

TETRA
Studienamiddag 6 november 2009

Toepassingsgebiet ontwerpsoftware

Jean-Marc FRANSSEN
jm.franssen@ulg.ac.be



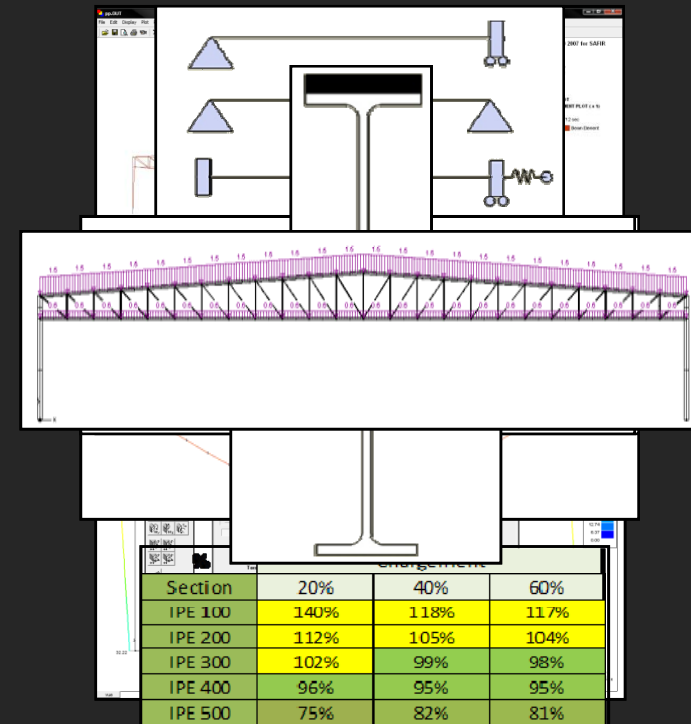
Présentation basée sur le T.F.E. de
Julien TOURBACH





Plan de l'exposé:

1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre-treillis
7. Conclusions





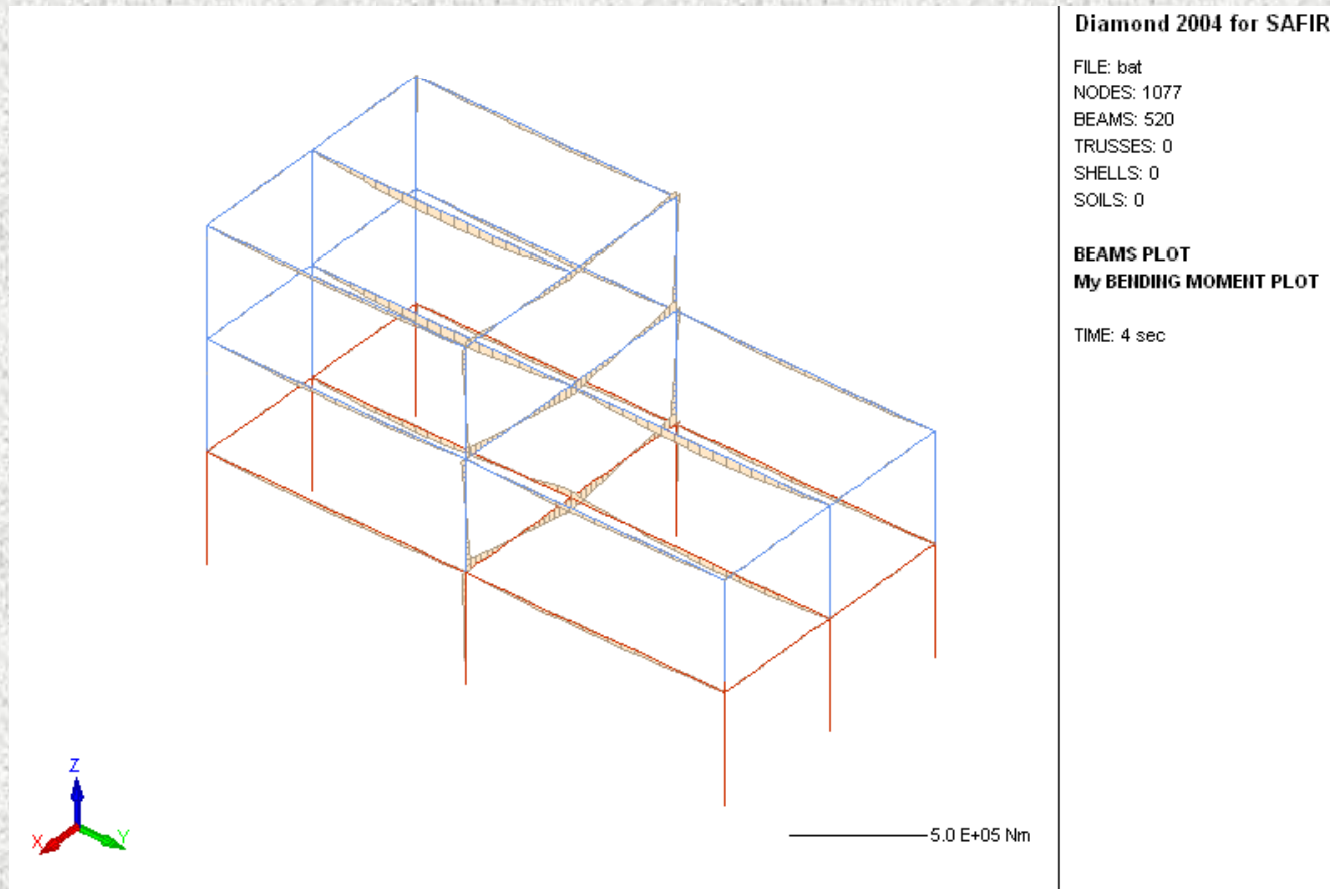
- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. Présentation | 5. Exposition au feu sur 3 faces |
| 2. Modèles de poutre | 6. Modèle 2D de poutre treillis |
| 3. Premier modèle de portique | 7. Conclusions |
| 4. Second modèle de portique | |

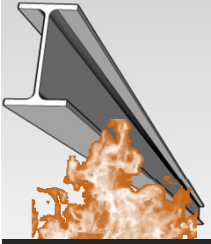
Présentation



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Main source of difference between simple calculation model and general calculation model: indirect effects of actions





1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

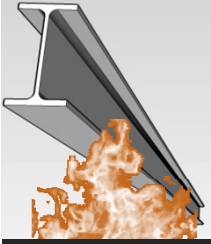
Présentation

Question: is it possible to estimate the indirect effects of action by a linear thermo-elastic model ?

