

## Étude d'Ingénierie de la Sécurité Incendie N° 022123-A

Selon l'arrêté du 22 mars 2004 modifié du Ministère de l'Intérieur

### COMPORTEMENT AU FEU DES BATIMENTS 1, 3, 4 ET 5 – ETAT AVEC RENFORTS

**Projet :** Transports Jean Juin  
Parc d'activité le resto  
56 920 SAINT GERAND

**Demandeur :** Transports Jean Juin  
Parc d'activité le resto  
56 920 SAINT GERAND

**Date :** 11/03/2020

**Indice de révision :** A

**Auteur :** EL BOAZZATI Hossain

Cette étude comporte 34 pages.

Sa reproduction n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Suivi des modifications

Indice de révision	Date	Objet de la révision	Rédaction	Vérification
A	11/03/2020	Version initiale	HEB	CNL

Page	Révision											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
01	X											
02	X											
03	X											
04	X											
05	X											
06	X											
07	X											
08	X											
09	Xx											
10	X											
11	X											
12	X											
13	X											
14	X											
15	X											
16	X											
17	X											
18	X											
19	X											
20	X											
21	X											
22	X											
23	X											
24	X											
25	X											
26	X											
27	X											
28	X											
29	X											
30	X											
31	X											
32	X											
33	X											
34	X											
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												

Page	Révision											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												
68												
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
86												
87												
88												
89												
90												
91												
92												
93												
94												
95												
96												
97												
98												
99												
100												

Page	Révision											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
101												
102												
103												
104												
105												
106												
107												
108												
109												
110												
111												
112												
113												
114												
115												
116												
117												
118												
119												
120												
121												
122												
123												
124												
125												
126												
127												
128												
129												
130												
131												
132												
133												
134												
135												
136												
137												
138												
139												
140												
141												
142												
143												
144												
145												
146												
147												
148												
149												
150												

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Objet de l'étude</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Documents de références</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Documents règlementaires ou normatifs</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2</b>	<b>Documents techniques</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3</b>	<b>Documents du CERIB</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Description des bâtiments</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Bâtiment 1</b> .....	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Bâtiment 3</b> .....	<b>7</b>
<b>3.3</b>	<b>Bâtiments 4 et 5</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Description des principes de renforcement</b> .....	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>Renforcements du bâtiment 1</b> .....	<b>9</b>
4.1.1	Renforcements des portiques files 2 et 3 .....	9
4.1.2	Renforcement des portiques files 4 à 10.....	10
4.1.3	Renforcements des portiques files 11 à 14 .....	10
4.1.4	Renforcements des stabilités longitudinales.....	11
<b>4.2</b>	<b>Renforcements du bâtiment 3</b> .....	<b>11</b>
4.2.1	Renforcements des portiques files 2 à 10 .....	11
4.2.2	Renforcements des stabilités longitudinales.....	12
<b>4.3</b>	<b>Renforcements des bâtiment 4 et 5</b> .....	<b>13</b>
4.3.1	Renforcements des portiques files 2 à 9 .....	13
4.3.2	Renforcements des stabilités longitudinales.....	14
<b>5</b>	<b>Démarche de l'analyse</b> .....	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>Exigences de stabilité et objectif de sécurité</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2</b>	<b>Démarches de l'analyse</b> .....	<b>16</b>
5.2.1	Stabilité de la structure .....	16
5.2.2	Justification des modes de ruine .....	16
<b>6</b>	<b>Hypothèses de calcul</b> .....	<b>17</b>
<b>6.1</b>	<b>Actions sur structure</b> .....	<b>17</b>
<b>6.2</b>	<b>Propriétés des matériaux</b> .....	<b>17</b>
<b>6.3</b>	<b>Action thermique</b> .....	<b>18</b>
<b>6.4</b>	<b>Conditions aux limites</b> .....	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Description des modèles numériques</b> .....	<b>19</b>
<b>7.1</b>	<b>Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 10</b> .....	<b>19</b>
<b>7.2</b>	<b>Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 13</b> .....	<b>20</b>
<b>7.3</b>	<b>Bâtiment 3 - Modèle du portique courant file 2</b> .....	<b>20</b>

<b>7.4</b>	<b>Bâtiment 3 - Modèle de la palée de stabilité file C.....</b>	<b>21</b>
<b>7.5</b>	<b>Bâtiments 4 et 5 - Modèle du portique courant file 9 .....</b>	<b>21</b>
<b>7.6</b>	<b>Bâtiments 4 et 5 - Modèle de la palée de stabilité file B .....</b>	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>Résultats du comportement au feu des structures : durées de résistance au feu et modes de ruine .....</b>	<b>23</b>
<b>8.1</b>	<b>Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 10.....</b>	<b>23</b>
<b>8.2</b>	<b>Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 13.....</b>	<b>24</b>
<b>8.3</b>	<b>Bâtiment 3 - Modèle du portique courant file 2.....</b>	<b>26</b>
<b>8.4</b>	<b>Bâtiment 3 - Modèle de la palée de stabilité file C.....</b>	<b>28</b>
<b>8.5</b>	<b>Bâtiments 4 et 5 - Modèle du portique courant file 9 .....</b>	<b>29</b>
<b>8.6</b>	<b>Bâtiments 4 et 5 - Modèle de la palée de stabilité file B .....</b>	<b>31</b>
<b>9</b>	<b>Résultats du comportement au feu des structures : Réactions d'appui des pieds de poteaux encastres</b>	<b>32</b>
<b>10</b>	<b>Analyse des résultats et conclusions de l'étude .....</b>	<b>33</b>
<b>10.1</b>	<b>Synthèse et analyse des résultats .....</b>	<b>33</b>
10.1.1	Durées de résistance au feu et modes de ruine .....	33
10.1.2	Non ruine en chaîne .....	33
<b>10.2</b>	<b>Conclusions de l'étude.....</b>	<b>34</b>

## 1 OBJET DE L'ETUDE

---

Pour répondre aux demandes de la DREAL, la Sté des transports JEAN JUIN sollicite le CERIB, laboratoire agréé en résistance au feu, afin d'établir une étude de comportement au feu sous feu normalisé ISO 834 des structures métalliques des bâtiments 1, 3, 4 et 5 en considérant les principes de renforcement présentés au § 4.

Ces 4 bâtiments sont situés sur le site de Saint Gérand (56).

Notre travail consiste plus particulièrement à évaluer la durée de résistance au feu et les modes de ruines (non-ruine vers l'extérieur et non-ruine en chaîne entre bâtiments voisins).

## 2 DOCUMENTS DE REFERENCES

---

### 2.1 Documents règlementaires ou normatifs

- [1]. Eurocode 0 – Eurocodes structureaux – Bases de calcul des structures (mars 2003) et son annexe nationale (décembre 2011).
- [2]. Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-2 : actions générales – Actions sur les structures exposées au feu (juillet 2003) et son annexe nationale (février 2007).
- [3]. Eurocode 3 – Calcul des structures en aciers – Partie 1-2 : règles générales – Comportement au feu (Novembre 2005) et son annexe nationale (octobre 2007).
- [4]. Arrêté du 22 mars 2004 modifié relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages.
- [5]. Arrêté du 11 avril 2017 relatif à la prévention des sinistres dans les entrepôts couverts soumis à autorisation sous la rubrique 1510, y compris ceux relevant également de l'une ou plusieurs des rubriques 1530, 1532, 2662 ou 2663 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

### 2.2 Documents techniques

- [6]. Plans de la structure métallique des bâtiments 1, 3, 4 et 5.

### 2.3 Documents du CERIB

- [7]. Comportement au feu des bâtiments 1, 3, 4 et 5. Réf : 021216-A. 20/12/2019. CERIB.

### 3 DESCRIPTION DES BATIMENTS

Les bâtiments 1, 3, 4 et 5 sont implantés sur le site de St Gérard selon la configuration représentée par la figure ci-dessous.

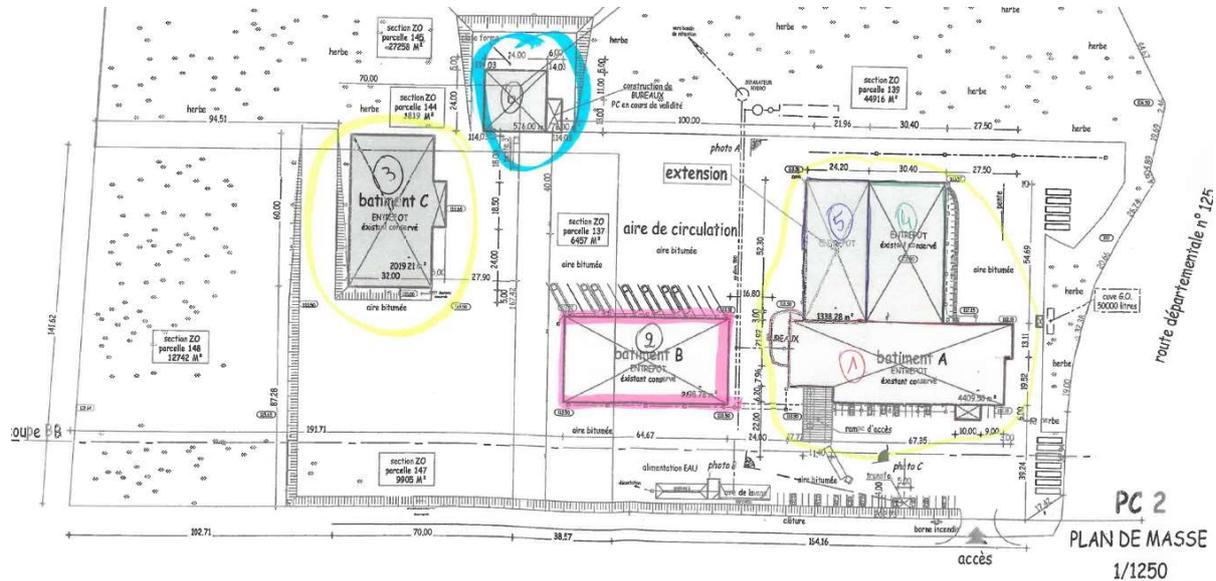


Figure 3-1. Extrait du plan de masse du site

Ces 4 bâtiments sont destinés à du stockage de gâteaux sur palettes.

Les bâtiments 4 et 5 sont reliés par leurs structures et sont implantés à proximité du bâtiment 1 avec une indépendance structurelle (*joint de dilatation réalisé avec un jeu entre les structures*).

Quant au bâtiment 3, il est implanté de manière isolée.

#### 3.1 Bâtiment 1

La structure métallique du bâtiment 1 est composée, dans le sens transversal, de portiques de portées variables (portées de 25,62 m et de 31,89 m). L'écartement entre les portiques est également variable allant de 6,00 m à 7,25 m.

Les sections composant ces portiques sont en Profils Reconstitués Soudés (PRS) et en profils laminés à chaud de type IPE.

La stabilité du bâtiment est assurée de la manière suivante :

- Dans le sens transversal du bâtiment, la stabilité est assurée par ces portiques ;
- **Dans le sens longitudinal du bâtiment, nous n'avons pas d'informations sur la structure de stabilité.**

Les pannes supportant la couverture de ce bâtiment sont de type IPE.

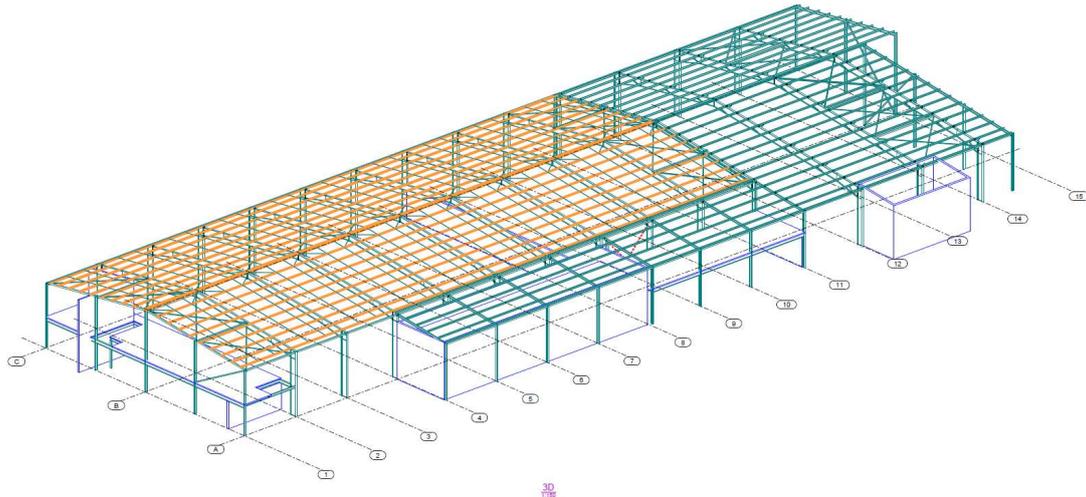


Figure 3-2. Vue 3D de la structure du bâtiment 1

### 3.2 Bâtiment 3

La structure métallique du bâtiment 3 est composée, dans le sens transversal, de portiques avec une portée constante de 32,00 m. L'écartement entre les portiques est également constant et ayant pour valeur 6,00 m.

Les sections composant ces portiques sont en :

- Profilés Reconstitués Soudés (PRS) pour les traverses ;
- Et en profilés laminés à chaud de type IPE pour les poteaux.

