

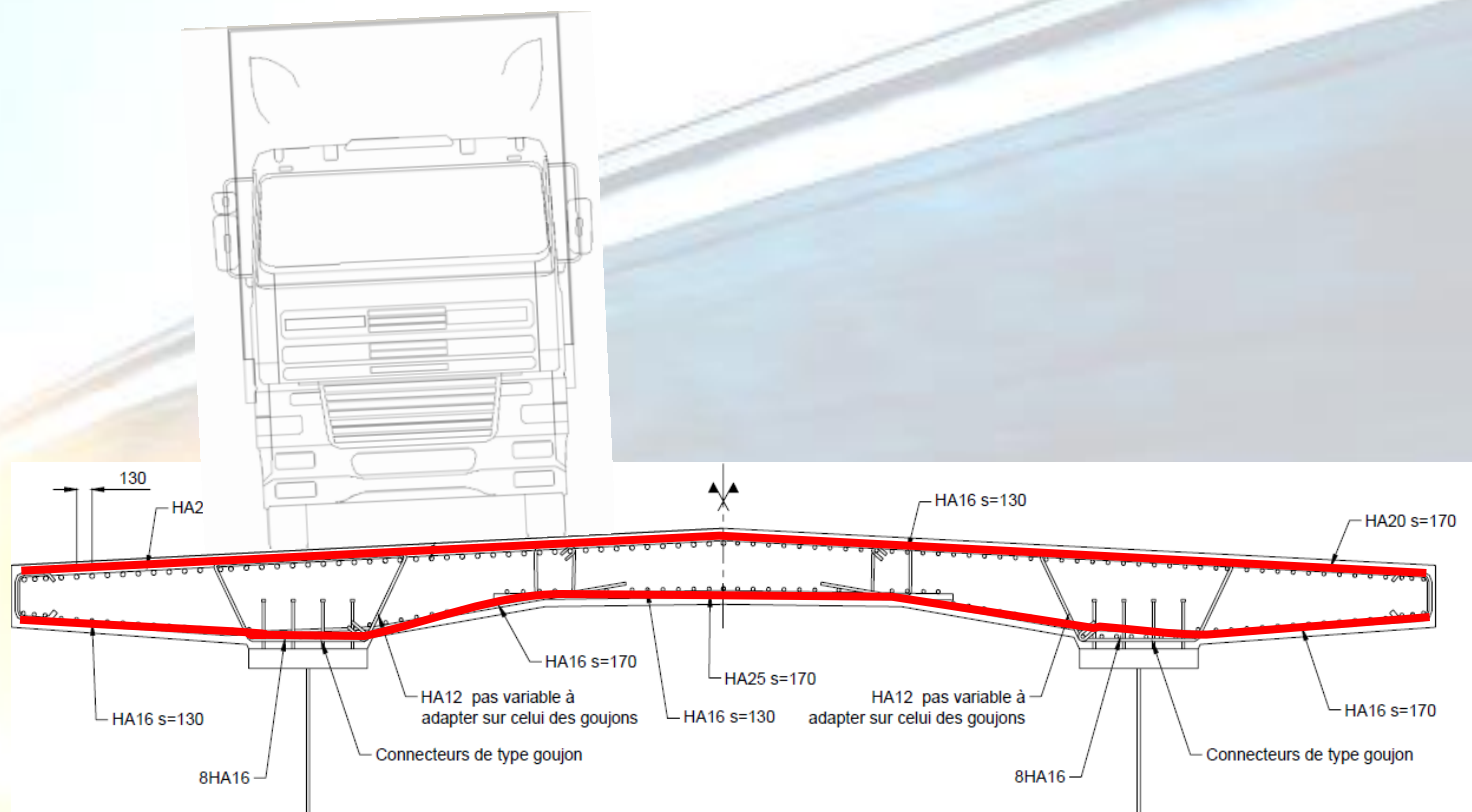
Journées Techniques Ouvrages d'Art 2015



Abaques des sollicitations
du modèle de fatigue FLM3
pour les dalles de pont
bipoutre mixte à entretoises

Jean-Paul Deveaud
Noël Robert

Calcul en fatigue de la dalle



Calcul en fatigue de la dalle

Méthode générale

- Basée sur des convois réels : FLM5
- Basée sur un convoi représentatif : FLM4

Méthode équivalente

- Basée sur un camion équivalent : FLM3

Critère simplifié de l'Eurocode 2

- Basée sur le modèle LM1

Calcul en fatigue de la dalle

Critère simplifié de l'Eurocode 2

- NF EN 1992-2/NA – Clause 6.8.1 :
 - $\sigma_c < 0.6 f_{ck}$ à l'ELS caractéristique
 - $\sigma_s < 300$ MPa à l'ELS caractéristique
- Avantage : simplicité
- Inconvénient : parfois dimensionnant, car plus sévère que les méthodes équivalente et générale

Calcul en fatigue de la dalle

Méthode équivalente

- NF EN 1992-1-1 – Clause 6.8.5
et NF EN 1992-2 – Annexe NN :

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{S,eq}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{S,fat}}$$

