



**Comportement au feu des systèmes de plancher mixte
acier-béton**

Nouvelles preuves expérimentales



Contenu de la présentation



- **Objectifs des nouveaux essais au feu**
- **Essais au feu en grandeur réelle dans le cadre de projets**
 - FRACOF (Essai 1 : feu ISO)
 - COSSFIRE (Essai 2 : feu ISO)
 - FICEB (Essai 3 : feu naturel & poutres cellulaires)
- **Dispositif expérimental**
- **Résultats expérimentaux**
 - Température
 - Déplacement
- **Observation et analyse**
- **Comparaison avec des méthodes de calcul simplifiées**
- **Conclusion**



Pourquoi plus d'essais au feu ?



Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion

- **Justification**
 - Essais au feu de Cardington
 - Excellente performance au feu en condition d'incendie naturel
 - Température maximale de l'acier ≈ 1150 °C, durée du feu ≈ 60 min (> 800 °C)
 - Dispositions constructives britanniques
- **Objectifs**
 - Confirmer la même bonne performance sous incendie de longue durée (au moins 90 minutes de feu normalisé)
 - Etudier l'impact de différentes dispositions constructives, tels que le treillis soudé et la protection des poutres périphériques
 - Valider différents outils d'ingénierie de la sécurité incendie



- Essai 1 (FRACOF)

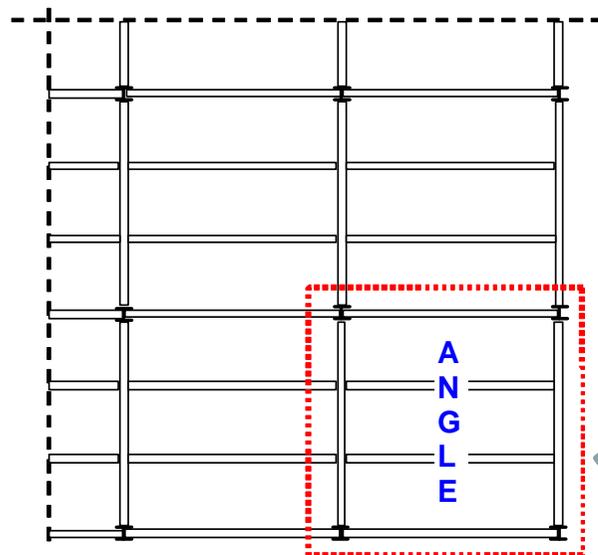
Objectifs

Dispositif
expérimental

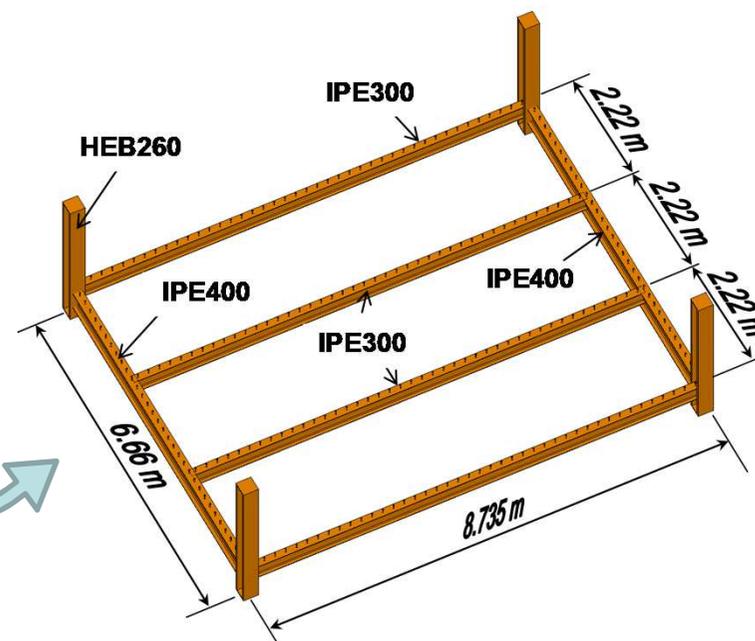
Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



**Trame d'un
bâtiment réel**



**Ossature en acier adoptée
pour l'essai au feu 1**



- **Essai 2 (COSSFIRE)**

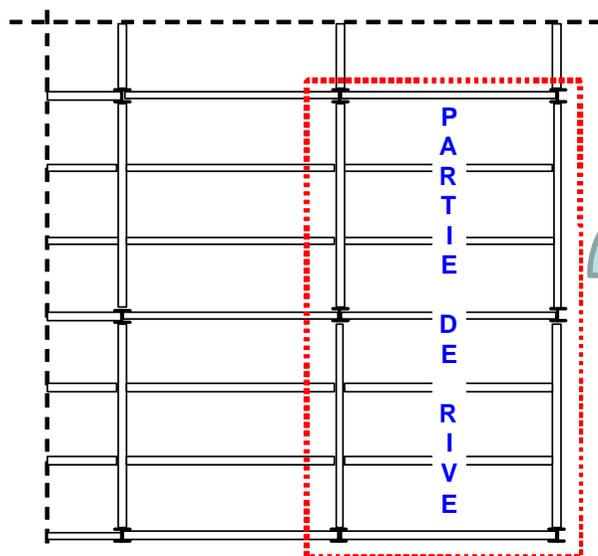
Objectifs

Dispositif
expérimental

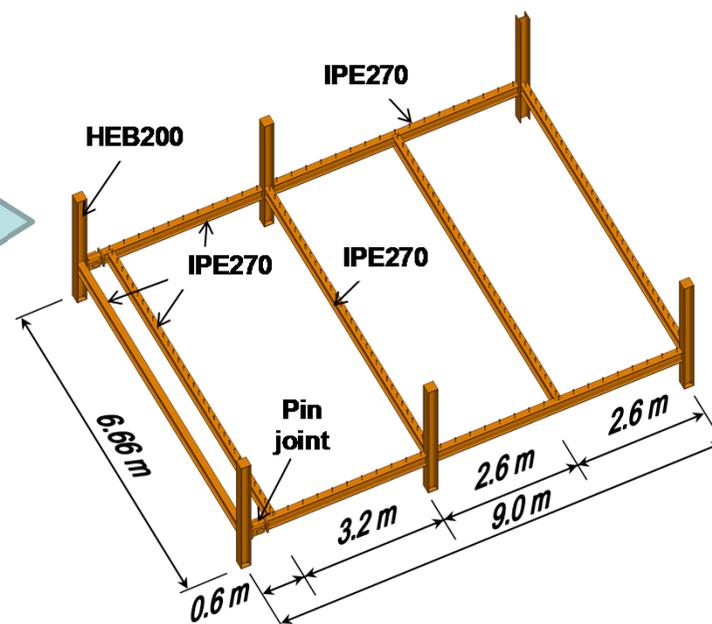
Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



**Trame d'un
bâtiment réel**



**Ossature en acier adoptée
pour l'essai au feu 2**



- **Systèmes finaux de plancher mixte**

Objectifs

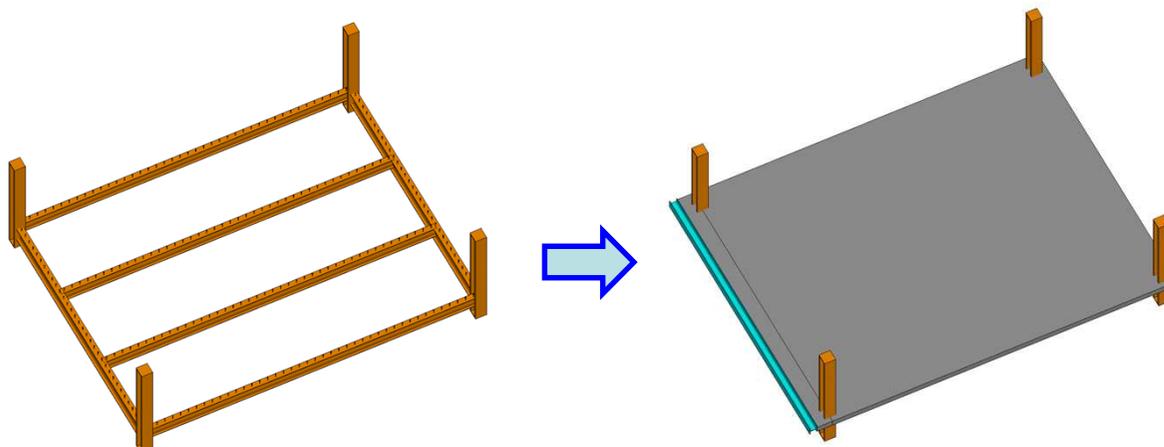
**Dispositif
expérimental**

Résultats
expérimentaux &
observation

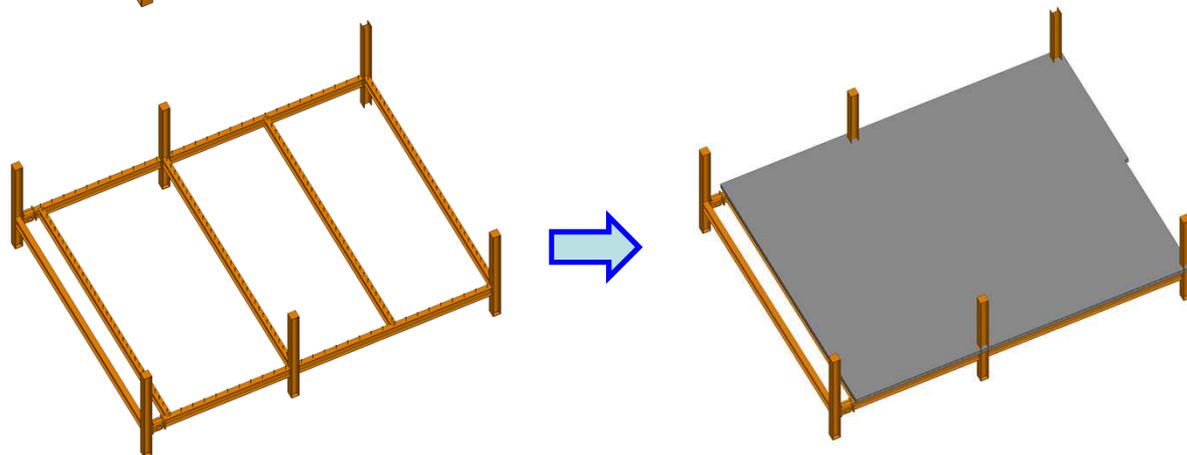
Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion

Essai 1



Essai 2





Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion

- **Ossature en acier**
 - Poutres mixtes acier-béton
 - **Suivant l’Eurocode 4 partie 1-1 (EN1994-1-1)**
 - Poteaux en acier courts

- **Dalle mixte**
 - Epaisseur totale
 - **Suivant l’Eurocode 4 partie 1-2 (EN1994-1-2)**
 - Treillis soudé
 - **Basé sur des règles de calcul simplifiées**

- **Assemblages en acier**
 - Assemblages courants : double cornière et platine d’about
 - **Suivant l’Eurocode 3 partie 1-8 (EN1993-1-8)**



