



# Fire engineering with galvanized steel

## Worked examples

**Dr. Gisèle BIHINA**

**Centre Technique Industriel de la Construction Métallique**

# FIRE BEHAVIOUR OF STRUCTURAL STEEL

Main aim of fire safety: **protection of people**

➤ Equipment: **active protection**

Sprinklers



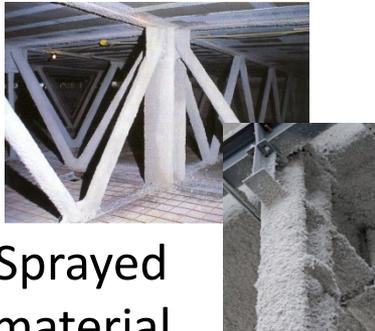
Smoke alarms



# FIRE BEHAVIOUR OF STRUCTURAL STEEL

Main aim of fire safety: **protection of people**

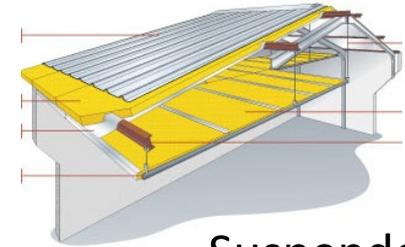
- Structure of the building: **passive protection** to avoid any collapse (by slowdown of structure heating)
  - ✓ Design based on fire resistance requirements



Sprayed material

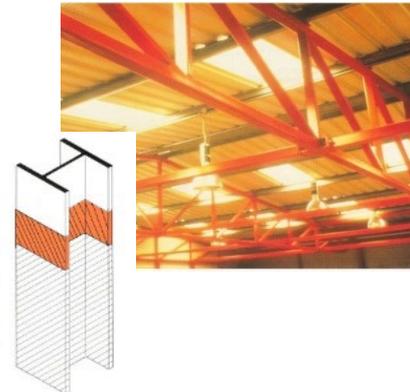


Boards  
(hollow encasement)



Suspended ceiling

Concrete  
(encasement  
or infill)



Intumescent  
coating

## Heating in case of fire-exposure: 3 main heat transfer modes

- Conduction within the material (thermal conductivity  $\lambda$ )
- Convection with the environment (convection coefficient  $\alpha_c$ )
- Radiation with the environment (material surface emissivity  $\epsilon_m$ )



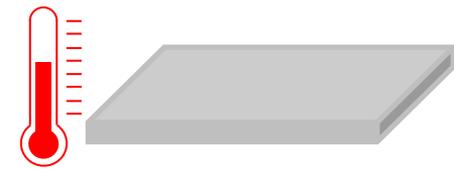
Black body

$$\epsilon_m = 1.0$$



Bare carbon steel

$$\epsilon_m = 0.7$$



HDG steel

$$\epsilon_m = 0.35 (\vartheta \leq 500 \text{ } ^\circ\text{C})$$

➔ Amendment to fire part of European design standards for **steel** (Eurocode 3) and **composite steel and concrete structures** (Eurocode 4) to account for **HDG**

## Experimental and numerical investigation by Galvazinc + EGGA + CTICM since 2016

- Standard fire tests and numerical simulation → confirmation of the 0.35 value proposed in the aforementioned amendment



**Hot-rolled columns**



**Hot-rolled beams**



**Tubular columns**

## Experimental and numerical investigation by Galvazinc + EGGA + CTICM since 2016

- Published work:
  - Eurosteel 2020 ([paper](#) and [presentation](#))
  - [Contribution to design guidance](#)
  - [Forms \(including worked examples, in French\)](#)

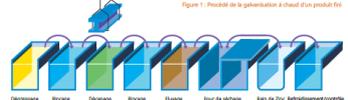


### LA GALVANISATION À CHAUD

#### PROTECTION ANTICORROSION ET INCENDIE

En construction métallique, la galvanisation à chaud pour habituellement un alliage de protection anticorrosion efficace et pérenne. Ce procédé consiste à tremper un profilé métallique dans un bain de zinc à +450°C, avec ou sans ajout d'él (Figure 1). Suite à la réaction métallurgique de fusion entre le zinc et le fer contenu dans l'acier, la couche de zinc qui se forme autour du profilé permet alors de retarder la corrosion de l'acier en raison d'une cinétique d'oxydation beaucoup plus lente.

**Figure 1. Profilé de la galvanisation à chaud d'un profilé IPE**



En dehors de cette performance largement reconnue, le zinc présente par ailleurs un autre avantage très intéressant mais encore peu connu, du milieu industriel, attribution de l'échauffement des éléments métalliques galvanisés grâce à une émission de surface plus faible de zinc que celle de l'acier. Cette caractéristique traduit la capacité d'absorption de chaleur en flux radiatif par un matériau donné, plus élevée à une épaisseur de surface équivalente, plus vite il s'échauffe. Par conséquent, en présence de feu chaud, la montée en température de l'acier avec une couche de zinc est plus lente que celle de l'acier avec un traitement en peinture anticorrosion.

