

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Badji Mokhtar - Annaba

Badji Mokhtar – Annaba UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابنة

Faculté : Science de l'ingénierie
Département : Génie civil
Domaine : Science et techniques
Filière : Génie civil
Spécialité : Construction métallique et mixte

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Investigation du comportement non-linéaire des structures industrielles en acier soumise à l'incendie.

Présenté par : *Bouzana hani hocine*

Encadrant : *Dr OTMANI Nadia* Grade : *M.C.A Université Badji-Mokhtar*

Jury de Soutenance :

SLIMANI Faycel	M.C.B	Université BM-Annaba	Président
OTMANI Nadia	M.C.A	Université BM-Annaba	Encadrant
MEZIGHECHE Nawel	M.A.A	Université BM-Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier dieu qui m'a donné le courage pour finir mon travail

Un grand remerciement pour mes parents et pour toute ma famille c'elles qui m'ont doté d'une éducation digne son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui

Je tiens à remercier mon encadreur madame Nadia pour son aide et son suivi quotidien sa présence et ces conseil qui mon aidé beaucoup pour terminer ce travail

Je remercie chaleureusement les membres de jury, d'avoir accepté de juger ce travail.

Merci.

RESUME

L'objectif de ce travail concerne l'étude du comportement non-linéaire des structures industrielles en situation d'incendie, particulièrement nous nous intéressons à un portique affecté par l'incendie. D'abord une analyse mécanique à froid est effectuée avec le logiciel ABAQUS, cette analyse prouve la stabilité de la structure en situation normale (absence de sinistre). Ensuite, une analyse thermomécanique est réalisée. Cette étude numérique par la méthode des éléments finie, en utilisant le logiciel également ABAQUS est considérée afin d'évaluer la résistance au feu du portique et d'examiner son comportement mécanique. La structure est soumise à un chargement mécanique et une sollicitation thermique. Les déformations du portique en fonction de l'évolution de la température sont déterminées.

ABSTRACT

The objective of this work concerns the study of the non-linear behavior of industrial structures in a fire situation; particularly we are interested in a gantry affected by the fire. First, a cold mechanical analysis is carried out with the ABAQUS software; this analysis proves the stability of the structure in a normal situation (absence of damage). Then a thermomechanical analysis is performed. This numerical study by the finite element method, also using the ABAQUS software, is being considered in order to assess the fire resistance of the gantry and to examine its mechanical behavior. The structure is subjected to a mechanical loading and a thermal stress. The deformations of the gantry as a function of the change in temperature are determined.

SOMMAIRE

Introduction générale	10
Chapitre 1 : GENERALITES INCENDIE-DEFINITION.	
1. Introduction.....	12
2. Terminologies feu et incendie	12
2.1. Déroulement d'un incendie.....	12
2.2. Le triangle de feu.....	12
2.3. Le développement d'un incendie	13
3. Modélisation d'un incendie	15
3.1. Feu normalisé.....	15
3.2. Feu hydrocarbure.....	17
3.3. Feu extérieur	17
3.4. Feu paramétrique	18
3.5. Feu réel	18
4. Exemples de dégâts causés par l'un incendie (RFS2-CR-2007)	19
4.1. Entrepôt de Logs Santos (Espagne).....	19
4.2. Charleroi (Belgique).....	21
5. Conclusion	21
Chapitre 2 : COMPORTEMENT THERMOMECHANIQUE ET THERMOPHYSIQUES DES STRUCTURES METALLIQUES EN SITUATION D'INCENDIE	
1. Le principe de fabrication de l'acier.	23
2. Caractéristiques de l'acier	23
2.1. Résistance de l'acier	21
2.2. Déformation de l'acier	24
3. Caractéristiques thermo physique de l'acier	26
3.1. Dilatation thermique de l'acier.....	26
3.2. Chaleur spécifique de l'acier	27
3.3. Conductivité thermique de l'acier	27
4. Conclusion	28

Chapitre 3 : ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE EN SITUATION NORMALE.

1. Introduction.....	30
2. Description du Logiciel ABAQUS... ..	30
3. Description du travail	31
4. Modélisation du portique... ..	32
4.1 Géométrie de la structure.....	32
4.2 Discrétisation de la structure	32
4.3 Condition aux limites	33
4.4 Les charges	33
4.5 Analyse mécanique	34
4.6 Les résultats.....	35
5. Conclusion... ..	35

Chapitre 4 : INVESTIGATION DE LA STRUCTURE EN SITUATION D'INCENDIE

1. Description du travail... ..	37
2. Modélisation du portique avec logiciel ABAQUS.....	38
3. Analyse thermomécanique	39
3.1 Résultats de l'analyse thermomécaniques... ..	39
3.2 Déplacements horizontal de la structure.....	43
3.3 Discutassions des résultats.....	44
3.4 Déplacement vertical de structure.....	45
3.5 Interprétation des résultats des déplacements verticaux.....	49
3.6 Conclusion.....	51

Liste des figures

Chapitre 1 : Généralités incendie-définitions.

Figure 1.1. Triangle de feu...	13
Figure 1.2 : phase de développement d'un incendie	14
Figure 1.3 : feu normalisé et feu naturelle...	15
Figure 1.4 : courbe de feu normalisé...	16
Figure 1.5 : courbe de feu hydrocarbure...	17
Figure 1.6 : ruine partielle de bâtiment(a)...	19
Figure 1.7 : ruine partielle de bâtiment(b)	20
Figure 1.8 : Ruine partielle (cas réel et simulation numérique)	20
Figure 1.9 : Structure en acier effondrée vers l'intérieur	21

Chapitre 2 : Comportement thermomécaniques et thermophysique des structures métalliques.

Figure2.1 : Facteur $k_s(\theta)$ de réduction de la résistance caractéristique (f_{yk}) des armatures.....	23
Figure2.2 : La relation contrainte-déformation.....	24
Figure 2.3 : Dilatation thermique de l'acier.....	26
Figure 2.4 : Chaleur spécifique de l'acier au carbone, en fonction de la température	26
Figure 2.5 : Conductivité thermique de l'acier en fonction de la température.....	27

Chapitre 3 : Etude de comportement mécanique en situation normal.

Figure3.1 Modèle du portique à analyser.	31
Figure 3.2. Géométrie	32
Figure 3.3. Discrétisation du portique	32

Figure3.4. Conditions aux limites	33
Figure3.5. Charge appliquée	33
Figure3.6. Portique analysé.....	34
Figure3.7. Déplacement au niveau des nœuds	35

Chapitre 4 : investigation de structure en situation d'incendie

Figure 4.1. Modèle du portique à analyser. (a) Sollicitation mécanique. (b) Sollicitation thermique	37
Figure 4.2 : maillage.....	38
Figure 4.3 : Chargement mécanique, sollicitation thermique et condition au limite	38
Figure 4.4: Analyse thermomécanique du portique pour une période de 10800 secondes	39
Figure4.5 : Contrainte de Von mises pour une période de 10800 secondes (3 heures).....	39
Figure 4.6 : Déplacement total en phase de ruine	40
Figure 4.7 : Déplacement selon l'axe z	41
Figure4.8 : Déformation selon un plan principal	41
Figure4.9 : Réaction du moment au niveau des appuis	42
Figure 4.10 : Réactions des forces au niveau des appuis ...	42
Figure 4.11 : Déplacement selon l'axe x au temps $t= 60$ sec ...	43
Figure 4.12: Déplacement selon l'axe x au temps $t= 6860$ sec ...	43
Figure4.13 : Déplacement selon l'axe x au temps $t= 14400$ sec ...	44
Figure 4.14 : Déplacement selon l'axe y au temps $t=60$ sec ...	45
Figure 4.15 : Déplacement selon l'axe y au temps $t=210$ sec	45
Figure4.16 : Déplacement selon l'axe y au temps $t=851.2$ sec ...	46
Figure4.17 : Déplacement selon l'axe y au temps $t=6860$ sec (1.90 heure) ...	46
Figure4.18 : Déplacement selon l'axe y au temps $t=7200$ sec ...	47
Figure 4.19 : Déplacement selon l'axe y au temps $t=9000$ sec ...	47

Figure 4.20 : Déplacement selon l'axe y au temps $t=10800\text{sec}$...	49
Figure 4.21: Déplacement selon l'axe y au temps $t=14400\text{ sec}$...	49
Figure4.22 : Déformation dans la structure	51

Liste des tableaux

Tableau1 : valeurs température – temps pour la courbe ISO834.....	16
Tableau2 : Facteurs de réduction pour les relations contrainte déformation de l'acier au carbone aux températures élevées (EC3, 2005).....	25
Tableau3 : Déplacement vertical au milieu de la traverse du portique considéré ...	49
Tableau4 : Déplacement horizontal au milieu de la traverse du portique considéré ...	49
Tableau5: Déplacement vertical au milieu de la colonne gauche ...	50
Tableau6 : Déplacement horizontal au milieu de la colonne gauche	50

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les bâtiments industriels en charpente métallique sont dans la majorité des cas, conçus pour des raisons pratiques d'exploitation et de durabilité. Les récents événements d'incendies concernant les structures et bâtiments industriels de Sonatrach, à Alger dans une zone urbaine ou à Skikda dans une zone industrielle, nous rappellent le danger réel et le risque potentiel du feu.

L'objectif de ce travail concerne l'étude du comportement non-linéaire des structures industrielles en acier selon plusieurs scénarios de feu, particulièrement nous nous intéressons à un portique affecté par l'incendie, le dimensionnement de ce dernier est effectué avec le logiciel ROBOT. L'analyse numérique par la méthode des éléments finie en utilisant le logiciel ABAQUS est considérée afin d'évaluer la résistance du portique et d'examiner son comportement au feu. Une analyse, utilisant les non linéarités géométrique et matérielle, est conduite avec une variation progressive des températures jusqu'à la ruine. Différents taux de chargement ainsi que différents scénarios de feu seront utilisés pour évaluer la température critique ainsi que les déplacements du portique en fonction de l'évolution de la température.

CHAPITRE 1.
GENERALITES
INCENDIE-DEFINITION

1. Introduction

Le feu est la production d'une flamme et la dégradation visible d'un corps par une réaction chimique exothermique d'oxydation appelée combustion.

De manière générale, le terme « feu » désigne souvent un phénomène produisant de la lumière et de la chaleur, qu'il provienne d'une combustion ou non.

Chaque année des millions de personnes décèdent à cause du feu ; ainsi que des dégâts matériels considérables sont enregistrés.

Les objectifs de la sécurité incendie sont la protection efficace contre les risques de l'incendie des personnes et des biens, et plus précisément ils concernent :

- La sauvegarde des vies des occupants de l'immeuble.
- La protection des vies des services d'intervention.
- La protection de l'intégrité du bâtiment.
- La sauvegarde des bâtiments adjacents.

Les exigences de base de la protection incendie consistent à :

- Réduire le développement de l'incendie.
- Eviter la propagation du feu.
- Assurer l'évacuation rapide des occupants avec une relative sécurité.
- Faciliter l'intervention du corps des sapeurs-pompiers.

2. Terminologie feu et incendie :

Un feu est une combustion. On le trouve dans des fours, des chaudières sous forme de combustion contrôlée. Dans le domaine de l'incendie il devient une combustion incontrôlée. Il prend alors une dimension telle qu'il peut provoquer un incendie.

3. Déroulement d'un incendie

Quand on réfléchit aux causes d'incendie, on pense souvent à des influences extérieures. Pourtant, ce sont souvent des choses et des activités de la vie quotidienne qui provoquent un incendie. Dans le cadre de la prévention, il est important de savoir quelles sont les causes principales d'incendie.

3.1 Le triangle du feu

Pour qu'un feu (une combustion) prenne naissance, trois conditions doivent être réunies
Simultanément:

- **Présence d'un combustible** : matière inflammable solide: (bois, charbon, papier..).
Liquide :(essence, alcools...); gazeux: (butane, propane...).
- **Présence d'un carburant** : corps qui se combinant avec le combustible qui permet la combustion (oxygène, air, peroxyde...)
- **source d'inflammation** : source d'énergie nécessaire au démarrage de la combustion

(Flamme étincelle décharge électrique...)

Ces trois composantes sont souvent représentées graphiquement sous forme d'un triangle

Appelé triangle du feu



Figure 1.1. Triangle du feu

3.2 Le développement d'un incendie

Un incendie comporte une phase de développement où la température s'élève, puis une phase de décroissance où cette température diminue.

Les caractéristiques d'un incendie réel sont montrées sur la figure 1.2 et comportent :

- **Une phase courante**

Feu couvant à très basse température avec une durée souvent difficile à estimer. Cette phase n'est pas montrée sur la figure.

- **Une phase de croissance appelée « pré-flash over » (feu localisé)** La durée de cette phase dépend principalement des caractéristiques du compartiment. Le feu reste localisé jusqu'à une généralisation probable du feu.

- **Un « flash over » (feu généralise)**

C'est un feu généralisé. Cette phase est généralement très courte.

- **Une phase de « post flash over »**

Cette phase correspond à un feu généralisé dont la durée dépend de la charge calorifique et De la ventilation.

- **Une phase décroissante**

Le feu commence à diminuer jusqu'à ce que tous les matériaux combustibles aient complètement brûlé.

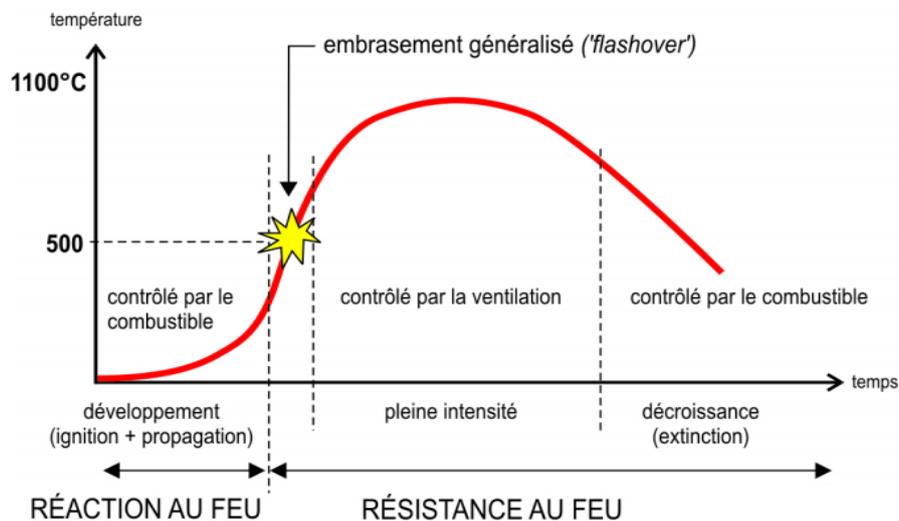


Figure 1.2. Phases de développement d'un incendie

4. Modélisation d'un incendie

La façon la plus simple de représenter un incendie est d'utiliser des courbes nominales, soit une relation donnant l'évolution de la température des gaz en fonction du temps.