- Disposition des goujons à tête soudée le long des poutres en acier

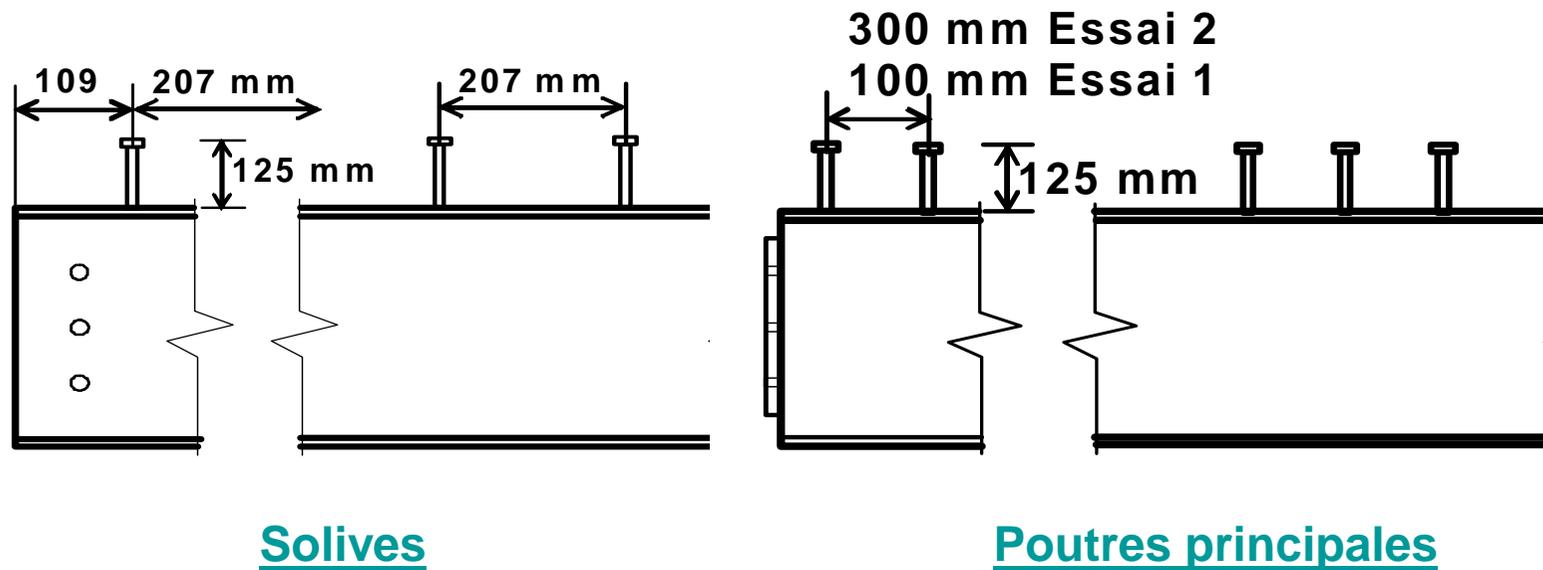
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



- Type de goujons
 - TRW Nelson KB 3/4" – 125 ($d = 19\text{ mm}$; $h = 125\text{ mm}$; $f_y = 350\text{ N/mm}^2$; $f_u = 450\text{ N/mm}^2$)



Assemblages en acier



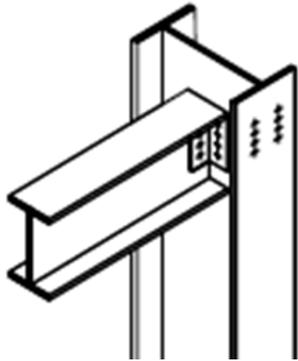
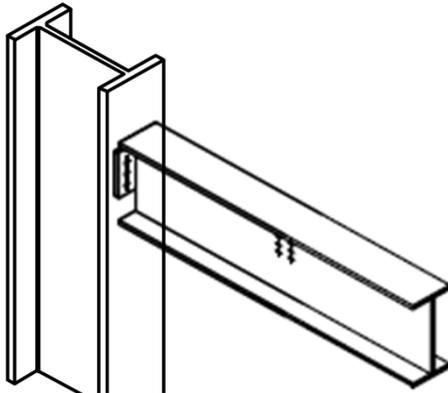
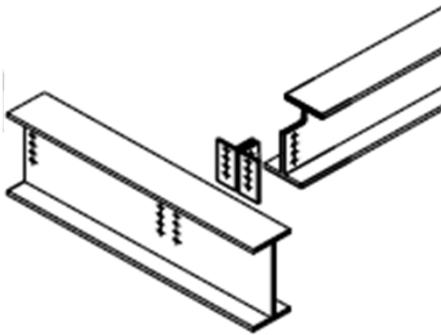
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion

Poutre-poteau		Poutre-poutre
Solive	Poutre principale	
Double cornière	Platine d'about flexible	Double cornière
		

Classe des boulons : 8.8

Diamètre des boulons : 20 mm



Dimensions des éléments de structure



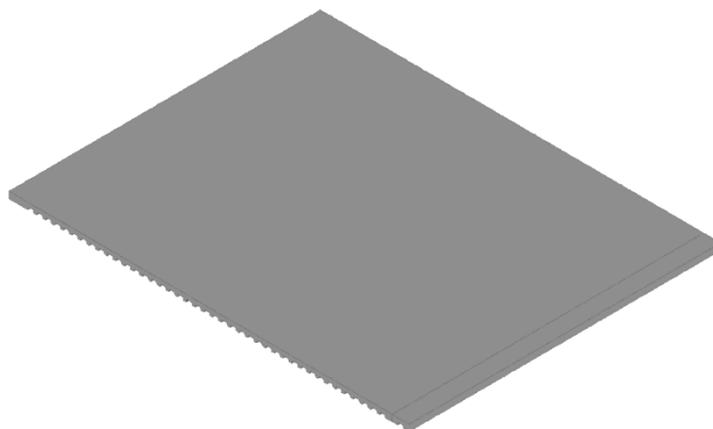
Objectifs

**Dispositif
expérimental**

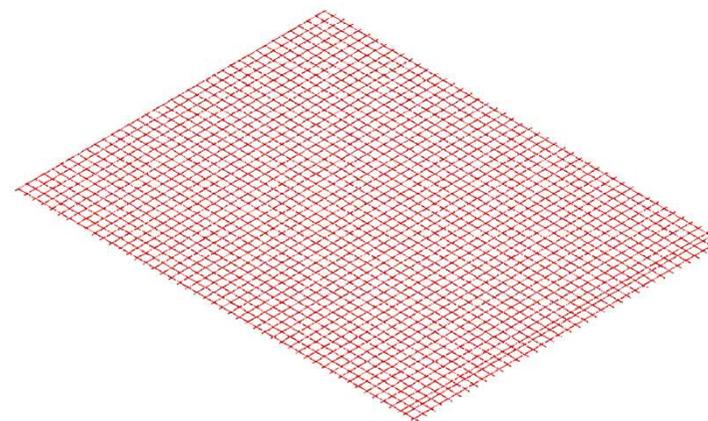
Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

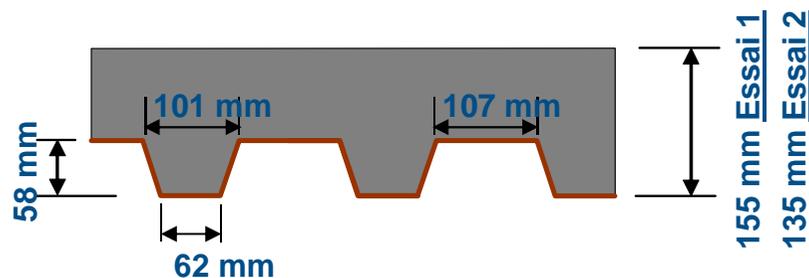
Conclusion



Dalle mixte



Treillis soudé



Bac acier : COFRAPLUS60 – 0,75 mm

Qualité de béton : C30/37

Taille des mailles: 150x150

Diamètre : 7 mm

Nuance d'acier : S500

**Distance d'axe à partir de la
face supérieure de la dalle :**

• Essai 1 : 50 mm

• Essai 2 : 35 mm



Conditions de chargement mécanique



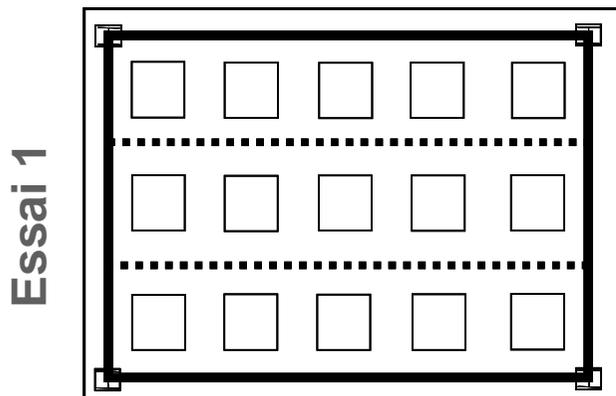
Objectifs

Dispositif
expérimental

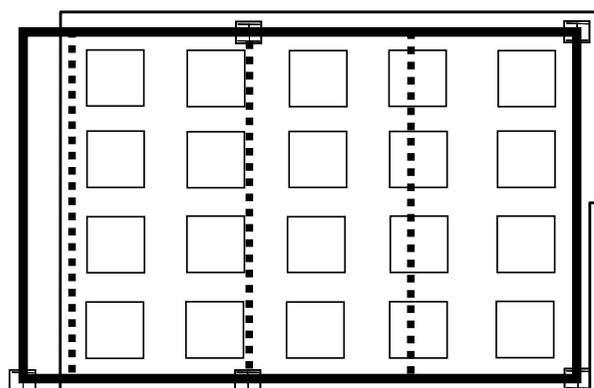
Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



**15 sacs de sable
de 1 512 kg
Charge uniforme
équivalente :
390 kg/m²**



Essai 2



**20 sacs de sable
de 1 098 kg
Charge uniforme
équivalente :
393 kg/m²**



Préparation de l'essai au feu 2



Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion

1 →



2 →



3 →



4 →





Comportement du plancher durant le feu



Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

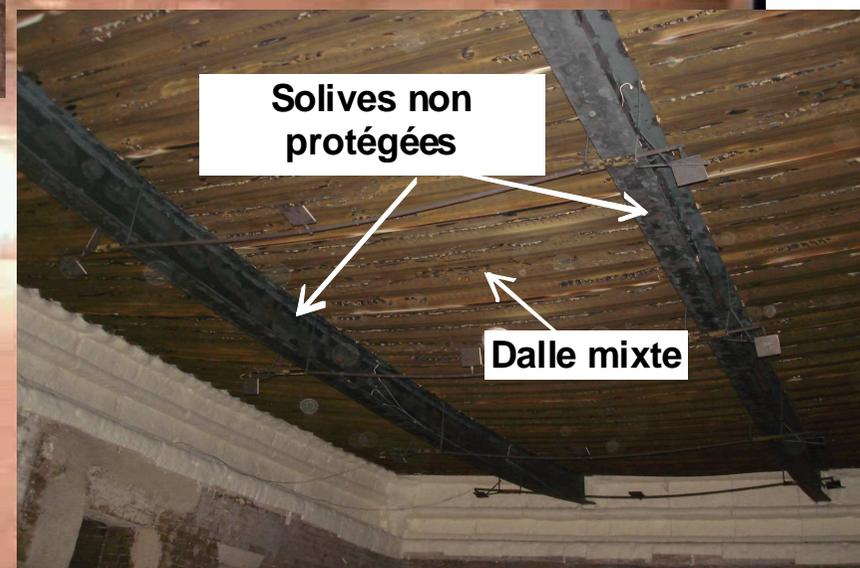
Conclusion



Après l'essai



Avant l'essai



Solives non
protégées

Dalle mixte



Structure de l'essai 3 (FICEB)