- Introduction of thermal elongation
- Introduction of the reduction of the Young's modulus

$$\sigma_{th} = E(t) \times (\varepsilon_{th} - \varepsilon_{total})$$

If free expansion, no thermal stress because $\varepsilon_{th} = \varepsilon_{total}$



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Présentation

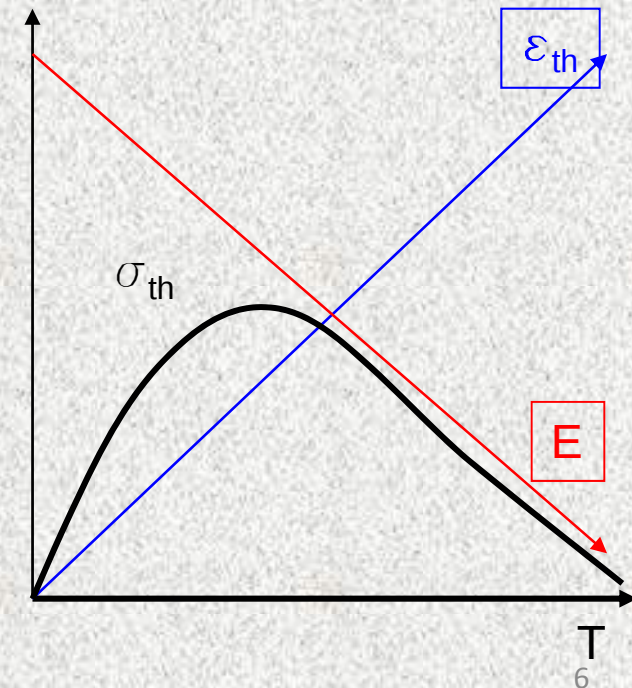
Question: is it possible to estimate the indirect effects of action by a linear thermo-elastic model ?

- Introduction of thermal elongation
- Introduction of the reduction of the Young's modulus

$$\sigma_{th} = E(t) \times (\varepsilon_{th} - \varepsilon_{total})$$

If expansion completed restrained, $\sigma_{th} = E(T) \times \varepsilon_{th}$

=> yielding at low temperatures (around 200°C)





1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Présentation

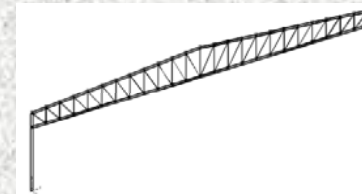
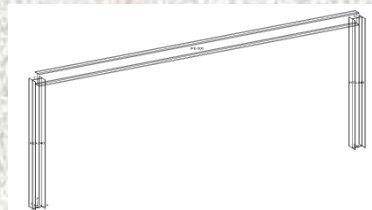
Question: is it possible to estimate the indirect effects of action by a linear thermo-elastic model ?

- Introduction of thermal elongation
- Introduction of the reduction of the Young's modulus

Comparaisons des RF:

✓ *PowerFrame*

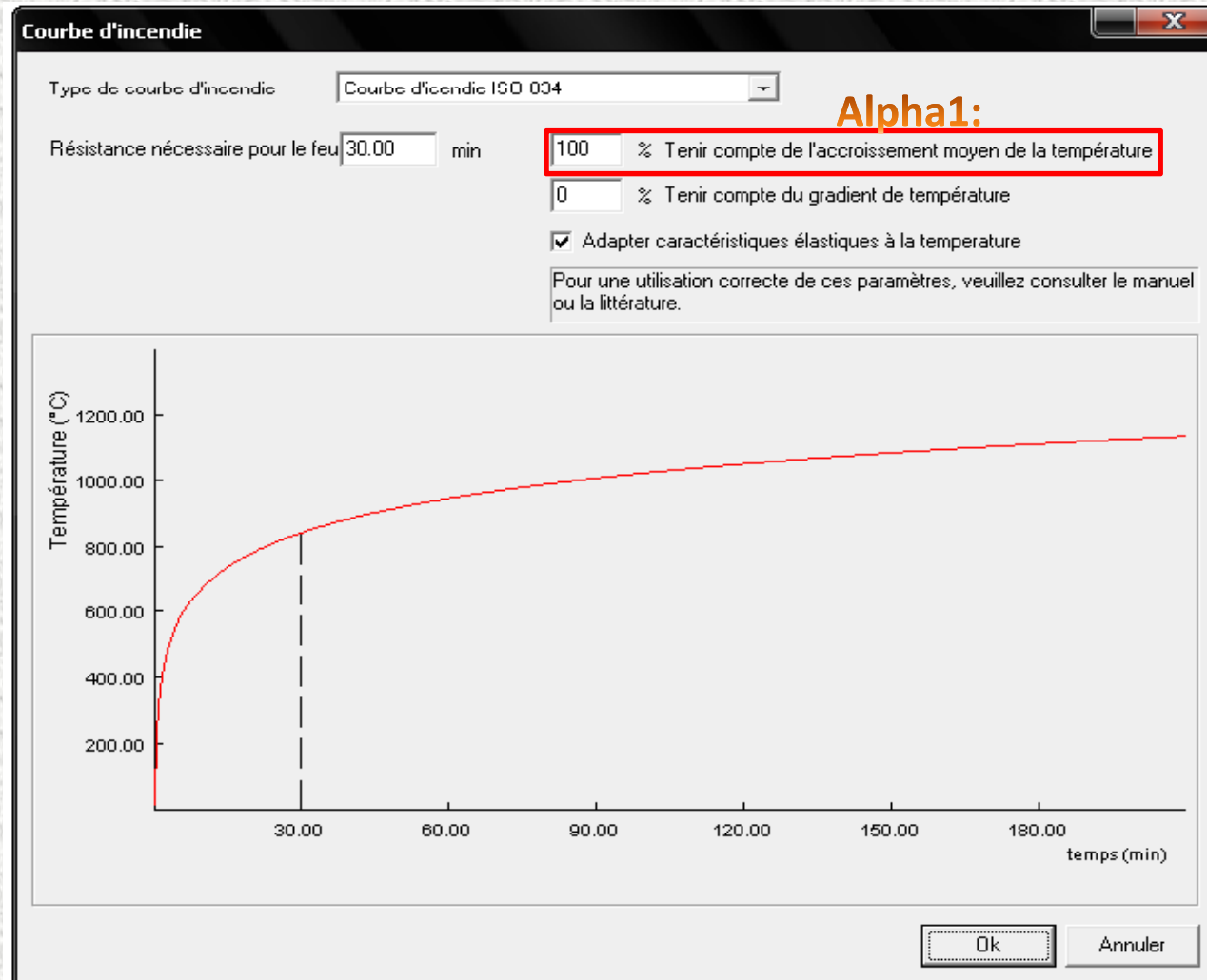
✓ *SAFIR (référence)*





1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

PowerFrame:



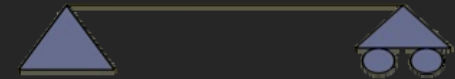
(PowerFrame : Fenêtre de configuration des courbes d'incendie, *Prise de vue du Logiciel*)



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

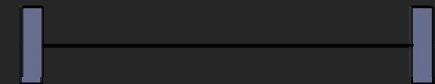
Modèles de poutre

Dilatation libre



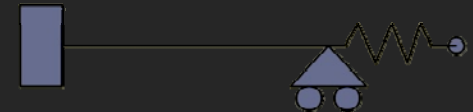
-

Dilatation empêchée



-

Bridage partiel





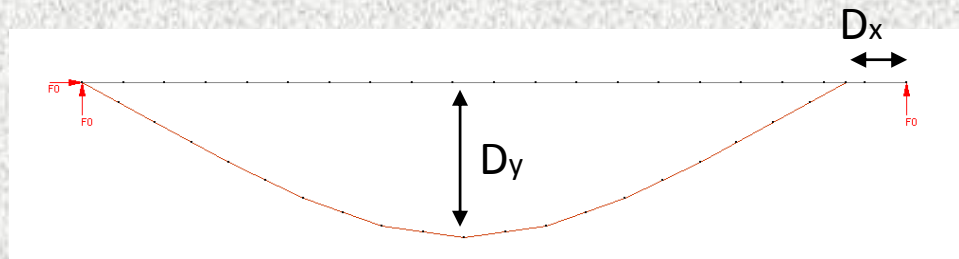
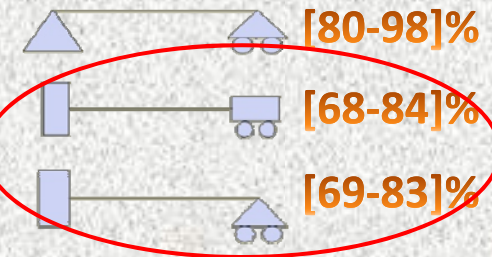
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre > dilatation libre

■ RF de PowerFrame sont plus courtes

- ✓ T° uniforme hors de cause
- ✓ Analyse plastique des poutres hyperstatiques
- ✓ Sous-estimation des déformations

$R_{\text{Powerframe}}/R_{\text{SAFIR}}$



Dx SAFIR : max -0.74m

Dy SAFIR : max -1.62m

Dx PowerFrame : **toujours positifs**

Dy PowerFrame : max à -0.21m

Because of Dx, the effective length is reduced in SAFIR, and so is M



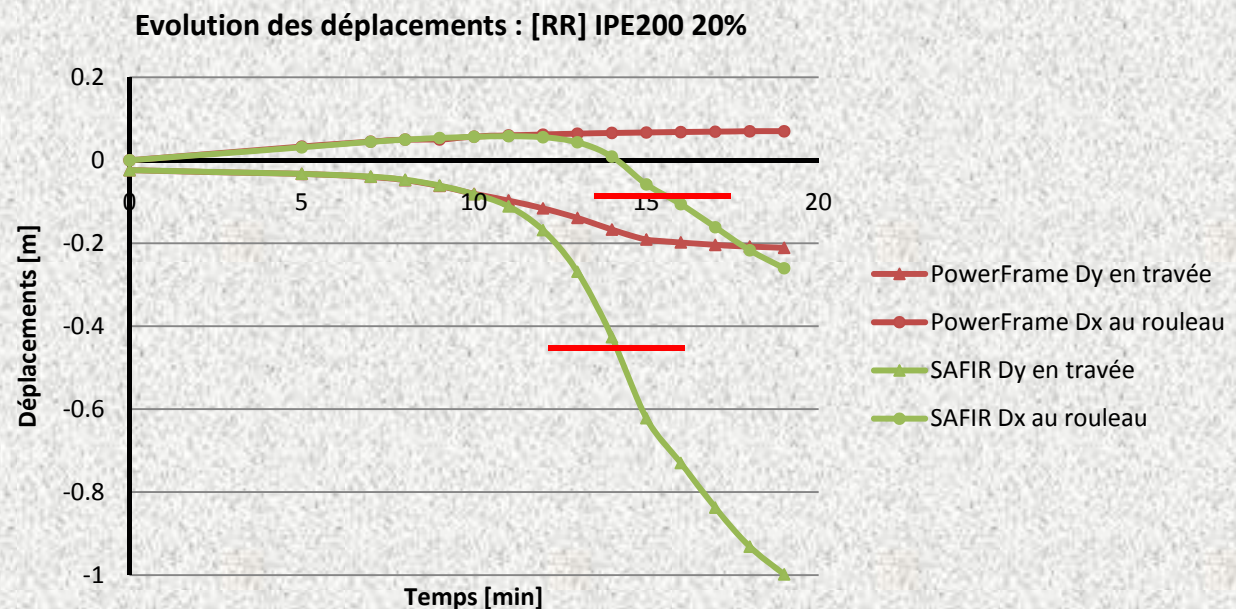
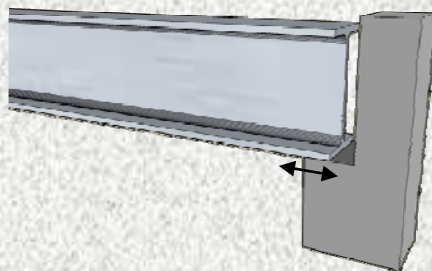
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre > dilatation libre

