

Pont Jeanne d'Arc, Rouen



Hadrien Rattez

2011-2012

Plan de la présentation

- Présentation du projet
- Vérification de la flexion transversale du hourdis
- Influence des dénivellations d'appuis
- Fatigue de la charpente métallique
- Exploitations pédagogiques

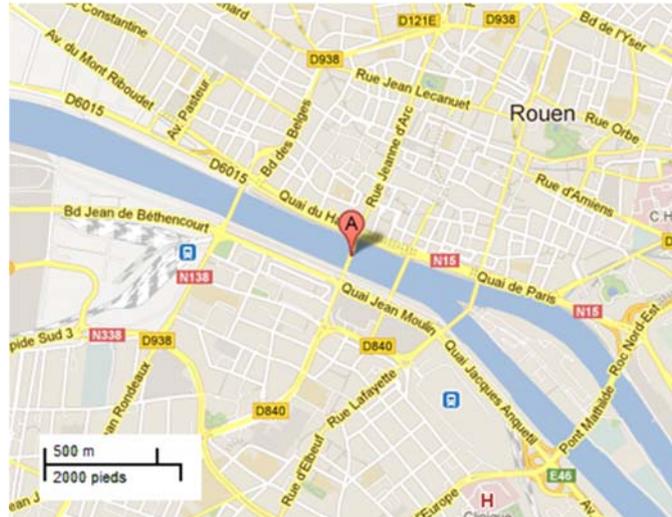
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Présentation du projet

- Localisation

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Présentation du projet

- Pont mixte à 7 poutres avec 3 travées
- Longueur 196m (portées : 48/100/48)
- Construction : entre 1956 et 1959
- MOE : Setec TPI
- MOA : CREA
- Réalisation : Groupement Bouygues TP / Maës
- Montant global : 6,5 M€

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

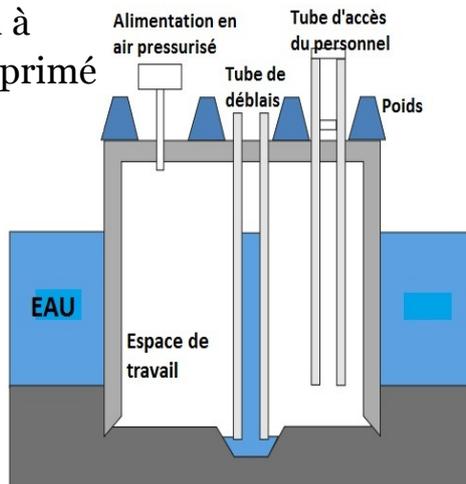
Fatigue

Exploitations
pédagogiques

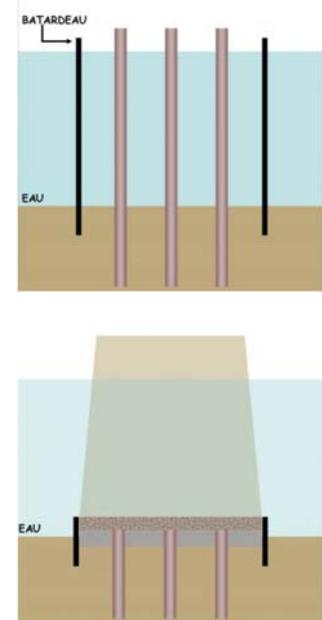
Présentation du projet

- Méthodes de construction des piles

Caisson à
air comprimé



Aujourd'hui :
utilisation de
pieux et
batardeaux

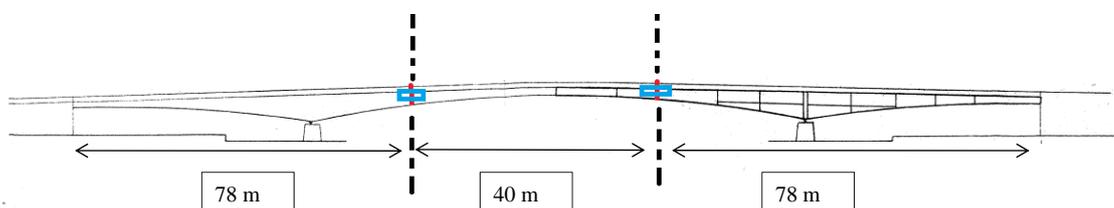
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Présentation du projet

