

Déformations différées des structures

Le pont de Savines et le pont de Cheviré

Colloque GC'15 - Le Génie Civil en transition

Session 5 : Diagnostics, réparations et maintenances

19 mars 2015, ESTP Cachan, France



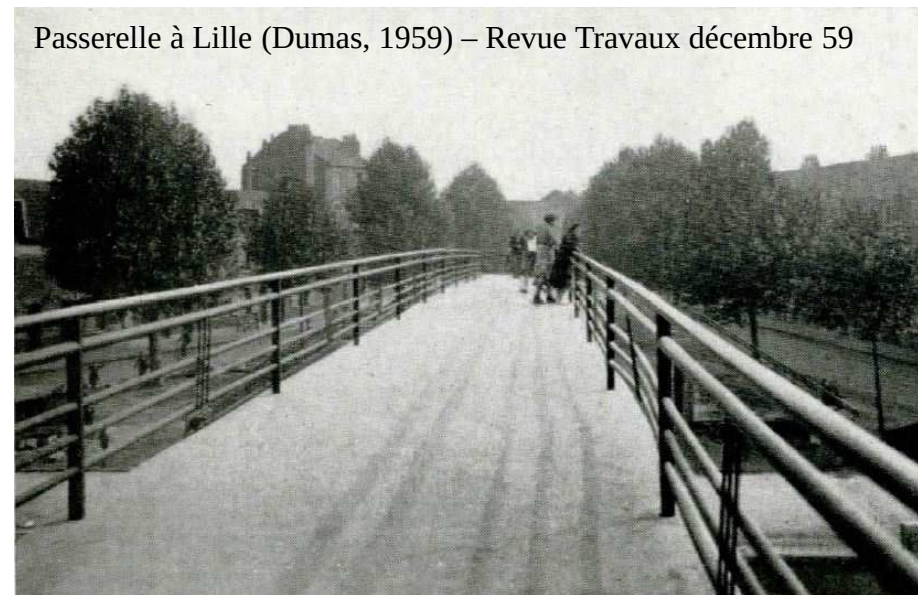
Auteurs : Jean-Philippe Sellin
Jean-François Barthélémy
Jean-Michel Torrenti
Gaël Bondonet & Bertrand Cauvin

Problématiques

- De qualité de service pour les usagers
 - Déformations excessives des ouvrages;
 - Impacts sur les équipements;
- Pour des structures fortement hyperstatiques
 - Possible redistribution d'efforts dans la structure;

Exemples de pathologies

- Déformations excessives à mi-travée
- Impact sur les équipements
(flambement des garde-corps)



Le pont de Savines

- Ouvrage construit de 1958 à 1960
 - 13 travées construites par encorbellements successifs (77 m de longueur)
 - Précontraint par post-tension
 - Les fléaux sont liés par des articulations ne transmettant que de l'effort tranchant d'un fléau à l'autre
- structure pouvant être vue en premier lieu comme isostatique

