

IMGC

LA DURABILITÉ DE LA PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE

Journée Technique
Vendredi 27 septembre 2018
FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS

AFGC
Association Française de Génie Civil

Mesures de tension résiduelle dans les câbles de précontrainte extérieure par méthode vibratoire LPC 35

Jean-Philippe MAHERAULT
et Eric HELIN (QUADRIC)

SOMMAIRE

1. Généralités
2. Références
3. Déroulé de l'auscultation
4. Un peu de théorie
5. Matériel – méthodologie
6. Applications





Mesures de tension résiduelle dans les câbles de précontrainte extérieure par méthode vibratoire LPC 35

1 - Généralités



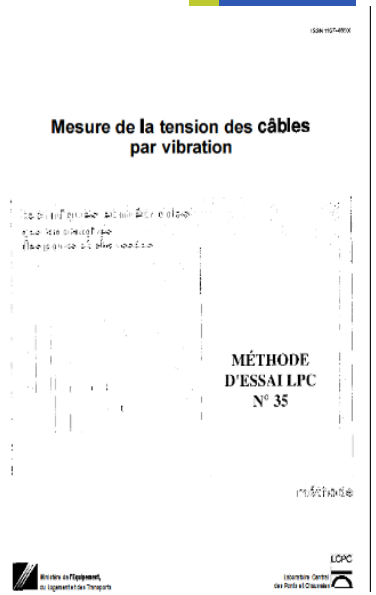
- Objectif
  - Effectuer la **mesure de la tension dans un câble** (il s'agit de l'effort moyen sur le tronçon de câble testé)

- Principe
  - **Exciter** le câble (choc mou)
  - **Mesurer** les fréquences vibratoires,
  - **Calculer** la tension dans le câble.

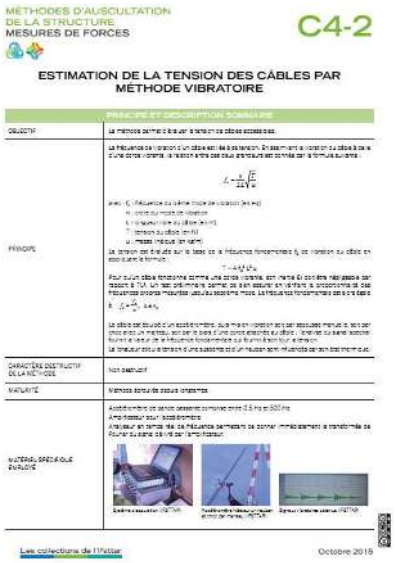


2 - Références

- Méthode d'essai LPC n°35 du Ministère de l'Equipement, du Logement et des Transports - janvier 1993



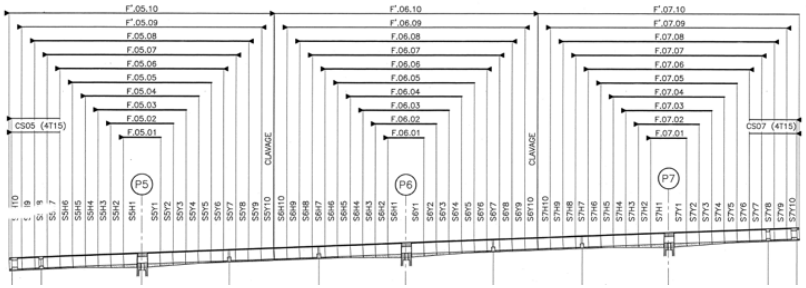
- Fiche C4-2 de l'IFSTTAR –Estimation de la tension des câbles par la méthode vibratoire – octobre 2015



3 – Déroulé de l'auscultation

3-1 Préparation de l'intervention

- Récupération du **plan de précontrainte et du carnet de mise en tension**



- Calcul de la **masse linéique** des câbles

	Câbles 19 T 15
Øgaine ext (m)	0,113
Øgaine int (m)	0,097
Densité PEHD	0,95
Poids de la gaine (kg/m)	**2,5**
Section T 15 (m^2)	1,5E-04
Nombre de torons	19
Densité toron	7,85
Poids des torons (kg/m)	**22,4**
Densité coulis de ciment	1,80
Poids coulis de ciment (kg/m)	**8,2**
Poids du câble (kg/m)	**33,1**