- Méthode de construction
du tablier



Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

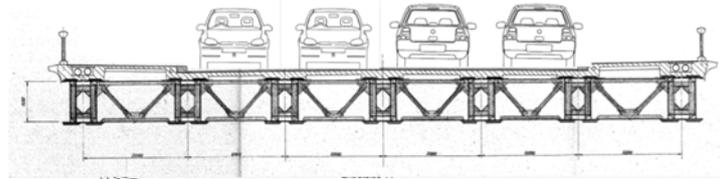
Fatigue

Exploitations
pédagogiques

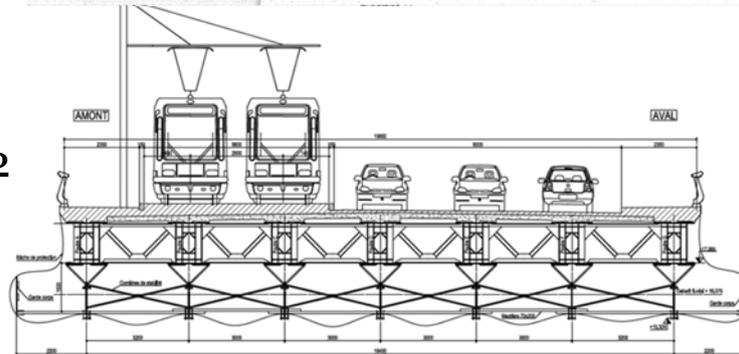
Présentation du projet

- Circulations sur l'ouvrage

1956-1994



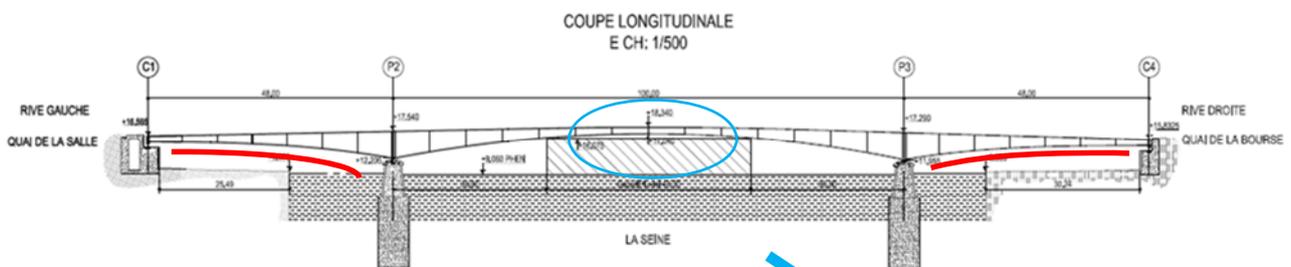
1994-2012

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Présentation du projet



- Renforts soudés et entretoises

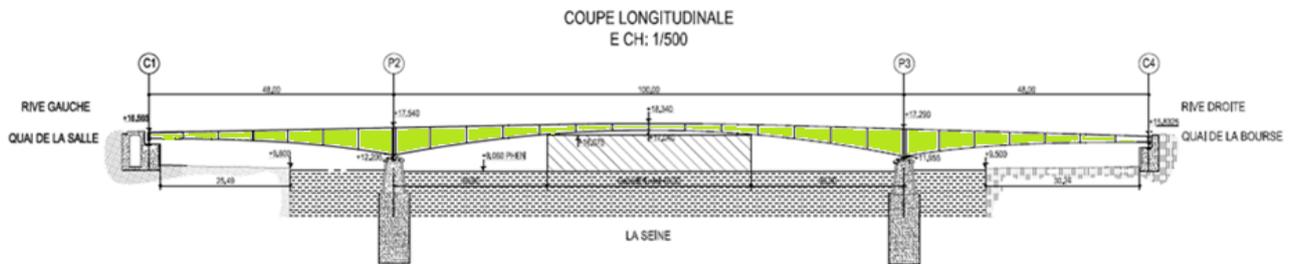


Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Présentation du projet



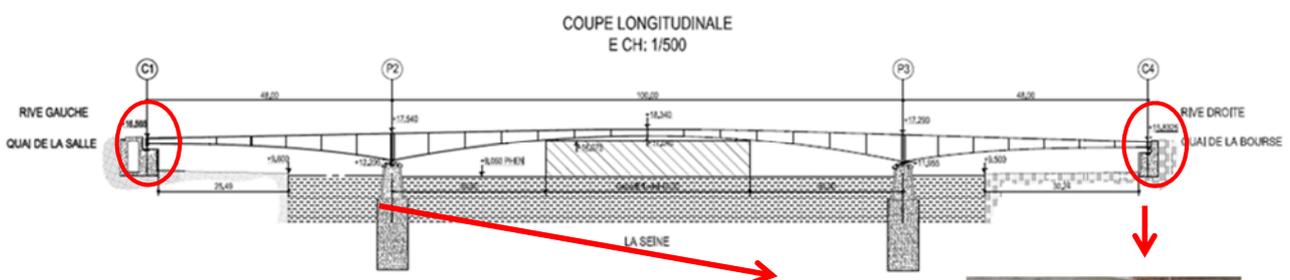
- Renforts soudés et entretoises
- Peinture et désamiantage