Cet effet a été mis en évidence à travers des campagnes expérimentales menées dans plusieurs pays européens, dont la Finlande, la République tchèque, l'Allemagne, et plus récemment la France (cf. Figure 2). Lors de ces différents essais au feu, l'échauffement de profils métalliques de forme variable (IPE, H ou tube) avec ou sans galvanisation à chaud a été systématiquement comparé. Les résultats ont clairement montré qu'en conditions d'exposition au feu identiques (couleur de température, gaz, dimensions et nombre de faces exposées de l'essai), la présence d'un revêtement en zinc ralentissait l'échauffement des profils métalliques. Comme le montre le Tableau 1, un décalage de température de l'ordre de 100°C a minima été observé sur certaines éprouvettes. Par conséquent, les caractéristiques mécaniques de l'acier baissent moins vite.

Cet effet a été mis en évidence à travers des campagnes expérimentales menées dans plusieurs pays européens, dont la Finlande, la République tchèque, l'Allemagne, et plus récemment la France (cf. Figure 2). Lors de ces différents essais au feu, l'échauffement de profils métalliques de forme variable (IPE, H ou tube) avec ou sans galvanisation à chaud a été systématiquement comparé. Les résultats ont clairement montré qu'en conditions d'exposition au feu identiques (couleur de température, gaz, dimensions et nombre de faces exposées de l'essai), la présence d'un revêtement en zinc ralentissait l'échauffement des profils métalliques. Comme le montre le Tableau 1, un décalage de température de l'ordre de 100°C a minima été observé sur certaines éprouvettes. Par conséquent, les caractéristiques mécaniques de l'acier baissent moins vite.

**Figure 2. Essais expérimentaux réalisés en France**




### LA GALVANISATION À CHAUD

#### INTÉRÊT POUR LES PSLV : EXEMPLE

L'apport bénéfique évident de la galvanisation à chaud dans le comportement au feu des éléments de structure métalliques peut être illustré au travers de l'exemple suivant.

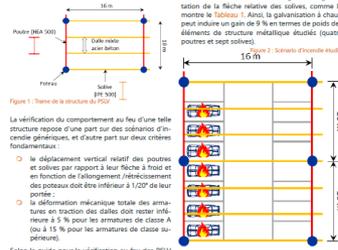
Considérons un pan de stationnement largement venté (PSLV) dont la structure portative est composée des éléments suivants :

- dalles minces acier-béton avec bac acier collé avec du type Colpalap 60, et dont l'épaisseur totale est de 120 mm ;
- poteaux en H partiellement enrobés de béton ;
- poutres principales et solives en profils métalliques connectés aux dalles minces à l'aide de goujons à tête de type Nelson.

et de 16 m pour les solives (espaces de 3,33 m), ces deux critères peuvent être respectés en utilisant des profils en IPE 500 pour les poteaux et en IPE 500 pour les solives.

Dans une optique d'optimisation de la quantité d'acier, une analyse comparative est réalisée. Elle consiste à réduire les dimensions des profils métalliques des solives, tout en leur appliquant une galvanisation à chaud. Pour cela, le scénario d'incendie de base le plus défavorable pour les solives est considéré. Ce scénario met en cause sept véhicules immobilisés sur les places de stationnement (cf. Figure 3). D'après les résultats de cette deuxième analyse, le recours à des IPE 450 au lieu d'IPE 500 pour les solives permet de respecter les deux critères de vérification au feu, malgré une augmentation de la flèche relative des solives, comme le montre le Tableau 1. Ainsi, la galvanisation à chaud peut induire un gain de 9 % en termes de poids des éléments de structure métallique destinés (quatre poteaux et sept solives).

**Figure 1. Trave de la structure de PSLV**



La vérification du comportement au feu d'une telle structure repose d'une part sur des scénarios d'incendie géométriques, et d'autre part sur deux critères fondamentaux :

- le déplacement vertical relatif des poteaux et solives par rapport à leur flèche à froid et en fonction du flambement, rétrocalculé des poteaux doit être inférieur à 1/200<sup>e</sup> de leur portée ;
- la déformation mécanique totale des armatures en traction des dalles doit rester inférieure à 3 % pour les armatures de classe A (ou à 1 % pour les armatures de classe supérieure).

Selon le guide pour la vérification au feu des PSLV (disponible sur simple demande auprès de CTICM), en considérant une portée de 10 m pour les poteaux,

Le coût global de ces éléments est donné dans le Tableau 2. Ce coût est basé d'une part sur le prix



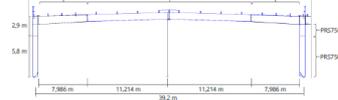
### LA GALVANISATION À CHAUD

#### INTÉRÊT POUR UNE EXIGENCE DE STABILITÉ AU FEU R15 : EXEMPLE

L'apport bénéfique évident de la galvanisation à chaud dans le comportement au feu des éléments de structure métalliques peut être illustré au travers de l'exemple suivant.

Considérons un entresoil à simple re-de-chausée pour lequel une exigence de stabilité au feu R15 est requise. La structure métallique de cet entresoil est composée de portiques en profils reconstruits soudés (PRS) en acier de nuance S235.

PRST100-1000-112-250-15 PRS1000-10-250-15 PRS1000-100-112-250-20 PRS100-20-300-15 PRS10-8-300-25



**Figure 1. Dimensions d'une trave de portique étudié (section de PRS en mm)**

L'application de la méthode R15 montre que les dimensions des arbalétriers ne permettent pas de satisfaire le critère R15, contrairement aux poteaux. Le détail du calcul peut être observé dans l'exemple 3 du Guide R15.

