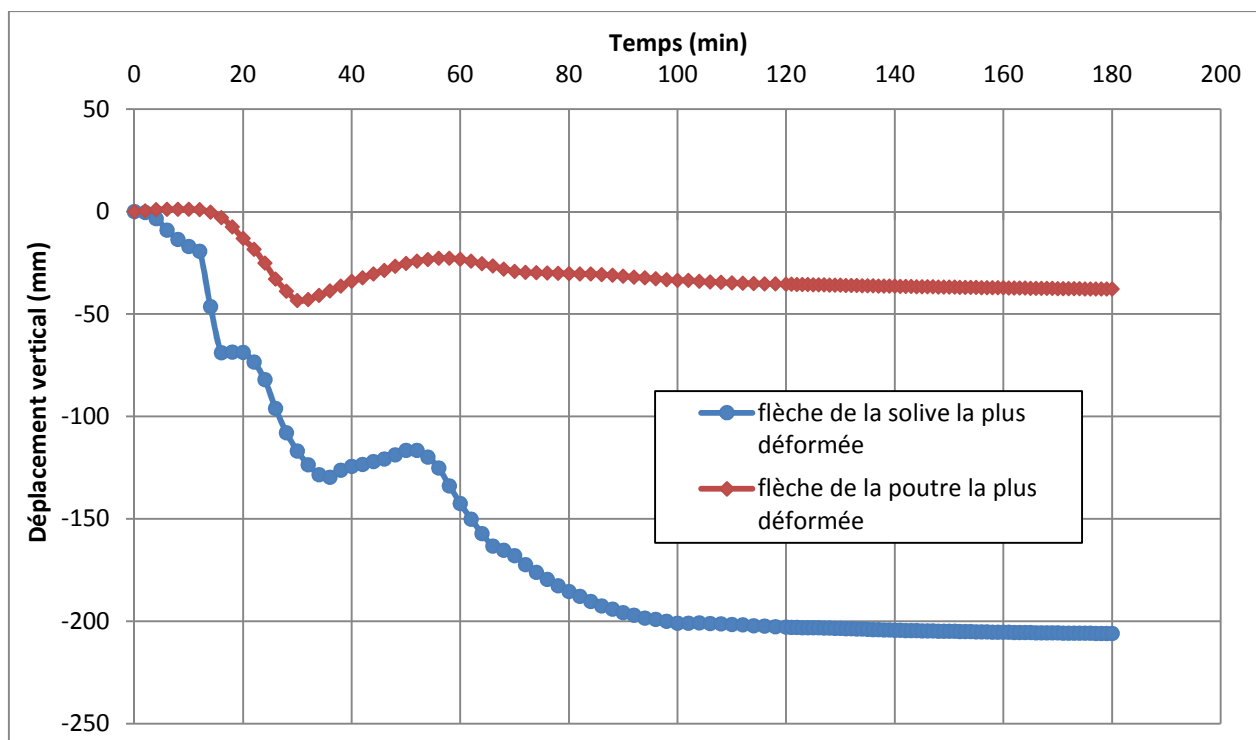


Figure 66 : Déplacement vertical relatif (mm) au cours du temps (min) de la solive et de la poutre les plus déformées