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Présentation du projet



- Renforts soudés et entretoises
- Peinture et désamiantage
- Remplacement appareils d'appuis et garde-corps



Flexion transversale

- Charges permanentes

	Charge	coefficient majorateur	coefficient minorateur
Hourdis	3,75 kN/m ²	1,1	0,9
Asphalte	0,73 kN/m ²	0,8	1,4
revêtement routier	1,91 kN/m ²	0,8	1,4
Plate-forme Tram	5,8 kN/m ²	0,8	1,4
trottoir	4,9 kN/m ²	0,9	1,1
Revêtement trottoir	0,49 kN/m ²	0,8	1,4
Garde-corps	1 kN	1	1
candélabres	2 kN	1	1
Acier	variable		

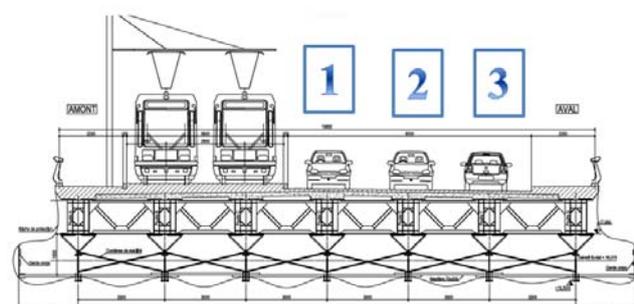
Flexion transversale

- Charges de trafic : modèle LM1

groupe de charges	LM1			LM2	charge uniformément répartie
	TS	UDL	Tramway	Essieu unique	Trottoirs
gr 1a	1*TS	1*UDL	1*Tram _{carac}		0,4*3kN/m ²
gr 1b				1*EU	
gr 3					1*5kN/m ²

$Q_{R, \text{trafic}} = \text{enveloppe (gr1a, gr1b, gr3)}$

→ Détermination des numéros de voie



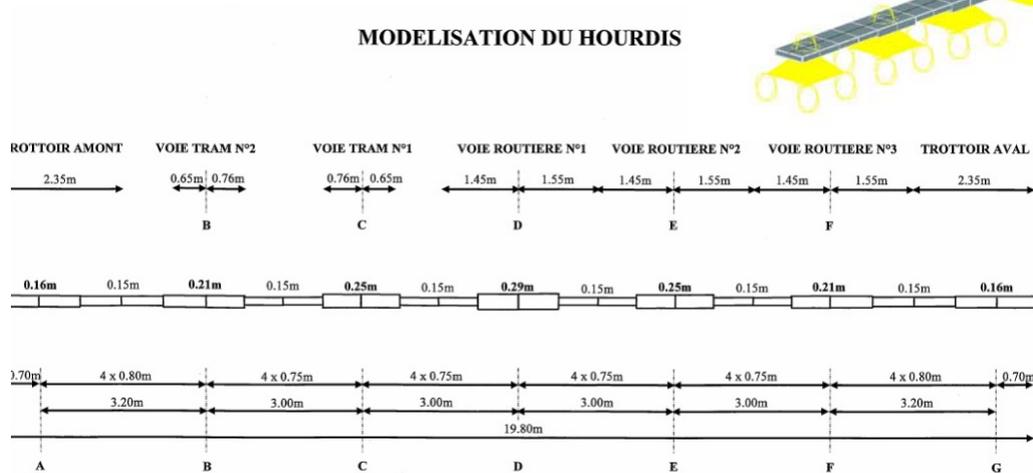
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Flexion transversale

- Modèle utilisé

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Flexion transversale

- Comparaison des voies



Combinaison	Mmin (kN.m)	Mmax (kN.m)	Tmin (kN)	Tmax (kN)
LM1-1 2 3	-177,371	21,61	-202,11	219,86
LM1-1 3 2	-162,415	17,61	-202,11	200,81
LM1-2 1 3	-167,66	25,73	-197,26	208,97
LM1-2 3 1	-158,9	28,9	-186,707	200,59
LM1-3 1 2	-173,58	34,16	-195,28	218,14
LM1-3 2 1	-163,63	34,66	-198,86	203,26
LM2-1	-161,06	15,05	-192,68	192,68
LM2-2	-149,15	20,95	-172,07	186,14
LM2-3	-153,57	29,37	-177,67	192,33

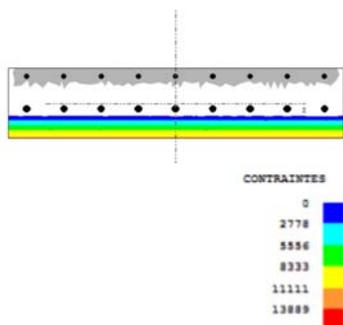
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Flexion transversale

- Vérification des sections



D'après la norme NF EN 1992-1-1 § 2.4.2 et 7.2 :

