

**Eurocode 1** – Actions sur les structures - Partie 3: Actions induites par les appareils de levage et les machines: 2006 et prNBN EN 1991-3 ANB:2009 (F)

**Eurocode 3** – Calcul des structures en acier - Partie 6: Chemins de roulement (+ AC:2009):2007 et prNBN EN 1993-6 ANB:2009 (F)

**Eugène Piraprez<sup>1</sup>, Luc Schueremans<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>: Steel Solutions, Rue Zénobe Gramme 44, B-4280 Hannut  
[info@steelsolutions.be](mailto:info@steelsolutions.be)

<sup>2</sup>: KULeuven, departement burgerlijke bouwkunde, kasteelpark Arenberg 40, [luc.schueremans@bwk.kuleuven.be](mailto:luc.schueremans@bwk.kuleuven.be)

Avec les remerciements à: RWTH-Aachen – institut und Lehrstuhl für Stahlbau Leithmetallbau: G. Sedlacek, R. Schneider, Chr. Müller, S. Höhler, J. Stötzel

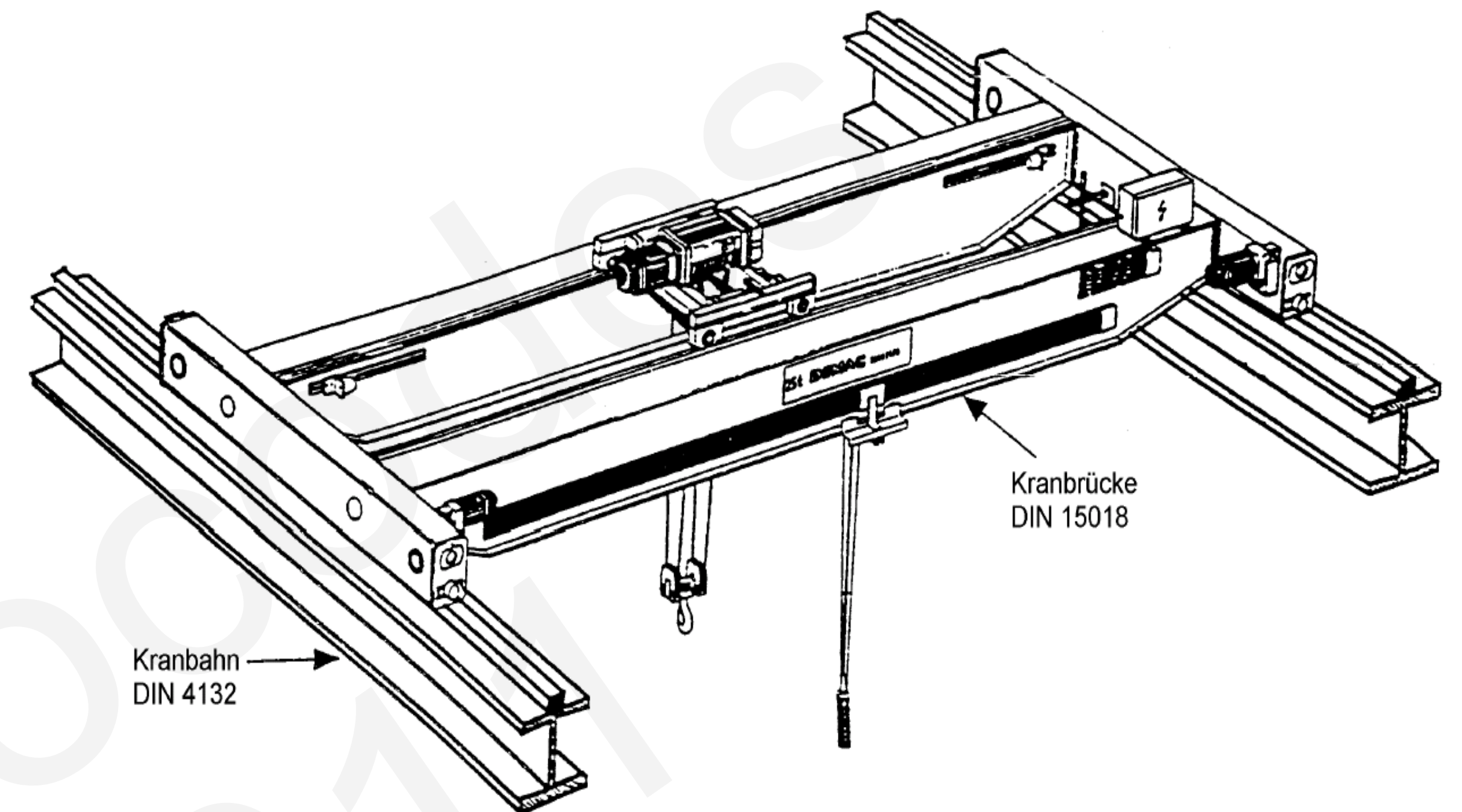


**COBO  
MEDIA**



# Contenu

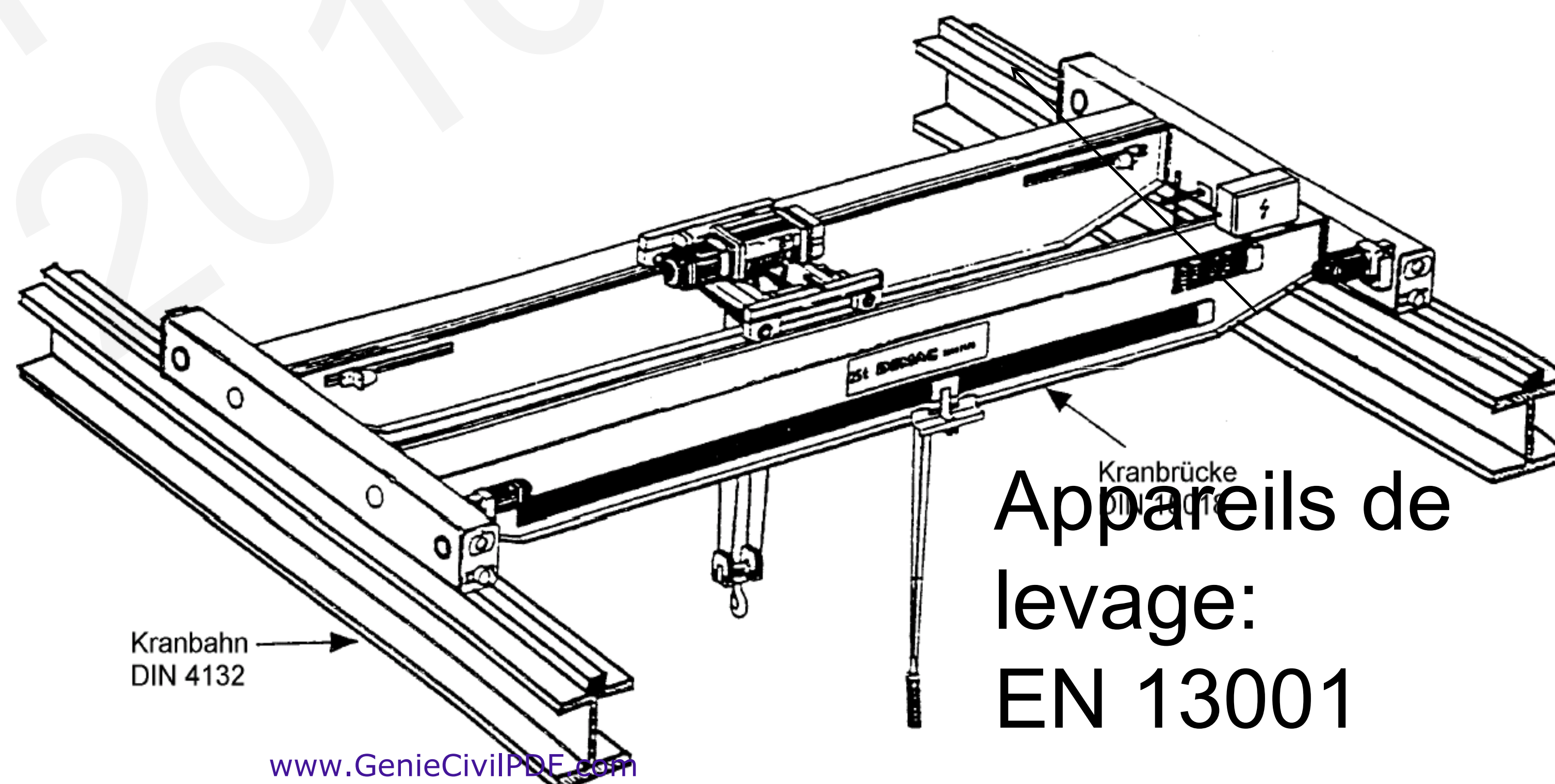
- Références normatives EN
- Domaine d'application – principes de base
- Sollicitations
- Dimensionnement
- Vérification de la stabilité
- Fatigue
- Exemple de calcul





# Cadre normatif

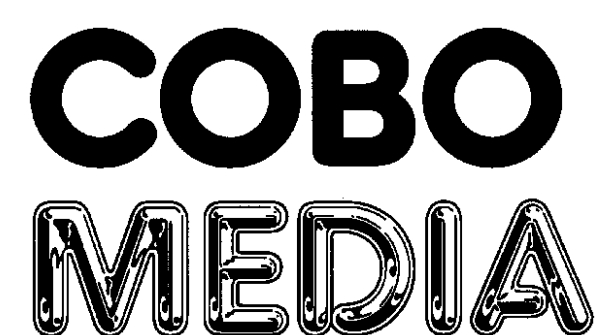
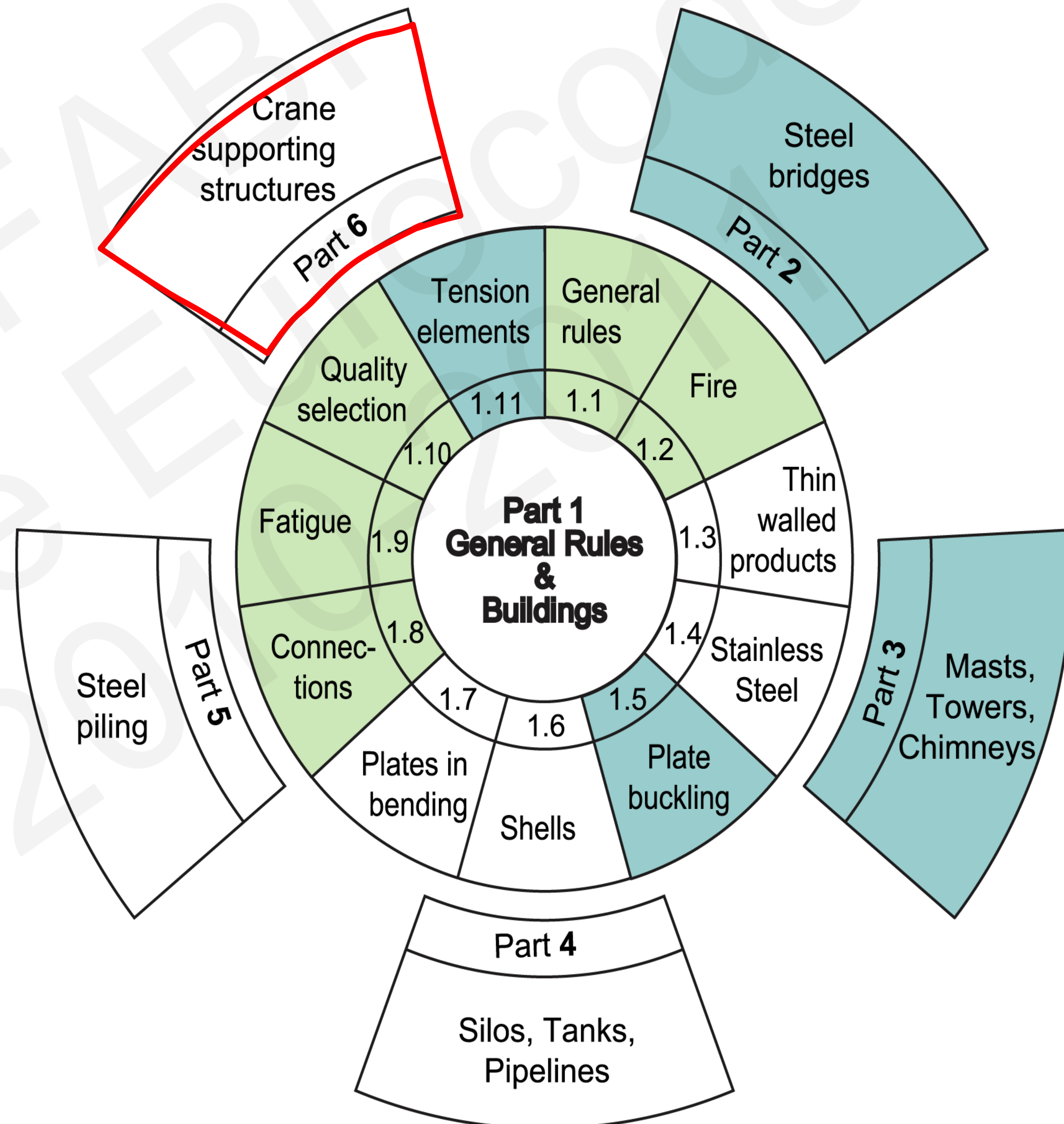
- EN 1990 Eurocode: Bases de calcul des structures
- EN 13001-1 Appareils de levage – conception générale
  - Part 1: Principes et prescriptions
- EN 13001-2 Appareils de levage – conception générale
  - Part 2: Effets des charges
- EN 1993-1-9 Calcul des structures en acier – Partie 1-9: Fatigue
- EN 1991-3: Actions sur les structures – Partie 3: Actions induites par les appareils de levage et les machines
- EN 1993-6: Calcul des structures en acier - Partie 6: Chemins de roulement





# Cadre normatif

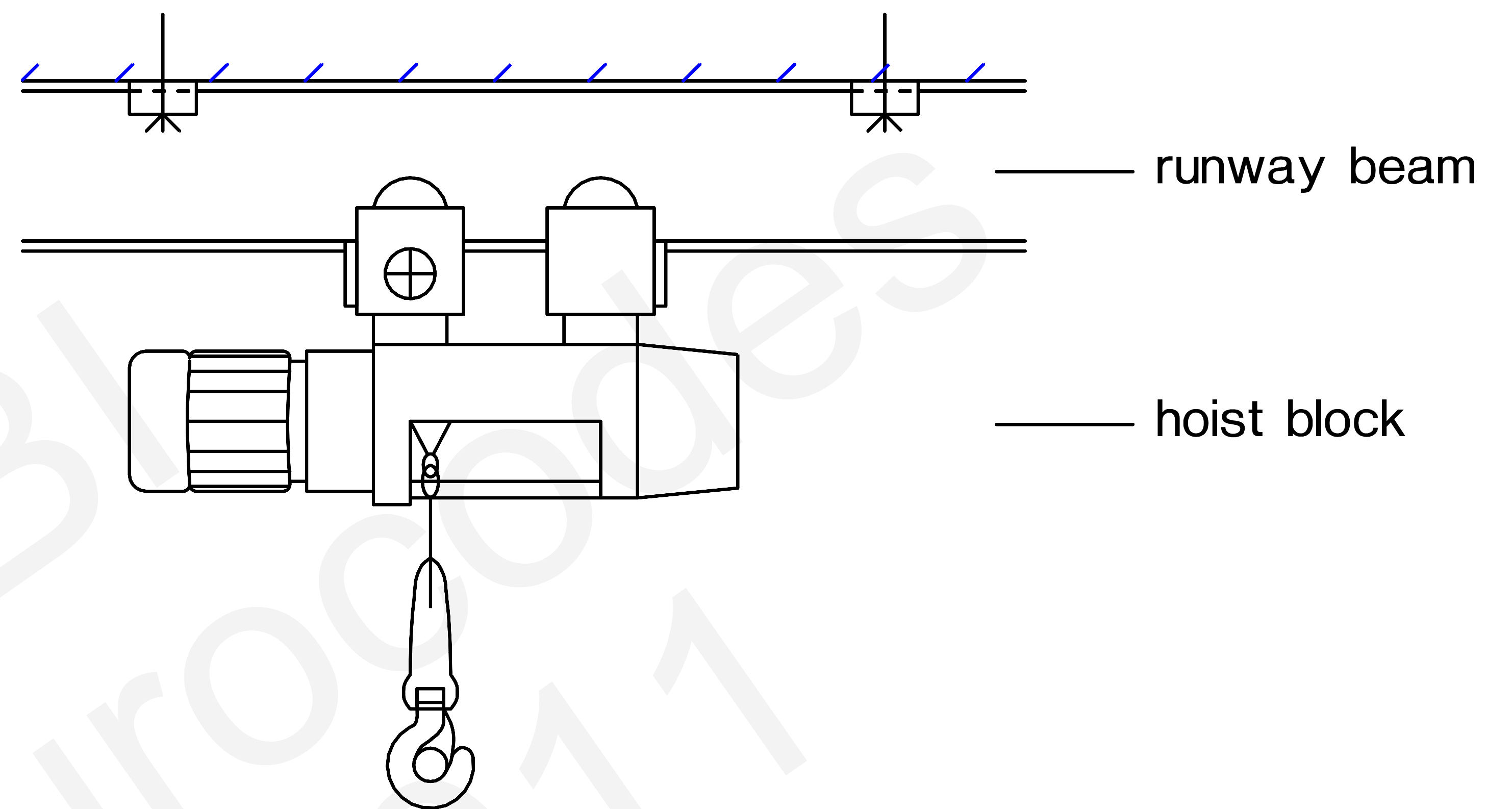
- **EN 1991-3** Actions sur les structures – Partie 3: Actions induites par les appareils de levage et les machines
- **EN 1993-6** Calcul des structures en acier - Partie 6: Chemins de roulement





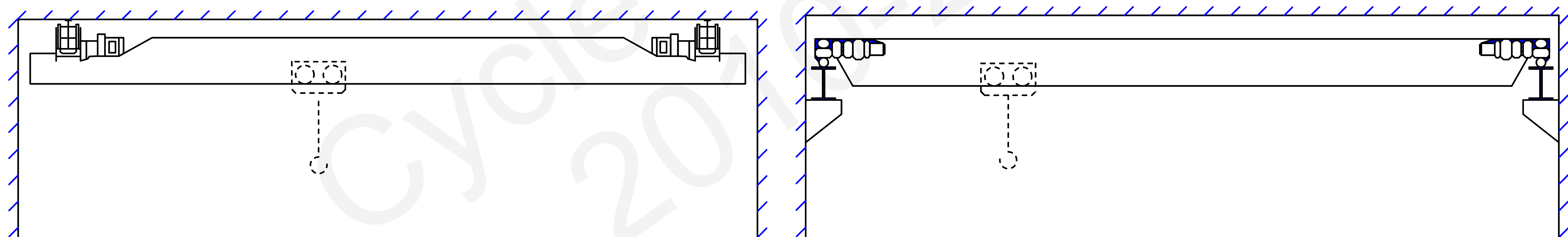
# Types de ponts roulants

Poutre de roulement pour palan avec chariot monorail



Pont roulant

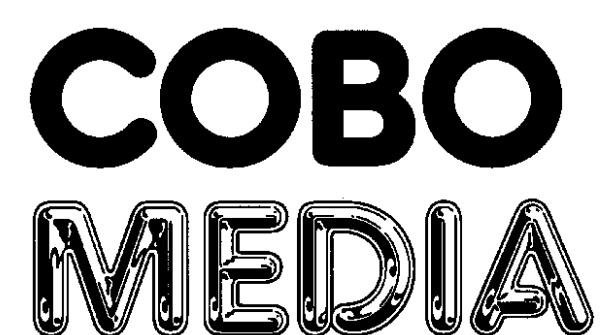
- suspendu avec palan avec chariot - posé avec palan avec chariot





# Classification des actions

| Actions variables   |   |  | Actions accidentelles  |
|---|---|--|--|
| Verticales  | Horizontales  | Verticale  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poids propre</li> <li>• Masse à lever</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forces d'entraînement</li> <li>• Marche en crabe</li> <li>• ...</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Charge d'essai</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forces de tamponnement</li> </ul> |
| Dynamiques ( $\varphi_1, \dots, \varphi_6$ )  |   |  | Quasi-statiques  |
| $F_{\varphi,k} = \varphi_i F_k$   |   |  |  |
| ( $\varphi_1, \dots, \varphi_4$ )   | ( $\varphi_5$ )   | ( $\varphi_6$ )  | ( $\varphi_7$ )  |





# Groupes des charges

|   |  | Symbole    | Paragraphe | Groupes de charges |             |             |             |             |             |             |                |               |   |
|---|--|------------|------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---------------|---|
|   |  |            |            | Etat limite ultime |             |             |             |             |             |             | Charge d'essai | Acci dentelle |   |
|   |  |            |            | 1                  | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           |                | 8             | 9 |
| 1 | Poids propre de l'appareil de levage                         | $Q_c$      | 2.6        | $\varphi_1$        | $\varphi_1$ | 1           | $\varphi_4$ | $\varphi_4$ | $\varphi_4$ | 1           | $\varphi_1$    | 1             | 1 |
| 2 | Masse à lever  | $Q_h$      | 2.6        | $\varphi_2$        | $\varphi_3$ | -           | $\varphi_4$ | $\varphi_4$ | $\varphi_4$ | $\eta^{1)}$ | -              | 1             | 1 |
| 3 | Accélération de la poutre du pont                            | $H_L, H_T$ | 2.7        | $\varphi_5$        | $\varphi_5$ | $\varphi_5$ | $\varphi_5$ | -           | -           | -           | $\varphi_5$    | -             | - |
| 4 | Marche en crabe de la poutre du pont                         | $H_S$      | 2.7        | -                  | -           | -           | -           | 1           | -           | -           | -              | -             | - |
| 5 | Accélération ou freinage du chariot ou du palan avec chariot | $H_{T3}$   | 2.7        | -                  | -           | -           | -           | -           | 1           | -           | -              | -             | - |
| 6 | Vent en service  | $F_W$      | Annexe A   | 1                  | 1           | 1           | 1           | 1           | -           | -           | 1              | -             | - |
| 7 | Charge d'essai   | $Q_T$      | 2.10       | -                  | -           | -           | -           | -           | -           | -           | $\varphi_6$    | -             | - |
| 8 | Force de tamponnement  | $H_B$      | 2.11       | -                  | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -              | $\varphi_7$   | - |
| 9 | Force de basculement   | $H_{TA}$   | 2.11       | -                  | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -              | -             | 1 |

NOTE Pour le vent hors service, voir l'annexe A.

<sup>a</sup>  $\eta$  est la part relative de la masse à lever qui reste après avoir enlevé la charge utile, mais qui n'est pas incluse dans le poids propre de l'appareil de levage.