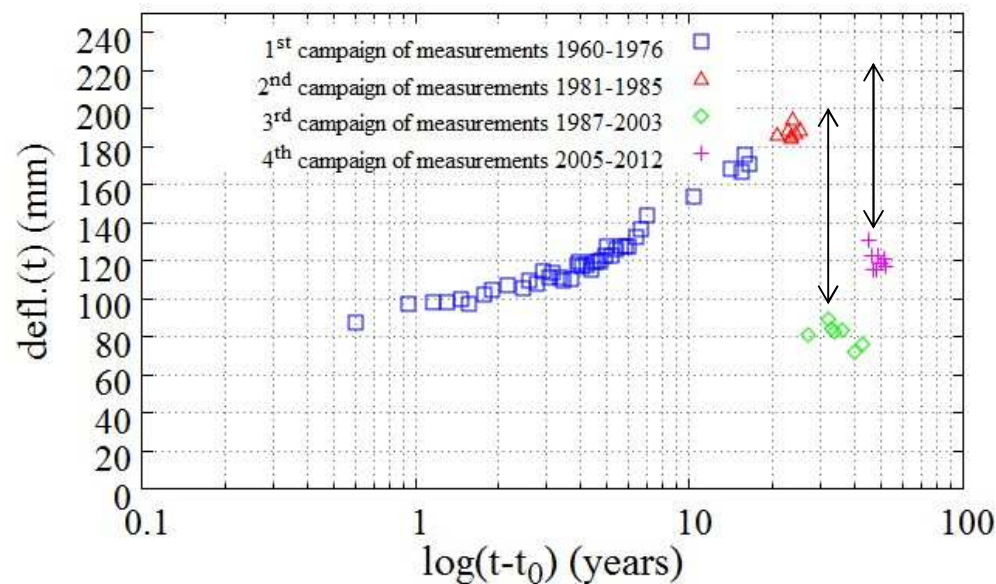


Crédit photo: Jean-Michel Torrenti

Le pont de Savines

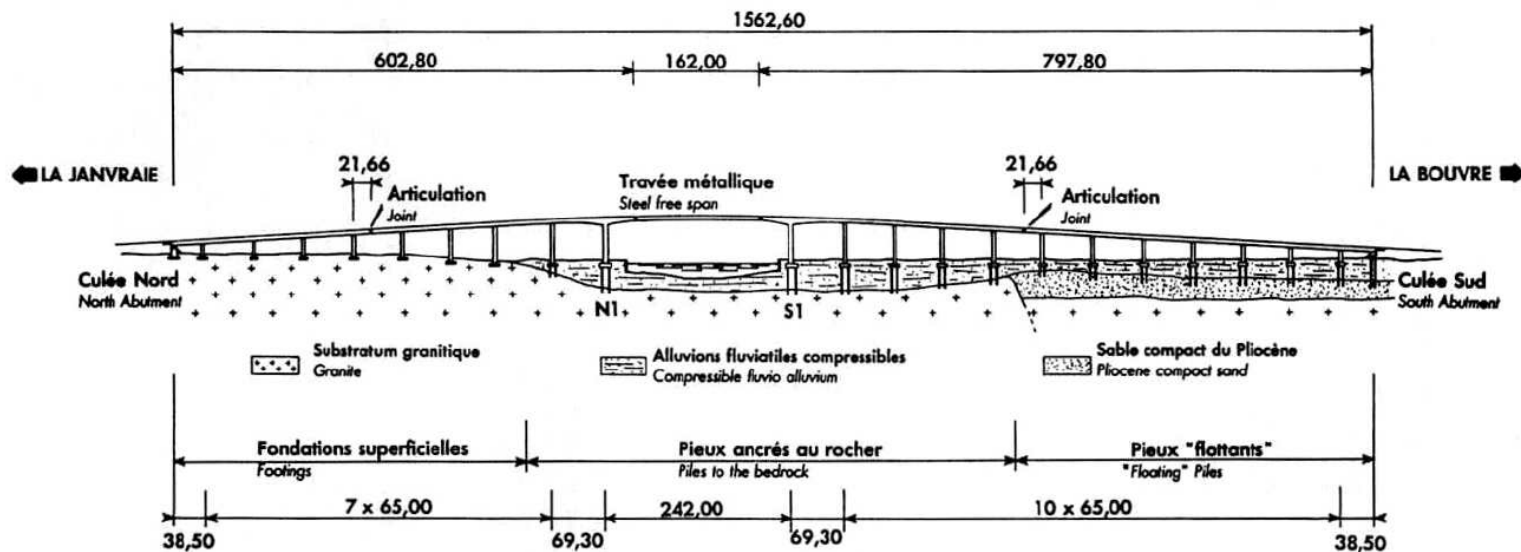
Suivi de l'ouvrage

- Suivi par des mesures topographiques depuis sa mise en service en 1961
- Quatre périodes de mesures



