Pièce n°25

Attestation de résistance au feu de la structure du bâtiment

Edition du : 21/12/2020

NOTE DE CALCUL

INGENIERIE INCENDIE –ind B

AVENUE DES JEUX

-

Viellevigne (44)

N° DOSSIER : 29 735
N° CDE : 11 021

ind	Modification
A	Original
B	Mise à jour repérage des cellules

SOMMAIRE

SOMMAIRE 2
I. Introduction : 3
II. Objectifs de sécurité et critères associés : 4
III. Documents de référence 4
A. Liste des plans marché charpente 4
B. Listes des plans BRIAND 4
C. Liste des notes de calcul : 4
D. Codes et règlements : 4
E. Logiciel de calcul : 4
1. Calculs incendie : vérification mécanique 4
2. Calcul à froid : 5
IV. Conception et géométrie : 5
A. Caractéristiques globales de l'entrepôt 5
B. Descriptif des cellules 7
C. Coupes sur ossature longitudinale 9
D. Coupe sur ossatures transversales 12
E. Hypothèses de chargement : 15
1. Charges permanentes : 15
2. Neige : 15
3. Incendie 15
V. Calcul thermique : échauffements des profilés : 18
A. Modélisation de la section 18
B. application de la température 19
C. Résultats du calcul thermique 20
D. Etendue des calculs thermiques 21
VI. Calcul thermomécanique : 22
A. Vérification des traverses de rive (structure longitudinale) : 22
1. Conditions aux limites 22
2. Chargement mécanique 24
3. Imperfections géométriques 25
4. Résultats – durée de tenue au feu 26
B. Vérification des traverses centrales 27
1. Conditions aux limites 27
2. Chargement mécanique 29
3. Imperfections géométriques 29
4. Résultats – durée de tenue au feu 30
C. Vérification des poteaux de rive 31
1. Conditions aux limites 31
2. Chargement mécanique 33
3. Imperfections géométriques 33
4. Résultats – durée de tenue au feu 34
D. Vérification de des portiques transversaux 35
1. Conditions aux limites 35
2. Chargement mécanique 37
3. Imperfections géométriques 37
4. Résultats – durée de tenue au feu 38
VII. Conclusion 39
ANNEXES 40
ANNEXE 1 : vérification contre fiches 41
ANNEXE 2 : vérification des pannes 42
ANNEXE 3 : chargement des différents parties de la structure lors du calcul aux éléments finis 46

I. Introduction :

La présente note de calcul concerne l'étude du comportement sous feu ISO de la structure métallique d'un entrepôt de stockage de jouets dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Hauteur acrotère : 6.84 m d'un coté et 10.900 environ
- Hauteur sous panne sablière : 6.36 m env.
- Hauteur faîtage : 10.90 m env.
- Longueur : 100.00 m env.
- Largeur : 180.00 m env.

L'entrepôt est classé en rubrique 1510 suivant la nomenclature des installations classées.

La structure porteuse est composée de portiques métalliques réalisée en profilés reconstitués soudés.

La note de calcul suivra les étapes ci-dessous :

- Présentation du projet (paragraphes II à IV)
- Calcul thermique : échauffement de la structure métallique sous l'effet du feu ISO 834 (paragraphes V).
- Calcul de thermomécanique : réponse de la structure sous l'effet de la température (§ VI)

II. Objectifs de sécurité et critères associés :

Conformément à l'arrêté du 23 décembre 2008 relatif aux entrepôts soumis à la rubrique 1510, article 4.1 traitant du comportement au feu de la structure du bâtiment, celle-ci-doit être R15.

La présente note de calcul s'attachera à démontrer la stabilité au feu 15 minutes de l'ensemble de la structure sous feu ISO 834. La durée de tenue au feu est mesurée depuis le départ de l'incendie jusqu'à la ruine. La ruine est jugée effective lorsque la structure métallique entre en contact avec le sol.

III. Documents de référence

A. Liste des plans marché charpente

- 2 PLAN DE MASSE 1_300
- 3 NIVEAU 00
- 4 ELEVATIONS&COUPE

B. Listes des plans BRIAND

- Plan avant projet

NOTA : à la date de l'établissement de la présente note de calcul, la modélisation de l'ossature métallique n'est pas achevée. Les plans d'exécution ne sont donc pas à disposition.

C. Liste des notes de calcul :

- Note de calcul à froid de l'ensemble de la structure
- Vérification à chaud des contres fiches (annexe 1)
- Vérification à chaud des pannes (annexe 2)

D. Codes et règlements :

- Eurocode NF EN 1993-1-2 et documents d'application nationale
- Eurocode NF EN 1991-1-2 et documents d'application nationale

E. Logiciel de calcul :

1. Calculs incendie : vérification mécanique

La vérification de la résistance mécanique de la structure a été réalisée à l'aide du logiciel de calcul aux éléments finis ANSYS. Ce dimensionnement concerne les éléments suivants :

- Poteaux des portiques de 4 x 25,00m
- Traverses de portiques de 4 x 25,00m
- Poteaux et traverse des portiques de 3 x 20,00m

Les contre fiches permettant le maintien de l'aile inférieur comprimée du PRS ont été dimensionnés à partir de la méthode simplifiée du CTICM. Cette vérification est détaillée en annexe 1

Les pannes en profilés minces ont été dimensionnées à partir de la méthode simplifiée du CTICM. Cette vérification est détaillée en annexe 1

2. Calcul à froid :

La note de calcul à froid a été réalisée à l'aide du logiciel Robot Millennium v.19.0.

IV. Conception et géométrie :

L'entrepôt est réalisé de la manière suivante :

A. Caractéristiques globales de l'entrepôt

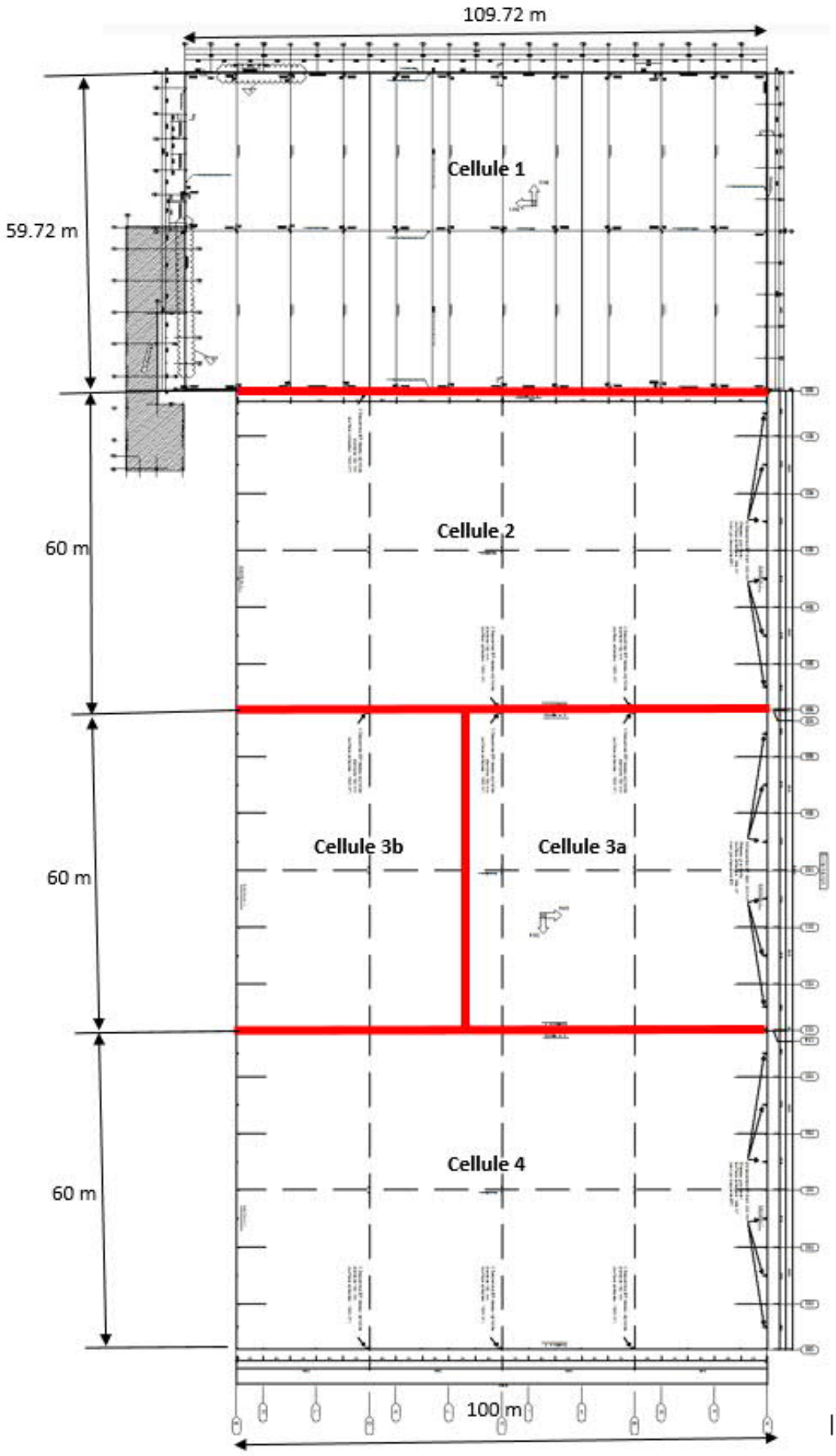
- Hauteur acrotère : 6.84 m d'un coté et 10.900 environ
- Hauteur sous panne sablière : 6.36 m env.
- Hauteur faîtage : 10.90 m env.
- Longueur : 100.00 m env.
- Largeur : 180.00 m env.

L'entrepôt est divisé en trois cellules indépendantes séparées par des murs coupe feu 2 heures.
Les cellules auront les dimensions suivantes :

- Largeur 60.00 m
- Longueur : 100.00 m env.

Voir également vue en plan page suivante.

VUE EN PLAN DE PRINCIPE DE L'ENTREPOT



B. Descriptif des cellules

L'ossature des cellules est réalisée de la manière suivante :

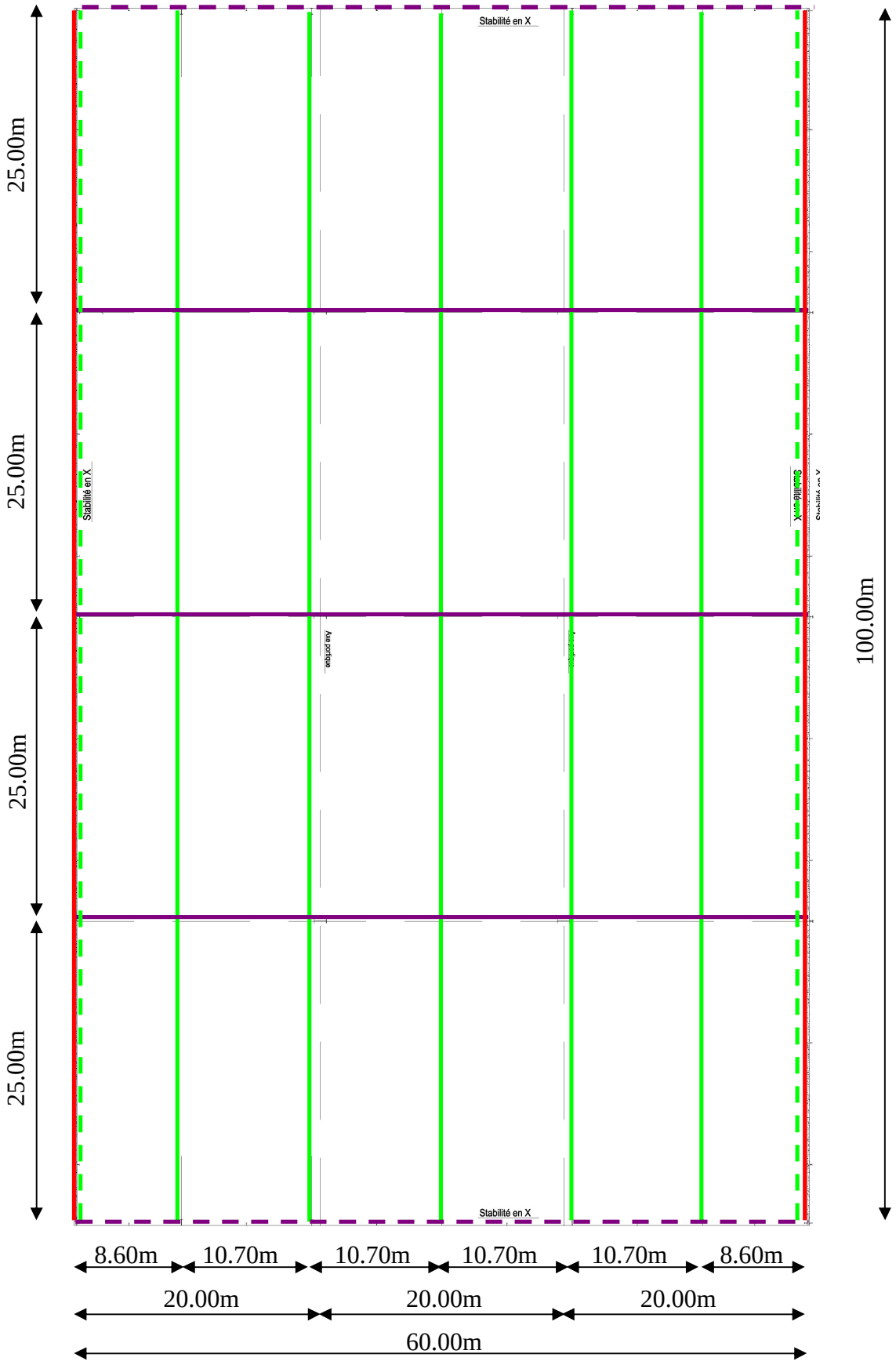
- Ossature longitudinale en forme de sheds de 4 fois 25 m dont les espacements sont les suivants (8.60m ; 10.70m ; 10.70m ; 10.70m ; 8.60m)
- Portiques transversaux de 3x20m reprenant les ossatures de sheds longitudinales

Voir également vue en plan et coupes sur portique pages suivantes :

Légende de la vue en plan

- Ossatures longitudinales en forme de sheds
- Portiques transversaux supports des sheds
- Murs coupes feu entre chaque cellules
- Pans de fers devant chaque mur coupe feu
- Pans de fers en pignon de chaque cellule