# Coefficients dynamiques

| Coefficients dynamiques          | Effets à prendre en compte  | A appliquer à   |
|----------------------------------|---|---|
| $\varphi_1$                      | excitation de la structure de l'appareil de levage due au décollage de la masse à lever du sol.   | poids propre de l'appareil de levage                        |
| $\varphi_2$<br>ou<br>$\varphi_3$ | effets dynamiques du transfert de la masse à lever du sol à l'appareil de levage<br><br>effets dynamiques d'une libération brutale de la charge utile, par exemple en cas d'utilisation d'un grappin ou d'un aimant | masse à lever   |
| $\varphi_4$                      | effets dynamiques induits par le déplacement de l'appareil de levage sur des rails ou des chemins de roulement  | poids propre de l'appareil de levage et de la masse à lever |
| $\varphi_5$                      | effets dynamiques provoqués par des forces d'entraînement   | forces d'entraînement                                       |
| $\varphi_6$                      | effets dynamiques d'une charge d'essai mue par les systèmes d'entraînement suivant le mode d'utilisation de l'appareil de levage  | charge d'essai  |
| $\varphi_7$                      | effets élastiques dynamiques de l'impact sur les tampons  | charges des tampons   |

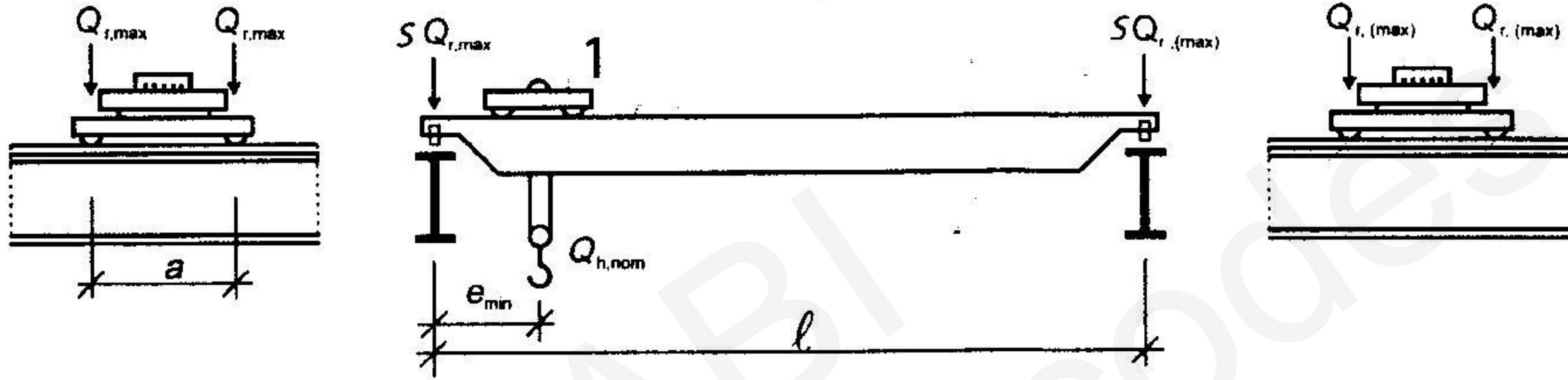


# Charges verticales – coefficients dynamiques

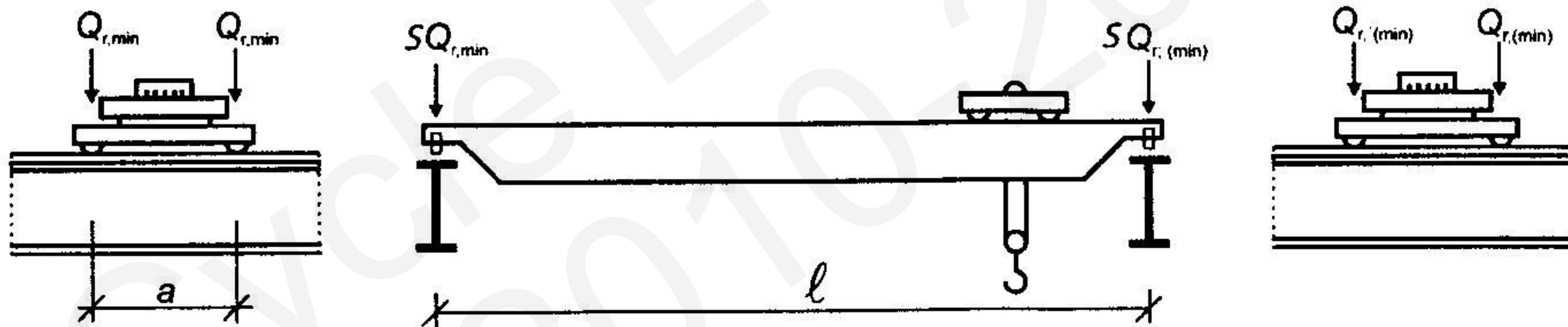
| Valeurs des coefficients dynamiques   |  |
|---|--|
| $\varphi_1$   | $0,9 < \varphi_1 < 1,1$<br>Les deux valeurs 1,1 et 0,9 reflètent les valeurs supérieure et inférieure des impulsions vibratoires.  |
| $\varphi_2$   | $\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \times v_h$<br>$v_h$ - vitesse constante de levage en [m/s]<br>$\varphi_{2,\min}$ et $\beta_2$ voir Tableau 2.5  |
| $\varphi_3$   | $\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$<br>où<br>$\Delta m$ est la partie libérée ou tombée de la masse de levage<br>$m$ est la masse de levage totale<br>et $\beta_3 = 0,5$ pour les appareils de levage équipés de grappins ou de dispositifs similaires à largage non instantané<br>$\beta_3 = 1,0$ pour les appareils de levage équipés d'aimants ou de dispositifs similaires à largage rapide |
| $\varphi_4$   | $\varphi_4 = 1,0$ à condition de respecter les tolérances prescrites dans l'EN 1993-6 pour les rails.  |
| NOTE Si les tolérances applicables aux rails prescrites dans l'EN 1993-6 ne sont pas respectées, le coefficient dynamique $\varphi_4$ peut être déterminé à l'aide du modèle fourni par l'EN 13001-2. |  |



# Charges verticales



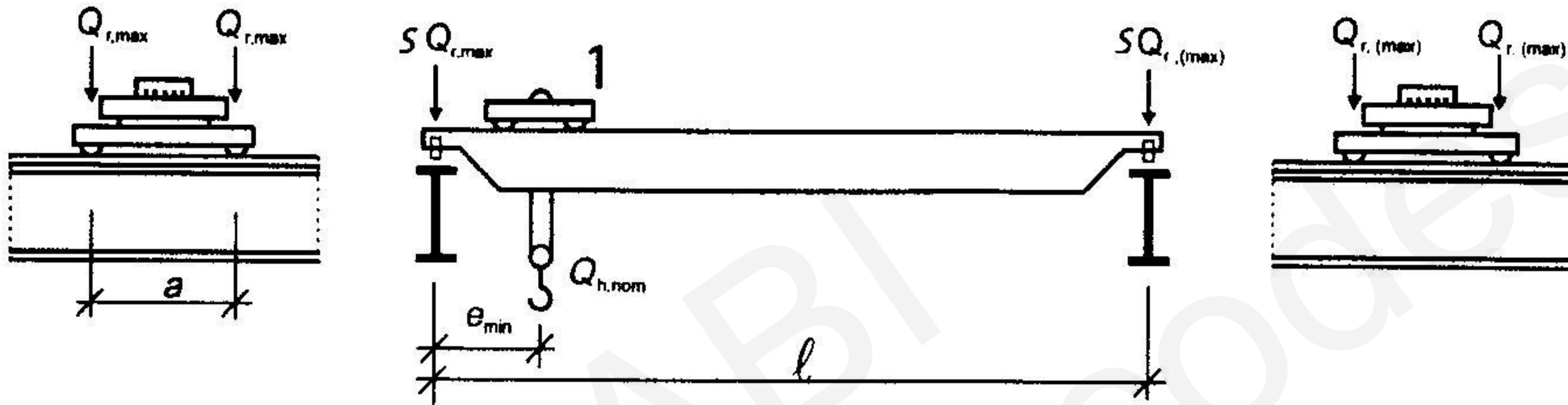
a) Position de l'appareil de levage en charge pour obtenir le chargement maximal de la poutre de roulement



b) Position de l'appareil de levage à vide pour obtenir le chargement minimal de la poutre de roulement



# Charges verticales

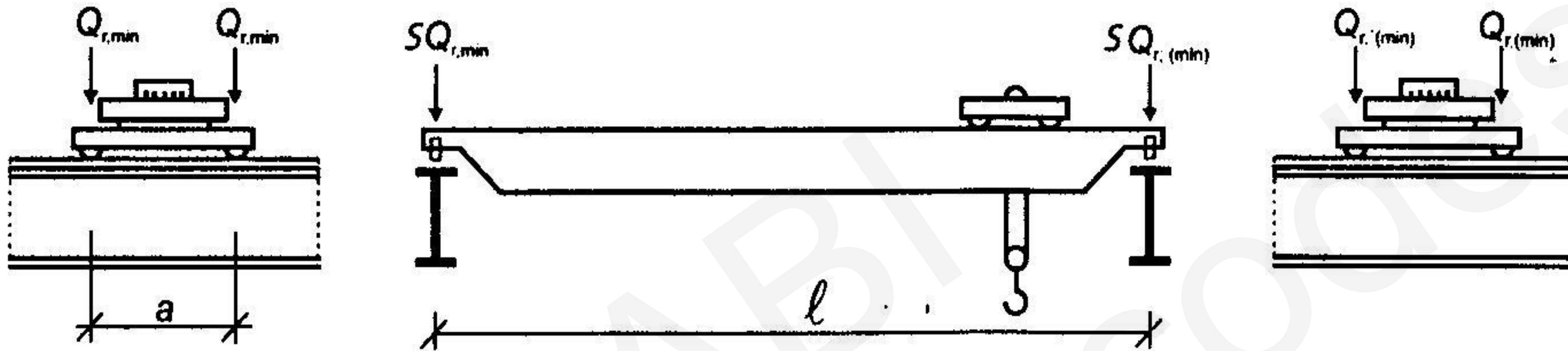


**a) Position de l'appareil de levage en charge pour obtenir le chargement maximal de la poutre de roulement**

- $Q_{r,max}$  est la charge maximale par galet de l'appareil de levage en charge
- $Q_{r,(max)}$  est la charge d'accompagnement par galet de l'appareil de levage en charge
- $\sum Q_{r,max}$  est la somme des charges maximales  $Q_{r,max}$  par chemin de roulement de l'appareil de levage en charge
- $\sum Q_{r,(max)}$  est la somme des charges maximales d'accompagnement  $Q_{r,(max)}$  par chemin de roulement de l'appareil de levage en charge
- $Q_{h,nom}$  est la masse à lever nominale



# Charges verticales



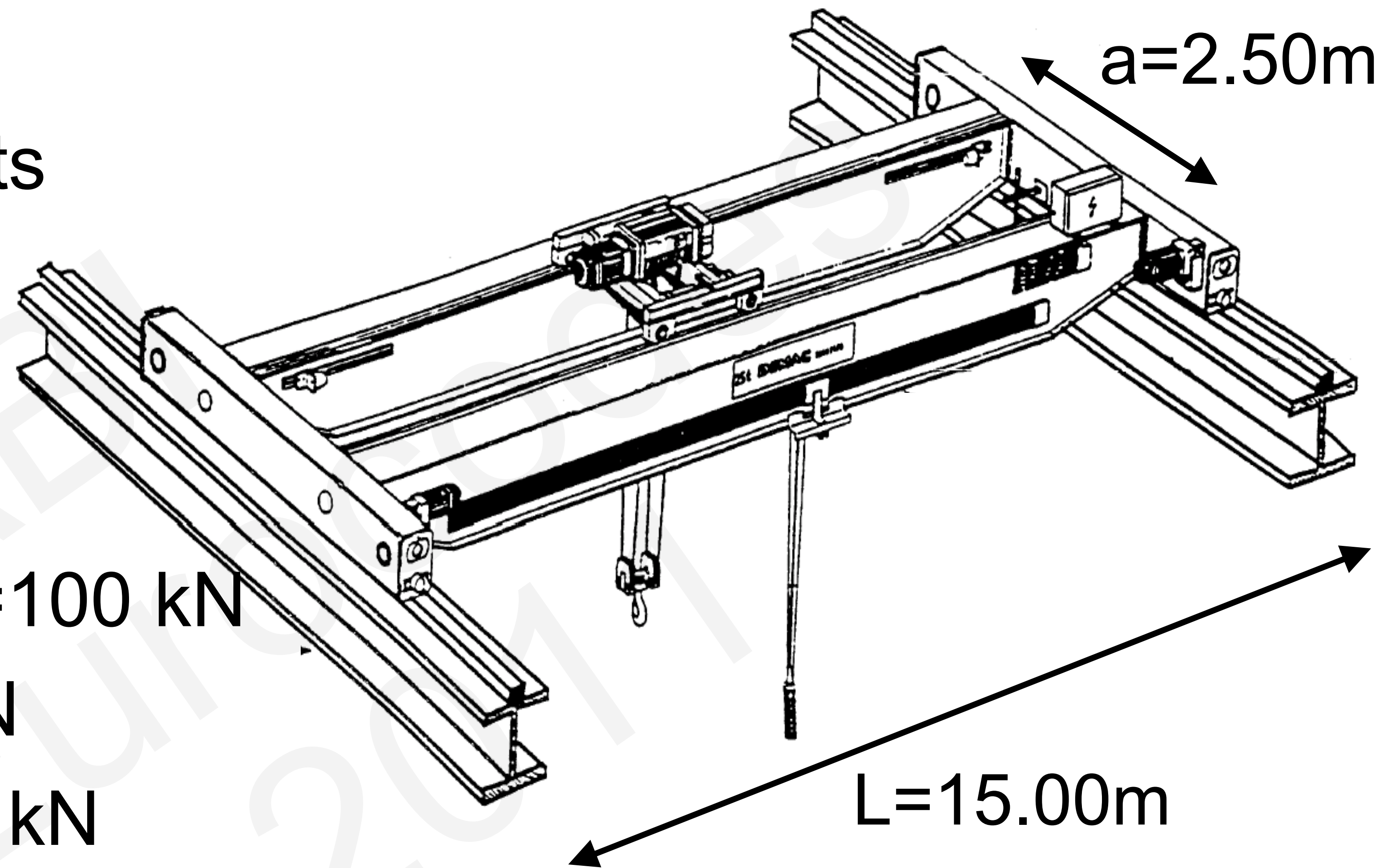
**b) Position de l'appareil de levage à vide pour obtenir le chargement minimal de la poutre de roulement**

- $Q_{r,min}$  est la charge minimale par galet de l'appareil de levage à vide
- $Q_{r,(min)}$  est la charge d'accompagnement par galet de l'appareil de levage à vide
- $\sum Q_{r,min}$  est la somme des charges minimales  $Q_{r,min}$  par chemin de roulement de l'appareil de levage à vide
- $\sum Q_{r,(min)}$  est la somme des charges minimales d'accompagnement  $Q_{r,(min)}$  par chemin de roulement de l'appareil de levage à vide
- $Q_{h,nom}$  est la masse à lever nominale



# Exemple de calcul

- $L=15.00\text{m}$  – portée
- $a=2.50\text{m}$  – écartement des galets
- $e_{\min} = 0.00\text{m}$
- Masse à lever nominale:  $Q_{h,\text{nom}} = 100\text{ kN}$
- Poids propre du pont:  $Q_{c1} = 60\text{ kN}$
- Poids propre du chariot:  $Q_{c2} = 10\text{ kN}$
- Classe de levage: HC3 – annexe B





**Tableau 2.5 — Valeurs de  $\beta_2$  et  $\varphi_{2,\min}$**

| Classe de levage de l'appareil | $\beta_2$ | $\varphi_{2,\min}$ |
|--------------------------------|-----------|--------------------|
| HC1                            | 0,17      | 1,05               |
| HC2                            | 0,34      | 1,10               |
| HC3                            | 0,51      | 1,15               |
| HC4                            | 0,68      | 1,20               |

**NOTE** Les appareils de levage sont répartis dans les classes de levage HC1 à HC4 pour tenir compte des effets dynamiques du transfert de la charge du sol à l'appareil de levage. La sélection dépend du type particulier de l'appareil de levage, voir les recommandations de l'annexe B.



# Charges verticales : coefficients dynamiques

| Valeurs des coefficients dynamiques   |  |
|---|--|
| $\varphi_1$   | $0,9 < \varphi_1 < 1,1$<br>Les deux valeurs 1,1 et 0,9 reflètent les valeurs supérieure et inférieure des impulsions vibratoires.  |
| $\varphi_2$   | $\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \times v_h$<br>$v_h$ - vitesse constante de levage en [m/s]<br>$\varphi_{2,\min}$ et $\beta_2$ voir Tableau 2.5  |
| $\varphi_3$   | $\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$<br>où<br>$\Delta m$ est la partie libérée ou tombée de la masse de levage<br>$m$ est la masse de levage totale<br>et $\beta_3 = 0,5$ pour les appareils de levage équipés de grappins ou de dispositifs similaires à largage non instantané<br>$\beta_3 = 1,0$ pour les appareils de levage équipés d'aimants ou de dispositifs similaires à largage rapide |
| $\varphi_4$   | $\varphi_4 = 1,0$ à condition de respecter les tolérances prescrites dans l'EN 1993-6 pour les rails.  |
| NOTE Si les tolérances applicables aux rails prescrites dans l'EN 1993-6 ne sont pas respectées, le coefficient dynamique $\varphi_4$ peut être déterminé à l'aide du modèle fourni par l'EN 13001-2. |  |



# Charges verticales

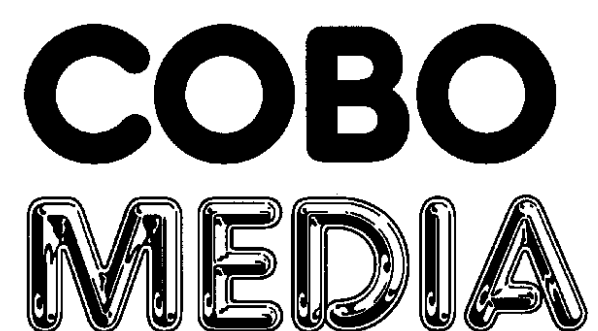
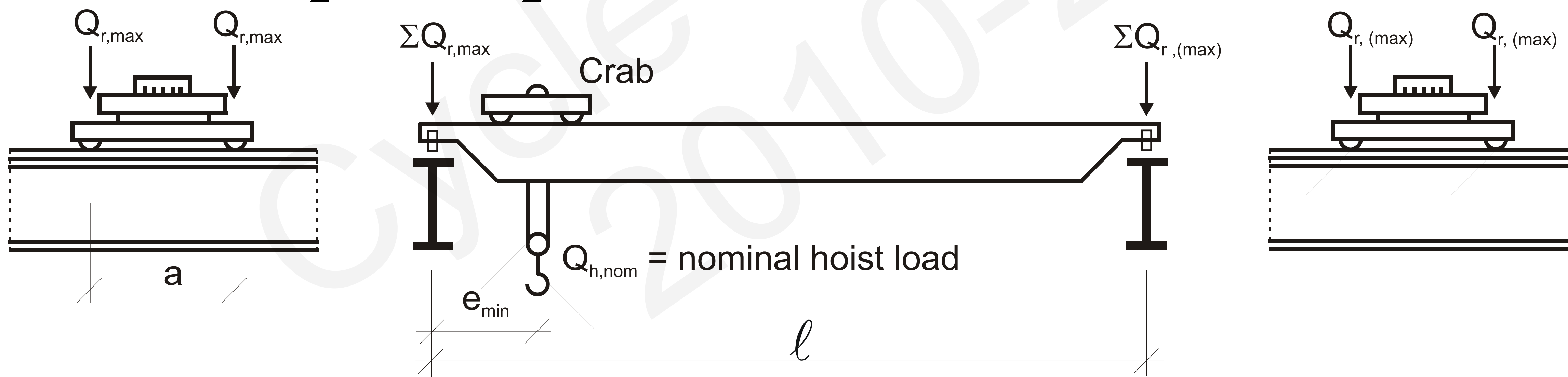
$\varphi_1 = 1,1$ ;  $\varphi_2 = 1,2$  – avec masse à lever  $Q_{h,k}=100$  kN –  $Q_{r,max}$ :

$$\sum Q_{r,max} = \varphi_1 \left[ \frac{Q_{c1}}{2} + Q_{c2} \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right) \right] + \varphi_2 Q_h \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right) = 1.1 \left[ \frac{60}{2} + 10 \left( \frac{15 - 0}{15} \right) \right] + 1.2 \times 100 \left( \frac{15 - 0}{15} \right) = 164 kN$$

$$\sum Q_{r,(max)} = \varphi_1 \left[ \frac{Q_{c1}}{2} + Q_{c2} \left( \frac{e_{min}}{l} \right) \right] + \varphi_2 Q_h \left( \frac{e_{min}}{l} \right) = 1.1 \left[ \frac{60}{2} + 10 \left( \frac{0}{15} \right) \right] + 1.2 \times 100 \left( \frac{0}{15} \right) = 33 kN$$

$$Q_{r,max} = \frac{\sum Q_{r,max}}{2} = \frac{164 kN}{2} = 88 kN$$

$$Q_{r,(max)} = \frac{\sum Q_{r,(max)}}{2} = \frac{33 kN}{2} = 16.5 kN$$





# Charges verticales

$\varphi_1 = 1,1$ : sans masse à lever –  $Q_{r,min}$ :

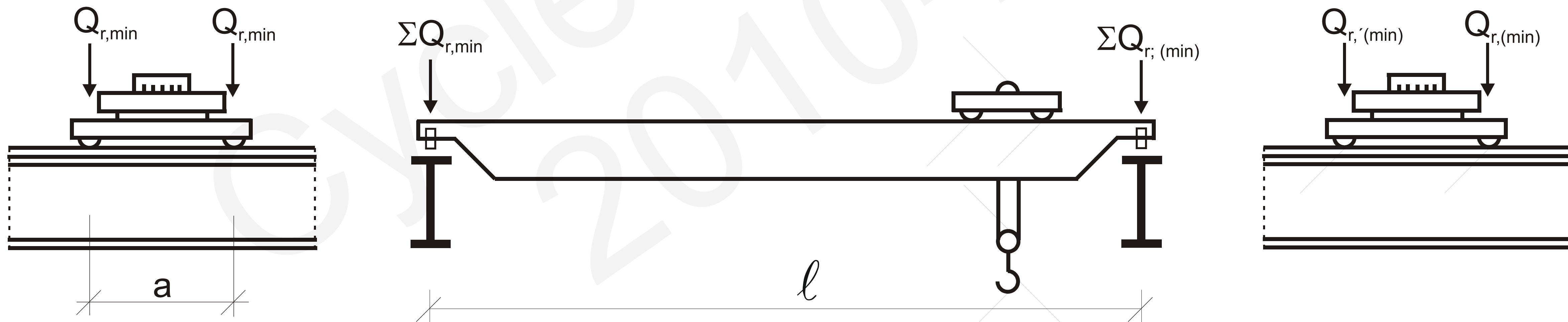
$$F_{\varphi,k} = \varphi_i F_k$$

$$\Rightarrow Q_{C1,\varphi,k} = 1,1 \cdot 60,0 = 66,0 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow Q_{C2,\varphi,k} = 1,1 \cdot 10,0 = 11,0 \text{ kN}$$

$$\sum Q_{r,(min)} = \frac{1}{2} \cdot 66,0 + 11,0 = 44,0 \text{ kN} \Rightarrow Q_{r,(min)} = 22,0 \text{ kN}$$

$$\sum Q_{r,min} = \frac{1}{2} \cdot 66,0 = 33,0 \text{ kN} \Rightarrow Q_{r,min} = 16,5 \text{ kN}$$





### 2.5.2.2 Forces horizontales

(1) Il convient de tenir compte des types suivants de forces horizontales induites par des ponts roulants :

- a) forces horizontales produites par les accélérations ou décélérations de l'appareil de levage lors de ses déplacements, voir 2.7.2 ;
- b) forces horizontales produites par les accélérations ou décélérations du chariot ou du chariot suspendu lors de ses déplacements sur la poutre du pont, voir 2.7.5 ;
- c) forces horizontales produites par la marche en crabe de l'appareil de levage, voir 2.7.4 ;
- d) forces de tamponnement liées aux déplacements de l'appareil de levage, voir 2.11.1 ;
- e) forces de tamponnement liées aux déplacements du chariot ou du chariot suspendu, voir 2.11.2.

(2) Sauf spécification contraire, il convient de ne considérer qu'un seul des cinq types de forces horizontales a) à e) énumérés en (1) dans un même groupe de composantes de charges simultanées des appareils de levage, voir Tableau 2.2.