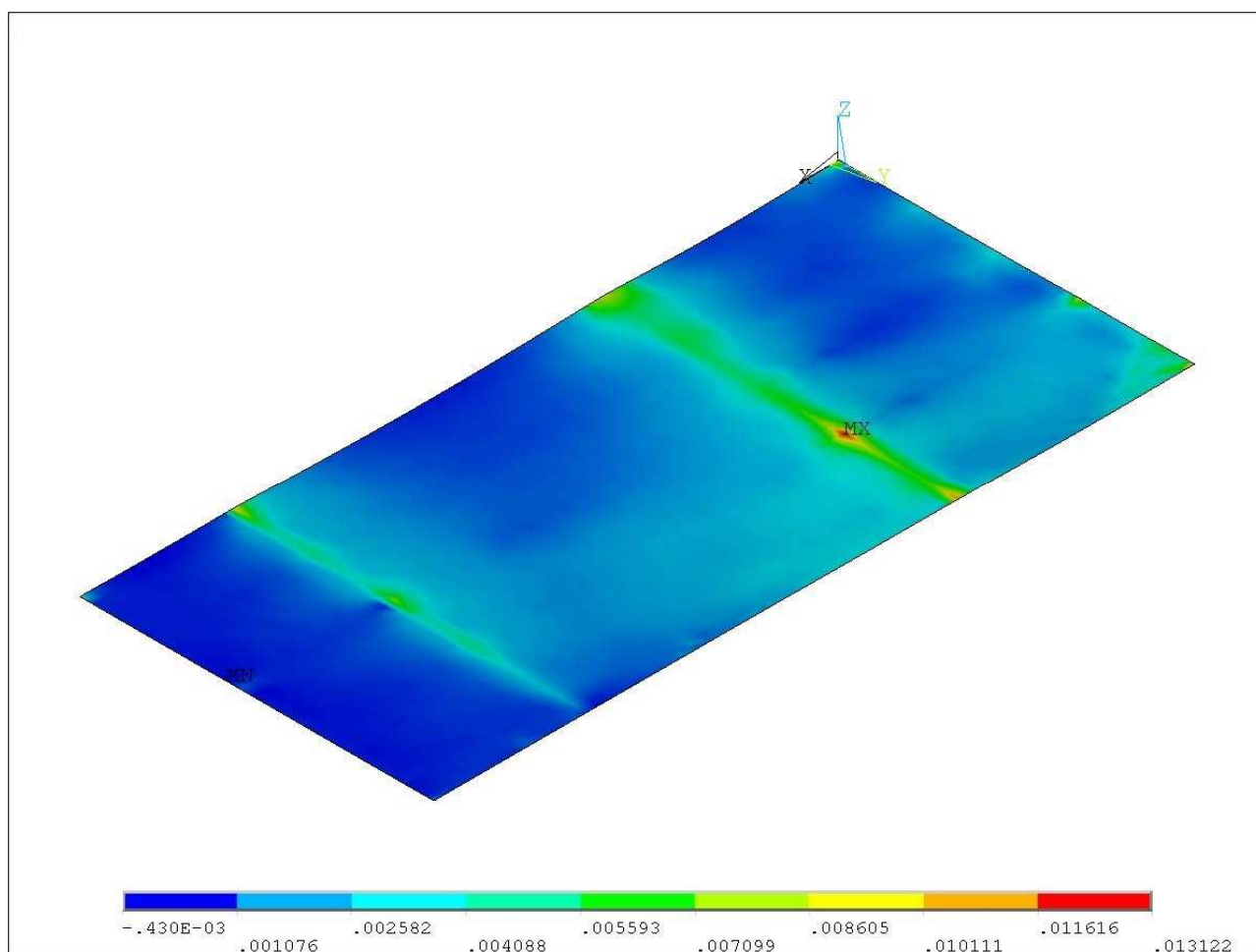


Figure 67 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des solives

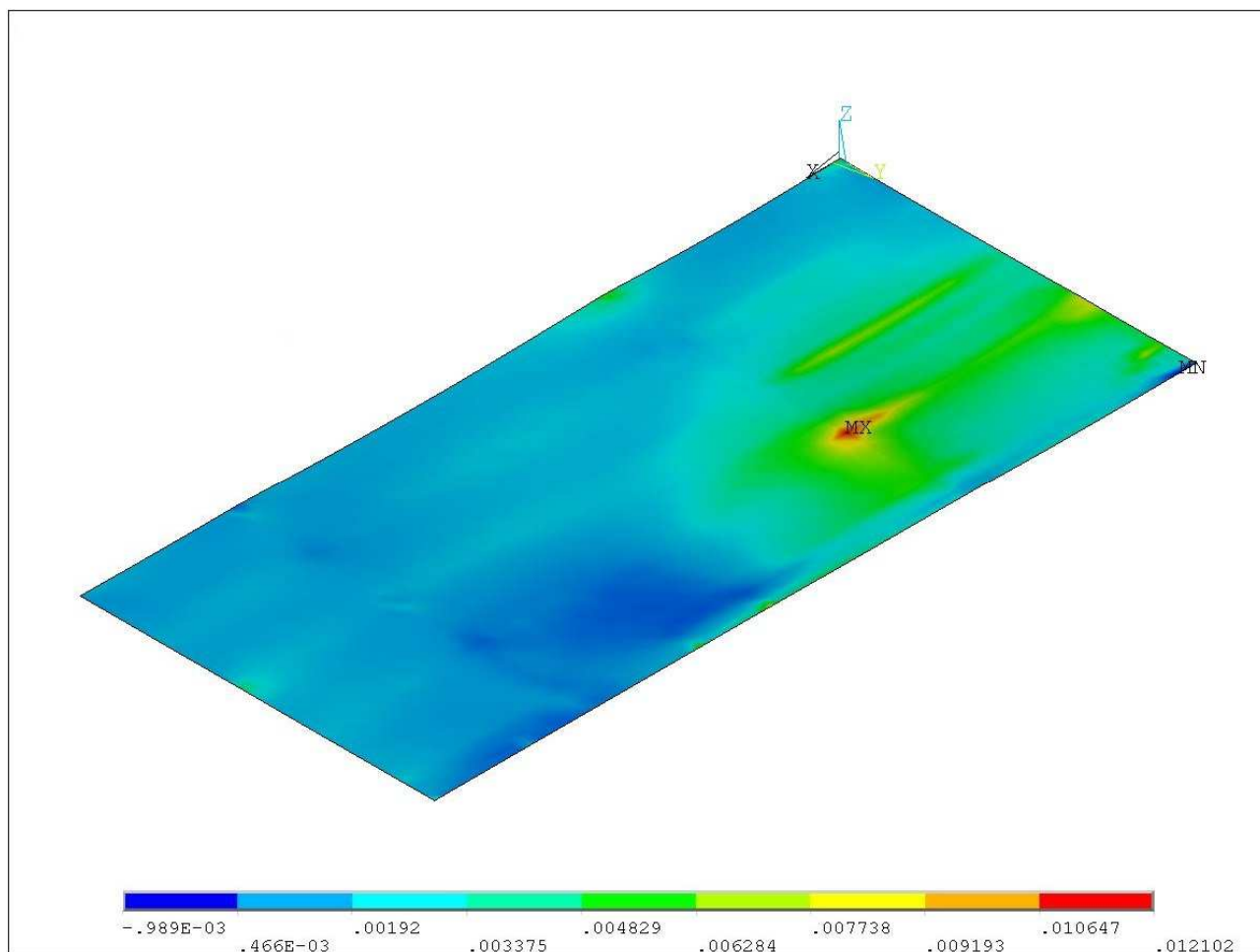


Figure 68 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des poutres principales

A.7. SCÉNARIO S7 : 7 VÉHICULES DONT UN UTILITAIRE SITUÉS A PROXIMITÉ DES POUTRES DE RIVE DU PARKING AERIEN LARGEMENT VENTILE

La partie du parking modélisée pour le scénario d'incendie en question est montrée sur la Figure 69 et localisée dans la Figure 70. Les pieds de poteaux sont supposés encastrés. La partie de la structure métallique à l'extrémité du parking est représentée par des conditions spécifiques permettant de prendre en compte la continuité du plancher au niveau de la dalle mixte :