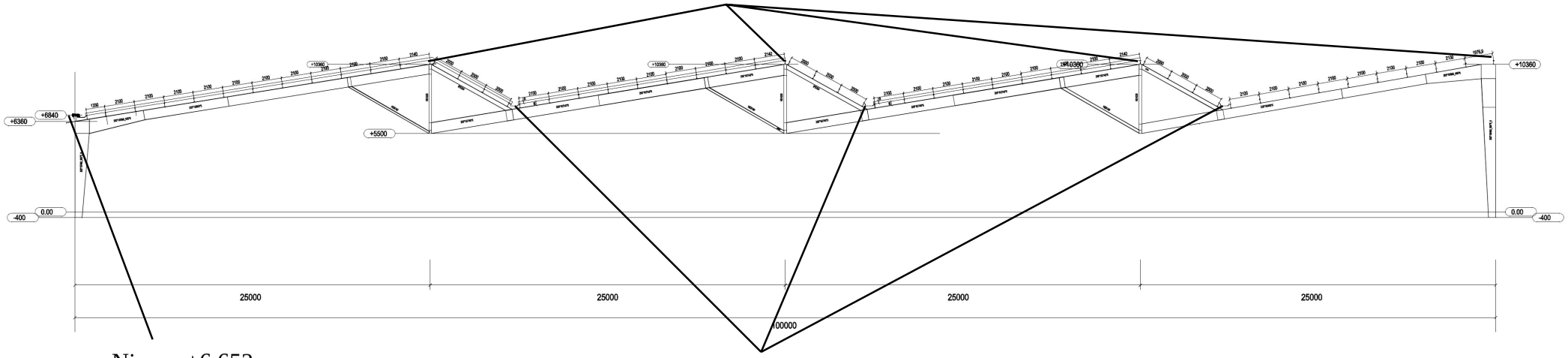
Vue en plan d'une cellule



C. Coupes sur ossature longitudinale

- Coupe globale de principe

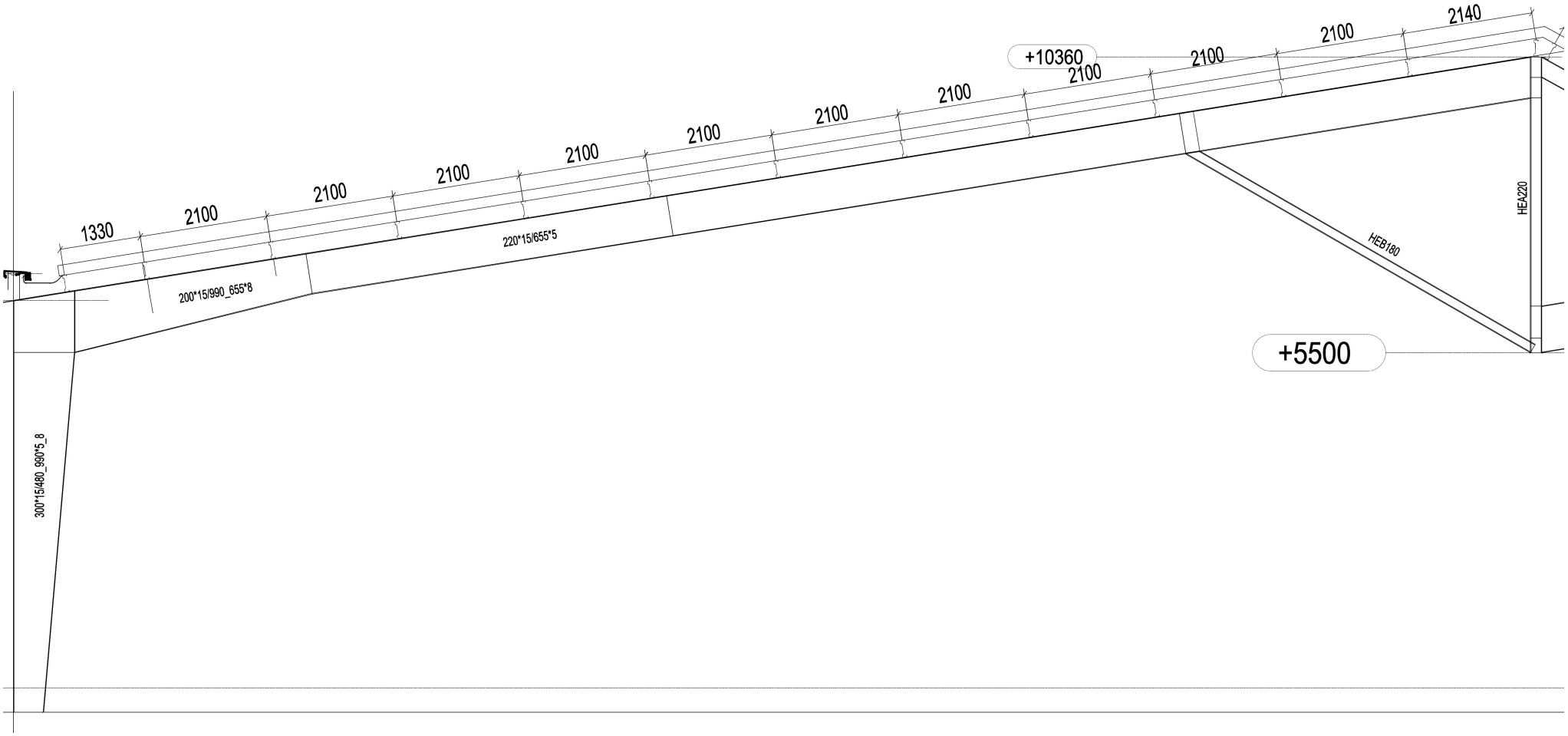
Niveau +10 652 mm
= niveau faitage dessous bac de couverture



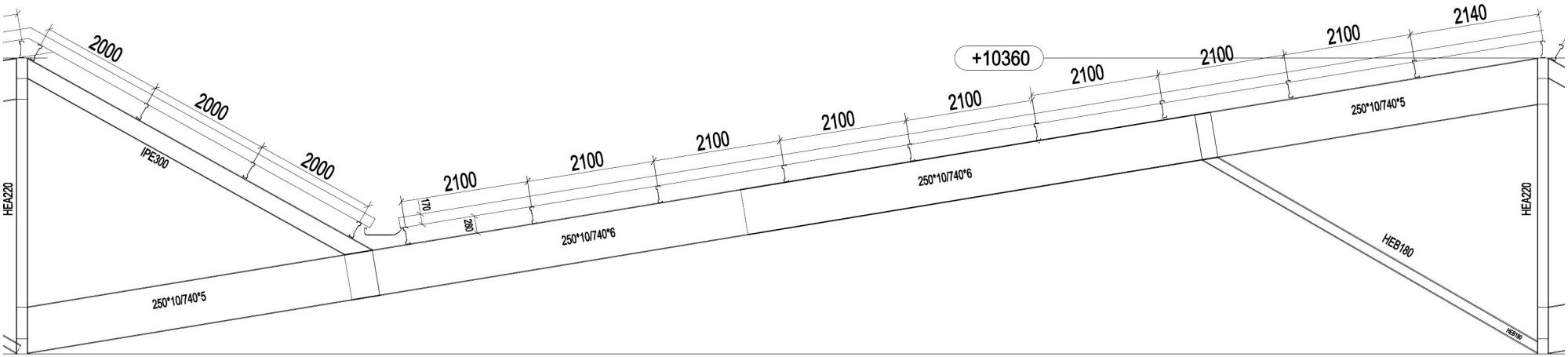
Niveau +6 652 mm
= niveau bas de versant dessous bac de couverture

Niveau +7 728 mm
= niveau bas de versant dessous bac de couverture

Coupe sur traverse de rive

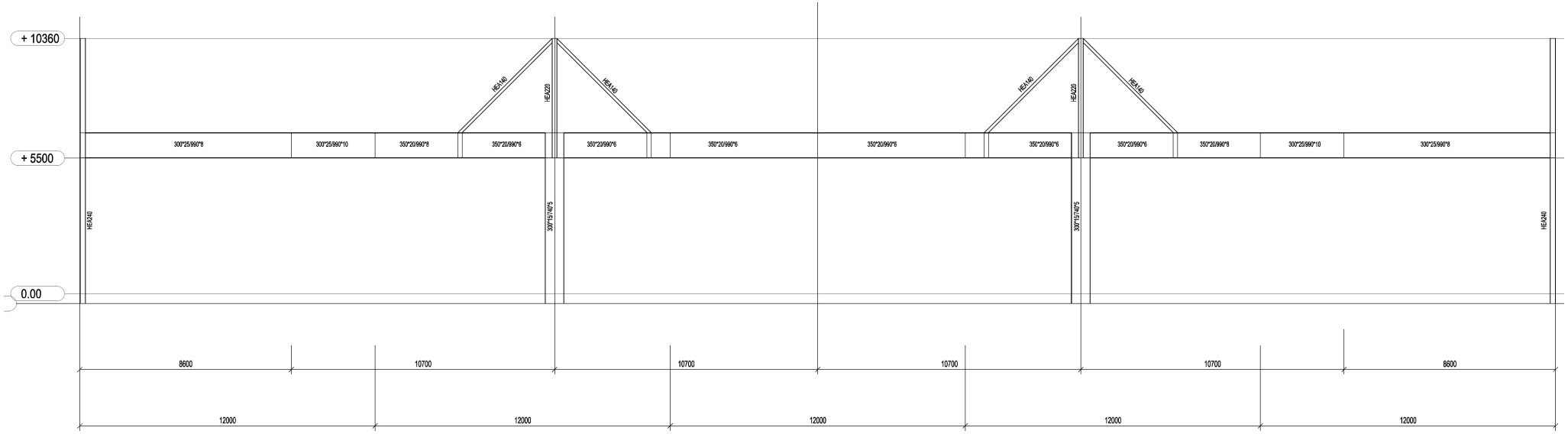


Coupe sur traverse centrale

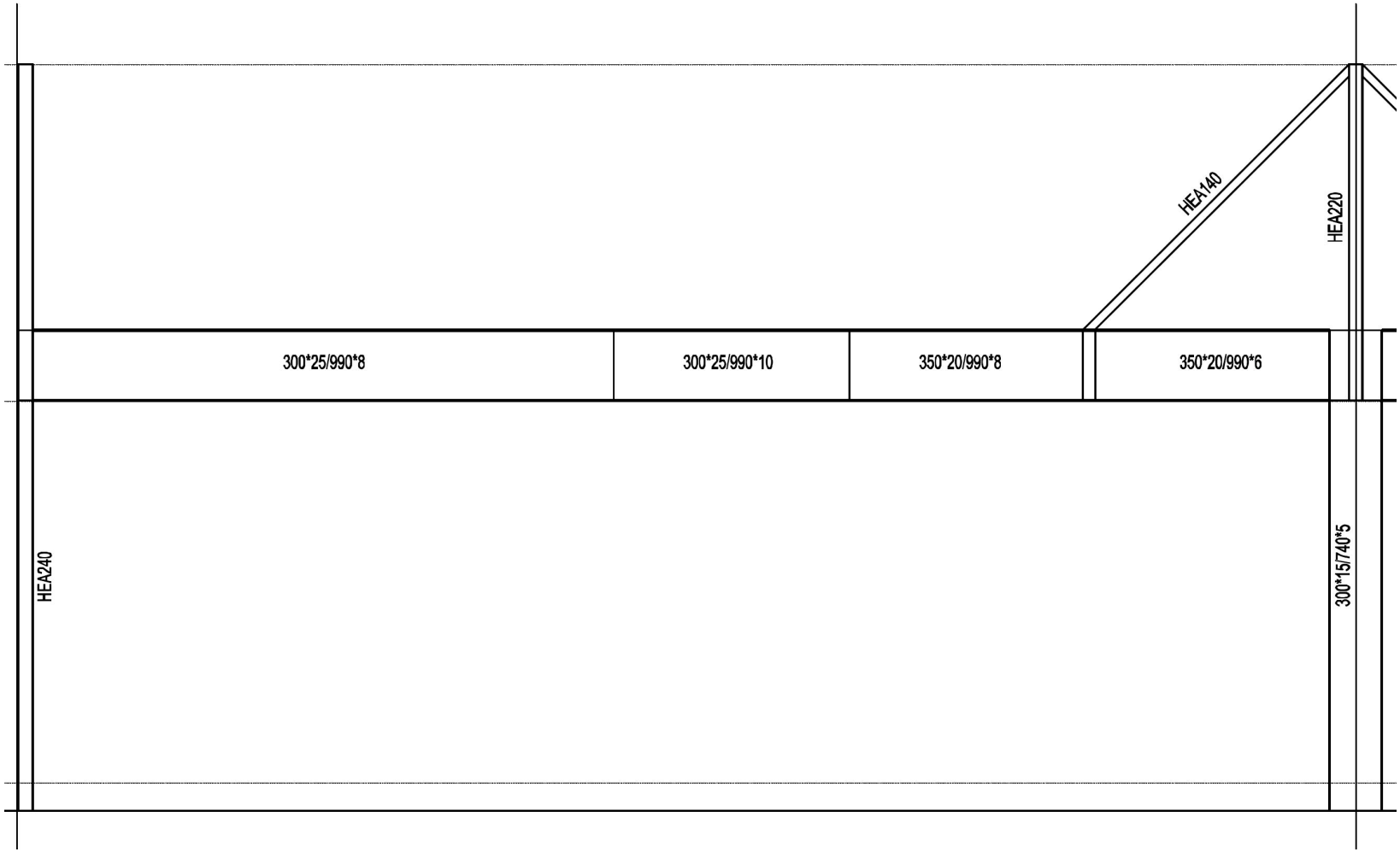


D. Coupe sur ossatures transversales

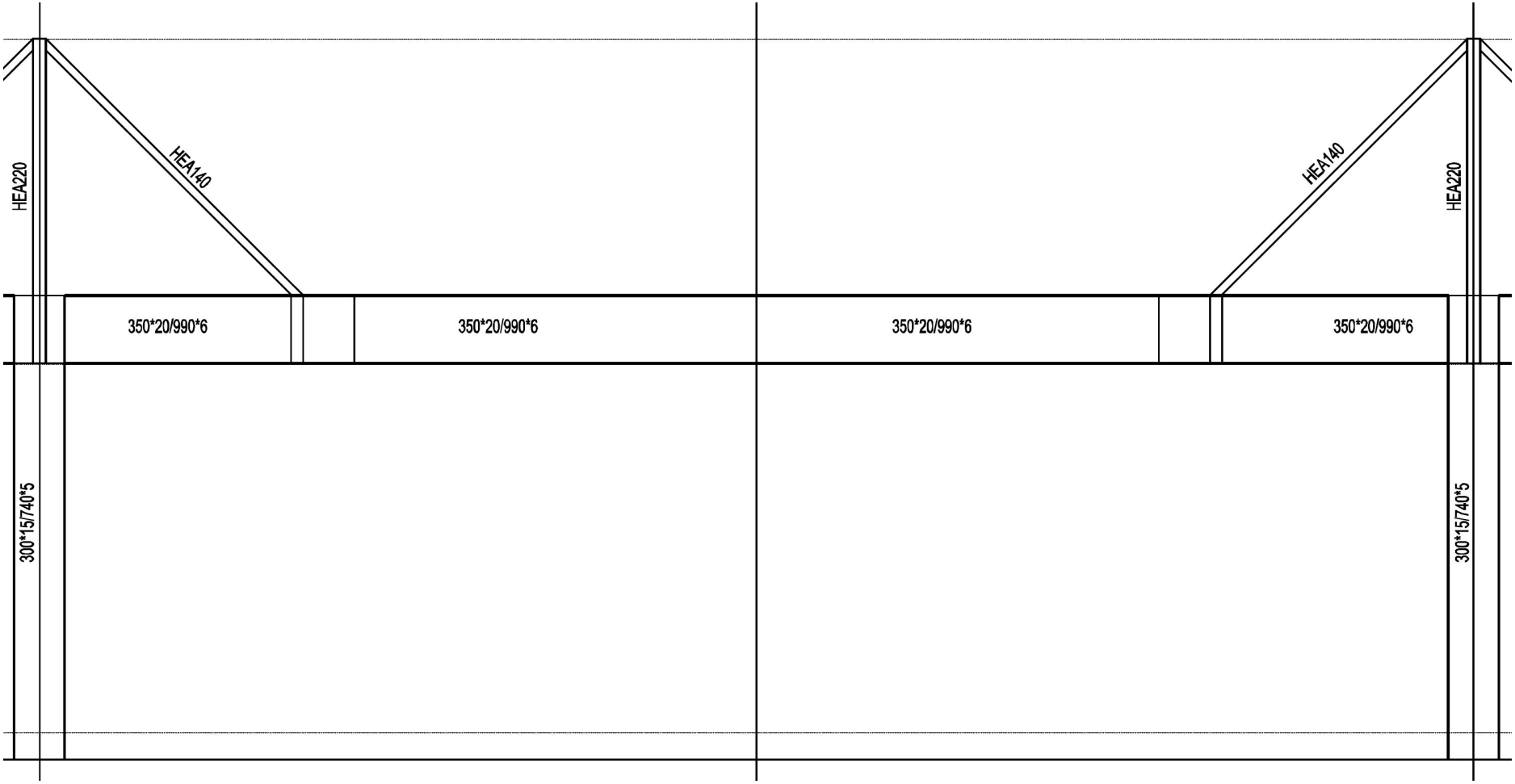
- Coupe globale de principe



Coupe sur traverse de rive



Coupe sur traverse centrale



E. Hypothèses de chargement :

1. Charges permanentes :

- Poids propre de la charpente
- Couverture : 25 kg/m²
- Panneaux photovoltaïques : 20 kg/m²
- Pannes : 5 kg/m²
- Divers : 4 kg/m²
- sprinklage : 8 kg/m²