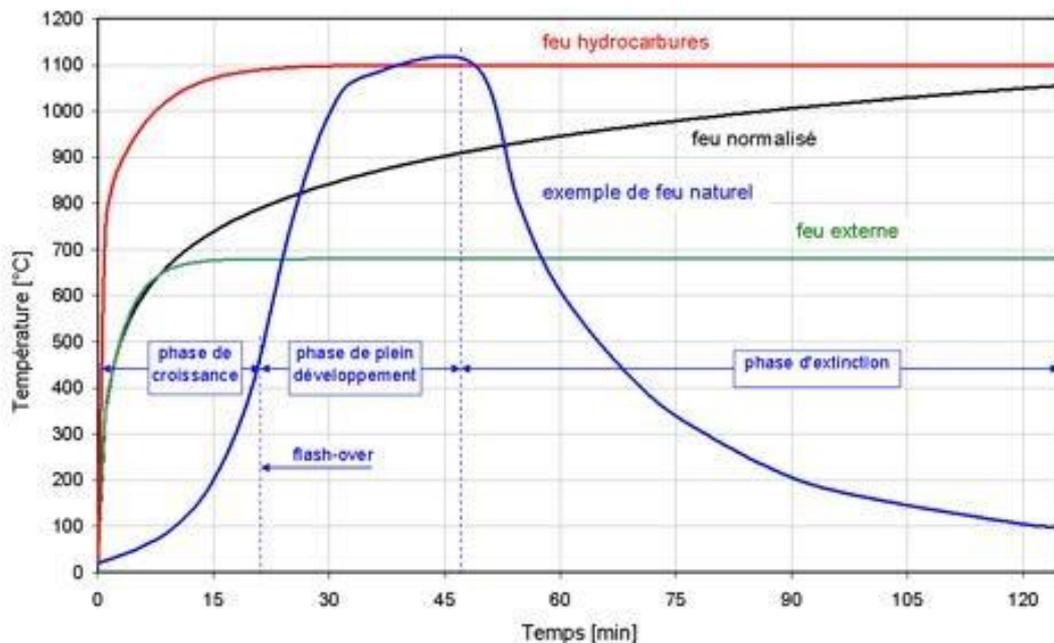


Figure 1.3. Feu normalisé et feu naturel.

Des courbes ont été établies à partir de l'expérience sur des feux réels et les plus fréquemment utilisées sont :

4.1 Feu normalisé ISO834

Le feu conventionnel est caractérisé par une température ambiante qui augmente de façon continue avec le temps mais avec un taux de croissance.

Une courbe logarithmique est utilisée en laboratoire pour modéliser le feu la valeur de durée de résistance au feu n'indique pas la durée réelle pendant laquelle une composante résiste dans un incendie de bâtiment. Elle constitue une comparaison indiquant la sévérité d'un incendie auquel la composante peut résister.

temps (min)	températures (C°)
0	20
5	576
10	678
15	739
30	842
60	945
90	1006
120	1049
180	1110
240	1153
300	1186

Tableau 1 : valeurs température – temps pour la courbe ISO834

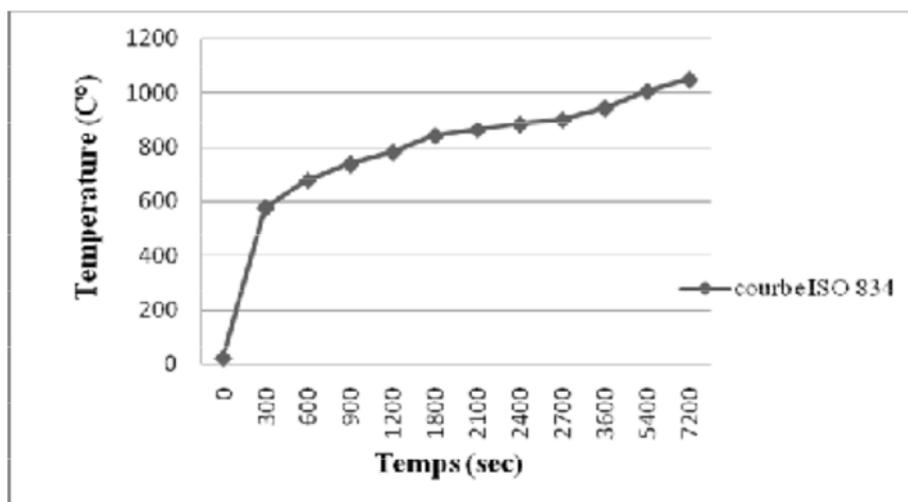


Figure 1.4 : courbe feu normalisé

4.2 Feu hydrocarbure.

Développé dans les années 70 par une compagnie pétrolière présente une montée de température très rapide jusqu'à une température de 900 °C dans les 5 premières minutes et un plateau à 1100 °C. Cette recherche avait été initiée pour mettre au point une procédure de test pour évaluer les matériaux de protection contre le feu pour les plates formes de forage en mer et les complexes pétroliers. La courbe des hydrocarbures température/temps est donnée par :

$$\theta_g = 20 + 1080 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-0.167t} - 0.675 \cdot e^{-2.5t}) \text{ ou}$$

θ_g = températures des gas en °C

t : temps en minutes

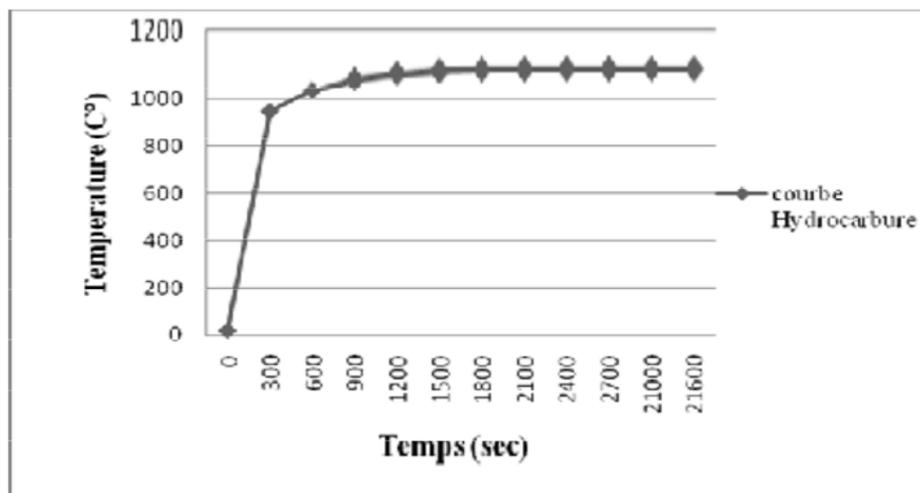


Figure 1.5 : courbe de feu hydrocarbure.

4.3 Feu extérieur

Lorsque nous examinons la résistance au feu d'une structure extérieurement, les températures des matériaux du bâtiment seront plus proche des températures d'incendie correspondant, on peut donc utiliser une courbe « d'incendie extérieure ».

La courbe de feu extérieure est une courbe plafonnée à une élévation de la température égale à $20 + 660$ C°, une température nettement inférieure à la courbe standard.

Elle s'applique directement de l'intérieur du compartiment en feu concerné ou d'un Compartiment se trouvant au-dessous ou à côté du la face sollicitée.

$$\theta_g = 20 + 660 \cdot (1 - 0.687 \cdot e^{-0.32t} - 0.313 \cdot e^{-3.8t})$$

Où : θ_g = température des gaz dans le compartiment en °C

4.4 Feu paramétrique :

Les feux paramétriques constituent un moyen simple pour tenir compte d'importants phénomènes physiques pouvant influencer le développement d'un feu dans un bâtiment particulier. Comme les feux nominaux, ils consistent en la détermination d'une courbe température-temps, mais ces courbes tiennent compte de certains paramètres destinés à idéaliser certains aspects de la réalité.

Les feux paramétriques sont basés sur l'hypothèse que la température est uniforme dans le compartiment. Ce qui limite leur champ d'application aux conditions de «flashover » dans des compartiments de dimensions modérées. Ils constituent néanmoins un pas significatif vers la considération de la nature réelle d'un feu particulier par rapport aux feux nominaux

4.5 Feu réel :

Les courbes température-temps naturelles devront être déterminées pour un compartiment spécifique.

Si le projet a été mené avec une approche performancielle, la capacité portante ou la capacité de compartimentage en alternative à la méthode qui fait référence aux classes est vérifiée vis à- vis de l'action thermique en utilisant la courbe température-temps naturelle, cette courbe température-temps naturelle peut être déterminée comme suit :

- Modèles d'incendies expérimentaux.
- Modèles d'incendies numériques simplifiés.
- Modèles d'incendies numériques avancés.

5.Exemples de dégâts causés par l'un incendie (RFS2-CR-2007)

5.1 Entrepôt de Logs Santos (Espagne)

Cet entrepôt était utilisé pour le stockage de Lucerne (Suisse). Le feu survenu n'a pas causé la ruine totale du bâtiment.



Figure 1.6 Ruine partielle du bâtiment

Le feu, localisé à Vitoria au nord d'Espagne, s'est produit le 18 mai 2001 dans un entrepôt de l'entreprise FAGOR qui appartient à MCC. L'entrepôt avait deux zones de stockage, une partie de bureaux, un vestiaire, une salle d'accueil et un local technique. Il avait quatre sorties sur la façade et une sortie sur la façade ouest et trois portails pour chargement/déchargement des camions.



Figure 1.7 Ruine partielle du bâtiment

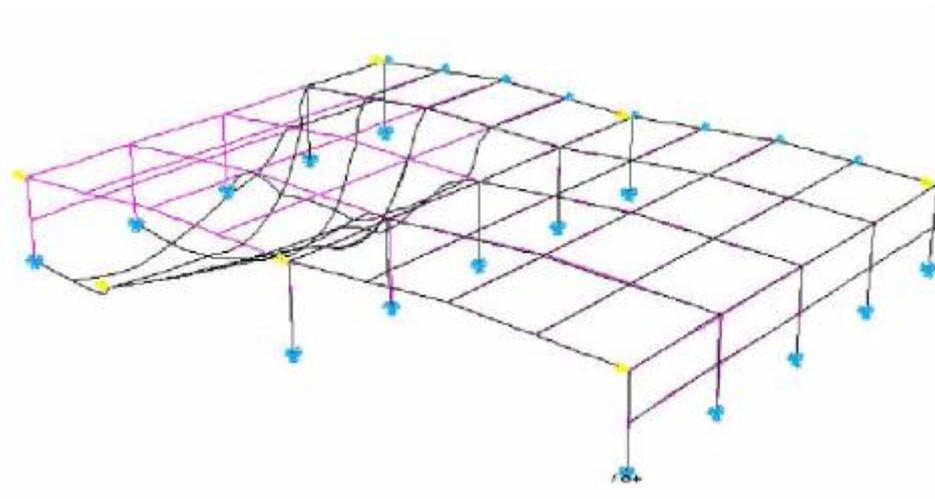


Figure 1.8 Ruine partielle (cas réel et simulation numérique)

La ruine partielle montrée dans la Figure 1.3 a été reproduite par simulation numérique. Le résultat de simulation est présenté sur les figures (1.6 et 1.7). Un comportement structural similaire a été observé aussi bien pour le toit que pour les façades et montre le degré de prédiction offert par la modélisation.

Il est à noter que l'effondrement de la structure était vers l'intérieur et n'a pas affecté les cellules avoisinantes

5.2 Charleroi (Belgique)



Figure 1.9. Structure en acier effondrée vers l'intérieur

Cet entrepôt se trouvant à Charleroi (Belgique) et couvrant une superficie de 6000 m² était destiné à une activité de stockage. La charge calorifique dans cet entrepôt était importante (une usine de stockage de vêtements recyclés). Une grande partie de cet entrepôt était destinée au stockage de rouleaux de tissu. Comme on peut le constater sur la figure 1.2, la structure en acier subit un effondrement vers l'intérieur.

6. Conclusion

Ce chapitre est consacré à la définition de l'incendie, entre autre les causes de sa naissance qu'on peut résumer par la présence simultanée de trois facteurs, formant le triangle du feu. Des exemples de dégâts provoqués par l'incendie sont également cités dans cette partie. La sécurité incendie ainsi que les mesures à prendre sont donc obligatoires. La modélisation de l'incendie (les actions thermiques) est aussi illustrée par les courbes conventionnelles utilisées dans les travaux expérimentaux et numériques.

CHAPITRE 2.

COMPORTEMENT

THERMOMECHANIQUE ET

THERMOPHYSIQUES DES

STRUCTURES

METALLIQUES EN

SITUATION D'INCENDIE

1 Le principe de fabrication de l'acier

Pour fabriquer de l'acier, il faut du minerai de fer, du charbon, de la chaux et des ferro-alliages : aluminium, chrome, manganèse, silicium, titane, vanadium... Ces derniers confèrent à l'acier des caractéristiques particulières adaptées à ses divers usages : architecture, ameublement, machines-outils, conditionnements alimentaires, etc. La fabrication nécessite aussi beaucoup d'eau pour le refroidissement des installations, la température de fusion dépassant 1.500 °C.

L'acier peut être confectionné dans deux types d'usines : dans un haut fourneau, à partir du minerai de fer et de coke (du carbone presque pur extrait du charbon), ou dans un four électrique, à partir d'acier de récupération (acier de recyclage).