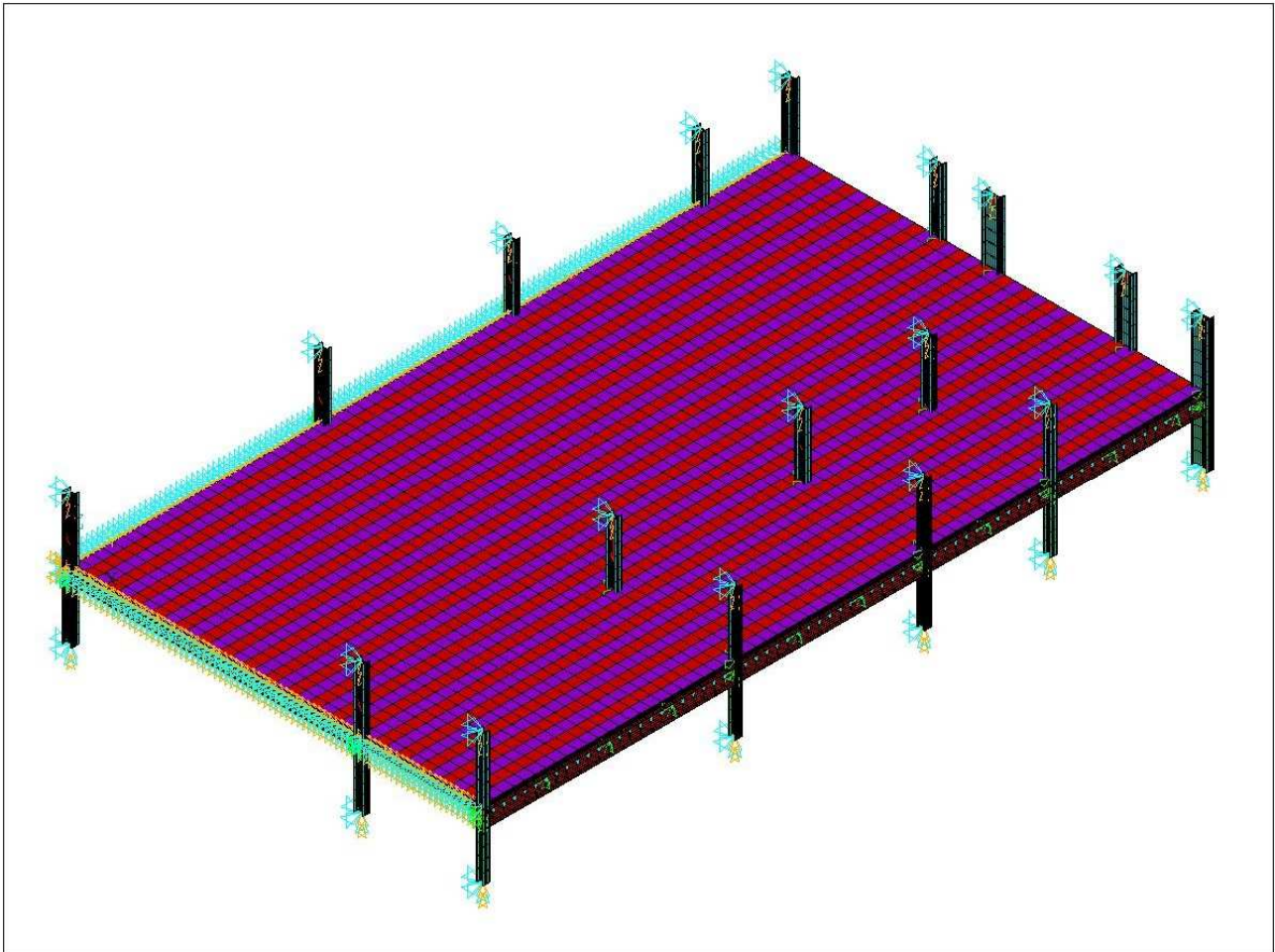


Figure 69 : Modélisation de la structure d'une extrémité du parking

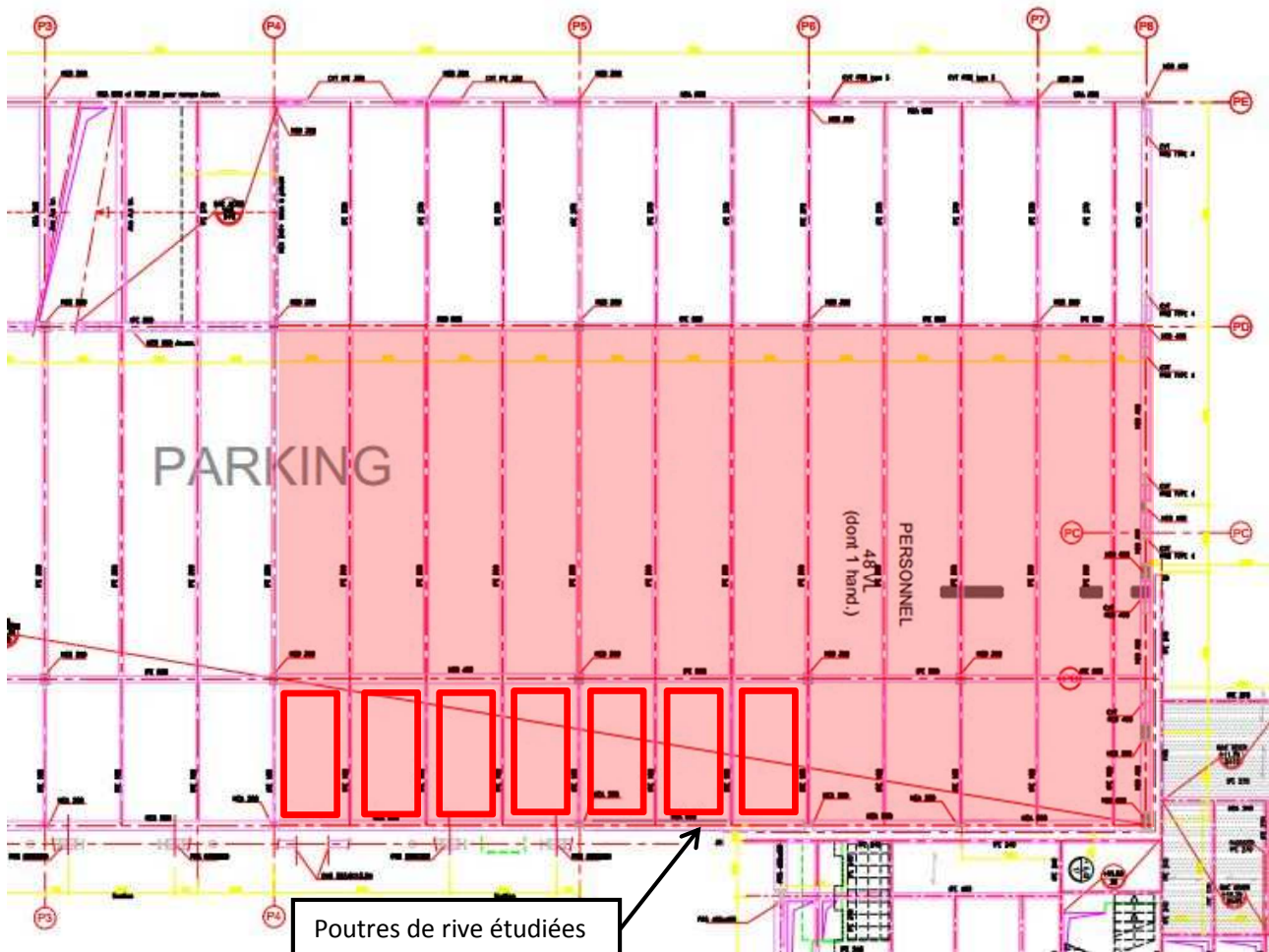


Figure 70 : Emplacement de la trame modélisée et