2. Neige :

- Sur pannes et portiques : 35 daN/m²

3. Incendie

La structure est dimensionnée pour résister à un incendie ISO 834 pendant 15 minutes sous la combinaison de charges suivantes :

Charges permanentes + 0,2 x Neige

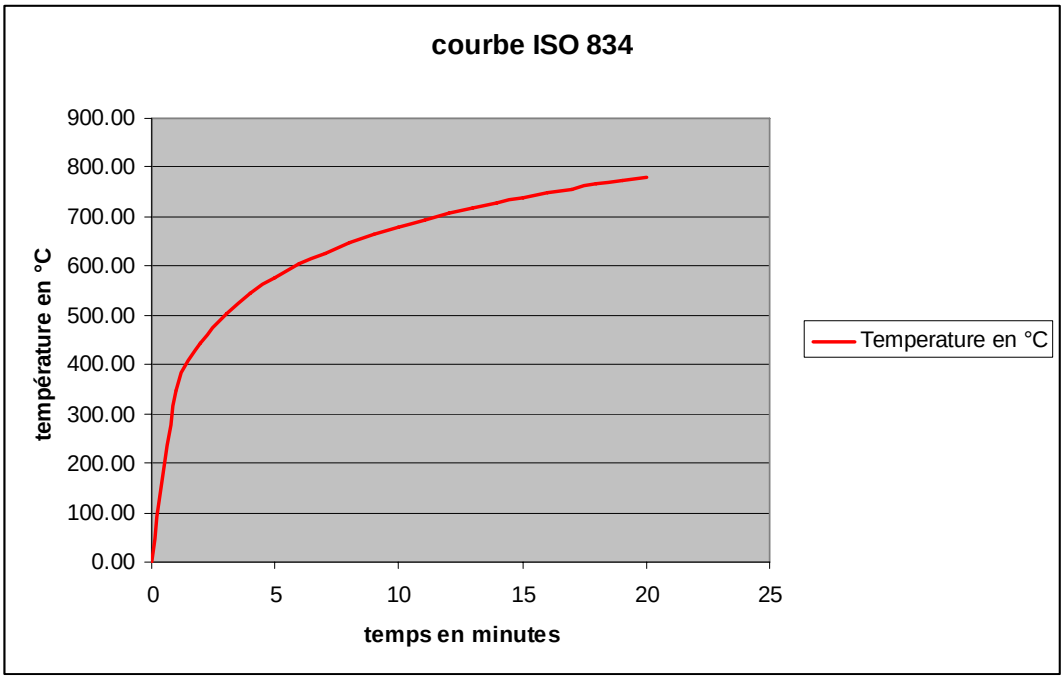
La courbe d'incendie ISO 834 défini la température des gaz environnant de l'ossature. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$\theta = 20 + 345\log(8t + 1)$$

Avec :

θ : la température en °C
T : le temps en minutes

La température des gaz à l'intérieur de la cellule atteint alors environ **740 °C** au bout de 15 minutes (voir courbe ci-dessous)



F. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés sont les suivants :

Acier S235 pour les profilés reconstitués soudés

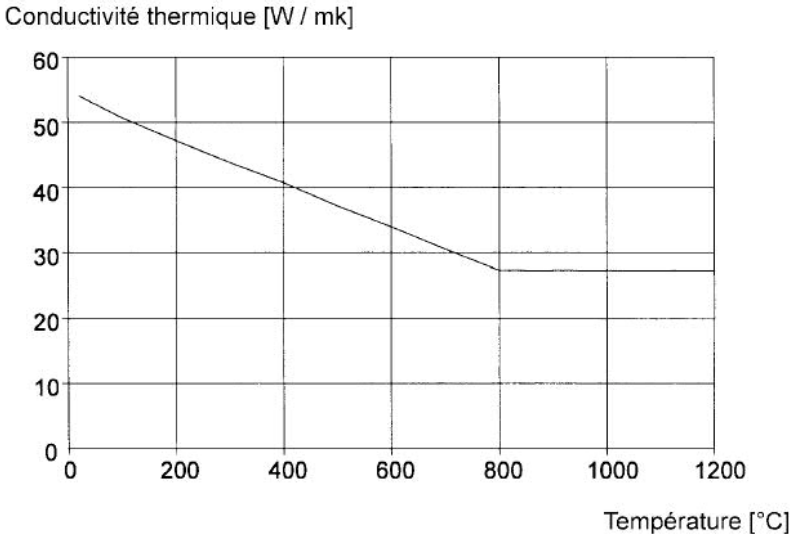
- Masse volumique : ρa = 7 850 kg/m3
- Module de young : Ea = 210 000 MPa
- Limite d'élasticité : fy = 235 MPa
- Résistance à la traction : fu = 360 MPa
- Coefficient de poisson : ν = 0.3

Acier S275 pour les profiles du commerce type HEA, HEB et IPE

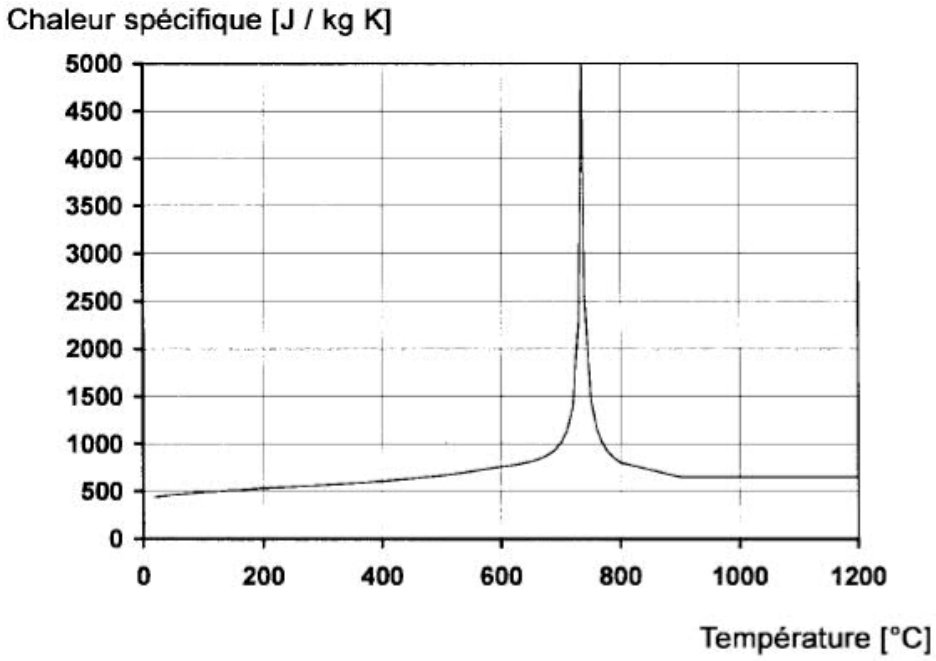
- Masse volumique : ρa = 7 850 kg/m3
- Module de young : Ea = 210 000 MPa
- Limite d'élasticité : fy = 275 MPa
- Résistance à la traction : fu = 430 MPa
- Coefficient de poisson : ν = 0.3

Les caractéristiques thermiques de l'acier utilisé sont extraites de l'eurocode NF EN 1993-1-2 :

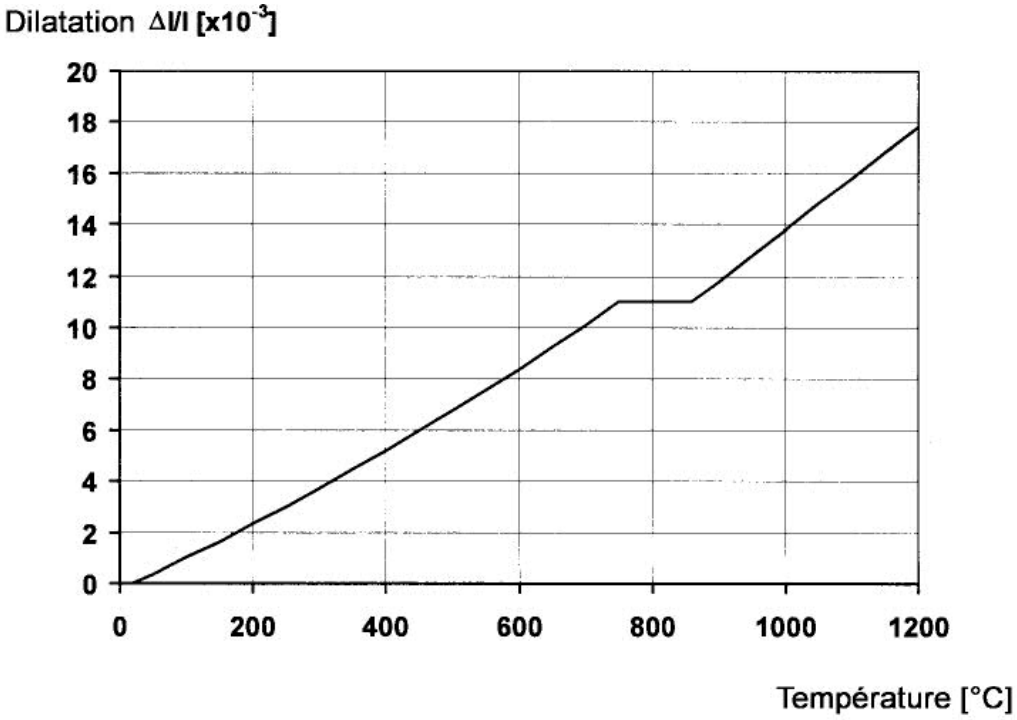
- Emissivité : 0.6
- Masse volumique : 7850 kg/m3
- La conductivité thermique



- La chaleur spécifique



- Coefficient de dilatation thermique



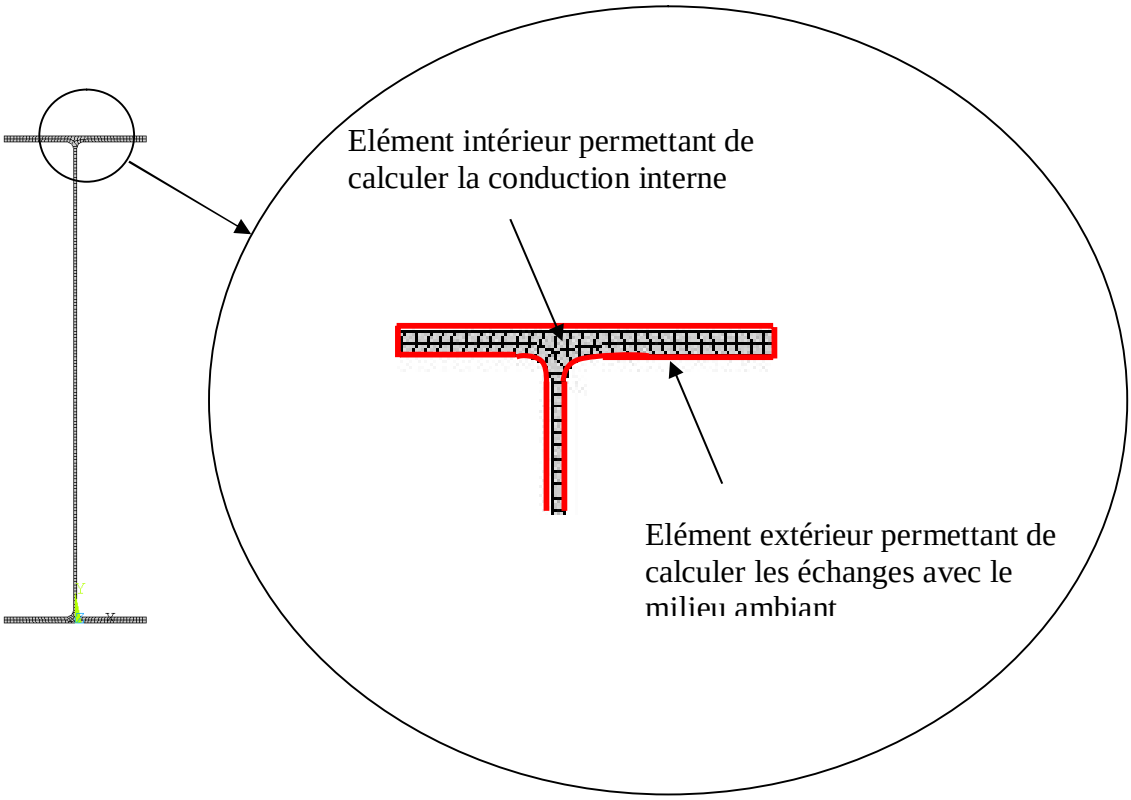
V. Calcul thermique : échauffements des profilés :

A. Modélisation de la section

Afin de mesurer la répartition de la température à l'intérieur de l'acier, chaque section a été modélisée en appliquant les sollicitations thermiques dues à l'incendie sur le profil.

L'intérieur de la poutre est maillé avec des éléments coques, bilinéaires qui permettent d'effectuer un calcul thermique. Dans ces éléments, seul un calcul de conduction sera effectué. D'autres éléments, ajoutés à l'extérieur de la poutre, permettent de gérer les échanges avec l'extérieur par convection et rayonnement. Les gradients de température rencontrés à l'intérieur de la section sont tels que la conduction à l'intérieur de l'acier dans le sens longitudinal de la poutre est négligée.

Afin de simplifier et de raccourcir le temps de calcul, une modélisation en 2 dimensions de chaque section est utilisée.



B. <u>application de la température</u>

L'échauffement de l'acier se produit par l'effet combiné de la convection due aux gaz chauds entourant le profilé et du rayonnement venant du foyer de l'incendie.

Le flux de chaleur net reçu par l'élément métallique est donc la somme du flux de convection et du flux de rayonnement :

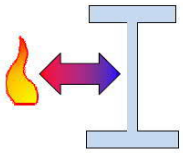
$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

-h_{net} : flux thermique net [$W.m^{-2}$]
-$h_{net,c}$: flux thermique net de convection [$W.m^{-2}$]
-$h_{net,r}$: flux thermique net rayonnement [$W.m^{-2}$]

Le flux de convection est donné par la relation :

$$\dot{h}_{net,c} = \lambda.(T_g - T_m)$$

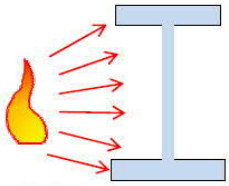
- λ : coefficient de transfert thermique par convection [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
-T_g : température des gaz à proximité de l'élément exposé au feu [°C]
-T_m : température de surface de l'élément [°C]



Le flux de rayonnement est donné par la relation :

$$\dot{h}_{net,r} = \phi.\varepsilon_m.\varepsilon_f.\sigma.[(T_r + 273)^4 - (T_m + 273)^4]$$

-Φ : facteur de forme
-ε_m : émissivité de la surface de l'élément
-ε_f : émissivité du feu
-σ : constante de Stephan Boltzmann (= 5,67 · 10-8 $W.m^{-2}.K^{-4}$])
-T_r : température de rayonnement effectif de l'environnement du feu [°C]



La diffusion de la température à l'intérieur de l'acier suit la relation suivante :