- Avantage : très rarement dimensionnante
- Inconvénient : la détermination des effets du modèle FLM3 n'est pas immédiate

Abaques

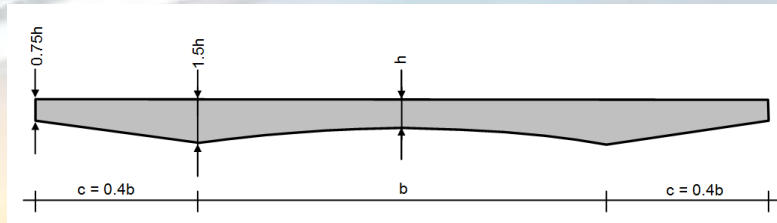
Intérêts

- Obtenir directement les sollicitations due au modèle FLM3
- Faciliter la mise en œuvre de la méthode équivalente
- Optimiser la quantité d'acier

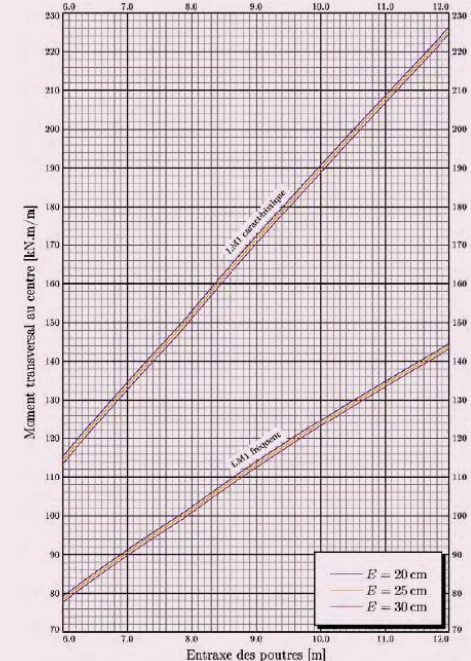
Abaques

Hypothèses

- Généralités : cf. Brisard S., BOA n° 54, 2007, p. 10-21



- Pas de diffusion des charges : cf. Eurocodes 0 et 1 – Guide méthodologique – Sétra, 2010



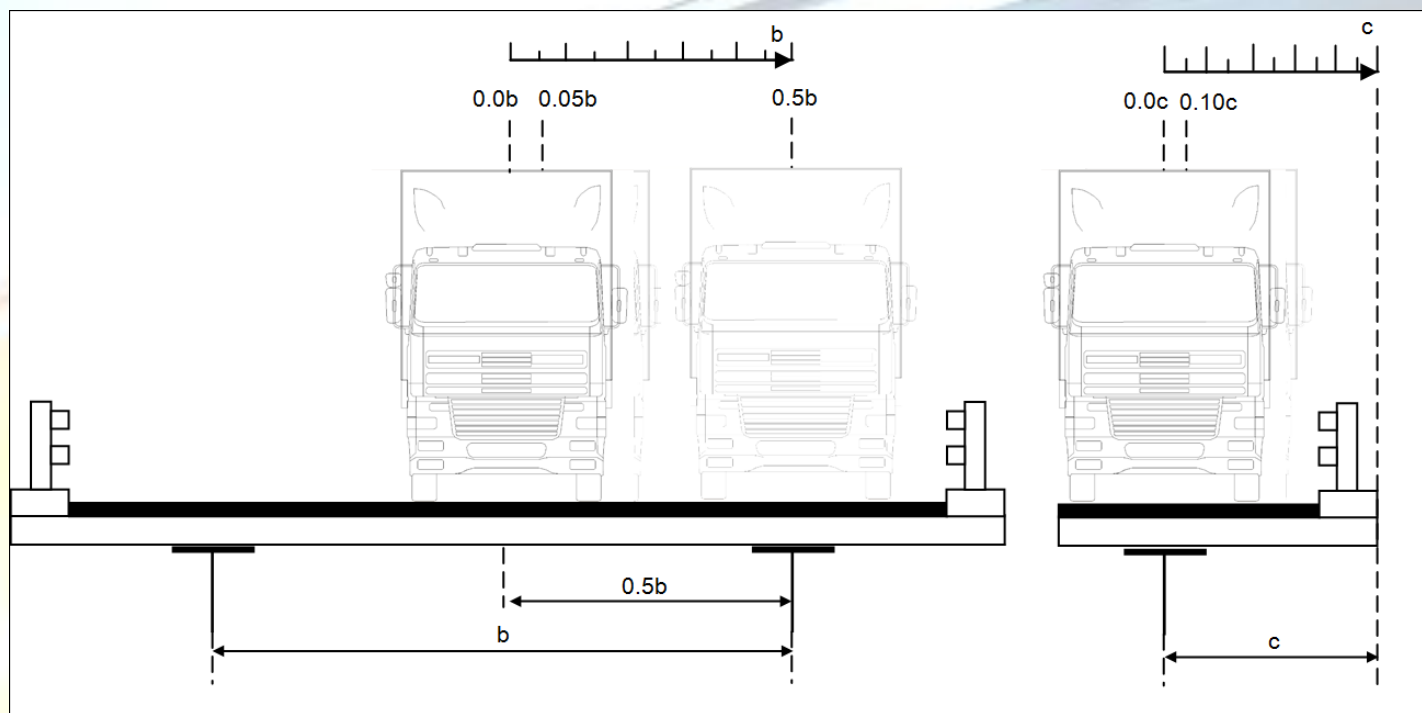
Abaques

Modélisation

- Autant de calculs que d'entraxes de poutres (de 6 m à 12 m tous les 50 cm) et de positions transversales de la voie de fatigue (19 positions par entraxe)
- Logiciel Code_Aster