des véhicules du scénario d'incendie

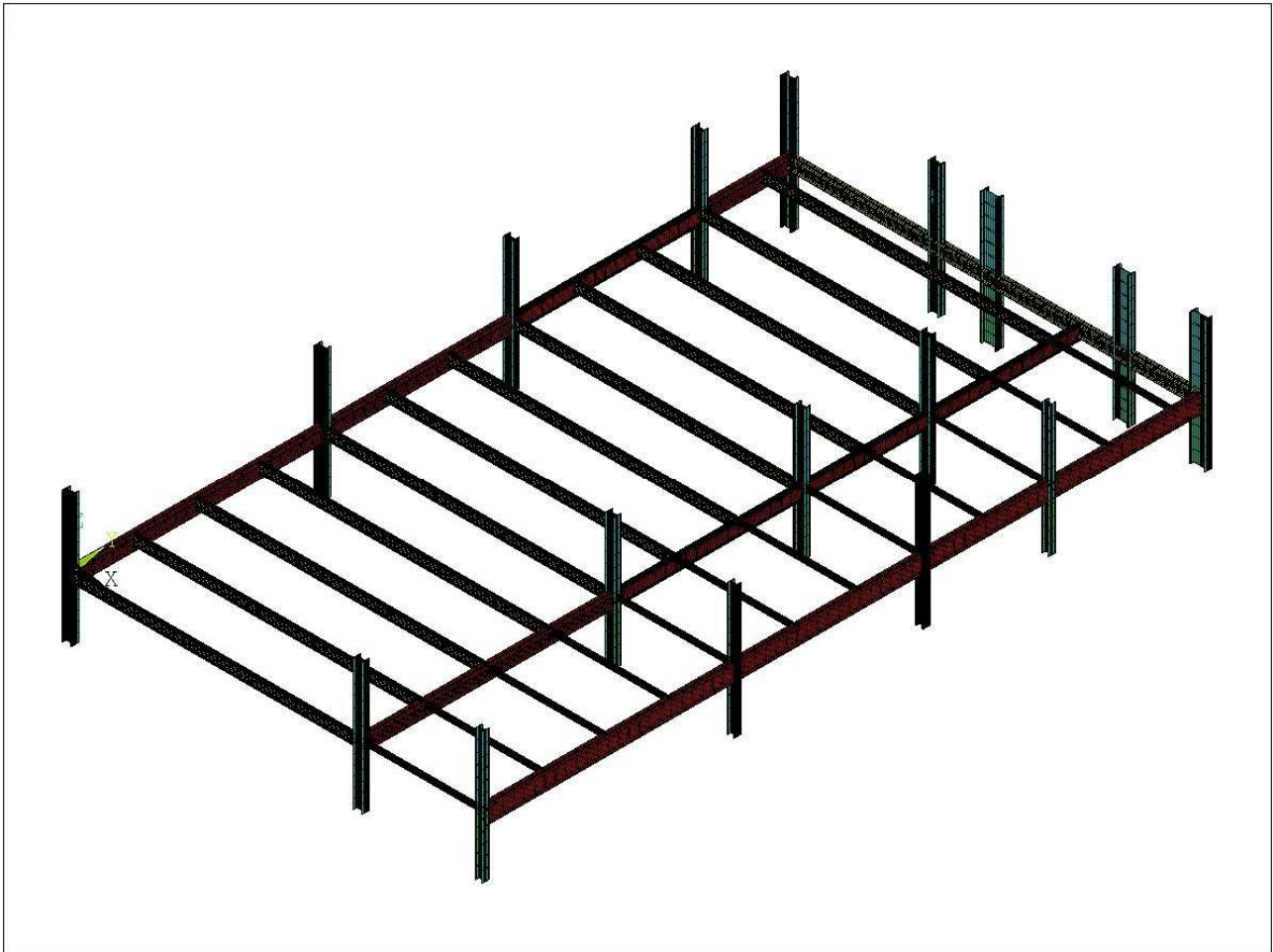


Figure 71 : Charpente métallique d'une extrémité du parking aérien largement ventilé et emplacement des 7 véhicules incendiés