2.1 Résistance de l'acier

Le facteur de réduction de la résistance caractéristique de l'acier de béton armé en fonction de la température θ est illustré à la figure 2.1

Ce facteur varie selon le type d'acier (laminé à chaud ou à froid) et en fonction de l'allongement des aciers :

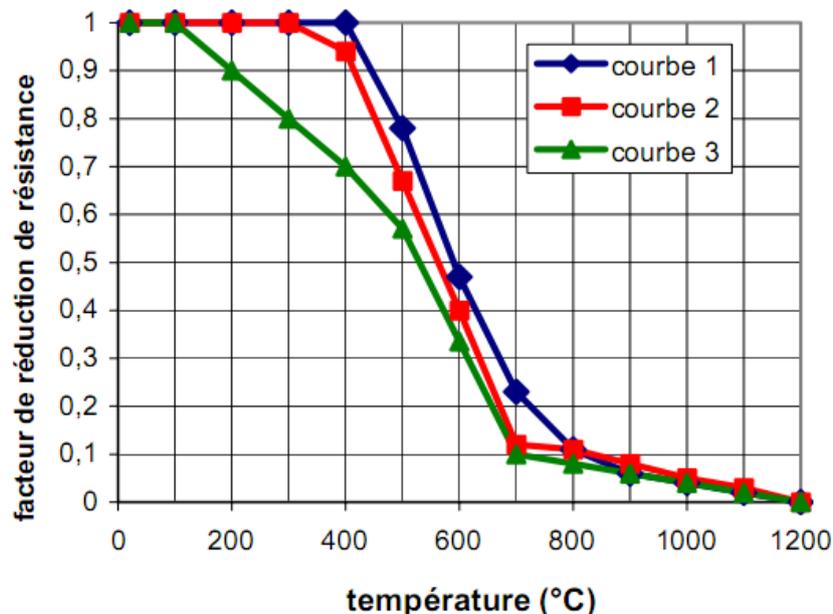


Figure 2.1. Facteur $k_s(\theta)$ de réduction de la résistance caractéristique (f_{yk}) des armatures.

Courbe1: armatures tendues (acier laminé à chaud) pour des déformations $\geq 2\%$;

Courbe2: armatures tendues (acier formé à froid) pour des déformations $\geq 2\%$;

Courbe3: armatures comprimées ou armatures tendues pour des déformations $< 2\%$.

La différence entre les courbes 1, 2 et 3 est liée au fait que les résultats expérimentaux montrent que le palier de plasticité des aciers disparaît à chaud, et que donc le facteur $k_s(\theta)$ dépend de l'allongement à la rupture.

Pour la résistance de l'acier de précontrainte la diminution de résistance est beaucoup plus rapide.

2.2. Déformation de l'acier

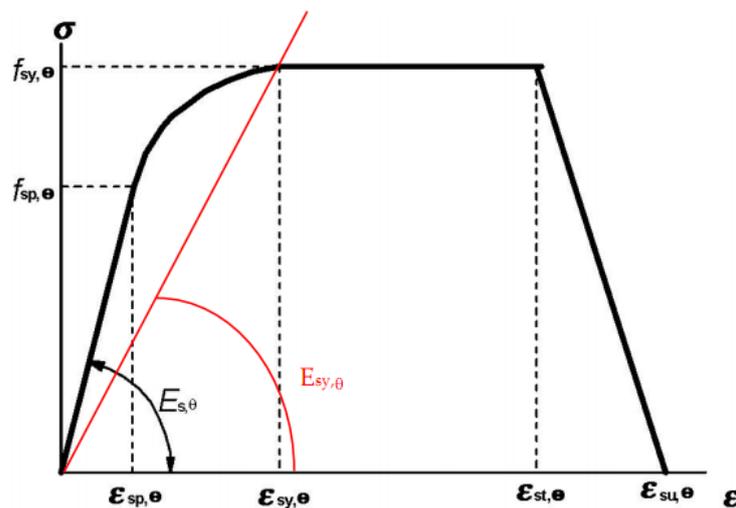


Figure 2.2. La relation contrainte-déformation.

La relation contrainte-déformation régissant le comportement mécanique est définie par les paramètres suivants :

$f_{y,q}$ Limite d'élasticité efficace ;

$f_{p,q}$ Limite de proportionnalité ;

$\epsilon_{a,q}$ Pente du domaine élastique linéaire ;

$\epsilon_{p,q}$ Déformation à la limite de proportionnalité ;

$\epsilon_{y,q}$ Déformation plastique ;

$\epsilon_{t,q}$ Déformation limite en élasticité ;

$\epsilon_{u,q}$ Déformation ultime.

Température de l'acier θ_a	Facteurs de réduction à la température θ_a par rapport à la valeur de f_y ou E_a à 20 °C		
	Facteur de réduction (par rapport à f_y) pour la limite d'élasticité efficace $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Facteur de réduction (par rapport à f_y) pour la limite de proportionnalité $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Facteur de réduction (par rapport à E_a) pour la pente du domaine élastique linéaire $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000

NOTE : Pour des valeurs intermédiaires de la température de l'acier, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Tableau 2.1. Facteurs de réduction pour les relations contrainte déformation de l'acier au carbone aux températures élevées (EC3, 2005)

Conformément à la campagne expérimentale menée par Lachal, l'acier des goujons dans ce modèle a une limite d'élasticité $f_y=350\text{MPa}$ et une résistance ultime à la traction $f_u=540\text{MPa}$ pour la poutre, la limite d'élasticité est $f_y=355\text{MPa}$ et la résistance à la traction est $f_u=510\text{MPa}$. Enfin, pour les armatures, des aciers FeE500 sont utilisés. Le comportement uni-axial de l'acier en fonction de la température est conforme aux valeurs données dans l'Eurocode 4 figure [2.3] Le modèle de plasticité de Von Mises est utilisé. Les propriétés thermiques (conduction, chaleur massique et dilatation) sont issues de l'Eurocode 4.

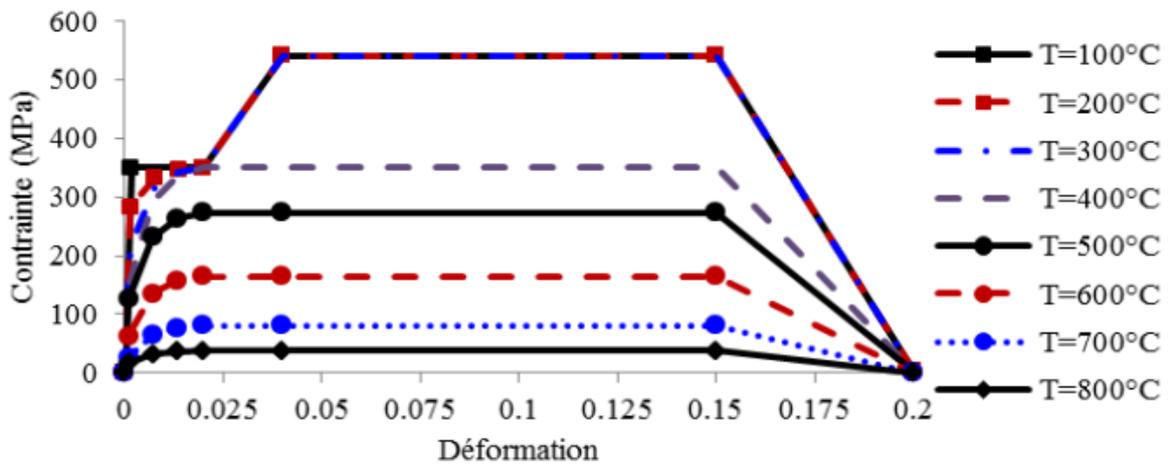


Figure 2.3 Courbe contrainte-déformation de l'acier du goujon en fonction de la Température.

3. Caractéristiques thermo physique de l'acier

3.1 Dilatation thermique de l'acier

La variation de la dilatation thermique $\epsilon_s(\theta)$ en fonction de la température est illustrée.

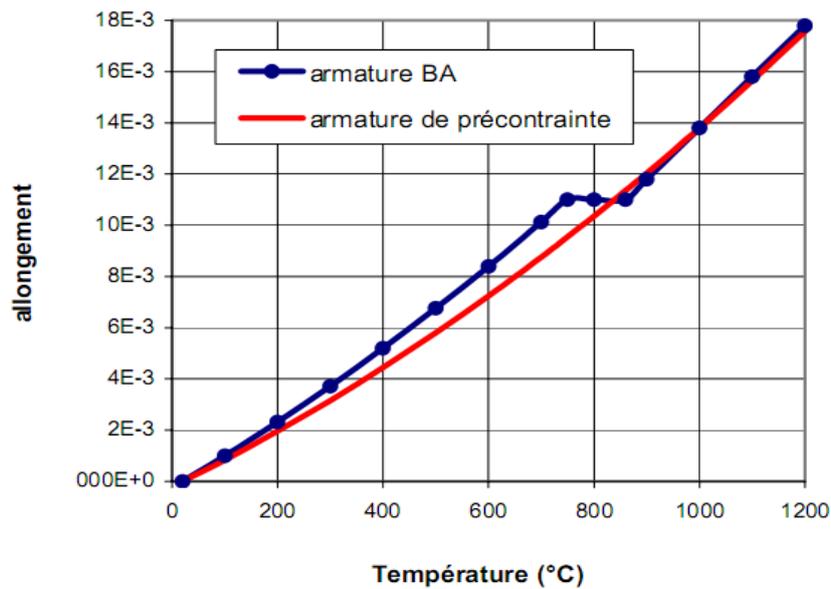


Figure 2.4 Dilatation thermique de l'acier.

3.2. Chaleur spécifique de l'acier

Les propriétés thermiques de l'acier sont définies dans l'Eurocode 3.

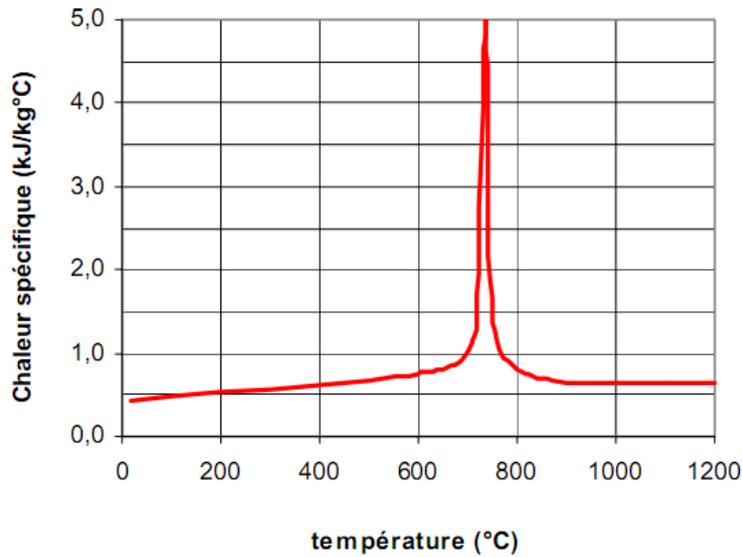


Figure 2.5. Chaleur spécifique de l'acier au carbone, en fonction de la température

3.3 Conductivité thermique de l'acier

La variation de la conductivité thermique λ_s de l'acier en fonction de la température est illustrée à la figure

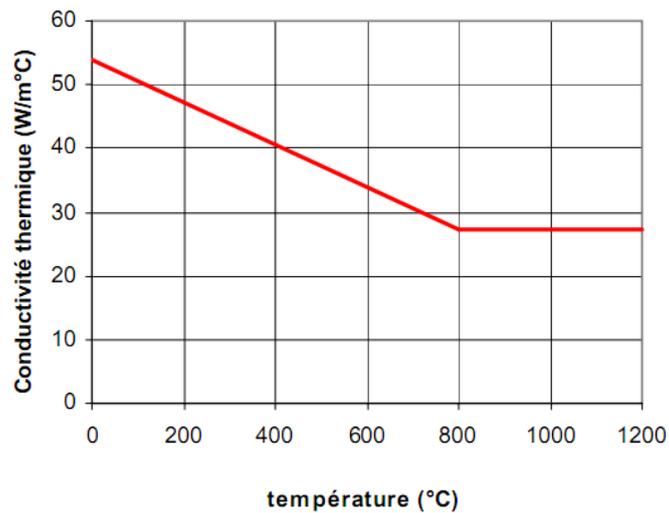


Figure 2.6. Conductivité thermique de l'acier au carbone en fonction de la température

Nous constatons une diminution de la conductivité thermique en fonction de l'évolution de la température jusqu'à la valeur de 800 C° ou elle présente un palier.

3. conclusion

Pour finir beaucoup d'incendies peuvent être évités en respectant simplement certaines règles. Il suffit déjà d'avoir un peu de bon sens. De plus, il est important d'être préparé, si un incendie devait se déclarer. Un incendie est dévastateur et provoque une charge émotionnelle importante. Il est donc essentiel de réagir vite et correctement. Les bons moyens de lutte jouent ici un rôle important. Mais il est également décisif d'être averti à temps. N'hésitez donc pas à investir dans des détecteurs de fumée, qui peuvent faire la différence entre un petit feu facile à combattre et un véritable incendie incontrôlable.

**CHAPITRE 3. ETUDE DU
COMPORTEMENT
MECANIQUE EN
SITUATION NORMAL**

1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'étudier le comportement mécanique de la structure en acier soumise aux charges verticales. L'analyse numérique par la MEF en utilisant le logiciel ABAQUS est considéré afin de vérifier la stabilité du portique à température ambiante.

2. Description du logiciel ABAQUS

ABAQUS est un code de calcul par éléments finis. Il permet de réaliser des simulations du comportement de pièces ou de structures impliquant des éléments en polymères ou en élastomères : prise en compte des non linéarités, des grandes déformations, couplage avec les effets de température.

ABAQUS se distingue par sa capacité à traiter des problèmes multi-physiques de façon réaliste notamment en s'appuyant sur 4 points forts reconnus :

- Le traitement du contact, particulièrement facile de mise en données et robuste,
- La modélisation de nombreux comportements matériels permettant de coller aux problématiques industrielles :
 - Plastification et rupture des métaux,
 - Hyper élasticité des élastomères,
 - Forte compressibilité des mousses,
 - Porosité des matériaux géotechniques (sols, roches...),
 - Compressibilité des fluides,
 - Conductivité électrique,
- La capacité à traiter des problèmes de la statique à la dynamique rapide grâce à des méthodes adaptées et incluses dans la solution,
- Le couplage multiphasique via des procédures totalement intégrées et des ouvertures vers d'autres codes de calcul.