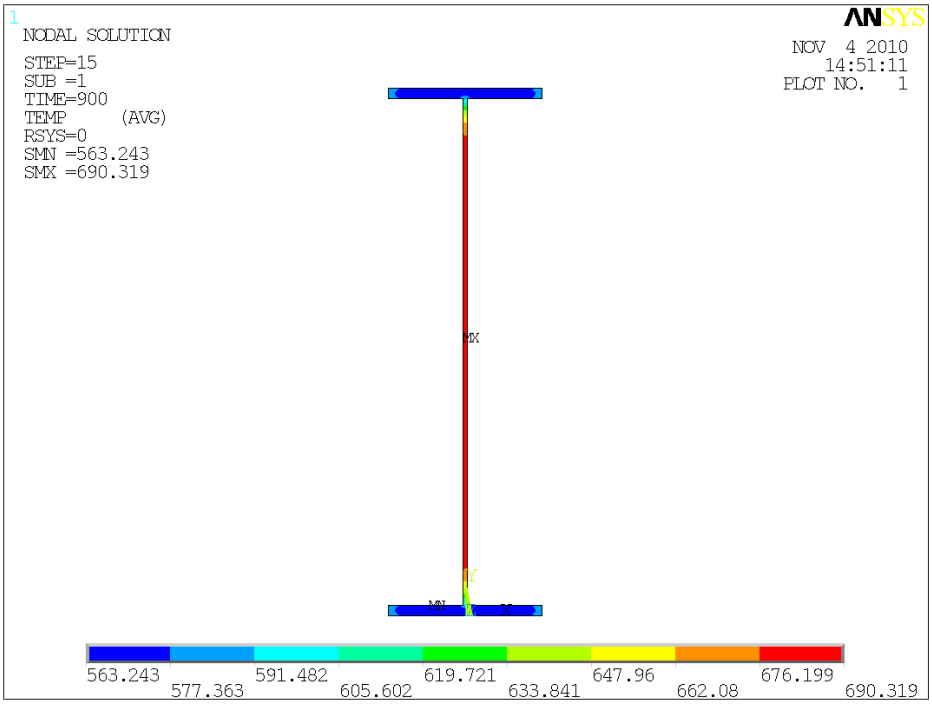
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T \qquad \text{avec } \alpha = \frac{k}{\rho.c}$$

k : conduction thermique [$W.m^{-1}.K^{-1}$]
ρ : masse volumique [$kg.m^{-3}$]
c : chaleur spécifique [$J.kg^{-1}.K^{-1}$]

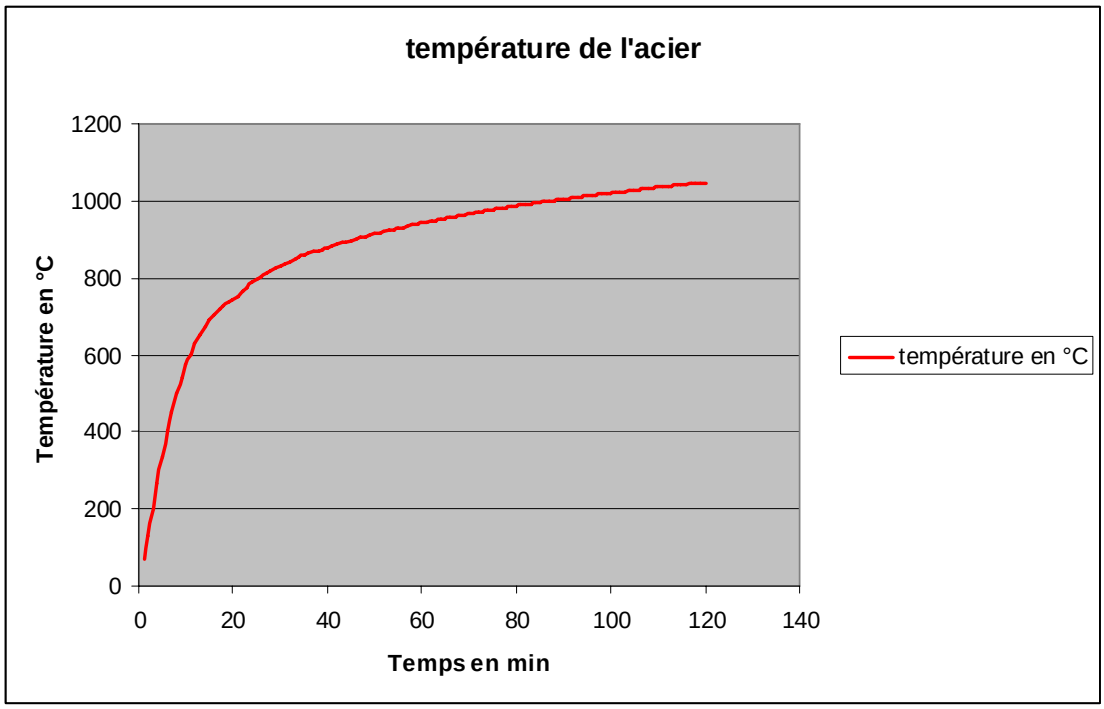
C. Résultats du calcul thermique

Le résultat du calcul thermique donne une répartition spatiale et temporelle de température dans la section.

La copie d'écran ci-dessous montre un exemple de répartition de la température (en °C) dans une section d'acier type

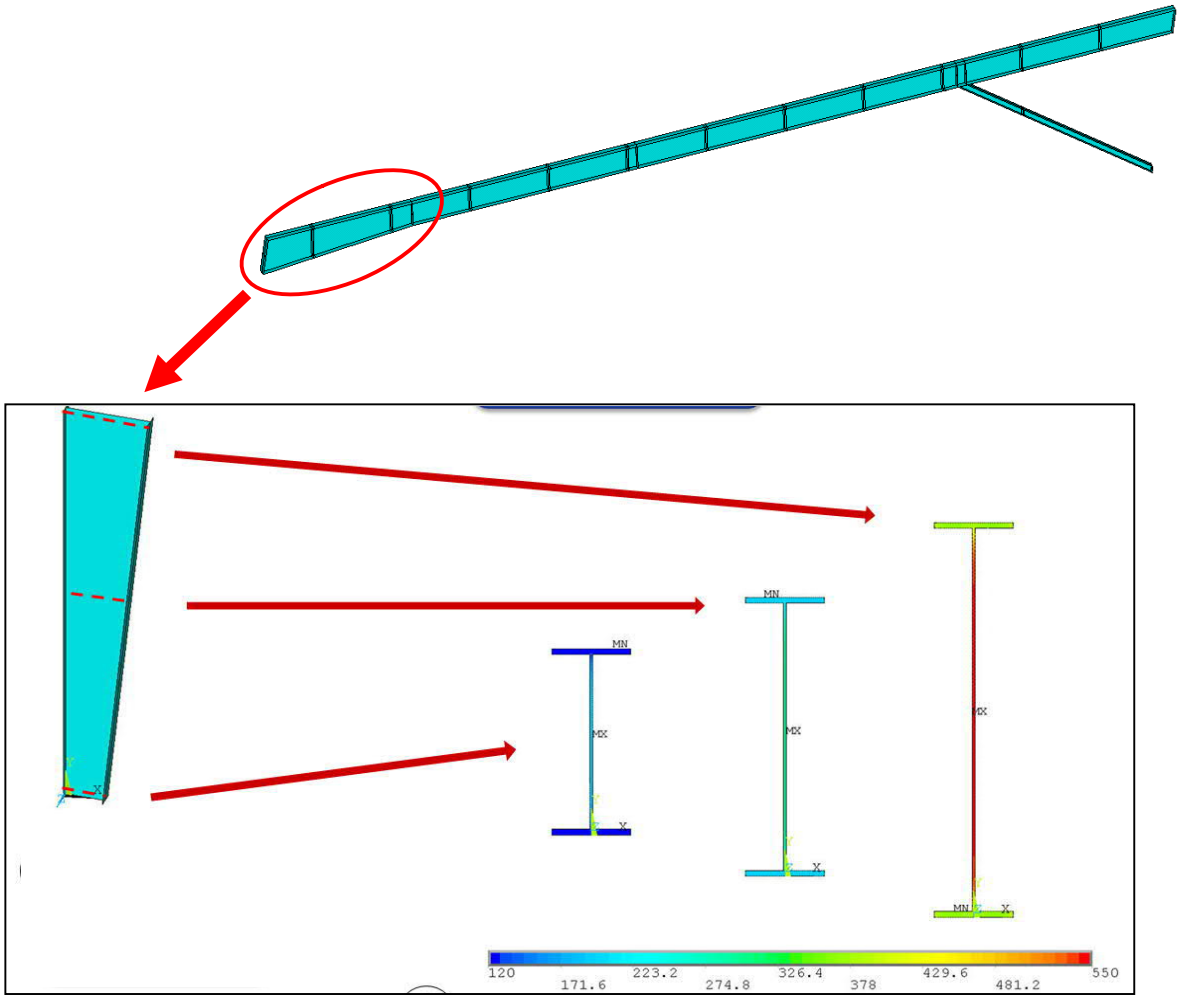


Ci-dessous un exemple de l'évolution de la température de l'acier.



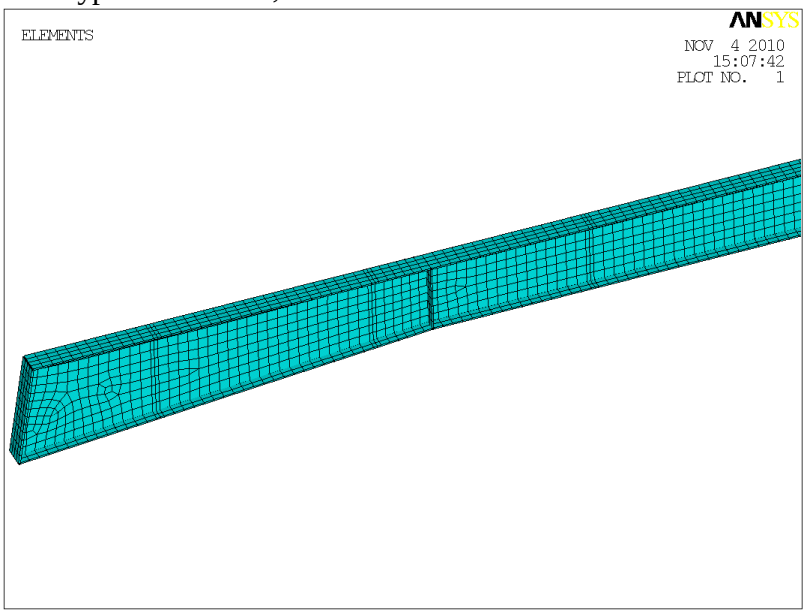
D. Etendue des calculs thermiques

Dans le calcul thermomécanique, la structure est séparée en différentes poutres. Chaque poutre est ensuite redécoupée en sections (Cf. figure ci-dessous). Le calcul thermique est effectué pour chaque section. Une interpolation linéaire entre 2 sections consécutives permet ensuite de récupérer la température en tout point de la structure et à tout moment.



VI. Calcul thermomécanique :

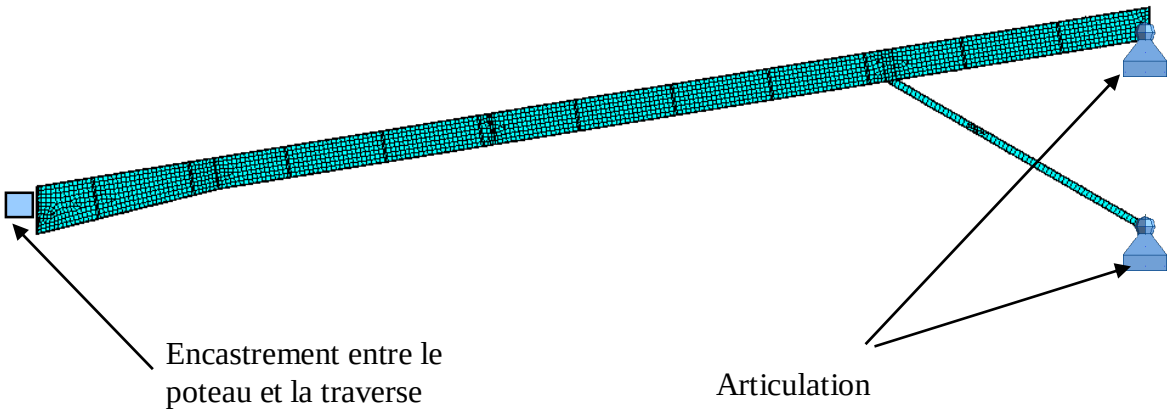
Le portique envisagé est composé de sections de classe 3 et 4 au sens de l'article 5.6 de l'eurocode NF EN 1993-1-1. Afin de prendre en compte les voilements locaux qui apparaissent dans ce type de sections, la structure a été modélisée avec des éléments de coque.



Afin de minimiser les temps de calcul numériques, la structure a été modélisée par éléments. Les conditions aux limites appliquées à chaque élément sont explicitées dans chaque paragraphe correspondant.

A. Vérification des traverses de rive (structure longitudinale) :

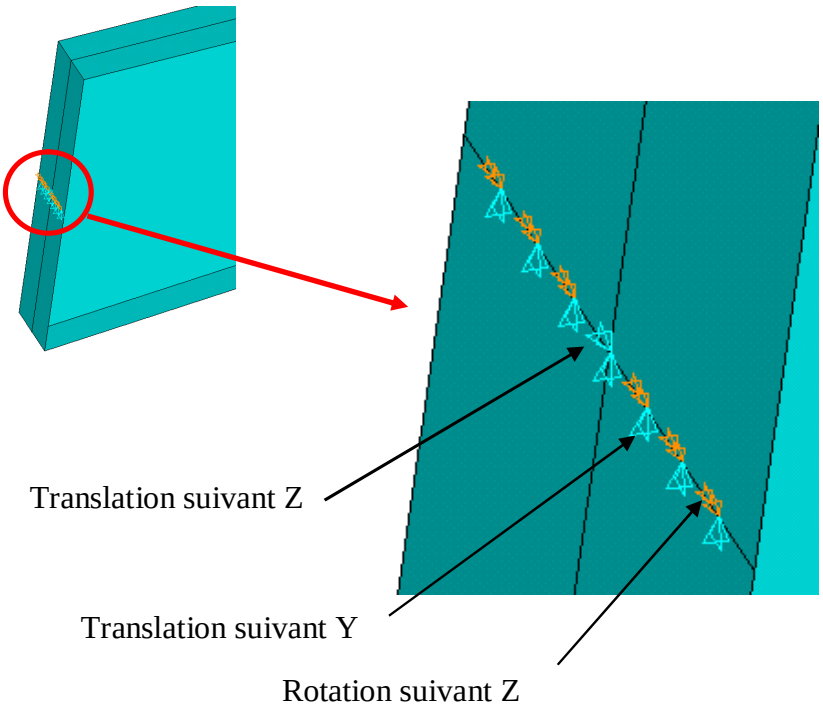
1. Conditions aux limites



- Encastrement de la traverse sur le poteau

L'encastrement de la traverse sur le poteau de rive est simulé bloquant les déplacements suivants en extrémité de la traverse de rive :

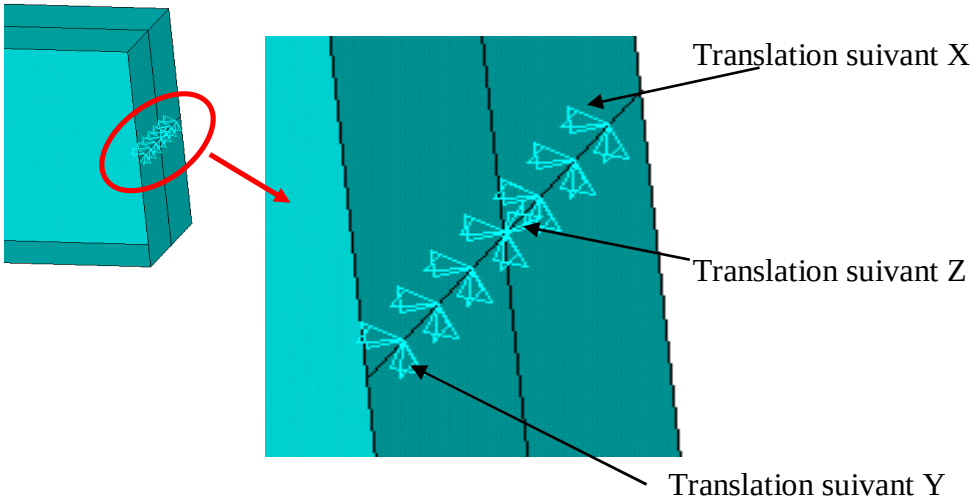
- Translation suivant Y
- Translation suivant Z
- Rotation suivant Z



- Reprise de la traverse sur les portiques transversaux

La liaison entre la traverse et le portique transversal a été modélisé par les blocages suivants

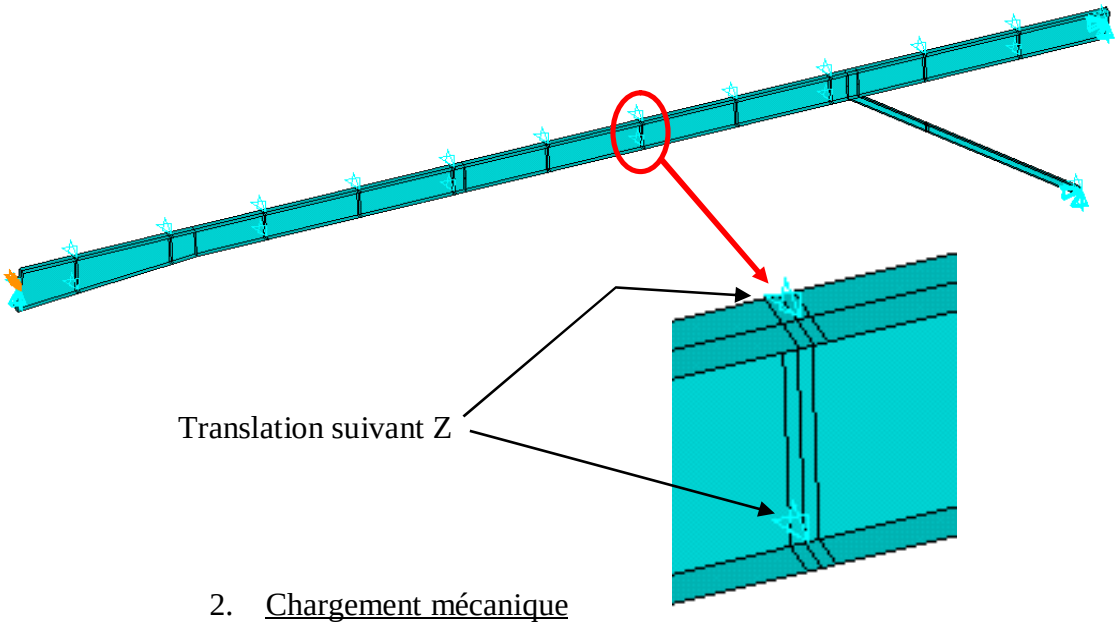
- Translation suivant X (maintenu par la traverse suivante)
- Translation suivant Y (maintenu par le portique transversal)
- Translation suivant Z (maintenu par les pannes)



NOTA : la liaison des butons sur les portiques transversaux a été modélisée de la même manière.