La stabilité du bâtiment est assurée de la manière suivante :

- Dans le sens transversal du bâtiment, la stabilité est assurée par ces portiques ;
- Dans le sens longitudinal du bâtiment, la stabilité est assurée par des palées de stabilités composées de diagonales et de croix de St-André.

Les pannes supportant la couverture de ce bâtiment sont de type IPE.

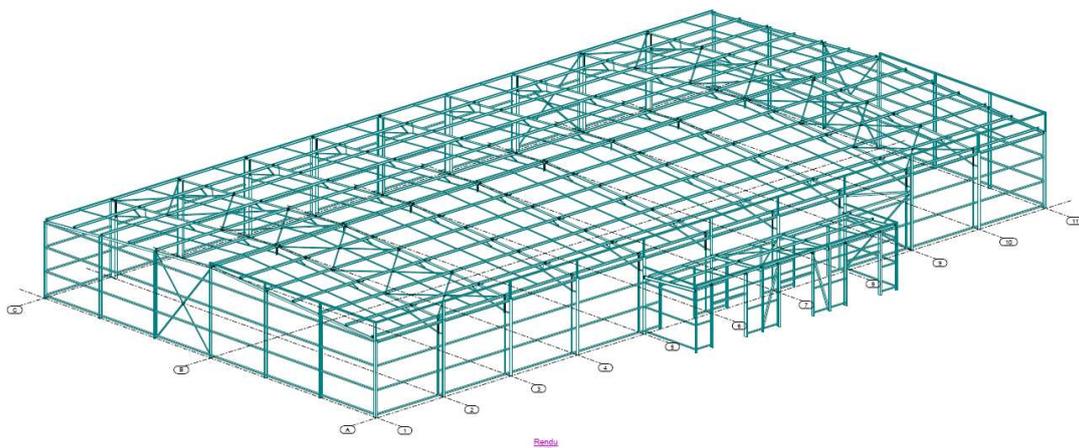


Figure 3-3. Vue 3D de la structure du bâtiment 3

### 3.3 Bâtiments 4 et 5

Les structures métalliques des bâtiments 4 et 5 sont reliées entre elles à travers la file A. Cette liaison correspond à une extension du bâtiment 4.

Dans le sens transversal, la structure est donc composée de portiques à 2 nefs. La première nef du bâtiment 4 a une portée constante de 29,42 m. Cette nef a été prolongée par la deuxième nef du bâtiment 5 dont la portée est de 24,11 m.

Les écartements entre les portiques sont de 6,00 m pour la partie courante et 7,25 m pour la travée de rive côté file 1.

Les sections composant ces portiques sont en Profilés Reconstitués Soudés (PRS) pour les poteaux et les traverses.

La stabilité des bâtiments est assurée de la manière suivante :

- Dans le sens transversal des bâtiments, la stabilité est assurée par ces portiques ;
- Dans le sens longitudinal des bâtiments, la stabilité est assurée par des palées de stabilités composées de croix de St-André.

Les pannes supportant la couverture de ce bâtiment sont de type IPE.

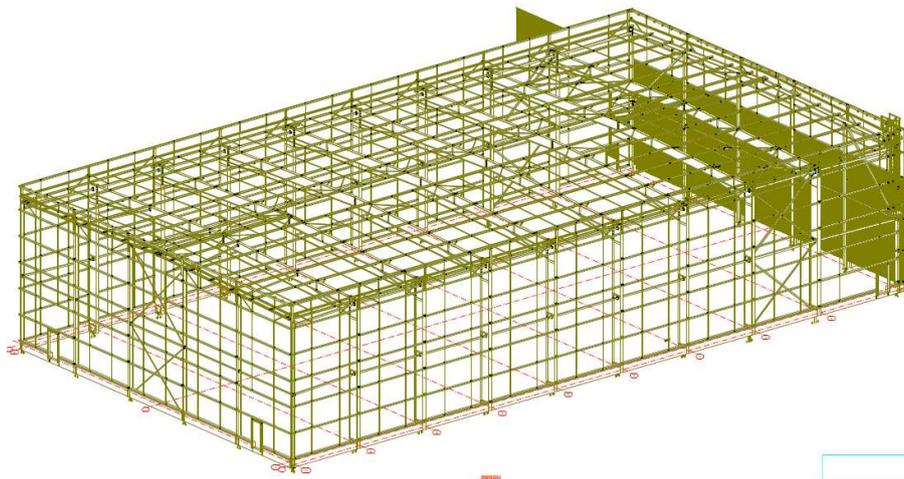


Figure 3-4. Vue 3D de la structure du bâtiment 4

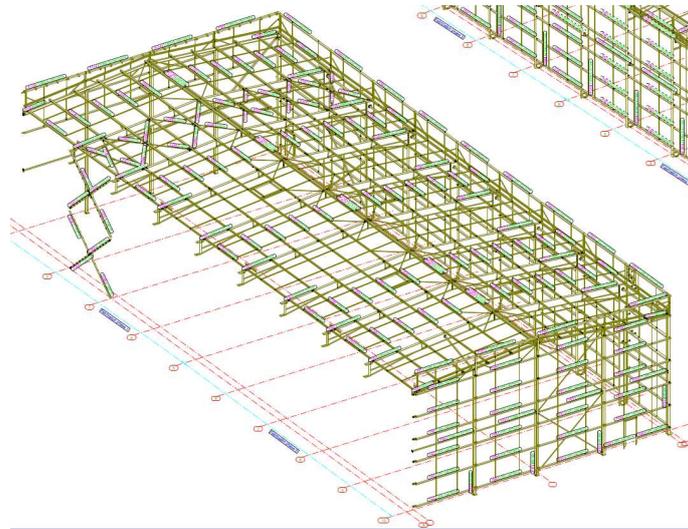


Figure 3-5. Vue 3D de la structure du bâtiment 5

## 4 DESCRIPTION DES PRINCIPES DE RENFORCEMENT

### 4.1 Renforcements du bâtiment 1

#### 4.1.1 Renforcements des portiques files 2 et 3

Les renforcements des portiques files 2 et 3 consistent à :

- Protéger au feu (R30) les poteaux, les jarrets et les traverses sur une longueur d'1 m à partir de la sortie des jarrets ; 
- Encaster en pied les poteaux ; 
- Renforcer les âmes des traverses non protégées au feu pour que la classe de section à chaud ne soit pas égale à 4 (les sections sont classées comme pour le calcul à température normale en considérant la valeur de  $\varepsilon$  donnée par :  $\varepsilon = 0,85 [235/f_y]^{0,5}$  ) 

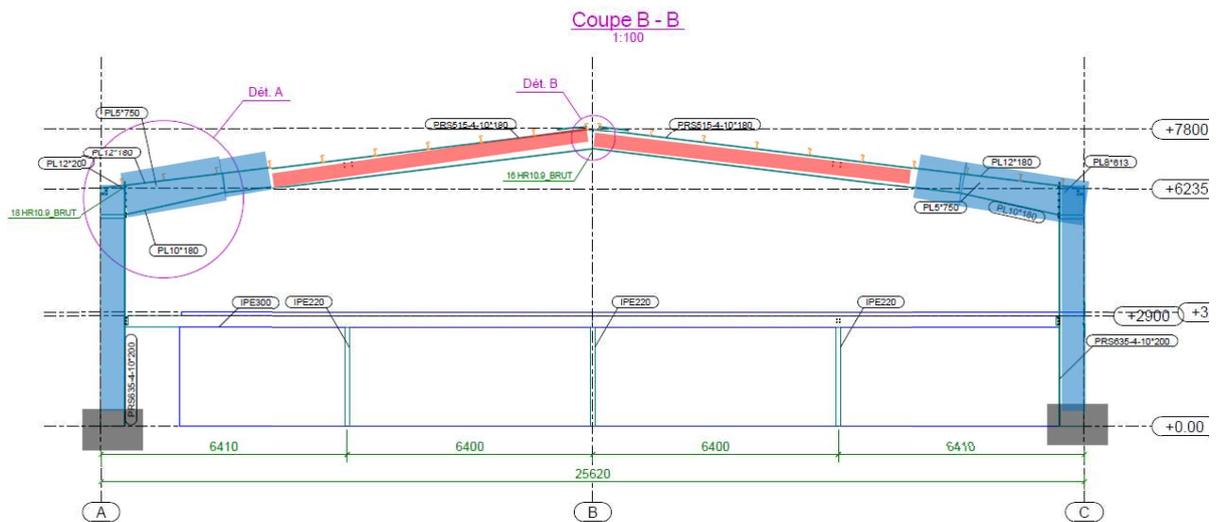


Figure 4-1. Renforcements des portiques files 2 et 3



#### 4.1.4 Renforcements des stabilités longitudinales

Nous n'avons pas d'informations en termes de relevés de charpente nous permettant d'évaluer les stabilités longitudinales.

### 4.2 Renforcements du bâtiment 3

#### 4.2.1 Renforcements des portiques files 2 à 10

Les renforcements des portiques files 2 à 10 consistent à :

- Protéger au feu (R30) les poteaux, les jarrets et les traverses sur une longueur de 5 m à partir de la sortie des jarrets ; 
- Encaster en pied les poteaux ; 
- Renforcer les âmes des traverses non protégées au feu pour que la classe de section à chaud ne soit pas égale à 4 (les sections sont classées comme pour le calcul à température normale en considérant la valeur de  $\varepsilon$  donnée par :  $\varepsilon = 0,85 [235/f_y]^{0,5}$  ). 

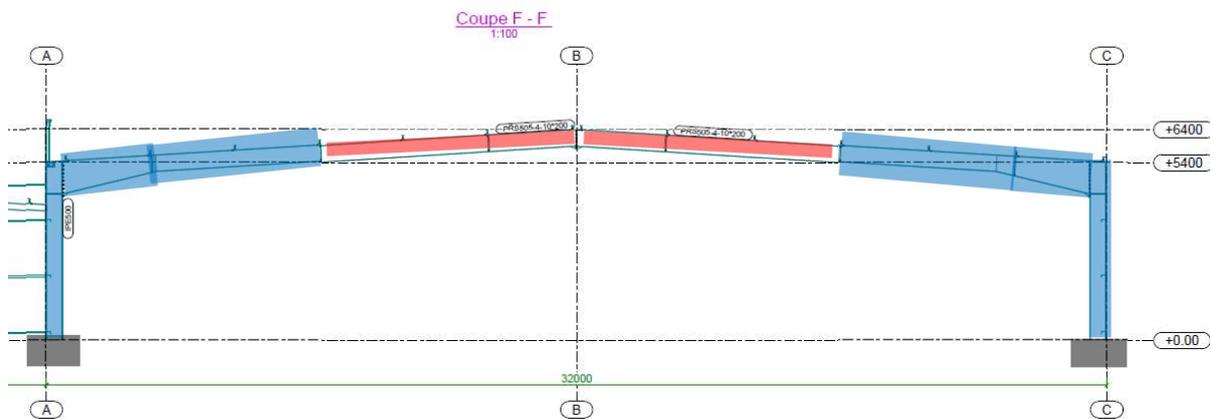


Figure 4-4. Renforcements des portiques files 2 à 10

4.2.2 Renforcements des stabilités longitudinales

Les renforcements dans le sens longitudinal consistent à :

- Protéger au feu (R30) toutes les pannes entre les files 1 et 2 et 9 à 11 ;
- Protéger au feu les stabilités longitudinales files A et C à savoir les croix, les diagonales, les butons et les pannes au droit de la stabilité.