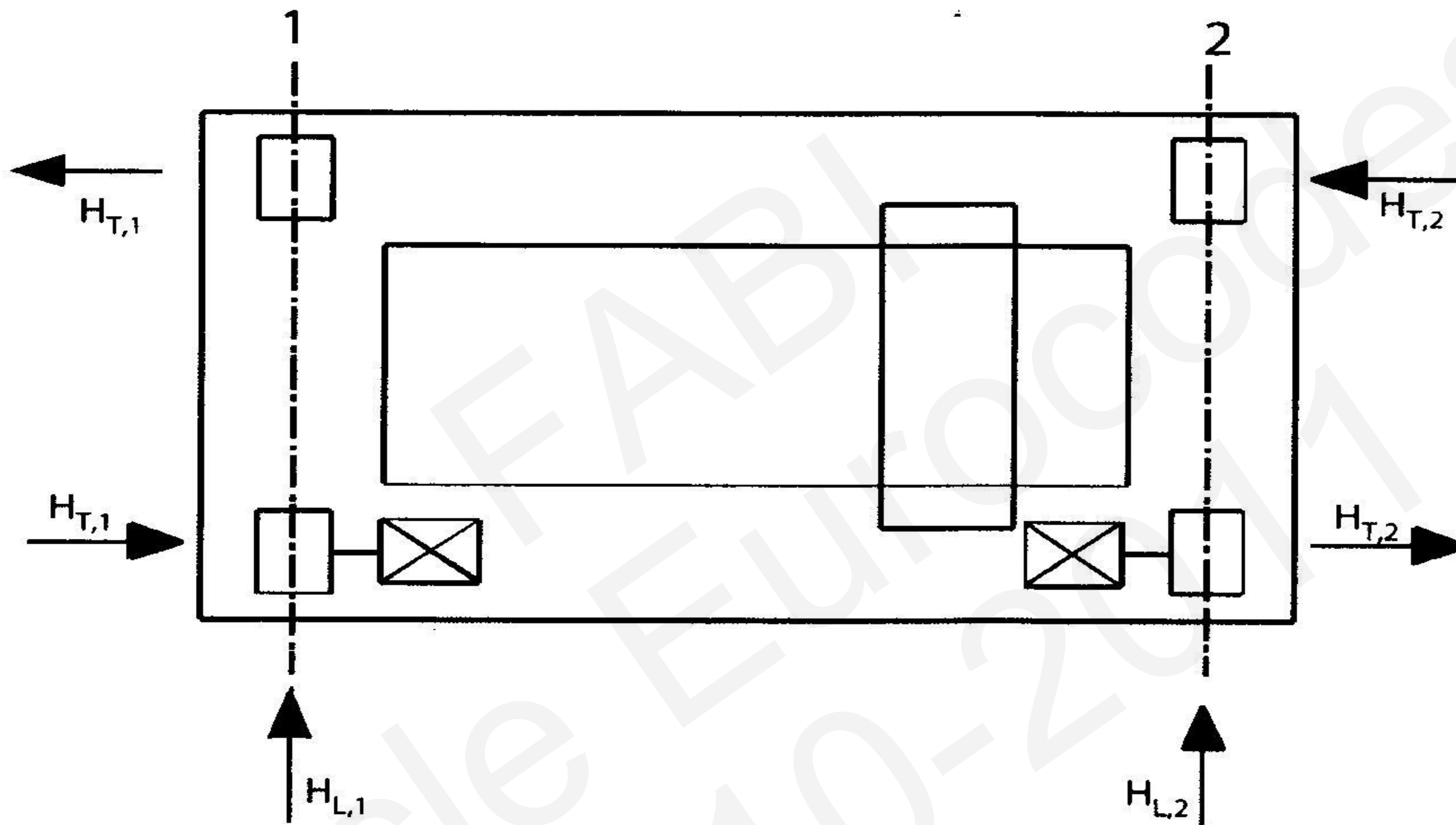


**COBO  
MEDIA**



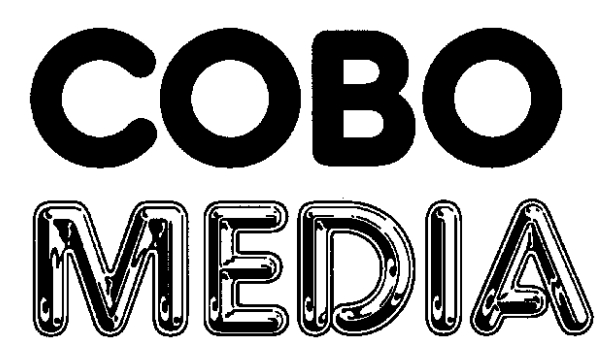


# Forces horizontales



**Légende :**  
1 Rail  $i = 1$   
2 Rail  $i = 2$

**Figure 2.3 — Disposition des forces horizontales longitudinales et transversales exercées par les galets produites lors des accélérations et des décélérations**





# Forces horizontales produites lors des accélérations et des décélérations

Longitudinales:

$$H_{L,1} = H_{L,2} = \varphi_5 \cdot \frac{K}{n_r}$$

$n_r$ : nombre de poutres de roulement

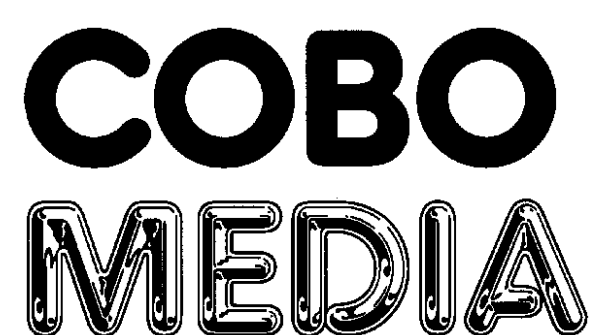
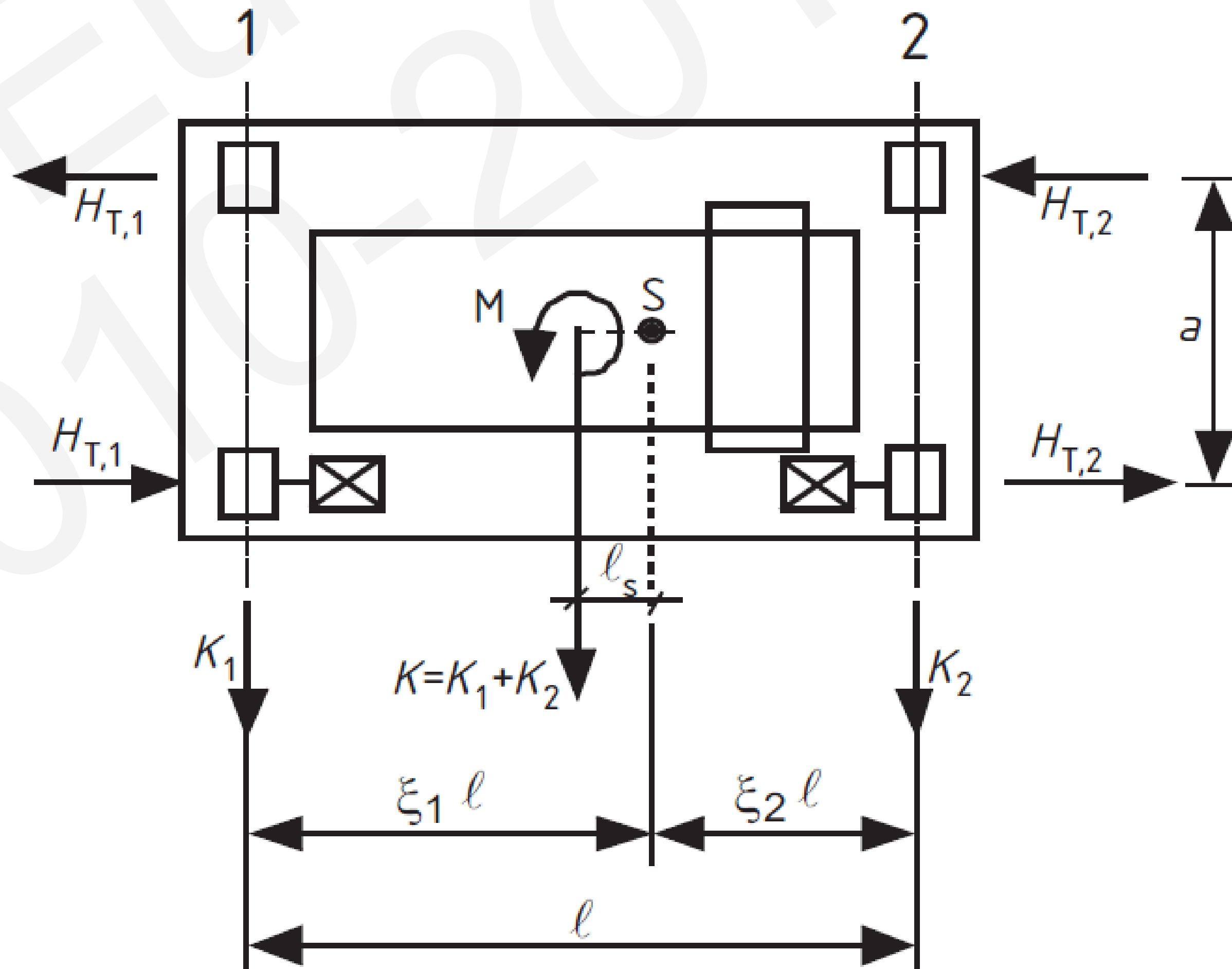
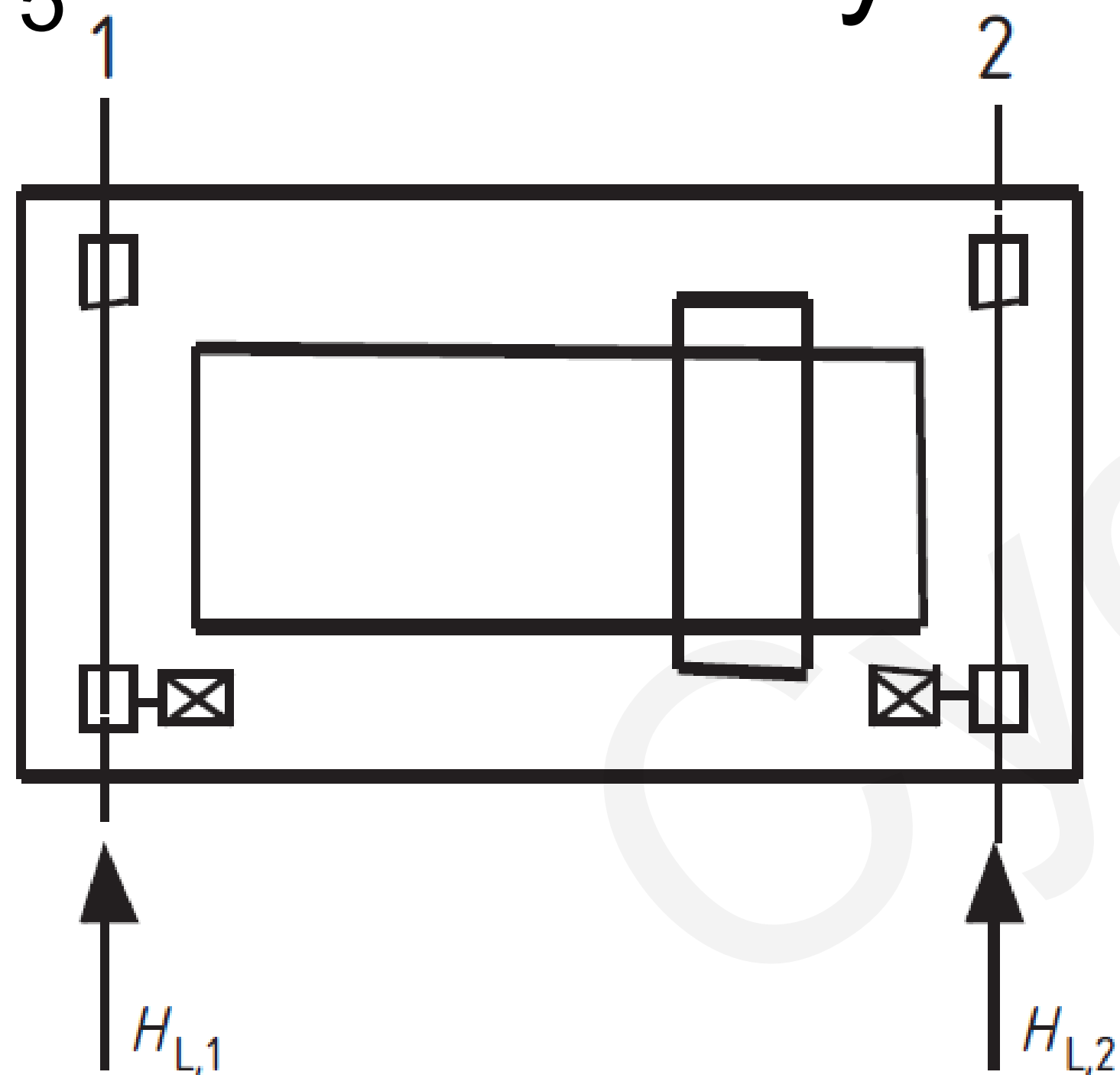
$K$ : force d'entraînement

$\varphi_5$ : coefficient dynamique

Transversales:

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a}$$





# Exemple de calcul

$K$ : force d'entraînement (par galet)

$n_r=2$  nombre de poutres de roulement

$\varphi_5=1.5$  coefficient dynamique

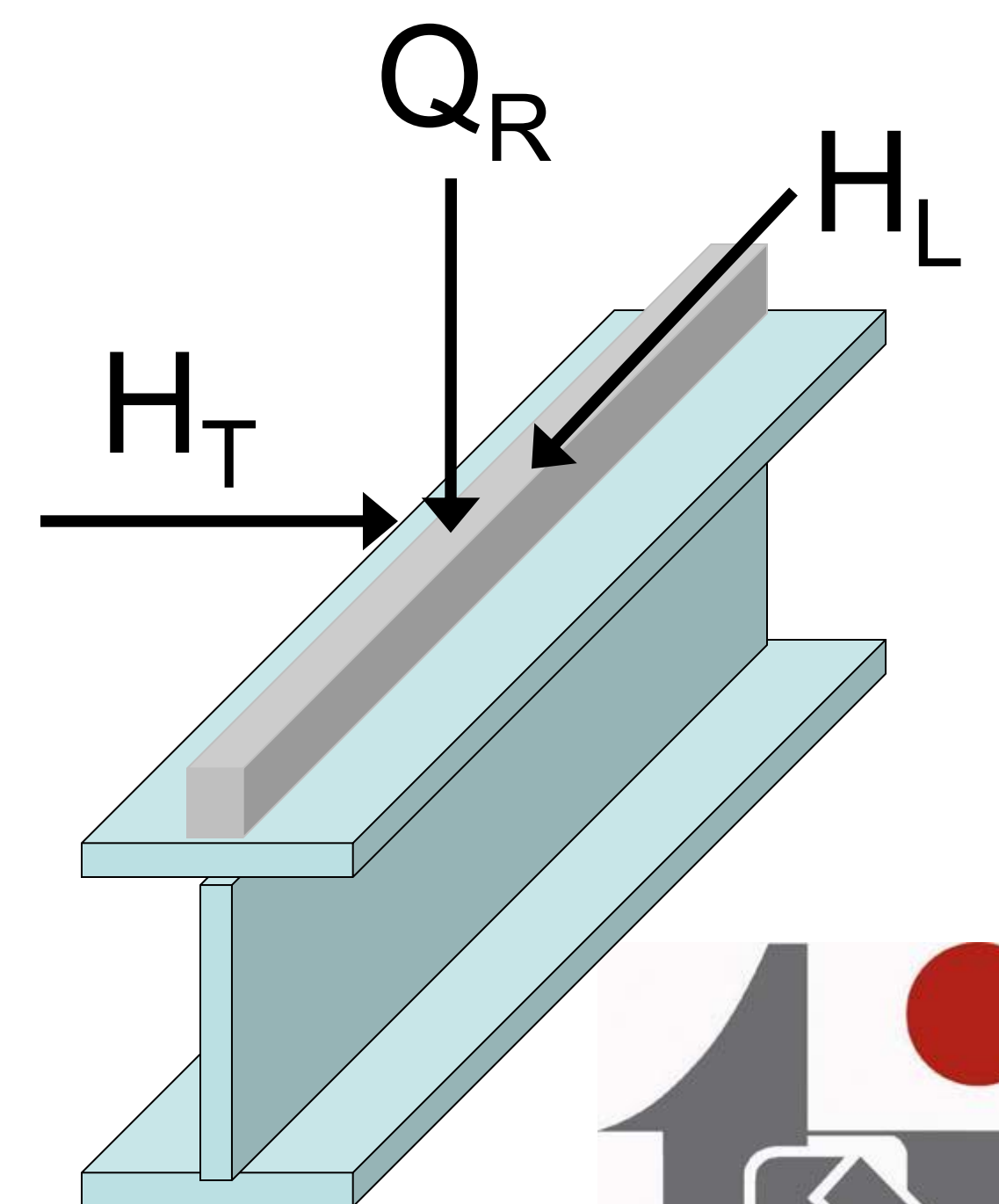
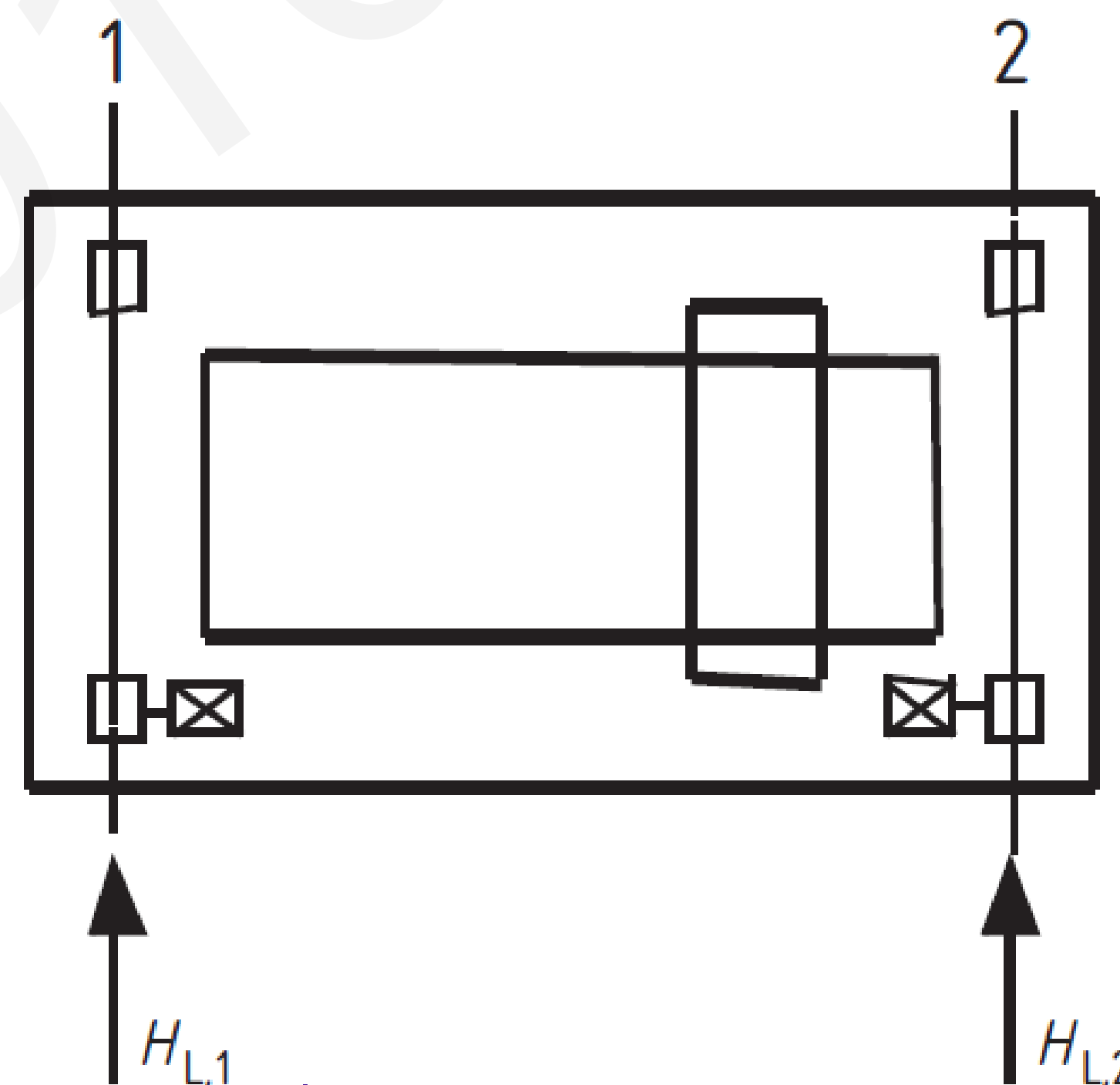
$m_w=2$ ; nombre de systèmes d'entraînement à un galet

$\mu=0.2$  (contact acier-acier)

$$\sum Q_{r,\min}^* = m_w \cdot Q_{r,\min} = 2 \cdot 15,0 = 30,0 \text{ kN}$$

$$K = K_1 + K_2 = \mu \cdot \sum Q_{r,\min}^* = 0,2 \cdot 30,0 = 6,0 \text{ kN}$$

$$H_{L,1} = H_{L,2} = \varphi_5 \cdot \frac{K}{n_r} = 1,5 \cdot \frac{6 \text{ kN}}{2} = 4,5 \text{ kN}$$





# Coefficient dynamique

| Valeurs du coefficient dynamique $\varphi_5$ | Usage spécifique   |
|--|--|
| $\varphi_5 = 1,0$                            | pour les forces centrifuges  |
| $1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$                | pour les systèmes avec variation légère des forces                 |
| $1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0$                | pour les cas où des variations brutales peuvent se produire        |
| $\varphi_5 = 3,0$                            | pour les systèmes d'entraînement comportant des jeux significatifs |



**COBO  
MEDIA**





# Exemple de calcul

Transversalement:

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,18 \cdot \frac{29,7}{2,5} = 3,2 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,82 \cdot \frac{29,7}{2,5} = 14,6 \text{ kN}$$

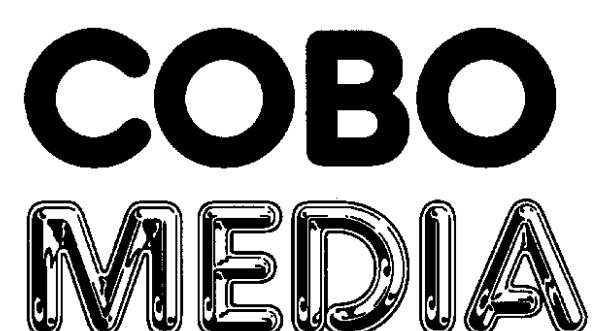
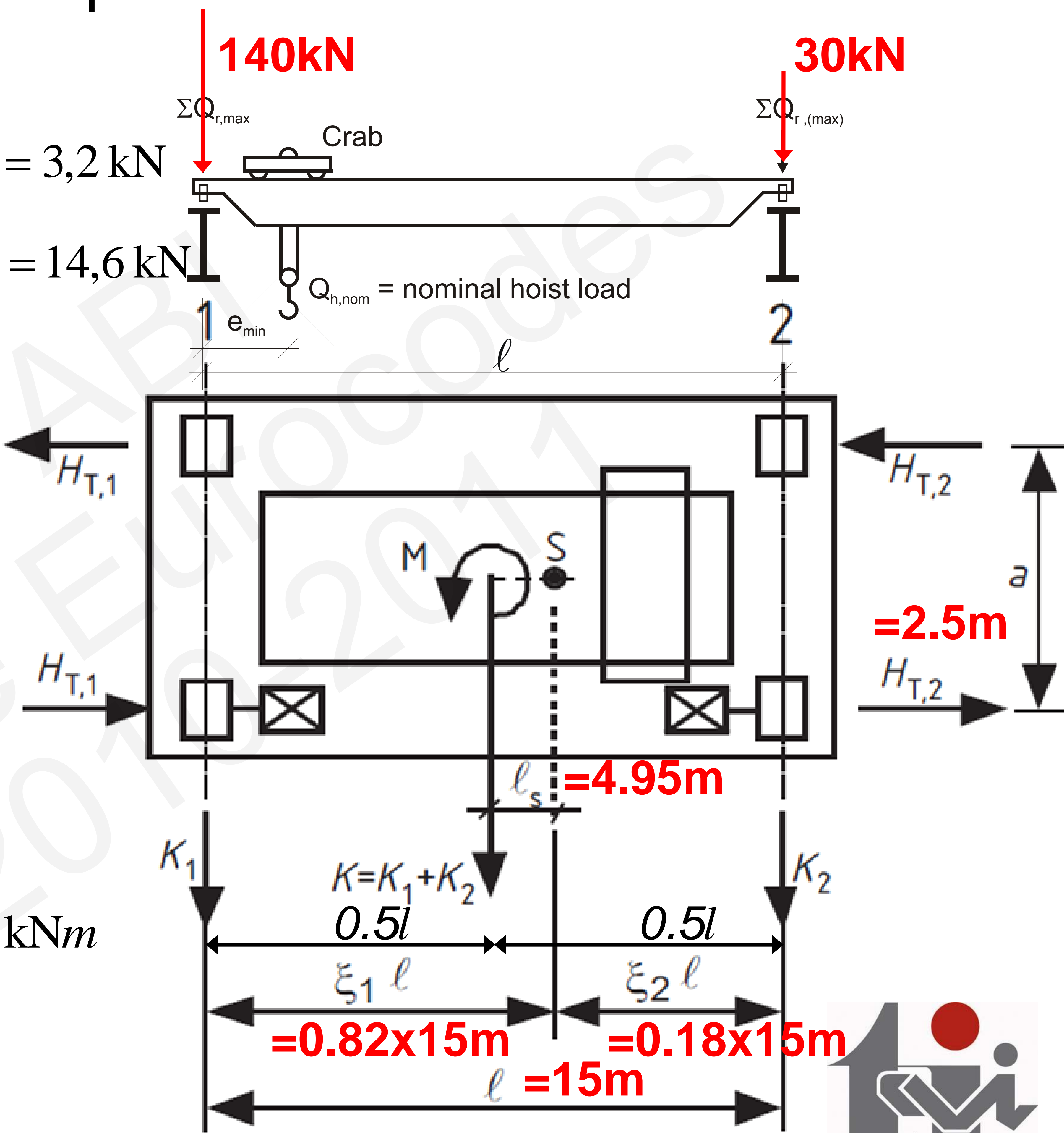
$$\begin{aligned} \sum Q_r &= \sum Q_{r,\max} + \sum Q_{r,(max)} \\ &= 140,0 + 30,0 = 170,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{140}{170} = 0,82$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 0,18$$

$$\begin{aligned} l_s &= (\xi_1 - 0,5) \cdot l \\ &= (0,82 - 0,5) \cdot 15,0 \text{ m} = 4,95 \text{ m} \end{aligned}$$

$$M = K \cdot l_s = 6,0 \text{ kN} \cdot 4,95 \text{ m} = 29,7 \text{ kNm}$$





# Forces longitudinales ( $H_{L,i}$ ) et forces transversales ( $H_{T,i}$ ) dues à la marche en crabe de l'appareil de levage