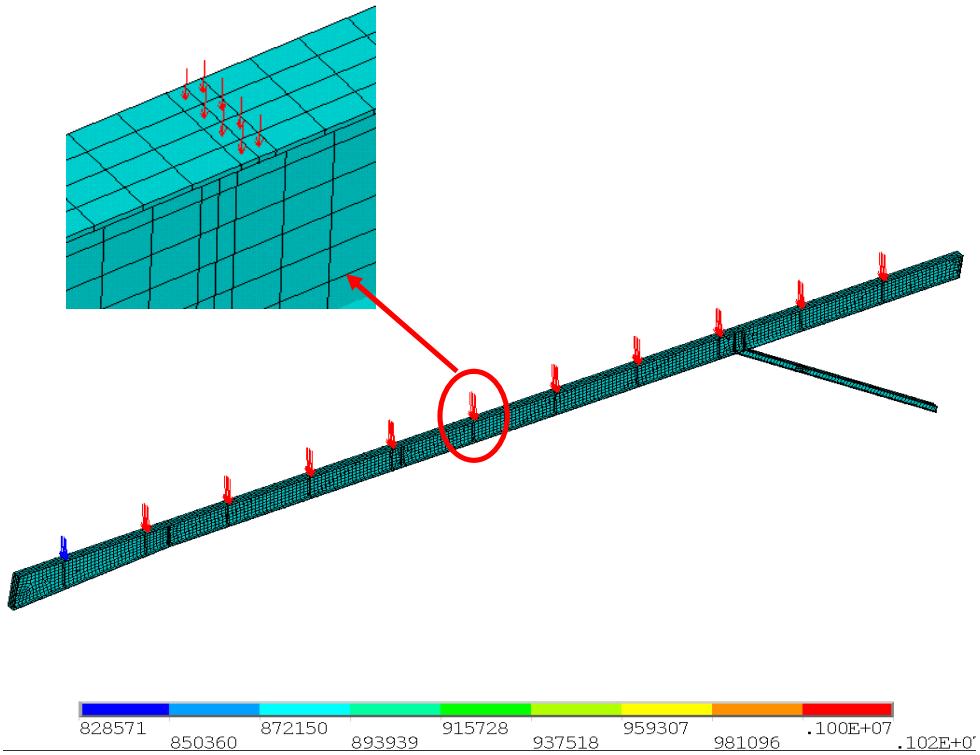
- Pannes et fiches

Afin de modéliser l'impact des pannes pour le maintien hors plan de la traverse des blocages ont également été mis en place au droit de chaque panne et chaque fiche (voir copie d'écran ci-dessous)



2. <u>Chargement mécanique</u>

Le chargement des pannes sur la traverse a été modélisé par une charge répartie au niveau de chaque panne. Le détail de calcul des charges est décrit en annexe 3
NOTA : les charges sur la copie d'écran ci-dessous sont exprimées en N/m²

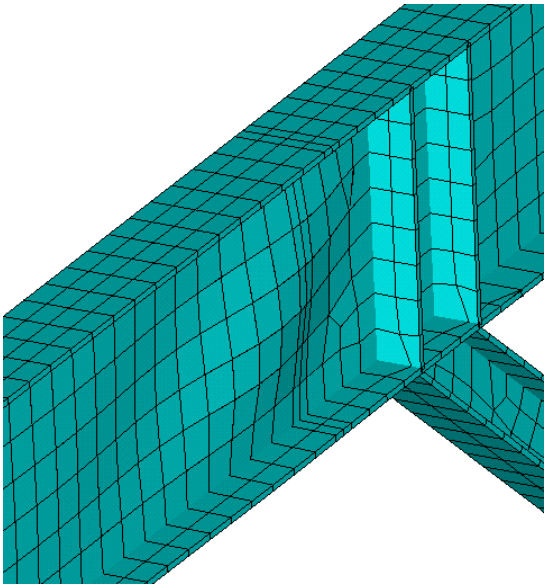


3. Imperfections géométriques

Conformément à l'eurocode 1993-1-5 annexe C concernant la modélisation de structures par la méthode des éléments finis, une imperfection doit être appliquée sur les éléments. Concernant les éléments de coque, l'eurocode préconise la méthode suivante :

- Détermination de la forme des imperfections par calcul des modes propres de voilements
- Amplitude le l'imperfection limitées à h/200 (h étant la valeur minimale entre la hauteur et la longueur de l'âme)

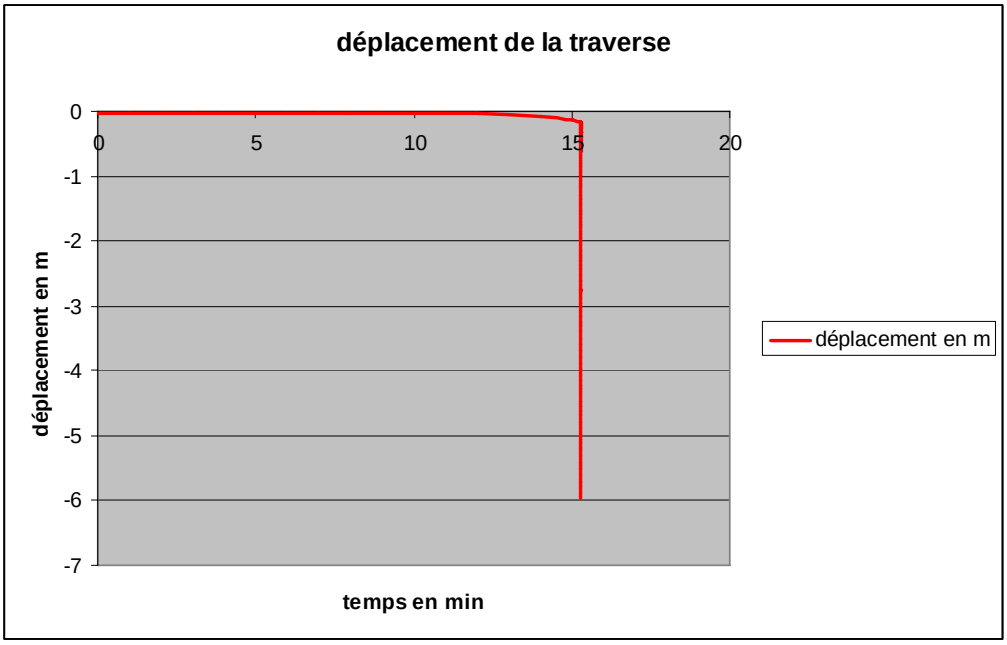
La copie d'écran ci-dessous montre l'imperfection type qui a été appliquée sur la traverse lors du calcul.



NOTA : sur cette copie d'écran, la déformée a été amplifiée afin de bien la visualiser. Dans la réalité l'amplitude maximale est de 3.275mm (hauteur de l'âme : 655mm /200) n'est pas facilement visible

4. Résultats – durée de tenue au feu

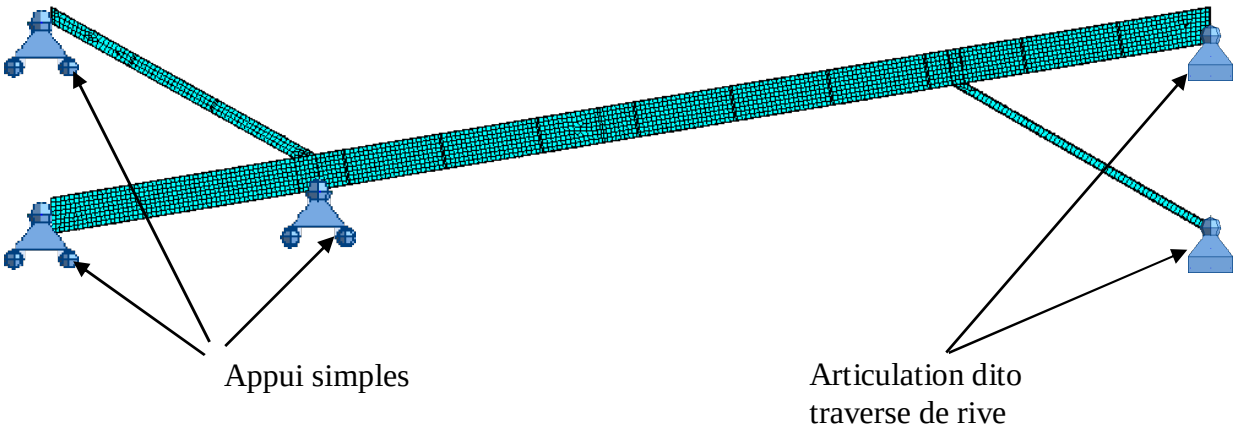
La courbe ci-dessous montre l'évolution de la déformée maximale du portique au cours de l'incendie.



La ruine de la traverse se produit après 15 min et 16 secondes sous feu ISO.

B. Vérification des traverses centrales

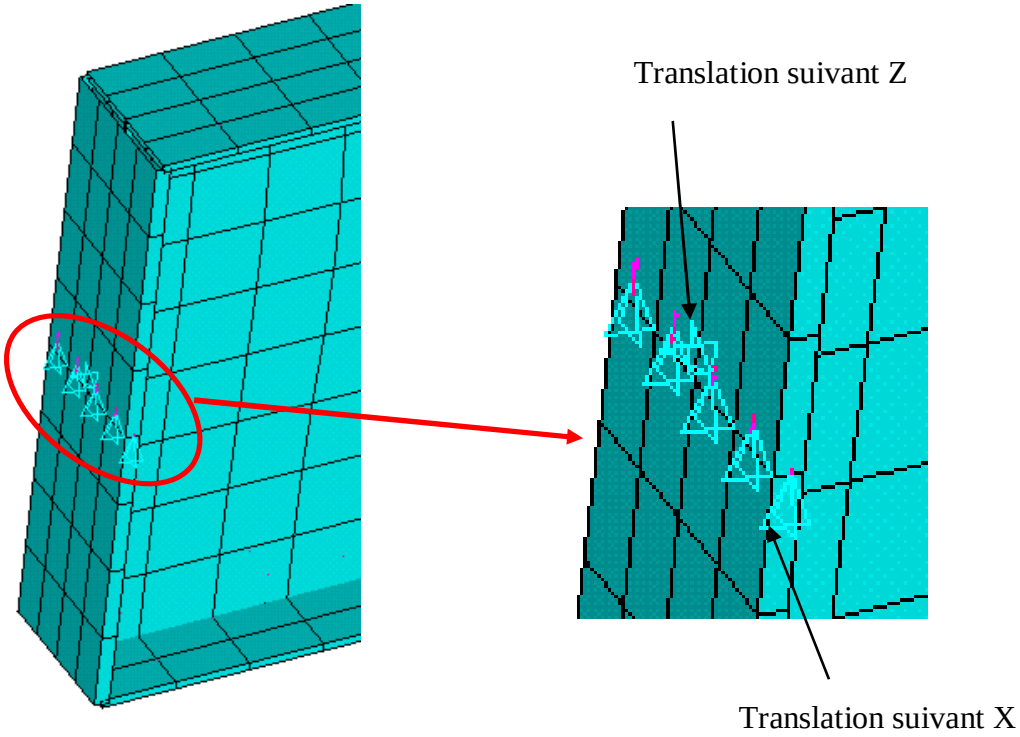
1. Conditions aux limites



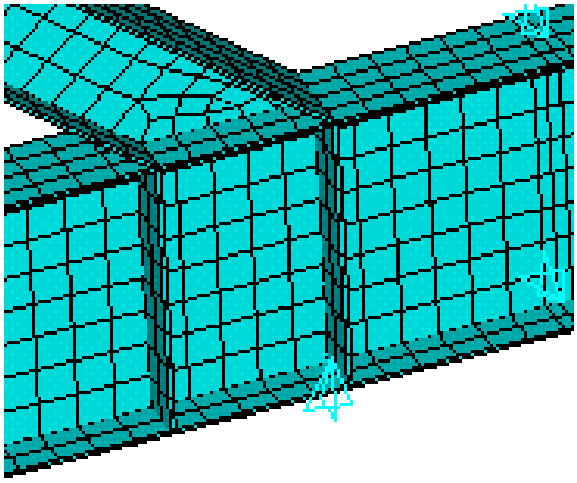
La traverse ainsi que les butons sont considérés articulés à leurs extrémités. Les conditions aux limites appliquées sont donc identiques à celles de la traverse de rive.

La translation suivant l'axe X a été libérée du coté du poteau de rive afin de prendre en compte la possibilité de déplacement en tête du poteau. Afin de conserver l'impact du tirant coté gauche un appui vertical a été ajouté au droit de celui-ci.