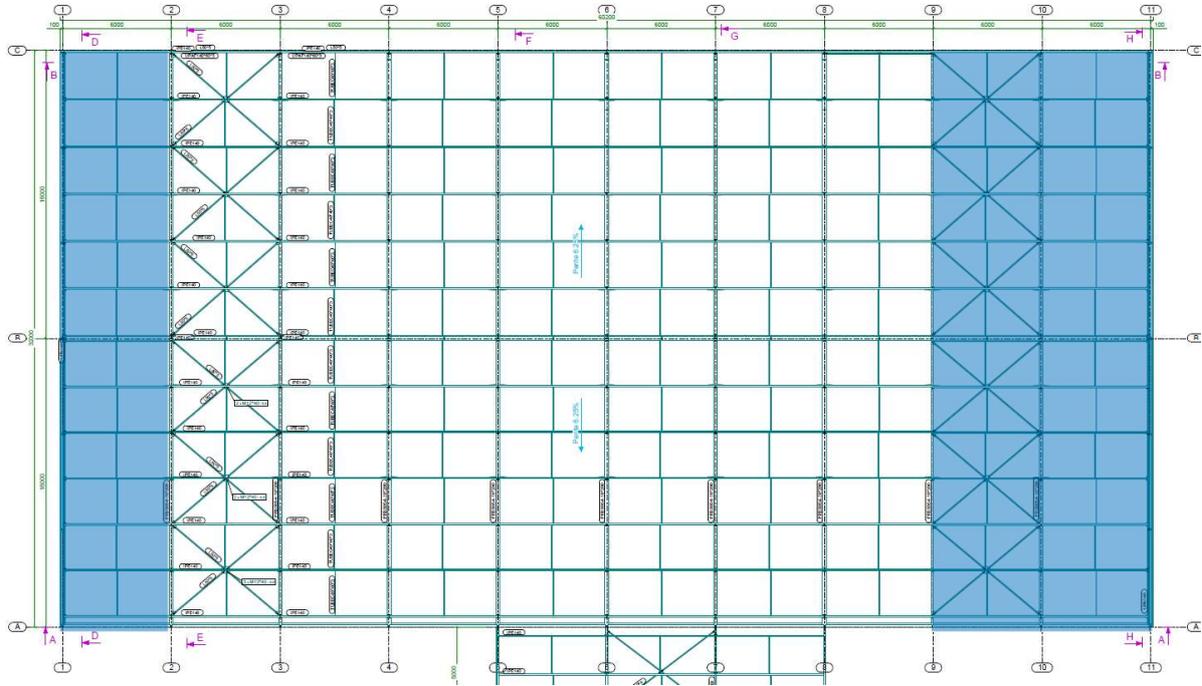


Figure 4-5. Renforcement des pannes

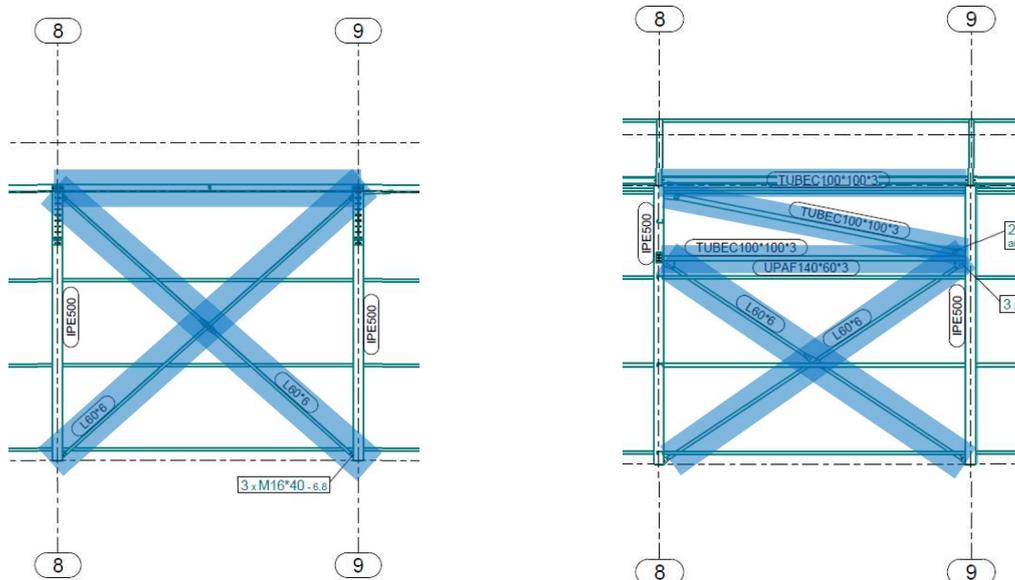


Figure 4-6. Renforcement des palées de stabilité files A et C

### 4.3 Renforcements des bâtiment 4 et 5

#### 4.3.1 Renforcements des portiques files 2 à 9

Les renforcements des portiques files 2 à 9 consistent à :

- Protéger au feu (R30) les poteaux de la file A;
- Encaster en pied les poteaux de la file A;
- Renforcer les poteaux de la file A pour que l'inertie et le moment résistant plastique soient multipliés par 2 (dans le sens à forte inertie);
- Renforcer les âmes des poteaux et traverses non protégées au feu pour que les classes de sections à chaud ne soient pas égales à 4 (les sections sont classées comme pour le calcul à température normale en considérant la valeur de  $\varepsilon$  donnée par :  $\varepsilon = 0,85 [235/f_y]^{0,5}$  ).

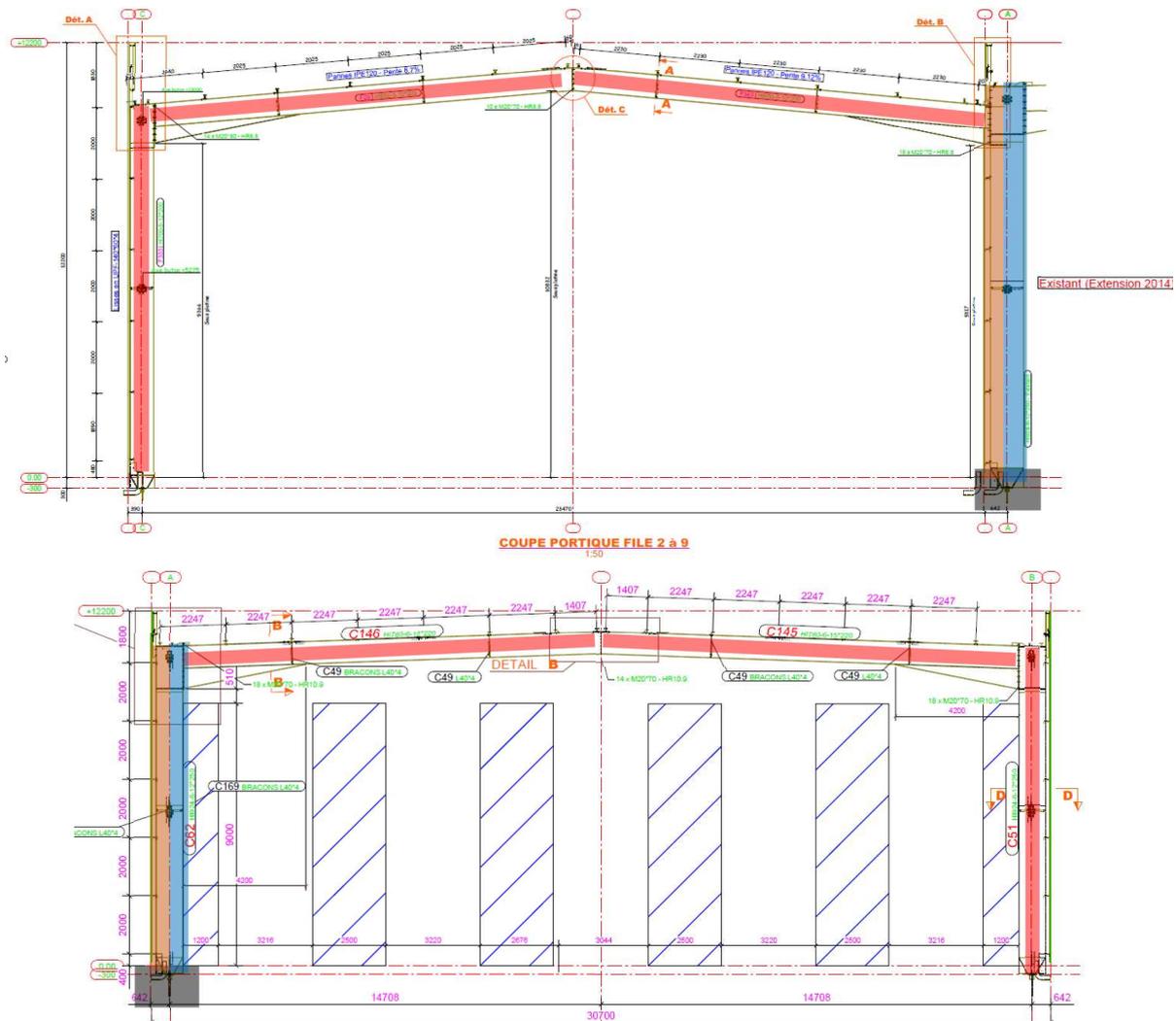


Figure 4-7. Renforcements des portiques files 2 à 9

#### 4.3.2 Renforcements des stabilités longitudinales

Les renforcements dans le sens longitudinal consistent à :

- Protéger au feu (R30) toutes les pannes entre les files 1 et 2 et 9 et 10 ;
- Protéger au feu les stabilités longitudinales files A, B et C à savoir les croix, les poteaux, les butons et les pannes au droit de la stabilité.

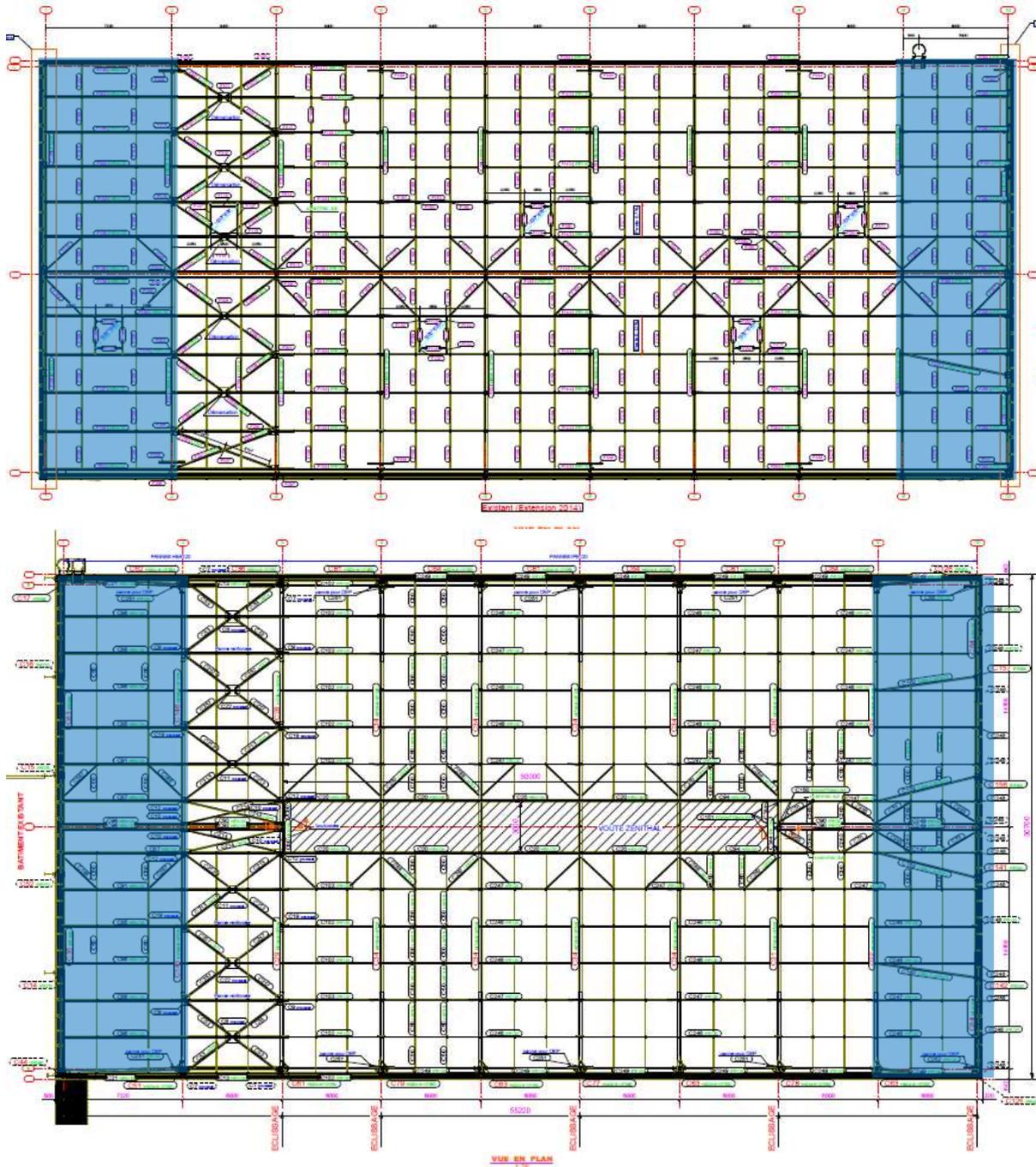


Figure 4-8. Renforcement des pannes

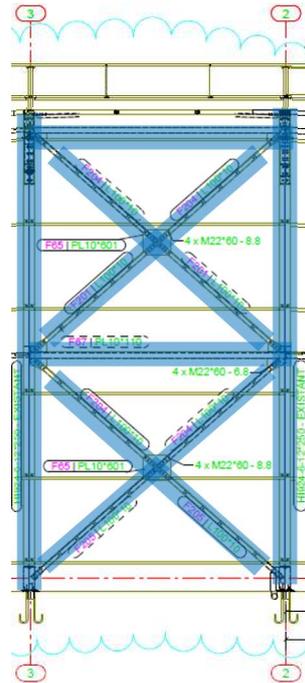


Figure 4-9. Renforcement des palées de stabilité files A, B et C

## 5 DEMARCHE DE L'ANALYSE

---

### 5.1 Exigences de stabilité et objectif de sécurité

Tableau 5-1. Exigences de stabilité requises.

ÉLÉMENTS	EXIGENCES DE STABILITE
- Ensemble de la structure porteuse	*

*\*Nota : Dans cette étude, nous évaluons le temps de ruine. Ce temps permettra d'avoir une donnée à confronter vis-à-vis de la réglementation.*

Tableau 5-2. Objectifs de sécurité vis-à-vis de la structure.

OBJECTIFS DE SECURITE
- Non ruine de la structure vers l'extérieur
- Non ruine en chaîne de la structure

### 5.2 Démarches de l'analyse

#### 5.2.1 Stabilité de la structure

Les calculs non linéaires prennent en compte les lois de comportement des matériaux tels que définies par l'Eurocode 3 [3]. Implicitement, la convergence des calculs sous-entend la vérification des contraintes / déformation dans les sections. Cette convergence, à chaque itération (pas de temps de calcul), correspond à un état d'équilibre valant critère de stabilité de la structure. L'observation d'un comportement « asymptotique » peut être assimilée à la ruine d'un élément de structure.