- Force de guidage

$$S = f \cdot \lambda_{S,j} \cdot \sum Q_r$$

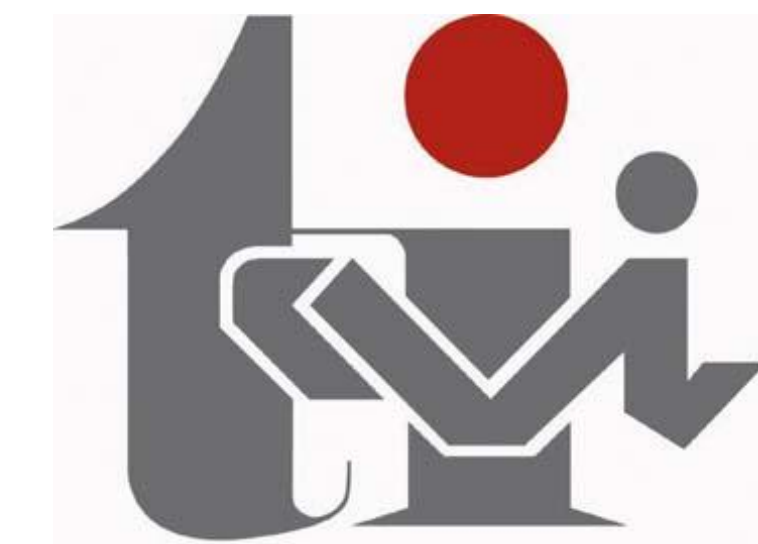
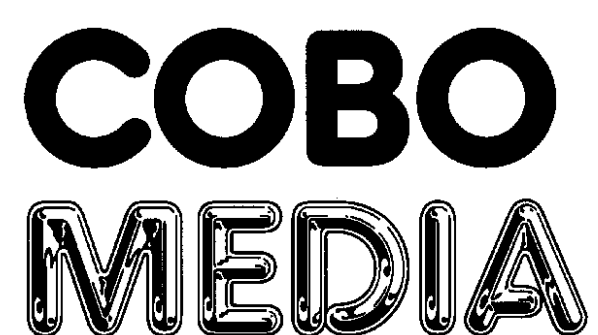
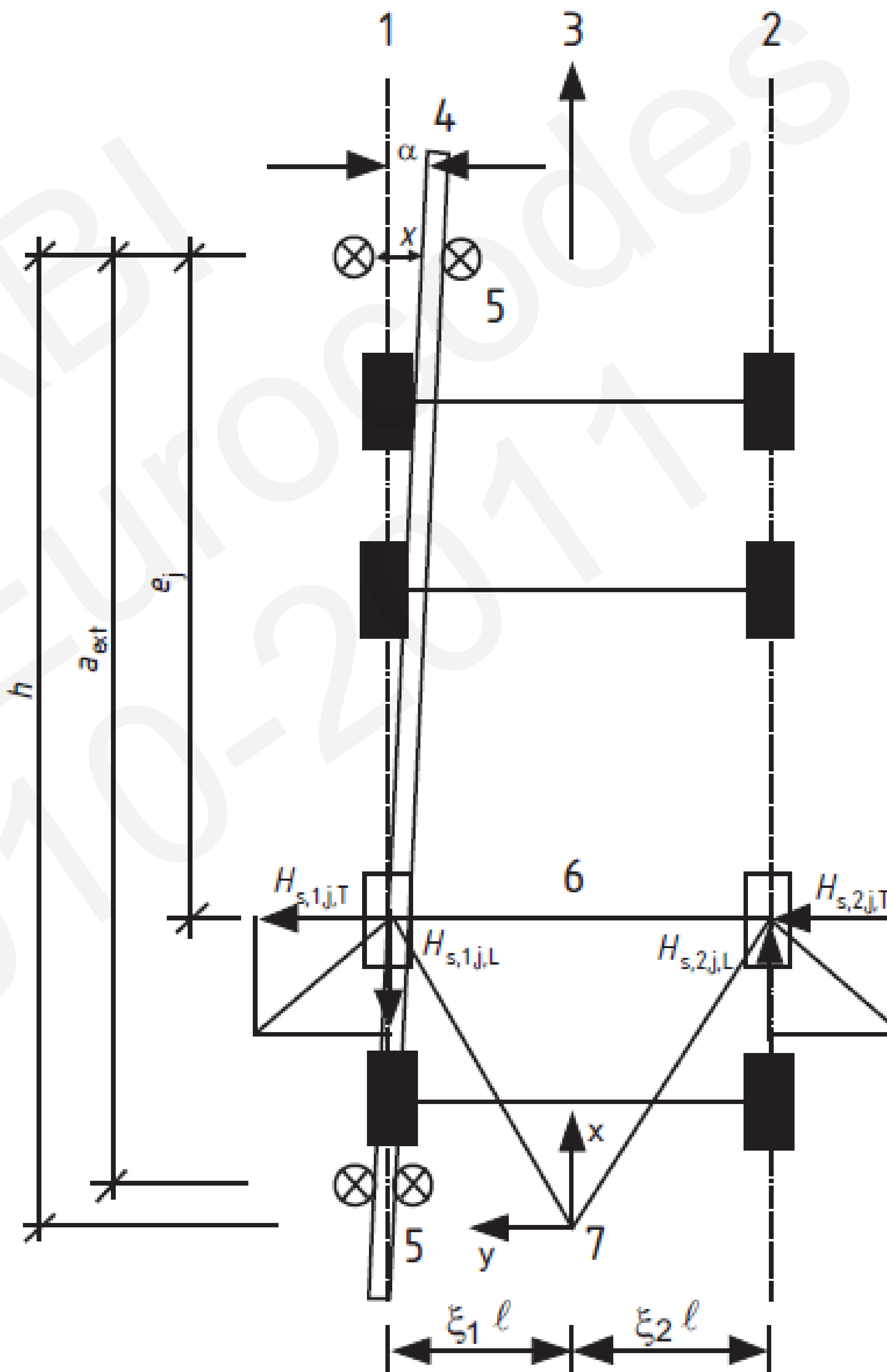
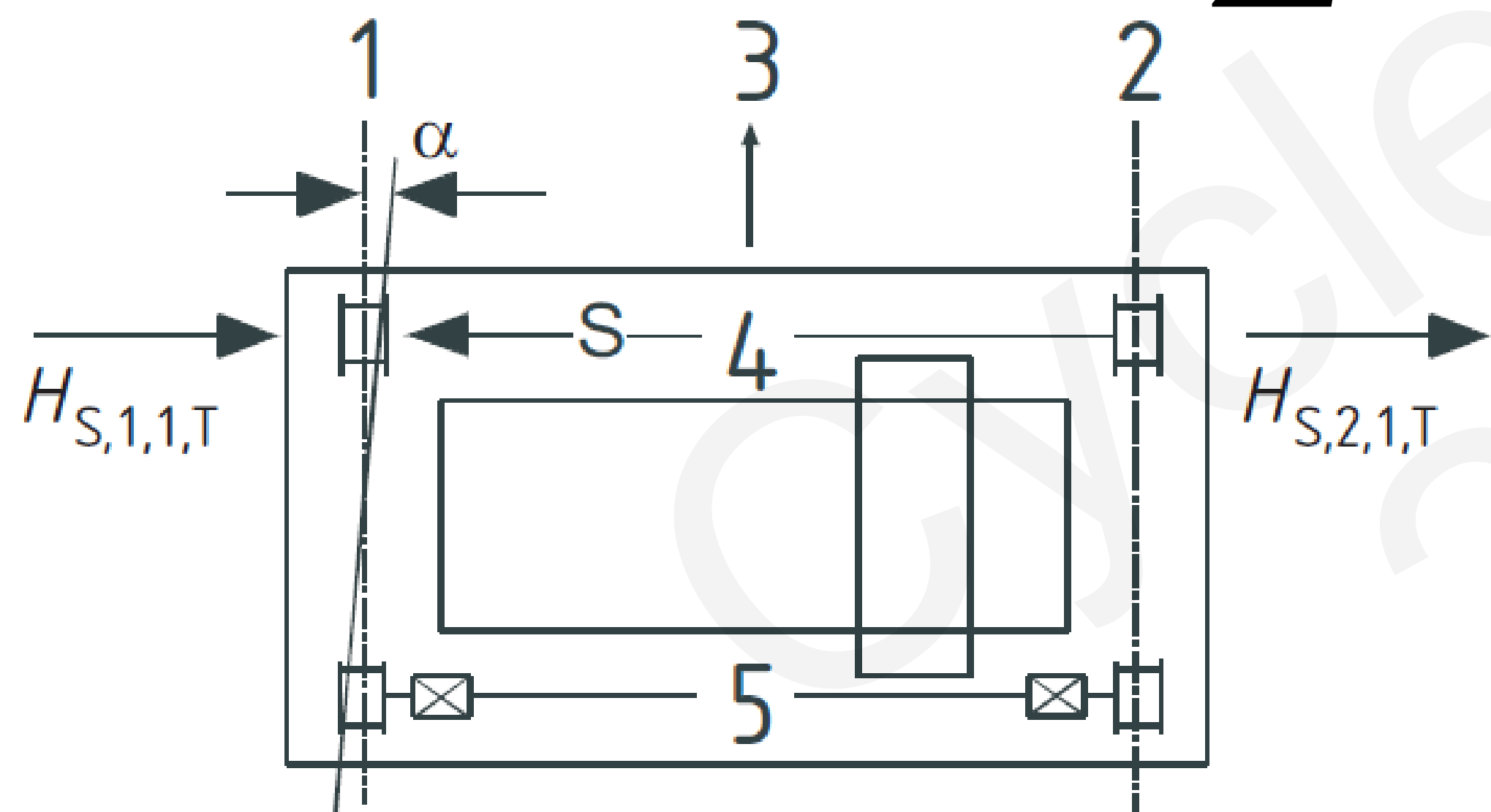
$$f = 0,3(1 - \exp(-250\alpha))$$

$$H_{S,1,j,L} = f \cdot \lambda_{S,1,j,L} \sum Q_r$$

$$H_{S,2,j,L} = f \cdot \lambda_{S,2,j,L} \sum Q_r$$

$$H_{S,1,j,T} = f \cdot \lambda_{S,1,j,T} \sum Q_r$$

$$H_{S,2,j,T} = f \cdot \lambda_{S,2,j,T} \sum Q_r$$





# Forces longitudinales ( $H_{L,i}$ ) et forces transversales ( $H_{T,i}$ ) dues à la marche en crabe de l'appareil de levage

- L'angle  $\alpha$  est déterminé en fonction de:
  - l'espace entre le dispositif de guidage et le rail ( $x$ );
  - une variation dimensionnelle (raisonnable) ( $\alpha_0$ ,  $a_{ext}$ );
  - l'usure des galets et des rails ( $y$ ).

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_v + \alpha_0 \leq 0,015 \text{ rad}$$

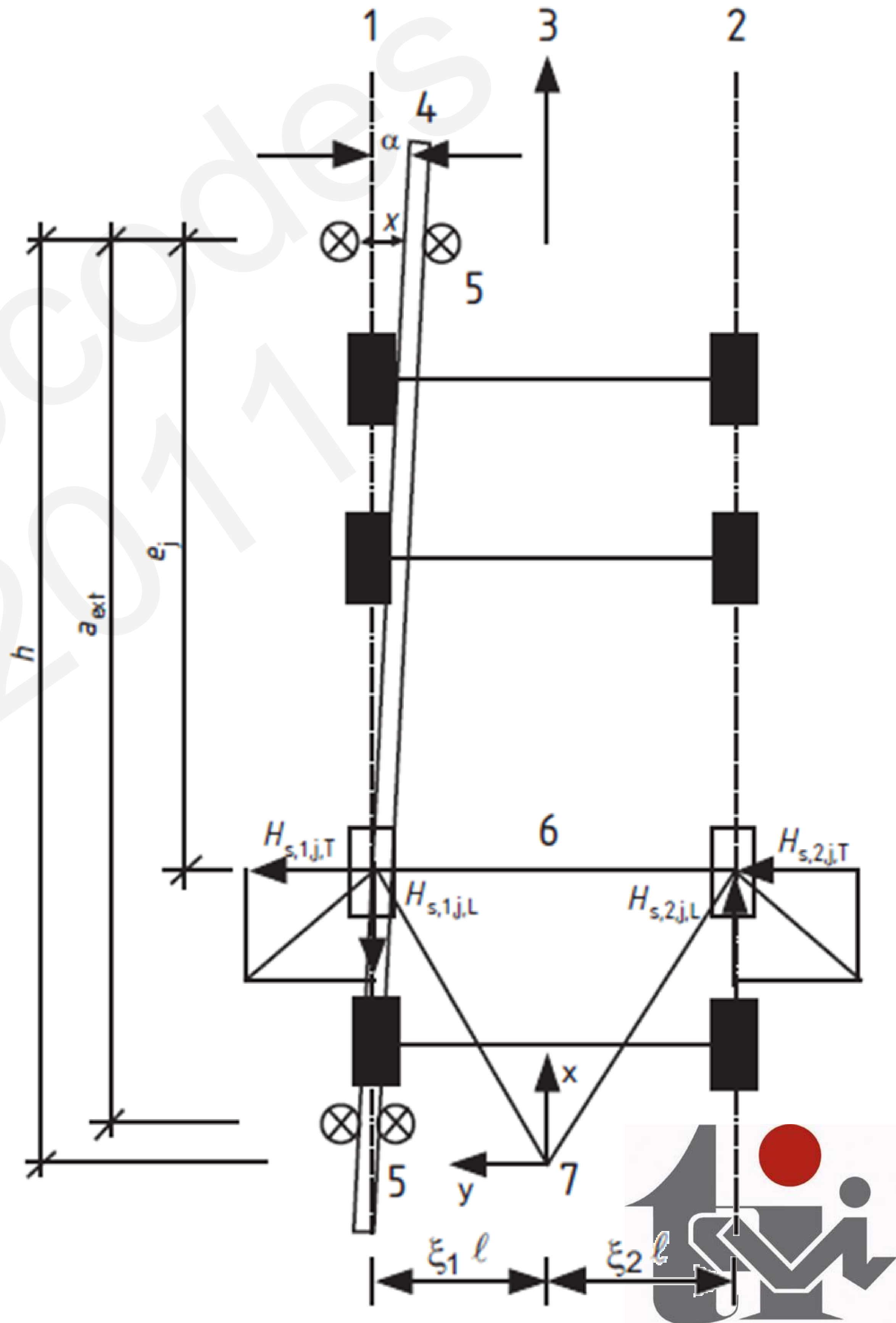




Tableau 2.7 — Définition de  $\alpha_F, \alpha_V$  et  $\alpha_0$

| Angles $\alpha_i$   | Valeurs minimales de $\alpha_i$                                 |
|---|---|
| $\alpha_F = \frac{0,75 x}{a_{ext}}$   | $0,75x \geq 5 \text{ mm}$ pour des galets de guidage            |
|   | $0,75x \geq 10 \text{ mm}$ pour des flasques de galets porteurs |
| $\alpha_V = \frac{y}{a_{ext}}$  | $y \geq 0,03b$ en mm pour des galets de guidage                 |
|   | $y \geq 0,10b$ en mm pour des flasques de galets porteurs       |
| $\alpha_0$  | $\alpha_0 = 0,001$  |
| <p>où :</p> <p><math>a_{ext}</math> est la distance longitudinale entre les dispositifs de guidage extérieur ou les flasques de galets porteurs sur le rail de guidage ;</p> <p><math>b</math> est la largeur de la tête du rail ;</p> <p><math>x</math> est le gabarit entre le rail et le dispositif de guidage (glissement latéral) ;</p> <p><math>y</math> est l'usure du rail et le dispositif de guidage ;</p> <p><math>\alpha_0</math> est la tolérance angulaire entre la direction du rail et celle des galets</p> |   |



# Exemple de calcul

$$\alpha_F = \frac{0,75 x}{a} = \frac{10}{2500} = 0,004 \text{ rad}$$

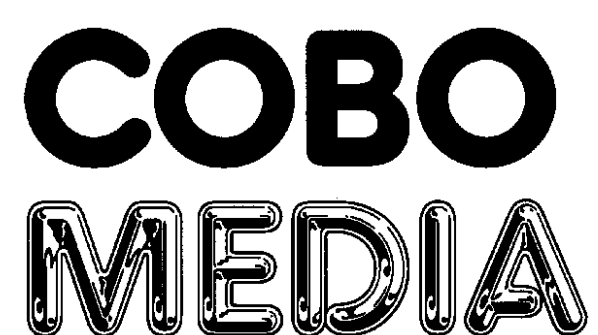
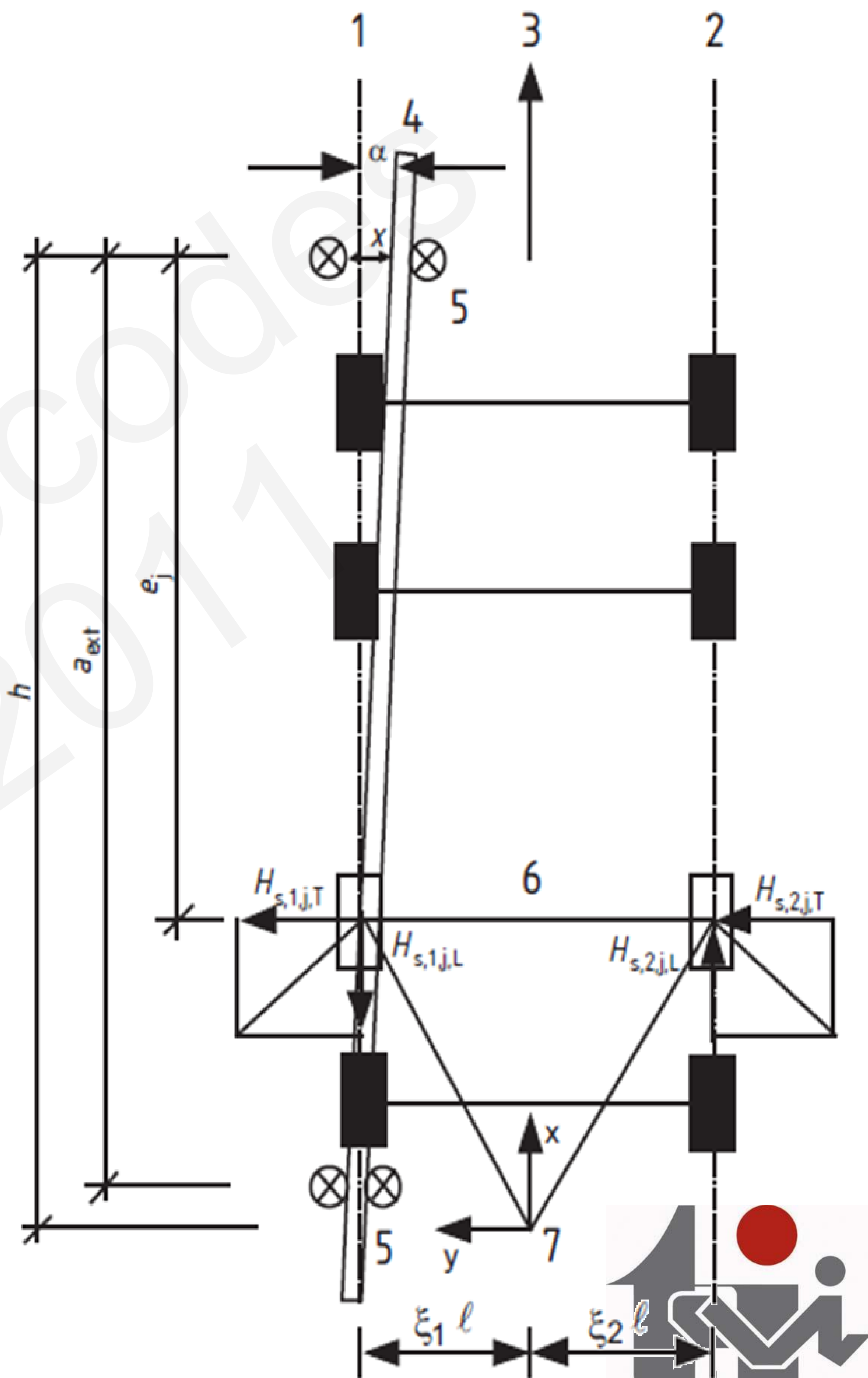
$$\alpha_V = \frac{y}{a} = \frac{0,1 \cdot 50}{2500} = 0,002 \text{ rad}$$

$$\alpha_0 = 0,001 \text{ rad}$$

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 = 0,007 \text{ rad}$$

$$f = 0,3 (1 - \exp(-250 \alpha))$$





$$= 0,3 (1 - \exp(-250 \cdot 0,007)) = 0,248 \leq 0,3$$





# Forces longitudinales ( $H_{L,i}$ ) et forces transversales ( $H_{T,i}$ ) dues à la marche en crabe de l'appareil de levage

- Distance  $h$

| Fixation des galets vis à vis des mouvements latéraux | Combinaison des paires de galets   |   | $h$   |
|---|--|---|---|
|   | couplés (c)  | indépendants (i)  |   |
| Fixe/fixe<br>FF                                       |   |   | $\frac{m \xi_1 \xi_2 l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$ |
| Fixe/mobile<br>FM                                     |  |  | $\frac{m \xi_1 l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$       |

où :

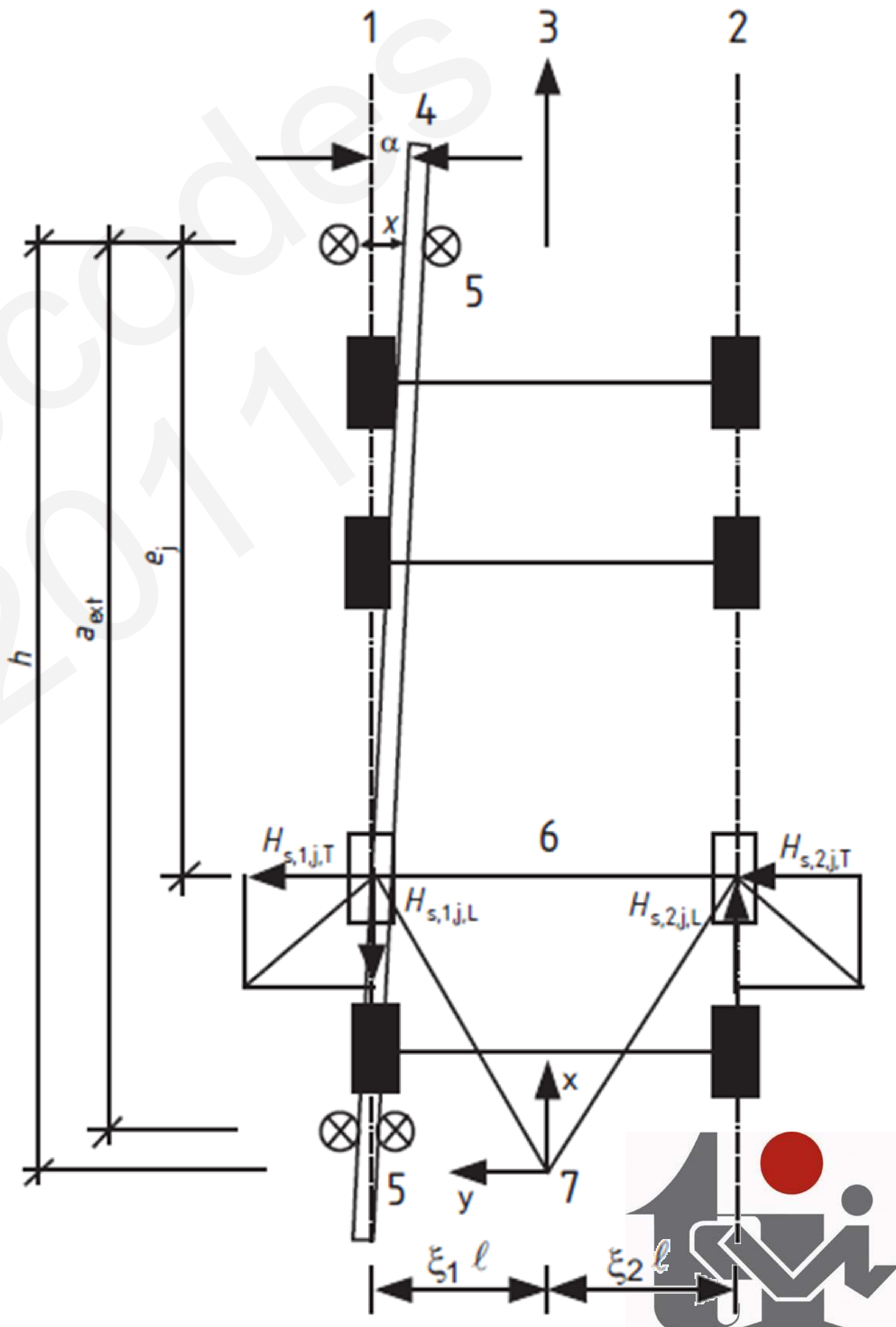
- $h$  est la distance entre le centre instantané de rotation et le dispositif de guidage concerné ;
- $m$  est le nombre de paires de galets couplés ( $m = 0$  pour des paires de galets indépendants) ;
- $\xi_1 l$  est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 1 ;
- $\xi_2 l$  est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 2 ;
- $l$  est la portée de l'appareil ;
- $e_j$  est la distance entre la paire de galets  $j$  et le dispositif de guidage concerné.