■ RF de PowerFrame sont plus courtes

- ✓ T° uniforme hors de cause
- ✓ Analyse plastique des poutres hyperstatiques
- ✓ Sous-estimation des déformations

→ Ruine sous critère de déplacement maximum (ex.: $D_x < 7 \text{ cm}$, $D_y < L/20$)





1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre

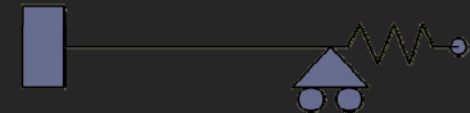
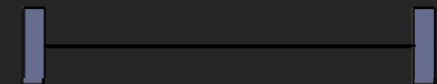
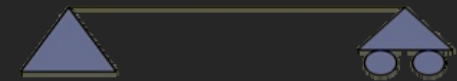
Dilatation libre

-

Dilatation empêchée

-

Bridage partiel



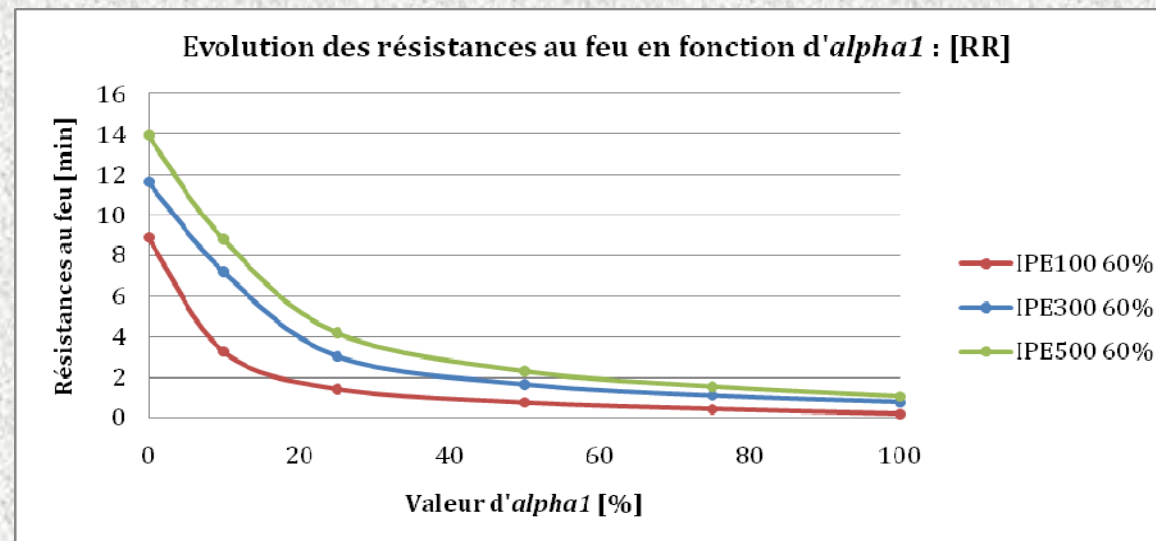


1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre > dilatation empêchée

PowerFrame:

- **Alpha1 à 100%: RF très fortement raccourcies (< 2.5min)**
- **Alpha1 à 0%: RF identiques au cas libre**
- **RF en fonction d'Alpha1**

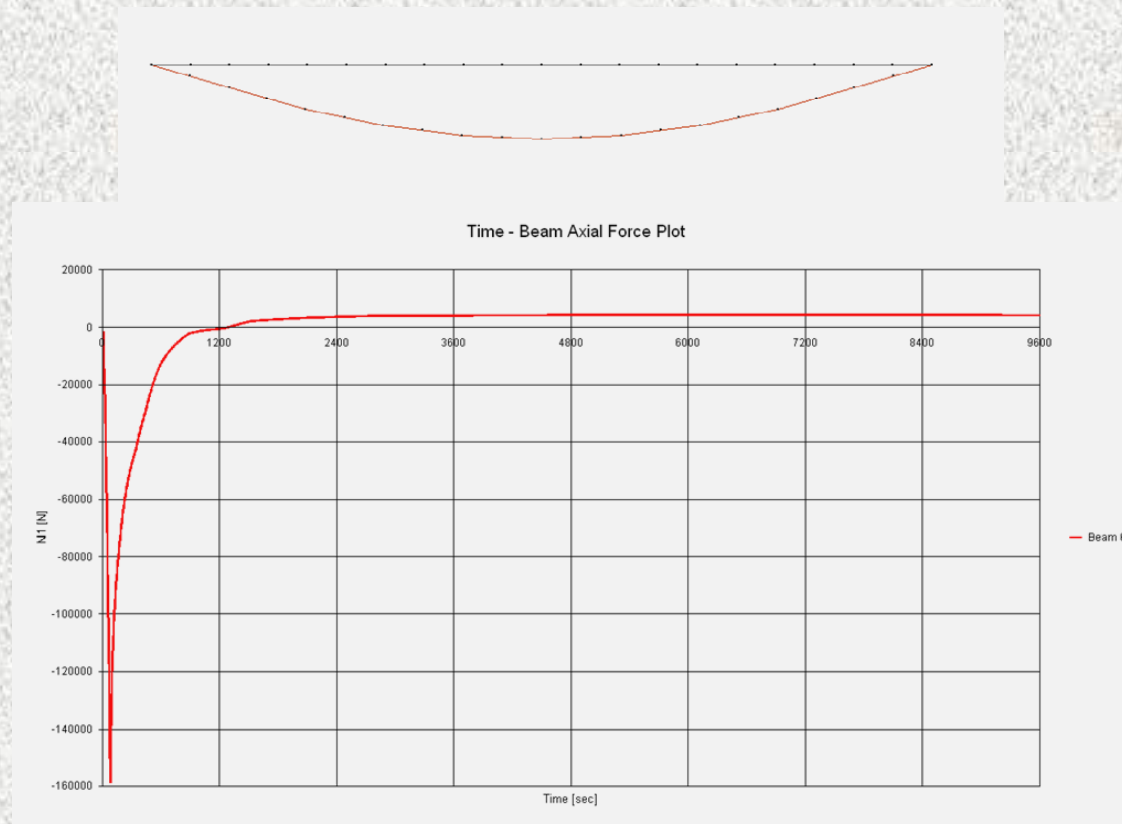




1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre > dilatation empêchée

- SAFIR : Accroissement des RF (petites sections)
- ✓ Développement d'un fonctionnement membranaire