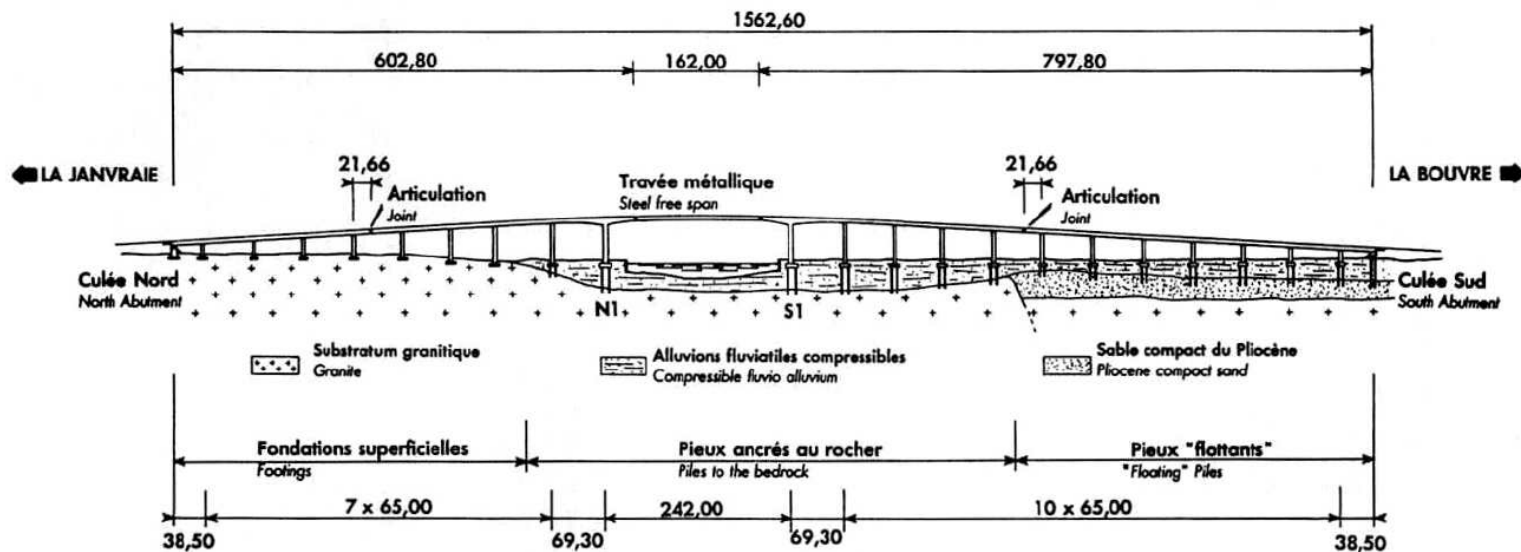
Le pont de Cheviré

- Construit en 1991
- Environ 1600 m de long
 - Composé de deux viaducs d'accès
- Structure fortement précontrainte

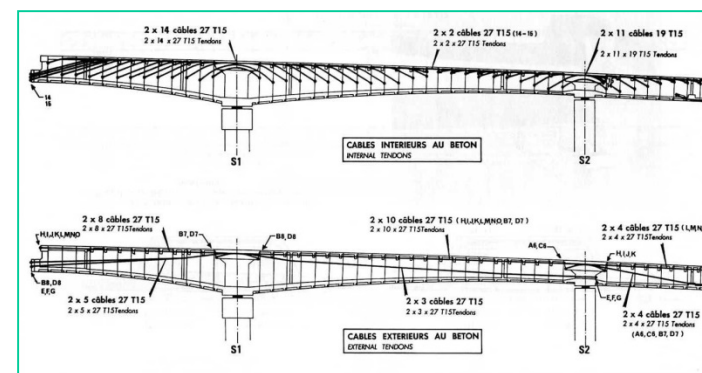
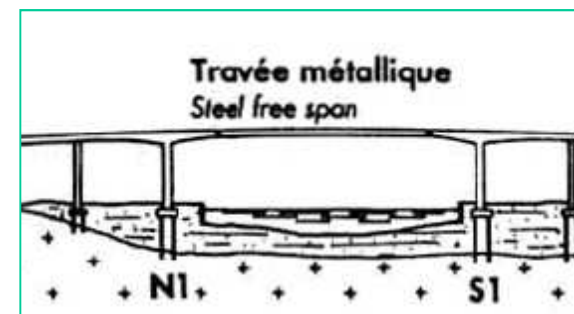