#### 5.2.2 Justification des modes de ruine

Une ruine vers l'intérieur se justifie par une ruine de la structure échauffée sur son emprise au sol. Elle s'argumente globalement par :

- L'orientation des déplacements des têtes de poteaux : Le visuel des déplacements en tête des poteaux lors de la ruine permet de statuer sur le mode de ruine ;
- La localisation de la ruine et le type de ruine permettent de confirmer le mode de ruine.

La justification de la ruine vers l'intérieur est obtenue à l'aide d'analyse des résultats des modèles numériques.

La non-ruine en chaîne se justifie par la tenue de la structure froide après une apparition d'une ruine de la structure échauffée adjacente. Pour ce faire, une analyse des dispositions constructives présentes sur le longpan du bâtiment 1 accolé aux bâtiments 4 et 5 est réalisée dans l'objectif de conclure sur la non-ruine en chaîne.

## 6 HYPOTHESES DE CALCUL

### 6.1 Actions sur structure

Les chargements permanents utilisés pour cette étude sont, d'après l'analyse des plans [6] :

- Le poids-propre des éléments métalliques (masse volumique de 7 850 kg/m<sup>3</sup>) avec une majoration de 10% pour prise en compte des assemblages et soudures ;
- Poids de la couverture multicouche avec étanchéité : 25 kg/m<sup>2</sup> ;
- Charges diverses sous toiture : 5 kg/m<sup>2</sup>.

Concernant les charges climatiques, les hypothèses prises sont les suivantes :

- Vent :
  - Région 3 ;
  - Rugosité IIIa.

La pression dynamique de pointe correspondante est de 81,3 kg/m<sup>2</sup>. Cette pression associée aux coefficients de pression extérieur et intérieur donne un chargement. Ce dernier est appliqué à travers un effort ponctuel en tête des portiques transversaux ou en tête des portiques de stabilité. Le sens du vent est défini de manière à maximiser les déplacements vers l'extérieur (effort en direction de l'extérieur).

- Neige :
  - Région A1 ;
  - Altitude < 200 m.

Les actions sur les structures sont classées comme des actions accidentelles (cf. Eurocode 0, §6.4.3.3). L'effet du vent ou de la neige est pris en compte en tant que variable principale dans le calcul de stabilité au feu. La combinaison d'action est alors :

$$G + \psi_{1,1}(W \text{ ou } S_n)$$

- avec :
- G : charges permanentes
  - W : effet du vent, action variable principale
  - S<sub>n</sub> : effet de la neige, action variable principale
  - ψ<sub>1,1</sub> : coefficient définissant la valeur fréquente de l'action variable principale,  
= 0,2 (cf. Eurocode 0, Annexe A1, Tableau A1.1, charges dues au vent ou à la neige).

### 6.2 Propriétés des matériaux

#### Profilés métalliques

##### Propriétés thermiques

a <sub>c,fe</sub> =	25	[W/m <sup>2</sup> .K]	Facteur de convection en face exposée
a <sub>c,fne</sub> =	4	[W/m <sup>2</sup> .K]	Facteur de convection en face non exposée
ε =	0.7	[-]	Coefficient d'émissivité résultante

##### Propriétés mécaniques

ν =	0.3	[-]	Coefficient de Poisson
E =	210	[GPa]	Module d'élasticité
f <sub>yK</sub>	235	[MPa]	Résistance caractéristique

### 6.3 Action thermique

L'action thermique appliquée sur les éléments de la structure correspond à la courbe normalisée ISO 834 température / temps régie par l'équation :

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

- avec :
- $\theta_g$  : température des gaz [°C] ;
  - t : temps [min].

Les sections métalliques sont échauffées sur tous leurs contours.

Les bâtiments ne disposant pas de compartimentage avec des murs coupe-feu, le feu est supposé agir dans tout le volume des bâtiments.

### 6.4 Conditions aux limites

Dans le sens transversal des bâtiments, les portiques sont considérés articulés en pied et encastres en tête excepté au droit des pieds de poteaux renforcés pour créer un encastrement.

Dans le sens longitudinal des bâtiments, les stabilités sont considérées avec des liaisons articulées en pied des poteaux et également entre les liaisons des éléments de stabilités.

## 7 DESCRIPTION DES MODELES NUMERIQUES

Les modèles numériques sont établis et calculés à l'aide du logiciel éléments finis SAFIR développé par l'université de Liège en Belgique.

L'analyse des plans des bâtiments [6] a permis de sélectionner les modèles représentatifs des structures à évaluer. Ces modèles sont les suivants. Ils fonctionnent de manière indépendante car aucun couplage dans les deux directions qui aurait nécessité un modèle 3D n'est présent.

Sens du bâtiment	Structure	Bâtiment 1	Bâtiment 3	Bâtiments 4 et 5
Sens transversal	Portique courant	File 10	File 2	File 9
		File 13		
Sens longitudinal	Palée de stabilité	X (*)	File C	File B

(\*) Nous n'avons pas d'informations en termes de relevés sur ces structures.

Les différentes combinaisons en situation d'incendie ont été considérées pour les portiques comme suit :

- La combinaison ayant comme action variable principale la charge de neige est la plus pénalisante pour évaluer la durée de résistance ;
- La combinaison ayant comme action variable principale la charge de vent est la plus pénalisante pour analyser le mode de ruine.

Quant à la structure des palées de stabilité, elle est chargée avec le vent comme action variable principale étant donné qu'elle n'est sollicitée majoritairement que par cette action.

**De plus, les effets de voilement des âmes des PRS constituant les sections des portiques ont été résolus par le renforcement des âmes car ces effets ne permettaient pas de satisfaire les durées de résistance et les modes de ruine.**

### 7.1 Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 10

Le modèle transversal réalisé est composé d'un portique avec une travée échauffée par le feu ISO.

La figure ci-dessous présente le modèle numérique :



Figure 7-1. Modélisation du portique file 10 du bâtiment 1

### 7.2 Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 13

Le modèle transversal réalisé est composé d'un portique avec une travée échauffée par le feu ISO. La particularité de cette travée est l'excentricité du faîtiage.

La figure ci-dessous présente le modèle numérique :



Figure 7-2. Modélisation du portique file 13 du bâtiment 1

### 7.3 Bâtiment 3 - Modèle du portique courant file 2

Le modèle transversal réalisé est composé d'un portique avec une travée échauffée par le feu ISO.

La figure ci-dessous présente le modèle numérique :

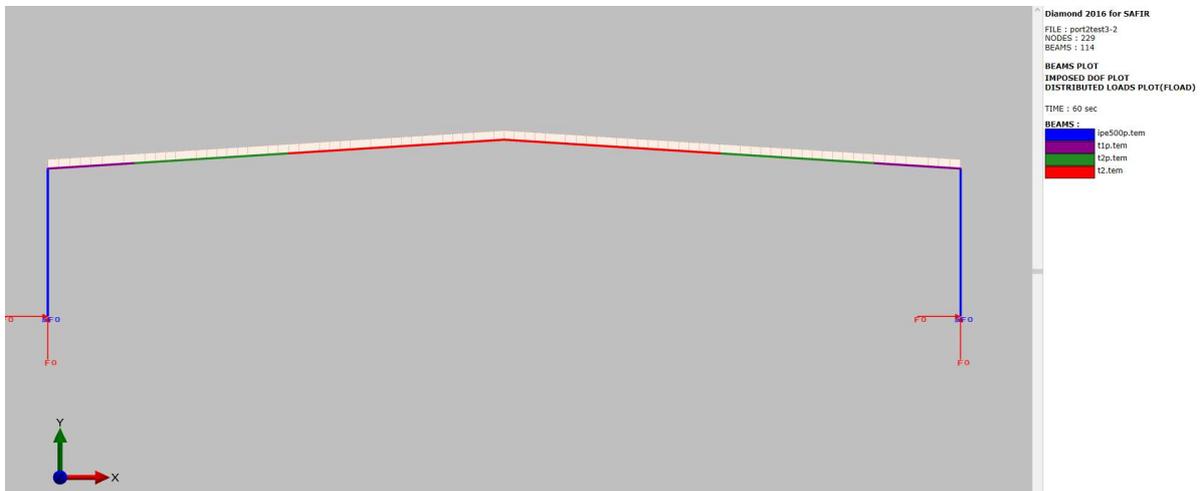


Figure 7-3. Modélisation du portique file 2 du bâtiment 3

## 7.4 Bâtiment 3 - Modèle de la palée de stabilité file C

Le modèle longitudinal est composé d'une palée de stabilité et de 9 travées de pannes. La palée de stabilité sert à reprendre les efforts de vent longitudinaux mais également les efforts horizontaux induits par l'échauffement des pannes. La palée de stabilité retient au total 6 cours de pannes échauffées. L'ensemble est échauffé par un feu ISO. Afin de prendre en compte le nombre de cours de pannes dans le modèle 2D, nous avons influé sur le chargement des pannes et sur leur rigidité.

Le vent est considéré s'appliqué dans le sens des Y positifs, ceci afin de maximiser les déplacements vers l'extérieur de la structure considérée.

La figure ci-dessous présente le modèle numérique :

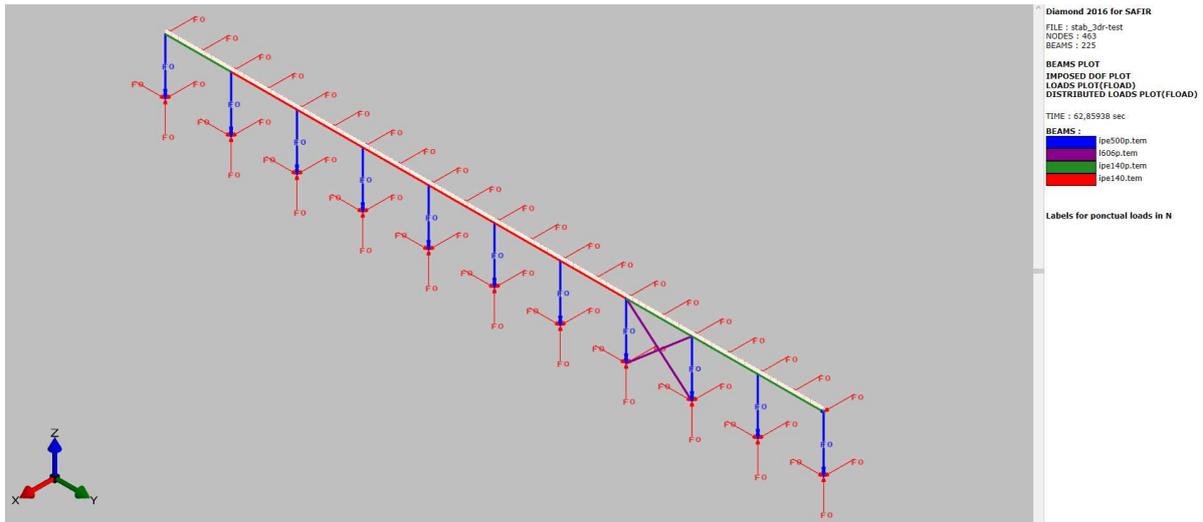


Figure 7-4. Modélisation de la palée de stabilité file C du bâtiment 3

## 7.5 Bâtiments 4 et 5 - Modèle du portique courant file 9

Le modèle transversal réalisé est composé d'un portique avec une travée échauffée par le feu ISO.

La figure ci-dessous présente le modèle numérique :

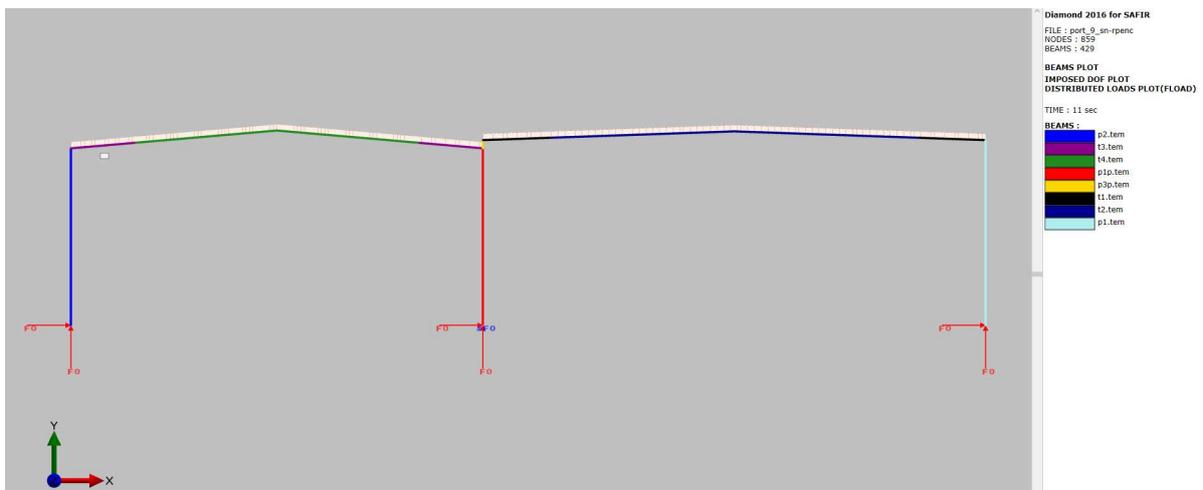


Figure 7-5. Modélisation du portique file 9 des bâtiments 4 et 5

## 7.6 Bâtiments 4 et 5 - Modèle de la palée de stabilité file B

Le modèle longitudinal est composé d'une palée de stabilité et de 8 travées de pannes. La palée de stabilité sert à reprendre les efforts de vent longitudinaux mais également les efforts horizontaux induits par l'échauffement des pannes. La palée de stabilité retient au total 7 cours de pannes échauffées. L'ensemble est échauffé par un feu ISO. Afin de prendre en compte le nombre de cours de pannes dans le modèle 2D, nous avons influé sur le chargement des pannes et sur leur rigidité.