1. Description du travail

Le modèle choisi est un portique formé de deux montants d'une hauteur égale à 8 m et d'une traverse de longueur égale à 20 m. Le poids de la toiture et des pannes est de 0,25 kN/m², le poids du bardage des façades est de 0,15 kN/m², le poids de la neige est de 0,55 kN/m² et la charge du vent est de 0,555 kN/m². L'acier considéré est de nuance S355. Aux extrémités de la traverse, la liaison de cette dernière aux montants est considérée comme rigide. A leurs bases, les montants sont articulés aux socles des fondations. Pour le calcul aux températures élevées, seules les charges verticales dues à G (toiture et bardage) et S (neige) sont considérées dans l'analyse. L'analyse mécanique en situation normale est également réalisée à l'aide du code ABAQUS. Le modèle choisi est représenté sur la figure 3.1.

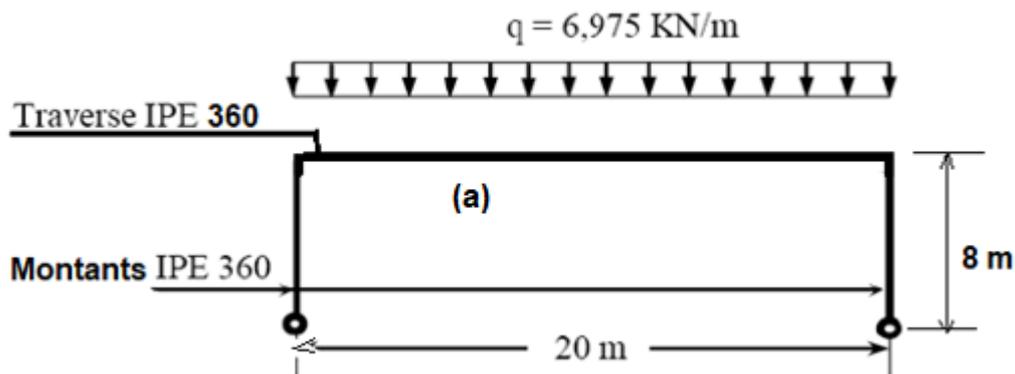


Figure 3.1 Modèle du portique à analyser.

2. Modélisation du portique

4.1 Géométrie de la structure



Figure3.2 Géométrie

Cette étape consiste à dessiner le portique considéré à l'échelle ce qui nécessite la maîtrise du logiciel, particulièrement lors de la réalisation des zones de liaison entre poteau et poutre qui doivent être rigides.

1. Discrétisation de la structure



Figure3.3 Discrétisation du portique

Le portique considéré ayant une hauteur de 8m et une section en profilé IPE360. Elle a un nombre d'élément fini égal à 18, le nombre de nœud vaut 19 nœuds.

2. Conditions aux limites



Figure 3.4 Conditions aux limites

Le portique est doublement appuyé sur ces deux extrémités inférieures, les rotations sont libres au niveau des appuis.

3. Les charges

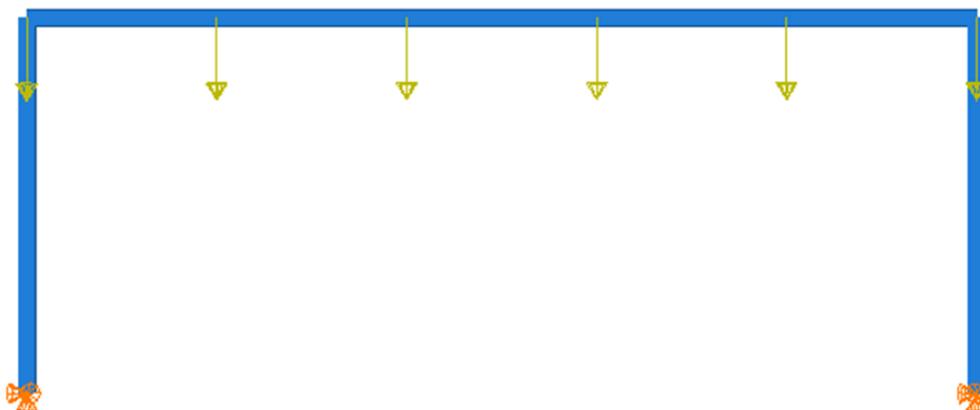


Figure 3.5 Charge appliquée

Le portique considéré supporte une charge uniformément répartie égale à 6.975KN/m .
 Poids propre de poteau et de la traverse IPE360 : 58.2 Kg/m=582 N/m = 0.582 KN/m
 Autre charge supportée par la poutre : 0.3196 KN/m² ; 0.3196*20 = 6.393 KN/m
 $Q = 6.975 \text{ KN/m}$.

4. Analyse mécanique

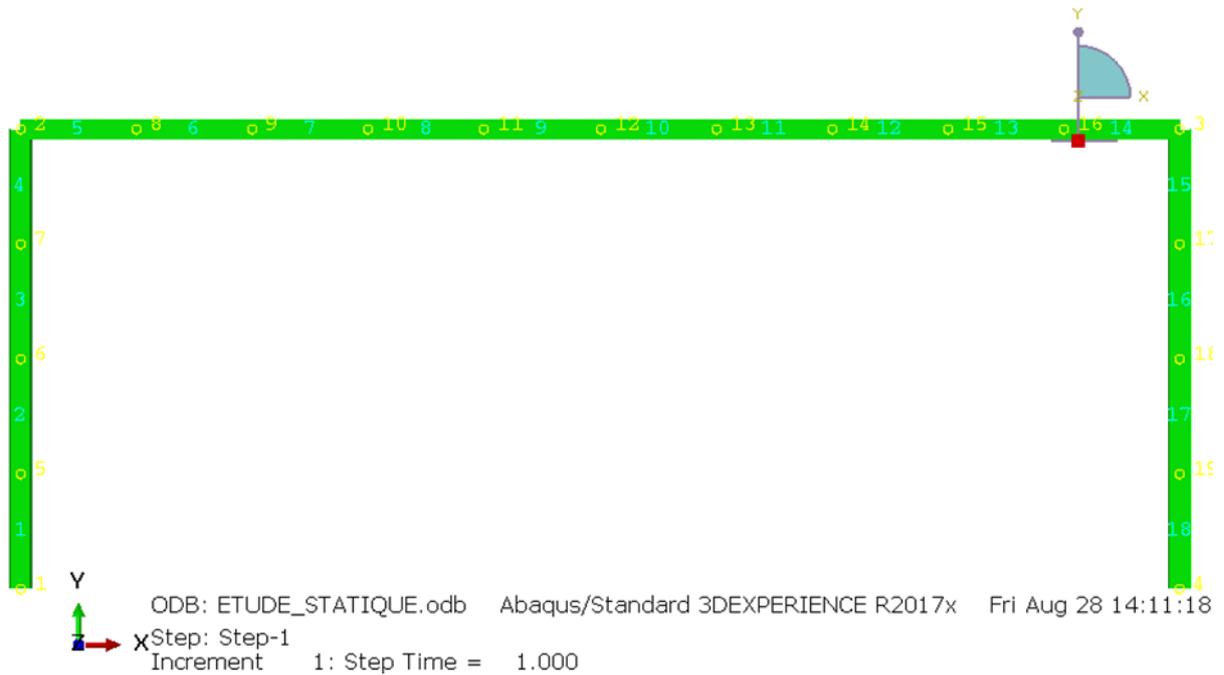


Figure 3.6 Portique analysé

CHAPITRE4.
INVESTIGATION DE LA
STRUCTURE EN
SITUATION D'INCENDIE

1. Description du travail

Le modèle choisi est un portique formé de deux montants d'une hauteur égale à 8 m et d'une traverse de longueur égale à 20 m. Le poids de la toiture et des pannes est de 0,25 kN/m², le poids du bardage des façades est de 0,15 kN/m², le poids de la neige est de 0,55 kN/m² et la charge du vent est de 0,555 kN/m². L'acier considéré est de nuance S355. Aux extrémités de la traverse, la liaison de cette dernière aux montants est considérée comme rigide. A leurs bases, les montants sont articulés aux socles des fondations. Pour le calcul aux températures élevées, seules les charges verticales dues à G (toiture et bardage) et S (neige) sont considérées dans l'analyse. L'analyse mécanique en situation d'incendie est également réalisée à l'aide du code ABAQUS. Le modèle choisi est représenté sur la figure 4.1

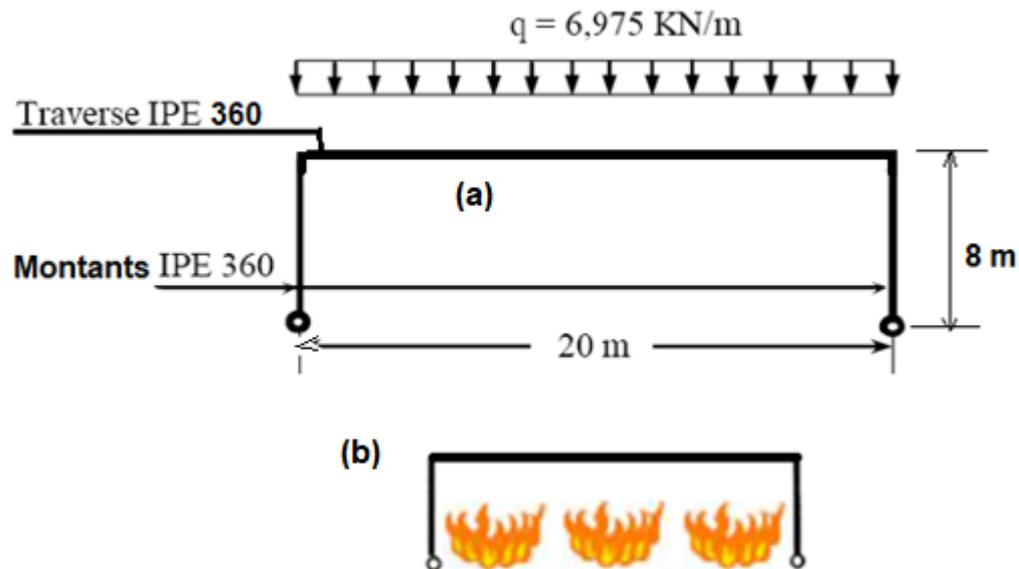


Figure 4.1 Modèle du portique à analyser. (a) Sollicitation mécanique. (b) Sollicitation thermique

2. Modélisation du portique à l'aide du logiciel ABAQUS



Figure4.2 Maillage

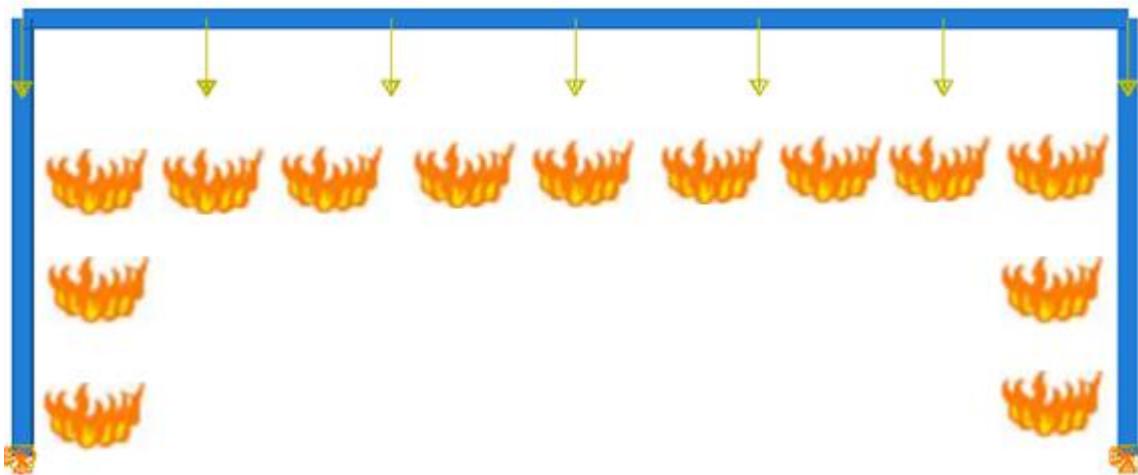


Figure4.3 Chargement mécanique, sollicitation thermique et condition aux limites

Le portique est soumis à une charge mécanique uniformément répartie selon toute la traverse. Il suppose affecté par l'incendie (la totalité de ses éléments est atteinte par le feu. Initialement la température des éléments du portique est égale à 20°C. L'incendie provoque l'augmentation de la température dans les différents du portique. Dans ce travail, la simulation est effectuée avec ABAQUS, en réalisant l'analyse thermomécanique, nous supposons que la température maximale est de 1000°C.