# Exemple de calcul

- hauteur  $h$ :
- $e_1 = 0$  as flanged wheels are used
- $e_2 = a = 2,50$  m
- $m=0$  for independent wheel pairs.

$$h = \frac{m\xi_1\xi_2l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 + 2,50^2}{2,50} = 2,50 \text{ m}$$





# Forces longitudinales ( $H_{L,i}$ ) et forces transversales ( $H_{T,i}$ ) dues à la marche en crabe de l'appareil de levage

- Coefficients de force  $\lambda$

| Systeme | $\lambda_{s,j}$                              | $\lambda_{s,1,j,L}$                 | $\lambda_{s,1,j,T}$                              | $\lambda_{s,2,j,L}$                 | $\lambda_{s,2,j,T}$                              |
|---------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| CFF     | $1 - \frac{\sum e_j}{nh}$                    | $\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{l}{h}$ | $\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ | $\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{l}{h}$ | $\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ |
| IFF     |  | 0                                   | $\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ | 0                                   | $\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ |
| CFM     | $\xi_2 \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$ | $\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{l}{h}$ | $\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ | $\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{l}{h}$ | 0  |
| IFM     |  | 0                                   | $\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ | 0                                   | 0  |

où :

- $n$  est le nombre de paires de galets ;
- $\xi_1 l$  est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 1 ;
- $\xi_2 l$  est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 2 ;
- $l$  est la portée de l'appareil ;
- $e_j$  est la distance entre la paire de galets  $j$  et le dispositif de guidage concerné ;
- $h$  est la distance entre le centre instantané de rotation et le dispositif de guidage concerné.



# Exemple de calcul

## Coefficients de force $\lambda$

$$\lambda_{S,1,L} = 0$$

$$\lambda_{S,2,L} = 0$$

$$\lambda_S = \lambda_{S,1} = \lambda_{S,2}$$

$$= 1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h}$$
$$= 1 - \frac{2,50}{2 \cdot 2,50} = 0,5$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_1}{h} \right)$$

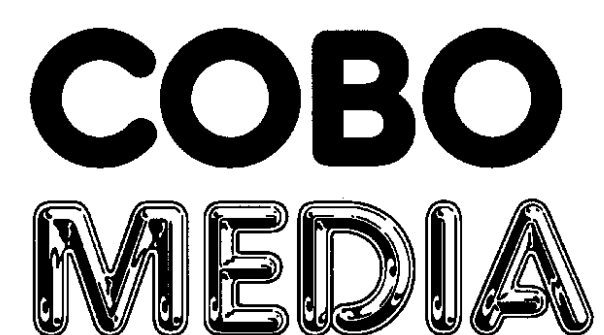
$$= \frac{0,18}{2} (1 - 0)$$
$$= 0,09$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left( 1 - \frac{e_1}{h} \right)$$

$$= \frac{0,82}{2} (1 - 0)$$
$$= 0,41$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_2}{h} \right)$$
$$= \frac{0,18}{2} \left( 1 - \frac{2,50}{2,50} \right) = 0$$

$$\lambda_{S,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \left( 1 - \frac{e_2}{h} \right)$$
$$= \frac{0,82}{2} \left( 1 - \frac{2,50}{2,50} \right) = 0$$





## Exemple de calcul

- Forces longitudinales ( $H_{L,i}$ ) et forces transversales ( $H_{T,i}$ ):

$$H_{S,1,j,L} = f \cdot \lambda_{S,1,j,L} \sum Q_r = 0$$

$$H_{S,2,j,L} = f \cdot \lambda_{S,2,j,L} \sum Q_r = 0$$

$$H_{S,1,j,T} = f \cdot \lambda_{S,1,j,T} \sum Q_r$$

$$H_{S,2,j,T} = f \cdot \lambda_{S,2,j,T} \sum Q_r$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = 0,09$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = 0,41$$

$$H_{S,1,j=1,T} =$$

$$0,248 \cdot 0,09 \cdot 170,0kN$$

$$= 3,8kN$$

$$H_{S,2,j=1,T} =$$

$$0,248 \cdot 0,41 \cdot 170,0kN$$

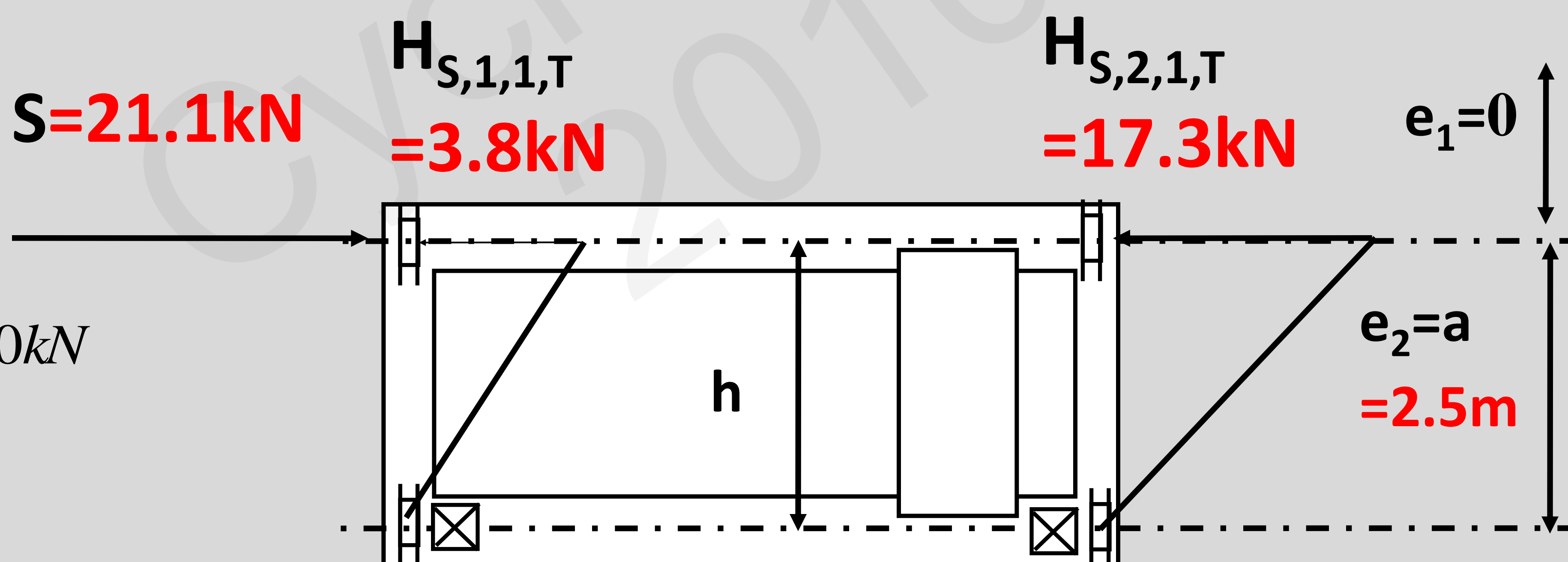
$$= 17,3kN$$

$$H_{S,1,2,T} = 0kN$$

$$H_{S,2,2,T} = 0kN$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = 0$$

$$\lambda_{S,2,2,T} = 0$$

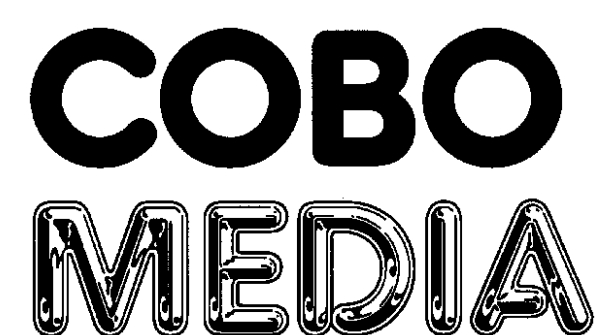




# Forces horizontales produites lors des accélérations et des décélérations du chariot

- 10% de la masse à lever ( $Q_h = 100\text{kN}$ )
- 10% du poids du chariot ( $Q_{c,2} = 10\text{ kN}$ ).

$$H_{T,3} = 0,1 \cdot (10,0 + 100,0) = 11,0\text{ kN}$$





# Forces de tamponnement

- Actions accidentelle
- $H_{B,1}$ : Force de tamponnement liée au déplacement de l'appareil de levage

$$H_{B,1} = \varphi_7 v_1 \sqrt{m_c S_B} \quad (2.15)$$

où :

$\varphi_7$

voir Tableau 2.10 ;

$v_1$

est égal à 70 % de la vitesse de déplacement longitudinale [m/s] ;

$m_c$

est le total de la masse de l'appareil de levage et de la masse à lever [kg] ;

$S_B$

est la constante de raideur du tampon [N/m].

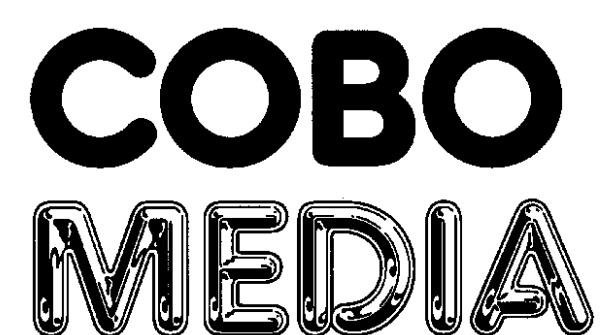
Tableau 2.10 — Coefficient dynamique  $\varphi_7$

| Valeur du coefficient dynamique $\varphi_7$ | Caractéristique du tampon   |
|---|---|
| $\varphi_7 = 1,25$                          | $0,0 \leq \xi_b \leq 0,5$   |
| $\varphi_7 = 1,25 + 0,7 (\xi_b - 0,5)$      | $0,5 \leq \xi_b \leq 1$   |
| NOTE  | $\xi_b$ peut être déterminé approximativement d'après la Figure 2.9 |



# Forces de tamponnement

- $H_{B,2}$ : Force de tamponnement liée au déplacement du chariot
- Somme de :
  - 10% de la masse à lever ( $Q_h = 100\text{kN}$ )
  - 10% du poids du chariot ( $Q_{c,2} = 10\text{ kN}$ ).





# Charges de fatigue

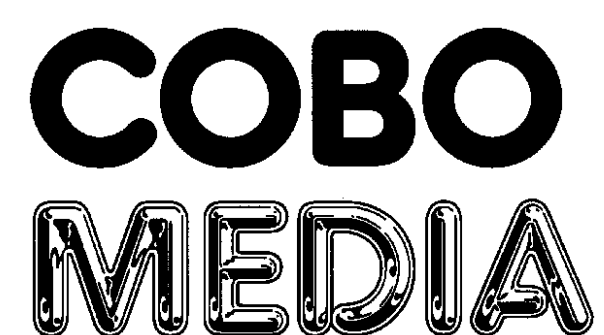
(4) La charge de fatigue peut être spécifiée comme suit :

$$Q_e = \varphi_{fat} \times \lambda_i \times Q_{max,i} \quad (2.16)$$

où :

$Q_{max,i}$  est la valeur maximale de la charge caractéristique verticale du galet  $i$  ;

$\lambda_i = \lambda_{1,i} \times \lambda_{2,i}$  est le coefficient de dommage équivalent pour tenir compte du spectre de charges de fatigue normalisé applicable et du rapport entre le nombre réel de cycles de charge et le nombre  $N = 2,0 \times 10^6$  ;





# Charges de fatigue

Tableau 2.11 — Classification des actions de fatigue des appareils de levage selon l'EN 13001-1

| Classe du spectre de charge      |  | $Q_0$            | $Q_1$                     | $Q_2$                    | $Q_3$                  | $Q_4$                | $Q_5$               |
|----------------------------------|--|------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
|                                  |  | $kQ \leq 0,0313$ | $0,0313 < kQ \leq 0,0625$ | $0,0625 < kQ \leq 0,125$ | $0,125 < kQ \leq 0,25$ | $0,25 < kQ \leq 0,5$ | $0,5 < kQ \leq 1,0$ |
| classe du nombre total de cycles |  |                  |                           |                          |                        |                      |                     |
| $U_0$                            | $C \leq 1,6 \cdot 10^4$                      | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_0$                  | $S_0$                | $S_0$               |
| $U_1$                            | $1,6 \times 10^4 < C \leq 3,15 \times 10^4$  | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_0$                  | $S_0$                | $S_1$               |
| $U_2$                            | $3,15 \times 10^4 < C \leq 6,30 \times 10^4$ | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_0$                  | $S_1$                | $S_2$               |
| $U_3$                            | $6,30 \times 10^4 < C \leq 1,25 \times 10^5$ | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_1$                  | $S_2$                | $S_3$               |
| $U_4$                            | $1,25 \times 10^5 < C \leq 2,50 \times 10^5$ | $S_0$            | $S_0$                     | $S_1$                    | $S_2$                  | $S_3$                | $S_4$               |
| $U_5$                            | $2,50 \times 10^5 < C \leq 5,00 \times 10^5$ | $S_0$            | $S_1$                     | $S_2$                    | $S_3$                  | $S_4$                | $S_5$               |
| $U_6$                            | $5,00 \times 10^5 < C \leq 1,00 \times 10^6$ | $S_1$            | $S_2$                     | $S_3$                    | $S_4$                  | $S_5$                | $S_6$               |
| $U_7$                            | $1,00 \times 10^6 < C \leq 2,00 \times 10^6$ | $S_2$            | $S_3$                     | $S_4$                    | $S_5$                  | $S_6$                | $S_7$               |
| $U_8$                            | $2,00 \times 10^6 < C \leq 4,00 \times 10^6$ | $S_3$            | $S_4$                     | $S_5$                    | $S_6$                  | $S_7$                | $S_8$               |
| $U_9$                            | $4,00 \times 10^6 < C \leq 8,00 \times 10^6$ | $S_4$            | $S_5$                     | $S_6$                    | $S_7$                  | $S_8$                | $S_9$               |

où :

$kQ$  est le coefficient de spectre de charge pour toutes les tâches de l'appareil de levage ;

$C$  est le nombre total des cycles de travail pendant la durée de vie de calcul de l'appareil de levage.

**NOTE** Les classes  $S_i$  sont distribuées d'après le paramètre de l'historique des effets de contrainte  $s$  donné dans l'EN 13001-1 et défini comme suit :

$s = \nu k$  où :

$k$  est le coefficient de spectre de contraintes ;

$\nu$  est le rapport entre le nombre de cycles de contrainte  $C$  et  $2,0 \times 10^6$ .

La classification est basée sur une durée de vie totale de 25 ans.



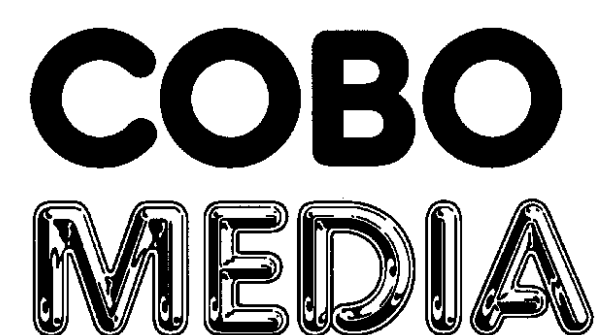
# Charges de fatigue

Tableau 2.12 — Valeurs  $\lambda_1$  selon la classification des appareils de levage

| Classes S                   | S     | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> | S <sub>6</sub> | S <sub>7</sub> | S <sub>8</sub> | S <sub>9</sub> |
|-----------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Contraintes normales        | 0,198 | 0,250          | 0,315          | 0,397          | 0,500          | 0,630          | 0,794          | 1,00           | 1,260          | 1,587          |
| Contraintes de cisaillement | 0,379 | 0,436          | 0,500          | 0,575          | 0,660          | 0,758          | 0,871          | 1,00           | 1,149          | 1,320          |

NOTE 1 Des spectres normalisés avec une répartition gaussienne des effets des charges, la loi de Miner et les lignes S-N de résistance à la fatigue avec une pente  $m = 3$  pour des contraintes normales et  $m = 5$  pour des contraintes de cisaillement ont été utilisés pour déterminer les valeurs  $\lambda$ .

NOTE 2 Dans le cas où la classification ne figure pas dans les documents de spécification de l'appareil de levage, des indications sont données dans l'annexe B.





# Charges de fatigue – Exemple de calcul

- Coefficients dynamiques:

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05$$

sur le poids propre de l'appareil de levage

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,2}{2} = 1,10$$

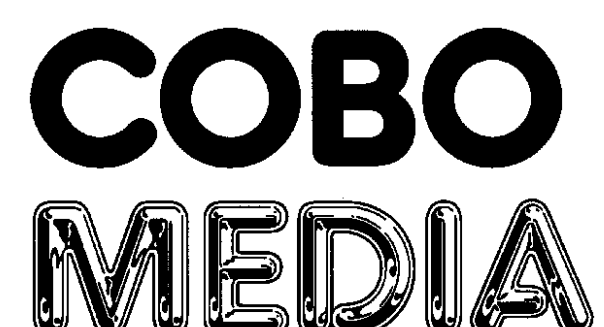
sur la masse à lever

$$\begin{aligned} \sum \varphi_{fat,i} Q_{max,i} &= \frac{1}{2} \varphi_{fat,1} \left[ \frac{Q_{c1}}{2} + Q_{c2} \left( \frac{\ell - e_{min}}{\ell} \right) \right] + \frac{1}{2} \varphi_{fat,2} Q_h \left( \frac{\ell - e_{min}}{\ell} \right) \\ &= \frac{1}{2} 1,05 \left[ \frac{60}{2} + 10 \left( \frac{15 - 0}{15} \right) \right] + \frac{1}{2} 1,1 \times 100 \left( \frac{15 - 0}{15} \right) = 76kN \end{aligned}$$

- Contraintes normales:  $Q_e = \varphi_{fat,i} \cdot \lambda_i \cdot Q_{max,i} = 0,794 \times 76kN = 60,3kN$

(classe S6):

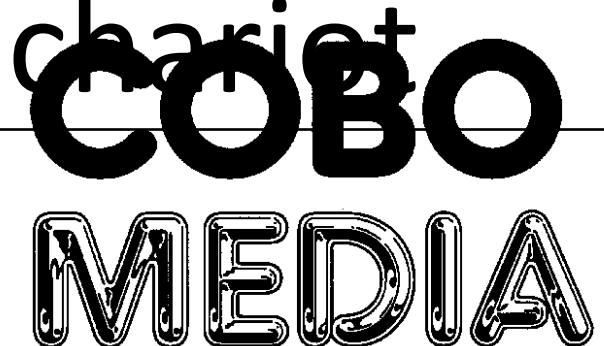
- Contraintes de cisaillement:  $Q_e = \varphi_{fat,i} \cdot \lambda_i \cdot Q_{max,i} = 0,871 \times 76kN = 66,2kN$





# Résumé des charges

| Groupes de charges      |   |               | États Limites Ultimes                                    |  |                                      |                                      |                  |                  |
|-------------------------|---|---------------|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|------------------|
|                         |   |               | 1  | 2  | 3                                    | 4                                    | 5                | 6                |
| Coefficients dynamiques |   |               | $\varphi_1=1,10$<br>$\varphi_2=1,20$<br>$\varphi_5=1,50$ | $\varphi_1=1,10$<br>$\varphi_3=1,00$<br>$\varphi_5=1,50$ | $\varphi_1=1,00$<br>$\varphi_5=1,50$ | $\varphi_4=1,00$<br>$\varphi_5=1,50$ | $\varphi_4=1,00$ | $\varphi_4=1,00$ |
| Charges verticales      | Poids propre de l'appareil                        | $Q_{r,(min)}$ | 22,0 kN  | 22,0 kN  | 20,0 kN                              | 20,0 kN                              | 20,0 kN          | 20,0 kN          |
|                         |   | $Q_{r,min}$   | 16,5 kN  | 16,5 kN  | 15,0 kN                              | 15,0 kN                              | 15,0 kN          | 15,0 kN          |
|                         | Poids propre de l'appareil et de la masse à lever | $Q_{r,(max)}$ | 16,5 kN  | 16,5 kN  | -                                    | 15,0 kN                              | 15,0 kN          | 15,0 kN          |
|                         |   | $Q_{r,max}$   | 82,0 kN  | 72,0 kN  | -                                    | 70,0 kN                              | 70,0 kN          | 70,0 kN          |
| Charges horizontales    | Accélération de l'appareil de levage              | $H_{L,1}$     | 4,5 kN   | 4,5 kN   | 4,5 kN                               | 4,5 kN                               | -                | -                |
|                         |   | $H_{L,2}$     | 4,5 kN   | 4,5 kN   | 4,5 kN                               | 4,5 kN                               | -                | -                |
|                         |   | $H_{T,1}$     | 3,2 kN   | 3,2 kN   | 3,2 kN                               | 3,2 kN                               | -                | -                |
|                         |   | $H_{T,2}$     | 14,6 kN  | 14,6 kN  | 14,6 kN                              | 14,6 kN                              | -                | -                |
|                         | Mise en crabe                                     | $H_{S1,L}$    | -  | -  | -                                    | -                                    | 0                | -                |
|                         |   | $H_{S2,L}$    | -  | -  | -                                    | -                                    | 0                | -                |
|                         |   | $H_{S1,T}$    | -  | -  | -                                    | -                                    | 17,3 kN          | -                |
|                         |   | $H_{S2,T}$    | -  | -  | -                                    | -                                    | 17,3 kN          | -                |
| Accélération du chariot | $H_{T,3}$   | -             | -  | -  | -                                    | -                                    | 11,0 kN          |                  |



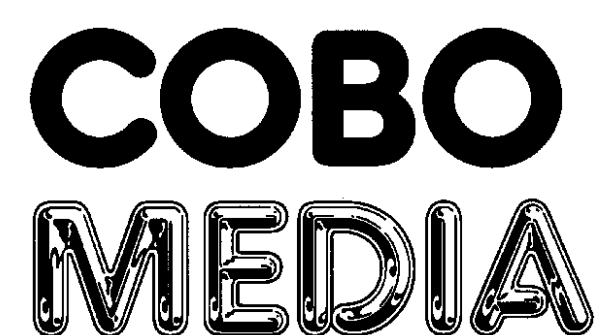


# Poutres de roulement – Effets des charges à considérer

(1) Il convient de prendre en compte dans le calcul des poutres de roulement les sollicitations suivantes provoquées par les charges de pont roulant :

- flexion biaxiale provoquée par les actions verticales et les actions horizontales latérales ;
- traction ou compression axiale provoquée par les actions horizontales longitudinales ;
- torsion provoquée par les excentricités des actions horizontales latérales, par rapport au centre de torsion de la section transversale de la poutre ;
- efforts tranchants verticaux et horizontaux provoqués par les actions verticales et les actions horizontales latérales.

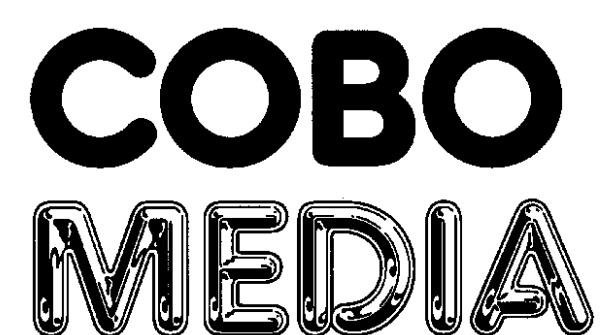
(2) Il convient également de tenir compte des efforts locaux dus aux charges des galets.