- Appui simple de la traverse et du tirant sur le portique transversal

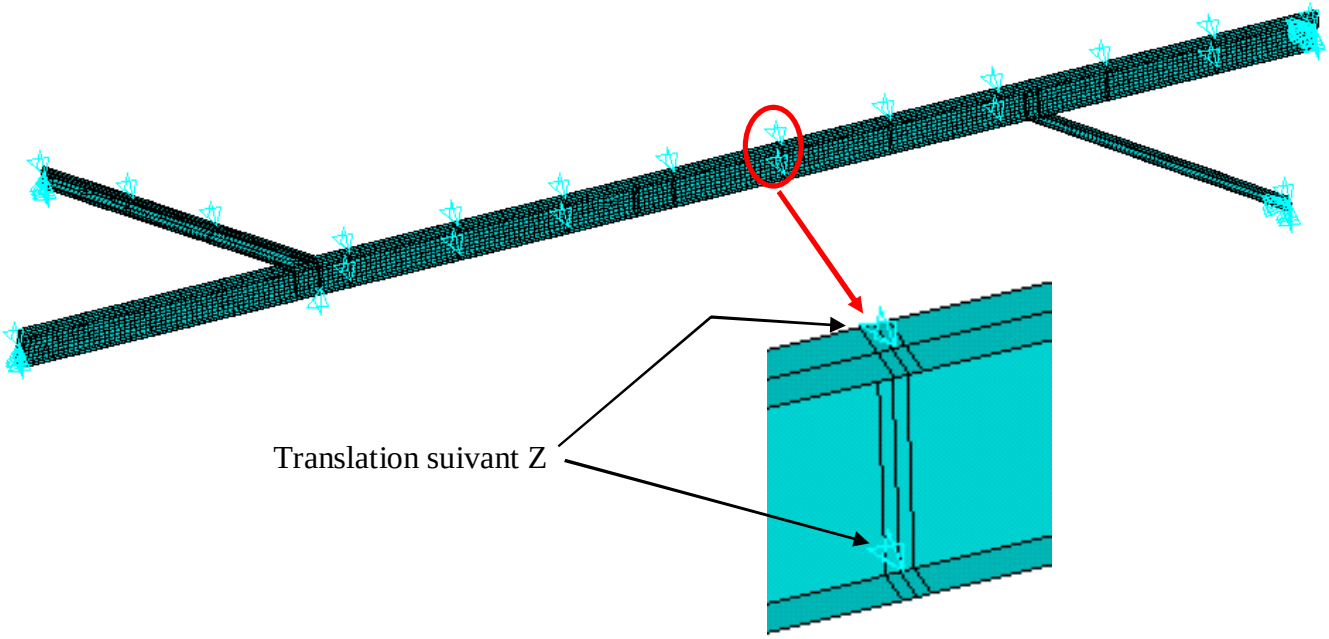


- Appuis au droit du tirant



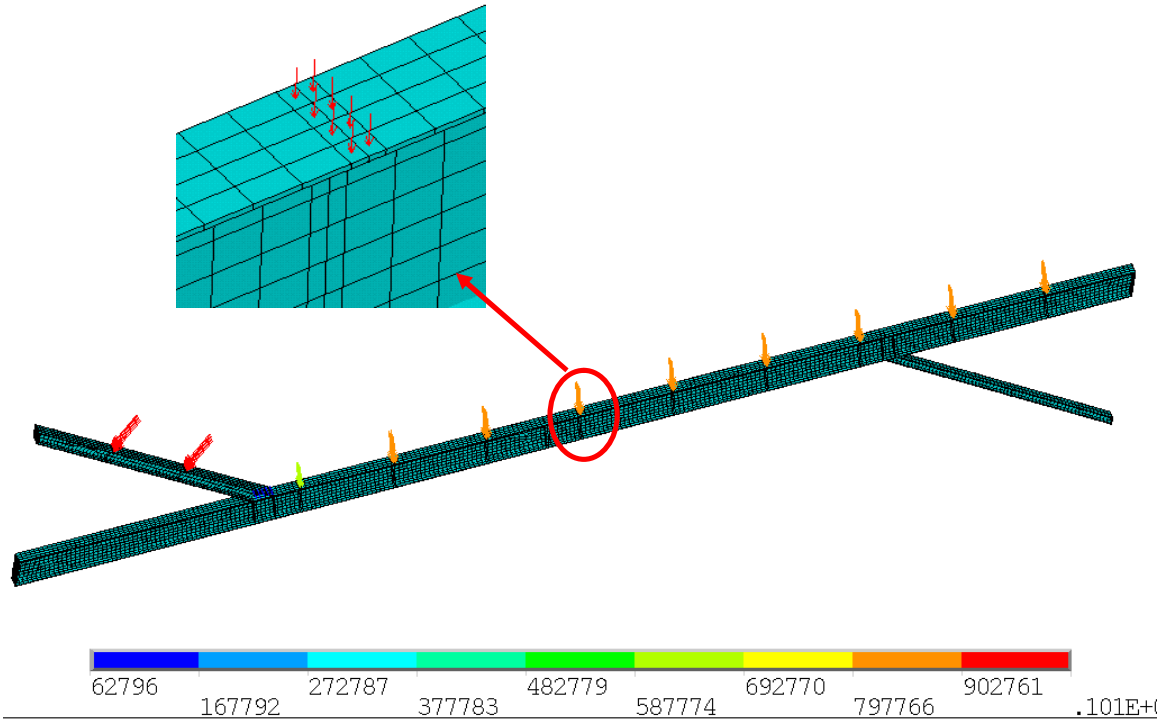
- Pannes et fiches

Afin de modéliser l'impact des pannes pour le maintien hors plan de la traverse des blocages ont également été mis en place au droit de chaque panne et chaque fiche (voir copie d'écran ci-dessous)



2. Chargement mécanique

Le chargement des pannes sur la traverse a été modélisé par une charge répartie au niveau de chaque panne. Le détail de calcul des charges est décrit en annexe
NOTA : les charges sur la copie d'écran ci-dessous sont exprimées en N/m²

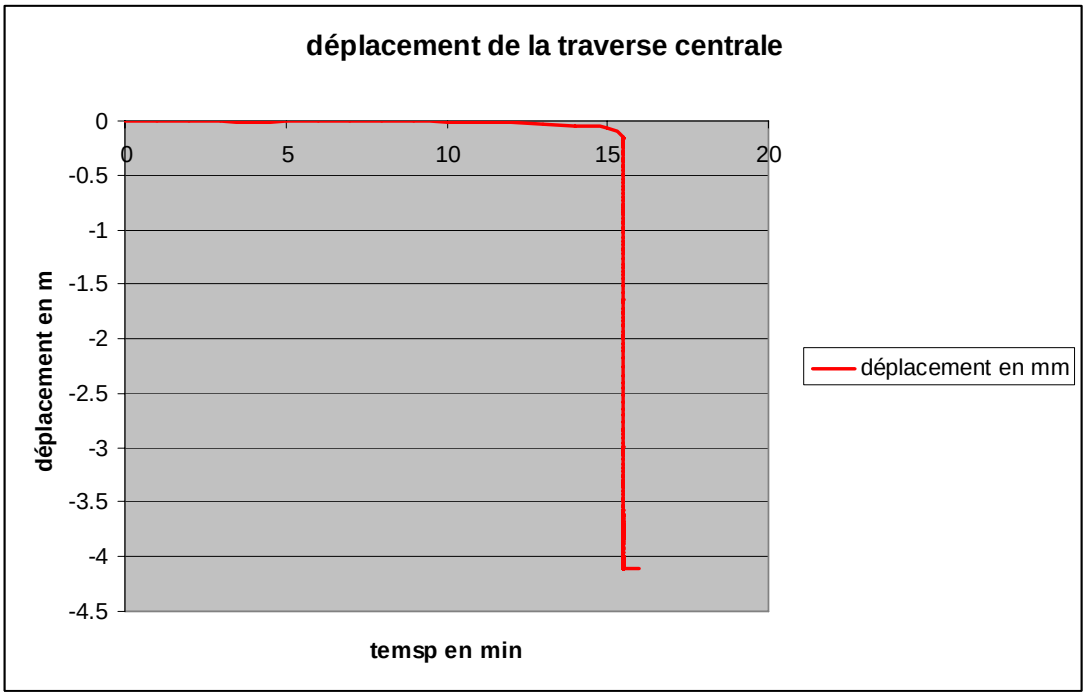


3. Imperfections géométriques

Les imperfections ont été appliquées suivant la même méthode que la traverse de rive.

4. Résultats – durée de tenue au feu

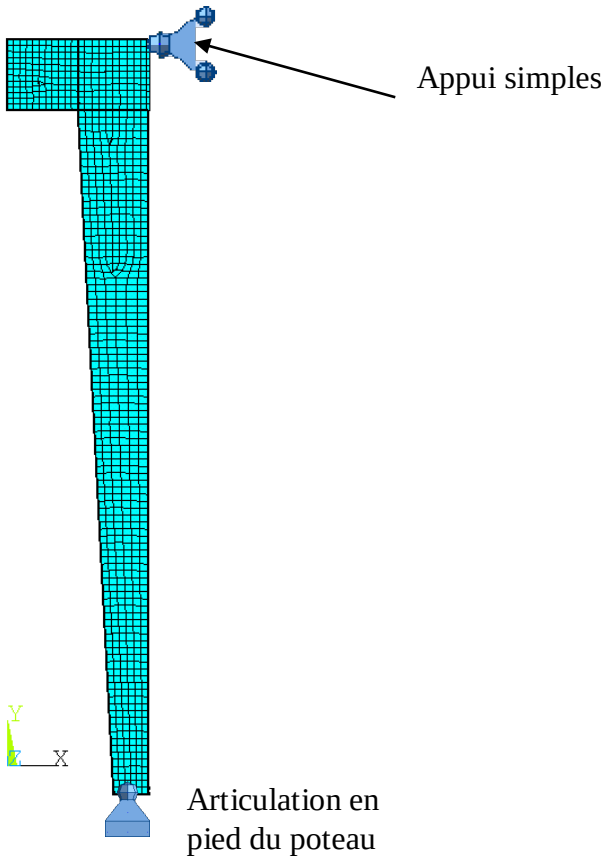
La courbe ci-dessous montre l'évolution de la déformée maximale du portique au cours de l'incendie.



La ruine de la traverse se produit après 15 min et 30 secondes sous feu ISO.

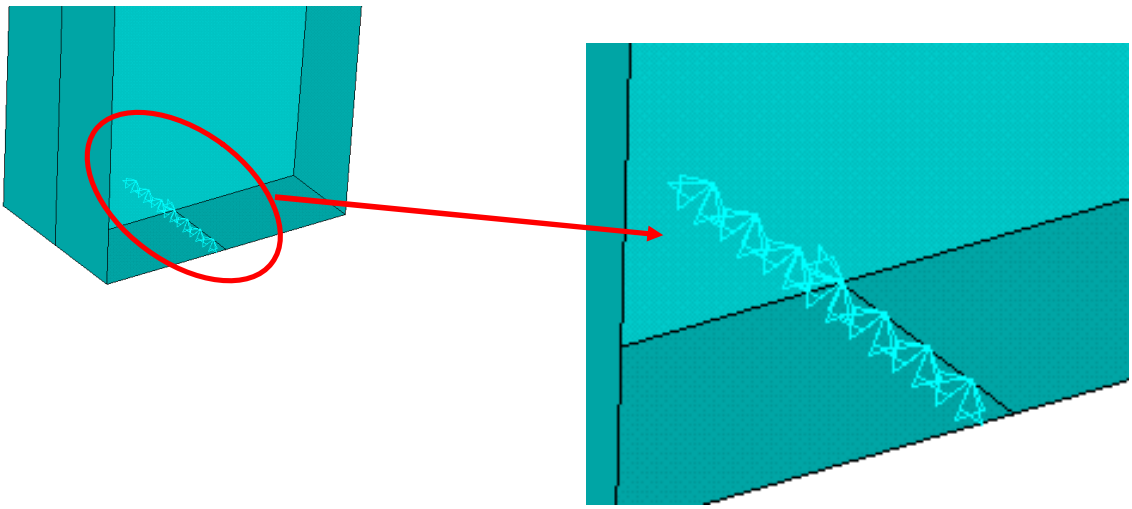
C. Vérification des poteaux de rive

1. Conditions aux limites



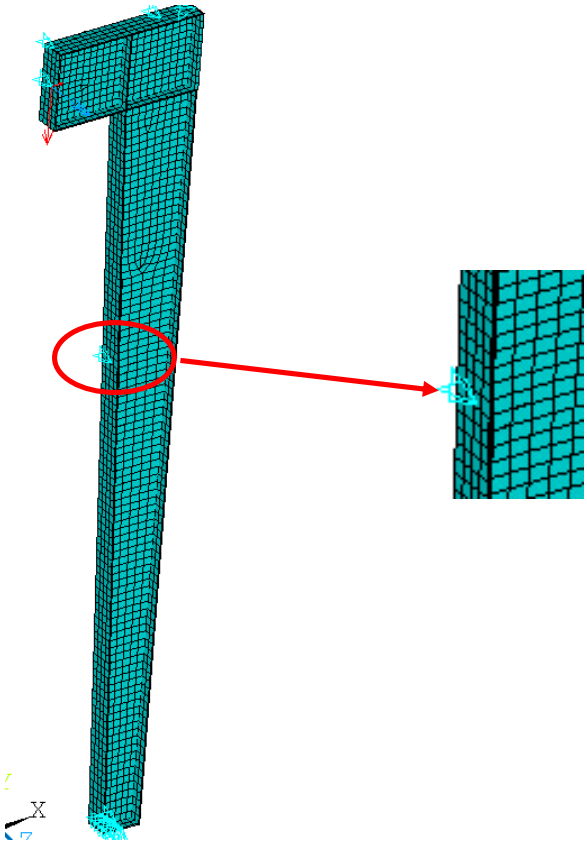
Le poteau est considéré articulé en pied. En tête, un appui transversal a été ajouté pour prendre en compte la tenue de la tête du poteau par les traverses (et la poutre au vent transversale)

Articulation en pied de poteau



- Appui intermédiaire au milieu du poteau

Afin de prévenir le flambement du poteau dans son petit sens, un appui intermédiaire a été ajouté lors de la modélisation. Un buton sera ajouté à mi hauteur du poteau pour permettre le maintien du poteau dans son petit sens.



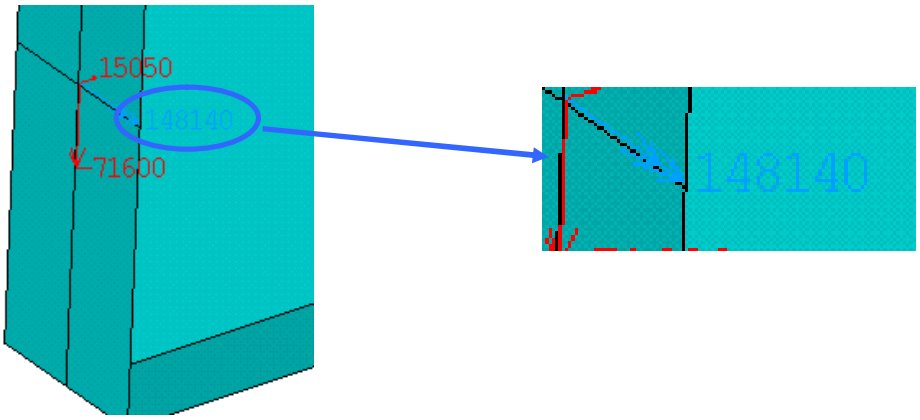
- Pannes et fiches

Un appui en tête de poteau a également été modélisé pour prendre en compte le maintient hors plan du poteau par les pannes.

2. Chargement mécanique

Le chargement du poteau a été déterminé à l'aide de la modélisation à froid sous combinaison d'incendie (voir annexe 3).
Les charges ont ensuite été appliquées en extrémité du poteau sous forme de charge ponctuelles et de moments (voir copie d'écran ci-dessous)

NOTA : les charges sur la copie d'écran ci-dessous sont exprimées en N et Nm

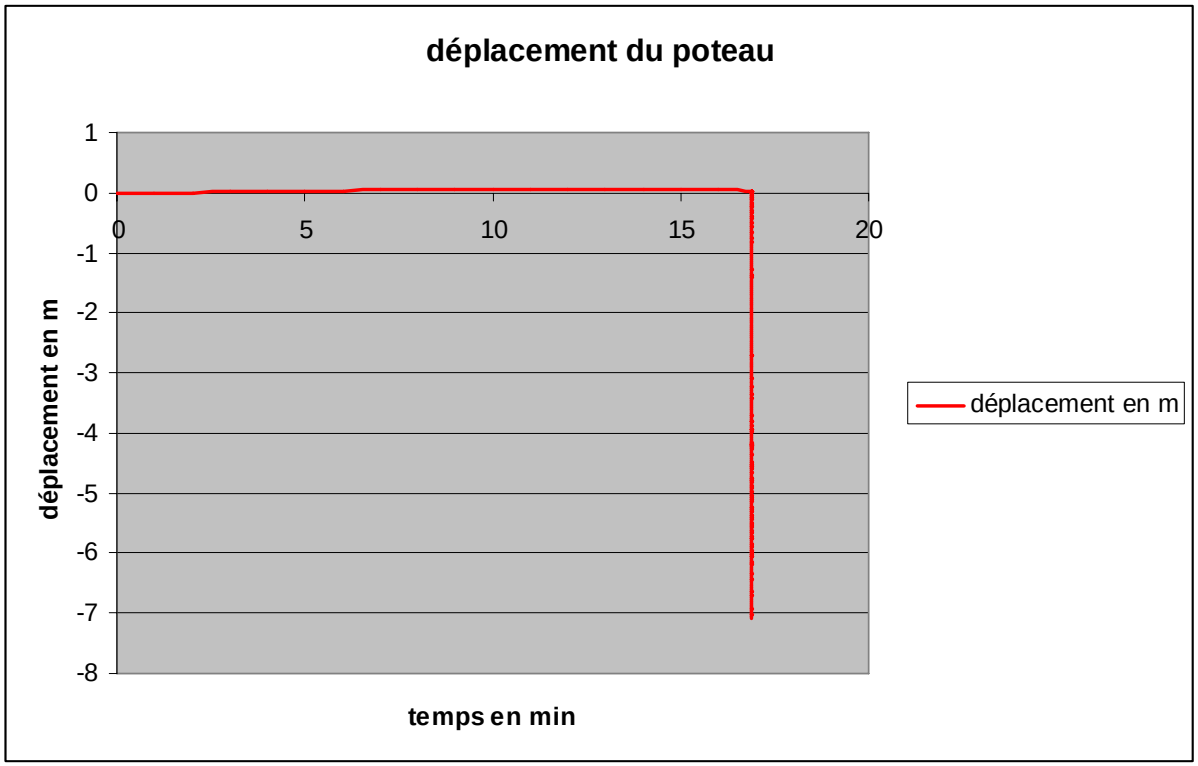


3. Imperfections géométriques

Les imperfections ont été appliquées suivant la même méthode que la traverse de rive.