3. Analyse thermomécanique

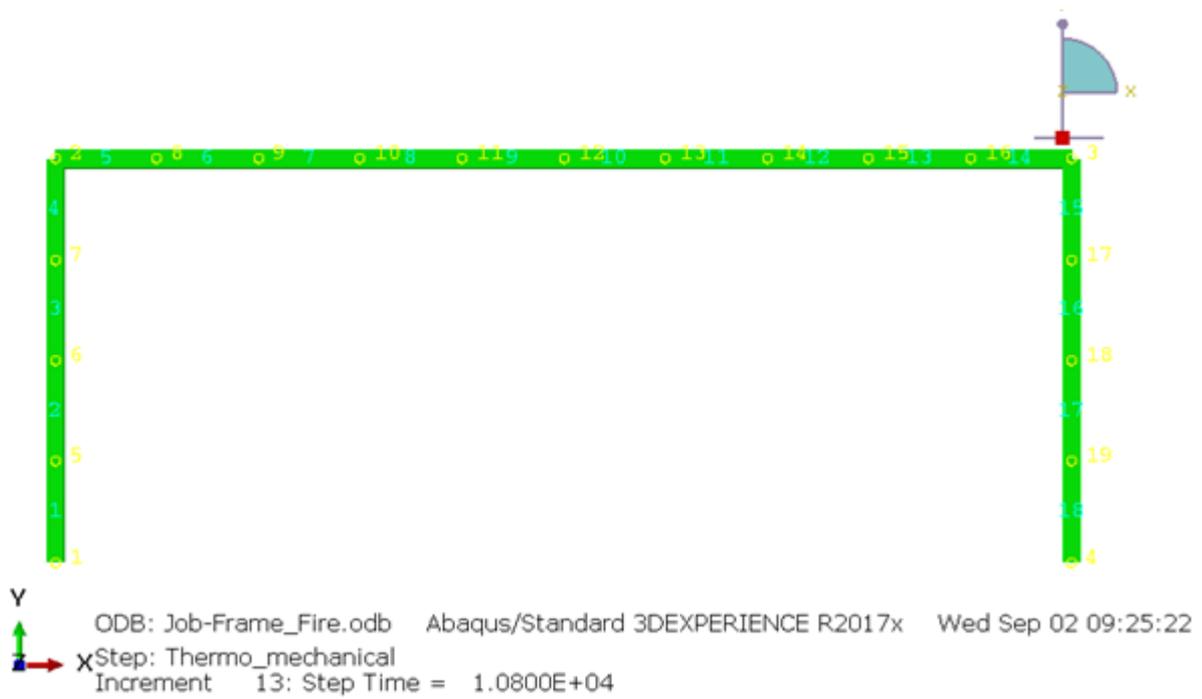


Figure 4.4. Analyse thermomécanique du portique pour une période de 10800 secondes

3.1 Résultats de l'analyse thermomécanique

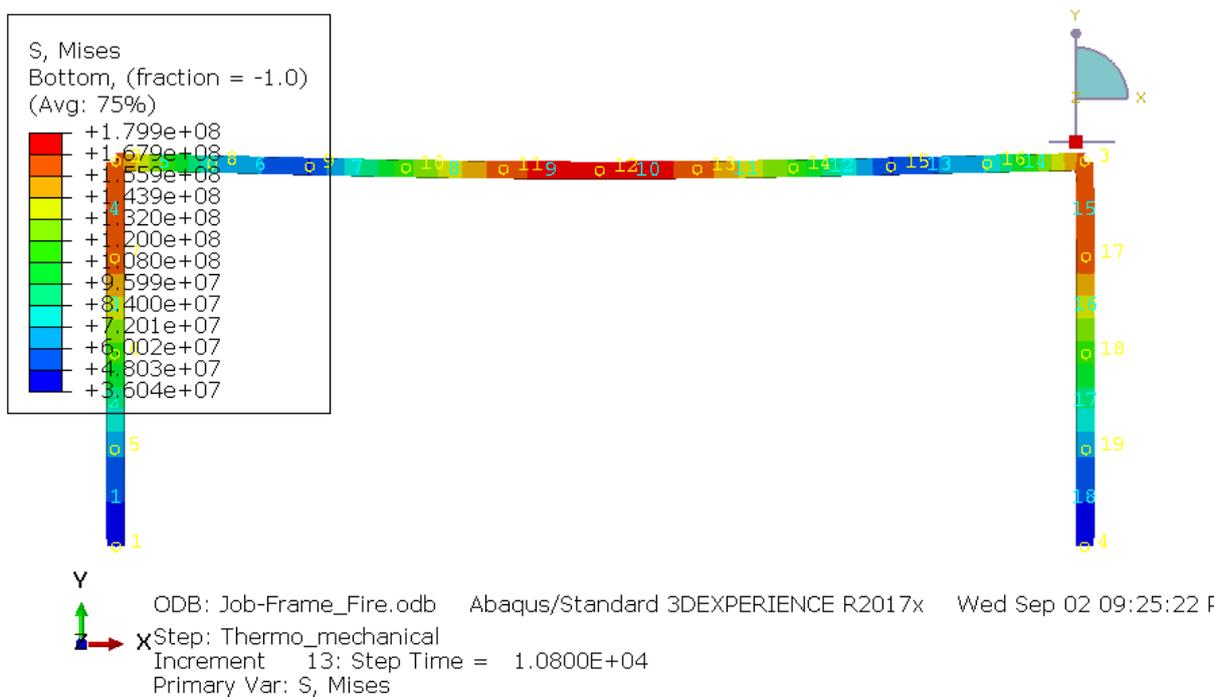


Figure 4.5 Contrainte de Von mises pour une période de 10800 secondes (3 heures)

Cette figure montre les résultats concernant la variation de la contrainte de Von mises, la valeur maximale de la contrainte est égale à $17990 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$.

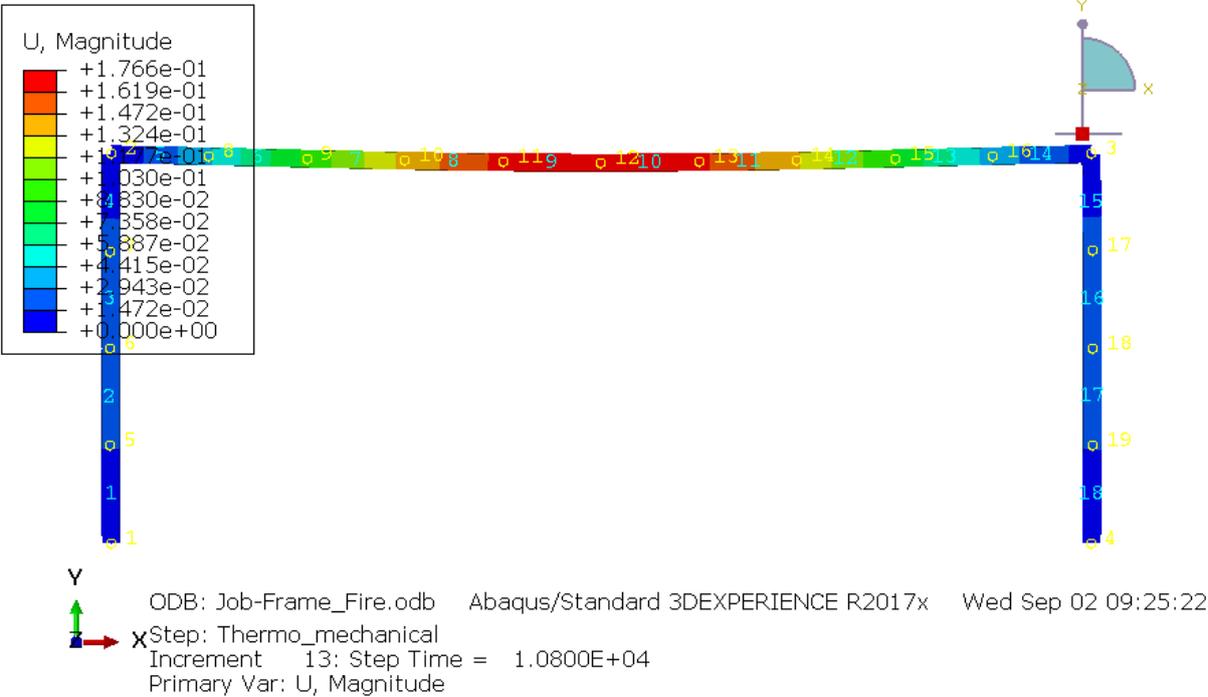


Figure4.6 Déplacement total en phase de ruine

Le déplacement total de la structure est montré dans la figure 4.6 la valeur la plus importante se trouve au milieu de la traverse, cette valeur vaut 17.66 cm.

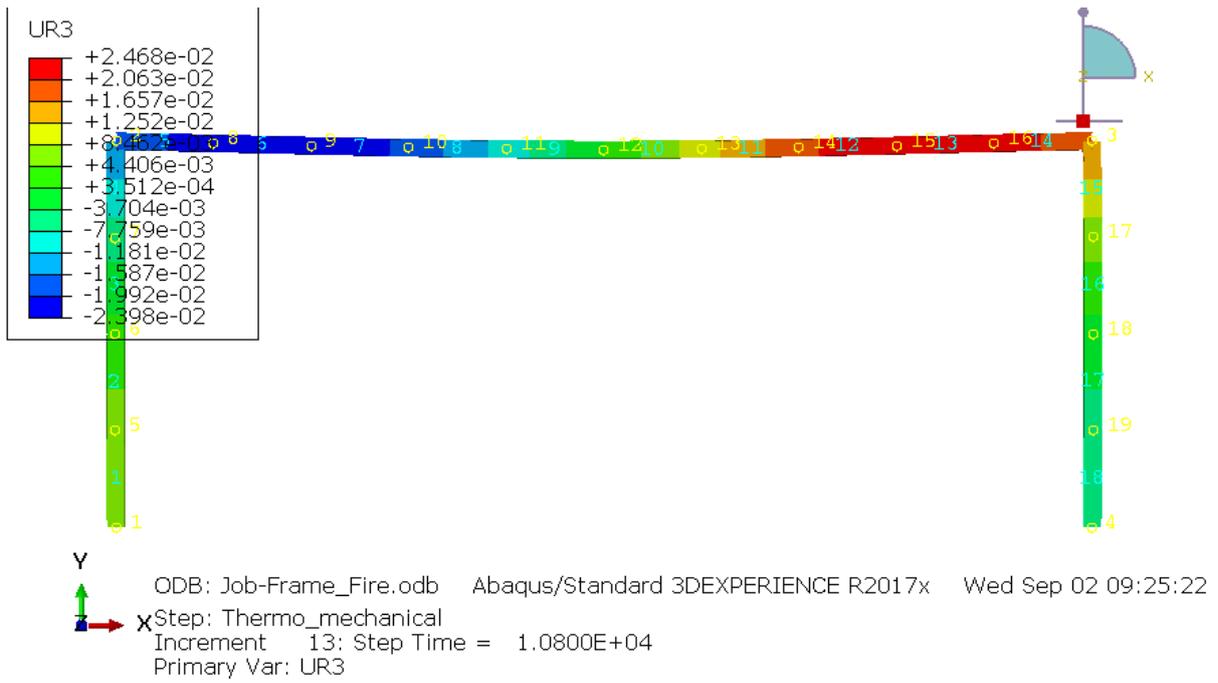


Figure4.7 Déplacement selon l'axe z

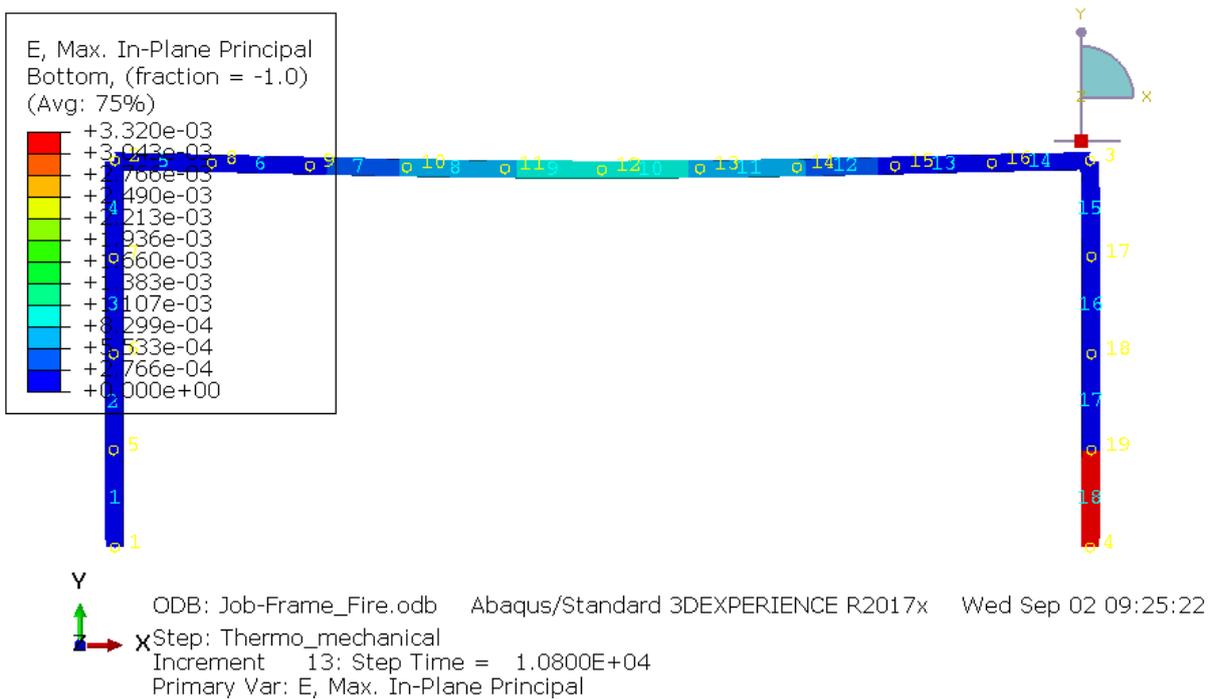


Figure4.8 Déformation selon un plan principal

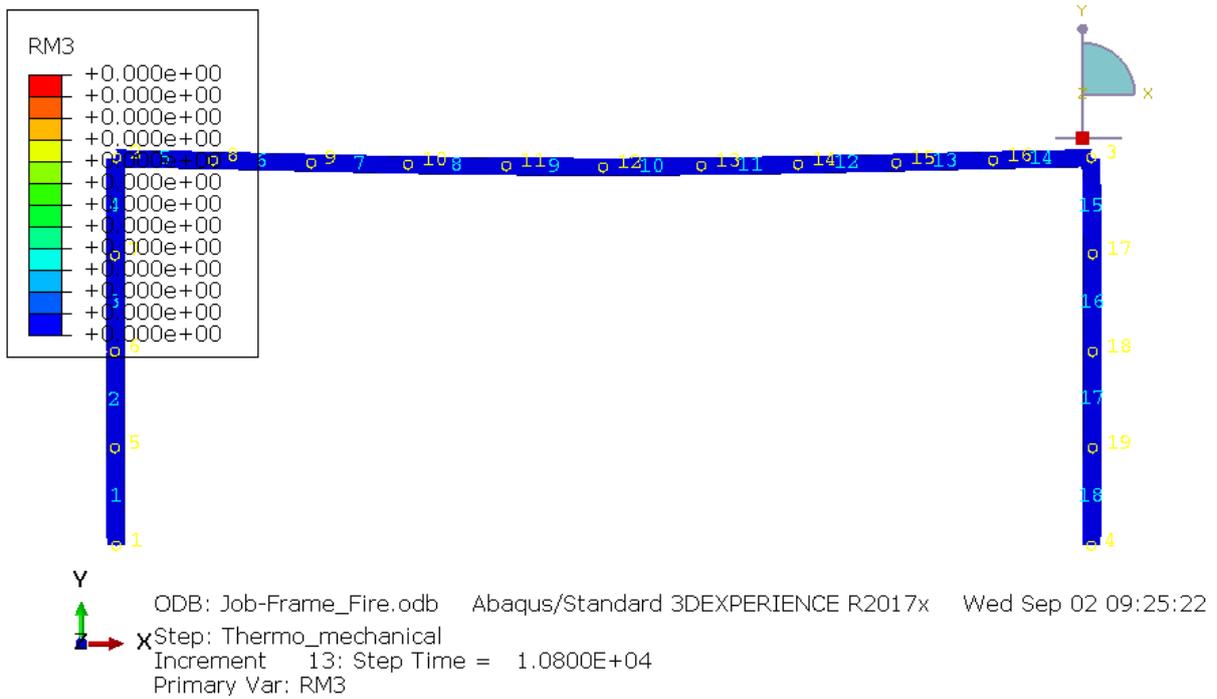


Figure4.9 Réaction du moment au niveau des appuis

La Figure 4.9 présente les réactions du moment en appuis, ces réactions sont nulles ce qui est conforme aux conditions aux limites.