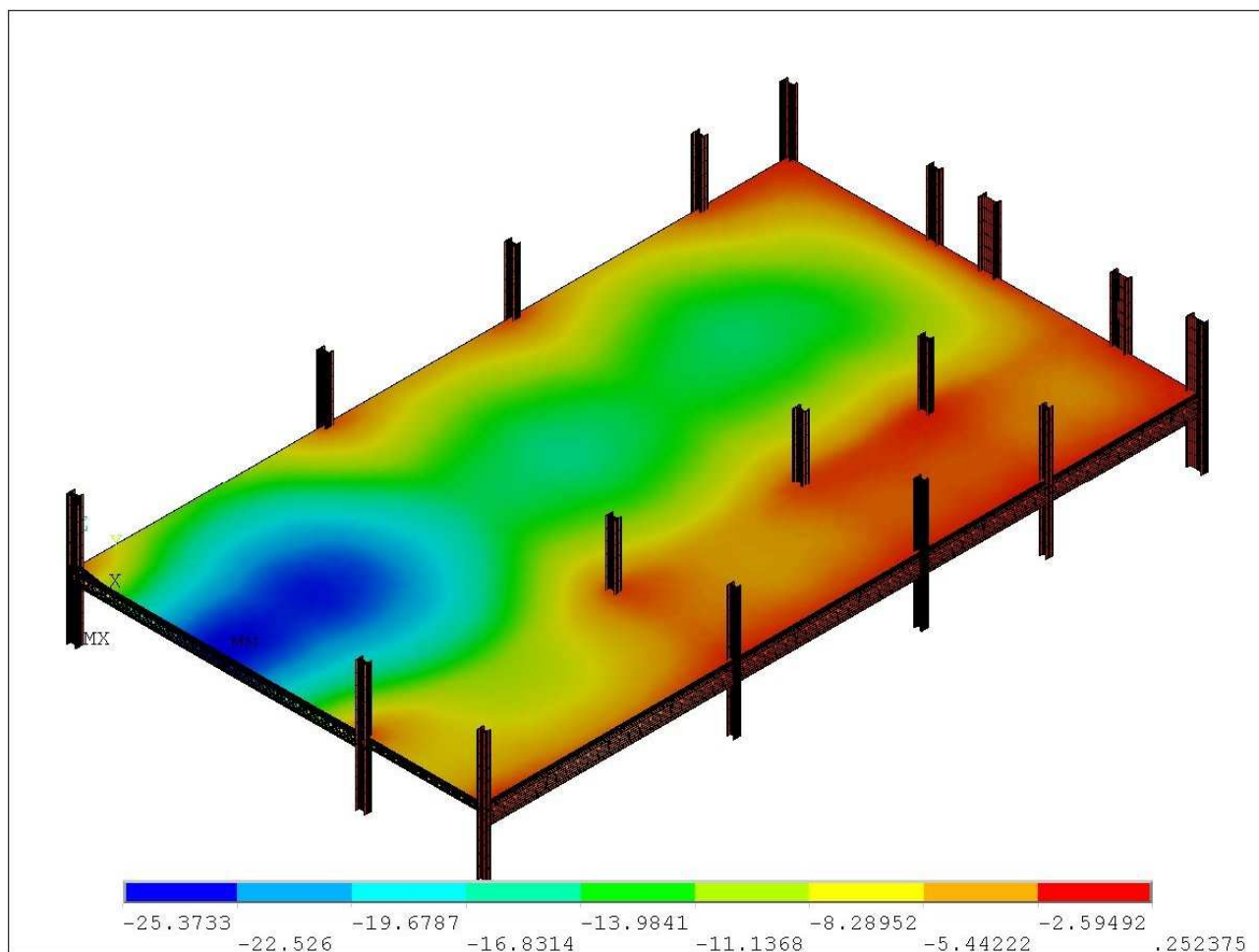


Figure 72 : Déformée du plancher à froid (mm)