Une première solution consisterait à renforcer les sections des arbalétriers, en augmentant l'épaisseur de leur âme (cf. Tableau 1). Cette solution conduirait à une augmentation de la masse totale des arbalétriers de 23 %, chiffre non négligeable en termes de budget.

Une deuxième solution consisterait plutôt à optimiser le renfort d'âme des arbalétriers en appliquant une galvanisation à chaud au portique complet. Cette solution conduirait à une augmentation de la masse totale des arbalétriers de 4 %, seule la section courante des arbalétriers étant renforcée (cf. Tableau 1).

Tableau 1. Epaisseur d'âme des arbalétriers (mm)	En rive de portique	En partie couverte de travée	En partie centrale du portique
Configuration initiale	12	10	12
Coureur 11 - 3ème renfort	13	10	12
Coureur 11 - 3ème renfort et galvanisation à chaud	12	11*	12

\* valeur théorique de l'épaisseur minimale permettant de satisfaire le critère R15

En tenant compte de la nécessité d'un traitement anticorrosion de la structure métallique, une analyse comparative du coût global des deux solutions proposées est réalisée dans le Tableau 3. Cette analyse est basée d'une part sur un prix de 700 €/tonne d'acier et d'autre part sur les données des tableaux des pages 51 et 52 du document Économies et solutions acier (ISBN : 978-221142022).

D'après les résultats obtenus, que l'on considère le

## Can HDG meet fire resistance requirements without any additional fire insulation?

### Three worked examples (Galvazinc+ EGGA + CTICM)

- Example no. 1: R15 single storey warehouse
- Example no. 2: open car park
- Example no. 3: R30 office building

Costs from “[Économies et solutions acier](#)” (ISBN: 978-2212140262)  
(10% increase in example no. 3)



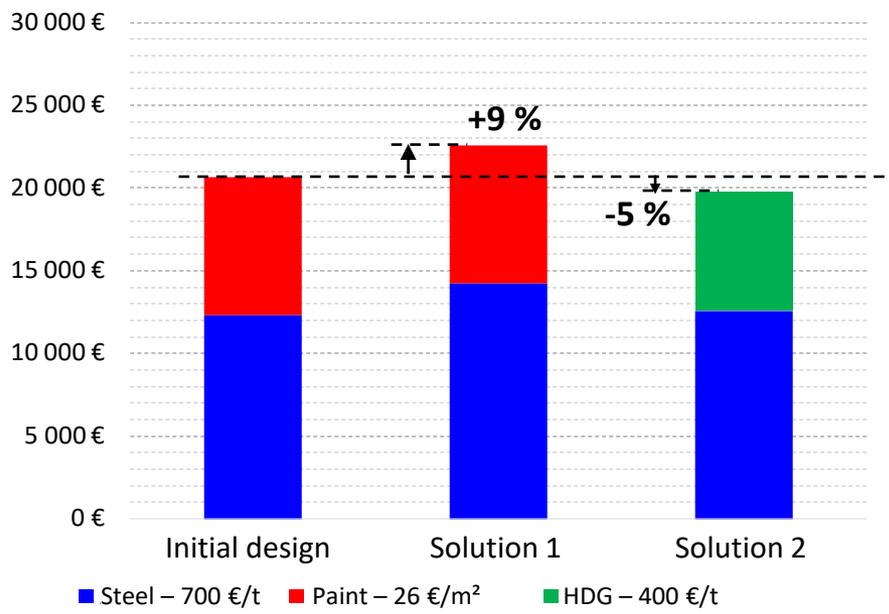
# COMPARATIVE STUDY: WORKED EXAMPLES

## Example 1: single storey warehouse

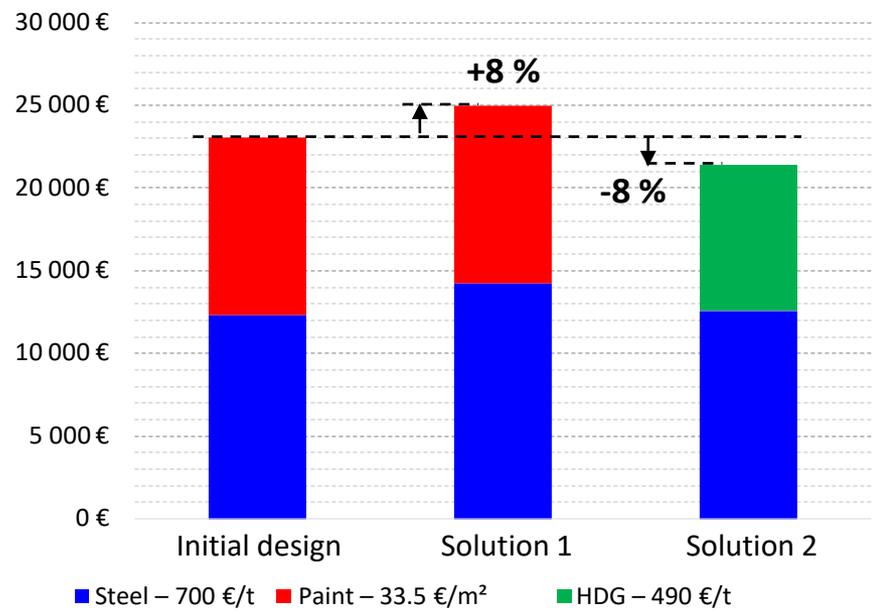
➤ R15 fire resistance requirement

✓ Overall cost of the portal frame (steel + anticorrosion protection)