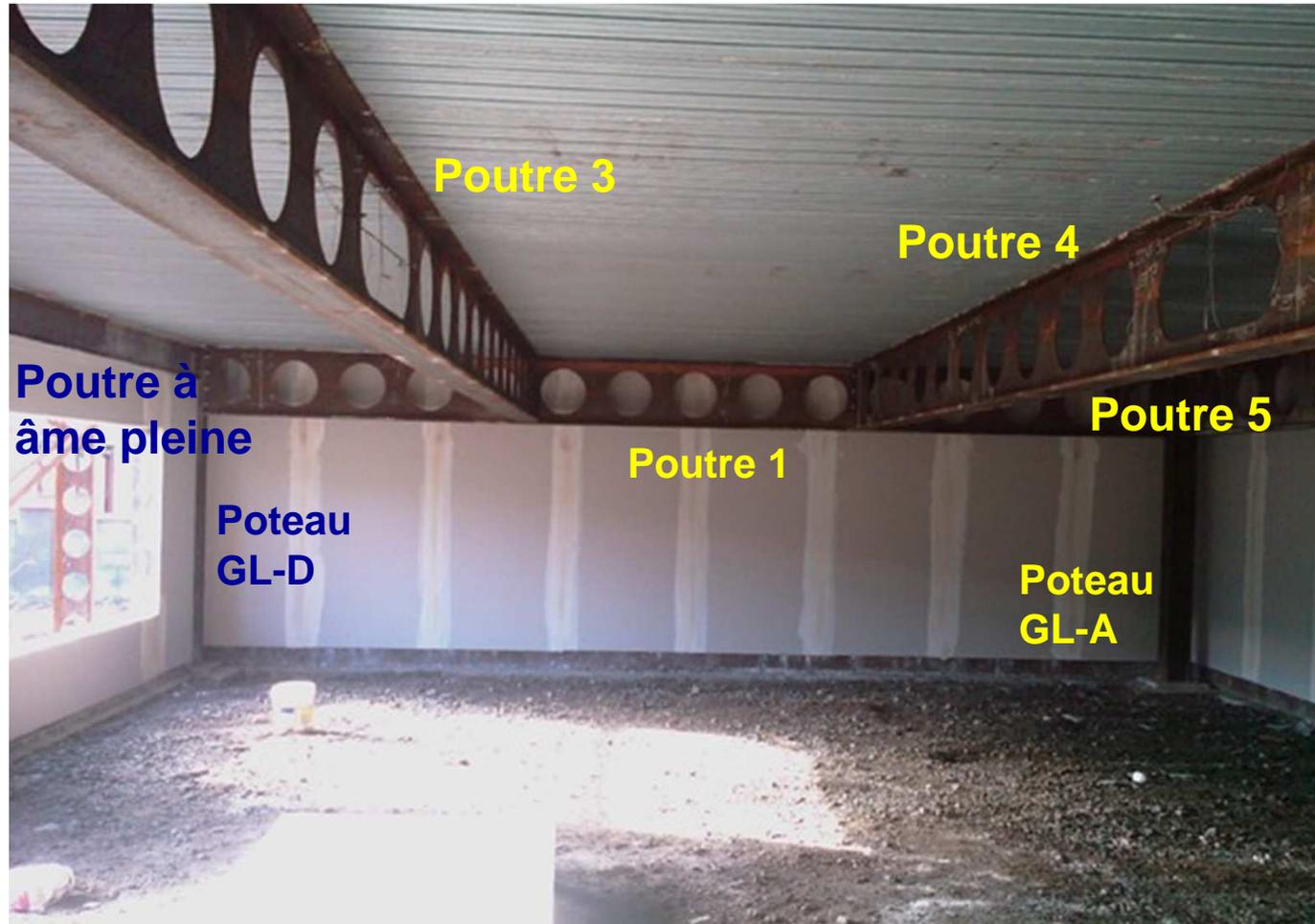
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion





Structure de l'essai 3



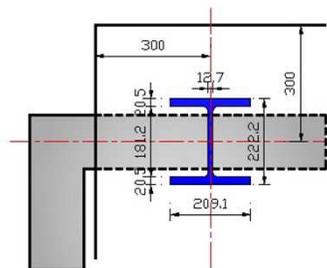
Objectifs

Dispositif expérimental

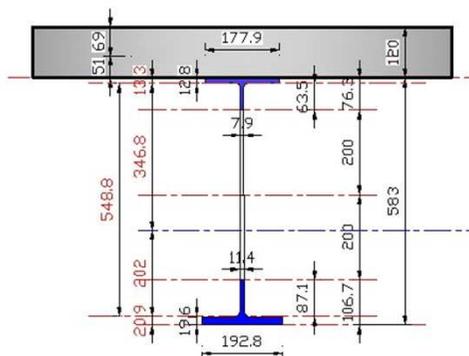
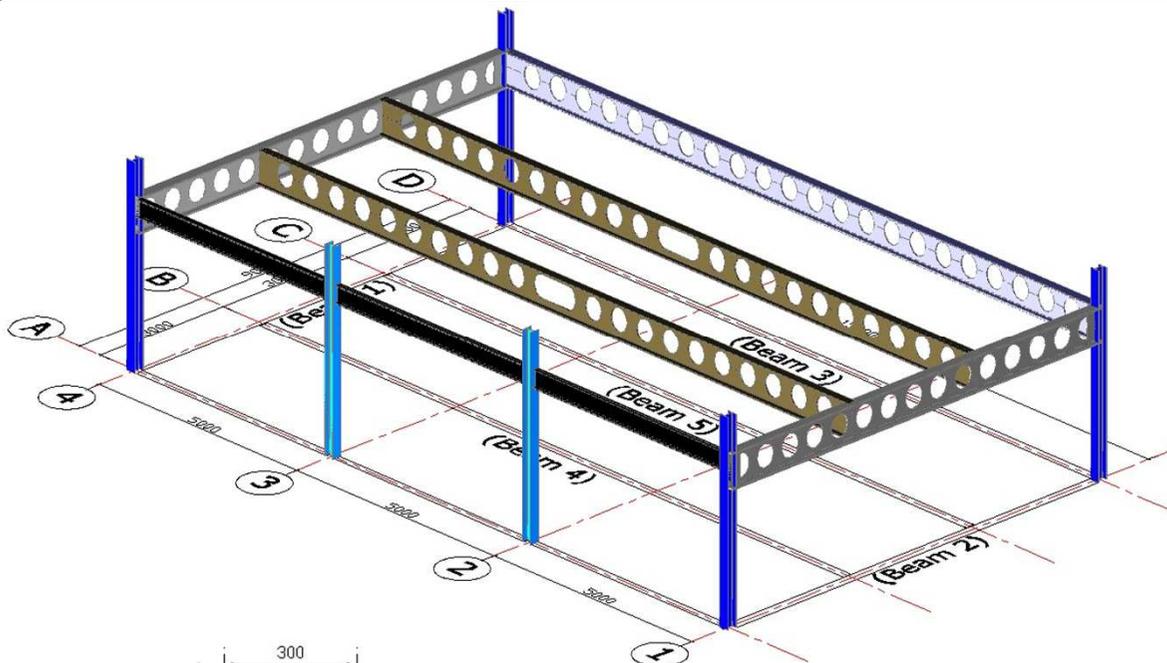
Résultats expérimentaux & observation

Comparaison avec des méthodes de calcul simplifiées

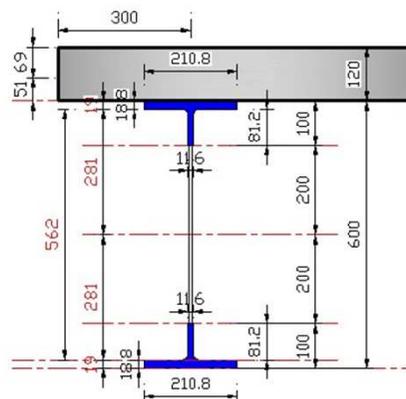
Conclusion



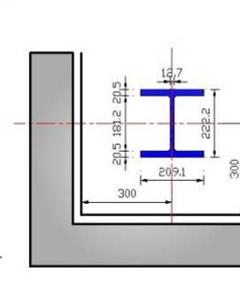
(Poteau GL-A)



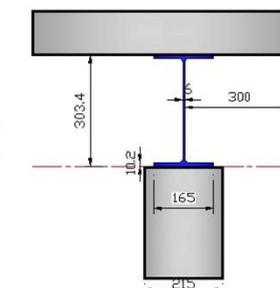
(Poutre 3/4/5)



(Poutre 1/2)



(Poteau GL-D)



(Poutre à âme pleine)



Structure de l'essai 3



Assemblages poutre-poutre

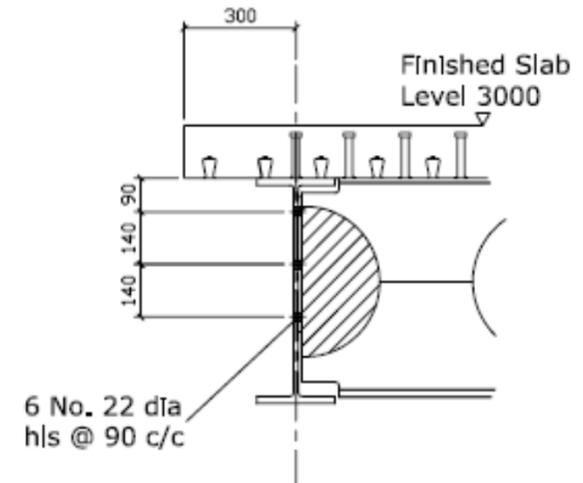
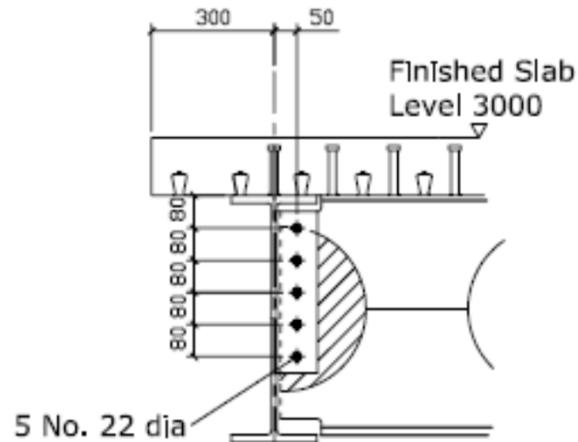
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion