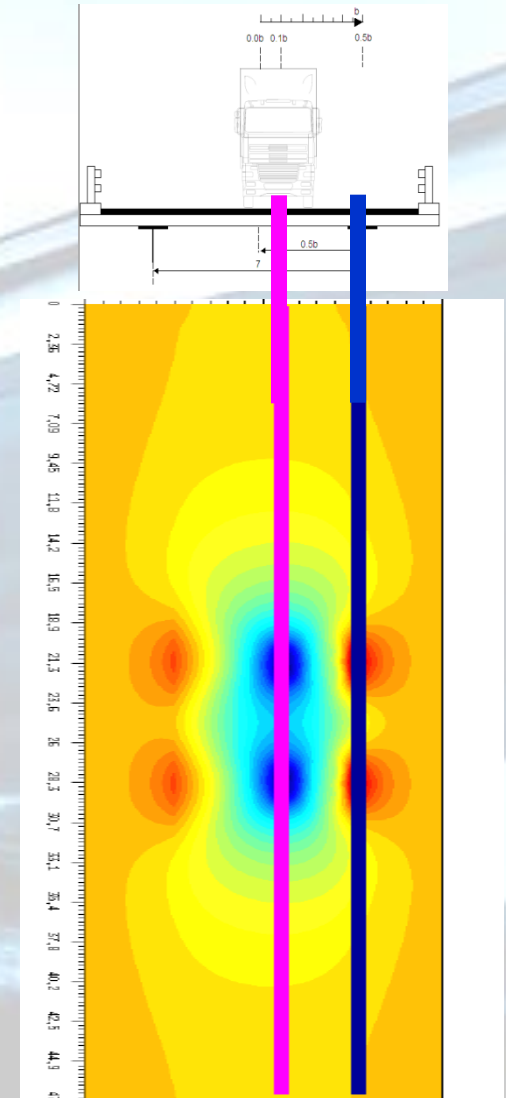
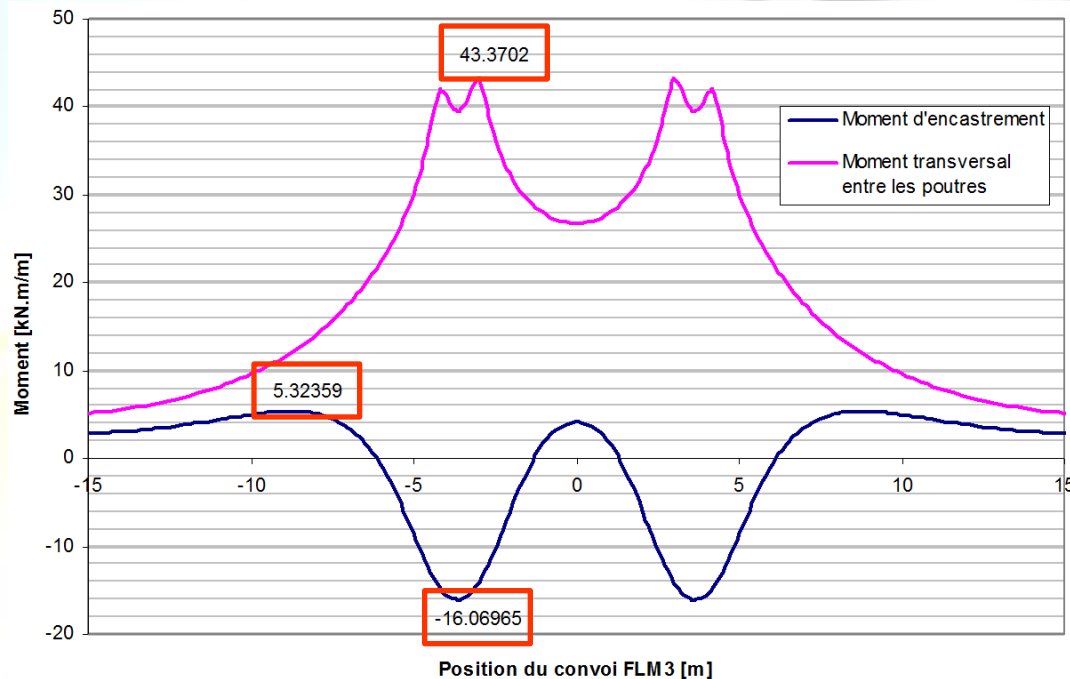
Abaques