	BETON	ARMATURES
ELU Fondamental	$\sigma_b \leq f_{ck}/1,5$	$\sigma_{st} \leq f_{yk}/1,15$
ELS Caractéristique	$\sigma_b \leq 0,60 f_{ck}$	$\sigma_{st} \leq 0,80 f_{yk}$

Avec : σ_b = contrainte de compression dans le béton,
 σ_{st} = contraintes de traction dans les armatures,

➔ Pas de convergence pour l'enveloppe

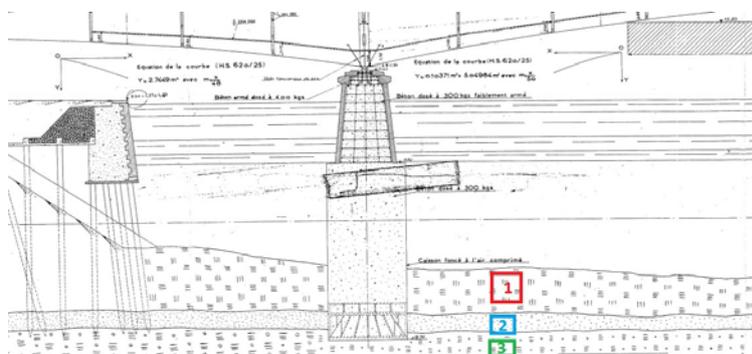
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Tassement d'appuis

- Calcul du tassement d'une pile



Colonne1	C' (kPa)	ϕ'	γ_h (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	Em (Mpa)	Es (Mpa)
sable calcaire	0	30	18	21	11	10	20
sable siliceux	0	30	19	21	11	10	20
marne calcaire	20	25	19	21	11	50	80

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Tassement d'appuis

- Calcul du tassement d'une pile

- Méthode élastique

$$s = f \cdot \frac{1 - \nu'^2}{E'} B \cdot (q' - \sigma'_{v0})$$

- Méthode pressiométrique

$$s = s_c + s_d$$

$$s_d = \frac{2}{9 \cdot E_d} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B_0 \cdot \left(\lambda_d \frac{B}{B_0}\right)^\alpha \quad s_c = \frac{\alpha}{9 \cdot E_c} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot \lambda_c \cdot B$$

méthode utilisée	Tassement (cm)
théorie de l'élasticité pour une semelle ancrée	7,1
méthode pressiométrique pour une couche homogène	1,4

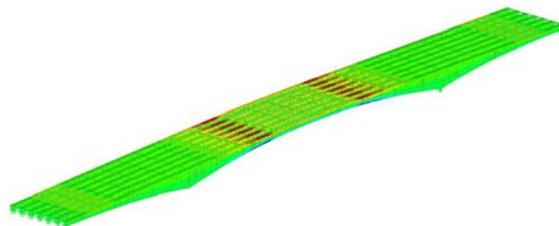
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

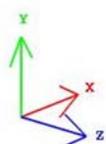
Tassement d'appuis

- Effet du déplacement des appuis



$$\sigma_{\max} = 16,66 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\min} = -16,61 \text{ MPa}$$



- Contraintes normales dans les poutres :

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Tassement d'appuis

- Vérification à l'ELS

On trace alors l'enveloppe des contraintes, avec l'ELS caractéristique

$$\sigma_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \quad \text{avec} \quad \gamma_{M,ser} = 1,00 \quad (\text{NF EN 1993-2 7.3(1)})$$

$$\sigma_{max} = 199 \text{ Mpa} < f_y = 240 \text{ MPa}$$

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

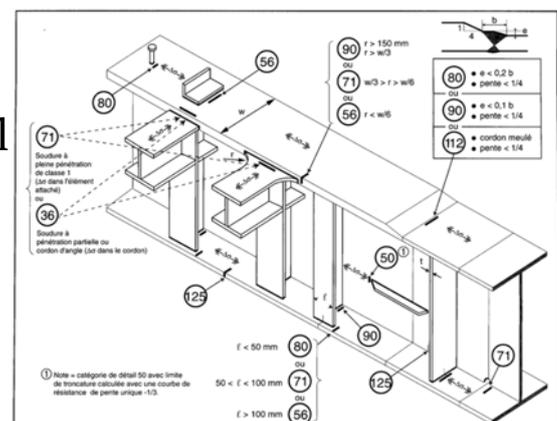
Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Etude à la fatigue : Comparaison méthode du réservoir (Setra) et étude réalisée (goutte d'eau)