Le vent est considéré s'appliqué dans le sens des Y négatifs, ceci afin de maximiser les déplacements vers l'extérieur de la structure considérée.

La figure ci-dessous présente le modèle numérique :

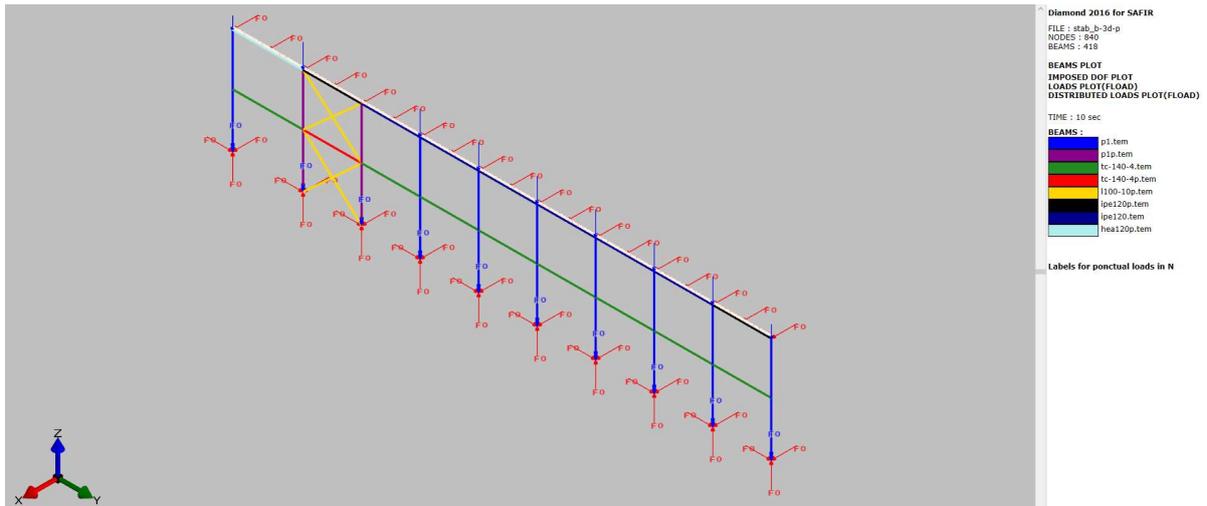


Figure 7-6. Modélisation de la palée de stabilité file B des bâtiments 4 et 5

## 8 RESULTATS DU COMPORTEMENT AU FEU DES STRUCTURES : DUREES DE RESISTANCE AU FEU ET MODES DE RUINE

### 8.1 Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 10

Le modèle numérique converge jusqu'à 1110 secondes. La figure ci-dessous présente la visualisation du modèle déformé au moment du dernier pas de temps convergé :

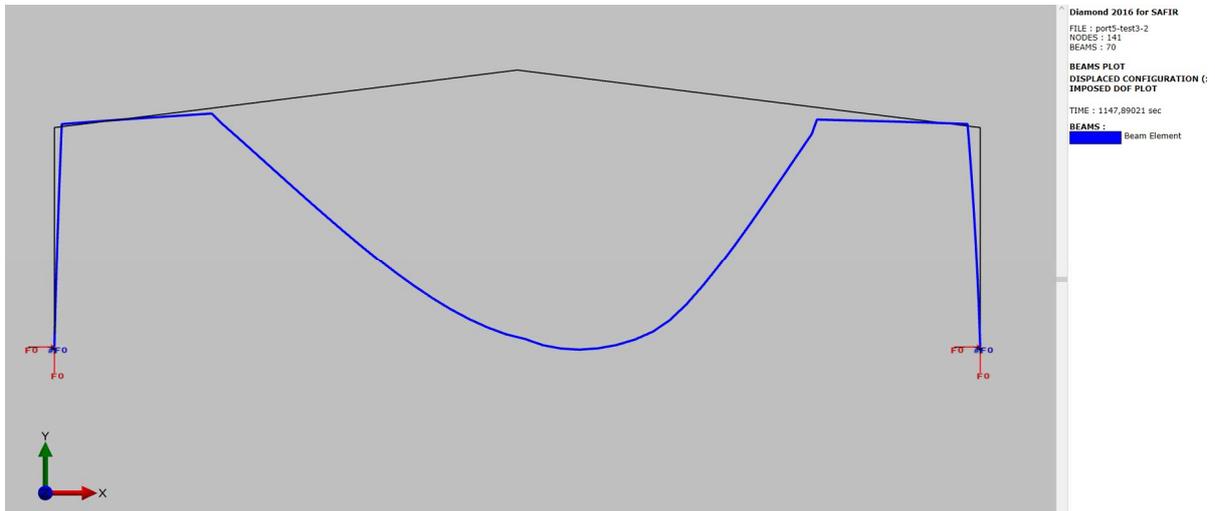


Figure 8-1. Visualisation du dernier pas de temps convergé – cas de la combinaison  $G + 0.2S_n$

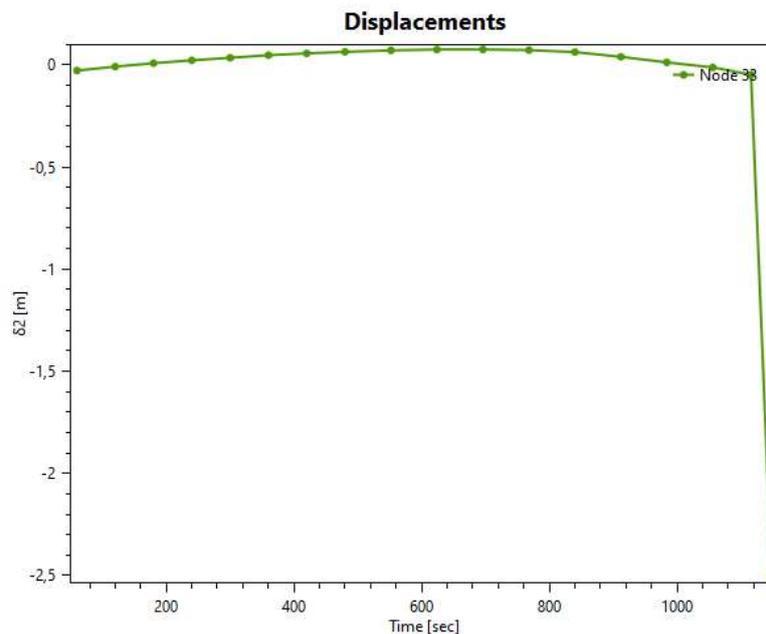


Figure 8-2. Déplacement vertical au niveau du faîtage en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2S_n$

Selon les lois de comportement des matériaux et les critères de convergence du logiciel, la ruine apparaît au niveau des extrémités des traverses non protégées.

La figure ci-dessous présente le déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps. Les différents cas de vent ont été étudiés (cas de suppression, cas de dépression et dans les deux directions +X et -X). Seul le cas le plus défavorable est présenté.

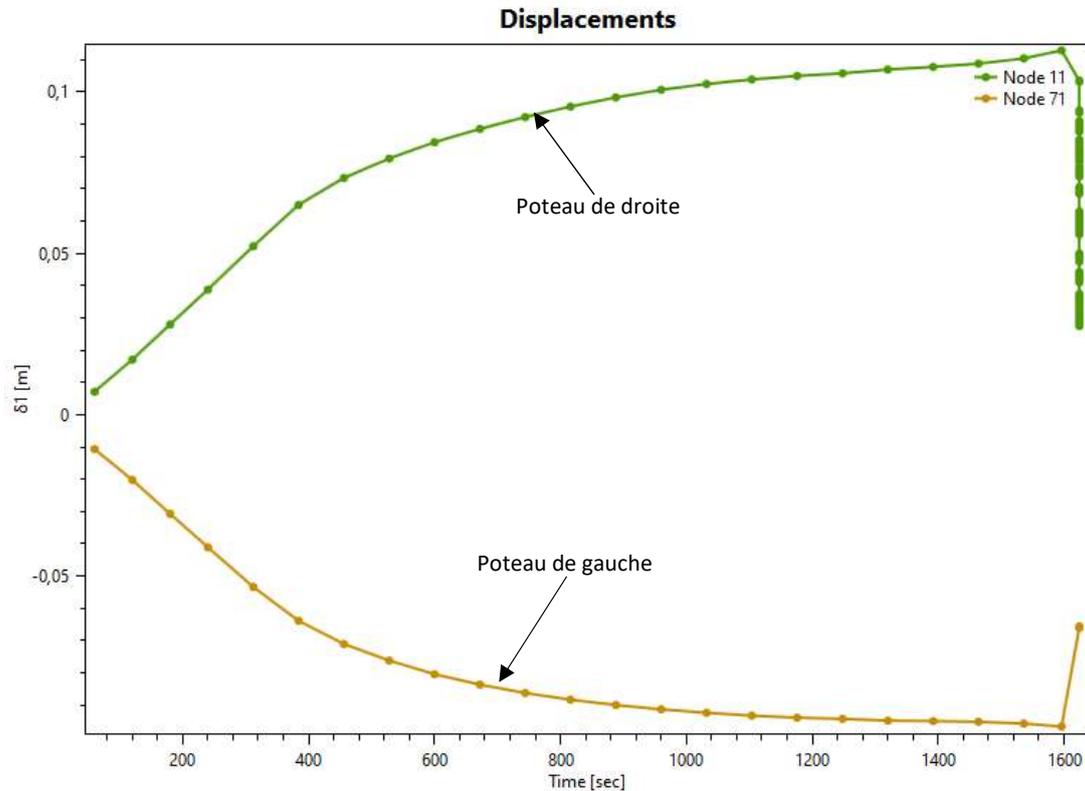


Figure 8-3. Déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps – cas de la combinaison G + 0.2W

Les poteaux se déplacent vers l’extérieur dans les premières phases d’échauffement. Ils atteignent une phase de stabilisation et reviennent vers l’intérieur jusqu’au dernier pas de temps convergé.

### 8.2 Bâtiment 1 - Modèle du portique courant file 13

Le modèle numérique converge jusqu’à 924 secondes. La figure ci-dessous présente la visualisation du modèle déformé au moment du dernier pas de temps convergé :

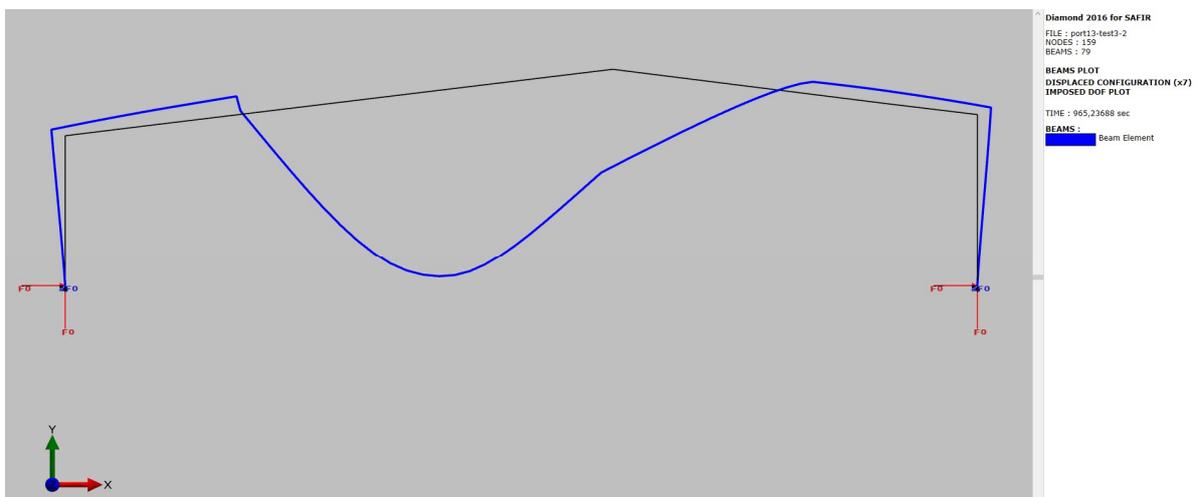


Figure 8-4. Visualisation du dernier pas de temps convergé – cas de la combinaison G + 0.2Sn

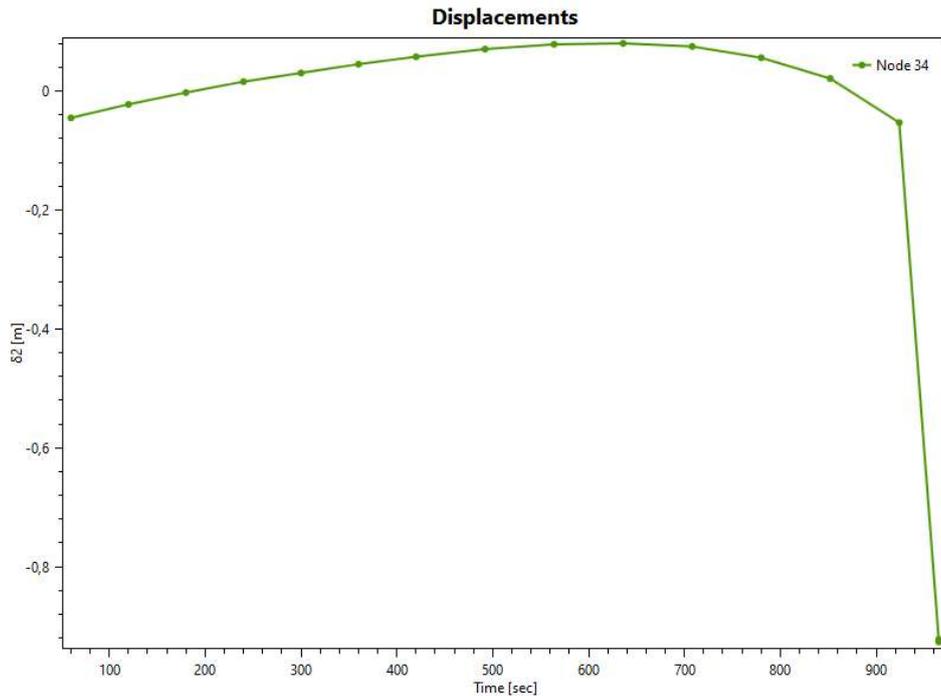


Figure 8-5. Déplacement vertical au niveau du faîtage en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2S_n$

Selon les lois de comportement des matériaux et les critères de convergence du logiciel, la ruine apparaît au niveau des extrémités des traverses non protégées.