Structure



Abaques

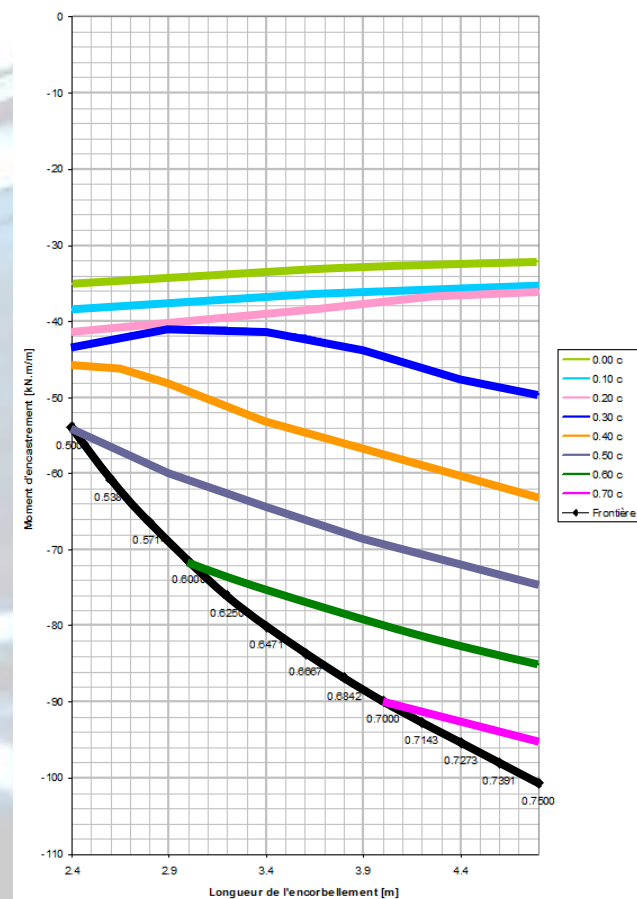
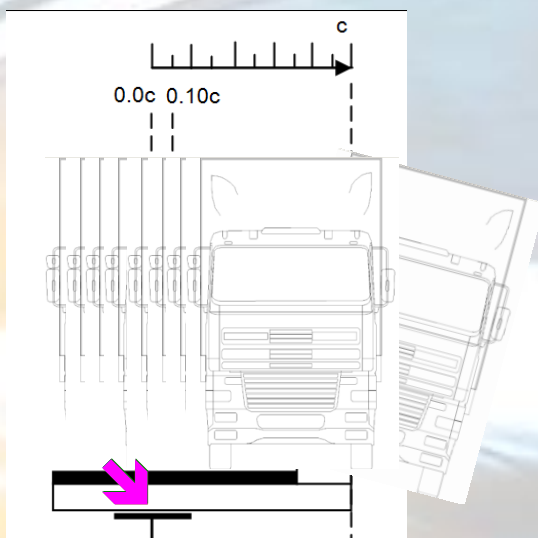
Structure



Abaques : 1

Moment d'encastrement

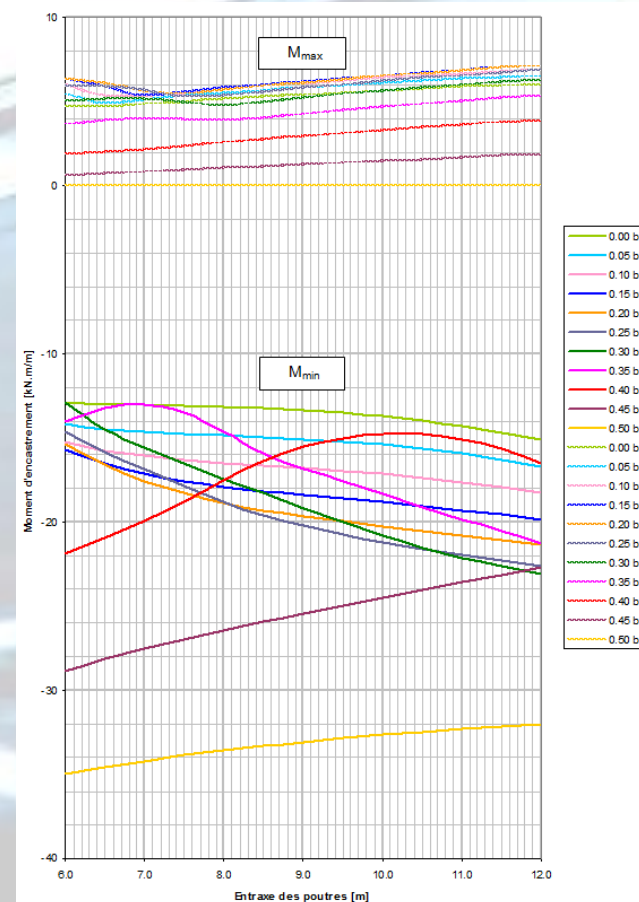
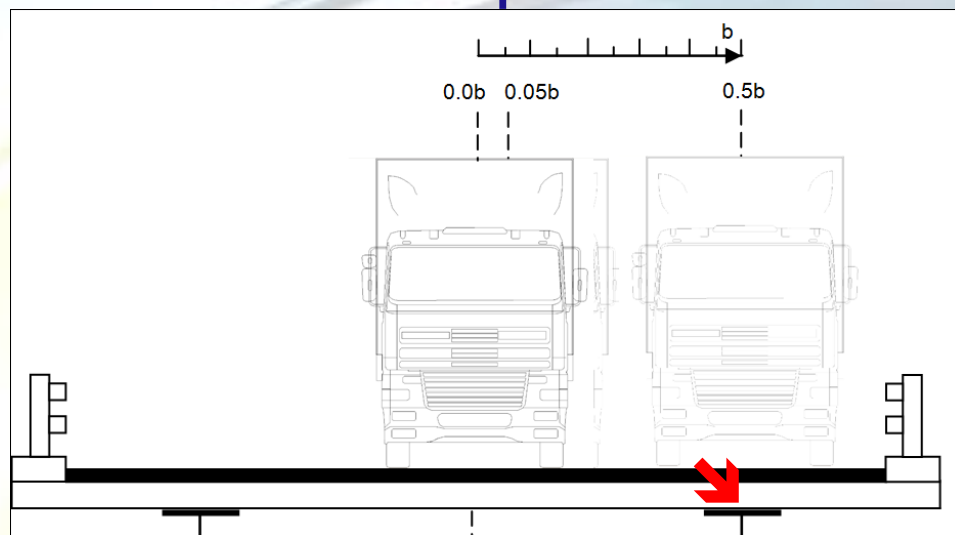
- Centre de la voie de fatigue sur l'encorbellement