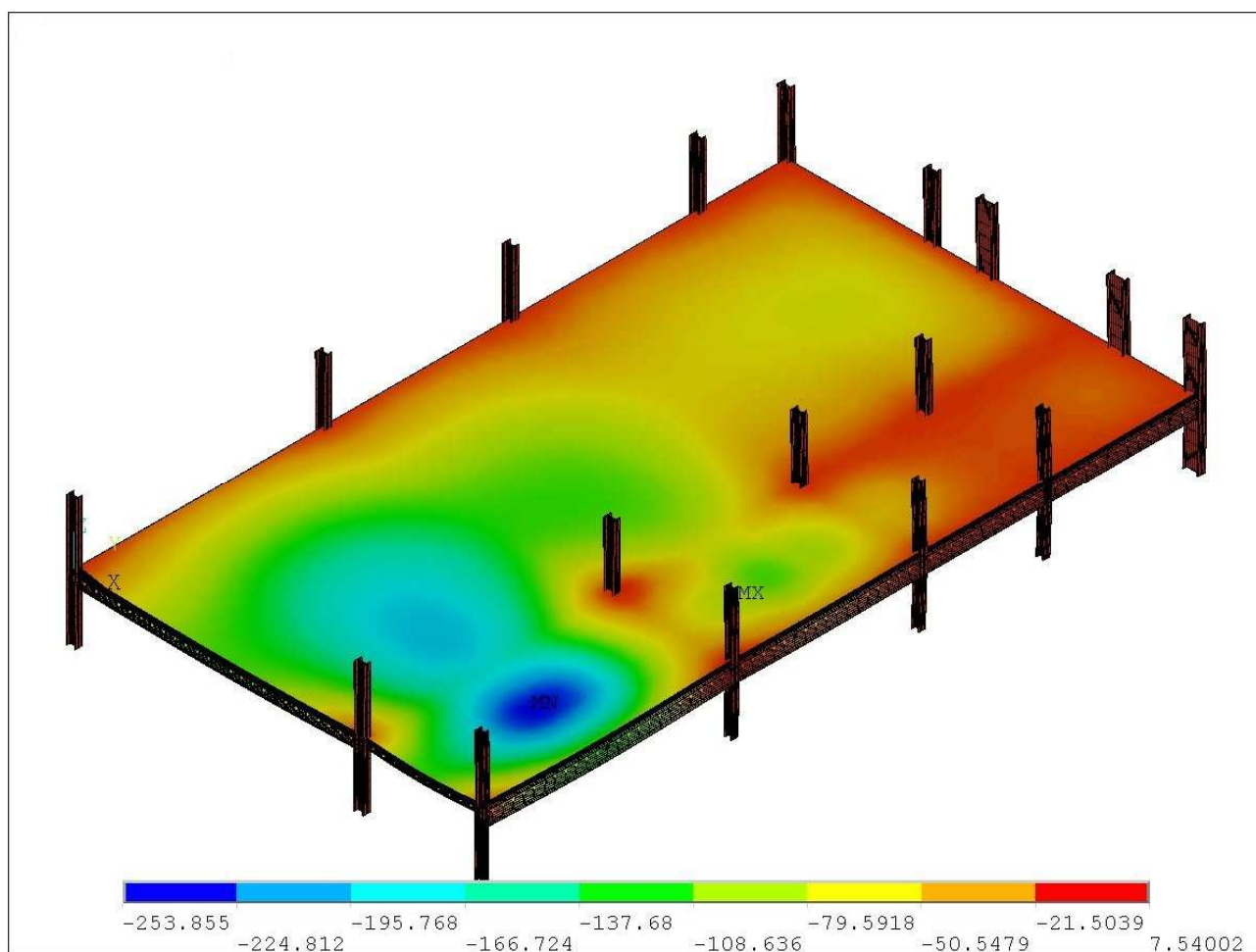


Figure 73 : Déformée du plancher 54 minutes après le départ du feu (mm)

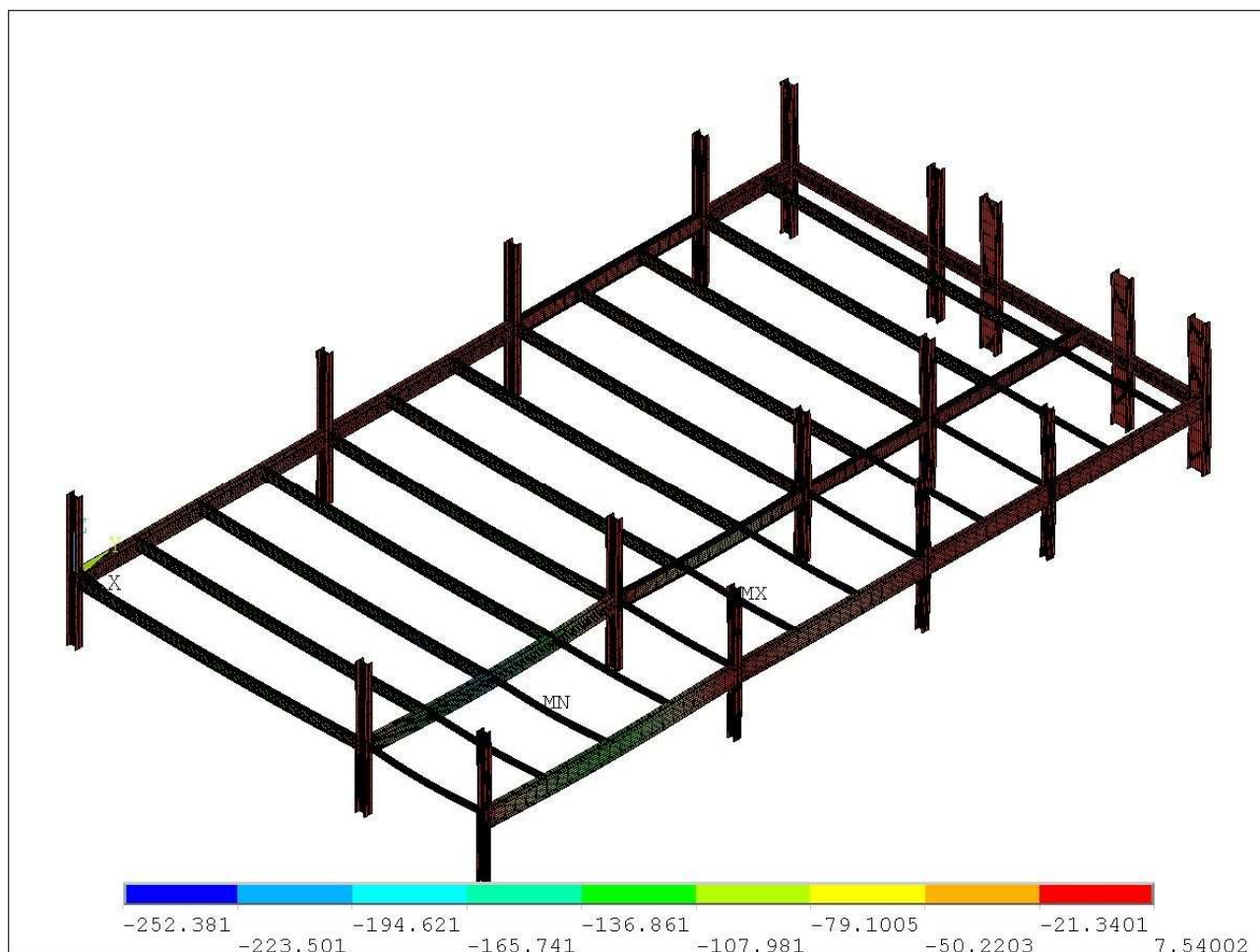


Figure 74 : Déplacement vertical de la charpente métallique 54 minutes après le départ de l'incendie du premier véhicule