4. Résultats – durée de tenue au feu

La courbe ci-dessous montre l'évolution de la déformée maximale du portique au cours de l'incendie.

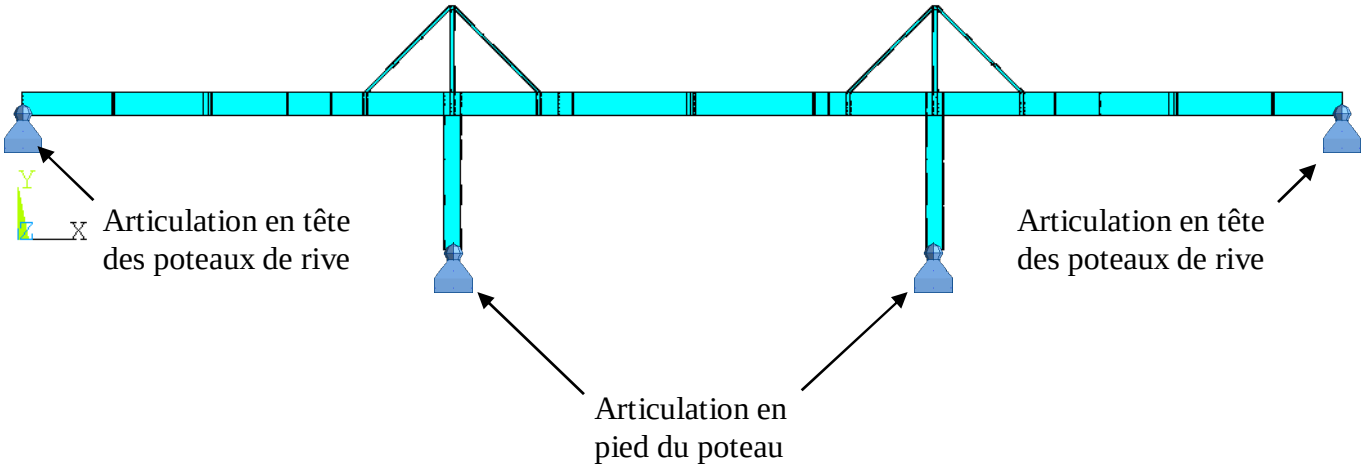


La ruine de la traverse se produit après 15 min et 30 secondes sous feu ISO.

Nota : le poteau présenté ci-dessus est situé en pignon file A. Le poteau situé en file E a été modélisé de la même manière. Le maintien à mi hauteur a été supprimé. La durée de tenue au feu pour ce poteau est de 16 minutes et 8 secondes.

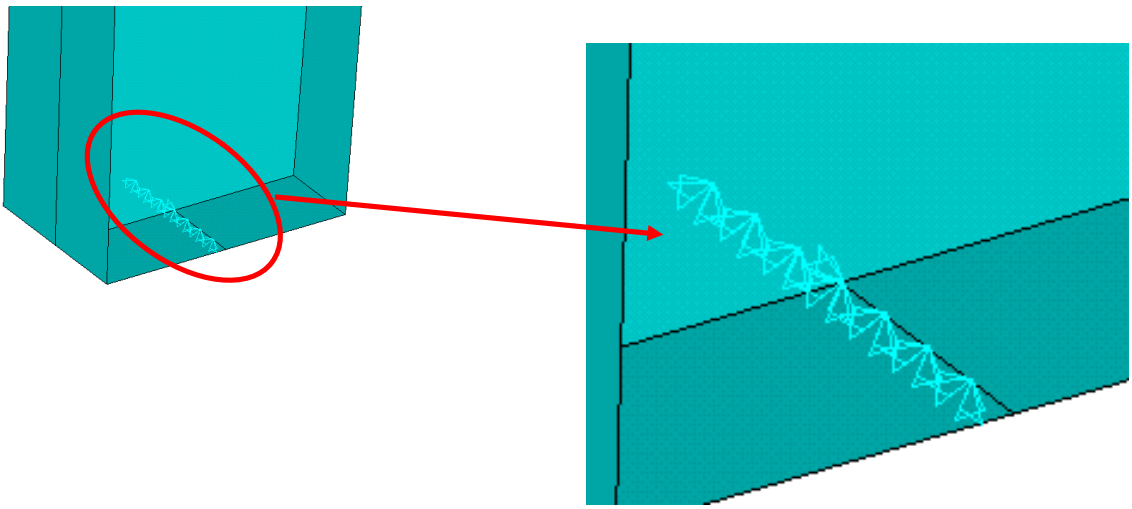
D. Vérification de des portiques transversaux

1. Conditions aux limites



Le poteau est considéré articulé en pied. La traverse est articulée sur les poteaux de rive (non représentés sur la coupe ci-dessus)

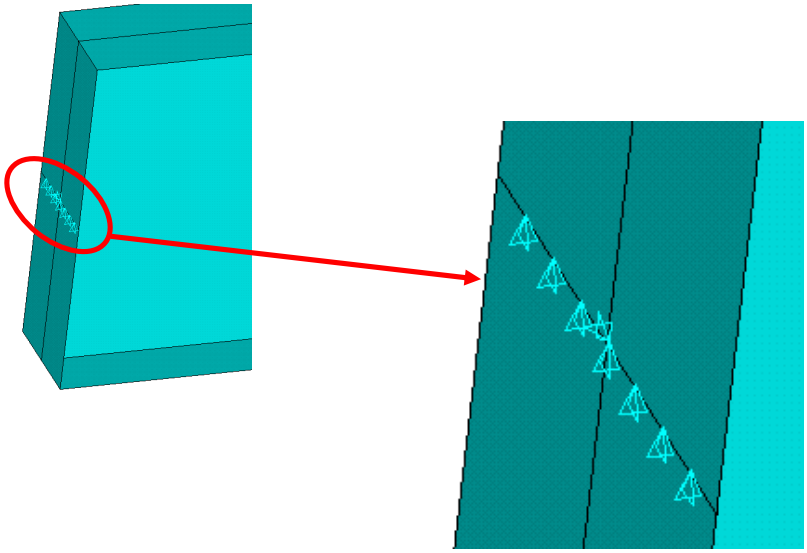
Articulation en pied de poteau



- Articulation et tête des poteaux de rive

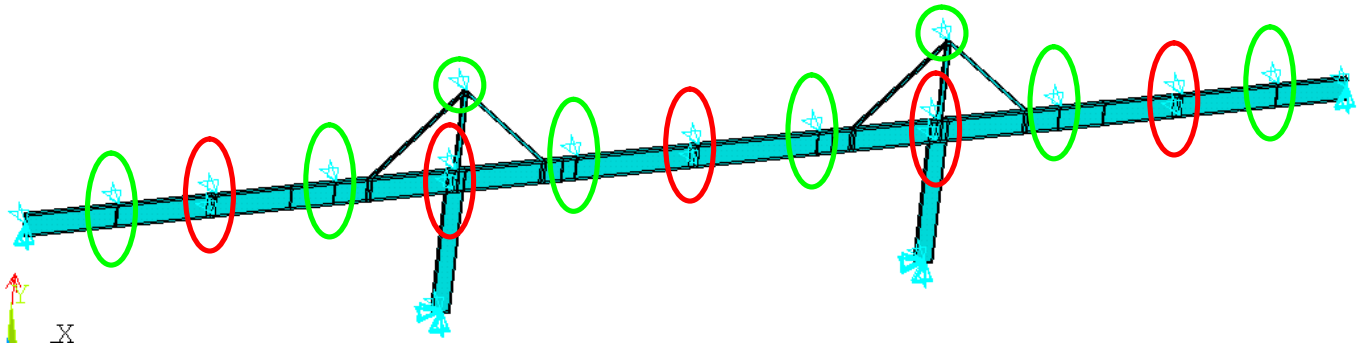
Les traverses étant articulées sur les poteaux de rive, les conditions aux limites suivantes ont été affectées en extrémité des traverses :

- Blocages des translations suivant Y
- Blocages des translations suivant Z

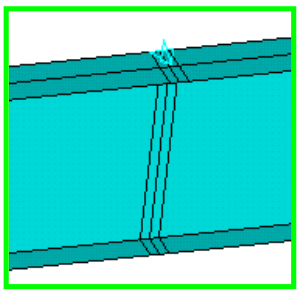


- Maintiens hors plan

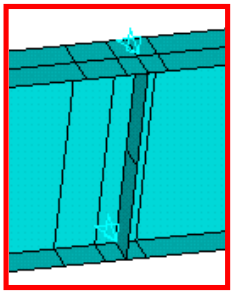
Les portiques de 4 x 25m maintiennent le flambement hors plan de la traverse du portique. Afin de prévenir le flambement entre ces points durs, des contreventements horizontaux ont été ajoutés. Des appuis donc ont été modélisés pour prendre en compte ces maintiens dans le calcul numérique.



Maintiens latéraux intermédiaires sur l'aile supérieure

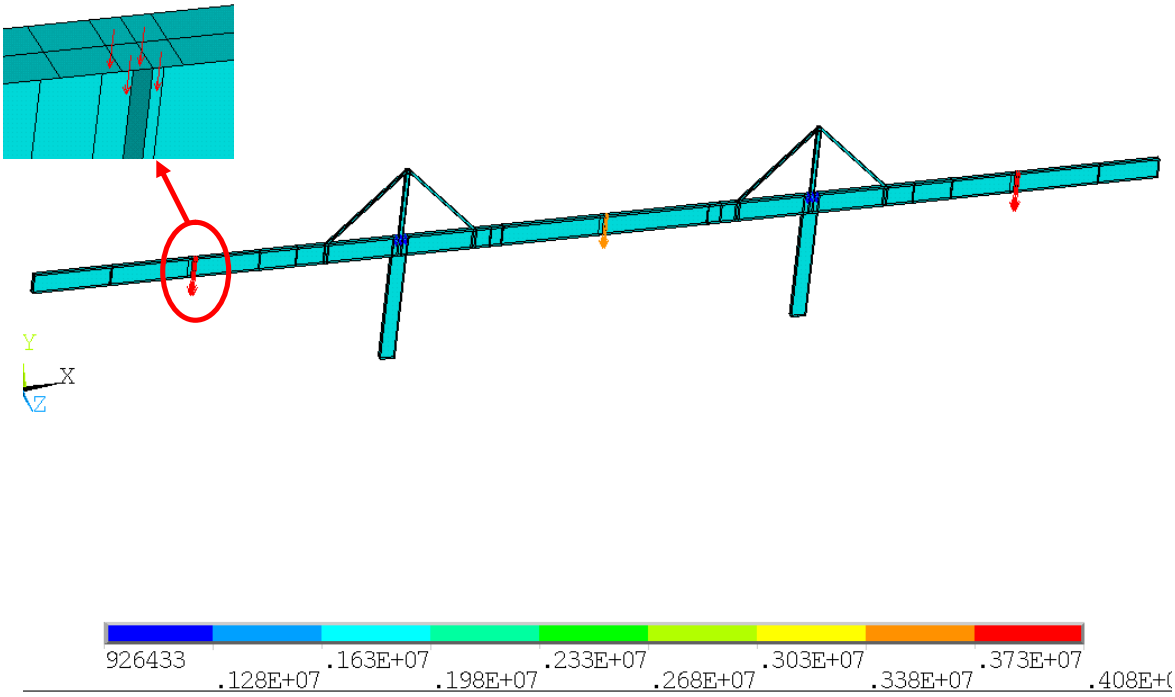


Maintiens latéraux du au traverses de portiques de 4x 25.00m



2. Chargement mécanique

Le chargement des traverses longitudinales sur la traverse transversale a été modélisé par une charge répartie au niveau de chaque traverse. Le détail de calcul des charges est décrit en annexe
NOTA : les charges sur la copie d'écran ci-dessous sont exprimées en N/m²

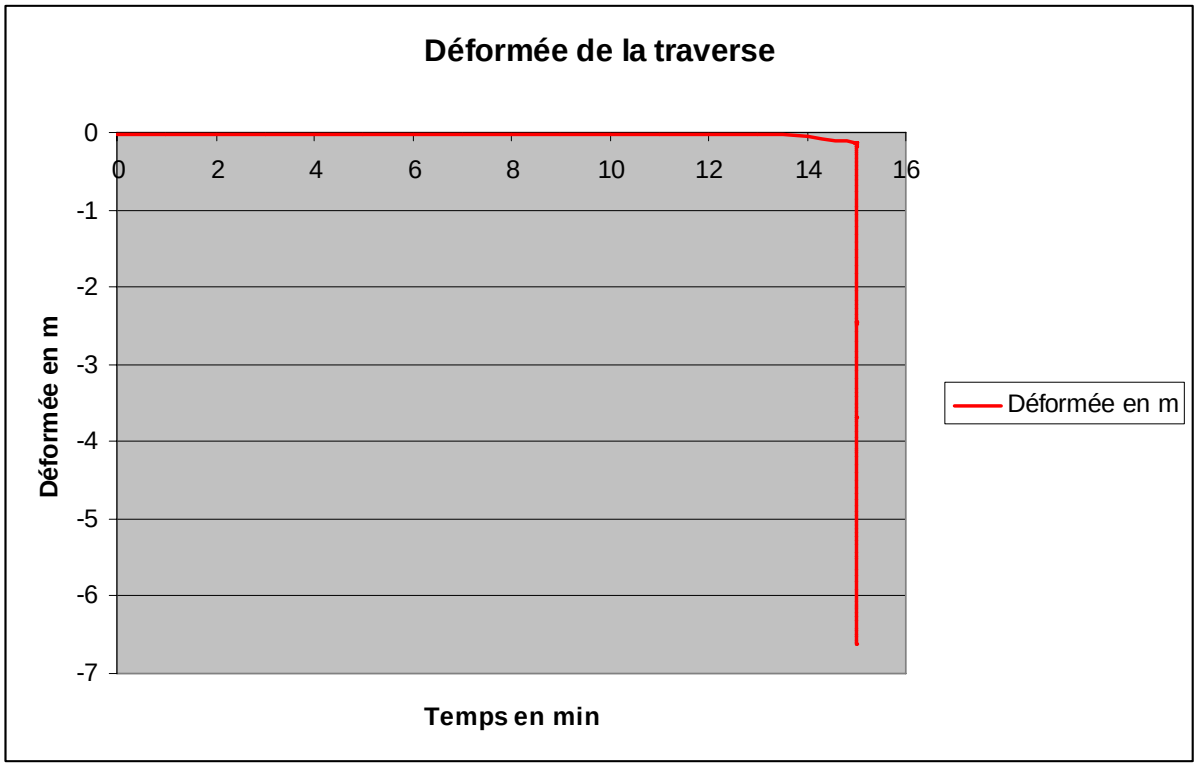


3. Imperfections géométriques

Les imperfections ont été appliquées suivant la même méthode que la traverse de rive.