Abaques : 2

Moment d'encastrement

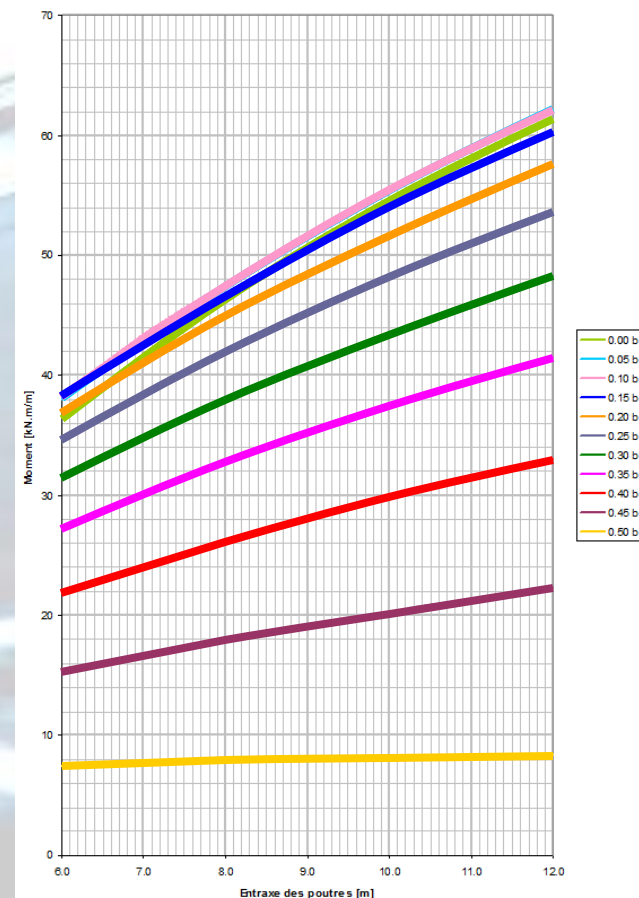
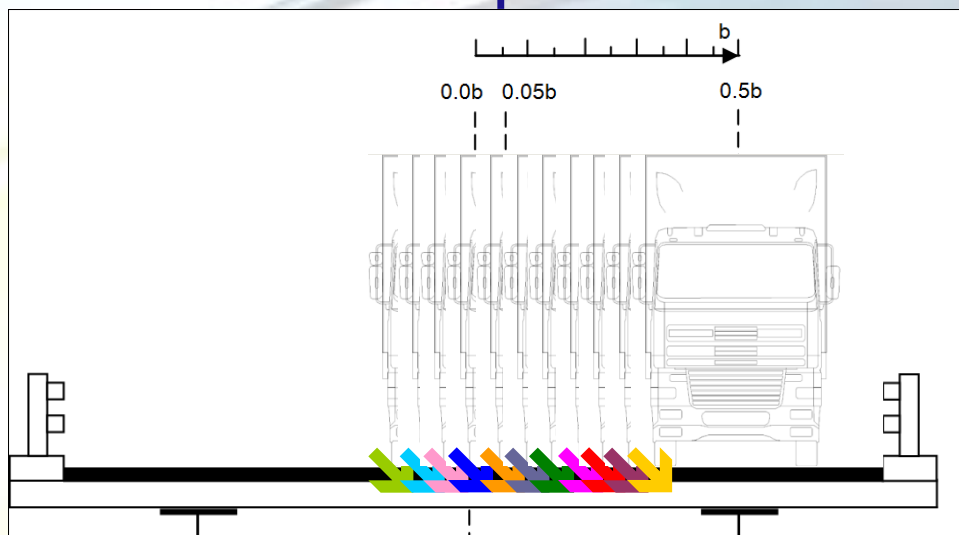
- Centre de la voie de fatigue entre les poutres



Abaques : 3

Moment transversal max.