1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre > dilatation empêchée

✓ Dans ces conditions, quelles que soient les valeurs d'Alpha1 choisies, la méthode linéaire donne des RF plus courtes et incomparables à celles obtenues via la méthode non-linéaire.

→ Quid des RF sous critères de flèche maximale en travée? ($D_y < L/20$ for SAFIR)

→ Utilisation d' Alpha1 pour égaliser les RF avec celles de SAFIR



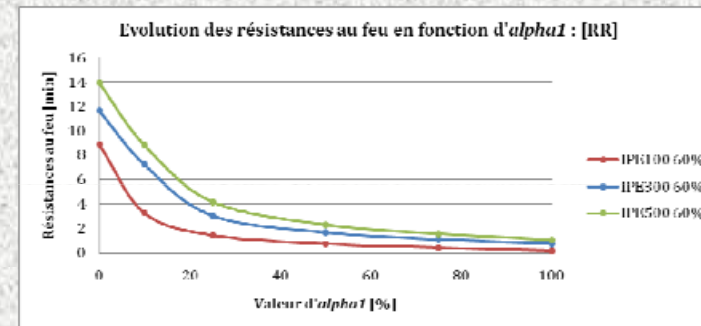
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre > dilatation empêchée

Alpha1	Chargement		
Section	20%	40%	60%
Modèle rotulé-rotulé [RR]			
IPE 100	6%	5%	4%
IPE 200	8%	6%	5%
IPE 300	7%	6%	5%
IPE 400	4%	5%	0%
Modèle encastré-encastré [EE]			
IPE100	7%	6%	5%
IPE200	3%	-	-
Modèle encastré-rotulé [ER]			
IPE100	5%	5%	4%
IPE200	4%	-	-

Alpha1 est-il utilisable pratiquement?

- ✓ Non universel
- ✓ Dépendant du critère de ruine
- ✓ Différentes valeurs à impact fort
- ✓ Effet favorable-défavorable



→ L'utilisation d'Alpha1 n'est pas applicable de manière pratique

Garder Alpha1 à 100% = sécuritaire mais trouve peu d'utilité...



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre

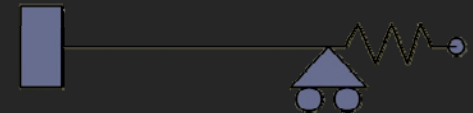
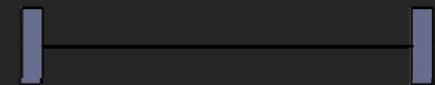
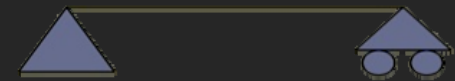
Dilatation libre

-

Dilatation empêchée

-

Bridage partiel





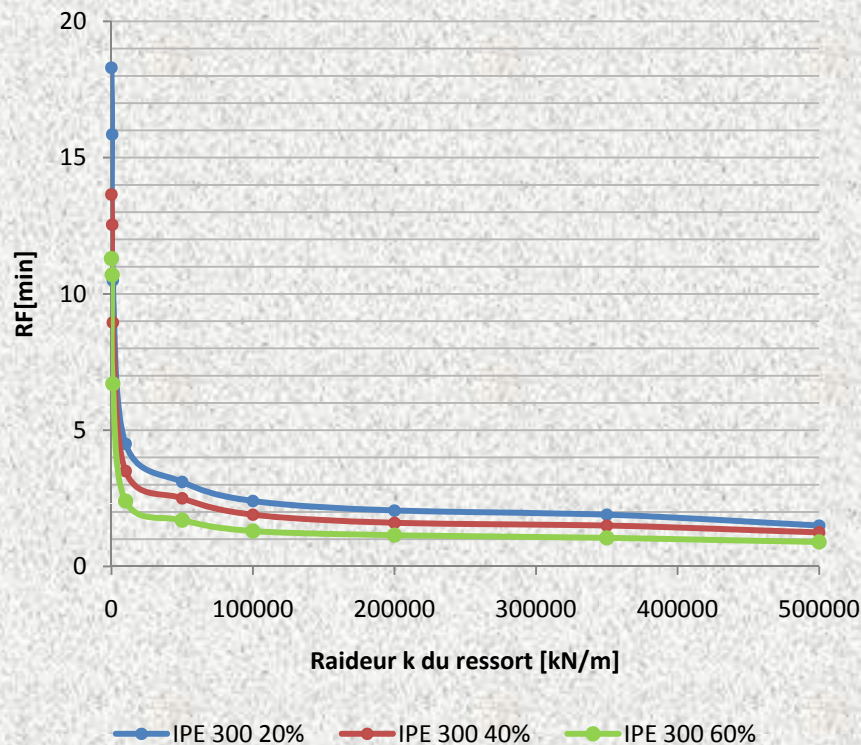
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de poutre > bridage partiel