1. Définition des classes de détail
2. Calculer les $\Delta\sigma$
3. Calculer l'endommagement



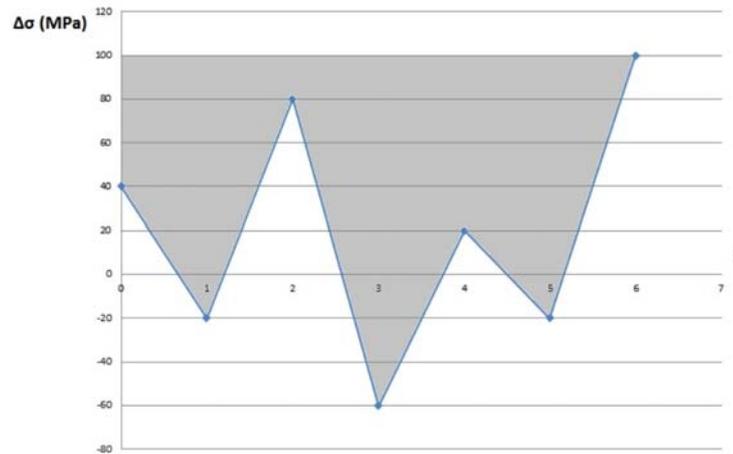
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode du réservoir



Historique des
contraintes

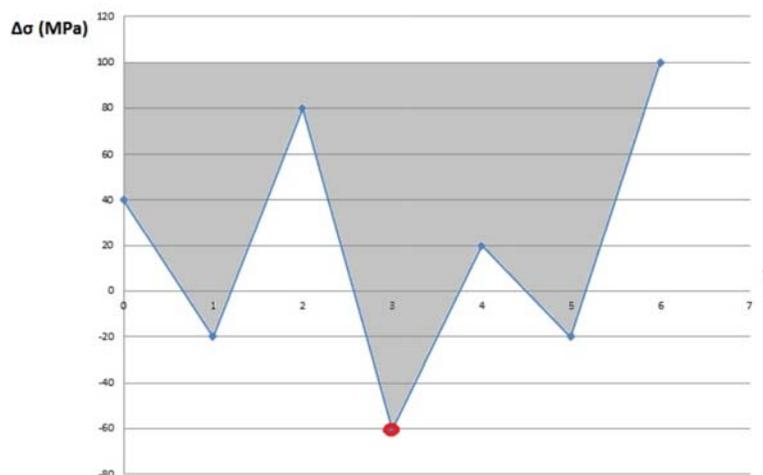
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode du réservoir



Historique des
contraintes

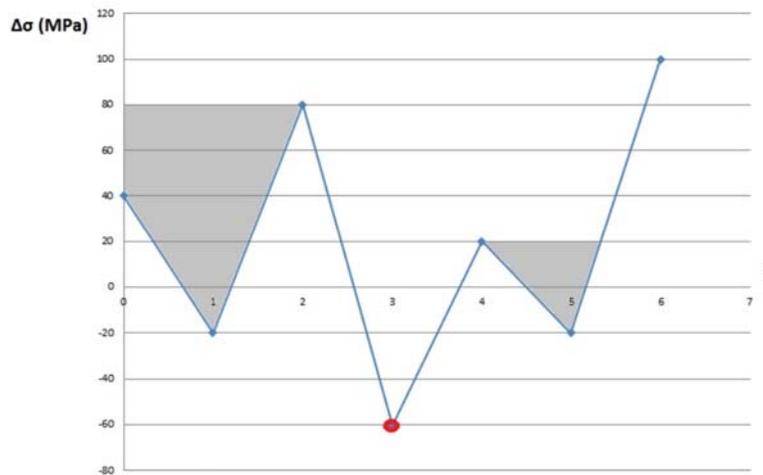
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode du réservoir



$$\Delta\sigma_1 = 160 \text{ MPa}$$

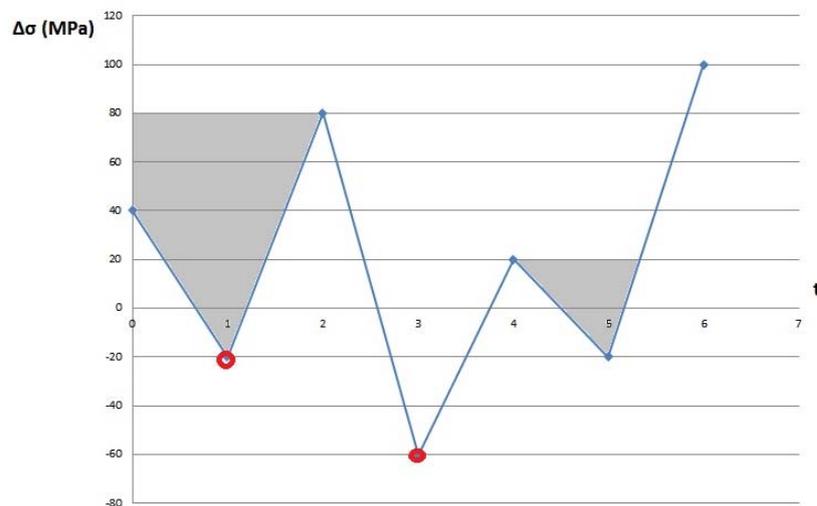
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode du réservoir