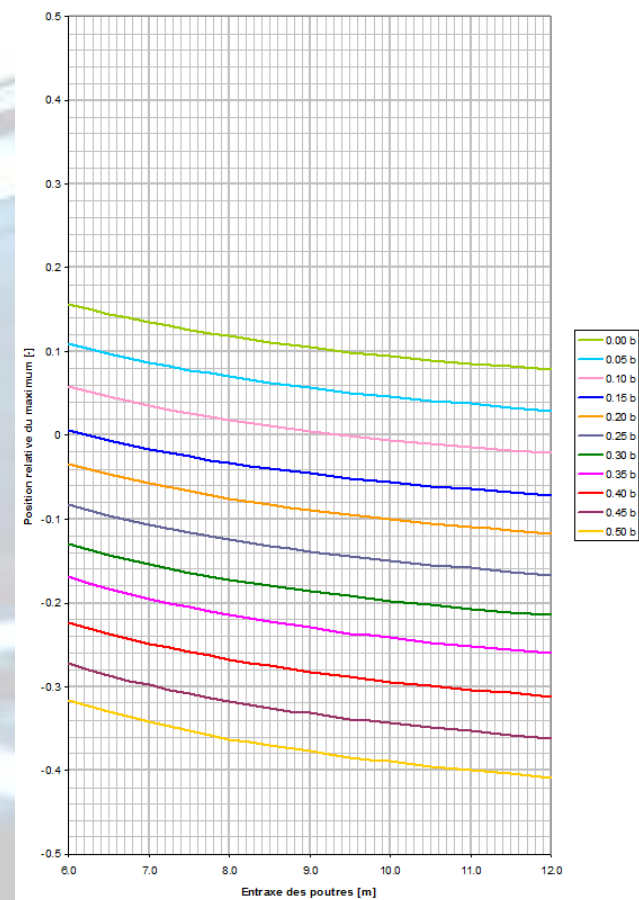
- Centre de la voie de fatigue entre les poutres



Abaques : 4

Position du Moment max.

- Centre de la voie de fatigue entre les poutres



Exemple d'application

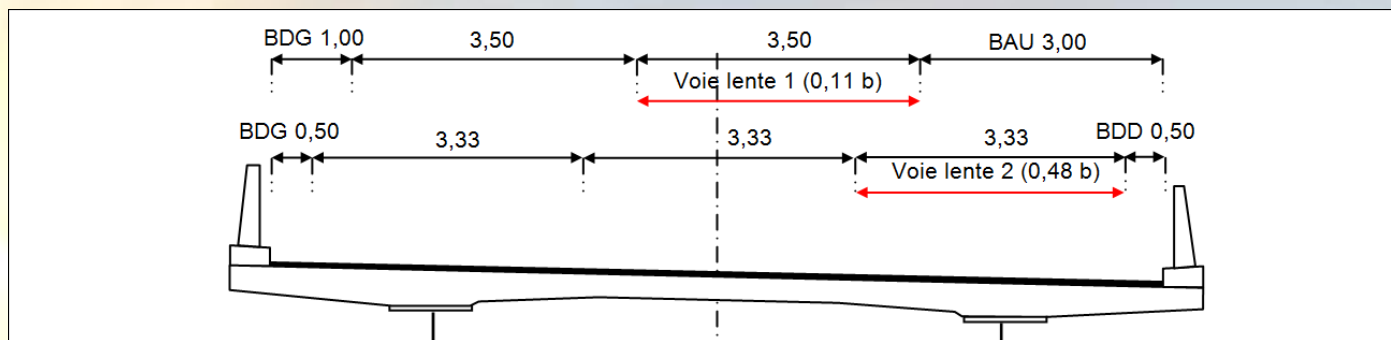
Présentation

- Etude du bipoutre du guide méthodologique Eurocodes 3 et 4, Sétra, 2007
- Autoroute à 2 x 2 voies et trafic de classe 1
- Trafic de poids lourds de catégorie 1 et de type longue distance au sens des tableaux 4.5 et 4.7 de la NF EN 1991-2

Exemple d'application

Présentation

- 2 voies lentes considérées
 - n°1 : Voie de droite matérialisée par le marquage
 - n°2 : Voie de droite en anticipant un éventuel passage de l'autoroute à 2 x 3 voies



Exemple d'application

Valeurs issues du dimensionnement

- Application du critère simplifié

	Section Médiane	Section d'encastrement
$M_{ELS\ QP}$ (kN.m/m)	24	-46
$M_{ELS\ CARAC}$ (kN.m/m)	184	-204
M_{ELU} (kN.m/m)	248	-275
Hauteur de la section (m)	0.3075	0.40
Hauteur utile d (m)	0.26	0.36
A_s	HA 25 s = 170mm (28.87 cm ² /m)	HA 20 s = 170mm (18.48 cm ² /m)
$\sigma_{sELS\ carac}$ (MPa)	287	344