# Vérifications aux états limites ultimes

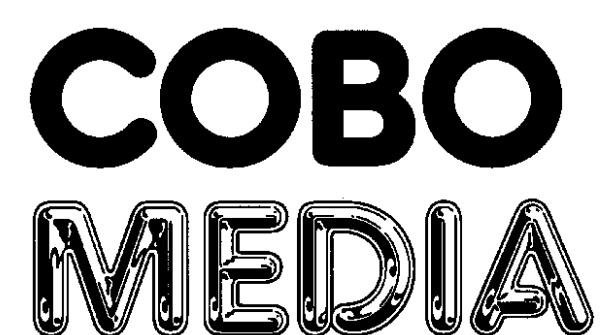
- Résistance des sections transversales
  - Déversement
  - Résistance de l'âme aux charges des galets
  - Résistance de la semelle inférieure aux charges des galets
- .....
- Flambement
  - Éléments composés comprimés
  - Voilement des plaques





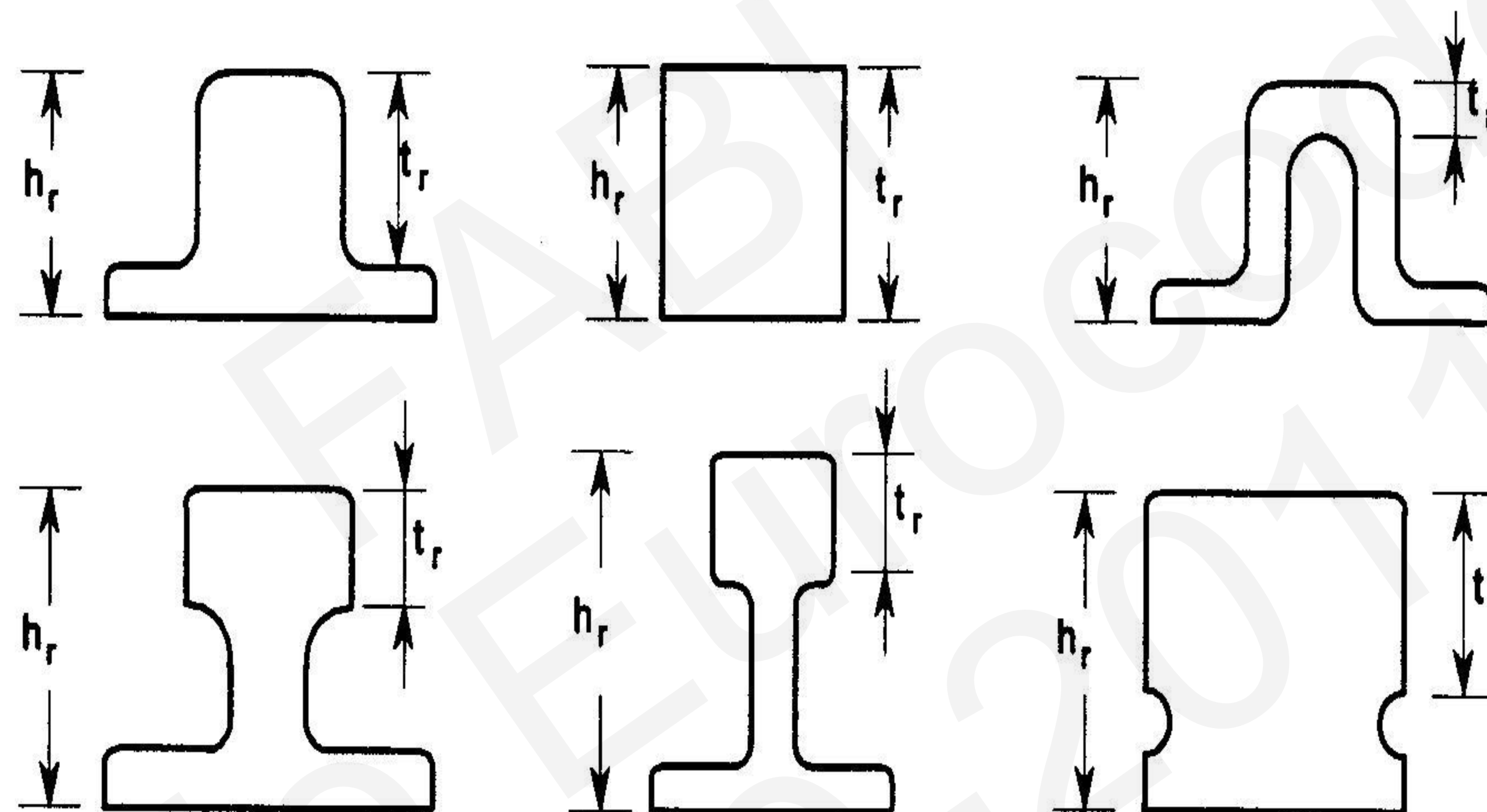
# Vérifications aux états limites de service

- Déformations
- Déplacements
- Fatigue
- ...
- Respiration d'âme
- Vibrations





# Types de rails



$h_r$ : hauteur du rail

$t_r$ : épaisseur sous la face d'usure



# Contrainte locale verticale dans l'âme

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} t_w}$$

où :  $F_{z,Ed}$  est la valeur de calcul de la charge des galets ;

$l_{eff}$  est la longueur chargée efficace ;

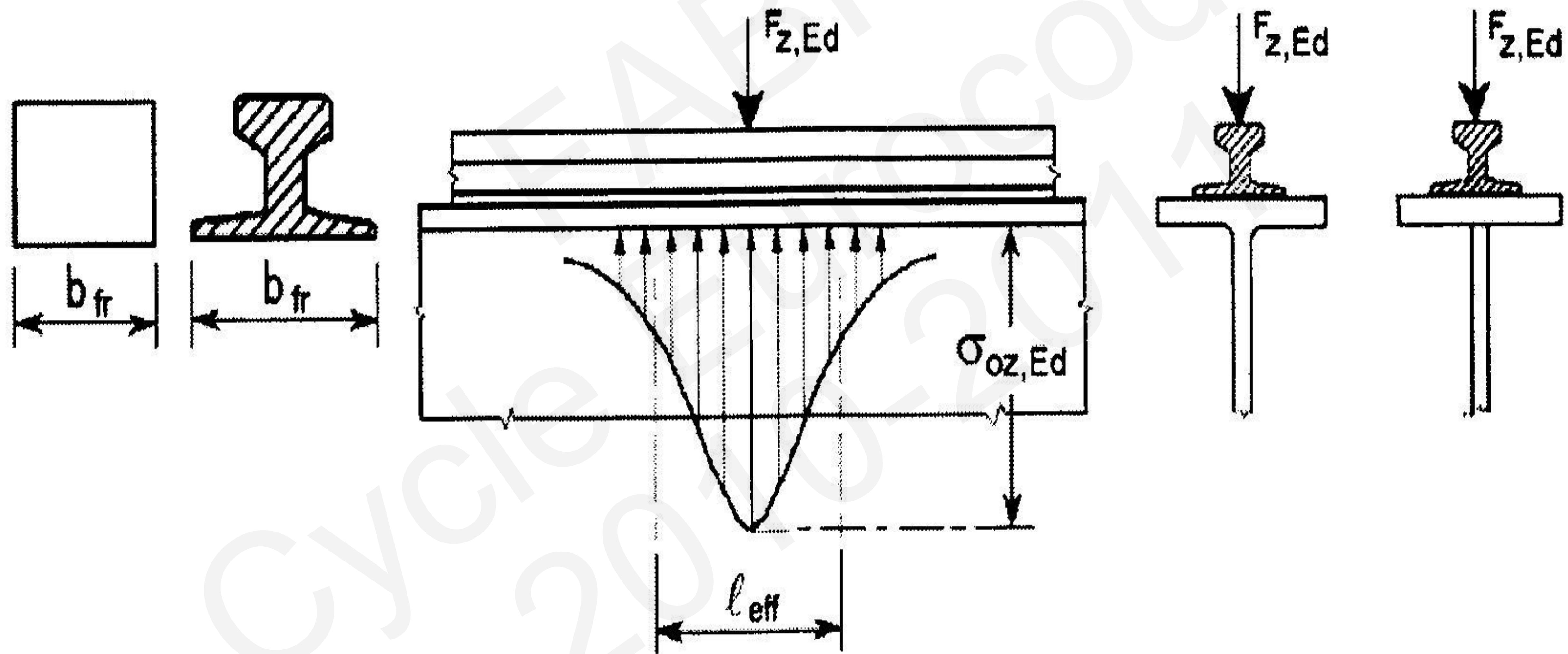
$t_w$  est l'épaisseur de l'âme.





# Contrainte locale verticale dans l'âme

## Longueur chargée efficace





# Contrainte locale verticale dans l'âme

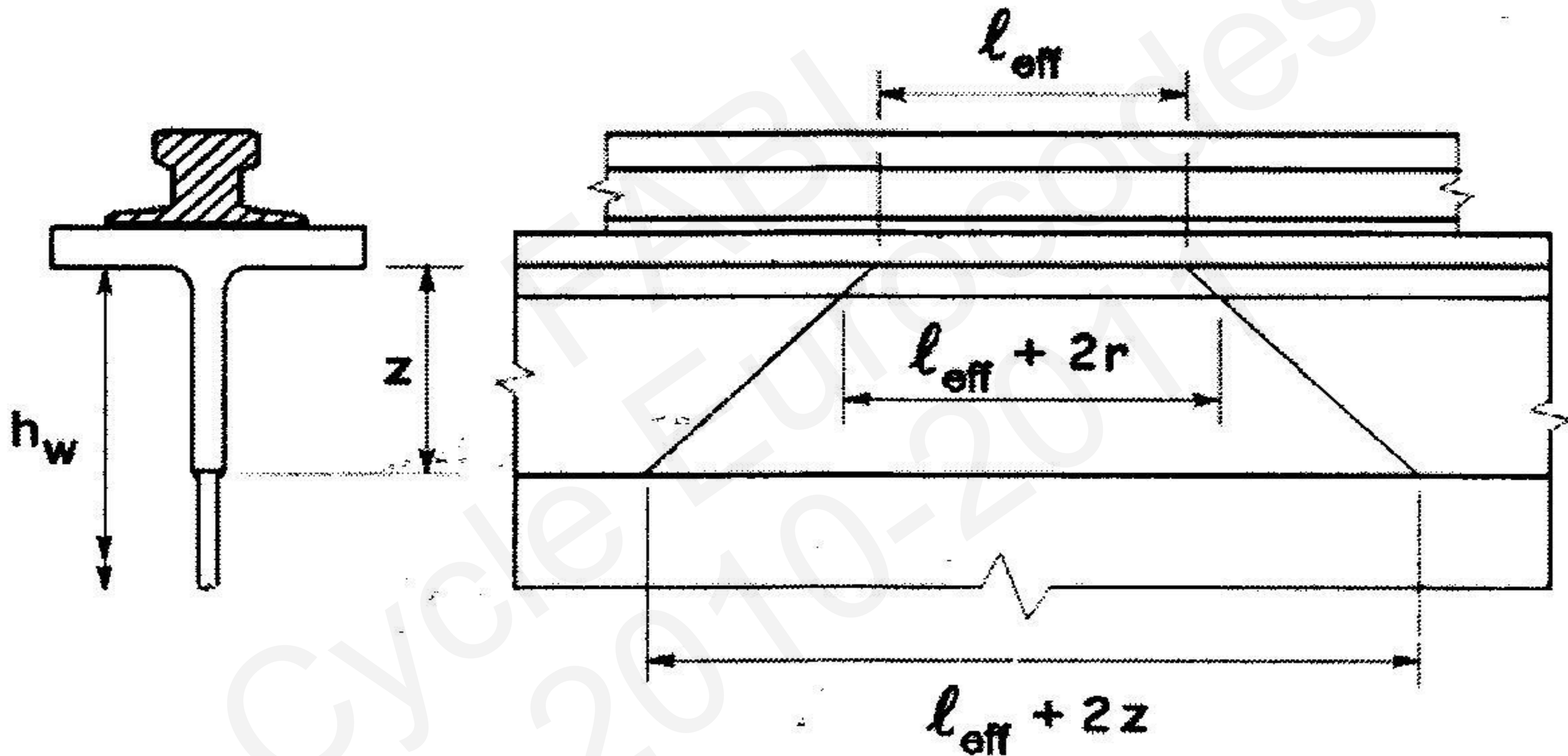
## Longueur chargée efficace

Tableau 5.1 : Longueur chargée efficace  $\ell_{\text{eff}}$

| Cas  | Description   | Longueur chargée efficace $\ell_{\text{eff}}$                     |
|--|---|---|
| (a)  | Rail de pont roulant fixé de façon rigide sur la semelle  | $\ell_{\text{eff}} = 3,25 [I_{\text{rf}} / t_w]^{1/3}$            |
| (b)  | Rail de pont roulant non fixé de façon rigide sur la semelle  | $\ell_{\text{eff}} = 3,25 [(I_r + I_{\text{f,eff}}) / t_w]^{1/3}$ |
| (c)  | Rail de pont roulant monté sur un intercalaire de répartition en élastomère résilient approprié d'au moins 6 mm d'épaisseur.  | $\ell_{\text{eff}} = 4,25 [(I_r + I_{\text{f,eff}}) / t_w]^{1/3}$ |
|  | <p><math>I_{\text{f,eff}}</math> est le moment d'inertie de flexion, selon son axe neutre horizontal, d'une semelle de largeur efficace <math>b_{\text{eff}}</math></p> <p><math>I_r</math> est le moment d'inertie de flexion, selon son axe neutre horizontal, du rail</p> <p><math>I_{\text{rf}}</math> est le moment d'inertie de flexion, selon son axe neutre horizontal, de la section transversale combinée comprenant le rail et une semelle d'une largeur efficace <math>b_{\text{eff}}</math></p> <p><math>t_w</math> est l'épaisseur d'âme.</p> |   |
|  | <p><math>b_{\text{eff}} = b_{\text{fr}} + h_r + t_f</math> avec <math>b_{\text{eff}} \leq b</math></p> <p>où :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>b</math> est la largeur hors-tout de la semelle supérieure ;</li> <li><math>b_{\text{fr}}</math> est la largeur du pied du rail, voir Figure 5.2 ;</li> <li><math>h_r</math> est la hauteur du rail, voir Figure 5.1 ;</li> <li><math>t_f</math> est l'épaisseur de semelle.</li> </ul>   |   |
| <p><b>Note</b> Tenir compte d'une usure du rail de pont roulant, voir 5.6.2(2) et 5.6.2(3) dans le calcul de <math>I_r</math>, <math>I_{\text{rf}}</math> et <math>h_r</math>.</p> |   |   |