$$\Delta\sigma_1 = 160 \text{ MPa}$$

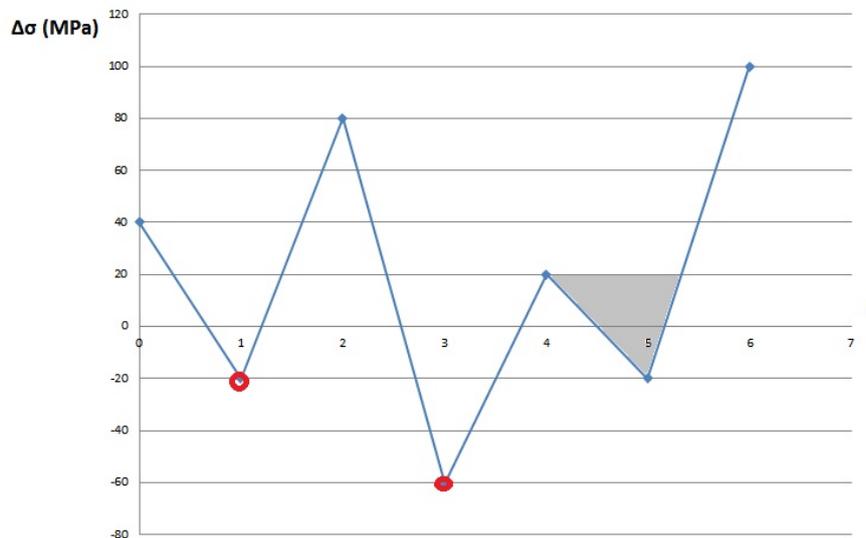
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode du réservoir



$$\Delta\sigma_1 = 160 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_2 = 100 \text{ MPa}$$

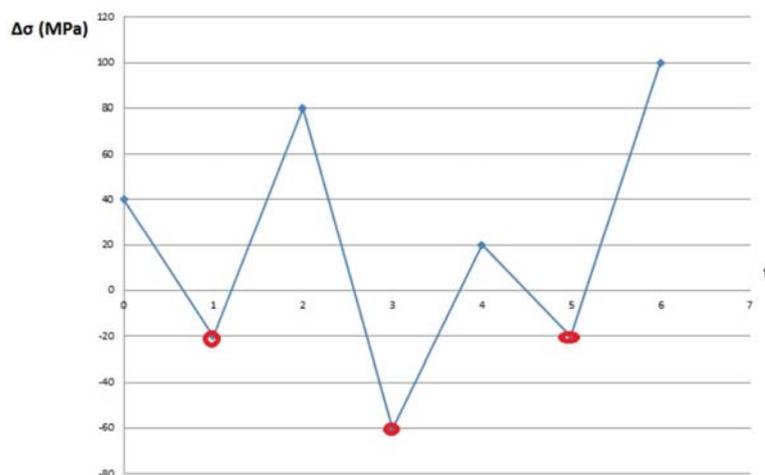
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode du réservoir



$$\Delta\sigma_1 = 160 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_2 = 100 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_3 = 40 \text{ MPa}$$

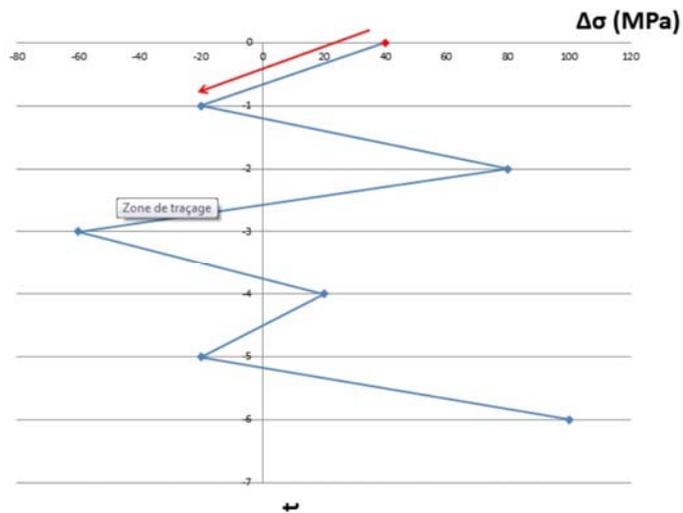
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode de la goutte d'eau



