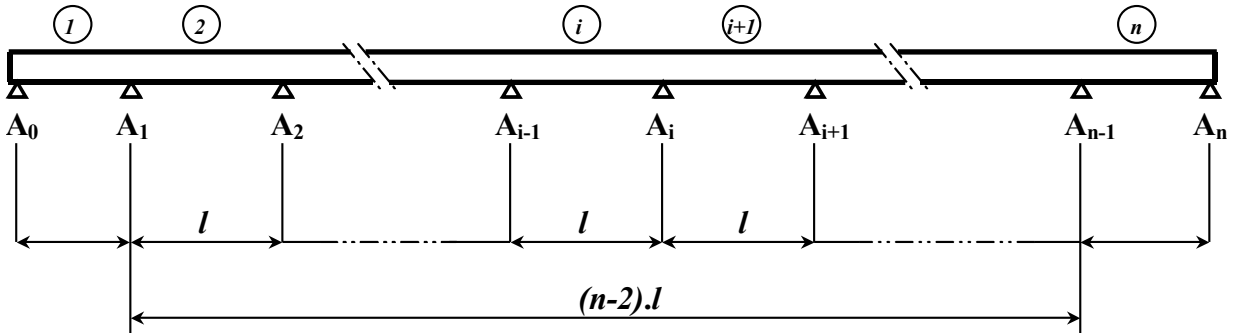


Ponts construits à l'avancement par travées entières

Vue de la structure (généralisée avec n appuis)



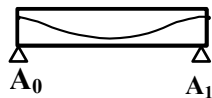
Cinématique de construction

Phase 1



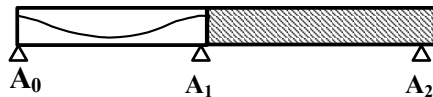
Bétonnage (sur cintre) de la travée 1 et d'une amorce de la travée 2

Phase 2



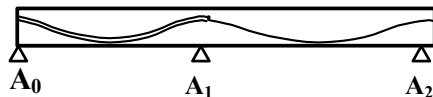
Mise en tension des câbles de précontrainte régnant sur la travée 1 (force de précontrainte P/2)

Phase 3



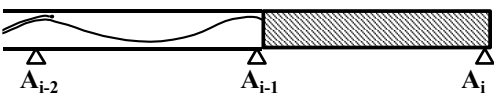
Bétonnage de la travée 2 et de l'amorce de la travée 3

Phase 4



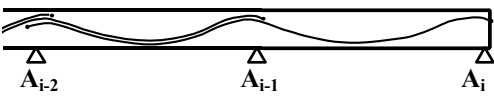
Mise en tension des câbles régnant sur les travées 1 et 2 (filant de A0 à A2). Force P/2

Phase 2i-1



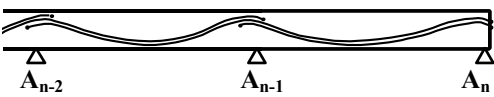
Bétonnage de la travée i

Phase 2i



Mise en tension des câbles régnant sur les travées i-1 et i (filant de Ai-2 à Ai ; force P/2)

Phase 2n+1



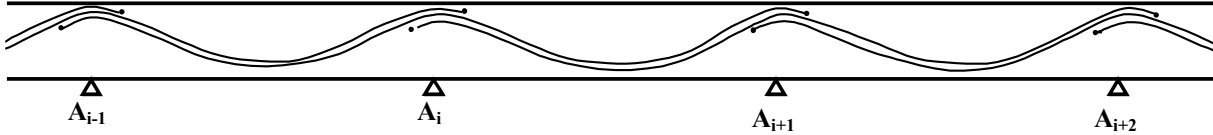
Mise en tension des câbles régnant sur la travée n

Phase 2n-2

Pose des équipements

Tracé de la précontrainte

La précontrainte est formée de câbles régnant sur deux travées (sauf en travées de rive) et se chevauchant : au droit de chaque pile, on ancre la moitié des câbles.



Les câbles ont tous même tracé en élévation, dans toutes les travées. Ce tracé est symétrique par rapport au milieu de la travée. Chaque famille de câbles (ensemble des câbles régnant sur le même tronçon) a une force totale égale à $P/2$: la précontrainte totale est constante le long du tablier et vaut P .

Caractéristiques mécaniques du tablier

On suppose le tablier de section constante (B , I , v et v' sont constants).