Le pont de Cheviré

- La travée centrale est constituée de :
 - Deux consoles en béton précontraint (40 m) supportant une travée isostatique métallique (162 m)



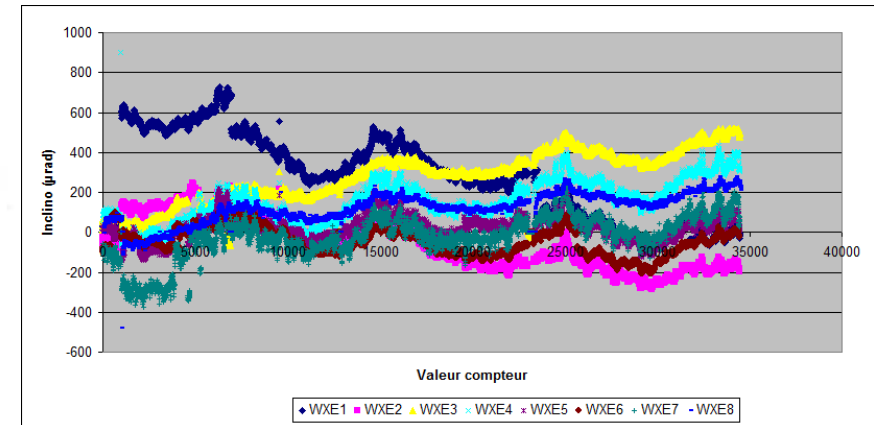
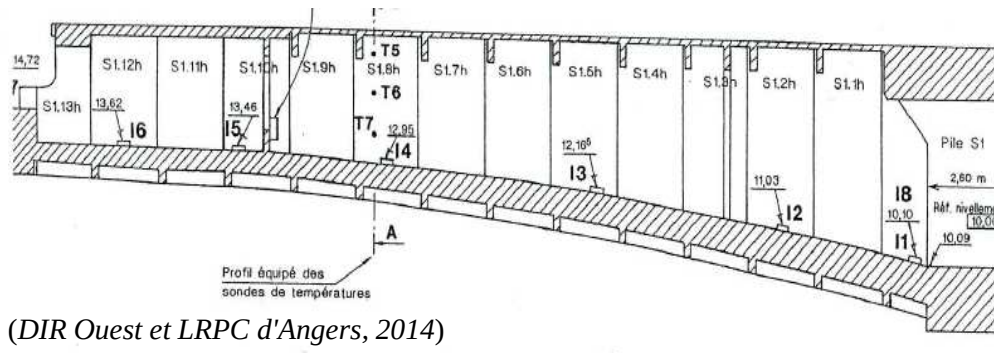
Le pont de Cheviré



Le pont de Cheviré

Suivi de l'ouvrage

- De 1991 à 2001: mesures topographiques
- Depuis 2001: mesure d'inclinaisons et de températures
- Capteurs partiellement remplacés en 2009



Problématiques de ces ouvrages

Déformations importantes relevées pour :

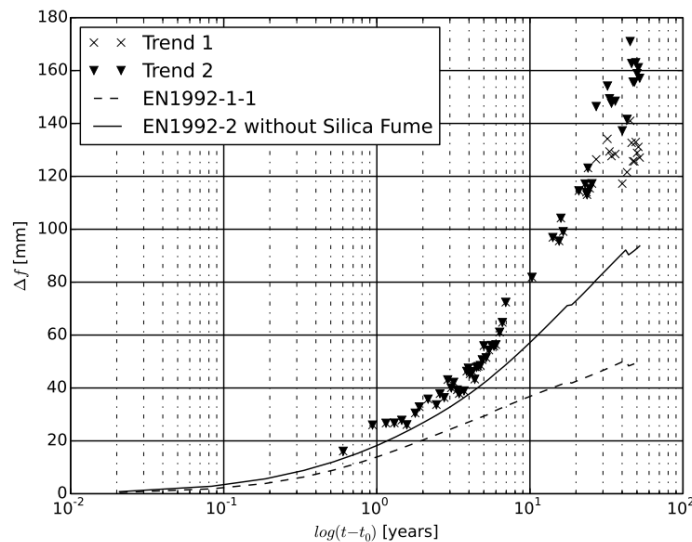
- Savines :
 - à mi-travée : environ 13 à 15 cm de flèche mesurée aujourd'hui
- Chevire:
 - en bout de console : environ 25 à 30 cm aujourd'hui