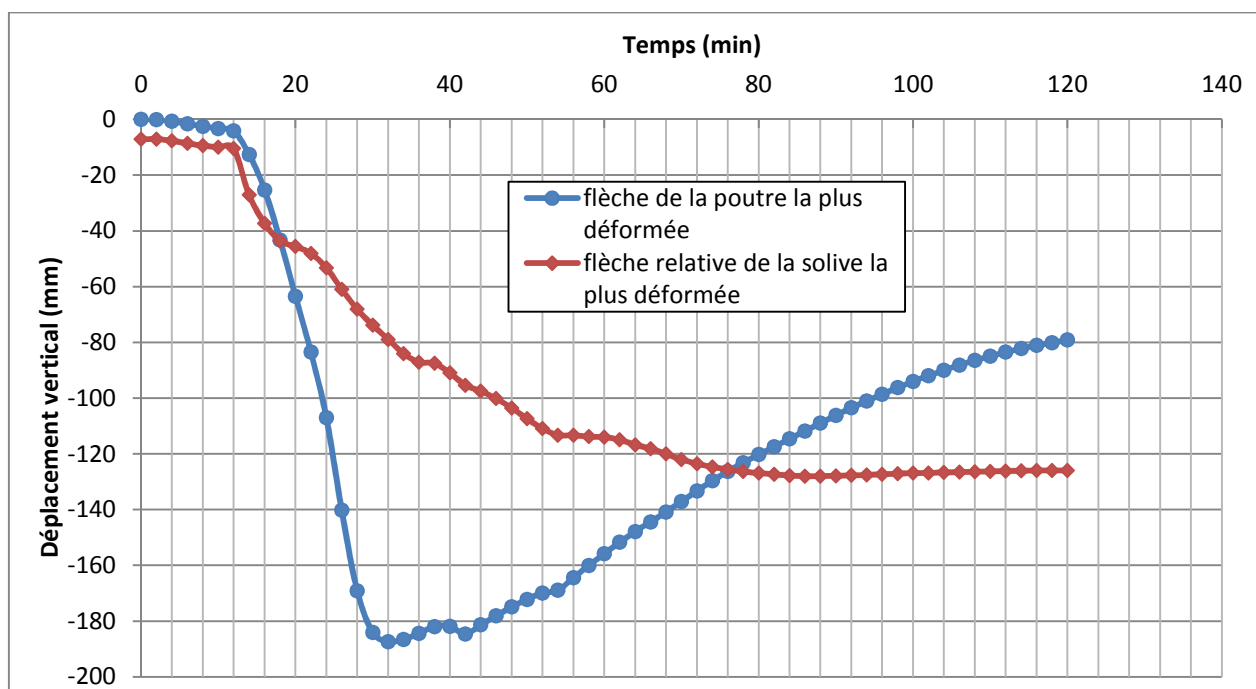


Figure 75 : Déplacement vertical relatif (mm) au cours du temps (min) de la poutre et de la solive les plus déformées