Minimum cost



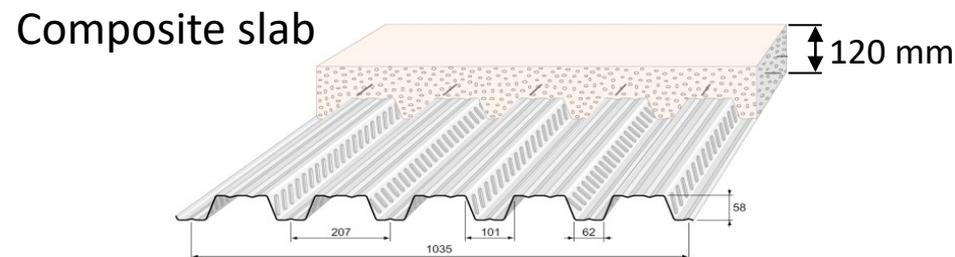
Average cost



**HDG vs. anticorrosion paint + structural reinforcement**  
**cost reduction for unprotected steelwork**

## Example 2: open car park

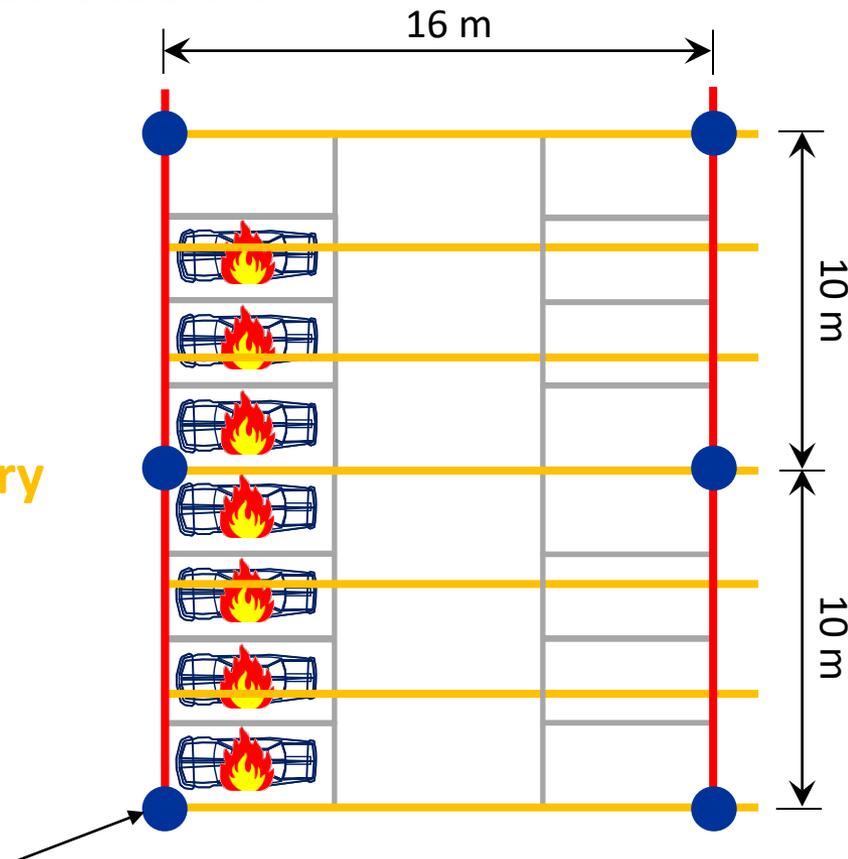
➤ Composite floor with **unprotected** steelwork



Fire scenario: 7 vehicles

2 configurations for **primary** and **secondary** beams

- 1) **HEA 500** and **IPE 500** without HDG
- 2) **HEA 500** and **IPE 450** with HDG