PowerFrame

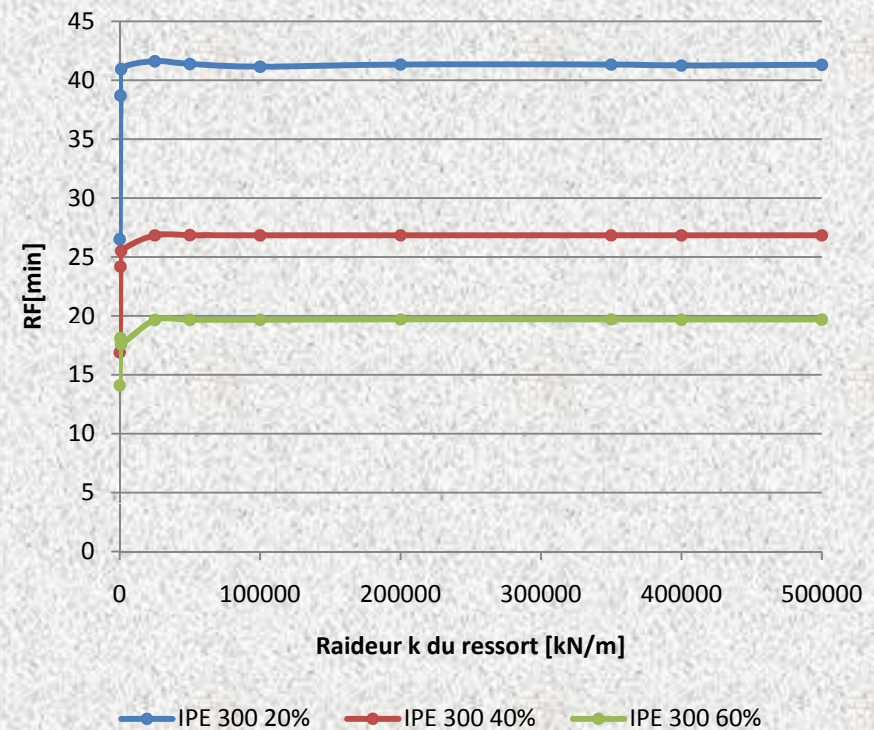
Alpha1 = 100%

IPE300 cas EE - Evolution des RF en fonction du k du ressort



SAFIR

IPE300 cas EE - Evolution des RF en fonction du k du ressort





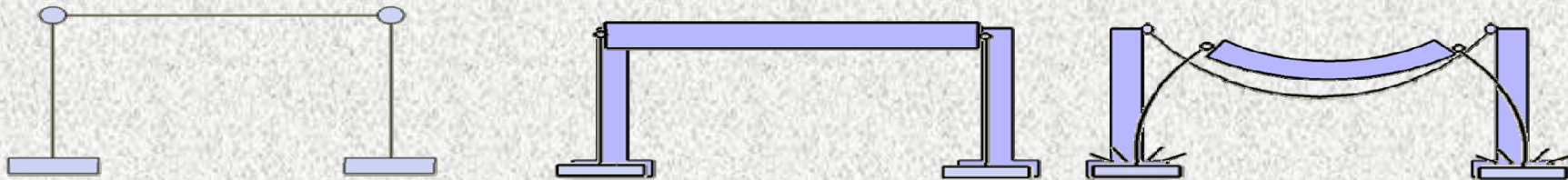
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèles de portique



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Premier portique:



$$R_{\text{Powerframe}}/R_{\text{SAFIR}}$$

	Alpha 1 à 0%			Alpha 1 à 100%		
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	62%	88%		43%	87%	
HEA240	13%	68%	73%	2%	60%	70%
HEA360	13%	46%	69%	1%	30%	59%
Chargement de la poutre à 20%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	52%	93%		43%	93%	
HEA240	11%	72%	79%	3%	67%	79%
HEA360	7%	43%	75%	1%	34%	68%
Chargement de la poutre à 40%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	57%	93%		50%	93%	
HEA240	14%	71%	79%	3%	68%	78%
HEA360	6%	46%	74%	0%	37%	68%
Chargement de la poutre à 60%						



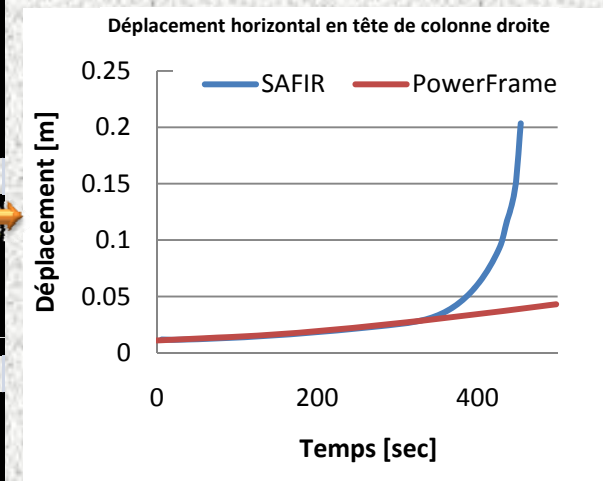
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Second portique:



$$R_{\text{Powerframe}}/R_{\text{SAFIR}}$$

Sections	Alpha 1 à 0%			Alpha 1 à 100%		
	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	92%	106%		89%	99%	
HEA240	94%	92%	88%	91%	79%	74%
HEA360	97%	82%	78%	93%	75%	66%
Chargement de la poutre à 20%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	93%	126%		90%	110%	
HEA240	92%	93%	87%	89%	84%	72%
HEA360	92%	86%	83%	89%	78%	72%
Chargement de la poutre à 40%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	92%			87%		
HEA240	85%	94%	82%	81%	85%	40%
HEA360	88%	87%	83%	82%	77%	73%
Chargement de la poutre à 60%						





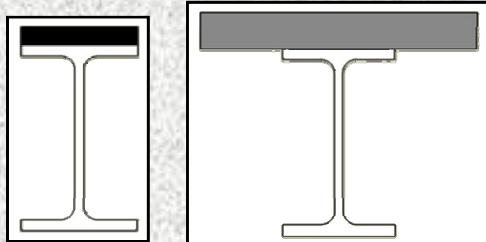
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Exposition au feu sur 3 faces



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Exposition au feu sur 3 faces:



- ✓ Adiabatique – coupe-feu
- ✓ Dalle en béton

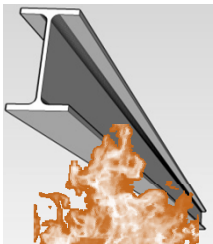
De manière générale, mêmes comportements remarqués que sur les modèles 4 faces
MAIS problèmes supplémentaires liés à la distribution non uniforme de la T° et de
l'utilisation du facteur d'adaptation κ_1