- Calcul de l'**inertie** du câble

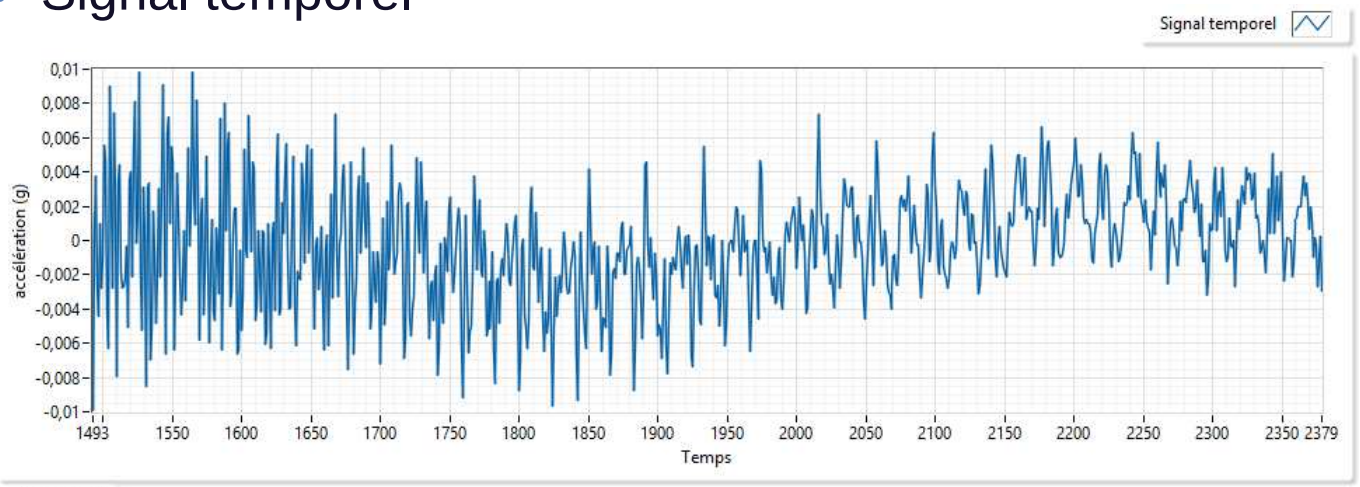
- Calcul de la **longueur libre** théorique des câbles (entre déviateurs)