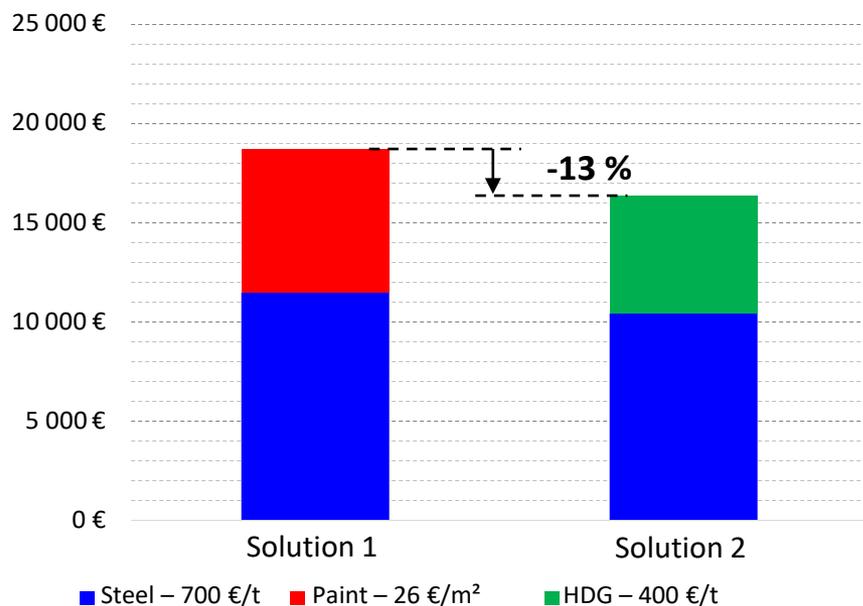


H columns with partial concrete encasement

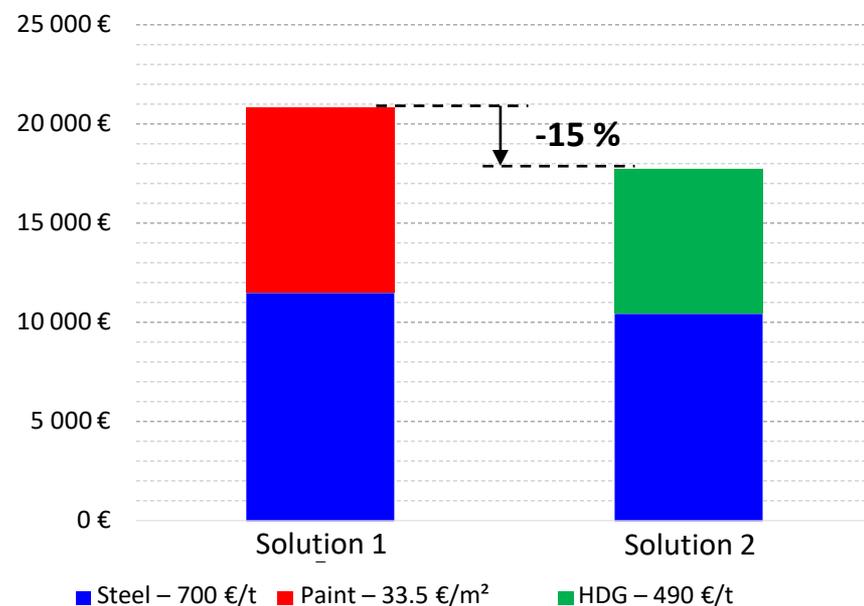
## Example 2: open car park

- Composite floor with unprotected steelwork
- ✓ Overall cost of beams (steel + anticorrosion protection)

Minimum cost



Average cost



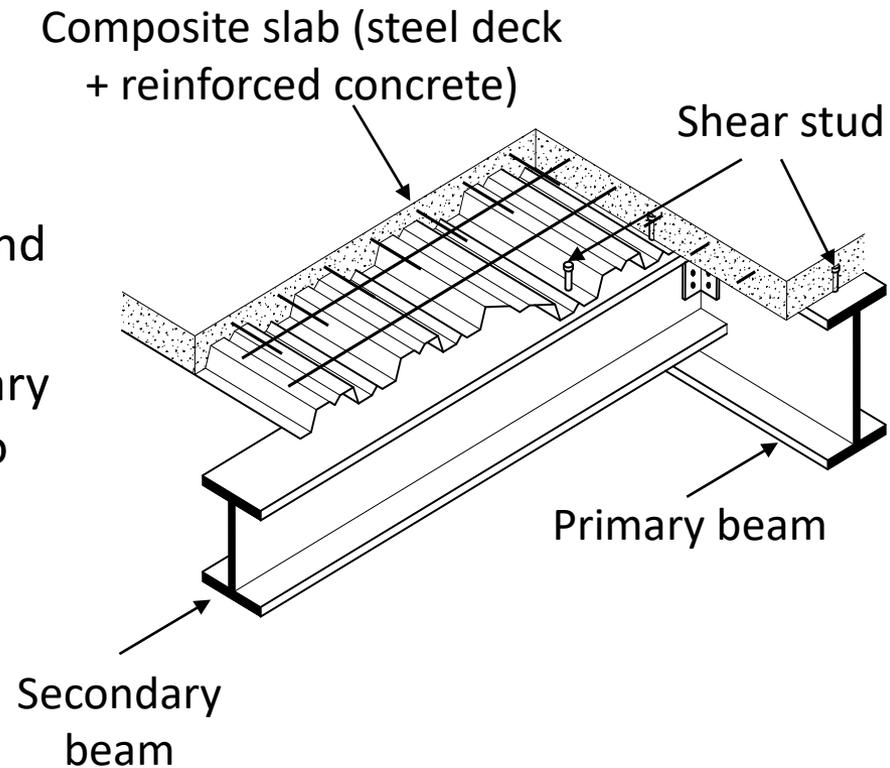
**HDG vs. anticorrosion paint**

**significant cost reduction for unprotected steelwork**

## Example 3: 4-storey office building

### ➤ Initial design

- ✓ Composite floors
- ✓ Anticorrosion paint on all steel structural members
- ✓ R30 fire insulation of columns and primary beams
- ✓ Partial fire insulation of secondary beams (only those assembled to columns, see **FRACOF\*** design method)