La figure ci-dessous présente le déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps. Les différents cas de vent ont été étudiés (cas de suppression, cas de dépression et dans les deux directions +X et -X). Seul le cas le plus défavorable est présenté.

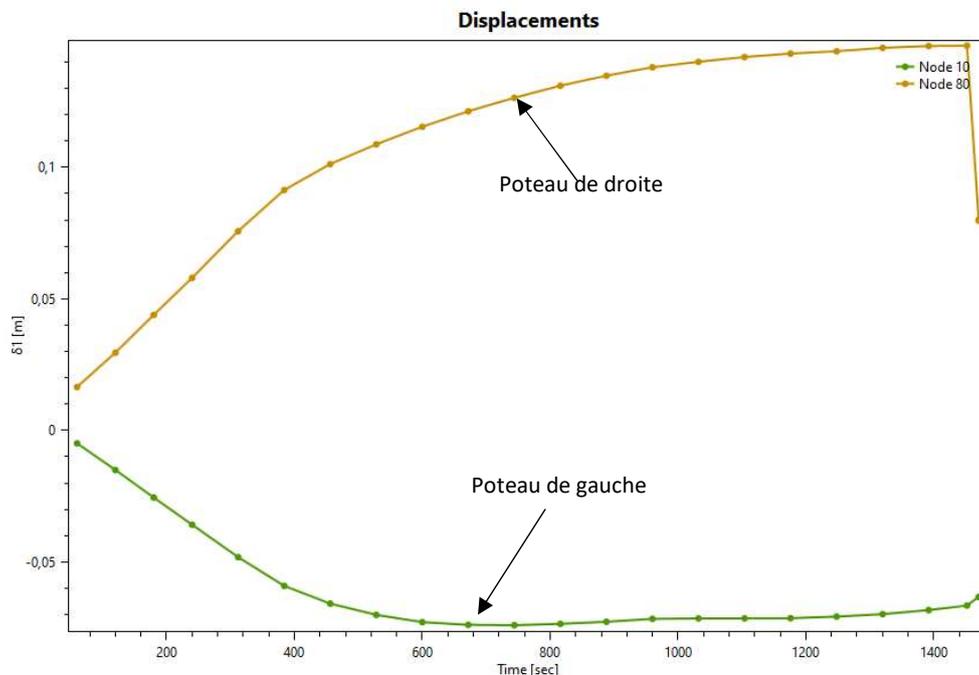


Figure 8-6. Déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2W$

Les poteaux se déplacent vers l'extérieur dans les premières phases d'échauffement. Ils atteignent une phase de stabilisation et reviennent vers l'intérieur jusqu'au dernier pas de temps convergé.

### 8.3 Bâtiment 3 - Modèle du portique courant file 2

Le modèle numérique converge jusqu'à 1188 secondes. La figure ci-dessous présente la visualisation du modèle déformé au moment du dernier pas de temps convergé :

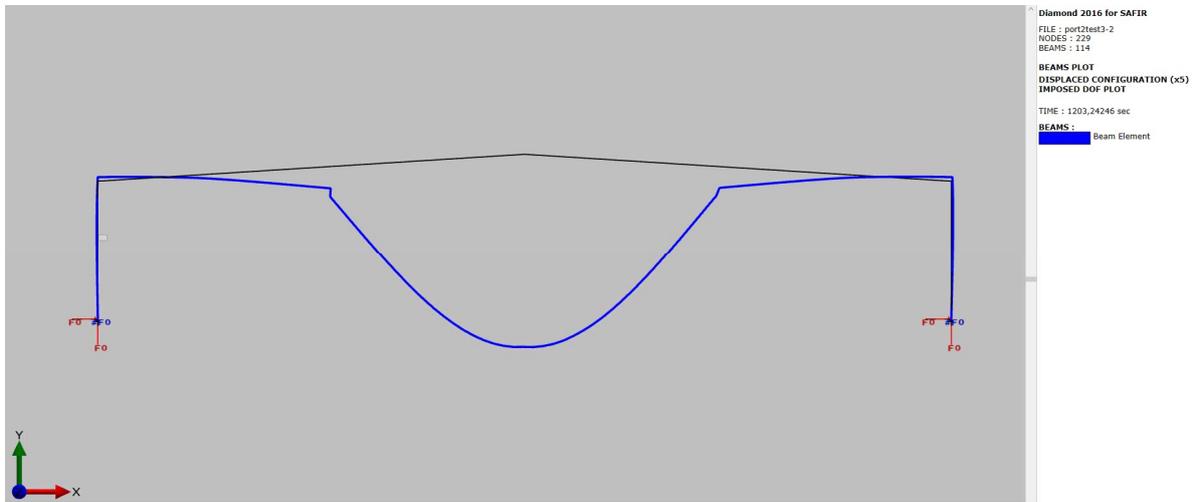


Figure 8-7. Visualisation du dernier pas de temps convergé – cas de la combinaison  $G + 0.2S_n$

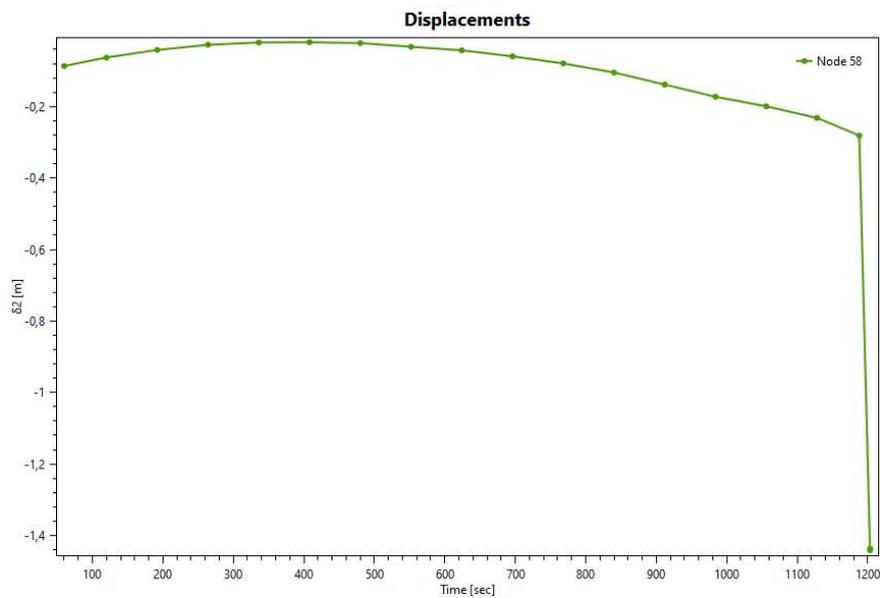


Figure 8-8. Déplacement vertical au niveau du faîtage en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2S_n$

Selon les lois de comportement des matériaux et les critères de convergence du logiciel, la ruine apparait au niveau des extrémités des traverses non protégées.

La figure ci-dessous présente le déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps. Les différents cas de vent ont été étudiés (cas de suppression, cas de dépression et dans les deux directions +X et -X). Seul le cas le plus défavorable est présenté.

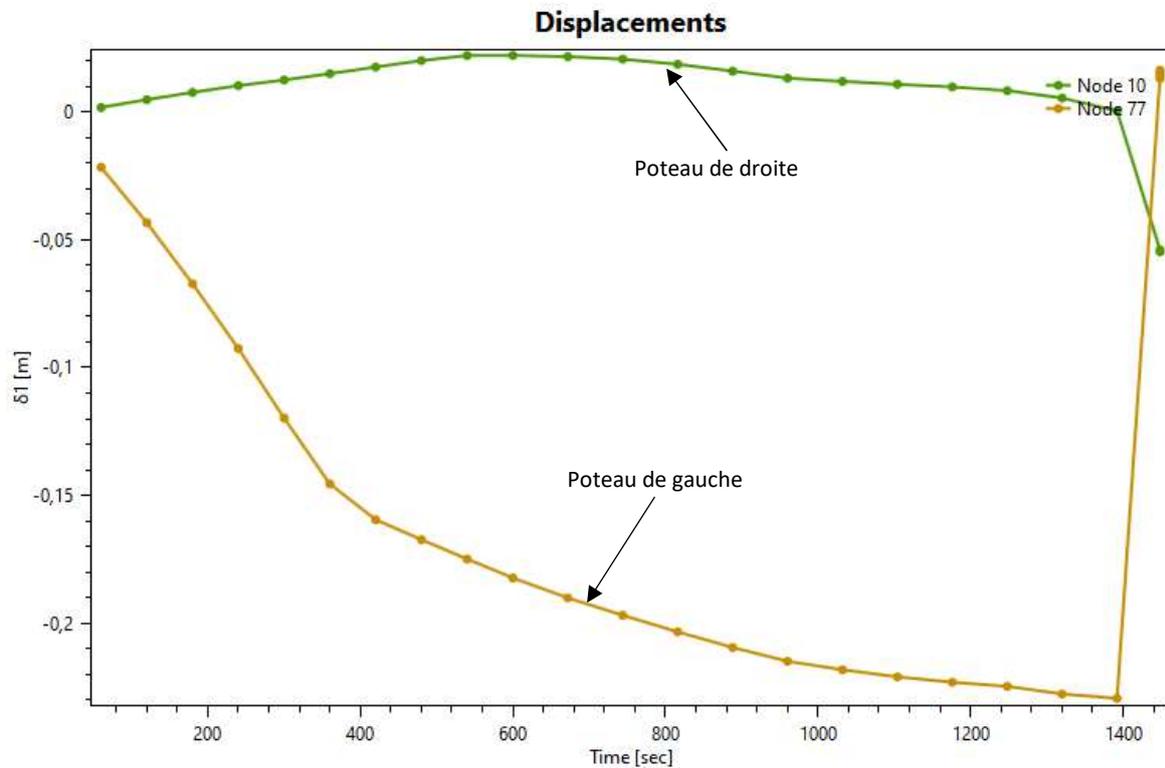


Figure 8-9. Déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2W$

Les poteaux se déplacent vers l'extérieur dans les premières phases d'échauffement. Ils atteignent une phase de stabilisation et reviennent vers l'intérieur jusqu'au dernier pas de temps convergé.

### 8.4 Bâtiment 3 - Modèle de la palée de stabilité file C

Le modèle numérique converge jusqu'à 2234 secondes. La figure ci-dessous présente la visualisation du modèle déformé au moment du dernier pas de temps convergé. Les différents cas de vent ont été étudiés (cas de suppression dans les deux directions +Y et -Y). Seul le cas le plus défavorable est présenté.

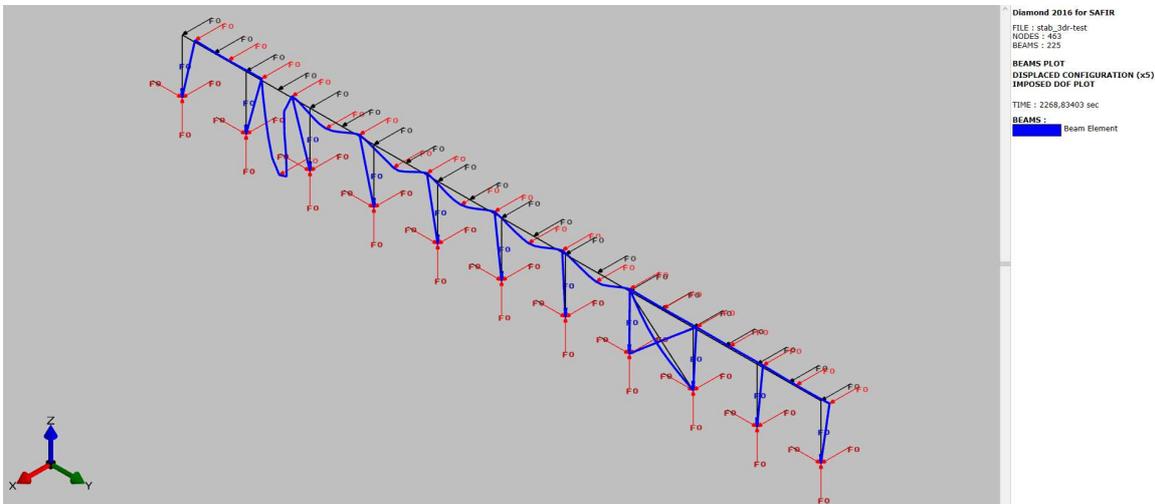


Figure 8-10. Visualisation du dernier pas de temps convergé – cas de la combinaison  $G + 0.2W$

Selon les lois de comportement des matériaux et les critères de convergence du logiciel, la ruine apparaît au niveau des pannes.