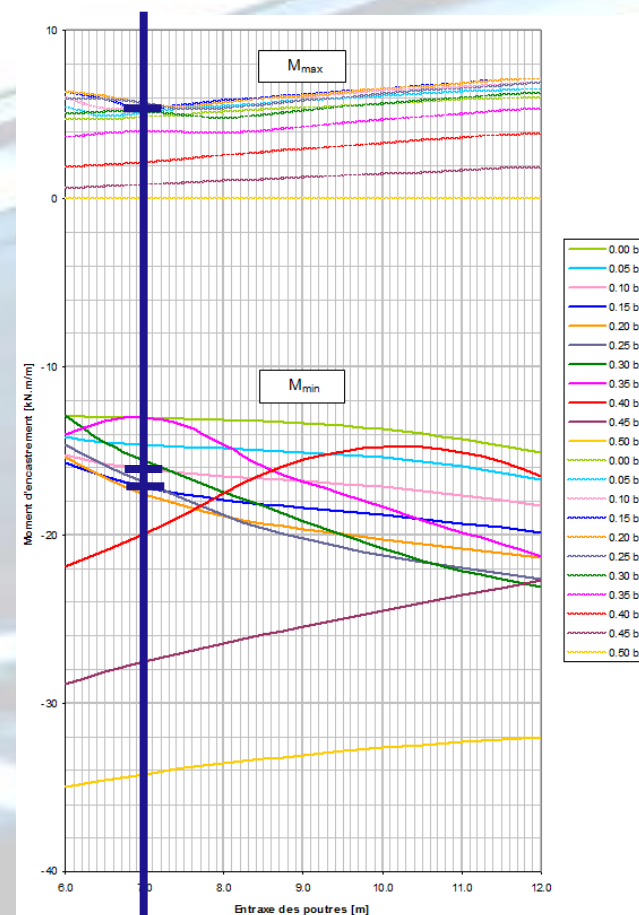
OK

NOK

Exemple d'application

Section d'encastrement

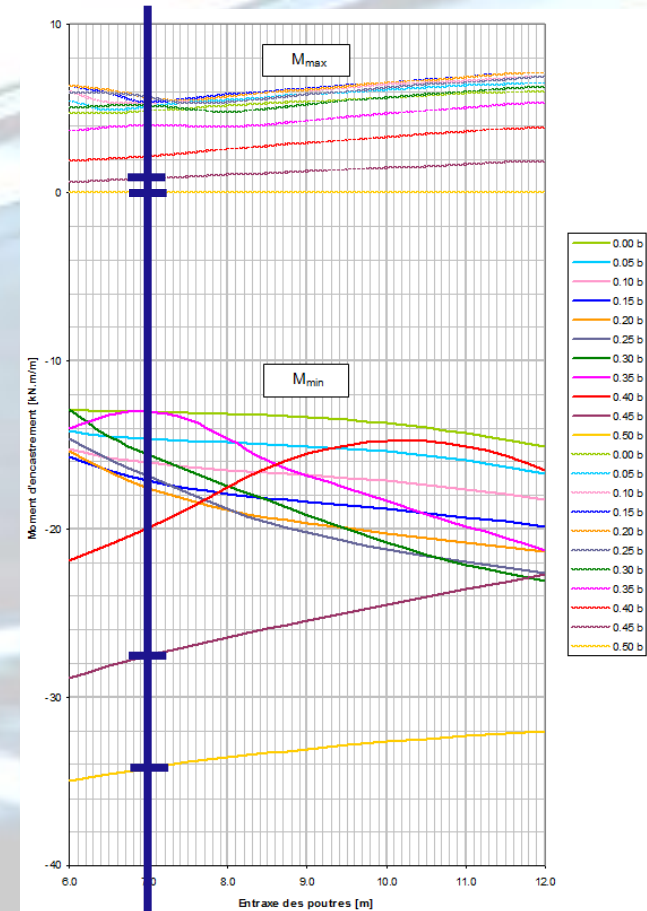
- Voie lente n°1 (0.11 b)
 - $M_{min} = -16.2 \text{ kN.m/m}$
 - $M_{max} = 5 \text{ kN.m/m}$
 (par interpolation linéaire entre les positions 0.10b et 0.15b)



Exemple d'application

Section d'encastrement

- Voie lente n°2 (0.48 b)
 - $M_{min} = -31.5 \text{ kN.m/m}$
 - $M_{max} = 0.5 \text{ kN.m/m}$
 - (par interpolation linéaire entre les positions 0.45b et 0.50b)
- La voie lente n°2 est la cas le plus défavorable



Exemple d'application

ΔM (FLM3) = 32 kN.m/m

La vérification à la fatigue des armatures consiste à vérifier que

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta \sigma_{s,eq}(N^*) \leq \frac{\Delta \sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}} \quad (\text{NF EN 1992-1-1 § 6.8.5 et NF EN 1992-2 Annexe NN})$$

avec

$\Delta \sigma_{Rsk}(N^*)$ est l'étendue de contrainte pour N^* cycles et est donnée par la courbe S-N, $\Delta \sigma_{Rsk}(N^*)$ est égale à 160 MPa si le diamètre des barres ϕ est supérieur à 40 mm, et est égale à 210 MPa si ϕ est inférieur à 16 mm, $\Delta \sigma_{Rsk}(N^*) = 202 \text{ MPa}$ $\phi = 20 \text{ mm}$ (NF EN 1992-1-1-NA, tableau 6.3 NF)