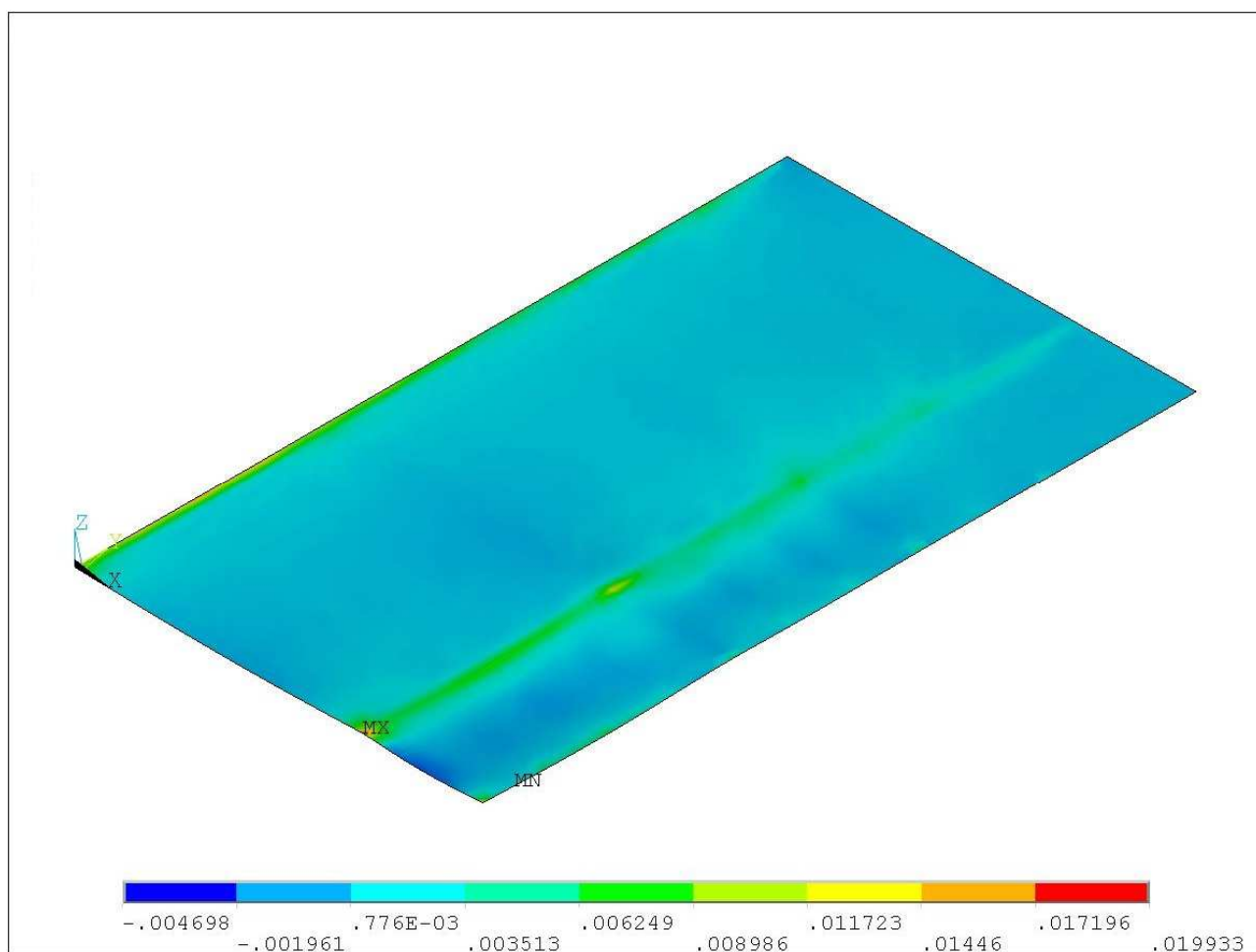


Figure 76 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des solives

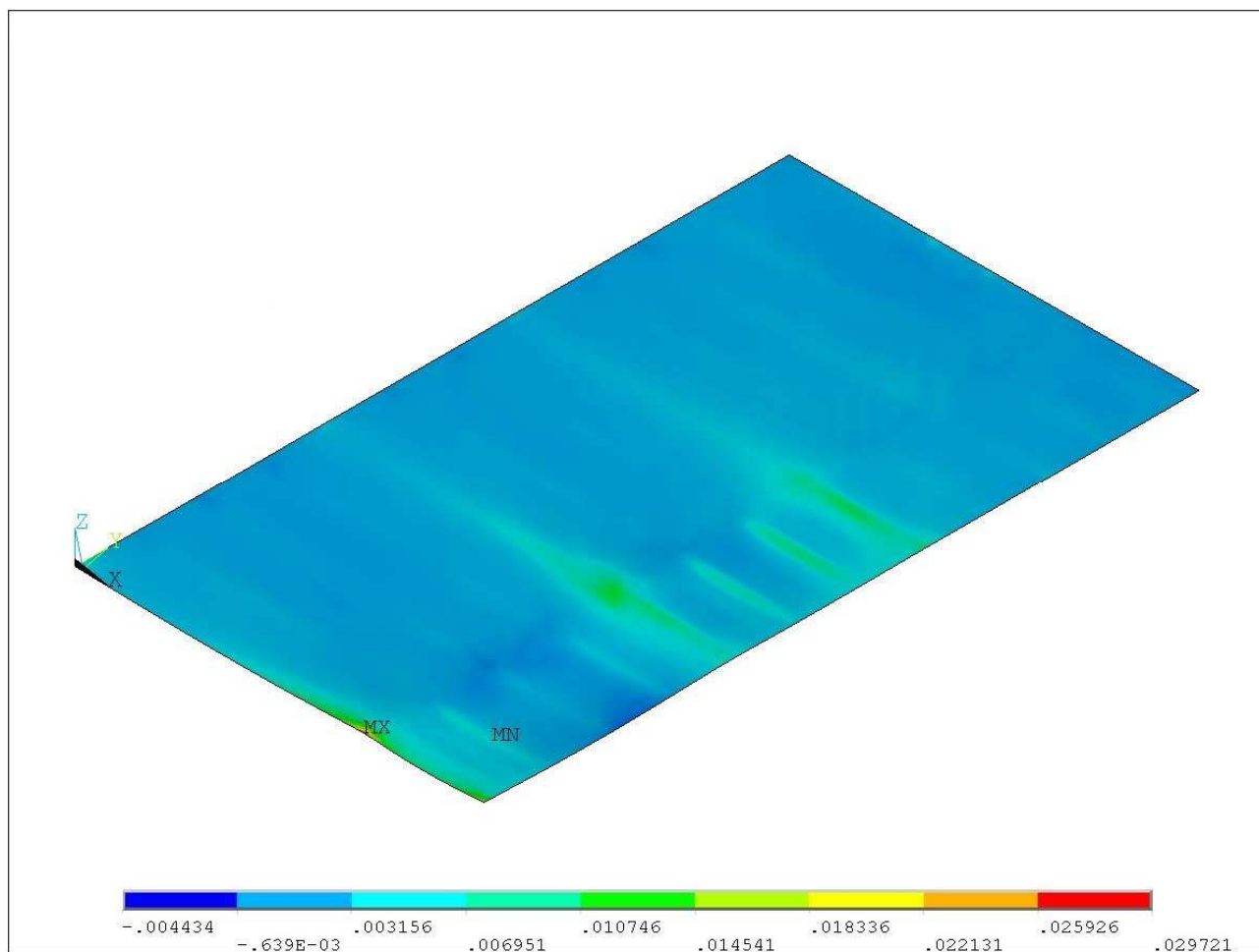


Figure 77 : Déformation mécanique totale maximale des armatures dans le sens des poutres principales