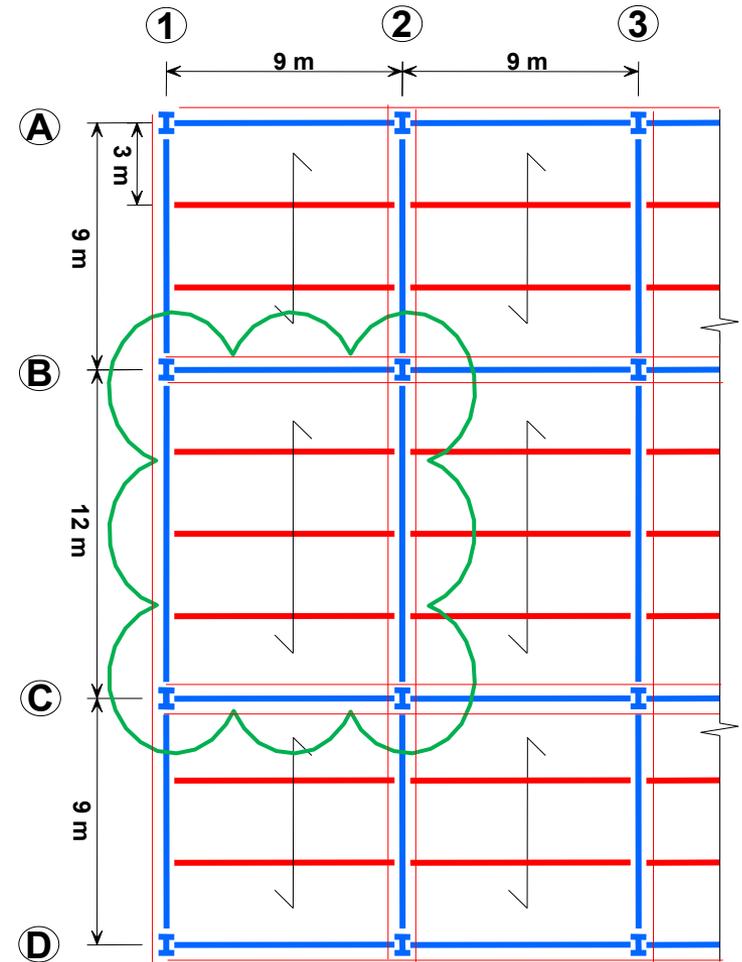
\***F**ire **R**esistance **A**ssessment of **C**omposite **F**loors

## Example 3: 4-storey office building

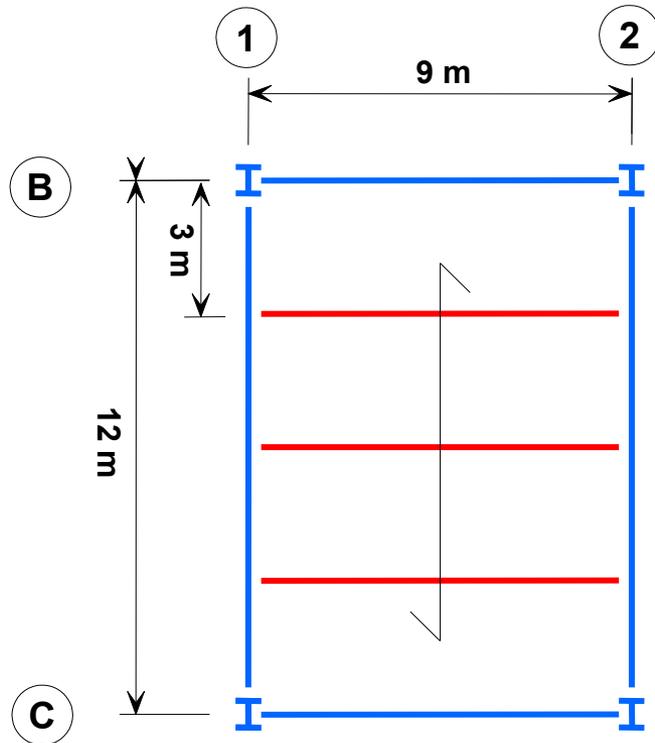
### ➤ Initial design

- ✓ Protection of the steel members

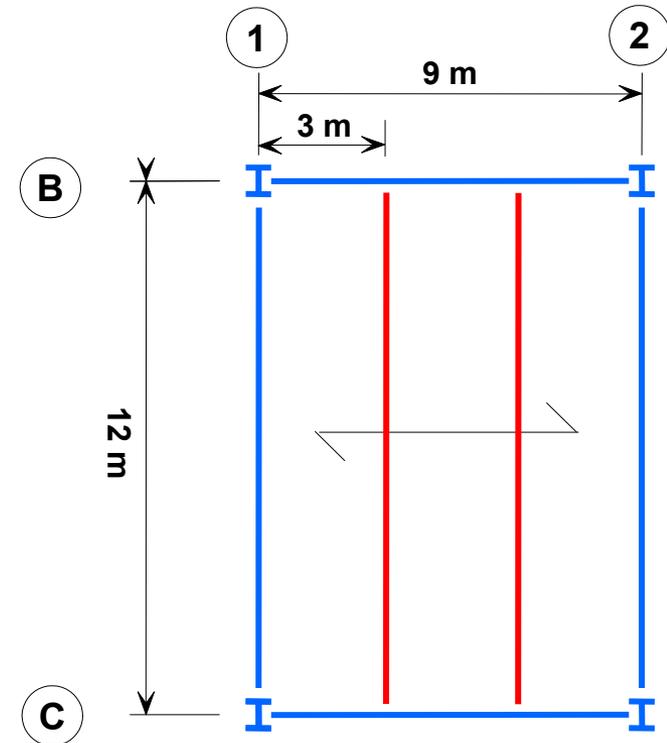
- Anticorrosion paint
- Anticorrosion paint + R30 fire insulation
  - ✓ 1 layer of 10-mm sprayed material
  - ✓ or 1 layer of ~0,2-mm intumescent coating