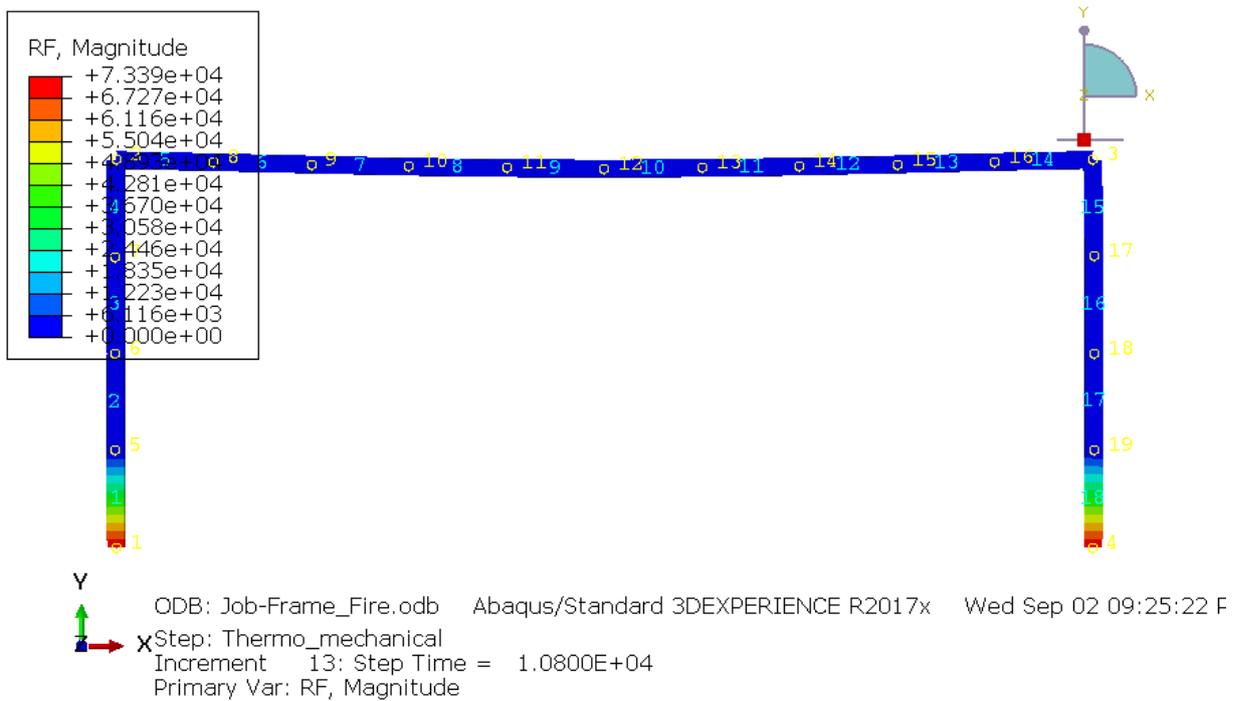


Figure4.10 Réactions des forces au niveau des appuis

Les réactions des forces au niveau des appuis sont montrées dans cette figure, pour les deux appuis la valeur est de 7339 N.

3.2 Déplacement horizontal de la structure

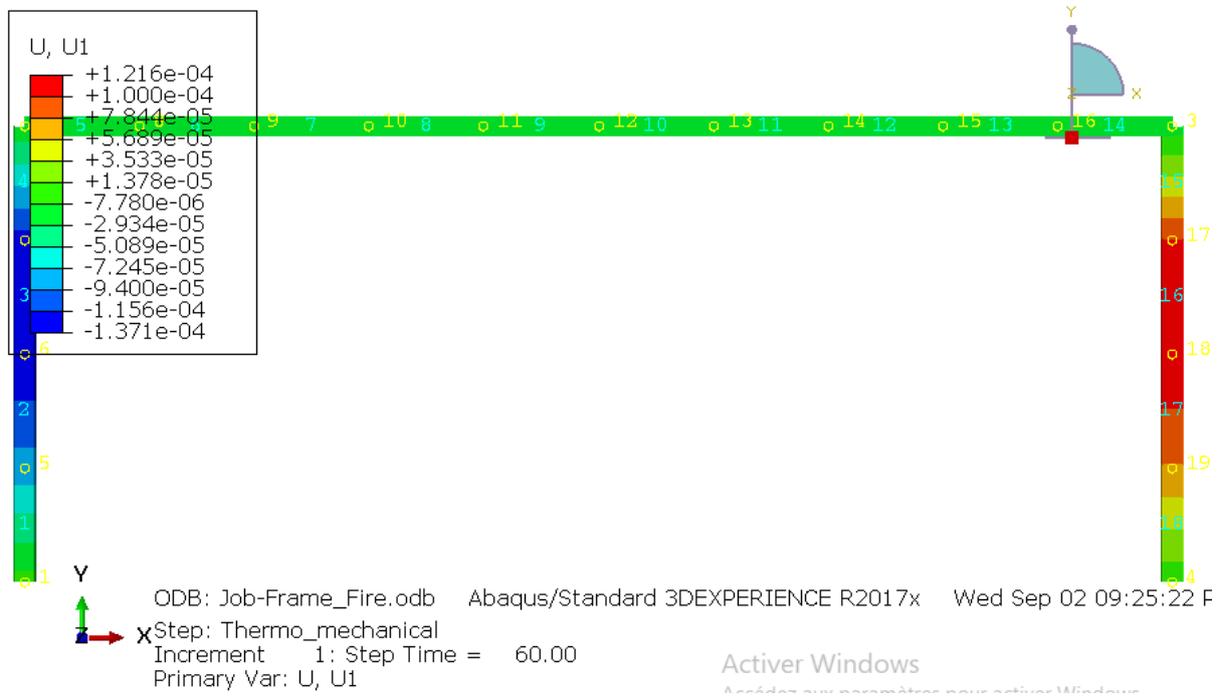


Figure 4.11 Déplacement selon l'axe x au temps t= 60 sec

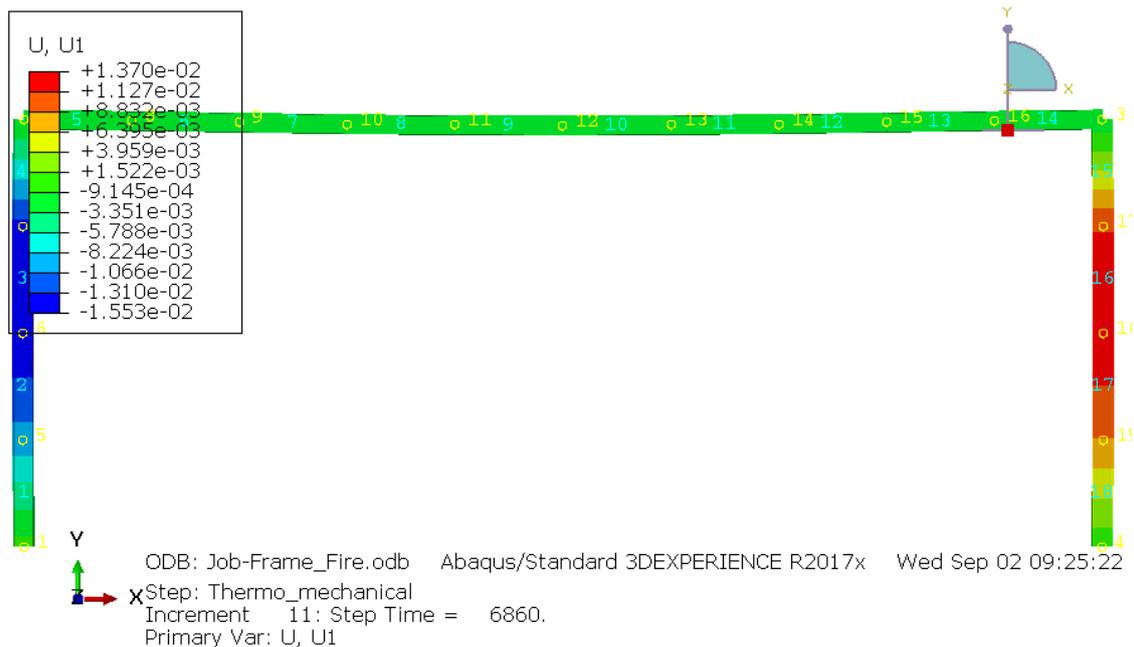


Figure 4.12 Déplacement selon l'axe x au temps t= 6860 sec

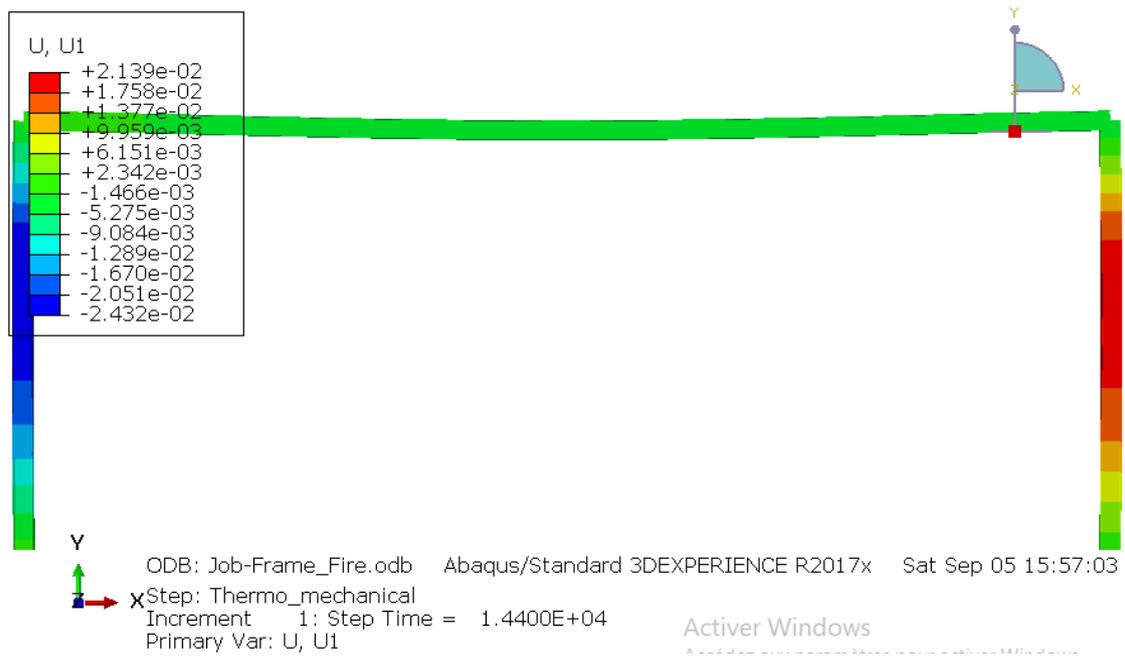


Figure4.13 Déplacement selon l'axe x au temps t= 14400 sec

3.3 Discussions des résultats

On constate que le déplacement horizontal dans les colonnes est supérieur à celui de la poutre. Le déplacement horizontal maximal est égal à -2.4310^{-2} m = -2.43 cm (sens opposé au sens de l'axe x), cette valeur correspondant à la mi-hauteur de la colonne gauche. De même pour la colonne droite, celle-ci subit un déplacement horizontal à sa mi-hauteur de sens contraire à celui de la colonne gauche, sa valeur est de 2.14 cm.