Comparaison entre modèles et mesures

Dans les deux cas : inaptitude à modéliser l'état actuel avec les Eurocodes

Pont de Savines

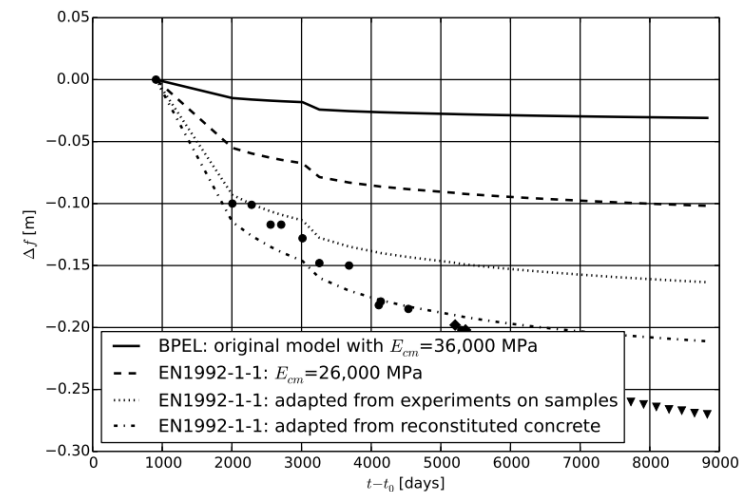
Modèle St1 **ST1**



Sous estimation de la flèche d'un facteur 2-3

Pont de Cheviré

Modèle PCP **PCP**



Sous estimation de la flèche + cinétique non adaptée

Comparaison entre modèles et mesures

Quelle est l'origine de ces disparités?

- Les modèles choisis ?
- Les caractéristiques des matériaux ?
- Les lois ?

Il faut donc identifier les paramètres majeurs qui interviennent dans le calcul de la flèche

Comparaison entre modèles et mesures

Incertitudes et mesures

Savines

Incertitudes sur:

- Module d'Young du béton
- Masse volumique du béton
- Relaxation des aciers à 1000 h

Cheviré

Mesures de :

- Résistance moyenne = 45.7 MPa
- Module d'Young très faible en moyenne ~ 26 GPa
- Retrait
- Fluage
- Forte porosité à l'eau

Lois de fluage et de retrait du béton

On propose l'adaptation suivante des lois :

- Pondération du retrait et du fluage

$$\epsilon = k_{as} \cdot \epsilon_{as} + k_{ds} \cdot \epsilon_{ds} + k_{bc} \cdot \epsilon_{bc}$$

Avec:

as: retrait endogène

ds: retrait de dessiccation

bc: fluage propre tel que pour l'EC2-2, $bc = bc_e + bc_d$

(Pour l'EN1992-2, le fluage propre se décompose en un fluage endogène et un fluage de dessiccation)

- Adaptation de la cinétique de fluage et de retrait pour l'EN1992-1-1 et pour l'EN1992-2

- Fluage propre:

$$\beta_c(j, j_0) = \left(\frac{j - j_0}{j - j_0 + \beta_{RH}} \right)^{k_{cf}}$$

- Retrait de dessiccation:

$$\beta_{ds}(j - j_0) = \frac{j - j_0}{j - j_0 + 0.04 \cdot k_{ks} \cdot \sqrt{h}^3}$$