4. Résultats – durée de tenue au feu

La courbe ci-dessous montre l'évolution de la déformée maximale du portique au cours de l'incendie.



La ruine de la traverse se produit après 15 min sous feu ISO.

VII. Conclusion

L'étude incendie a démontré que la ruine des éléments de la structure métallique apparaît après 15 minutes d'un incendie ISO 834.

De plus, au moment de la ruine du portique, l'incendie est généralisé à l'ensemble de la cellule (incendie ISO appliqué à l'ensemble de la structure). Les éléments en acier atteignent alors une température moyenne d'environ 650°C et les gaz à l'intérieur du bâtiment une température de 750°C environ. Dans la lettre « construire acier » n° 27 de décembre 2008 relative à la sécurité incendie, il est spécifié qu'une personne ne peut survivre au-delà de 80 °C. Dans ces conditions, à l'instant de l'effondrement de l'ossature métallique, les occupants ne seront plus dans la capacité d'évacuer les lieux. Afin d'obtenir de meilleures conditions de sécurité, il faudra donc travailler sur d'autres paramètres comme la mise en place de moyen de lute contre l'incendie (sprinklage, RIA, etc.) ou la mise en place de moyen d'évacuation plus importants (ajout de portes issue de secours, etc.)

ANNEXES

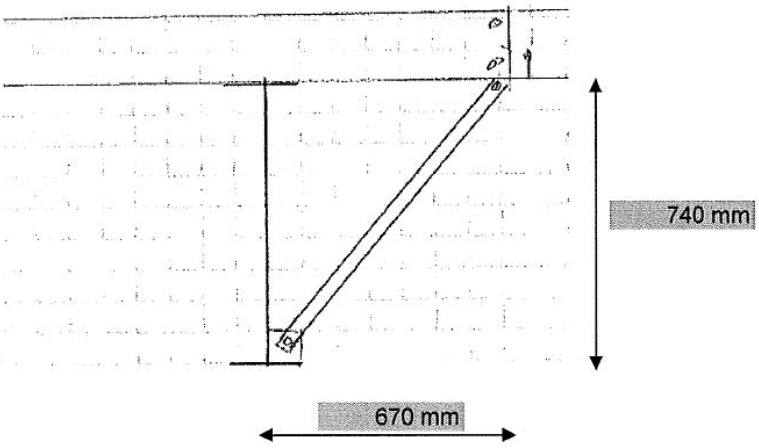
ANNEXE 1 : vérification contre fiches

VERIFICATION DES FICHES EN SIMPLE CORNIERE

section utilisée	L 60 x 60 x 6	
	60	mm
	60	mm
	6	mm
rayon de giration i	1.17	cm
Limite élastique fy :	235	Mpa ou N/mm²
section	691	mm²
surface de peinture	230	mm/m

Effort à prendre en compte

Moment maxi sous CP + 0.2 N	M	17029	daN.m
Longueur de la fiche	l	998.25	mm
effort horizontal à reprendre	F	460.24	daN
Effort dans la fiche	F	685.73	daN



Elancement à froid

lambda	$\lambda = \ell_{fl} / i$	85.32
lambda 1	$\lambda_1 = 93{,}9(235/f_y)^{0.5}$	93.3
lambda barre	$\bar{\lambda} = (\lambda / \lambda_1)$	0.914
xsi fi		0.3773

Facteur de massiveté

Am/V	332.85	

Température de la cornière après 15 minutes

teta a	712.78	°C
Ky teta	0.2147	

Résistance en situation d'incendie

Nfi,rd,teta	xsifi x kyteta x As x fy		
Nfi,rd,teta	1315.3 daN	>	685.7 daN

ANNEXE 2 : vérification des pannes

VERIFICATION DES PANNES PLS

1 - Hypothèses

Profilé utilisé PLS3225

Aire brute	903	mm²	
Portée	10.7	m	
fy	355	Mpa	limite élastique du profilé

Chargement

Charges permanentes	G	1302	N/m
Neige	S	735	N/m
Surcharges	Q	0	N/m

2 - Effort à reprendre

qfi,ed 1449 N/m

3 - Vérification de résistance de la section courante sous CP + 0.2S + 0.8Q

vérif 2995.93 N/m OK

$$q_{fi,Ed} \leq 0,10 \frac{f_y A_g}{L}$$

4 - Vérification de résistance des assemblages pannes courante sur éclisse sous CP + 0.2S + 0.8Q

Données

Profilé

épaisseur du PLS	t	2	mm
kt (car t > 1.25 mm)	kt	1	
Aire nette de la section transversale du PLS	Anet	831	mm²

Boulons

nombre de boulons sur l'assemblage	n	6	u
Diamètre de boulons	d	16	mm
résistance ultime à la traction du boulon	fub	600	N/mm²
rapport boulons	r	0.33	
Pince extérieure du boulon	e1	35	mm
αb $\alpha_b = \min(1; e_1/(3d))$	αb	0.729	
βb (bls classe 6.8 : 0.5 ; classe 8.8 : 0.6)	βb	0.5	
distance entre le premier et le dernier boulon	l	630	mm
βLF $\beta_{Lf} = 1-(\ell-15d)/200d$	βLF	0.878	
Aire de la section transversale d'un boulon	Ab	201.06	mm²

Eléments à serrer

ξ	1.17	

e	< 5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0
ξ_1	1	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,27	1,3	1,34	1,39	1,43	1,49	1,55	1,61	1,66	1,72
e : somme des épaisseurs des éléments assemblés (en mm)																

Tableau 16 : Valeurs de ξ_1 en fonction de l'épaisseur totale des éléments assemblés

verif_1	1 467.3 N/m	Vérification pression diamétrale
vérif_2	2 750.0 N/m	vérification de l'aire nette
vérif_3	2 079.1 N/m	vérification des boulons
min vérif	1 467.3 N/m	OK

$$q_{fi,Ed} \le \min \begin{cases} 0{,}27\xi_1\, n\alpha_b k_t f_y \dfrac{d \times t}{L} \\ 0{,}11\xi_1(1-0{,}675r)\dfrac{A_{net}\, f_y}{L} \\ 0{,}07\, n\, \beta_{Lf}\beta_b\, f_{ub}\dfrac{A_b}{L} \end{cases}$$

5 - Vérification de résistance des assemblages pannes de rive sur échantignolle sous CP + 0.2S + 0.8Q

Données

Profilé

épaisseur du PLS	t	2	mm
kt (car t > 1.25 mm)	kt	1	
Aire nette de la section transversale du PLS	Anet	831	mm²

Boulons

nombre de boulons sur l'assemblage	n	4	u
Diamètre de boulons	d	16	mm
résistance ultime à la traction du boulon	fub	600	N/mm²
rapport boulons	r	0.50	
Pince extérieure du boulon	e1	50	mm
αb $\alpha_b = \min(1; e_1/(3d))$	αb	1.000	
βb (bls classe 6.8 : 0.5 ; classe 8.8 : 0.6)	βb	0.5	
distance entre le premier et le dernier boulon	l	80	mm
βLF $\beta_{Lf} = 1-(\ell-15d)/200d$	βLF	1.050	
Aire de la section transversale d'un boulon	Ab	201.06	mm²

Eléments à serrer

ξ	1.3

e	< 5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0
ξ_1	1	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,27	1,3	1,34	1,39	1,43	1,49	1,55	1,61	1,66	1,72
e : somme des épaisseurs des éléments assemblés (en mm)																

Tableau 16 : Valeurs de ξ_1 en fonction de l'épaisseur totale des éléments assemblés

verif_1	1 490.6 N/m	Vérification pression diamétrale
vérif_2	2 612.0 N/m	vérification de l'aire nette
vérif_3	1 657.4 N/m	vérification des boulons
min vérif	1 490.6 N/m	OK

$$q_{fi,Ed} \leq \min \begin{cases} 0{,}27\xi_1\, n\alpha_b k_1 f_y \dfrac{d \times t}{L} \\ 0{,}11\xi_1(1-0{,}675r)\dfrac{A_{net}\, f_y}{L} \\ 0{,}07\, n\, \beta_{Lf}\beta_b\, f_{ub}\dfrac{A_b}{L} \end{cases}$$

6 - Vérification assemblages échantignolle arbalétrier sous CP + 0.2S + 0.8Q

Données

Echantignolle

largeur échantignolle		90	mm
épaisseur de l'échantignolle		6	mm
Limite élastique des échantignolles	fy	235	Mpa
diamètre de trous	d0	18	mm
entraxe trous	p1	80	mm
$\beta_2 = 0{,}4$ si $p_1 \leq 2{,}5d_0$ et $\beta_2 = 0{,}7$ si $p_1 \geq 5d_0$	β2	0.633	
Aire nette de la section transversale	Anet	432	mm²

Profilé

épaisseur du PLS	t	2	mm

Assemblage

nombre de boulons	n	2	u
βb (bls classe 6.8 : 0.5 ; classe 8.8 : 0.6)	βb	0.5	
résistance ultime à la traction du boulon	fub	600	N/mm²
Diamètre de boulons	d	16	mm
Aire de la section transversale d'un boulon	Ab	201.06	mm²

vérif_1	1 562.3 N/m	vérification section nette
vérif_2	1 916.7 N/m	vérification pression diamétrale
min vérif	1 562.3 N/m	OK

$$q_{fi,Ed} \leq \min \begin{cases} 0{,}26\,\beta_2 \dfrac{A_{net} f_y}{L} \\ 0{,}17\, n\, \beta_b\, f_{ub} \dfrac{A_b}{L} \end{cases}$$

ANNEXE 3 : chargement des différents parties de la structure lors du calcul aux éléments finis

1-Ossature longitudinale

1- Données chargement

Charges permanentes

couverture	25 kg/m²	
panneaux photovoltaiques	20 kg/m²	sur versants sud
pannes	5 kg/m²	
sprinklage	8 kg/m²	
divers	4 kg/m²	

Neige

neige	36 kg/m²	

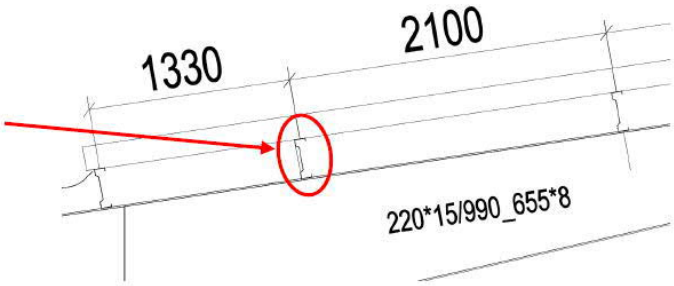
2-Chargement sur chaque pannes

PANNE N° 1

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne de la panne 1.715 m =(1.33+2.1)/2

panne concernée par le calcul

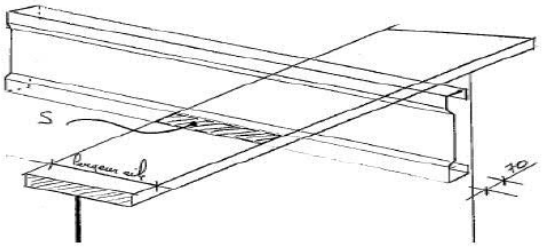


longueur de la panne	10.700 m	dito note de calcul à froid
coefficient de continuité	1.005	dito note de calcul à froid
surface reprise par une panne	**18.442 m²**	= 10.7 x 1.005 x 1.715

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.220 m
largeur aile panne	0.070 m
surface d'appuis	**0.015 m²**

Surface d'appui de la panne considérée en calcul aux éléments finis



Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	69 kg/m²	
charge ponctuelle appui panne	**1276 daN**	= 69.2 x 18.442

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**828 704 N/m²**	= 1276 / 0.0154 x10

PANNE N° 2 à 10 ; 37 à 43

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne de la panne	2.100 m
longueur de la panne	10.700 m
coefficient de continuité	1.005
surface reprise par une panne	**22.582 m²**

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.220 m
largeur aile panne	0.070 m
surface d'appuis	**0.015 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	69 kg/m²
charge ponctuelle appui panne	**1563 daN**

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**1 014 739 N/m²**

PANNE N° 11

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne de la panne	2.120 m
longueur de la panne	10.700 m
coefficient de continuité	1.005
surface reprise par une panne	**22.797 m²**

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.220 m
largeur aile panne	0.070 m
surface d'appuis	**0.015 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	69 kg/m²
charge ponctuelle appui panne	**1578 daN**

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**1 024 404 N/m²**

PANNE N° 12 et 13 ; 23 et 24 ; 34 et 35

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne de la panne	2.000 m
longueur de la panne	10.700 m
coefficient de continuité	1.005
surface reprise par une panne	**21.507 m²**

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.150 m
largeur aile panne	0.070 m
surface d'appuis	**0.011 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	49 kg/m²
charge ponctuelle appui panne	**1058 daN**

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**1 007 757 N/m²**

PANNE N° 103 ; 106

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne de la panne	1.380 m
longueur de la panne	10.700 m
coefficient de continuité	1.005
surface reprise par une panne	**14.840 m²**

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.250 m
largeur aile panne	0.465 m
surface d'appuis	**0.116 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	49 kg/m²
charge ponctuelle appui panne	**730 daN**

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**62 806 N/m²**

PANNE N° 14 ; 25

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne	1.430 m
longueur de la panne	10.700 m
coefficient de continuité	1.005
surface reprise par une panne	**15.378 m²**

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.250 m
largeur aile panne	0.070 m
surface d'appuis	**0.018 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	69 kg/m²
charge ponctuelle appui panne	**1064 daN**

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**608 070 N/m²**

PANNE N° 15 à 21 ; 26 à 32

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne	2.100 m
longueur de la panne	10.700 m
coefficient de continuité	1.005

surface reprise par une panne	**22.582 m²**

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.250 m
largeur aile panne	0.070 m
surface d'appuis	**0.018 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	69 kg/m²
charge ponctuelle appui panne	**1563 daN**

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**892 971 N/m²**

PANNE N° 22 ; 33

Calcul de la surface reprise par la panne

bande de charge de la panne	2.120 m
longueur de la panne	10.700 m
coefficient de continuité	1.005
surface reprise par une panne	**22.797 m²**

Calcul de la surface d'appui de la panne sur la traverse

largeur aile traverse	0.250 m
largeur aile panne	0.070 m
surface d'appuis	**0.018 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge sous CP + 0.2 N	69 kg/m²
charge ponctuelle appui panne	**1578 daN**

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne	**901 475 N/m²**

Ossature transversale :

1- Données chargement

Charges permanentes	F	22 287 daN
Neige	F	10 970 daN

NOTA : les chaarges ont été déterminée par un logiciel de calcul à froid

2-Chargement sur chaque pannes

TRAVERSE N° 1 et 5

Calcul de la surface d'appui considérée pour le calcul aux éléments finis

largeur aile traverse 0.300 m
largeur aile panne 0.200 m
surface d'appuis **0.060 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge ponctuelle appui traverse 24 481 daN

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne **4 080 167 N/m²** = 24481 / 0.06 x10

TRAVERSE N° 2 et 4

Calcul de la surface d'appui considérée pour le calcul aux éléments finis

largeur aile traverse 0.350 m
largeur aile panne 0.755 m
surface d'appuis **0.264 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge ponctuelle appui traverse 24 481 daN

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne **926 433 N/m²** = 24481 / 0.26425 x10

TRAVERSE N° 3

Calcul de la surface d'appui considérée pour le calcul aux éléments finis

largeur aile traverse 0.350 m
largeur aile panne 0.200 m
surface d'appuis **0.070 m²**

Calcul de la charge ponctuelle ramenée par la panne

charge ponctuelle appui traverse 24 481 daN

Calcul de la charge surfacique à entre dans le code de calcul aux éléments finis

charge surfacique au droit de la panne **3 497 286 N/m²** = 24481 / 0.07 x10