Structure de l'essai 3



Assemblages poutre-poteau

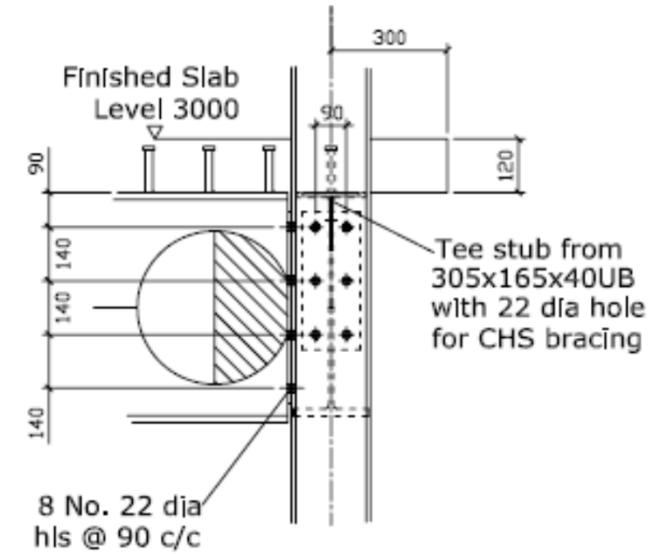
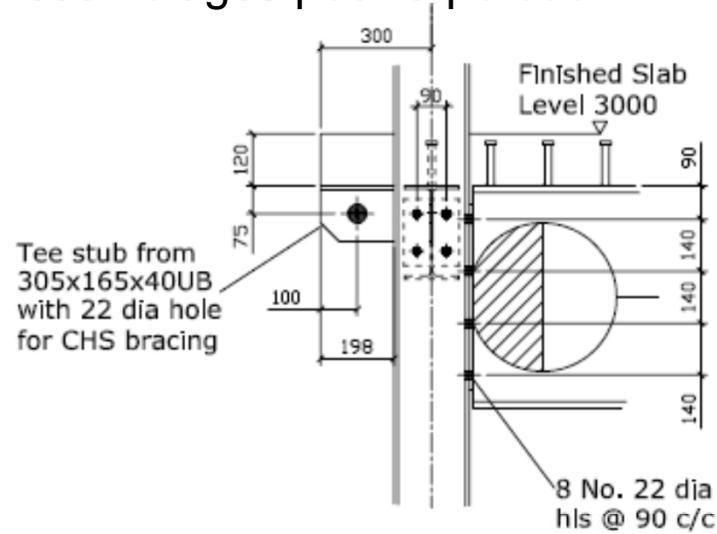
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion





Structure de l'essai 3



Objectifs

**Dispositif
expérimental**

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



Treillis soudé A393, diamètre 10 mm



Connexion complète entre la dalle et les poutres
Goujons : $d = 19$ mm, $h = 95$ mm
Barres en U autour de la dalle ajoutées pour assurer
un ferrailage correct
(exigence du dimensionnement à froid)



Structure de l'essai 3



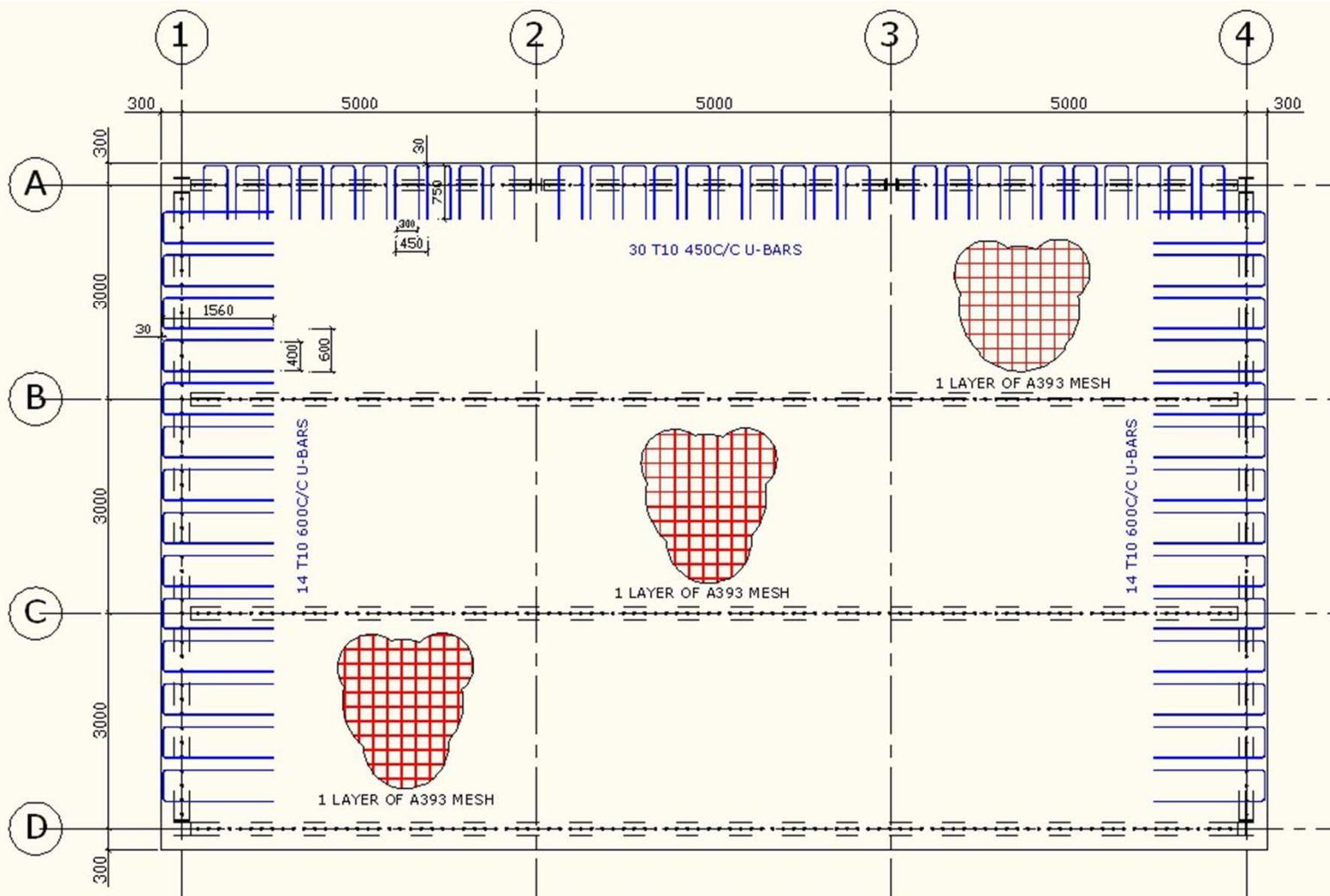
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



VUE DE LA FACE SUPERIEURE DE LA DALLE



Structure de l'essai 3



Objectifs

Charge calorifique : 700 MJ/m^2

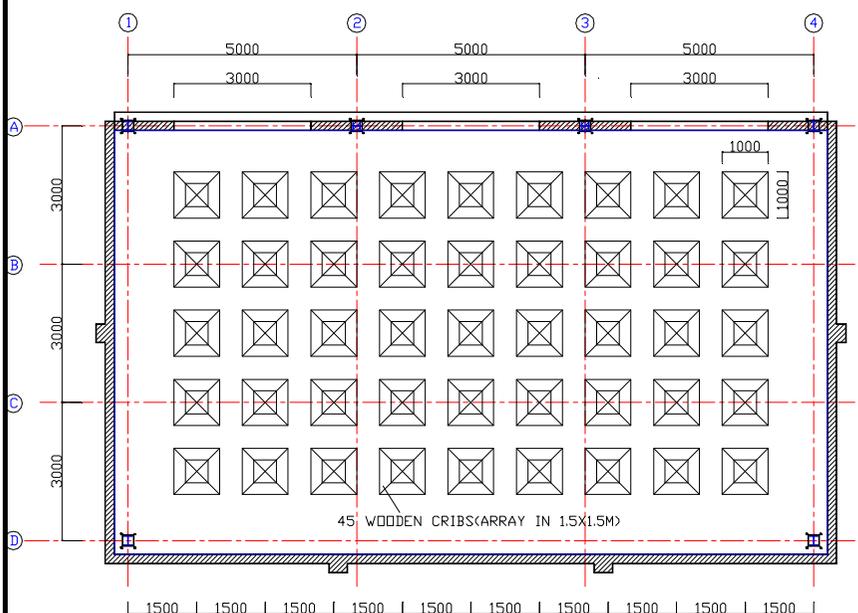
La charge calorifique est constituée de 45 palettes en bois ($1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ de haut), disposées régulièrement dans le compartiment ($9,0 \text{ m} \times 15,0 \text{ m}$).

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



POSITION DES PALETTES EN BOIS





Résultats expérimentaux



Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion

- **Température des gaz**
- **Echauffement des poutres non protégées**
- **Echauffement des éléments en acier protégés**
- **Echauffement de la dalle mixte**
- **Flèche du plancher**
- **Observations du comportement des systèmes de plancher mixte**
 - Fissuration et écrasement du béton
 - Rupture du treillis soudé pendant l'essai
 - Ruine des poutres de rive