3.4 Déplacement vertical de la structure

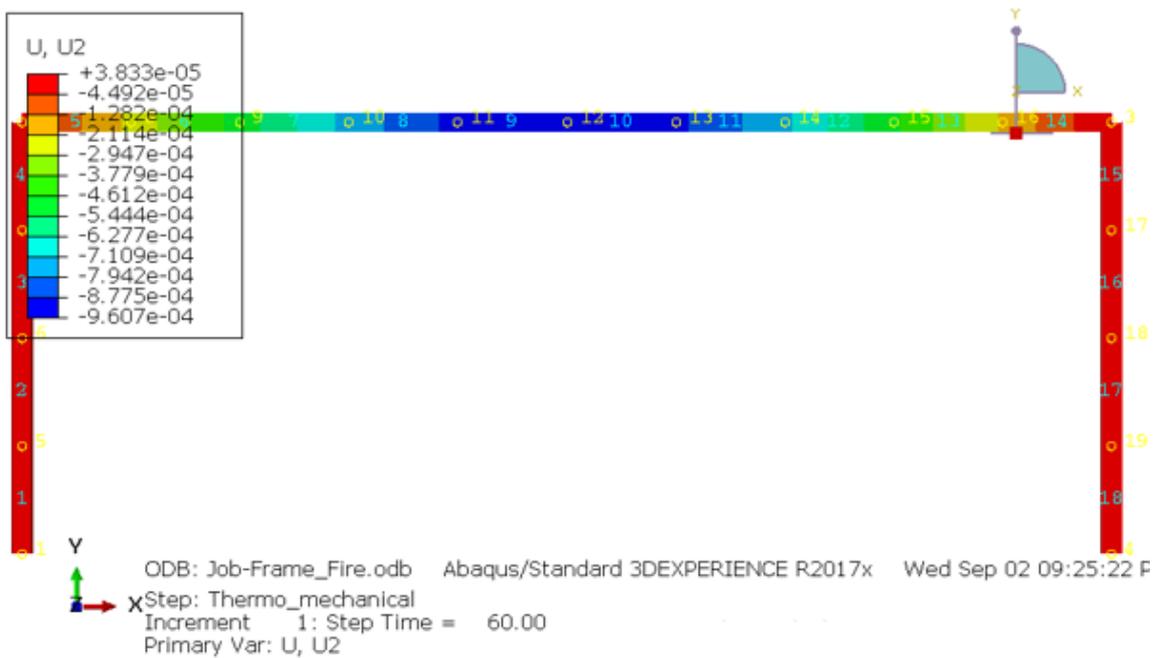


Figure4.14 Déplacement selon l'axe y au temps t=60sec

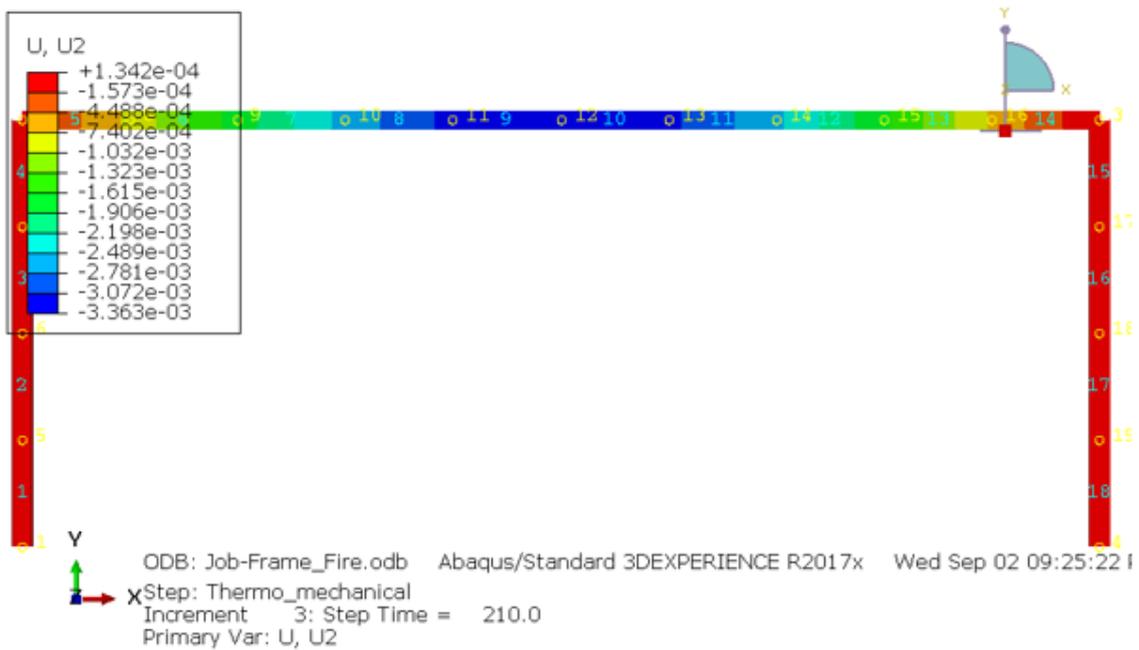


Figure4.15 Déplacement selon l'axe y au temps t=210 sec

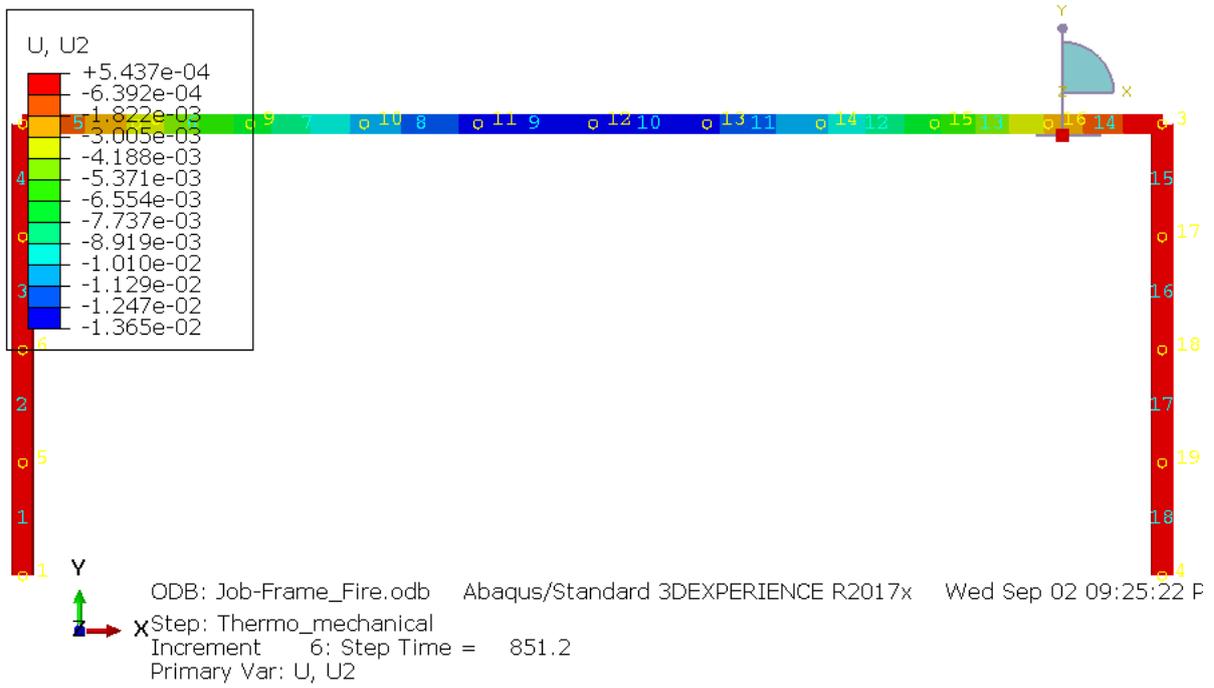


Figure4.16 Déplacement selon l'axe y au temps t=851.2 sec

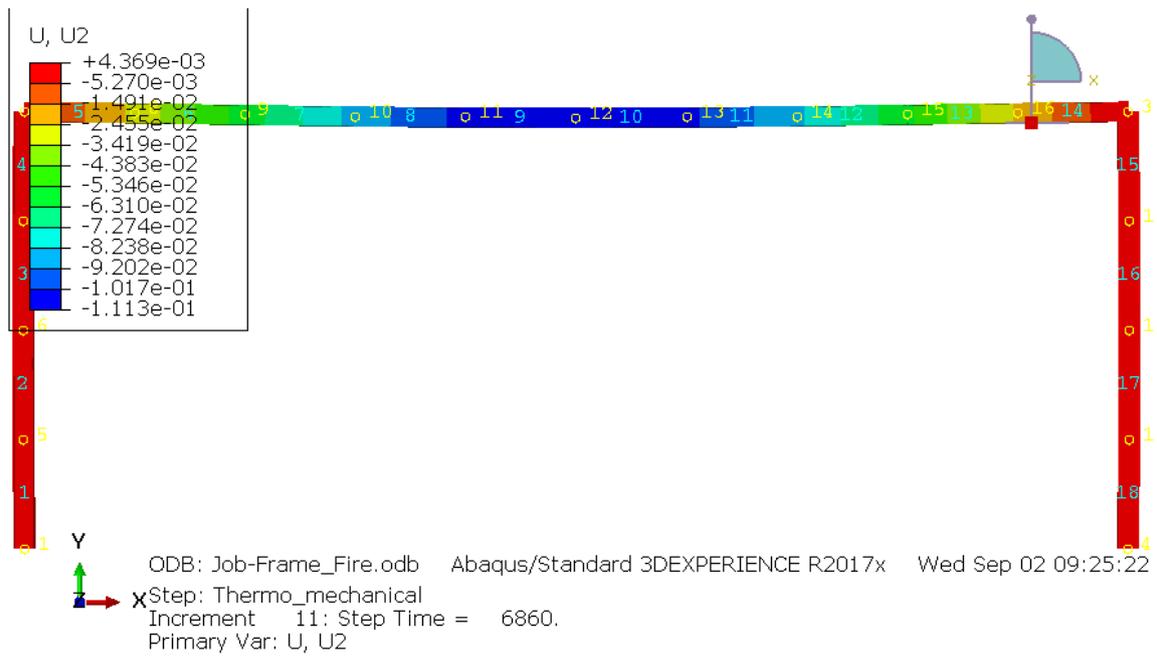


Figure4.17 Déplacement selon l'axe y au temps t=6860 sec (1.90 heure)