$$\Delta\sigma_1 = 60 \text{ MPa}$$

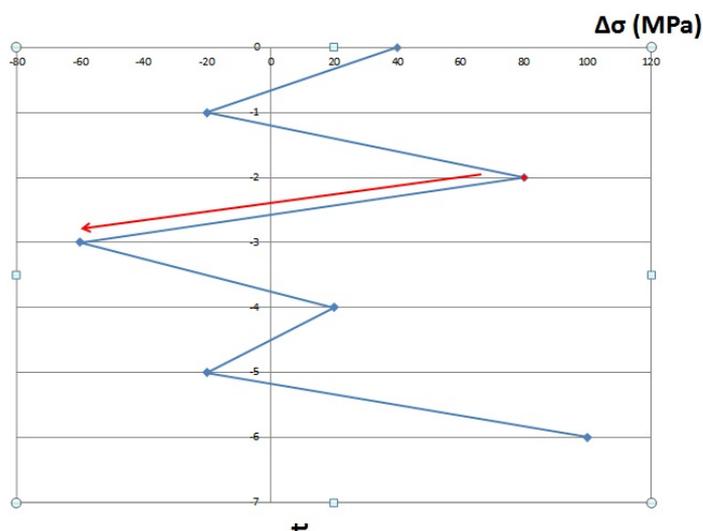
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode de la goutte d'eau



$$\Delta\sigma_1 = 60 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_2 = 140 \text{ MPa}$$

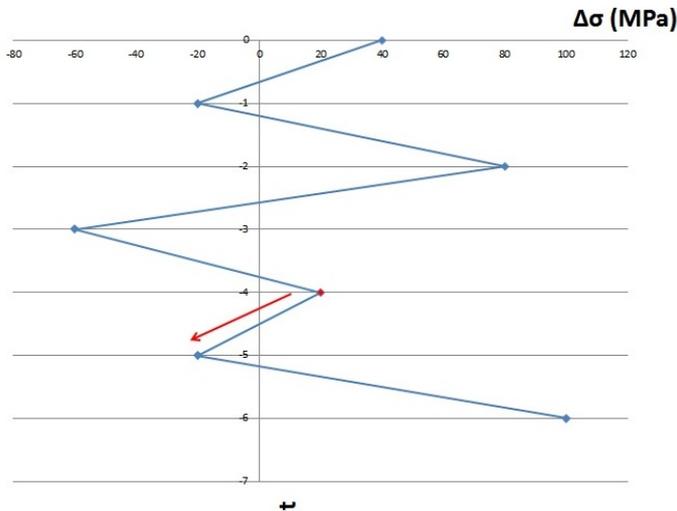
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode de la goutte d'eau



$$\Delta\sigma_1 = 60 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_2 = 140 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_3 = 40 \text{ MPa}$$

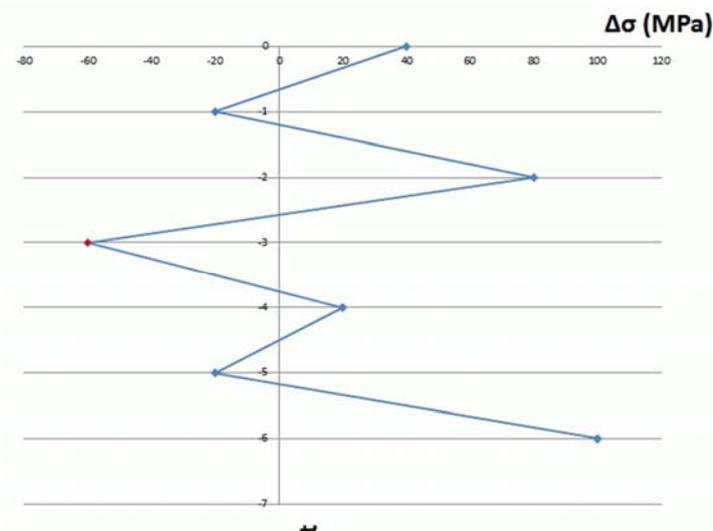
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Méthode de la goutte d'eau



$$\Delta\sigma_1 = 160 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_2 = 100 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_3 = 40 \text{ MPa}$$

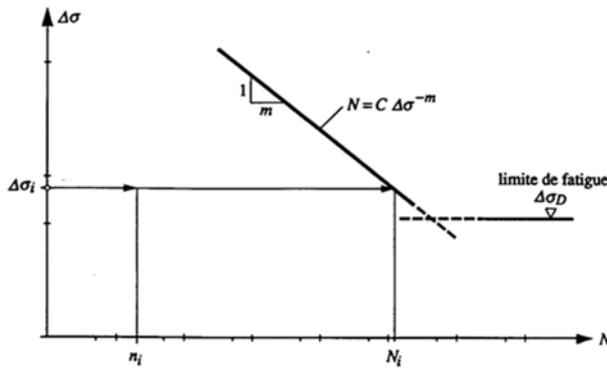
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Calculer le nombre de cycles