Adaptation et optimisation

Choix des paramètres d'optimisation

Savines

- Relaxation probable autour de 9 à 12%
- Masse volumique et module d'Young incertains
- Module d'Young du béton diminué

Parameters	Constraints	Trend 1	Trend 2
k_{bc}	$0.4 \leq k_{bc} \leq 1.6$	1.5	1.6
k_{dc}	$0.4 \leq k_{dc} \leq 1.6$	1.5	1.6
k_{kc}	$0.1 \leq k_{kc} \leq 7.5$	1.4	1.4
ρ_{1000}	$9.0 \% \leq \rho_{1000} \leq 12.0 \%$	11.8	12.0
γ_c	$25 \text{ kN/m}^3 \leq \gamma_c \leq 27 \text{ kN/m}^3$	26.7	27.0

Cheviré

- Faible module d'Young en moyenne ~ 26GPa
- Effets de dessiccation majorés compte tenu de la forte porosité
- Adaptation des cinétiques de retrait et de fluage grâce aux mesures en laboratoire

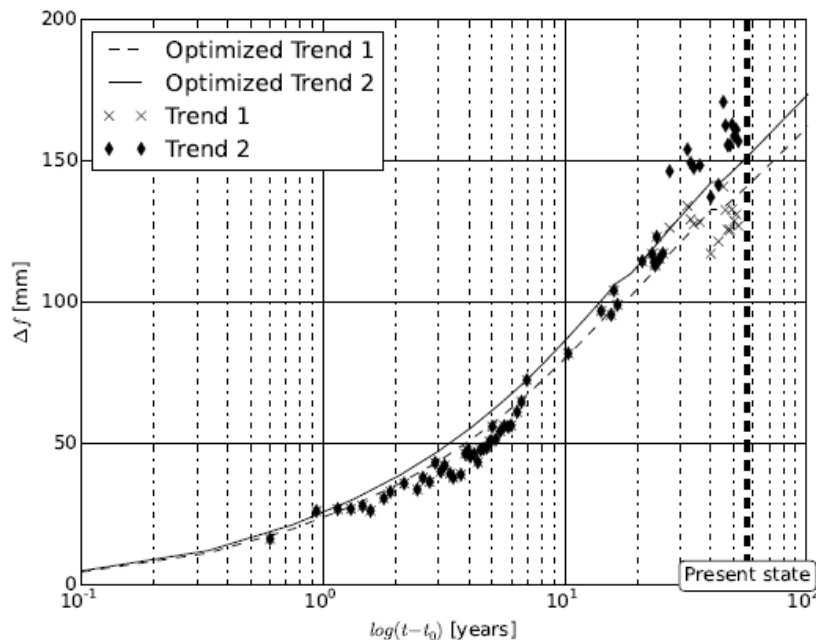
Parameters	Constraints	Optimum
H_g	$78 \% \leq H_g \leq 84 \%$	78.3 %
E_{cm}	$22,000 \text{ MPa} \leq E_{cm} \leq 30,000 \text{ MPa}$	29,600 MPa
k_{as}	$0.8 \leq k_{as} \leq 1.8$	1.6
k_{ds}	$2.5 \leq k_{ds} \leq 3.5$	3.4
k_{ks}	$0.8 \leq k_{ks} \leq 4.0$	3.9
k_{bc}	$1.1 \leq k_{bc} \leq 2.5$	2.0
k_{kc}	$0.2 \leq k_{kc} \leq 1.5$	1.4