La figure ci-dessous présente le déplacement horizontal en tête des poteaux de rive en fonction du temps :

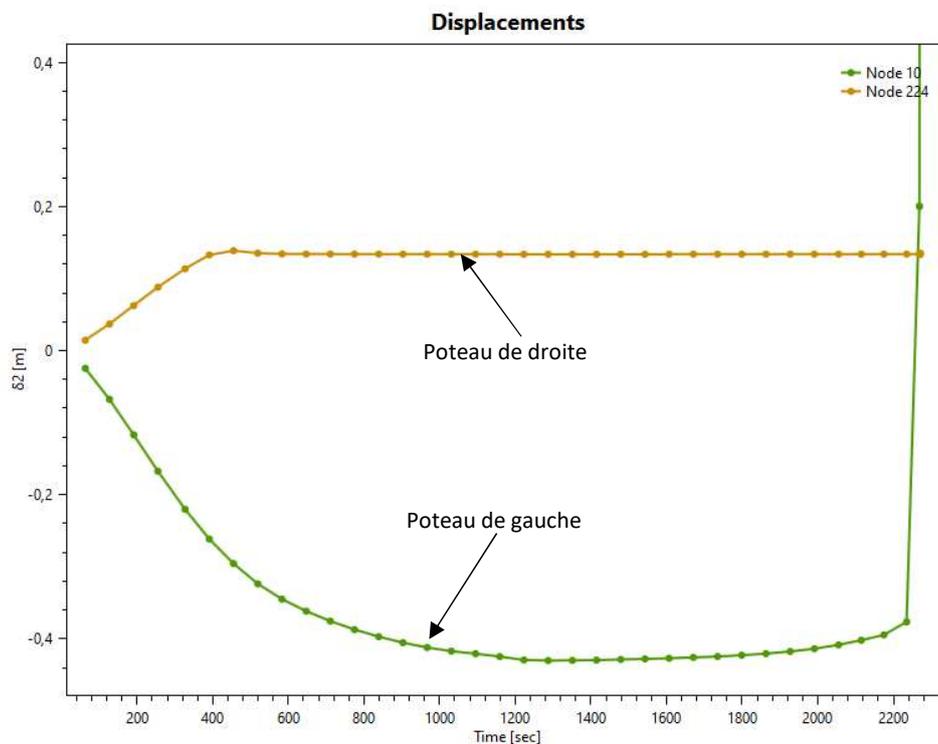


Figure 8-11. . Déplacement horizontal en tête des poteaux de rive en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2W$

Les poteaux de rive se déplacent vers l'extérieur dans la première phase d'échauffement. Leurs déplacements restent quasiment constants avant la ruine des pannes qui entraînent les poteaux vers l'intérieur.

## 8.5 Bâtiments 4 et 5 - Modèle du portique courant file 9

Le modèle numérique converge jusqu'à 963 secondes. La figure ci-dessous présente la visualisation du modèle déformé au moment du dernier pas de temps convergé :

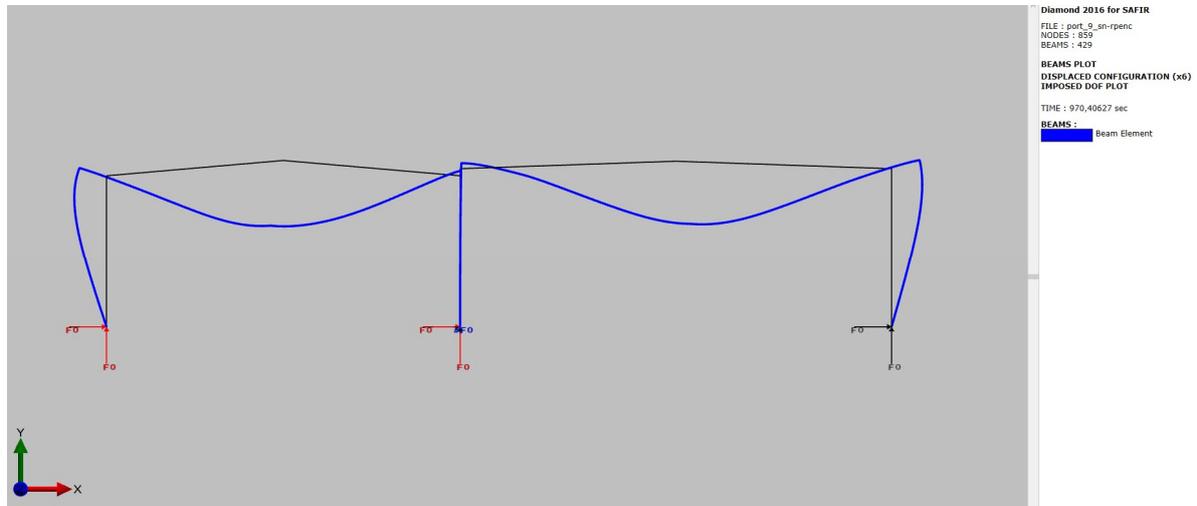


Figure 8-12. Visualisation du dernier pas de temps convergé – cas de la combinaison  $G + 0.2S_n$

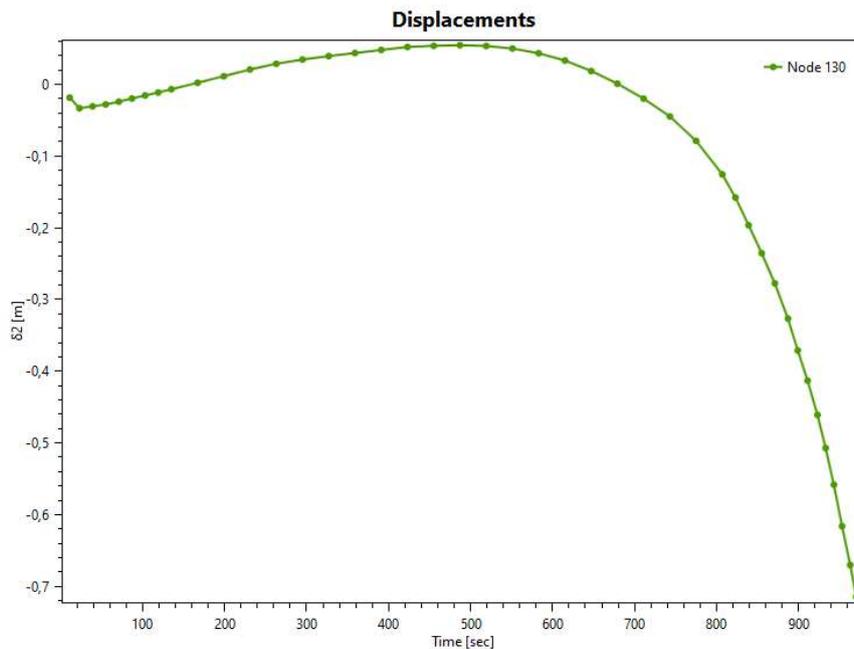


Figure 8-13. Déplacement vertical au niveau du faîtage de droite en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2S_n$

Selon les lois de comportement des matériaux et les critères de convergence du logiciel, la ruine apparaît à l'extrémité des traverses et plus précisément au niveau de la liaison avec le poteau central.

La figure ci-dessous présente le déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps. Les différents cas de vent ont été étudiés (cas de suppression, cas de dépression et dans les deux directions +X et -X). Seul le cas le plus défavorable est présenté.

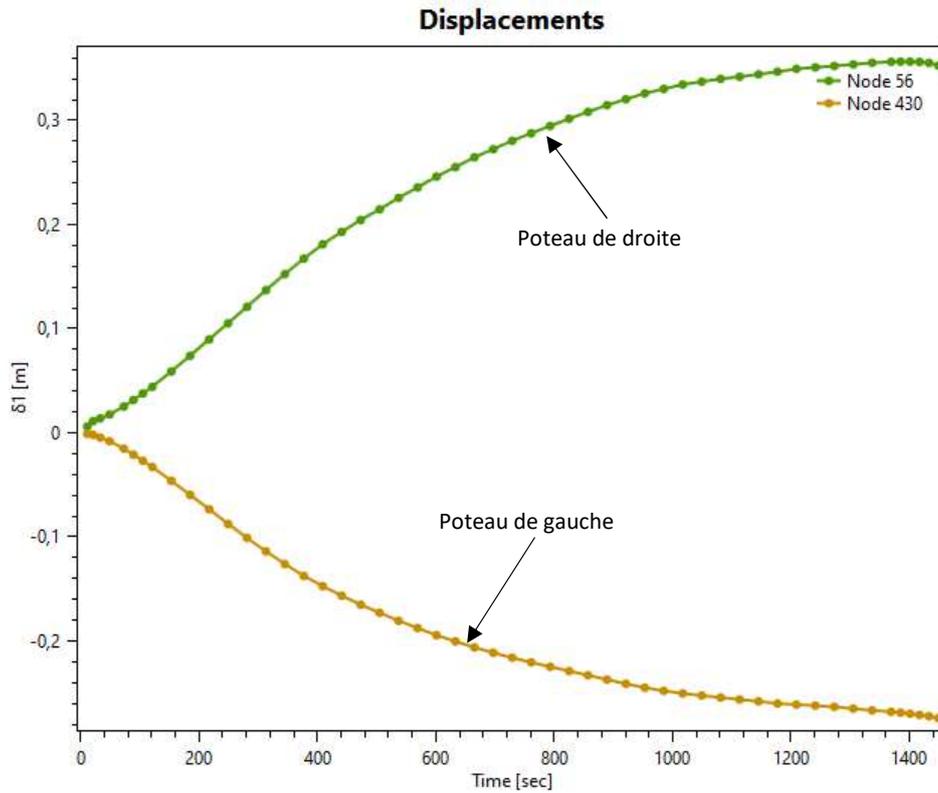


Figure 8-14. Déplacement horizontal en tête des poteaux en fonction du temps – cas de la combinaison G + 0.2W

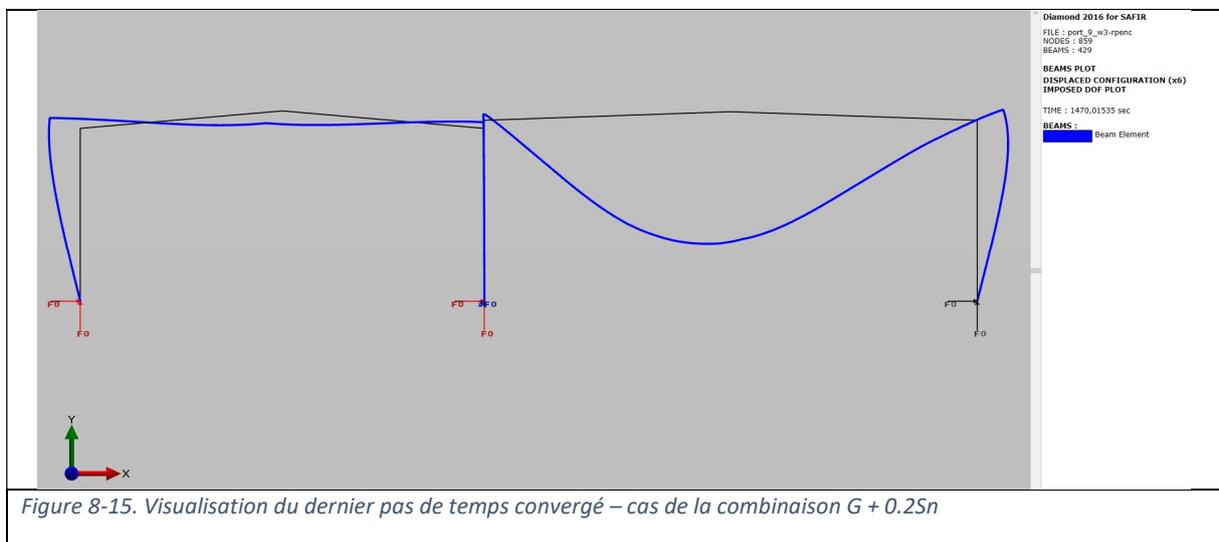


Figure 8-15. Visualisation du dernier pas de temps convergé – cas de la combinaison G + 0.2Sn

Les poteaux se déplacent vers l'extérieur dans les premières phases d'échauffement. Ils atteignent une phase de stabilisation jusqu'au dernier pas de temps convergé avec une courbure orientée vers l'intérieur.

## 8.6 Bâtiments 4 et 5 - Modèle de la palée de stabilité file B

Le modèle numérique converge jusqu'à 2079 secondes. La figure ci-dessous présente la visualisation du modèle déformé au moment du dernier pas de temps convergé. Les différents cas de vent ont été étudiés (cas de suppression dans les deux directions +Y et -Y). Seul le cas le plus défavorable est présenté.