Actions en service

- Permanentes :
 - Poids propre G ,
 - Superstructures G' ,
- Variables :
 - Charges roulantes Q , assimilées à une densité uniforme q , disposée de manière à produire l'effet le plus défavorable,
 - Gradient thermique GT .

Calcul de la structure

On s'intéressera aux travées « courantes », que l'on peut considérer comme précédées et suivies d'un grand nombre de travées identiques.

Actions appliquées à la structure :

1. L'effet du poids propre en fin de construction G ,
2. L'effet de la pose des superstructures G' ,
3. L'effet des charges roulantes Q ,
4. L'effet d'un gradient thermique GT ,
5. L'effet de la précontrainte en fin de construction P ,

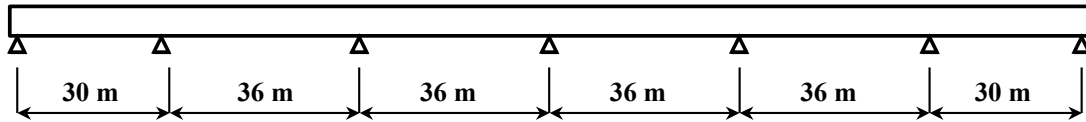
(Pour l'effet de la précontrainte, on notera \bar{e}_0 la valeur moyenne de l'excentricité des

$$\text{câbles : } \bar{e}_0 = \frac{1}{l} \int_0^l e_0(x) dx)$$

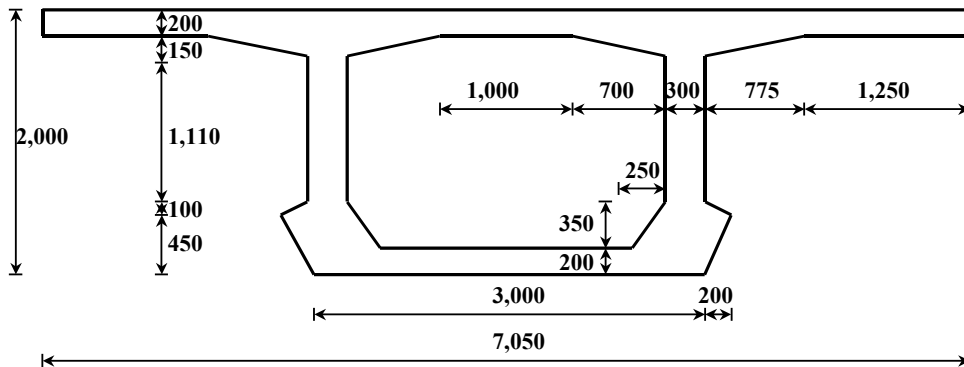
Application : viaducs du métro (VAL) de Toulouse

Données géométriques et caractéristiques mécaniques

Coupe longitudinale



Coupe transversale



On admettra : $B = 3,5 \text{ m}^2$ $I = 2 \text{ m}^4$
 $v = 0,80 \text{ m}$ $v' = 1,20 \text{ m}$ $\rho = 0,6$

Chargements

- Superstructures : $g' = 55 \text{ kN/m}$
- Charges roulantes : $q_r = 40 \text{ kN/m}$
- Gradient thermique : $\Delta\theta = 12^\circ\text{C}$ seul, 6°C cumulé avec les charges d'exploitation

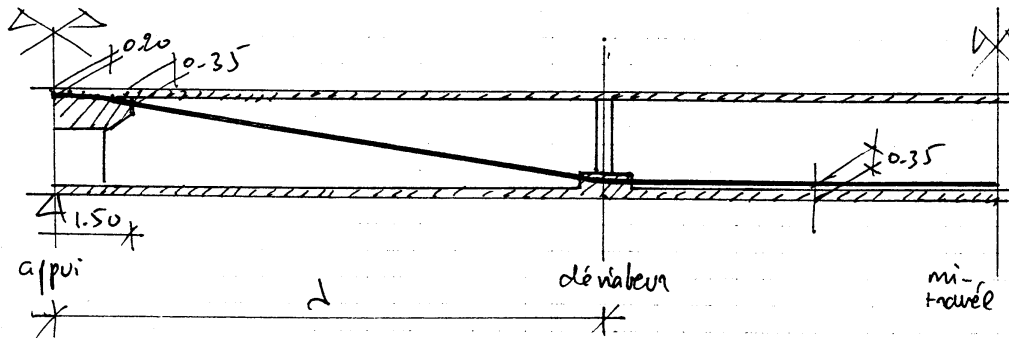
Combinaisons d'actions

- $P + G + Q_r + \Delta\theta (6^\circ\text{C})$ (Combinaison 1)
- $P + G + \Delta\theta (12^\circ\text{C})$ (Combinaison 2)