- **Température des gaz**

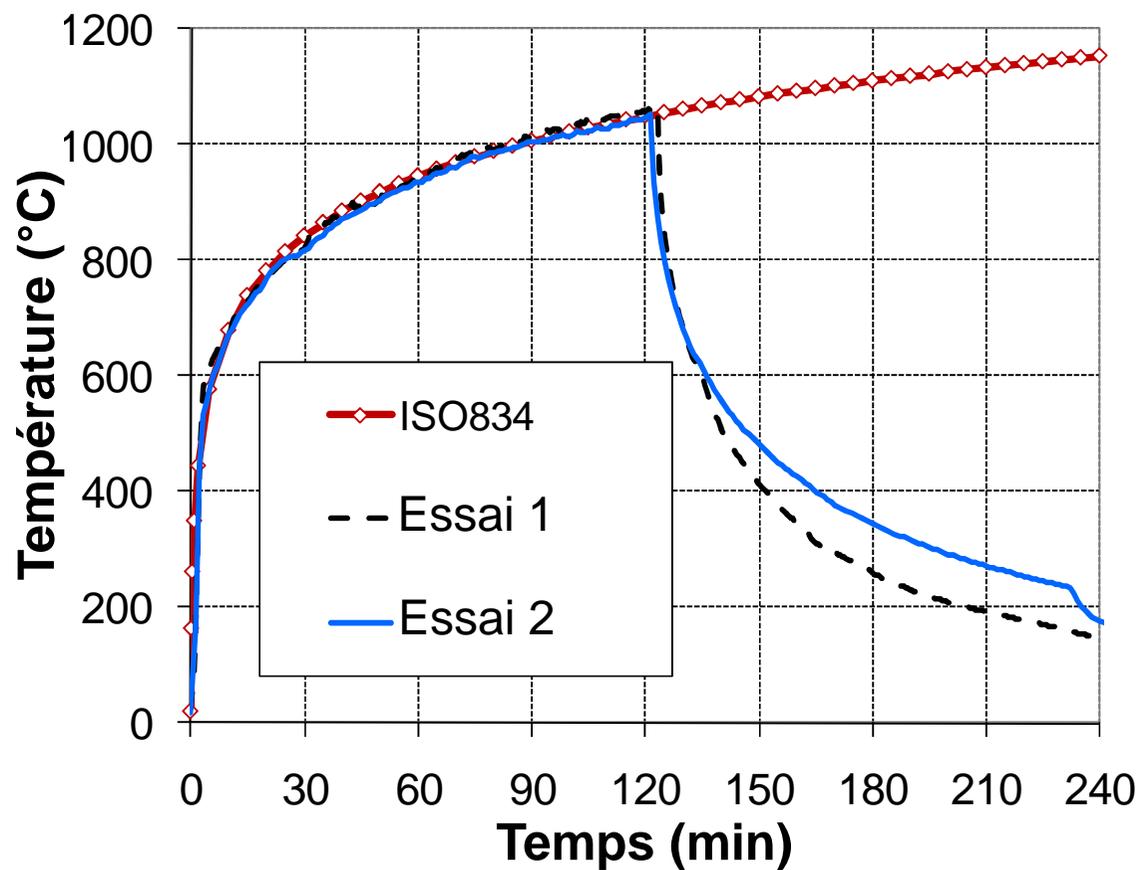
Objectifs

Dispositif
expérimental

**Résultats
expérimentaux
& observation**

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion





Résultats expérimentaux



Objectifs

Dispositif
expérimental

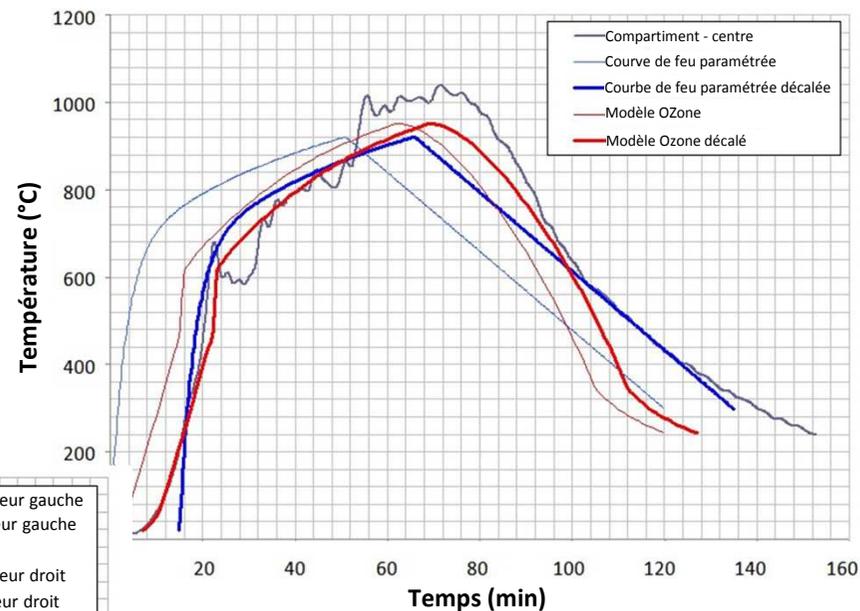
Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

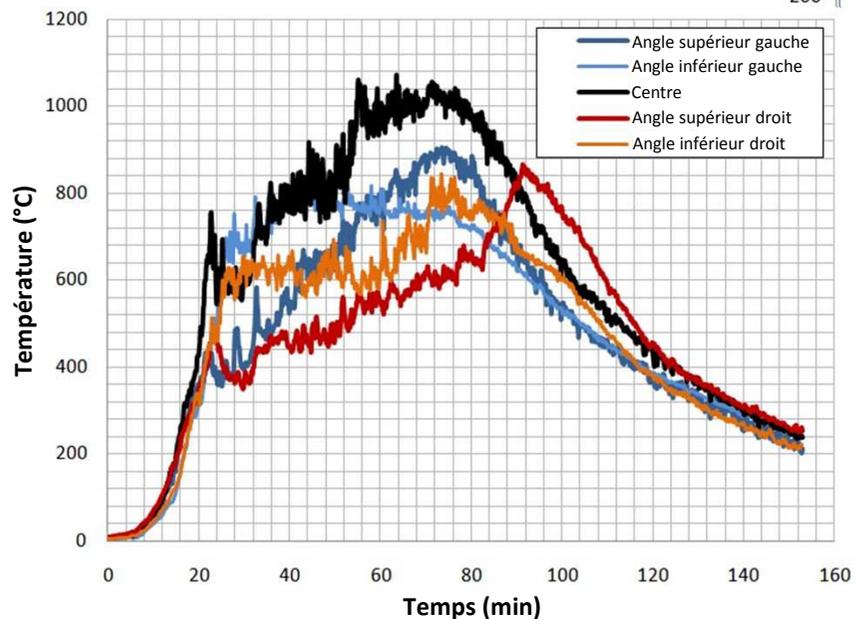
Conclusion

- **Température des gaz de l'essai 3**

Température au centre du compartiment



Température du compartiment





- Echauffement des poutres en acier non protégées

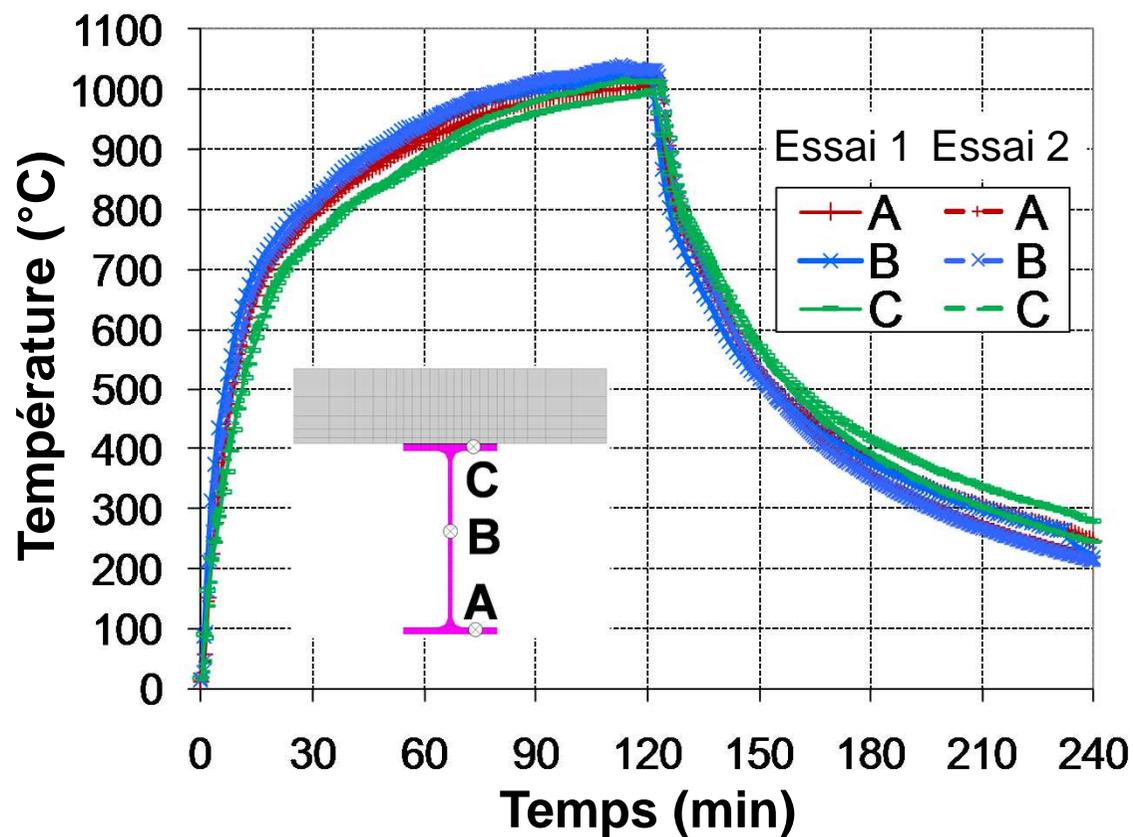
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion





- **Echauffement des poutres en acier non protégées de l'essai 3**

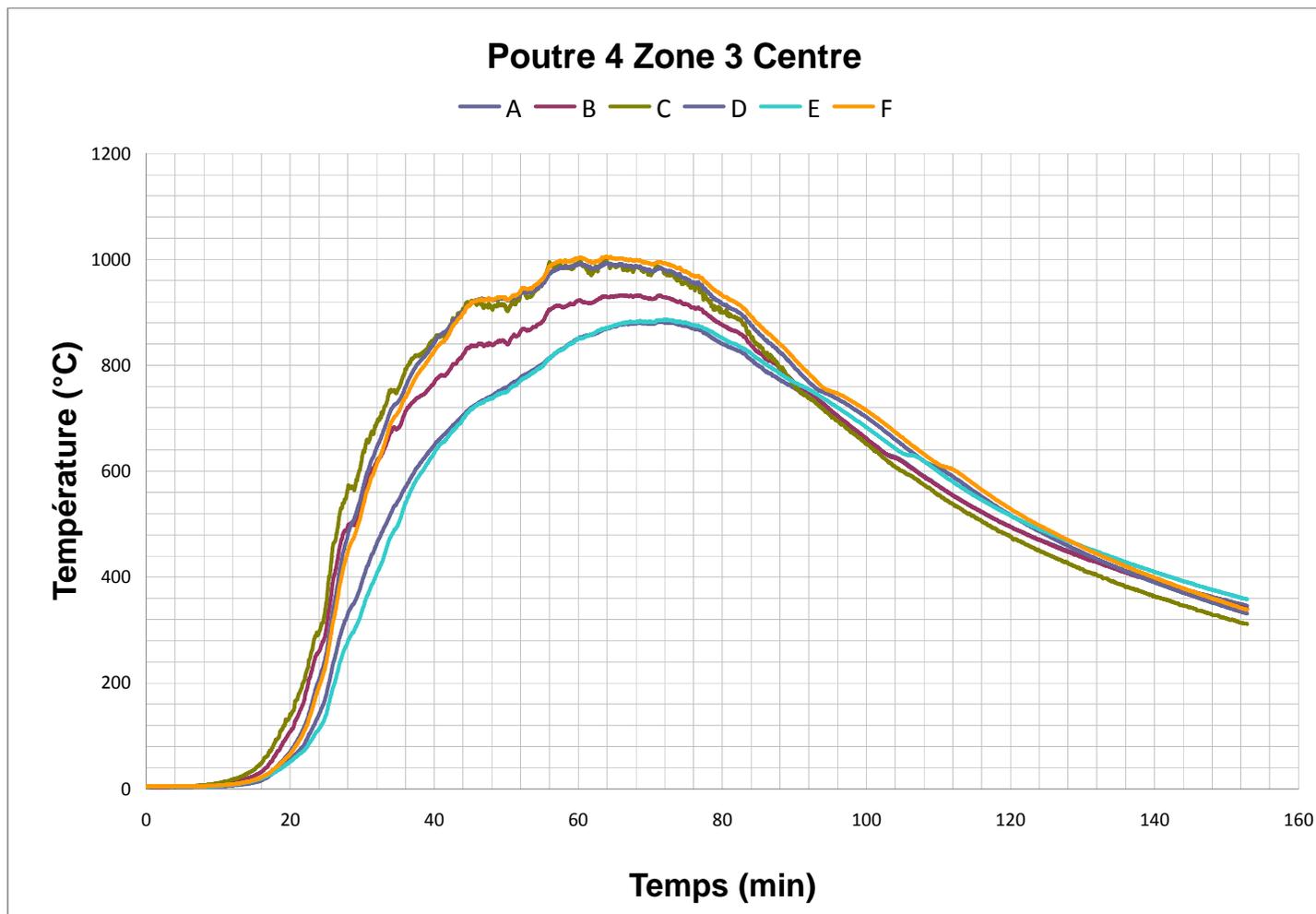
Objectifs

Dispositif
expérimental

**Résultats
expérimentaux
& observation**

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion





- **Echauffement des poutres en acier protégées**

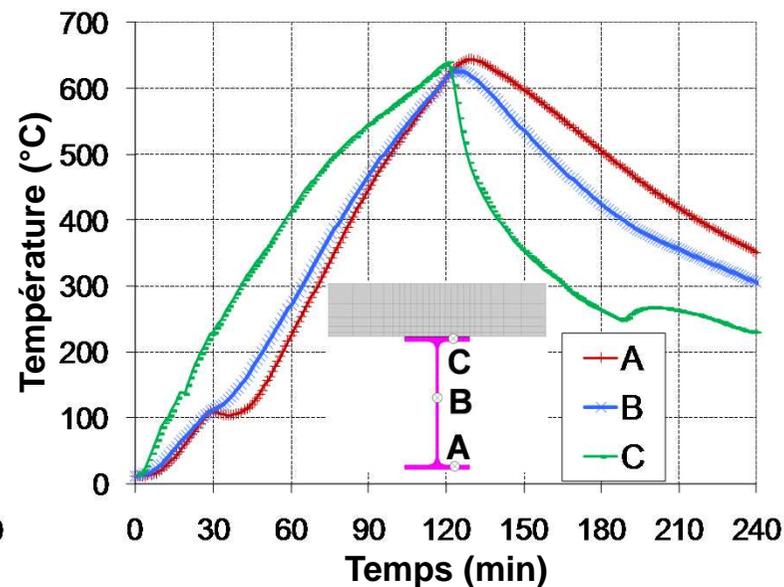
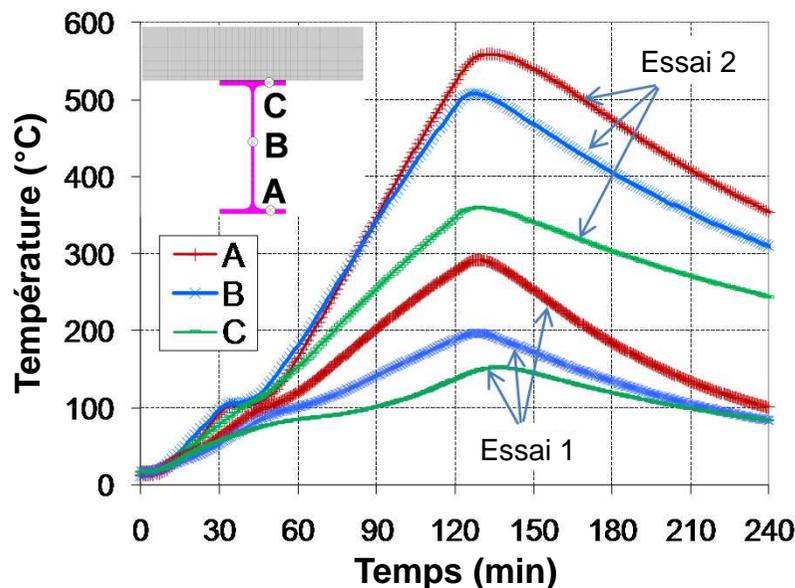
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



- **Observation**

- Poutres bien plus chaudes dans l'essai 2 ≈ 550 °C, et une solive de rive s'est échauffée à plus de 600 °C



Résultats expérimentaux



- Echauffement de la dalle mixte

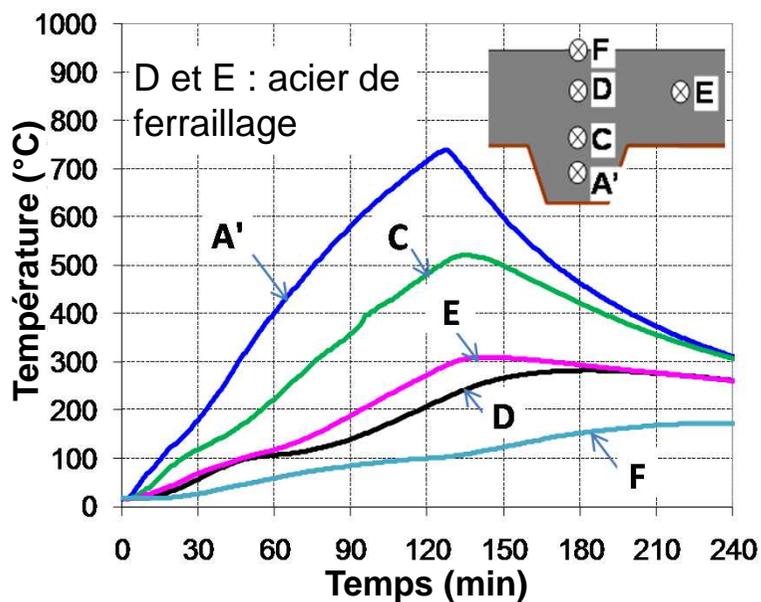
Objectifs

Dispositif
expérimental

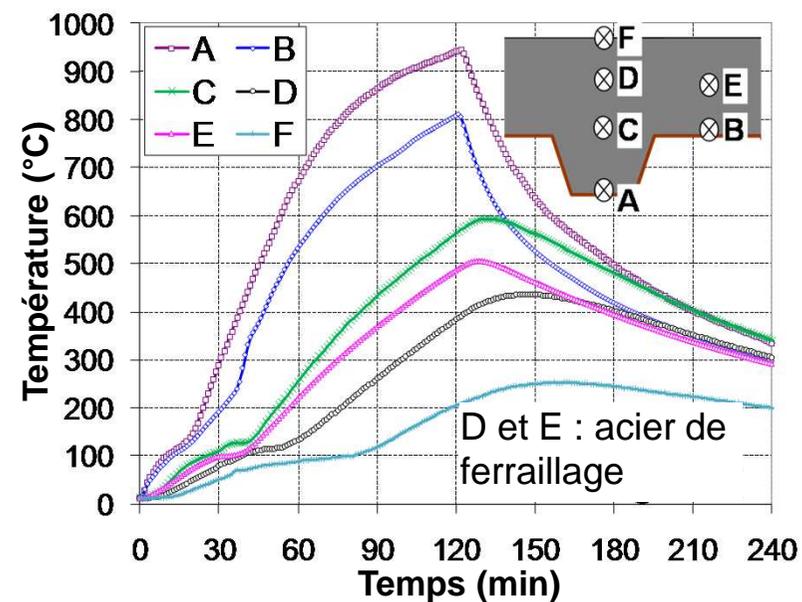
Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



Essai 1



Essai 2



Résultats expérimentaux



- **Echauffement de la dalle mixte de l'essai 3**

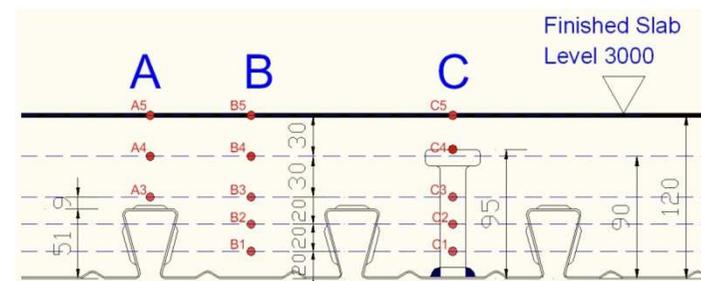
Objectifs

Dispositif
expérimental

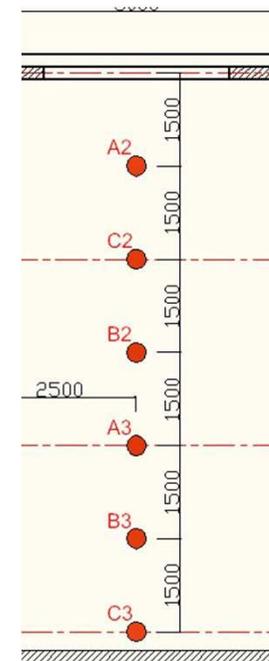
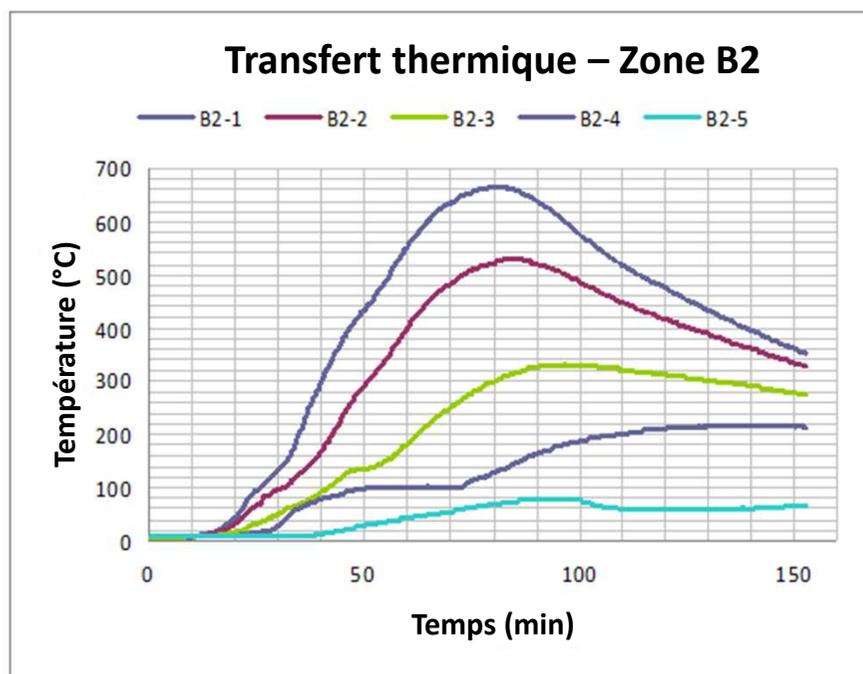
Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