Adaptation et optimisation

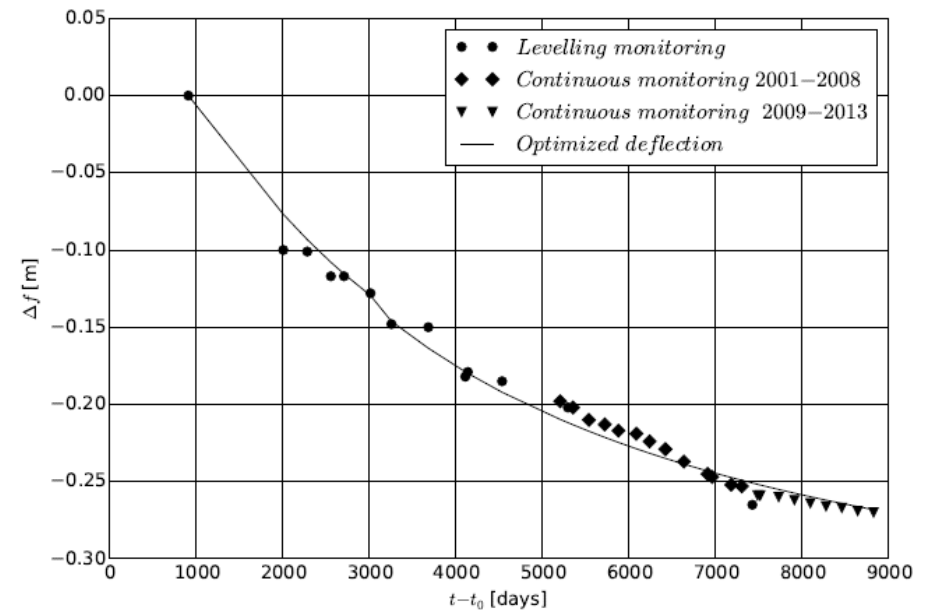
Optimisation aux moindres carrés

Dans les deux cas : atteinte de l'état de déformation

Savines



Cheviré



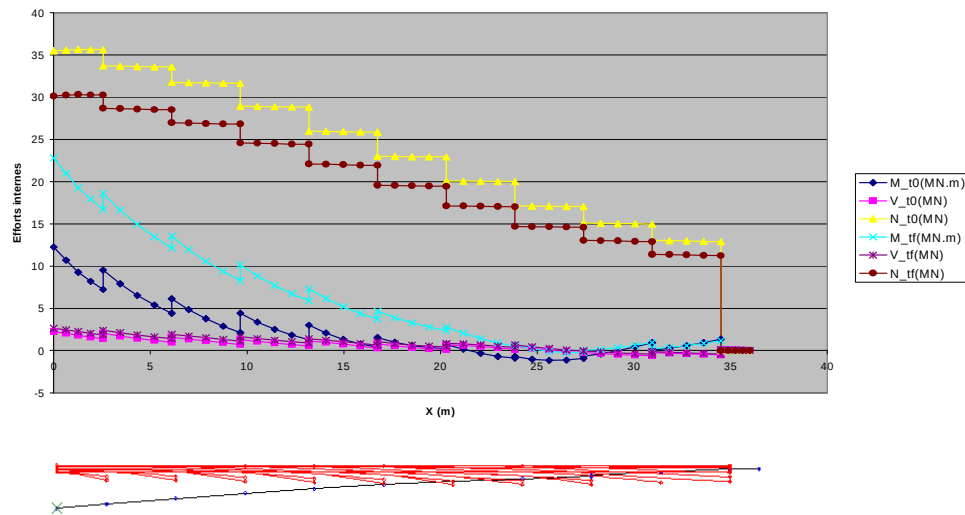
Adaptation et optimisation

Dans les deux cas : atteinte de l'état de déformation

- Il est alors possible de prévoir l'évolution des flèches pour quelques années
- Cependant:
 - Pour Cheviré: les mesures en laboratoire du retrait et du fluage (de 2002 à 2005) ont permis d'adapter les lois de l'Eurocode mais ne permettent toujours pas d'atteindre les flèches qui sont actuellement mesurées
 - Pour Savines:
 - aucune stagnation de la flèche n'est visible et cela ne nous permet pas de présumer de la tendance à venir
 - la forte relaxation des aciers obtenue après optimisation peut engendrer une perte importante de précontrainte