Limites de contraintes à respecter

- ELS quasi-permanente, en tout point de la section : $0 \leq \sigma \leq 0,5 \cdot f_{ck}$ (= 17,5 Mpa)
- ELS caractéristiques : $-f_{ctm} \leq \sigma \leq 0,6 \cdot f_{ck}$ ($-3,21 \text{ MPa} \leq \sigma \leq 21 \text{ Mpa}$)

Précontrainte – câblage extérieur – Tracé d'une travée courante

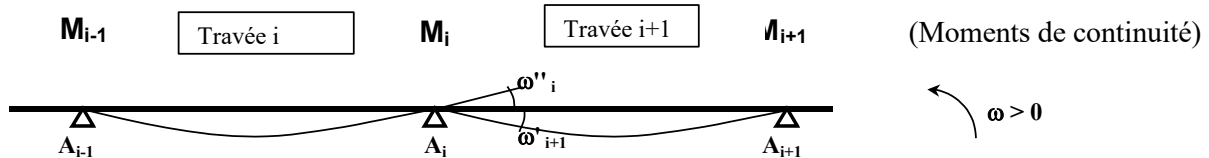


- λ à déterminer
- Les câbles sont filants sur deux travées ;

Déterminer :

- Les moments dus aux actions appliquées à la structure dans une travée courante sachant que le phasage de construction est analogue à celui de la page 1. Déterminer l'action du poids propre à l'aide du théorème des 3 moments sans simplification.
- La précontrainte minimale nécessaire,
- Le tracé des câbles (c'est à dire la position des déviateurs),

RAPPEL : Méthode d'analyse des poutres continues à partir de la relation des trois moments



$$b_i \cdot M_{i-1} + (c_i + a_{i+1}) \cdot M_i + b_{i+1} \cdot M_{i+1} = \omega'_{i+1} - \omega''_i \quad (\text{relation des trois moments})$$

ω'_i et ω''_i sont les rotations isostatiques sous le chargement réel :

$$\omega'_i = -\int_0^{l_i} m(x) \cdot \frac{x}{l_i} \cdot \frac{dx}{EI} \quad \omega''_i = \int_0^{l_i} m(x) \cdot \left(1 - \frac{x}{l_i}\right) \cdot \frac{dx}{EI}$$

Si seule la travée i est chargée, la résolution du système donne :

$$M_{i-1} = \frac{1}{b_i} \cdot \frac{\varphi_i \cdot (\omega'_i + \varphi'_i \cdot \omega''_i)}{(1 - \varphi_i \cdot \varphi'_i)} \quad M_{i-2} = -\varphi_{i-1} \cdot M_{i-1} \quad \text{etc.}$$

$$M_i = -\frac{1}{b_i} \cdot \frac{\varphi'_i \cdot (\omega''_i + \varphi_i \cdot \omega'_i)}{(1 - \varphi_i \cdot \varphi'_i)} \quad M_{i+1} = -\varphi'_{i+1} \cdot M_i \quad \text{etc.}$$

où φ_i (resp. φ'_i) est le rapport focal de gauche (resp. de droite) de la travée i.

Les rapports focaux vérifient les relations de récurrence :

$$\varphi_{i+1} = \frac{b_{i+1}}{c_i + a_{i+1} - b_i \cdot \varphi_i} \quad \text{avec } \varphi_1 = 0$$

$$\varphi'_{i-1} = \frac{b_{i-1}}{c_{i-1} + a_i - b_i \cdot \varphi'_i} \quad \text{avec } \varphi'_n = 0$$

Dans le cas d'une poutre de section constante et dont les portées sont toutes égales à l :

$$\varphi_{i+1} = \frac{1}{4 - \varphi_i} \quad \varphi'_{i-1} = \frac{1}{4 - \varphi'_i}$$

pour les travées courantes (loin des extrémités) :

$$\varphi_i = \varphi'_i = 2 - \sqrt{3} = 0,268$$