THERMOCOUPLES DANS LA DALLE / GOUJON





- Capteurs de déplacement pour la flèche

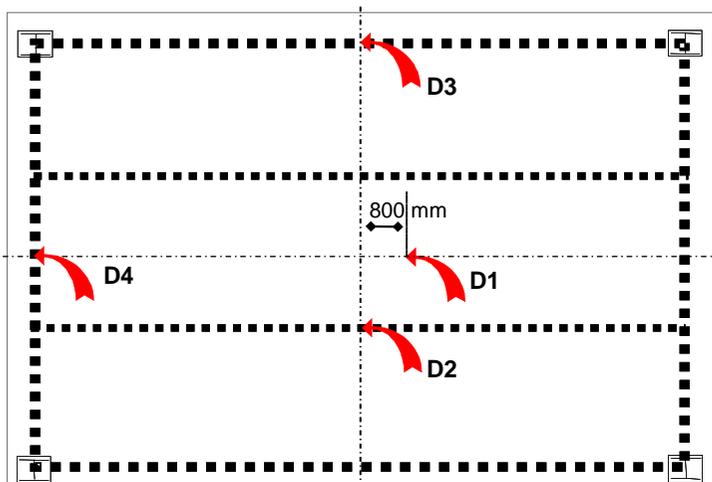
Objectifs

Dispositif
expérimental

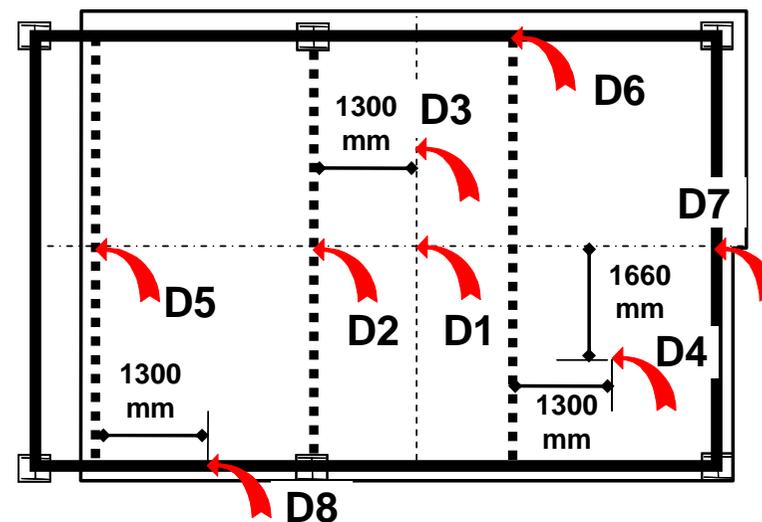
Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



Essai 1



Essai 2



Résultats expérimentaux



- Flèche des planchers

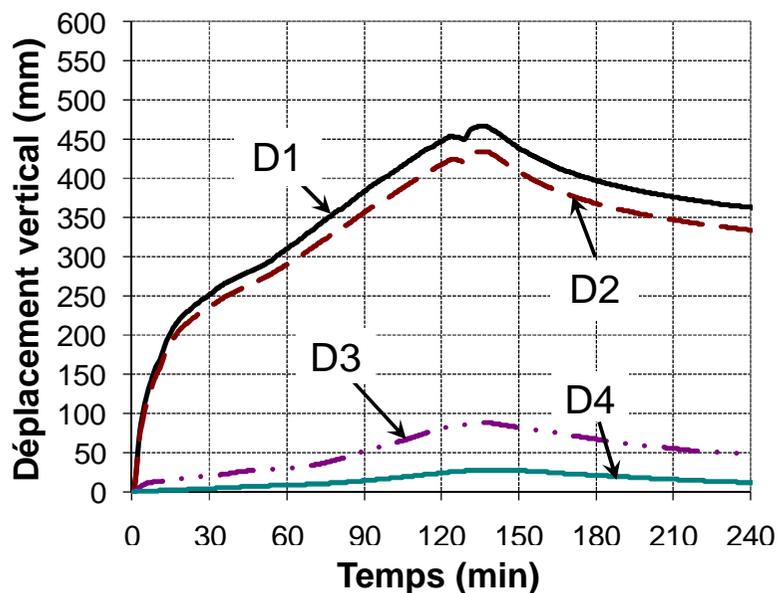
Objectifs

Dispositif
expérimental

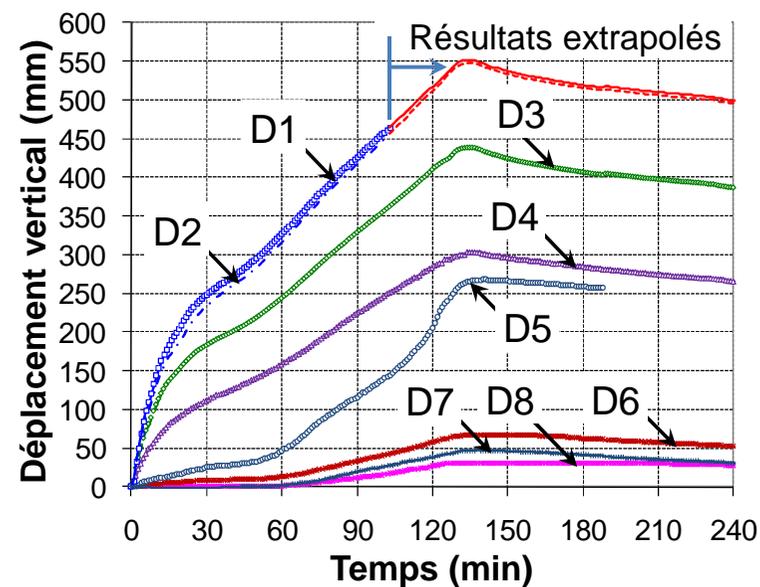
Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



Essai 1



Essai 2



Résultats expérimentaux



- Capteurs de déplacement pour la flèche de l'essai 3

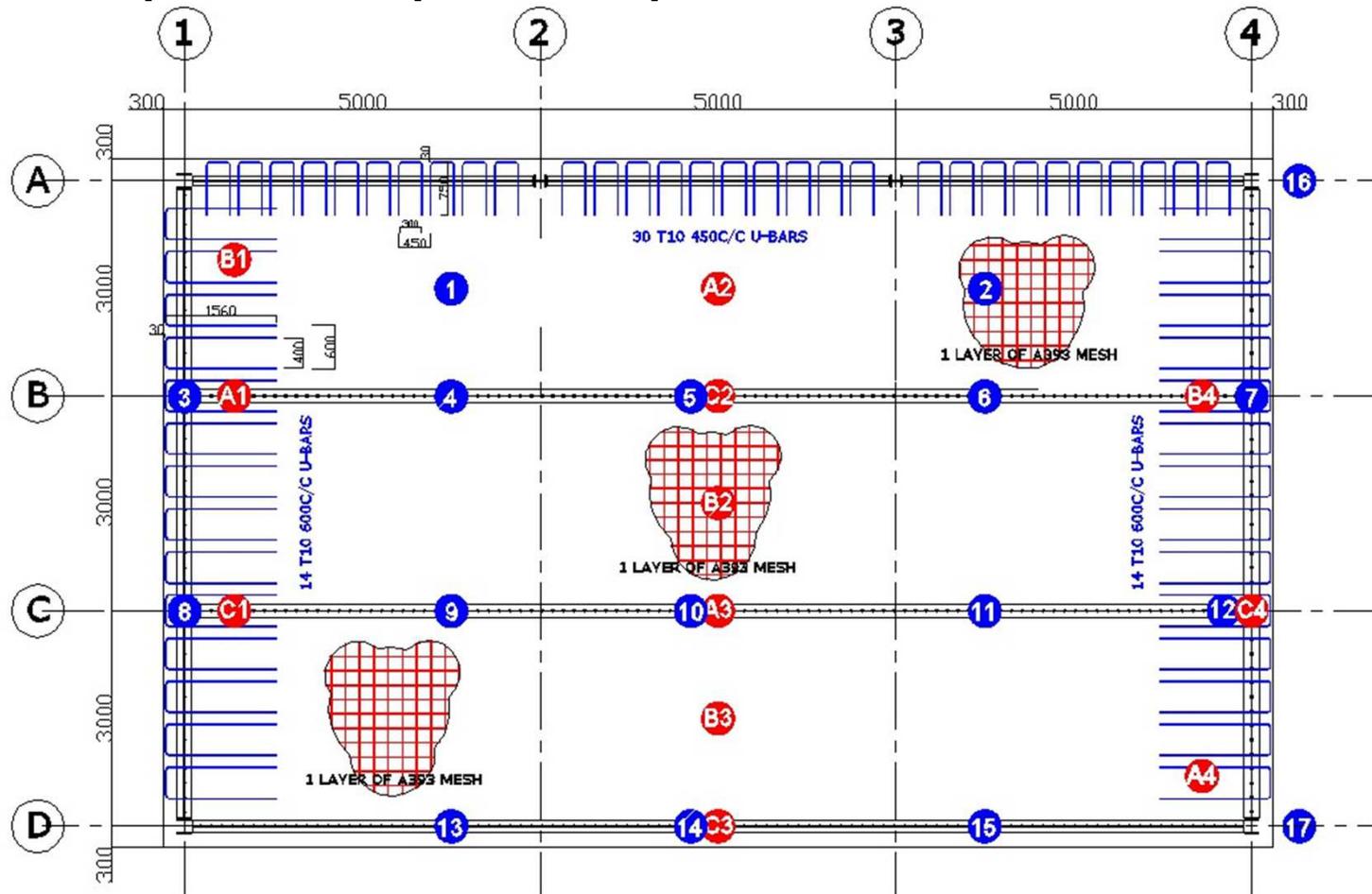
Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



POSITION DES APPAREILS DE MESURE (TEMPERATURE ET DEPLACEMENT)