$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \text{ (Palmgren-Miner)}$$

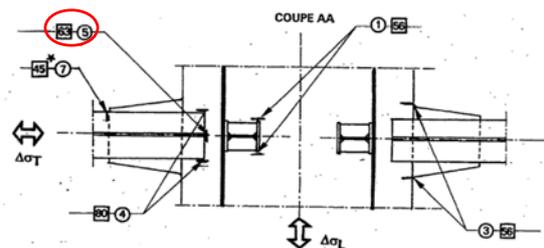
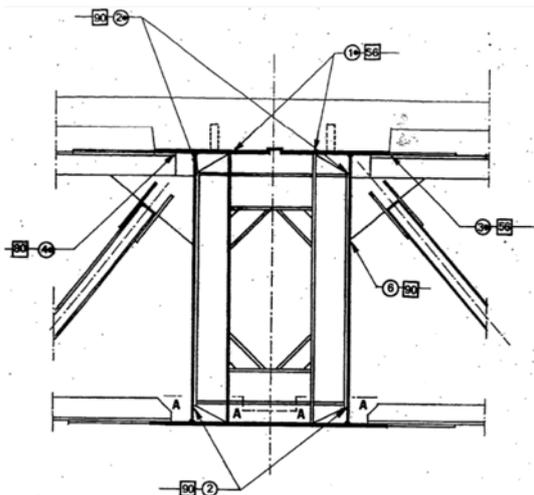
Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Eléments étudiés



Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Résultats par la méthode de la goutte d'eau
1956-1994

	cellule 1	cellule 2	cellule 3	cellule 4
diagonale amont	0,03	0	0	0
diagonale aval	0,03	0	0,01	0,01

1994-2012

	cellule 1	cellule 2	cellule 3	cellule 4
diagonale amont	0,12	0,05	0,25	0,08
diagonale aval	0,09	0,05	0,36	0,07

2012-2042 (non renforcé)

	cellule 1	cellule 2	cellule 3	cellule 4
diagonale amont	1,69	1,32	0,6	0,48
diagonale aval	0,81	1,32	1,27	0,17

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Résultats par la méthode de la goutte d'eau

1956-2042 (non renforcé)

	cellule 1	cellule 2	cellule 3	cellule 4
diagonale amont	1,84	1,37	0,85	0,56
diagonale aval	0,93	1,37	1,64	0,25

1956-2042 (renforcé)

	cellule 1	cellule 2	cellule 3	cellule 4
diagonale amont	0,37	0,87	0,55	0,14
diagonale aval	0,23	0,87	0,99	0,09

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Fatigue

- Comparaison des deux méthodes (2012-2042, ouvrage renforcé)

Réservoir

	cellule 1	cellule 2	cellule 3	cellule 4
diagonale amont	0,15	0,86	0,46	0,08
diagonale aval	0,13	0,85	0,62	0,08

Goutte d'eau

	cellule 1	cellule 2	cellule 3	cellule 4
diagonale amont	0,22	0,82	0,3	0,06
diagonale aval	0,11	0,82	0,62	0,01

Présentation
du projetFlexion
transversaleTassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Exploitations pédagogiques

- Comparer deux solutions de fondations
 - ✓ **Objectifs** : A partir des plans d'une étude de sol et d'une descente de charge, les étudiants devront dimensionner une fondation superficielle et une fondation profonde puis comparer les deux solutions.
 - ✓ **Niveau** : lut génie civil, semestre 4
 - ✓ **Dossier transmis** : - Descente de charge du pont sur une pile
 - Fascicule 62 titre V
 - Coupe lithologique et paramètres des sols

Exploitations pédagogiques

- Dimensionnement d'éléments métalliques
 - ✓ **Objectifs** : Modéliser sur un logiciel de calcul une partie de la structure, effectuer les vérifications réglementaires pour les éléments métalliques et comparer avec le modèle éléments finis de l'ouvrage complet.
 - ✓ **Niveau** : IUT génie civil, semestre 3, module ST5
 - ✓ **Dossier transmis** : - Un plan schématique de l'entretoise
 - Inventaire de toutes les actions à considérer
 - Extraits de l'Eurocode 3

Exploitations pédagogiques

- Phasage de la construction d'un sous-ensemble
 - ✓ **Objectifs** : A partir des plans de la zone à réaliser et des plans d'installation de chantier, l'élève doit repérer et lister les tâches à prévoir (y compris approvisionnement, stockage, sécurité...) puis identifier les interactions de cette phase de construction avec l'ensemble de la réalisation.
 - ✓ **Niveau** : Terminale STI2D spécialité architecture et construction
 - ✓ **Dossier transmis** : - Plan de la zone à réaliser
 - Plan d'installation de chantier

Présentation
du projet

Flexion
transversale

Tassement
d'appuis

Fatigue

Exploitations
pédagogiques

Conclusion

Merci pour votre attention