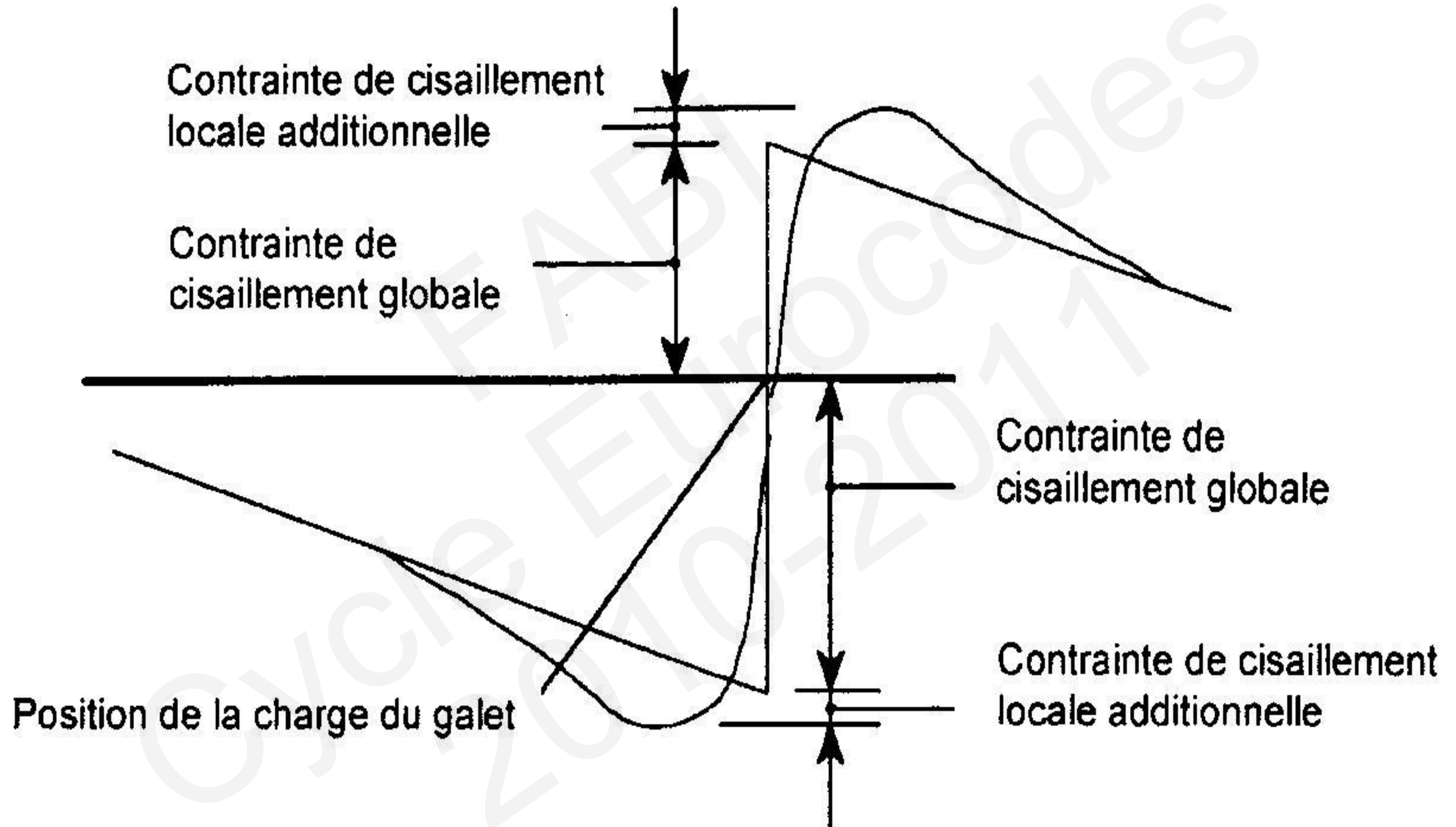


# Répartition des contraintes de compression



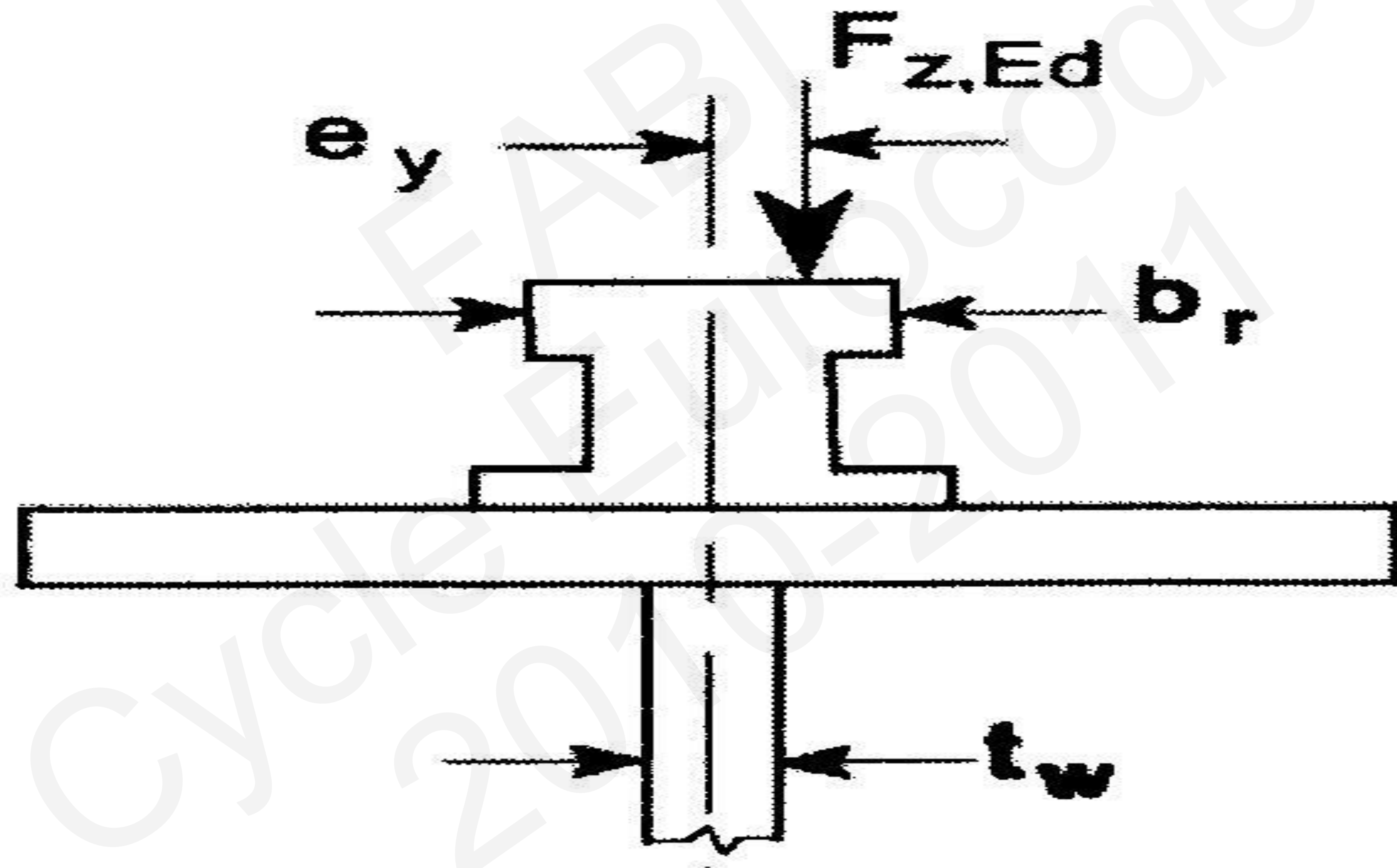


# Contraintes locales de cisaillement



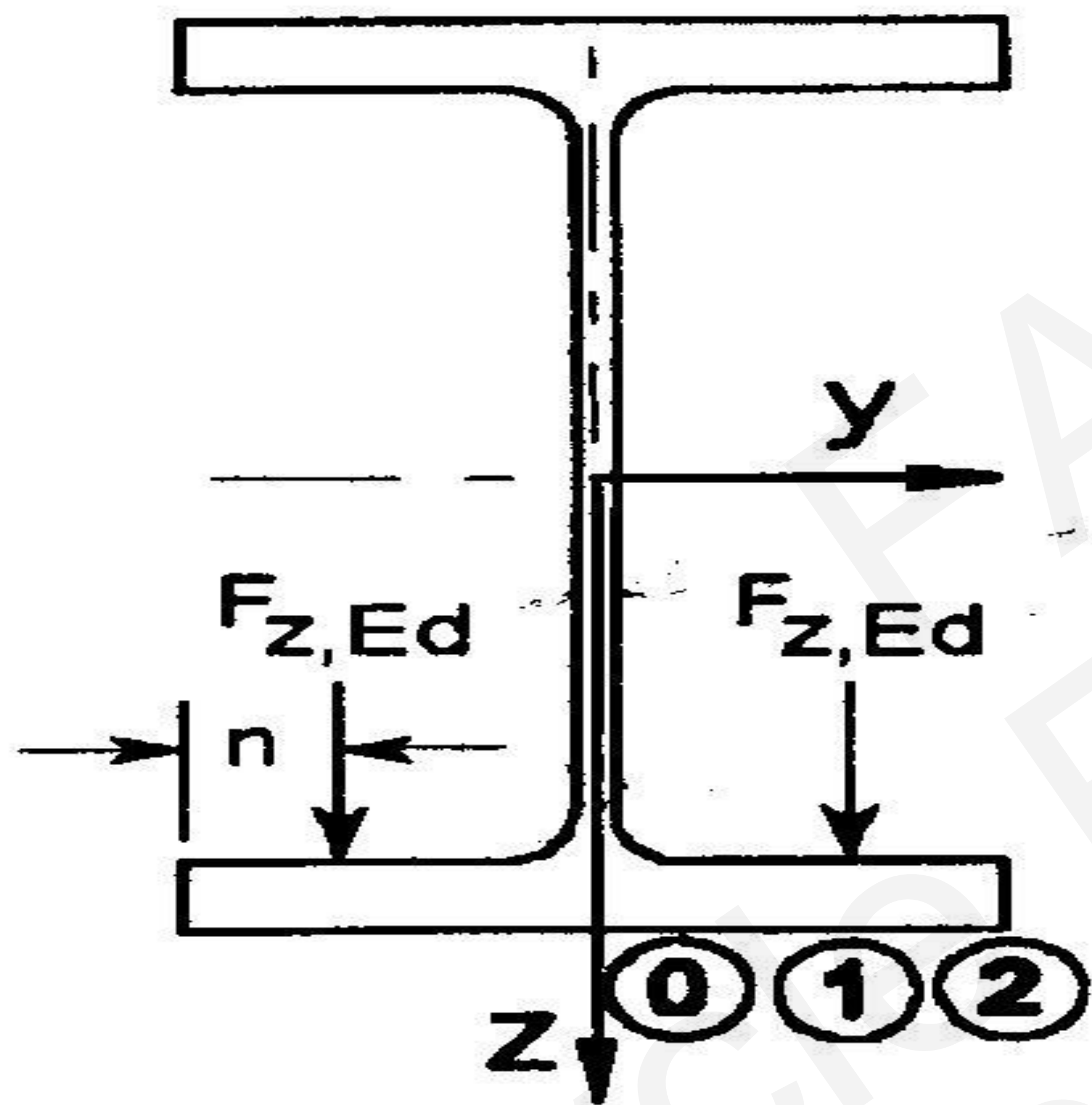


# Torsion de la semelle supérieure

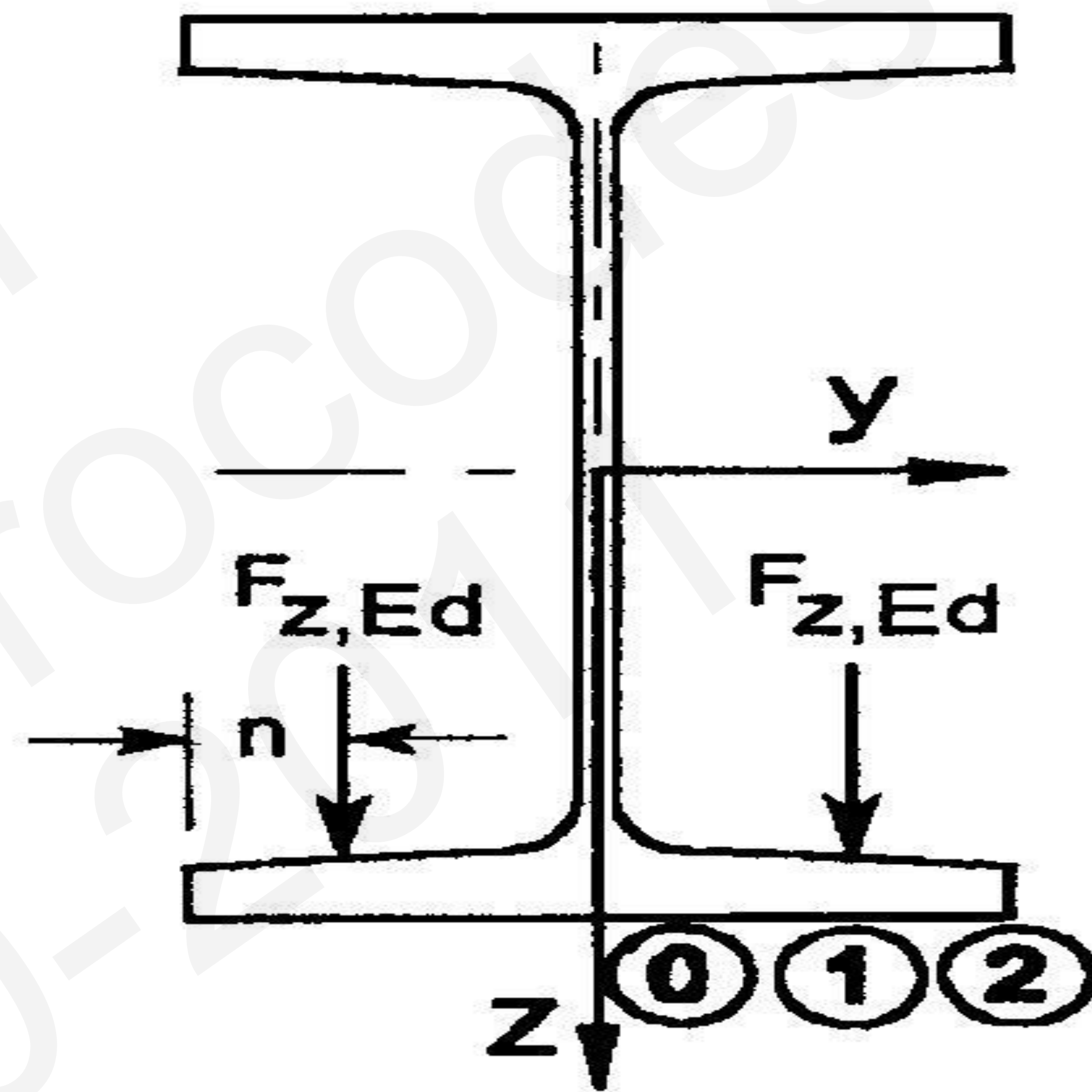




# Flexion locale sur la semelle inférieure



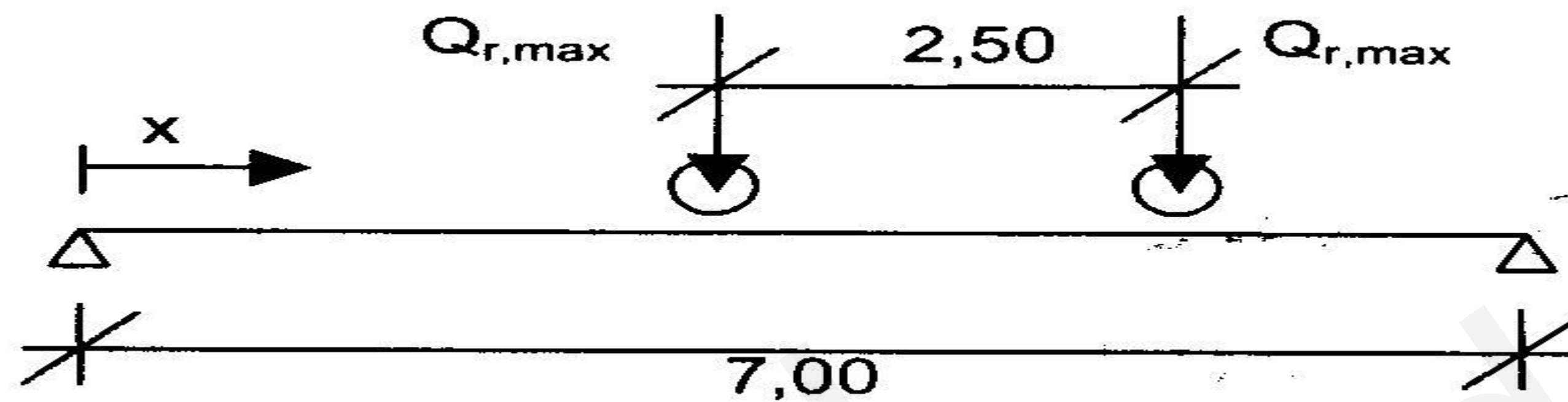
Poutre à ailes  
d'épaisseur constante



Poutre à ailes  
d'épaisseur variable



# Exemple de calcul



Moment maximum :  $x = 2,875$  m

A cette abscisse :

a) M et T dus

- aux poids propres (poutre + rail);
- aux charges verticales des galets;
- à l'accélération et à la décélération.

b) Torsion due

- aux charges verticales des galets;
- à l'accélération et à la décélération.



**COBO**  
**MEDIA**





# Exemple de calcul

Vérification de la section :

- cisaillement de l'âme;
- cisaillement de la semelle supérieure;
- cisaillement dû à la torsion;
- interaction : contrainte normale – cisaillement;
- flexion : plan horizontal : semelle supérieure
- flexion : plan vertical.

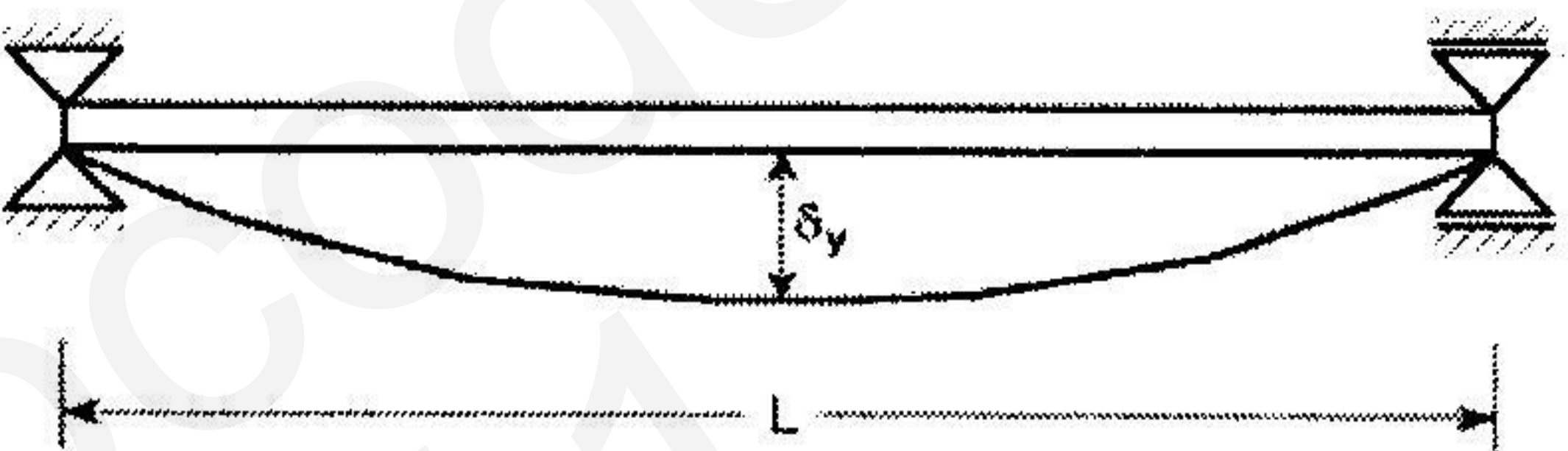
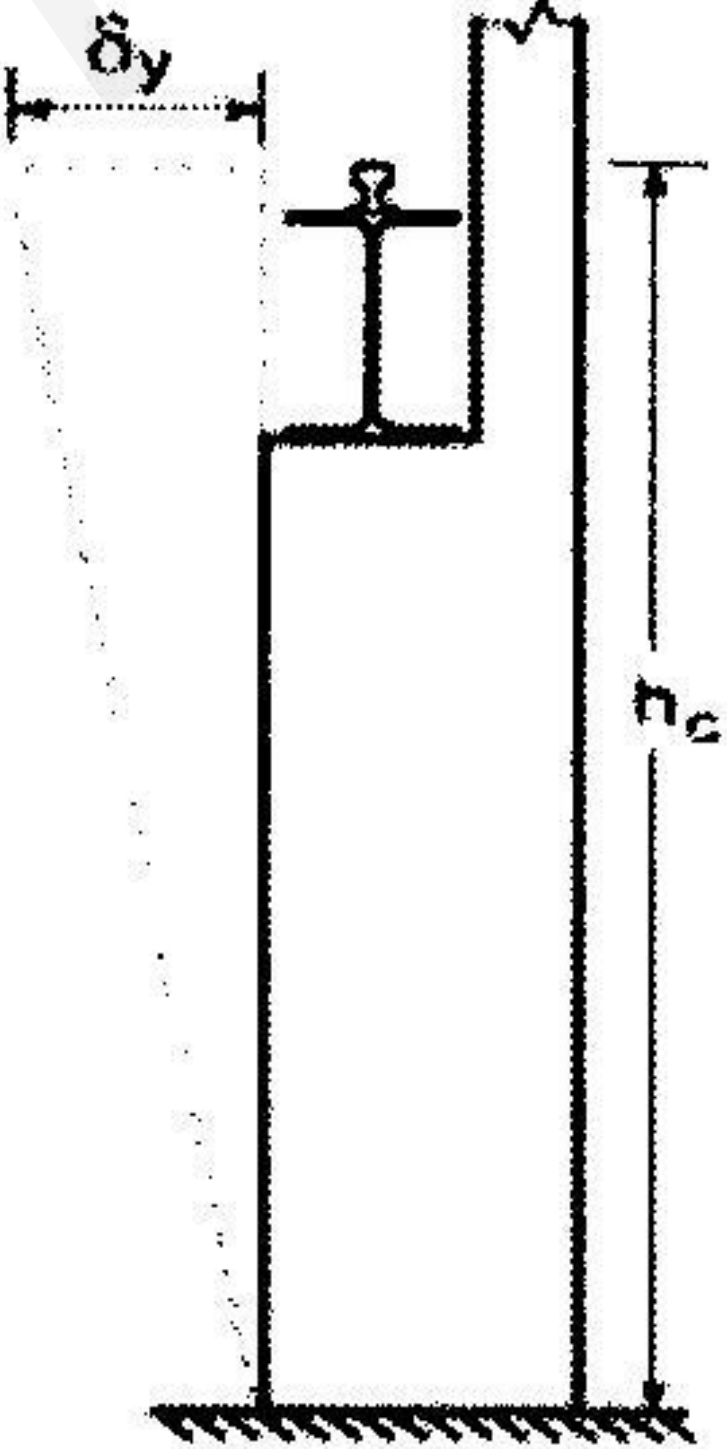


**COBO  
MEDIA**





# Valeurs limites des flèches horizontales

| Description de la flèche (déformation ou déplacement)   | Diagramme   |
|---|---|
| <p>a) Déformation horizontale <math>\delta_y</math> d'une poutre de roulement, mesurée au niveau de la partie supérieure du rail de pont roulant :</p> <p><math>\delta_y \leq L/600</math></p>  |    |
| <p>b) Déplacement horizontal <math>\delta_y</math> d'une ossature (ou d'un poteau) au niveau de l'appui du pont roulant, provoqué par les charges de pont roulant :</p> <p><math>\delta_y \leq h_c/400</math></p> <p>où : <math>h_c</math> est la hauteur au niveau de l'appui du pont roulant (sur un rail ou sur une semelle)</p> |  |



# Valeurs limites des flèches horizontales

c) Différence  $\Delta\delta_y$  entre les déplacements horizontaux des ossatures (ou poteaux) adjacents supportant les poutres d'un chemin de roulement de pont roulant situé à l'intérieur :

$$\Delta\delta_y \leq L/600$$

d) Différence  $\Delta\delta_y$  entre les déplacements horizontaux de poteaux (ou d'ossatures) adjacents supportant les poutres d'un chemin de roulement de pont roulant situé à l'extérieur :

- provoquée par la combinaison d'efforts latéraux de pont roulant et de l'action du vent de service :

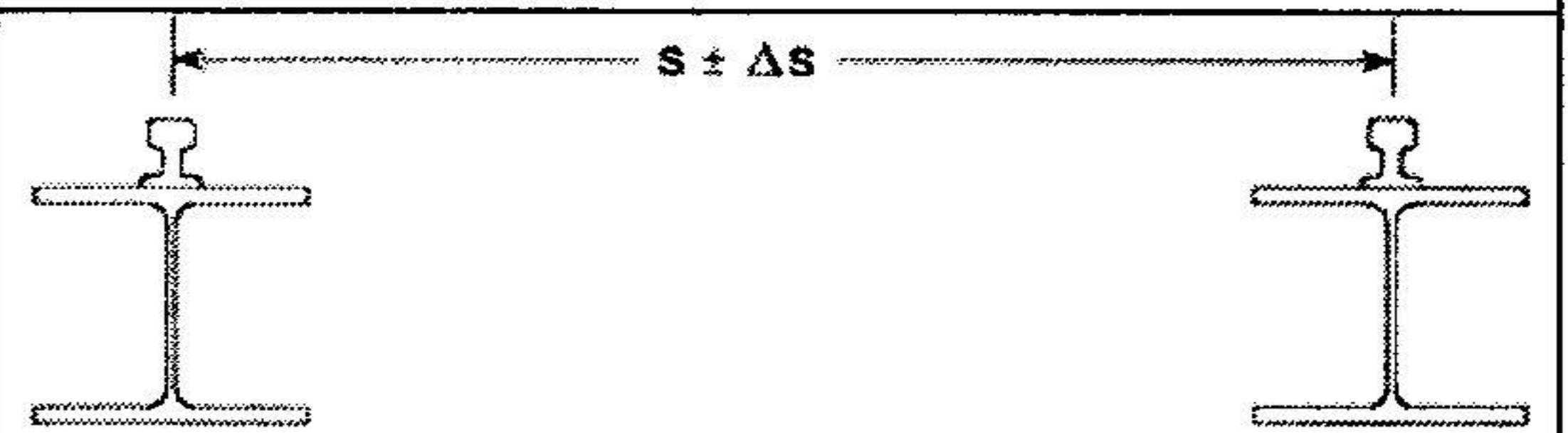
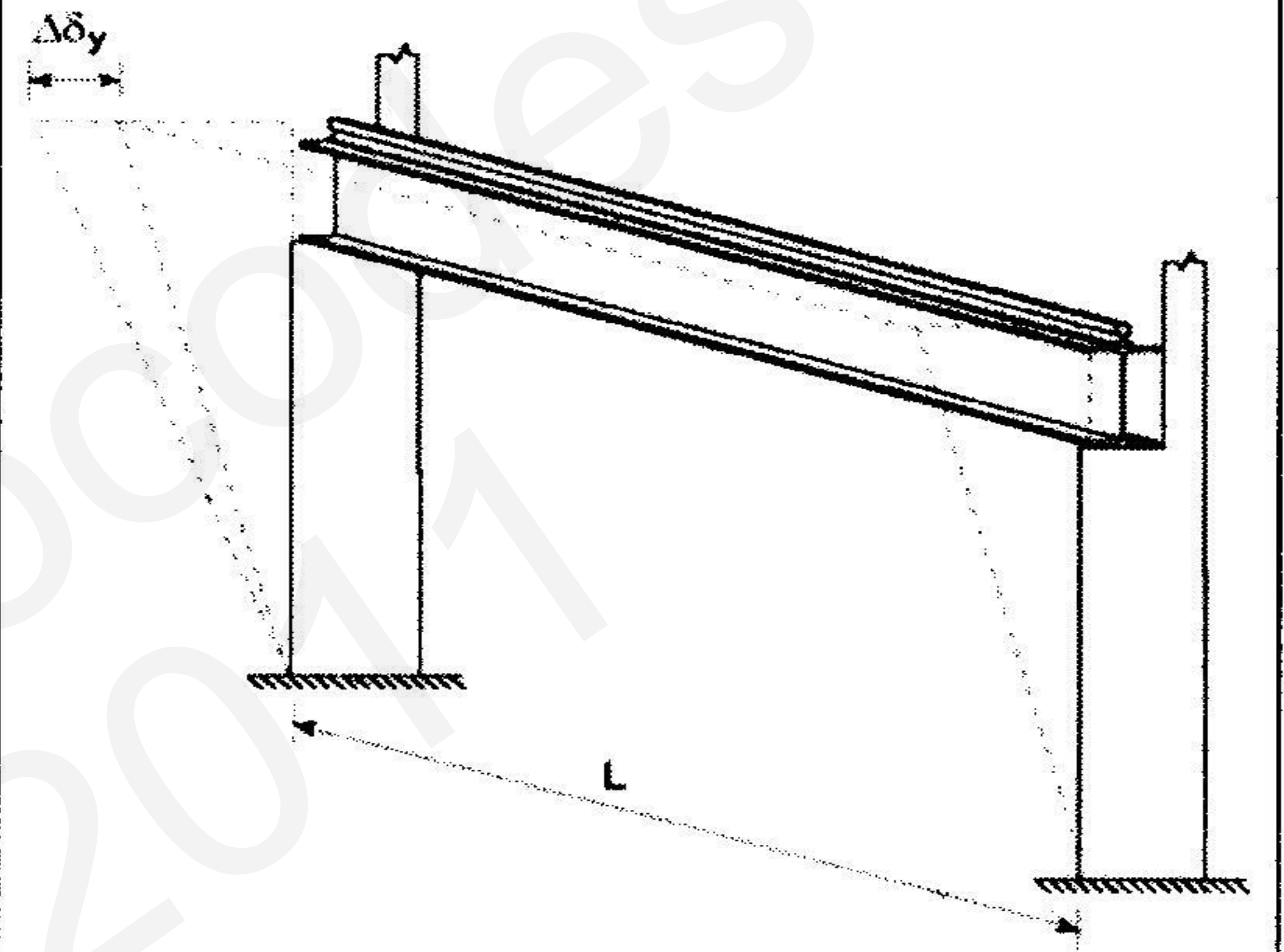
$$\Delta\delta_y \leq L/600$$

- provoquée par la charge du vent hors service

$$\Delta\delta_y \leq L/400$$

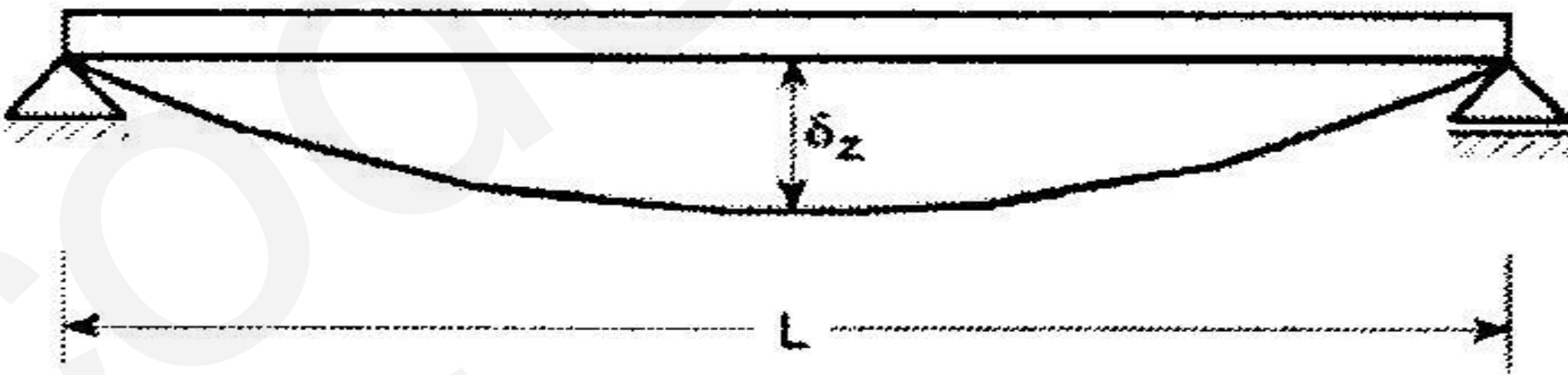
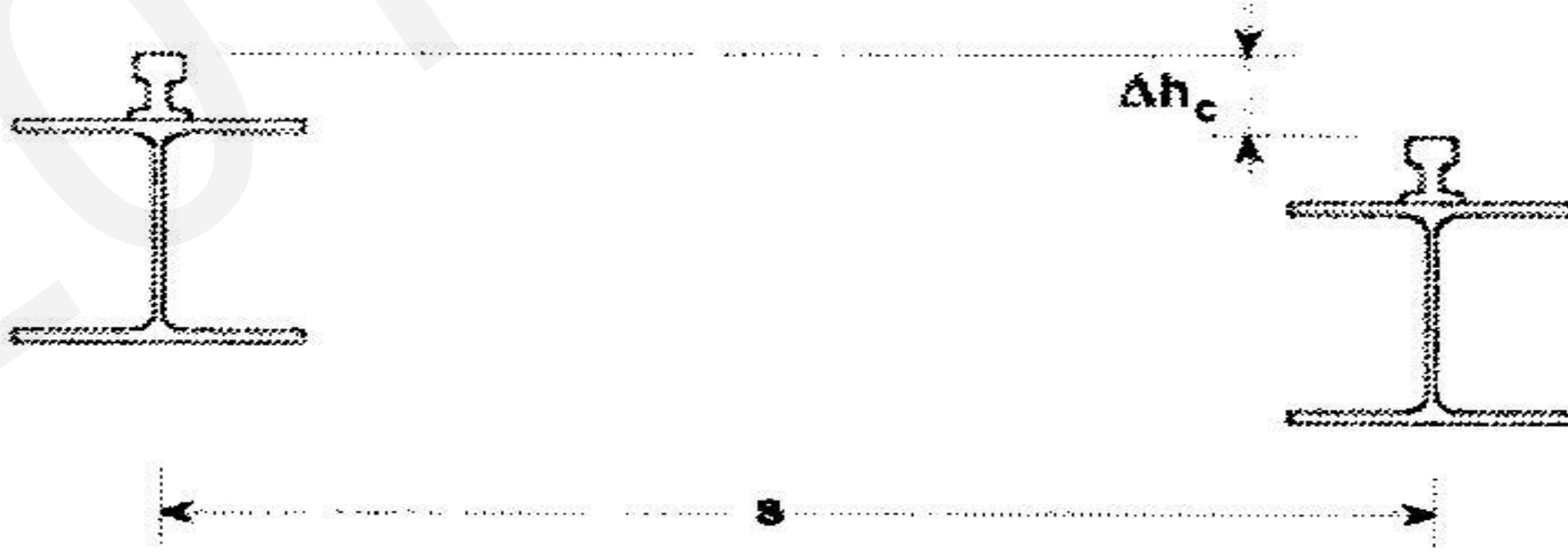
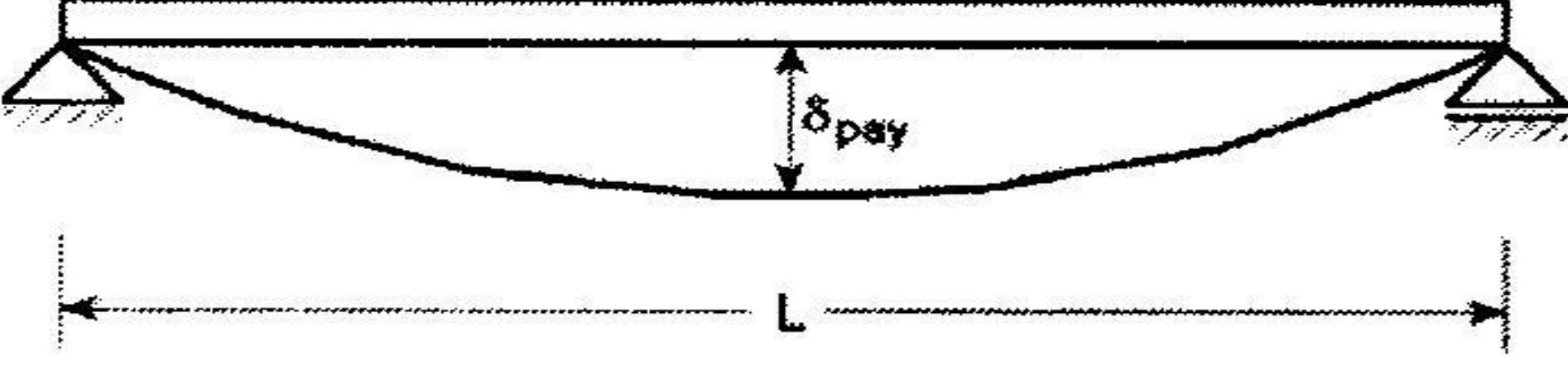
e) Modification de l'écartement  $\Delta s$  entre les axes de rails de pont roulant, y compris les effets des variations thermiques :