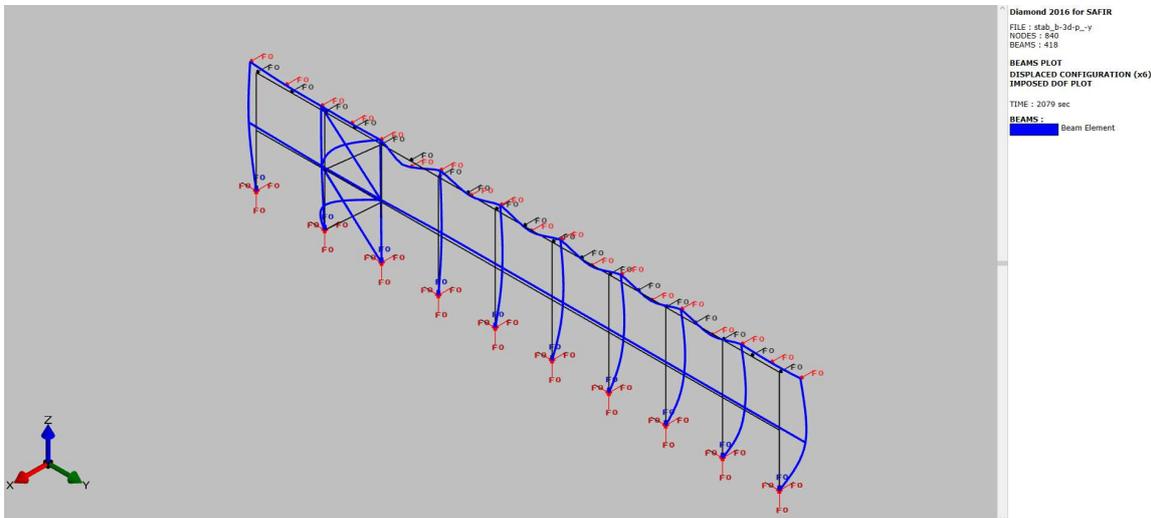


Figure 8-16. Visualisation du dernier pas de temps convergé – cas de la combinaison  $G + 0.2W$

Selon les lois de comportement des matériaux et les critères de convergence du logiciel, la ruine apparaît au niveau des pannes.

La figure ci-dessous présente le déplacement horizontal en tête des poteaux de rive en fonction du temps :

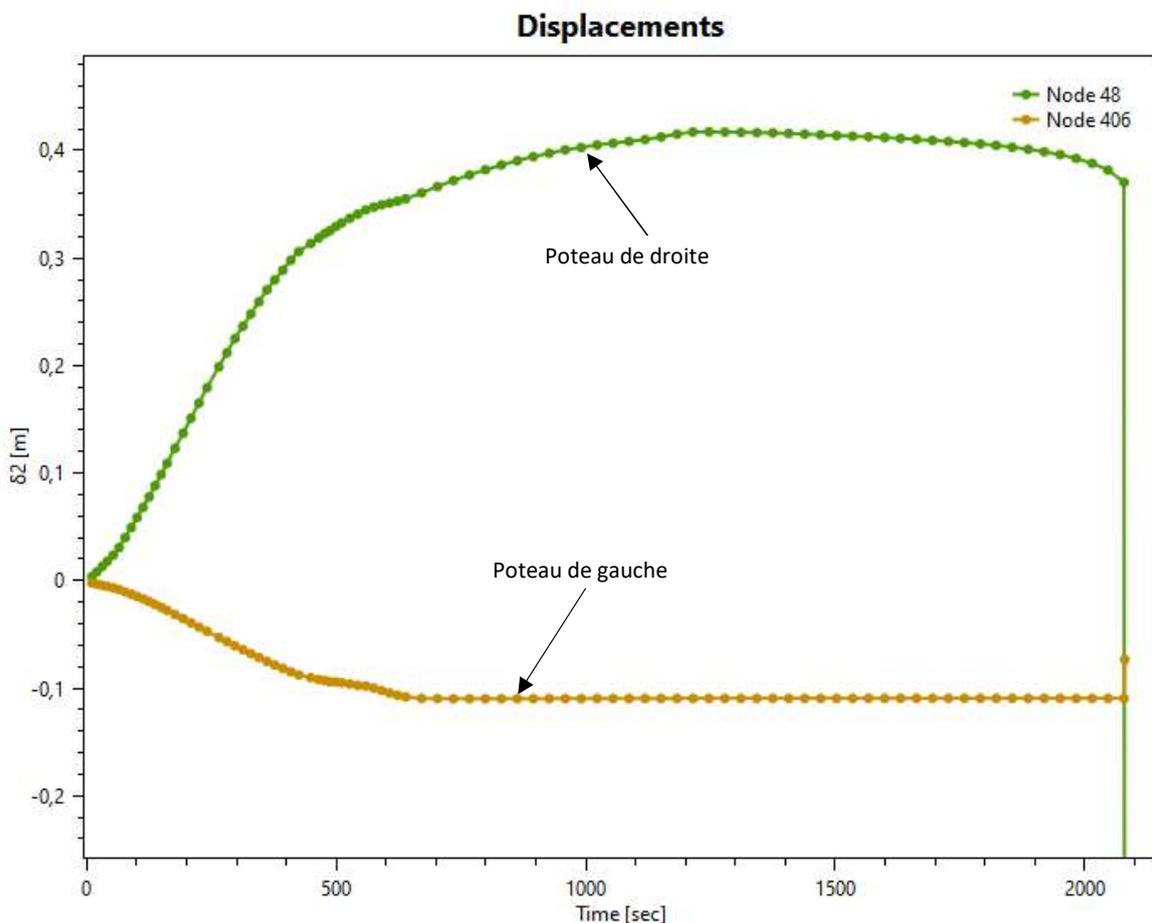


Figure 8-17. . Déplacement horizontal en tête des poteaux de rive en fonction du temps – cas de la combinaison  $G + 0.2W$

Les poteaux de rive se déplacent vers l'extérieur dans la première phase d'échauffement. Leurs déplacements restent quasiment constants avant la ruine des pannes qui entraînent les poteaux vers l'intérieur.

## 9 RESULTATS DU COMPORTEMENT AU FEU DES STRUCTURES : REACTIONS D'APPUI DES PIEDS DE POTEAUX ENCASTRES

Les changements des conditions d'appuis des portiques des différents bâtiments (articulations modifiées par des encastresments) conduisent aux sollicitations suivantes en situation d'incendie en pieds des poteaux des portiques.

Tableau 9-1. Réactions des pieds de poteaux encastrés des portiques

Localisation			Cas G + 0.2Sn			Cas G + 0.2W		
Bâtiment	Portiques	Poteaux	Compression (kN)	Fx (kN)	My (kN.m)	Compression (kN)	Fx (kN)	My (kN.m)
1	Files 2 à 10	Files A et C	40 50	+/- 65	+/-250	25 30	+/- 55	+/-250
	Files 11 à 14	Files A' et C	50 60	+/- 100	+/- 390	30 40	+/- 80	+/- 360
3	Files 2 à 10	Files A et C	50	+/- 70	+/- 45	30 40	+/- 65	+/- 200
4 et 5	Files 2 à 9	File A	105	+/- 15	+/- 100	60	+/- 25	+/- 175

## 10 ANALYSE DES RESULTATS ET CONCLUSIONS DE L'ETUDE

### 10.1 Synthèse et analyse des résultats

#### 10.1.1 Durées de résistance au feu et modes de ruine

Bâtiment	Sens	Structure	Durée de résistance au feu	Mode de ruine
Bâtiment 1	Transversal	Portique file 10	18 minutes	Vers l'intérieur
		Portique file 13	15 minutes	Vers l'intérieur
	Longitudinal	Palée de stabilité	<i>Non étudiés car relevés manquants</i>	
Bâtiment 3	Transversal	Portique file 2	18 minutes	Vers l'intérieur
	Longitudinal	Palée de stabilité file C	> 37 minutes	Vers l'intérieur
Bâtiments 4 et 5	Transversal	Portique file 9	16 minutes	Vers l'intérieur
	Longitudinal	Palée de stabilité file B	> 34 minutes	Vers l'intérieur

Dans le sens transversal des bâtiments, les structures métalliques des portiques ont une durée de résistance au feu supérieure ou égale à 15 minutes sous feu ISO 834.

Longitudinalement, les palées de stabilité métalliques des bâtiments ont une durée de résistance au feu d'au moins 34 minutes sous feu ISO 834.

Les modes de ruine transversaux et longitudinaux s'effectuent tous vers l'intérieur.

#### 10.1.2 Non ruine en chaîne

Le risque de ruine en chaîne se situe au niveau des pignons des bâtiments 4 et 5 accolés au longpan du bâtiment 1. En effet, les structures sont à la fois indépendantes et proches l'une de l'autre. Le risque de ruine en chaîne peut donc être provoqué par l'entrechoquement entre les structures en raison de leurs déplacements vers l'extérieur dans la phase d'échauffement.

La valeur du jeu de 305 mm entre ces bâtiments permet d'absorber les déplacements suivants des structures pour exclure le risque de ruine en chaîne :

- Déplacement maximal vers l'extérieur dans le sens longitudinal des bâtiment 4 et 5 = 110 mm ;
- Déplacement maximal vers l'extérieur dans le sens transversal du bâtiment 1 = 150 mm.

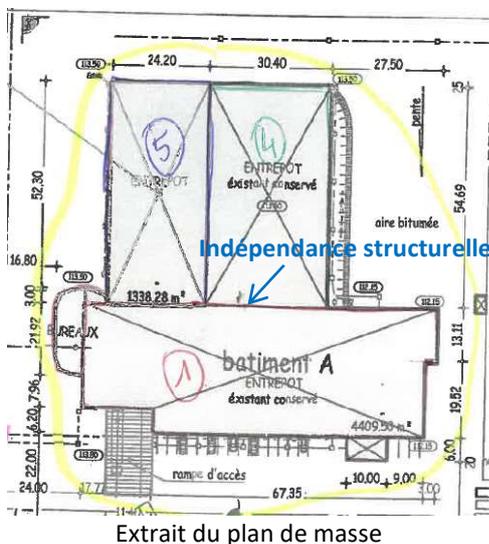
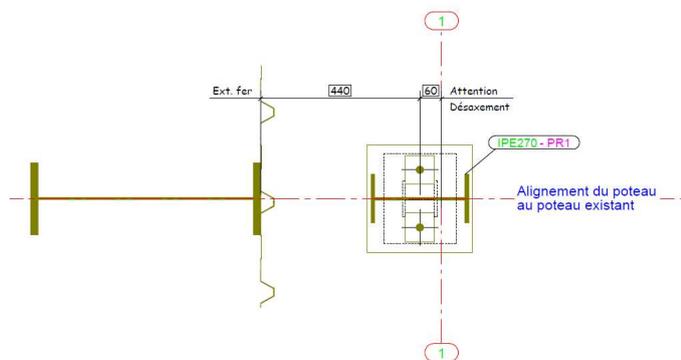


Figure 10-1. Liaison entre les bâtiments 1 et 4-5



Détail de l'indépendance structurelle

## 10.2 Conclusions de l'étude

Les structures métalliques des bâtiments 1, 3, 4 et 5 ont fait l'objet d'une étude du comportement au feu présentée dans ce document. Ces structures ont été étudiées en considérant les principes de renforcement détaillés au § 4.

Cette étude est basée sur une sollicitation de courbe de feu normalisée ISO 834.

Dans le sens transversal et suivant les bâtiments et leurs files, ces renforcements consistent à :

- Encastrer certains poteaux en pied ;
- Protéger certains éléments au feu pour avoir un degré de résistance R30 ;
- Renforcer certaines sections pour augmenter leur raideur et leur résistance ;
- Et renforcer les âmes de certaines sections pour éviter les effets de voilement.

Les impacts en termes de descente de charges sur les massifs liés à l'encastrement des poteaux en pied sont détaillés au § 9.

Dans le sens longitudinal et suivant les bâtiments et leurs files, ces renforcements consistent à :

- Protéger certaines travées de pannes pour avoir un degré de résistance R30 ;
- Et protéger les éléments des palées de stabilité pour avoir un degré de résistance R30.

Les résultats du comportement au feu des structures renforcées sont présentés ci-après :

Tableau 10-1. Objectifs de sécurité.

NON RUINE DE LA STRUCTURE VERS L'EXTERIEUR	
Structure transversale des bâtiments 1, 3, 4 et 5	Validé
Structure longitudinale des bâtiments 1, 3, 4 et 5	Validé
NON RUINE EN CHAINE	
Jeu entre le bâtiment 1 et les bâtiments 4 et 5	Validé

Tableau 10-2. Stabilité des éléments de structures.

STRUCTURES	EXIGENCE DE STABILITE	TEMPS DE RUINE
Structure transversale des bâtiments 1, 3, 4 et 5	*	15 minutes
Structure longitudinale des bâtiments 1, 3, 4 et 5	*	> 34 minutes

\*Nota : Dans cette étude, nous avons évalué le temps de ruine sur la base d'un feu ISO 834 (courbe de feu normalisée). Ce temps issu de l'étude du comportement au feu est à confronter vis-à-vis de la réglementation suivant le classement du bâtiment.

En considérant les principes de renforcement présentés au § 4 et les impacts sur les massifs des pieds encastres vérifiés par ailleurs, les critères suivants propres aux structures métalliques des bâtiments 1, 3, 4 et 5 sont vérifiés sous feu normalisé ISO 834 :

- ✓ Durée de résistance au feu supérieure ou égale à 15 minutes ;
- ✓ Mode ruine vers l'intérieur ;
- ✓ Non ruine en chaîne.