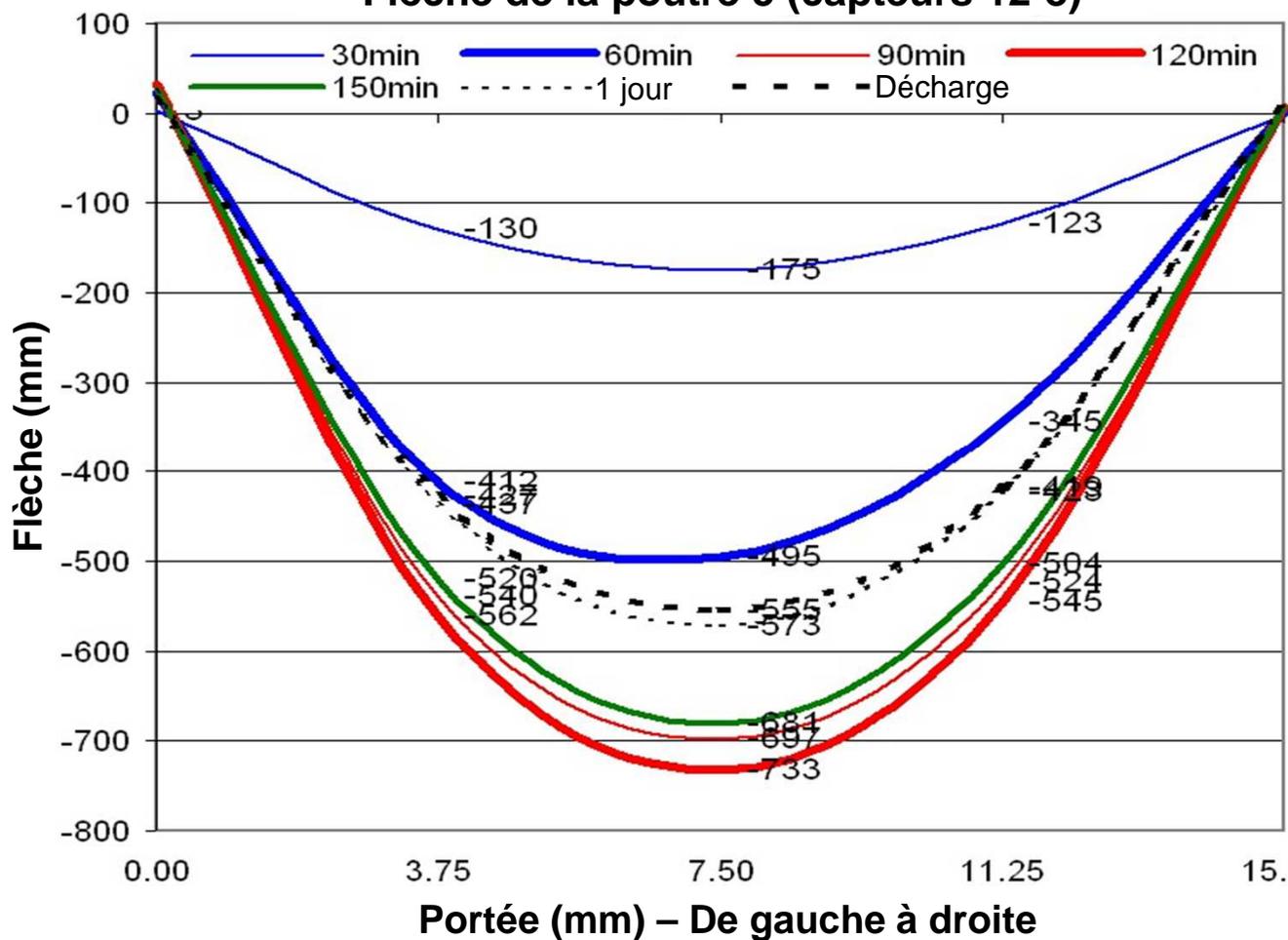


Résultats expérimentaux



- Flèche du plancher de l'essai 3

Flèche de la poutre 5 (capteurs 12-8)



Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux
& observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



- **Fissuration du béton (Essai 1)**

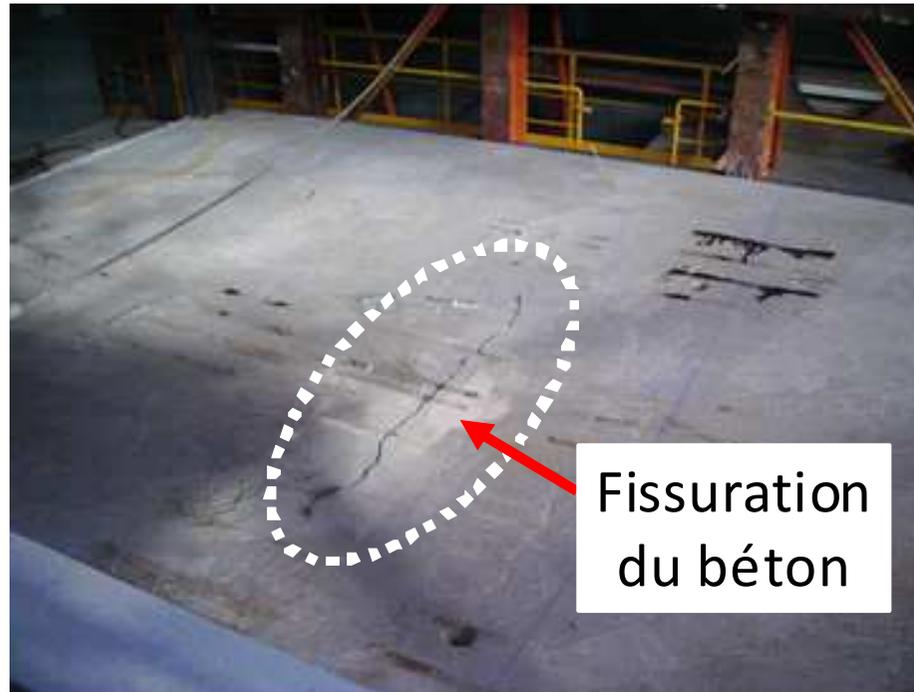
Objectifs

Dispositif
expérimental

**Résultats
expérimentaux
& observation**

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



- **Observation**

- **Excellente stabilité globale du plancher malgré la rupture du treillis soudé**



- **Fissuration du béton (Essai 3)**

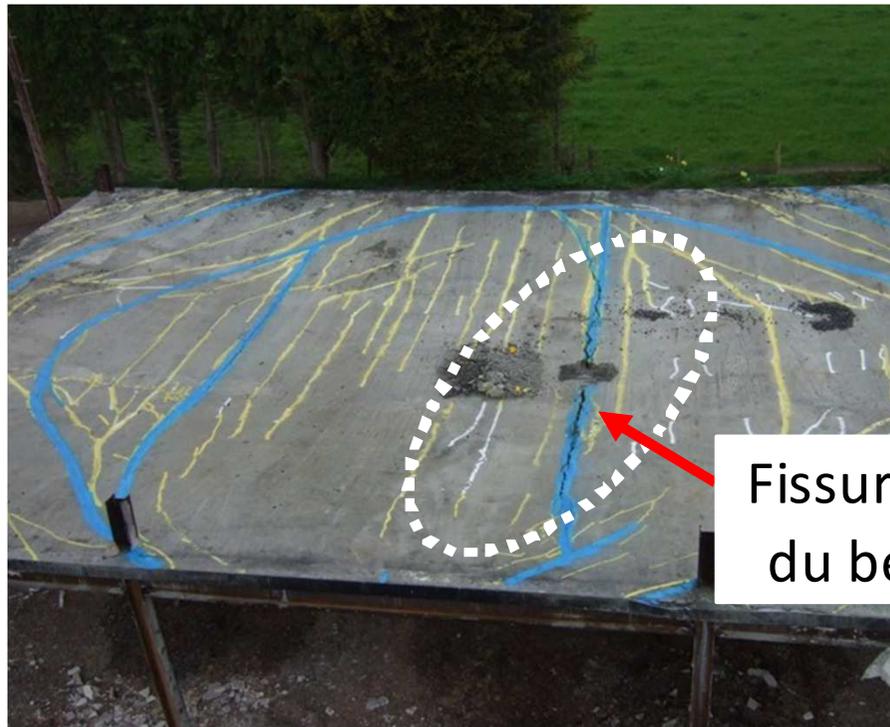
Objectifs

Dispositif
expérimental

**Résultats
expérimentaux
& observation**

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



- **Observation**

- **Excellente stabilité globale du plancher malgré l'apparition de fissures**



- **Instabilité dans l'âme de la poutre (Essai 3)**

Objectifs

Dispositif
expérimental

**Résultats
expérimentaux
& observation**

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion





- **Ecrasement du béton (Essai 2)**

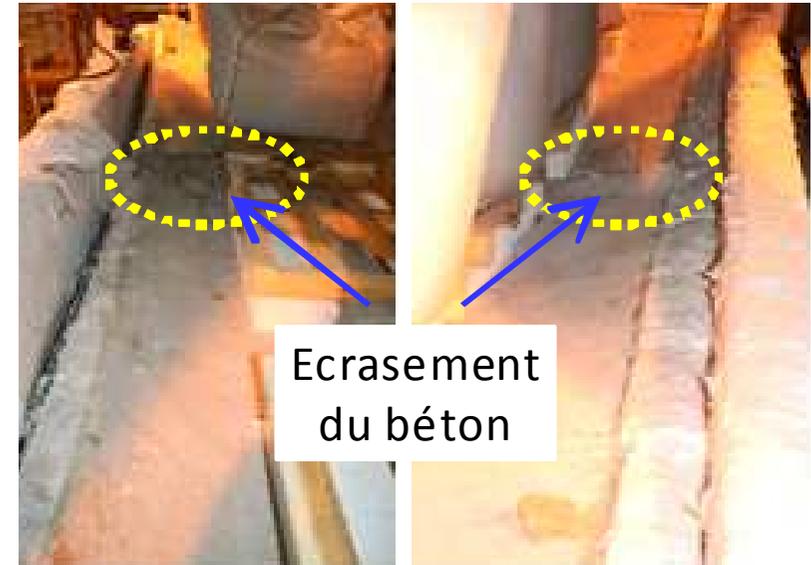
Objectifs

Dispositif
expérimental

**Résultats
expérimentaux
& observation**

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion



- **Observation**

- **Stabilité globale du plancher conservée malgré la ruine d'une poutre de rive**



Comparaison avec des méthodes de calcul simplifiées



Objectifs

Dispositif
expérimental

Résultats
expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des
méthodes de
calcul
simplifiées

Conclusion

	Essai 1		Essai 2	
	Essai	Méthodes de calcul simplifiées	Essai	Méthodes de calcul simplifiées
Résistance au feu (min)	> 120	120	> 120	96
Flèche (mm)	450	366 ^(*)	510	376 ^(*)

- **Observation**
 - Résultats expérimentaux :
 - Résistance au feu > 120 minutes



Objectifs

Dispositif

expérimental

Résultats

expérimentaux &
observation

Comparaison
avec des

méthodes de
calcul simplifiées

Conclusion

- **Conclusions générales sur les nouveaux essais au feu**
 - **Excellente performance des systèmes de plancher mixte sous effet membrane pour une longue durée d'exposition au feu normalisé (>120 minutes)**
 - **Haut niveau de robustesse du système de plancher mixte malgré certaines ruines locales**
 - **Attention particulière à porter aux dispositions constructives par rapport au treillis soudé afin d'assurer une bonne performance en ce qui concerne le critère d'étanchéité**
 - **La méthode de calcul simplifiée place du côté de la sécurité par rapport aux résultats expérimentaux**
 - **Aucun signe de ruine en phase de refroidissement des systèmes de plancher mixte**