$$\Delta s \leq 10 \text{ mm} \quad [\text{voir Note}]$$



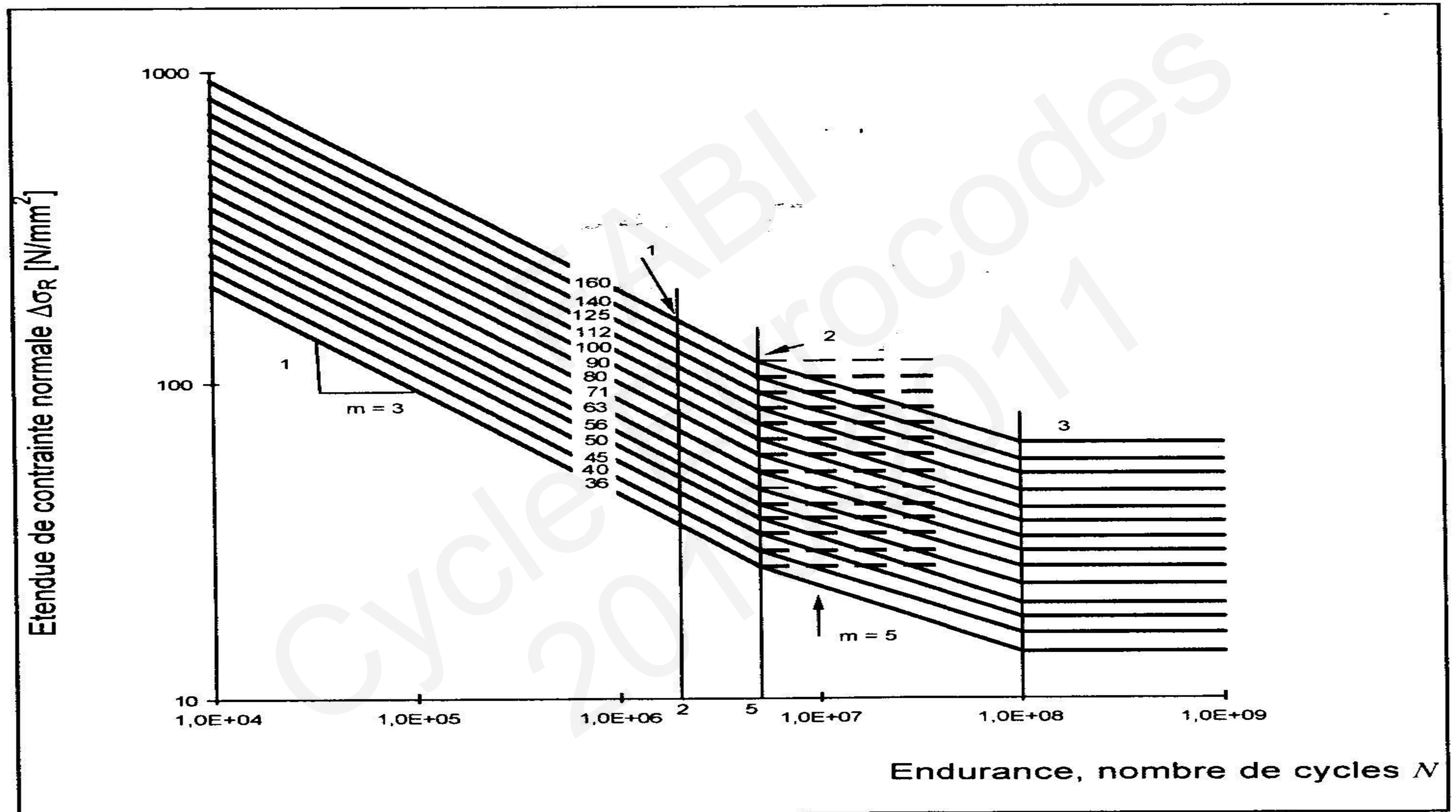


# Valeurs limites des flèches verticales

| Description de la flèche (déformation ou déplacement)  | Diagramme   |
|--|---|
| <p>a) Déformation verticale <math>\delta_z</math> d'une poutre de roulement :</p> <p><math>\delta_z \leq L/600</math> et <math>\delta_z \leq 25</math> mm</p> <p>Il convient de prendre la déformation verticale <math>\delta_z</math> égale à la déformation totale provoquée par les charges verticales, diminuée de la contreflèche préalable, comme pour <math>\delta_{max}</math> dans la Figure A1.1 de l'EN 1990.</p> |    |
| <p>b) Différence <math>\Delta h_c</math> entre les déformations verticales de deux poutres formant un chemin de roulement :</p> <p><math>\Delta h_c \leq s/600</math></p>  |  |
| <p>c) Déformation verticale <math>\delta_{pay}</math> d'une poutre de roulement destinée à un palan avec chariot de monorail, par rapport à ses appuis, provoquée par la seule charge utile:</p> <p><math>\delta_{pay} \leq L/500</math></p>   |  |



# Exemple de courbes de Wölher





# Exemple de catégories de détails

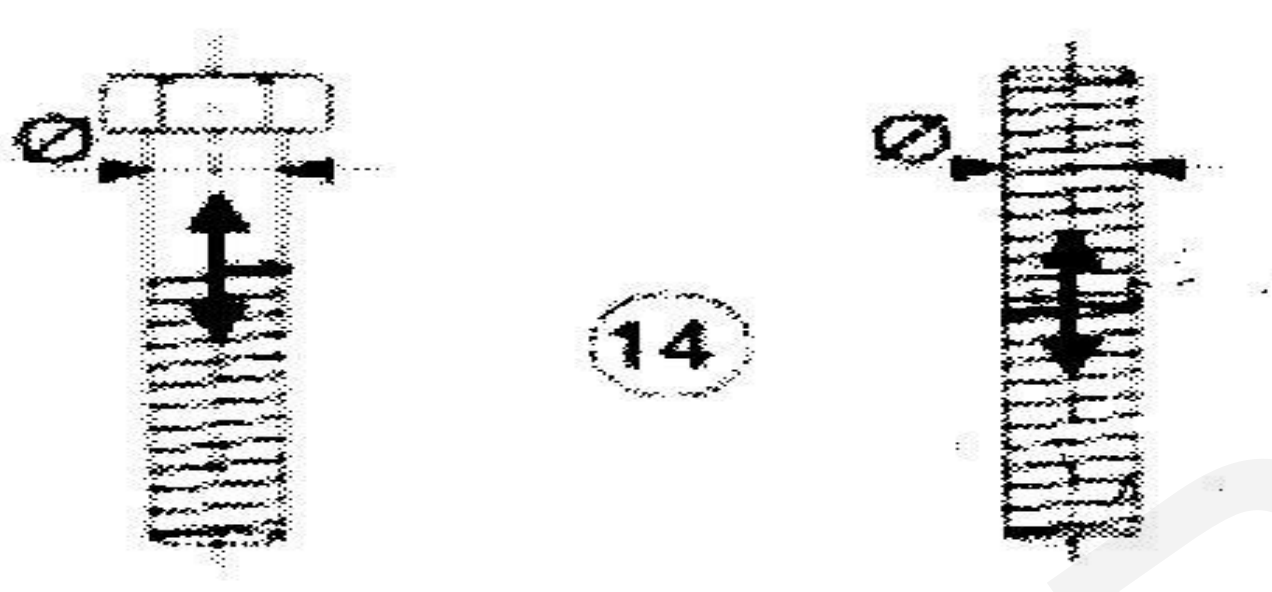
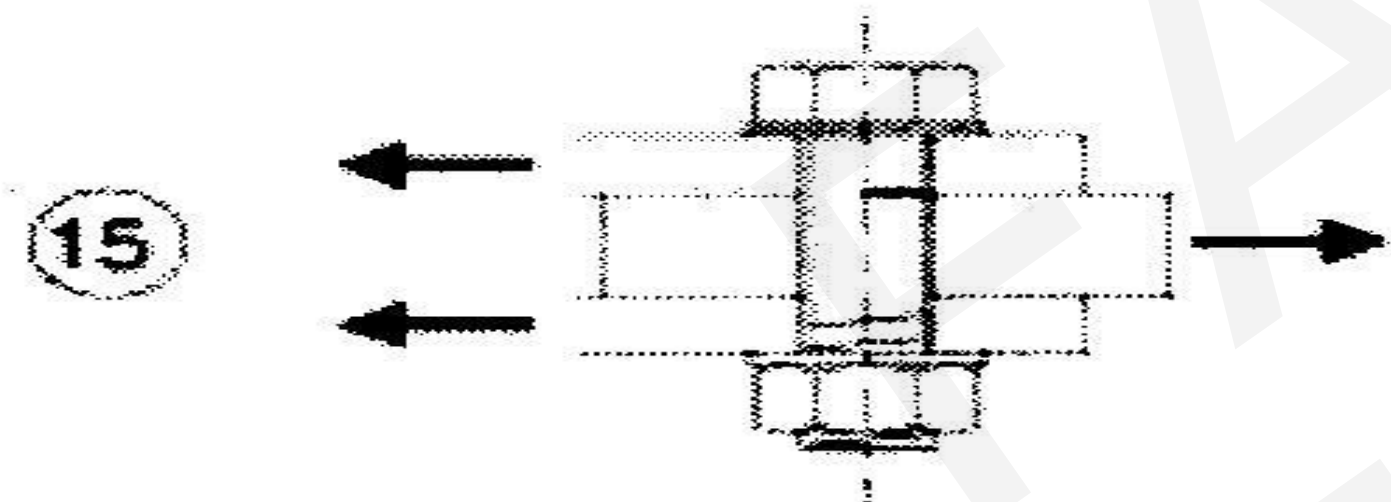
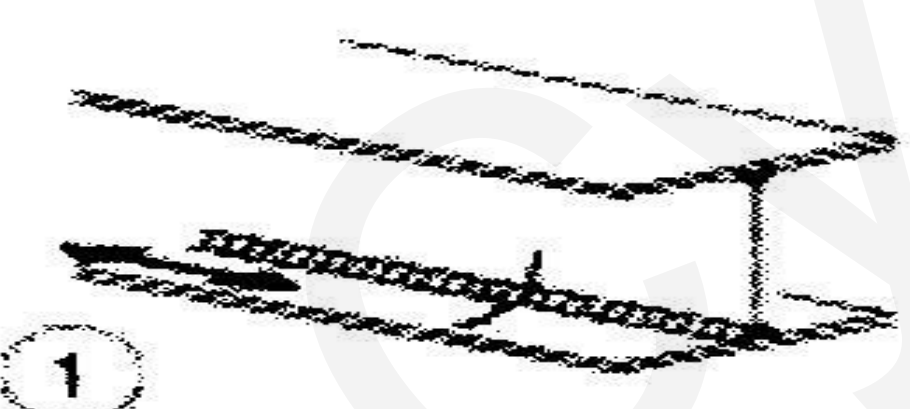
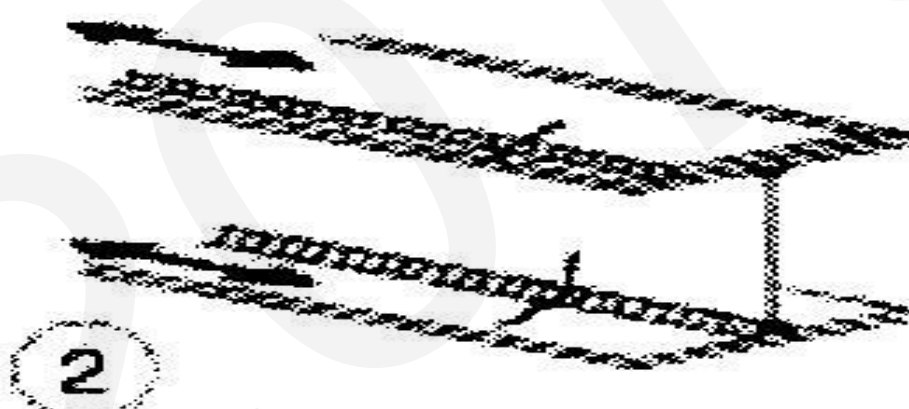

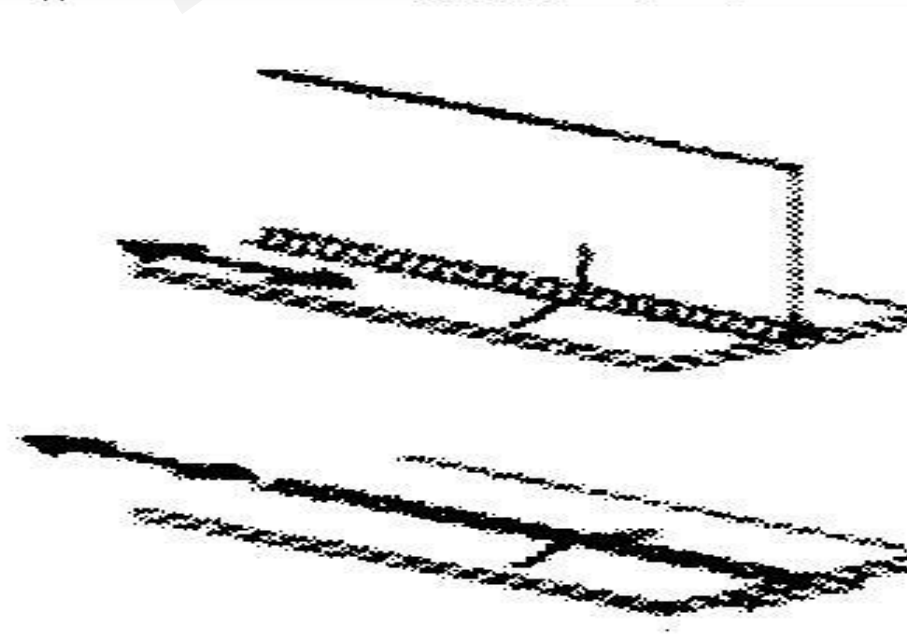
| Catégorie de détail | Détail constructif   |   | Description   | Exigences  |
|---------------------|--|---|---|--|
| 50                  | effet de dimension pour $\phi > 30 \text{ mm}$ :<br>$k_s = (30/\phi)^{0.25}$ |   | 14) Boulons et tiges en traction avec filets roulés ou usinés. Pour des diamètres importants (tiges d'ancrage), l'effet de dimension doit être pris en compte avec $k_s$ .  | 14) $\Delta\sigma$ est à calculer par rapport à la section de la partie non filetée du boulon. La flexion et la traction provenant de l'effet de levier, et les contraintes de flexion provenant d'autres effets doivent être prises en compte. Pour les boulons précontraints, la réduction de l'étendue de contrainte peut être prise en compte. |
| 100<br>$m = 5$      |  |  | <u>Boulons sollicités en simple ou double cisaillement.</u><br>Le plan de cisaillement ne passe pas par le filetage.<br>15)<br>- Boulons calibrés.<br>- Boulons normaux sans inversion d'effort (boulons de nuance 5.6, 8.8 ou 10.9). | 15)<br>$\Delta\tau$ calculé par rapport à la section de la tige.   |

Tableau 8.2 — Profils reconstitués soudés

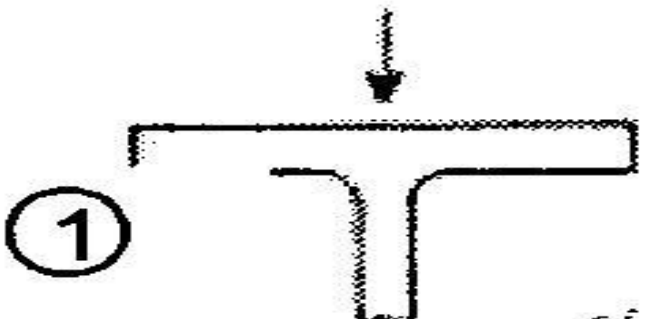
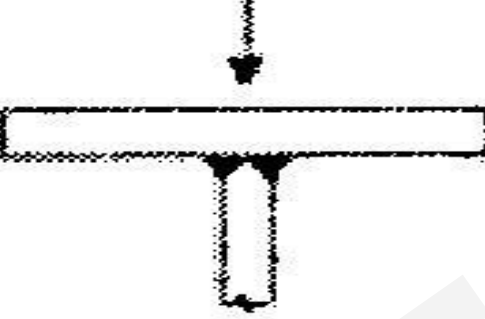
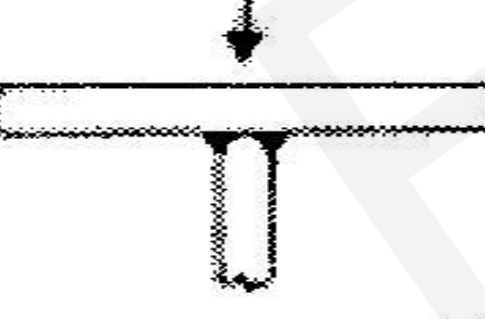
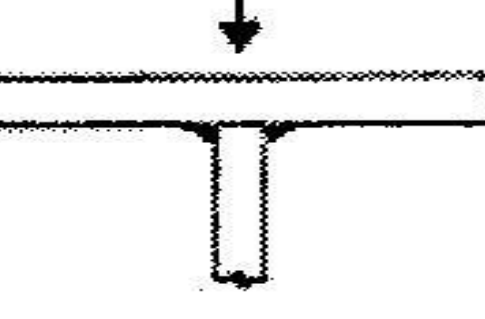
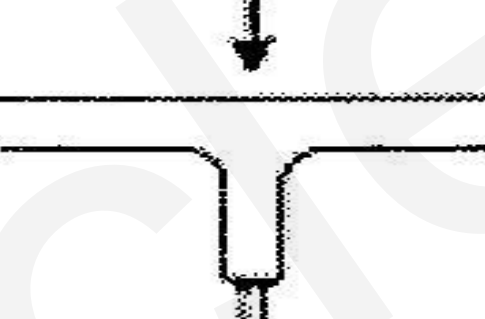
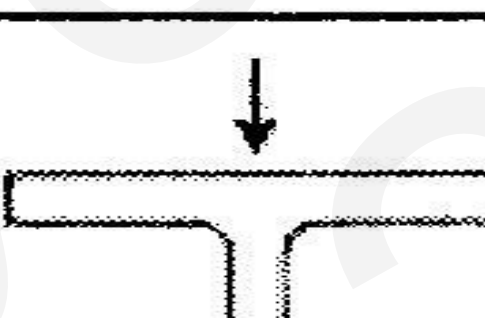
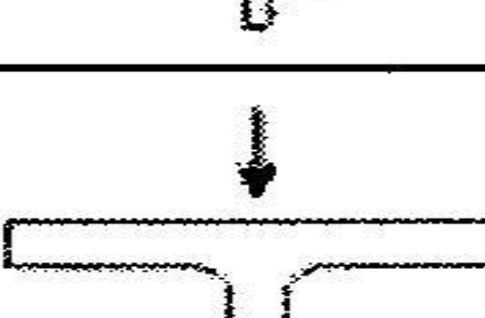
| Catégorie de détail | Détail constructif  |   | Description   | Exigences   |
|---------------------|---|---|---|---|
| 125                 |  |  | <u>Soudures longitudinales continues :</u><br>1) Soudure automatique pleine pénétration exécutée des deux côtés ;<br>2) Soudure d'angle automatique; extrémités des plats de renfort vérifiées selon le détail 6) ou 7) du Tableau 8.5. | <u>Détails 1) et 2) :</u><br>Aucun arrêt/reprise n'est admis sauf si la réparation est exécutée par un spécialiste et l'exécution correcte de la réparation contrôlée par inspection. |
| 112                 |  |  | 3) Soudure automatique, d'angle ou pleine pénétration, exécutée des deux côtés mais avec arrêt/reprise.<br>4) Soudure automatique, exécutée d'un seul côté, sur une latte de soudage continue, sans arrêt/reprise.                      | 4) Si ce détail comporte des arrêts/reprises, la catégorie 100 doit être utilisée.  |





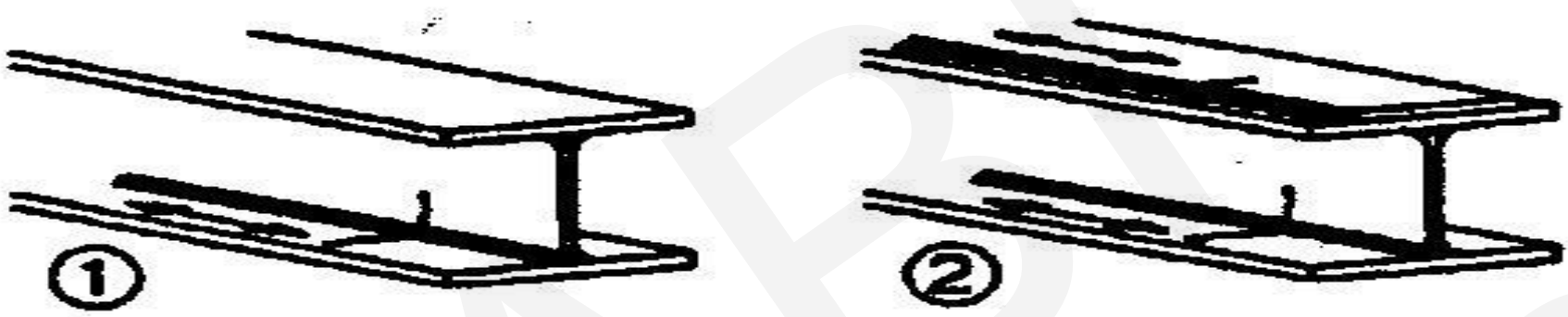
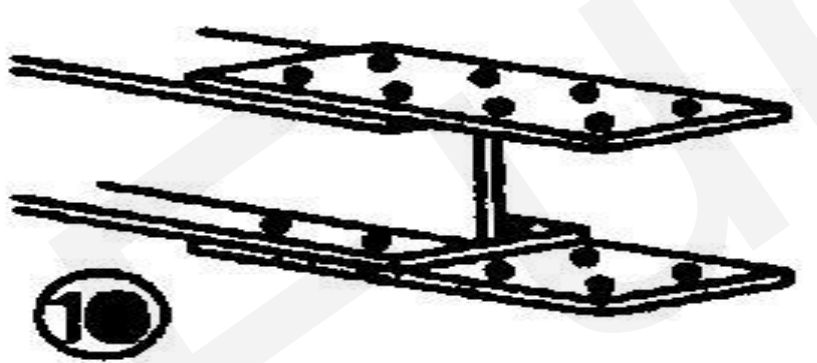
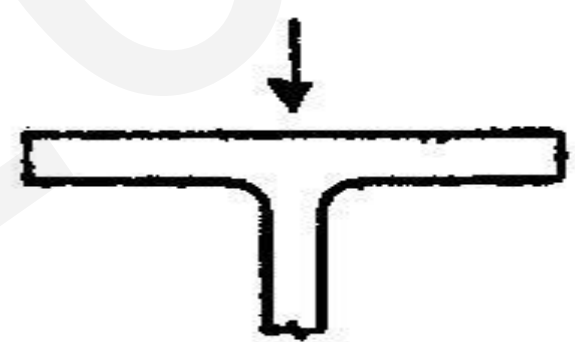
# Exemple de catégories de détails – poutres de roulement

Tableau 8.10 — Liaison âme–semelle supérieure dans les poutres de roulement

| Catégorie de détail | Détail constructif   | Description   | Exigences   |
|---------------------|--|---|---|
| 160                 |    | 1) Sections laminées en I ou H.   | 1) Etendue de contrainte verticale de compression $\Delta\sigma_{vert}$ dans l'âme due aux charges roulantes. |
| ②<br>71             |    | 2) Soudure à pleine pénétration.  | 2) Etendue de contrainte verticale de compression $\Delta\sigma_{vert}$ dans l'âme due aux charges roulantes. |
| ③<br>36*            |   | 3) Soudure à pénétration partielle, ou soudure à pleine pénétration effective conformément à la partie 1.8.                   | 3) Etendue de contrainte verticale de compression $\Delta\sigma_{vert}$ dans l'âme due aux charges roulantes. |
| ④<br>36*            |  | 4) Soudure par cordons d'angle.   | 4) Etendue de contrainte verticale de compression $\Delta\sigma_{vert}$ dans l'âme due aux charges roulantes. |
| ⑤<br>71             |  | 5) Semelle en T avec soudure à pleine pénétration.  | 5) Etendue de contrainte verticale de compression $\Delta\sigma_{vert}$ dans l'âme due aux charges roulantes. |
| ⑥<br>36*            |  | 6) Semelle en T avec soudure à pénétration partielle, ou soudure à pleine pénétration effective conformément à l'EN 1993-1-8. | 6) Etendue de contrainte verticale de compression $\Delta\sigma_{vert}$ dans l'âme due aux charges roulantes. |
| ⑦<br>36*            |  | 7) Semelle en T avec soudure par cordons d'angle.   | 7) Etendue de contrainte verticale de compression $\Delta\sigma_{vert}$ dans l'âme due aux charges roulantes. |



# Exemple de catégories de détails – poutres de roulement

| Detail category | Constructional detail   | Amendments  |
|-----------------|---|---|
| 125             |     | Verification of normal stresses in the runway beam.                                       |
| 80              |  | Verification of normal stresses in the runway beam.                                       |
| 80              |   | Verification of shear stresses in the web.  |
| 160             |  | Verification of vertical stresses in the web due to wheel loads.<br>(Eurocode 3 - Part 6) |



# Exemple de calcul

A l'abscisse  $x = 2,875$  m.

Vérification de la section (poids propres + charges verticales des galets :

- contraintes normales dans la semelle supérieure;
- contraintes normales dans la semelle inférieure.

Vérification de l'âme

- cisaillement dû aux
  - . aux poids propres;
  - . charges verticales des galets;
  - . charges locales sous galets.
- contraintes normales dues :
  - . aux charges verticales des galets;
  - . à la flexion.
- interaction.