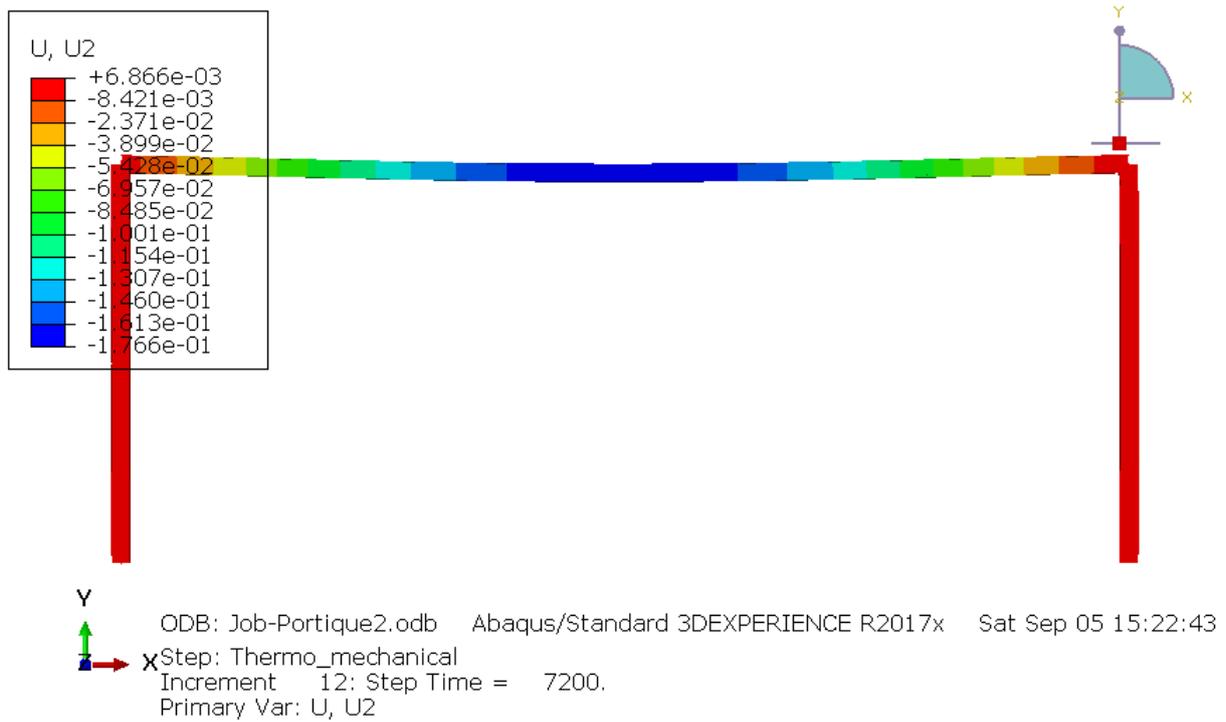


Figure4.18 Déplacement selon l'axe y au temps t=7200sec

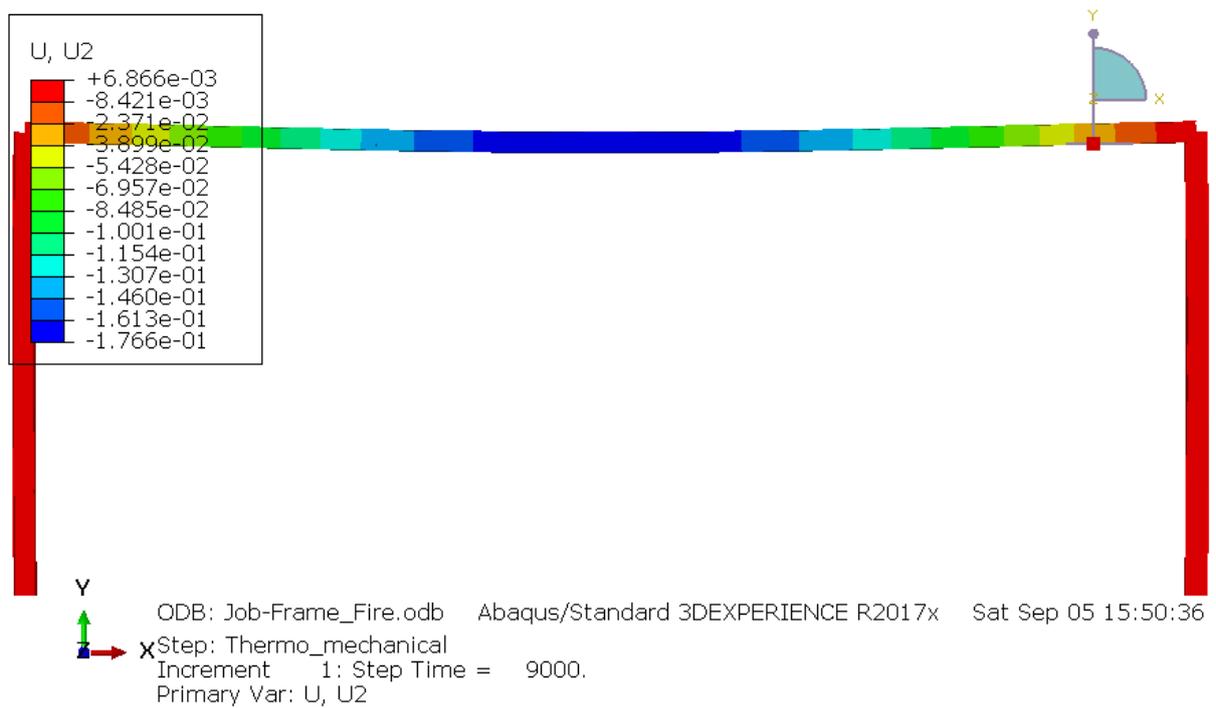


Figure4.19 Déplacement selon l'axe y au temps t=9000sec

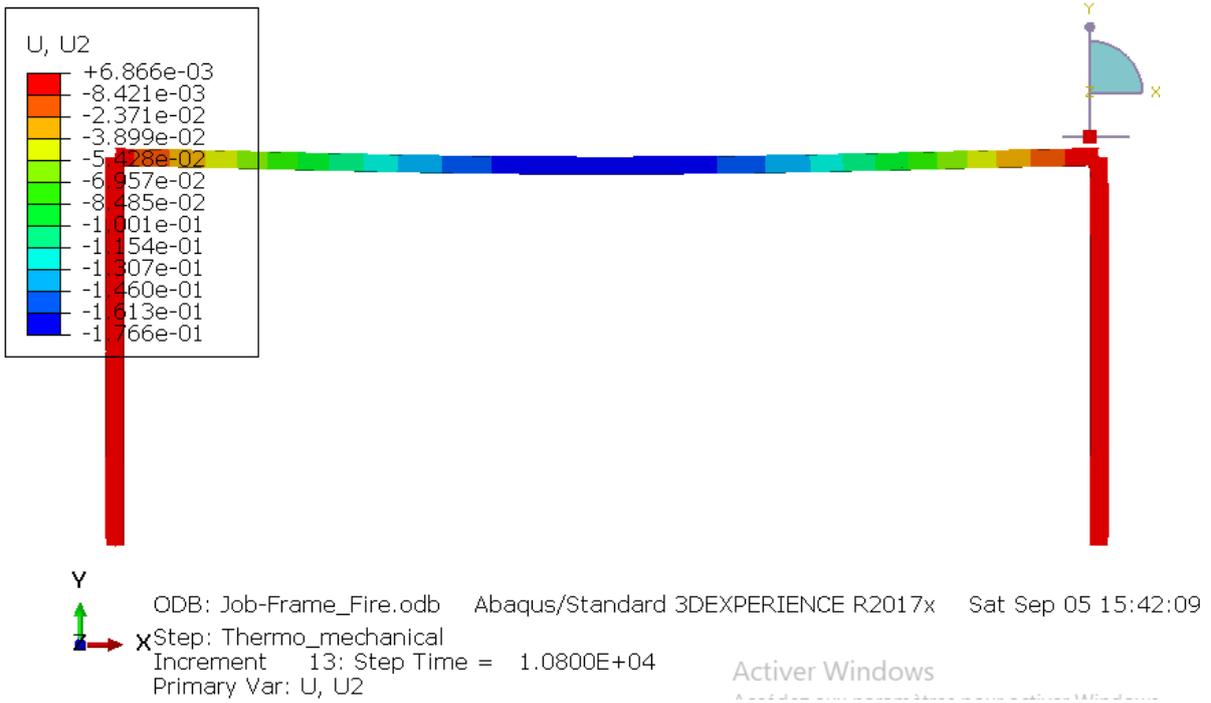


Figure4.20 Déplacement selon l'axe y au temps t=10800sec

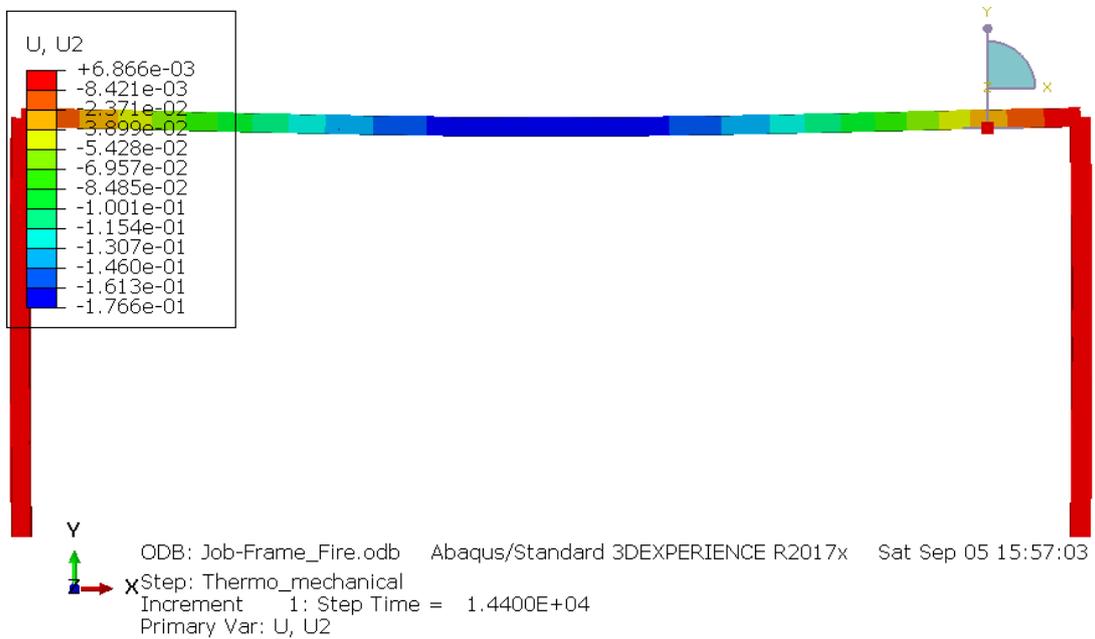


Figure4.21 Déplacement selon l'axe y au temps t=14400 sec

3.5 Interprétation des résultats des déplacements verticaux

On note que le déplacement vertical dans la poutre est supérieur à celui du déplacement vertical des deux colonnes. Le déplacement vertical maximal est égal à 17.66 cm (sens opposé au sens de l'axe y), cette valeur correspondant à la mi-longueur de la poutre.

On remarque également que cette valeur est observé au temps $t=7200\text{sec}$ (120min= 2heures), elle reste par la suite stationnaire jusqu'au temps maximal donné dans l'analyse thermomécanique (tableau1).

Tableau 1 : Déplacement vertical au milieu de la traverse du portique considéré

Temps (sec)	Temps (min)	U 2 trav (mm)
60	1	-0.877
210	3.5	-3.36
6860	114	-111
7200	120	-161
9000	150	-176.6
10800	180	-176.6
14400	240	-176.6

Tableau 2 : Déplacement horizontal au milieu de la traverse du portique considéré

Temps (sec)	Temps (min)	U1 trav (mm)
60	1	-0.03
210	3.5	-1.46
6860	114	-3.35
7200	120	-4.10
9000	150	-5.27
10800	180	-5.27
14400	240	-5.27

Tableau 3 : Déplacement vertical au milieu de la colonne gauche

Temps (sec)	Temps (min)	U2 col (mm)
60	1	-0.04
210	3.5	-0.16
6860	114	-5.27
7200	120	-8.42
9000	150	-8.42
10800	180	-8.42
14400	240	-8.42

Tableau 4: Déplacement horizontal au milieu de la colonne gauche

Temps (sec)	Temps (min)	U1 col (mm)
60	1	- 0.14
210	3.5	-3.30
6860	114	-15.5
7200	120	-24.3
9000	150	-24.3
10800	180	-24.3
14400	240	-24.3

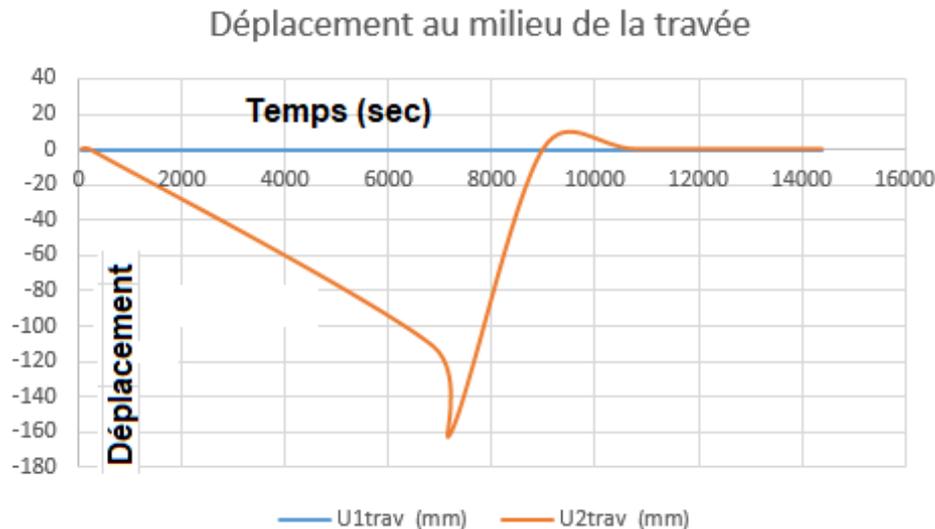


Figure 4.22 Déformation dans la structure

La figure 4.22 montre le déplacement au point qui se trouve à la mi travée de la poutre, c'est ce point qui a subi le plus grand déplacement (U2), dirigé vers le bas, représentant une flèche très importante au temps 7200 sec. Le déplacement horizontal (U1) est nul en ce point, on peut expliquer ce ci par l'absence de charge horizontale. D'après cette figure, la structure a cessé de se déformer au temps $t=10800\text{sec} = 180\text{s} = 3 \text{ heures}$. Ce temps désigne la résistance au feu du portique considéré.

4. Conclusions

L'analyse non linéaire, thermomécanique nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✧ On observe que les éléments du portique subissent des dilatations thermiques, la poutre fléchit vers le bas les poteaux se déforment horizontalement (phénomène de flambage).
- ✧ Le déplacement horizontal maximal a été observé au niveau des colonnes, particulièrement au milieu de la hauteur, il est de 2.43 cm.
- ✧ Le déplacement vertical maximal est égal à 17.66 cm, cette valeur correspondant à la mi-longueur de la traverse. Cette valeur correspond au temps de 120min ; en continuant les simulations pour des temps supérieurs, on note que le déplacement prend des valeurs plus faibles jusqu'au temps 10800sec (180min=3 heures) la déformation prend la valeur zéro.

✧ On déduit, ainsi, que la structure est ruinée au temps 180min, cette ruine est forcément causée par l'incendie, qui a endommagé les caractéristiques mécaniques de l'acier ; étant donné que cette structure a été étudiée en situation normale (absence d'incendie), les résultats (chapitre3) ont prouvé sa stabilité.

✧ On peut dire ainsi, que la ruine de la structure totale a commencé par l'endommagement de la poutre car les plus grandes déformations se trouvent dans la poutre, ce qui est dû à la travée qui est importante.

CHAPITRE 5.
CONCLUSIONS
GENERALES

1. Conclusion partie étude bibliographique

Le premier chapitre est consacré à la définition de l'incendie, entre autre les causes de sa naissance qu'on peut résumer par la présence simultanée de trois facteurs, formant le triangle du feu. Des exemples de dégâts provoqués par l'incendie sont également cités dans cette partie. La sécurité incendie ainsi que les mesures à prendre sont donc obligatoires. La modélisation de l'incendie (les actions thermiques) est aussi illustrée par les courbes conventionnelles utilisées dans les travaux expérimentaux et numériques.

Par ailleurs, beaucoup d'incendies peuvent être évités en respectant simplement certaines règles. Il suffit d'avoir un peu de bon sens. De plus, il est important d'être préparé, si un incendie devait se déclarer. Un incendie est dévastateur et provoque une charge émotionnelle importante. Il est donc essentiel de réagir vite et correctement. Les bons moyens de lutte jouent ici un rôle important. Mais il est également décisif d'être averti à temps. N'hésitez donc pas à investir dans des détecteurs de fumée, qui peuvent faire la différence entre un petit feu facile à combattre et un véritable incendie incontrôlable.

2. Conclusions de la partie projet

✧ D'après l'analyse mécanique à température ambiante ($T=20^\circ$), on conclut que la structure est stable en situation normal (pas d'incendie).

L'analyse thermomécanique (présence d'incendie) nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

✧ On observe que les éléments du portique subissent des dilatations thermiques, la poutre fléchit vers le bas les poteaux se déforment horizontalement (phénomène de flambage).

✧ Le déplacement horizontal maximal a été observé au niveau des colonnes, particulièrement au milieu de la hauteur, il est de 2.43 cm.

✧ Le déplacement vertical maximal est égal à 17.66 cm, cette valeur correspondant à la mi-longueur de la traverse. Cette valeur a apparu au temps de 120min ; en continuant les

simulations pour des temps supérieurs, on note que le déplacement prend des valeurs plus faibles jusqu'au temps 10800sec (180min=3 heures) la déformation prend la valeur zéro.

✧ On déduit, ainsi, que la structure est ruinée au temps 180min, cette ruine est forcément causée par l'incendie, qui a endommagé les caractéristiques mécaniques de l'acier ; étant donné que cette structure a été étudiée en situation normale (absence d'incendie), les résultats (chapitre3) ont prouvé sa stabilité.

✧ On peut dire ainsi, que la ruine de la structure totale a commencé par l'endommagement de la poutre car les plus grandes déformations se trouvent dans la poutre, ce qui est dû à la travée qui est importante.

✧ La structure a cessé de se déformer au temps $t=10800\text{sec} = 180\text{min} = 3 \text{ heures}$. Ce temps désigne la résistance au feu du portique considéré.

Recommandations

- La traverse doit être conçu d'une autre manière, utiliser deux versants avec une pente
- Utiliser différents chargements mécaniques
- Utiliser d'autres scénario de feu : appliquer le feu uniquement autour des colonnes ou uniquement au niveau de la poutre.

Références

- EN 1993-1-1. Eurocode 3 : Octobre2005: Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. COMITE EUROPEEN DE NORMALISATION (CEN).
- EN 1993-1-2. Eurocode 3 : Novembre2005.Calcul des structures en acier – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu. COMITE EUROPEEN DE NORMALISATION (CEN),
- ABAQUS www.mediafire.com/file/0taf7n960p39fed/Abaqus2017.rar/file
- G. Béranger, G. Henry, G. Sauz(1994), le livre de l'acier, Ed Technique et documentation-lavoisier, Paris.
- Debbah Abdellah, Brahmia Wassim Décembre 2016, Utilisation des logiciels de calcul dans Le domaine de génie civil
- Nadia Otmani-Benmehidi Mai 2015 Modélisation de portiques en situation d'incendie université Badji Mokhtar Annaba
- LinHai H., Y. Q Zheng,., Tao, Z.,. Fire Performance of Steel-Reinforced Concrete Beam-Column Joints, Magazine of Concrete Research 61, p.499, (2009)
- C. DIRMER, Sécurité contre l'incendie dans les établissements recevant du public (ERP) Techniques de l'Ingénieur, traité Construction, Doc. C 3 280 – 2, 2006