$\gamma_{F,fat}$ est le coefficient partiel relatif aux charges de fatigue $\gamma_{F,fat} = 1,0$ (NF EN 1992-1-1 §2.4.2.3)

$\gamma_{s,fat}$ est le coefficient partiel relatif à l'armature de béton armé $\gamma_{s,fat} = 1,15$ (NF EN 1992-1-1 §2.4.2.4)

Exemple d'application

L'étendue de contrainte équivalente vis-à-vis de l'endommagement $\Delta\sigma_{s,eq}(N^*)$ pour la vérification de l'armature est égale à:

$$\Delta\sigma_{s,eq}(N^*) = \lambda_s \cdot \Delta\sigma_s(1,4 \times \text{FLM3}) \quad (\text{NF EN 1992-2, Annexe NN, NN.2.1})$$

avec

$\Delta\sigma_s(1,4 \times \text{FLM3})$ est la variation de contrainte dans l'armature sous le passage du convoi de fatigue FLM3 dont les charges d'essieux ont été multipliées par 1.4. $\Delta\sigma_s(1,4 \times \text{FLM3}) = 75 \text{ MPa}$

λ_s est le coefficient de dommage équivalent $\lambda_s = \lambda_{s,1} \times \lambda_{s,2} \times \lambda_{s,3} \times \lambda_{s,4} \times \varphi_{fat}$, $\lambda_s = 1.1$

avec :

$\lambda_{s,1}$ est un coefficient tenant compte du type d'élément et de la longueur de la ligne d'influence, il est déterminé à partir de la figure NN.2 courbe 3c de l'annexe NN de la NF EN 1992-2. $\lambda_{s,1} = 1.1$ pour la vérification de la section en encorbellement.

$\lambda_{s,2}$ est un coefficient tenant compte du volume de trafic, $\lambda_{s,2} = \overline{Q}^{k_2} \sqrt{\frac{N_{obs}}{2,0}} = 1,0$

avec :

N_{obs} le nombre de camion par an $N_{obs} = 2.10^6/\text{an}$ (NF EN 1991-2, tableau 4.5)

k_2 est un paramètre pour la forme de la courbe S-N, $k_2 = 9$ (NF EN 1992-1-1-NA tableau 6.3 NF)

Q est un coefficient dépendant du type de trafic $Q = 1$ (NF EN 1992-2 Tableau NN.1)

Exemple d'application

$\lambda_{s,3}$ est un coefficient tenant compte de la durée d'utilisation du pont $\lambda_{s,3} = k_2 \sqrt{\frac{N_{\text{years}}}{100}}$
avec N_{years} la durée de vie d'utilisation du pont $N_{\text{years}}=100$ ans $\lambda_{s,3}=1$

$\lambda_{s,4}$ est un coefficient tenant compte du nombre de voie chargée $\lambda_{s,4} = k_2 \sqrt{\frac{\sum N_{\text{obs},i}}{N_{\text{obs},1}}} = 1$ (une seule voie de fatigue)
 $\phi_{\text{fat}}=1$ car un coefficient dynamique est déjà intégré dans le convoi de fatigue FLM3

$\gamma_{F,\text{fat}} \cdot \Delta \sigma_{s,\text{equ}}(N^*) = 83 \text{ MPa}$ et $\frac{\Delta \sigma_{\text{Rsk}}(N^*)}{\gamma_{s,\text{fat}}} = 175 \text{ MPa} > 83 \text{ MPa}$

- La résistance à la fatigue des armatures de la nappe supérieure au niveau de l'encorbellement est vérifiée

Exemple d'application

Bilan

	Section Médiane (cm ² /m)	Section d'encastrement (cm ² /m)
ELU (hors fatigue) et ELS (L'ELU est dimensionnant)	23.54	17.67
ELS _{carac} $\sigma_s < 300\text{MPa}$	27.50	21.32
ELU Fatigue FLM3	17.47	8.46

- La fatigue n'est pas dimensionnante
- La stratégie consistant à limiter le travail des aciers tendus à 300 MPa est préjudiciable pour la quantité d'armatures

Exemple d'application

Bilan

- Réduction de 17 % la quantité d'armatures nécessaire en nappe supérieure au niveau de l'encastrement
- Réduction de 14 % la quantité d'armatures nécessaire en nappe inférieure entre les poutres

Conclusion

Nouveaux abaques

- Pour faciliter l'application de la méthode équivalente de vérification en fatigue transversale des dalles de bipoutre
- A utiliser avec précautions si on s'éloigne des hypothèses

A paraître dans le Bulletin Ouvrages d'Art
du Cerema

Merci de votre participation



www.setra.fr/html/boa/index.html