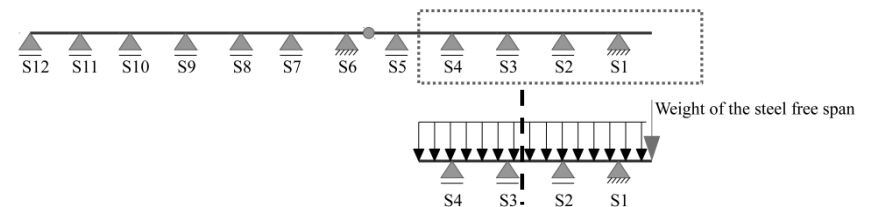
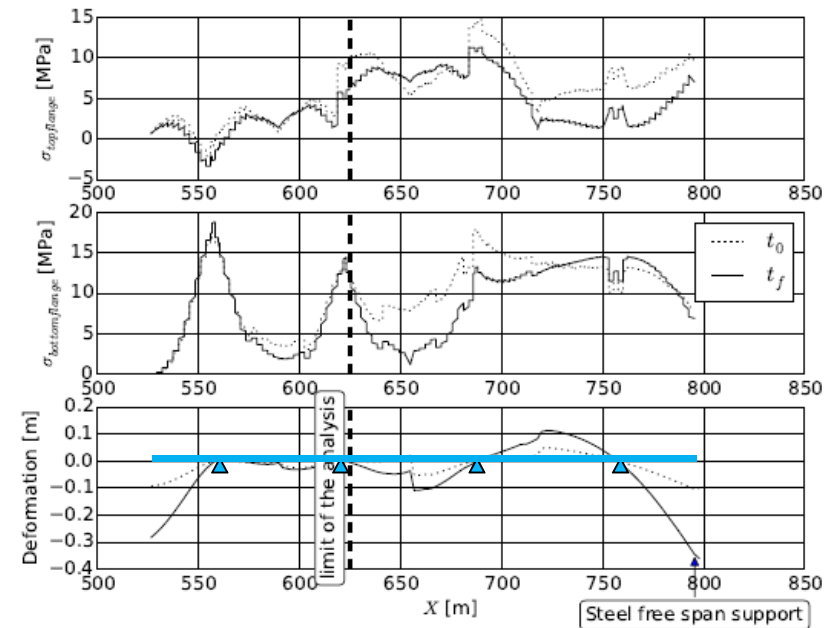
Evolution des efforts intérieurs

Savines



L'incertitude sur la relaxation engendre des pertes d'efforts importantes (si $\rho_{1000} = 12\%$)

Cheviré



Déformations différées des structures

Conclusions principales:

- Les lois de comportement du béton et des aciers de précontrainte actuellement proposées par les Eurocodes peuvent être mises en question au moins sur les deux exemples présentés
 - Dans les deux cas, la flèche est sous-estimée
- Bien que la signification physique des coefficients optimisés reste discutable, cela permet d'atteindre l'état de déformation de l'ouvrage et de présumer de l'état structurel de l'ouvrage
- Il faut porter une attention particulière aux méthodes de mesures, à leur fiabilité et à leur nécessaire continuité au cours du temps

Déformations différées des structures

Conclusions principales:

- La combinaison de la relaxation des aciers avec le fluage et le retrait du béton ne peut être négligée :

Dans le cas du pont de Savines, aucune stagnation de la flèche n'est visible et ce, bien que les lois de fluage ou de retrait présentent un caractère asymptotique pour les Eurocodes

Il a été observé que, sur la durée de vie des ouvrages, les flèches évoluent de manière logarithmique (Bazant et al., 2011).

- Cette information seule ne permet pas de remonter à la loi de fluage du béton ni d'identifier sa part intrinsèque dans les déformations observées.
- Sur l'échelle d'observation, il est difficile de prévoir une éventuelle stagnation de la flèche soit car le comportement des matériaux n'est pas asymptotique soit car le temps caractéristique est supérieur à l'échelle d'observation

Merci de votre attention

Jean-Philippe Sellin

Jean-François Barthélémy

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Centre des Techniques des Ouvrages d'Art

Division Ingénierie des Matériaux



jean-philippe.sellin@cerema.fr

<http://www.cerema.fr/>