## Example 3: 4-storey office building



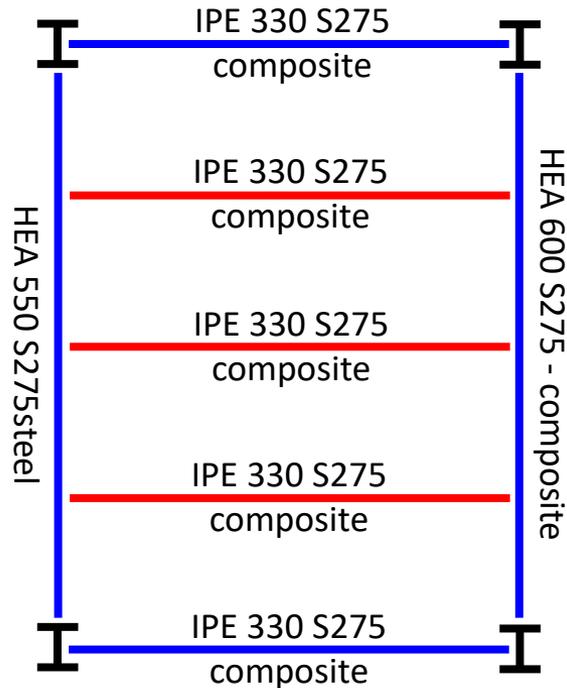
Case 1:  
secondary beams along the shorter span



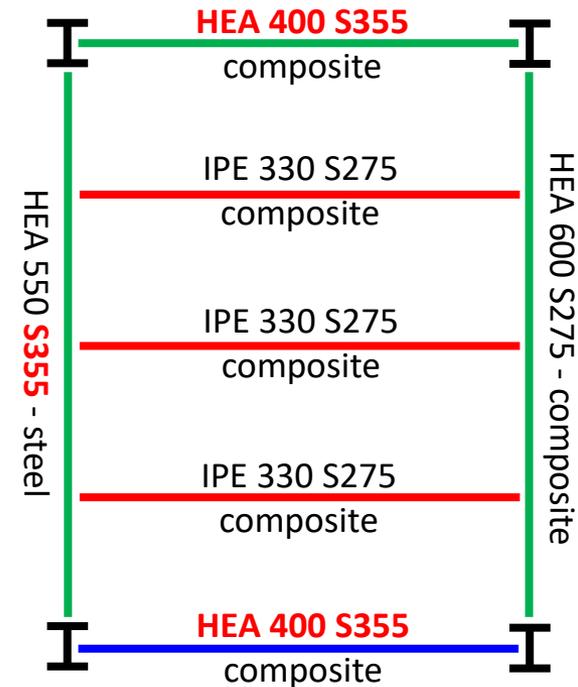
Case 2:  
secondary beams along the longer span

## Example 3: 4-storey office building

### ➤ Case 1



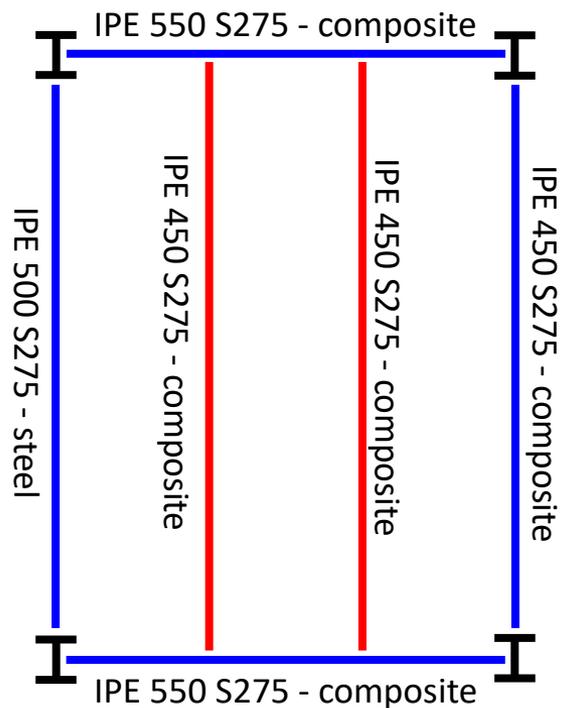
Initial design:  
anticorrosion paint on all beams  
**+ R30 fire insulation on perimeter beams**