(7) Il convient de prendre la valeur du facteur d'adaptation κ_1 pour une distribution non uniforme de la température dans une section de la façon suivante:

- pour une poutre exposée sur les quatre faces: $\kappa_1 = 1,0$
- pour une poutre non protégée exposée sur trois faces, avec une dalle en béton, mixte ou non, sur la quatrième face: $\kappa_1 = 0,70$
- pour une poutre protégée exposée sur trois faces, avec une dalle en béton, mixte ou non, sur la quatrième face: $\kappa_1 = 0,85$

(EN 1993 partie 1-2 : 4.2.3.2. (7) Facteur d'adaptation κ_1)

→ Augmentation du nombre d'exemples insécuritaires



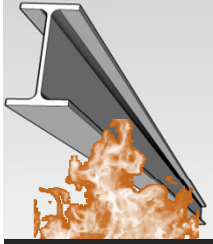
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Exposition au feu sur 3 faces:



Sections	Alpha 1 à 0%			Alpha 1 à 100%		
	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	64%	112%		38%	85%	
HEA240	15%	87%	103%	3%	59%	78%
HEA360	15%	61%	99%	1%	31%	65%
Chargement de la poutre à 20%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	58%	142%		41%	123%	
HEA240	15%	84%	103%	3%	67%	88%
HEA360	9%	53%	97%	1%	36%	75%
Chargement de la poutre à 40%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	65%	156%		48%	131%	
HEA240	18%	87%	104%	3%	69%	88%
HEA360	7%	58%	98%	1%	39%	77%
Chargement de la poutre à 60%						

Sections	Alpha 1 à 0%			Alpha 1 à 100%		
	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	91%	157%		88%	147%	
HEA240	96%	77%	102%	92%	70%	86%
HEA360	102%	72%	82%	97%	66%	67%
Chargement de la poutre à 20%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	101%	230%		96%	201%	
HEA240	120%	93%	105%	115%	86%	87%
HEA360	101%	88%	89%	98%	80%	77%
Chargement de la poutre à 40%						
Sections	IPE100	IP300	IPE500	IPE100	IP300	IPE500
HEA100	110%			104%		
HEA240	100%	96%	118%	95%	89%	59%
HEA360	107%	89%	90%	101%	80%	84%
Chargement de la poutre à 60%						



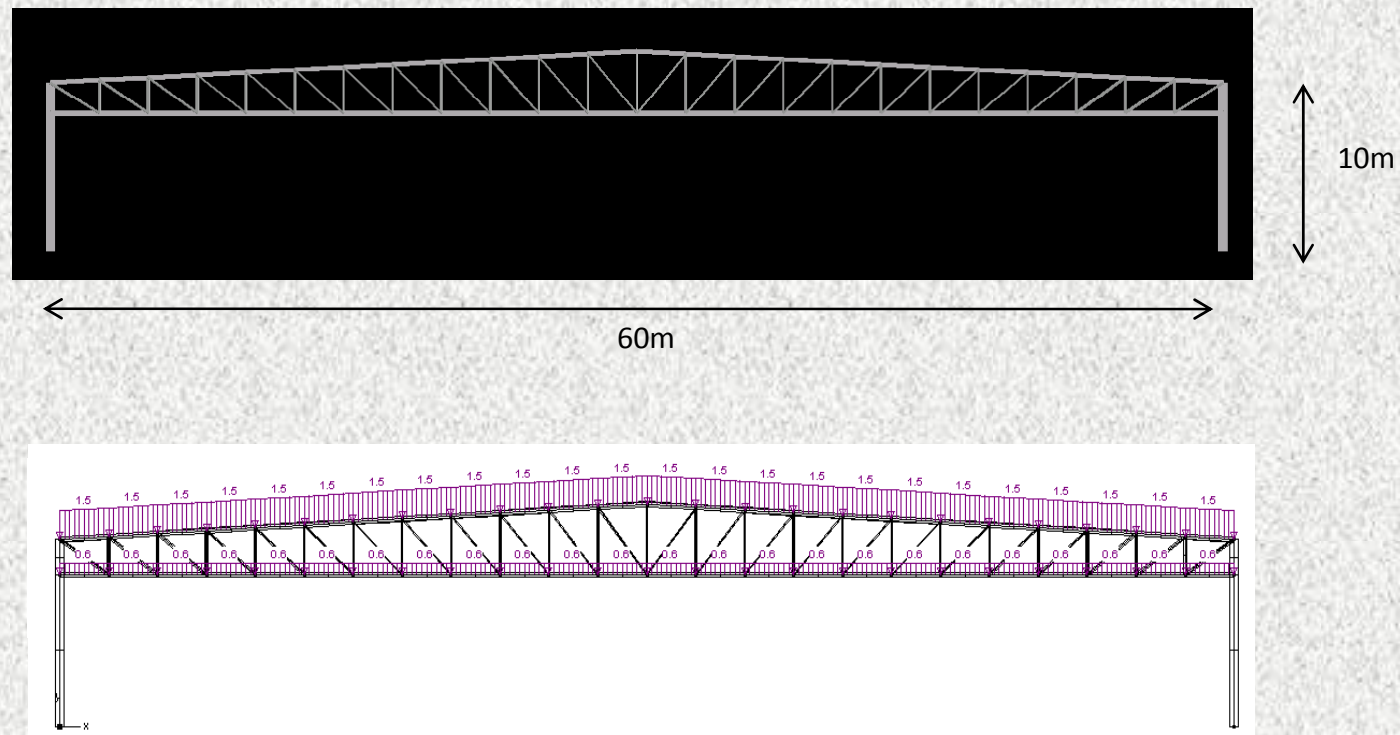
1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. **Modèle 2D de poutre treillis**
7. Conclusions

Modèle 2D de poutre treillis



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèle de poutre treillis:

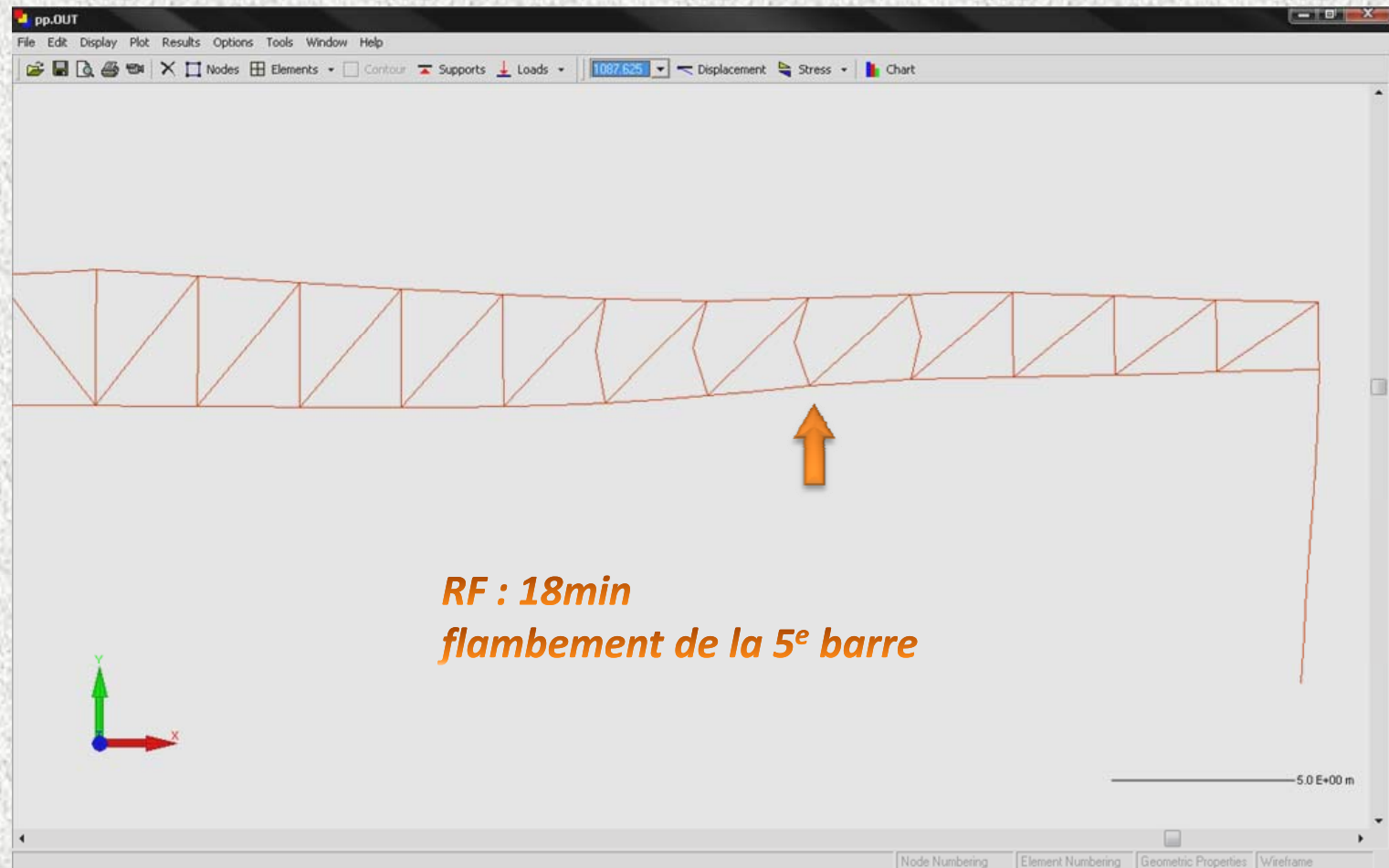




1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèle de poutre treillis:

SAFIR:



RF : 18min
flambement de la 5^e barre

(Diamond : Prise de vue de l'évolution des déplacements)



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Modèle de poutre treillis:

PowerFrame:

- **Alpha1 à 100% → avec sollicitations indirectes**

RF : 11.5min

Flambement des colonnes

- **Alpha1 à 0% → sans sollicitations indirectes**

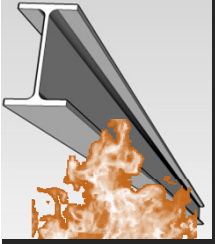
RF : 14min

Flambement de la 5^e barre verticale



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. **Modèle 2D de poutre treillis**
7. Conclusions

Conclusions



1. Présentation
2. Modèles de poutre
3. Premier modèle de portique
4. Second modèle de portique
5. Exposition au feu sur 3 faces
6. Modèle 2D de poutre treillis
7. Conclusions

Conclusions: of the student.

La méthode linéaire...

- ✓ N'est pas adaptée au calcul en situation d'incendie,
- ✓ Présente des dangers (cachés) liés à la sous-estimation des déformations,
- ✓ Ne tient pas compte des réserves de résistance et des capacités ultimes des matériaux,
- ✓ Fournit des données très limitées à son utilisateur.

Le pourcentage Alpha1...

- ✓ Ne permet pas une utilisation pratique pour approcher les résultats de la méthode non-linéaire.

Non faisabilité d'un calcul linéaire des sollicitations indirectes en cas d'incendie



- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. Présentation | 5. Exposition au feu sur 3 faces |
| 2. Modèles de poutre | 6. Modèle 2D de poutre treillis |
| 3. Premier modèle de portique | 7. Conclusions |
| 4. Second modèle de portique | |

Conclusions: of the professor.

Le pourcentage Alpha1...

✓ **Ne permet pas une utilisation pratique pour approcher les résultats de la méthode non-linéaire.**

- Selon les Eurocodes, le calcul par éléments est permis si l'exigence est exprimée en terme de feu ISO.
- Pour les calculs par éléments, on peut prendre les sollicitations au temps $t = 0$ (donc sans effets indirects).
- La méthode simple permet de faire cela très bien.
- Un logiciel d'analyse (comme PowerFrame) permet d'avoir les sollicitations exactes au temps $t = 0$.

=> Il faut s'en contenter, et connaître les limites de ce genre de calcul qui ne prétend pas prédire ce qui va se passer en réalité (la courbe ISO est arbitraire), mais qui prétend reproduire par le calcul ce que donnerait un essai au feu sur un élément sous courbe ISO.