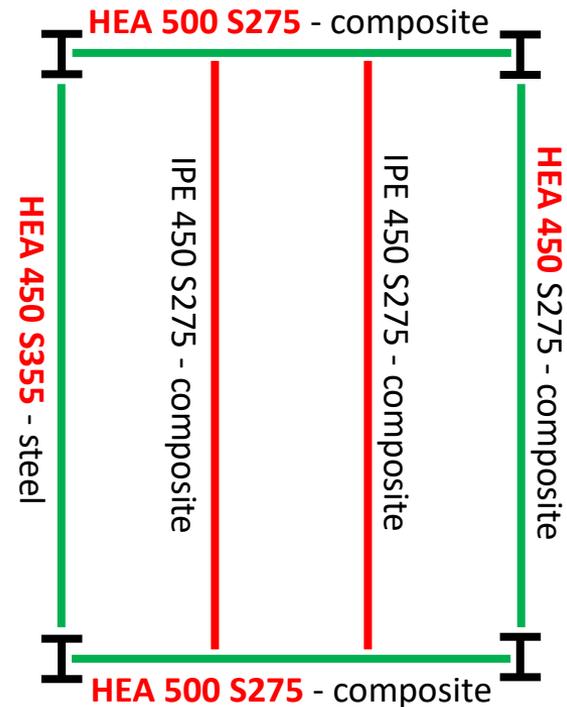
Anticorrosion paint on intermediary beams  
**+ HDG on perimeter beams**

## Example 3: 4-storey office building

### ➤ Case 2



Initial design:  
anticorrosion paint on all beams  
**+ R30 fire insulation on perimeter beams**

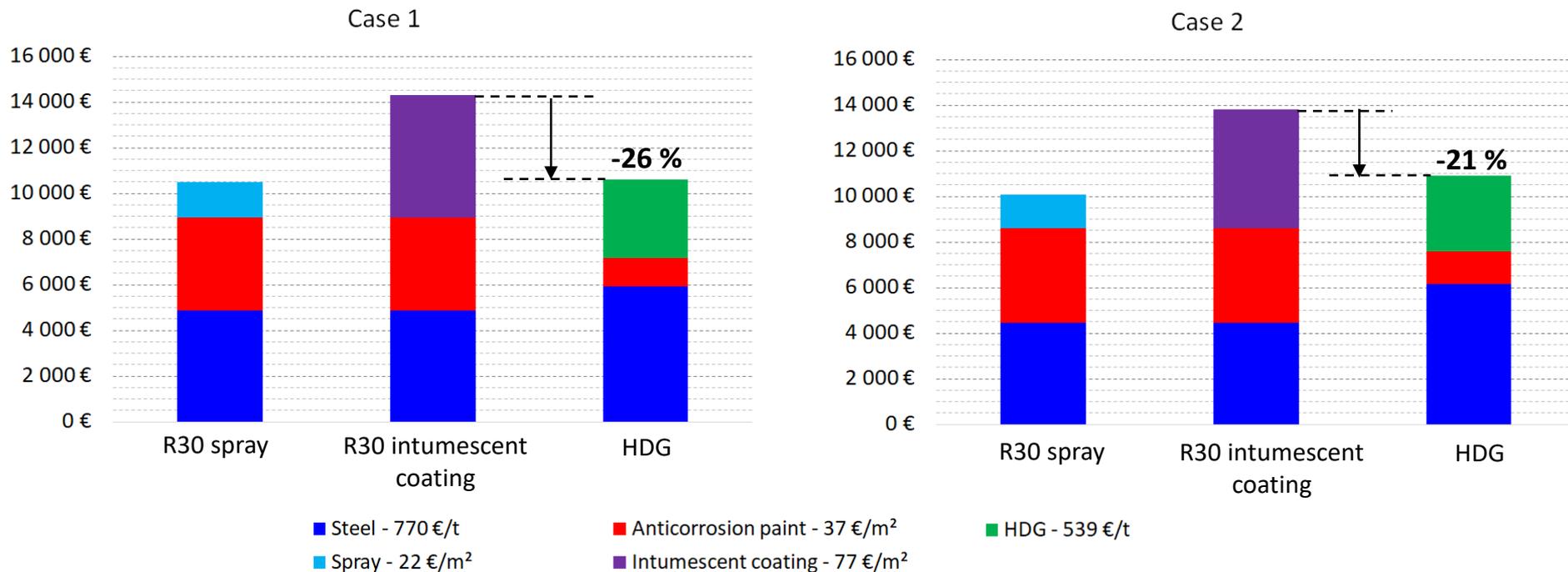


Anticorrosion paint on intermediary beams  
**+ HDG on perimeter beams**

# COMPARATIVE STUDY: WORKED EXAMPLES

## Example 3: 4-storey office building

➤ Overall cost of beams (steel + anticorrosion protection)



**HDG vs. R30 intumescent coating**  
**significant cost reduction for steelwork**

Fire resistance requirements can be met on HDG steelwork in case of:

- Unprotected structural members
- Usual steel profile sizes (at least 5 mm thick)
- Low fire resistance rates (R15, or even R30)

According to the results of three worked examples

- HDG can reduce the amount of steelwork (size of profiles)
- HDG can be an alternative cost-effective passive fire protection for R30 rate

[Acknowledgments](#) to EGGA and Galvazinc for this collaborative work



*Parc Technologique  
L'Orme des Merisiers  
Immeuble Apollo  
91193 Saint Aubin*

*Tél. : + 33 (0)1.60.13.83.00  
Fax. : + 33 (0)1.60.13.13.03  
Courriel : [cticm@cticm.com](mailto:cticm@cticm.com)*

**Thank you for your attention**

**Questions?**