3-2 Mesures de terrain



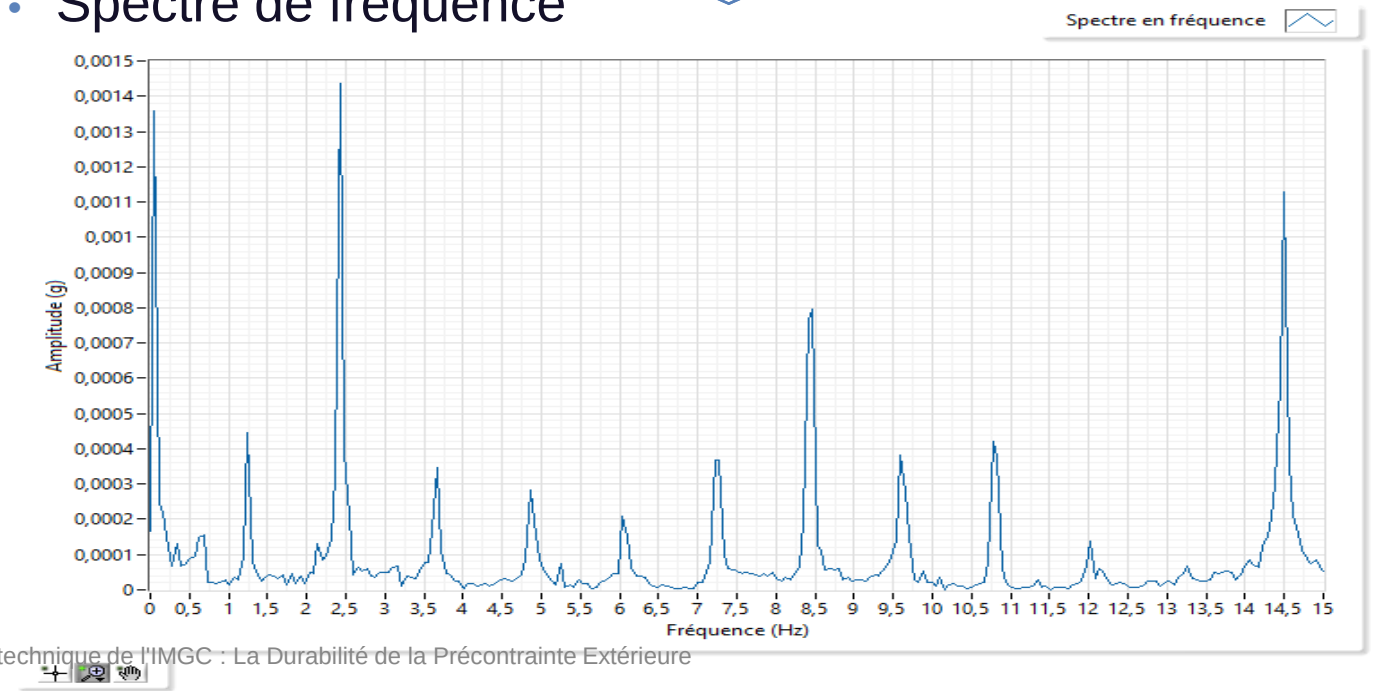
- Prise de mesure de la longueur libre du câble
- Pose d'un **accéléromètre**
- **Excitation** des câbles
- **Acquisition** des mesures vibratoires (3 mesures / câbles)
- **Première analyse** et exploitation des données par transformée de Fourier (analyse fréquentielle FFT = Fast Fourier Transform) pour validation de la **qualité opératoire**

- Signal temporel



FFT

- Spectre de fréquence



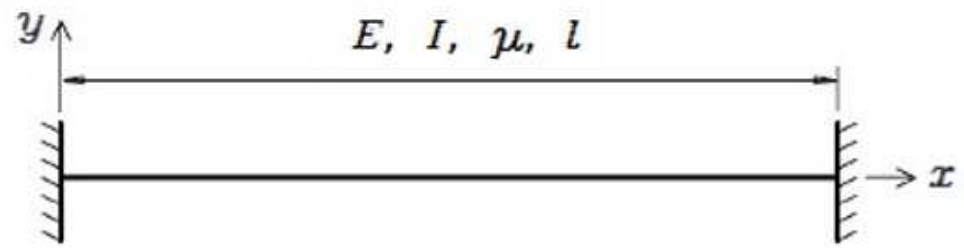
3-3 Travail de bureau

- Calcul des **fréquences propres** et des tensions résiduelles dans les câbles
- **Comparaison** avec les efforts théoriques, **analyse et conclusion**.

4 – Un peu de théorie…

4-1 Equation fondamentale pour une barre bi-encastrée

$$EI\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - T\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \mu\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$



- **E** = module d'élasticité du câble
  - 2.10^5MPa pour les fils et barres,
  - $1{,}9.10^5$MPa pour les torons
- **I** = Inertie du câble
- **μ** = masse linéique des câbles
- **l** = longueur vibrante
- **T** = tension

4-2 Calcul de la tension (**résolution analytique**)

Si les câbles peuvent être considérés comme des **cordes vibrantes simples** (EI faible) :

$$T = \frac{4l^2 \mu {f_n}^2}{n^2}$$

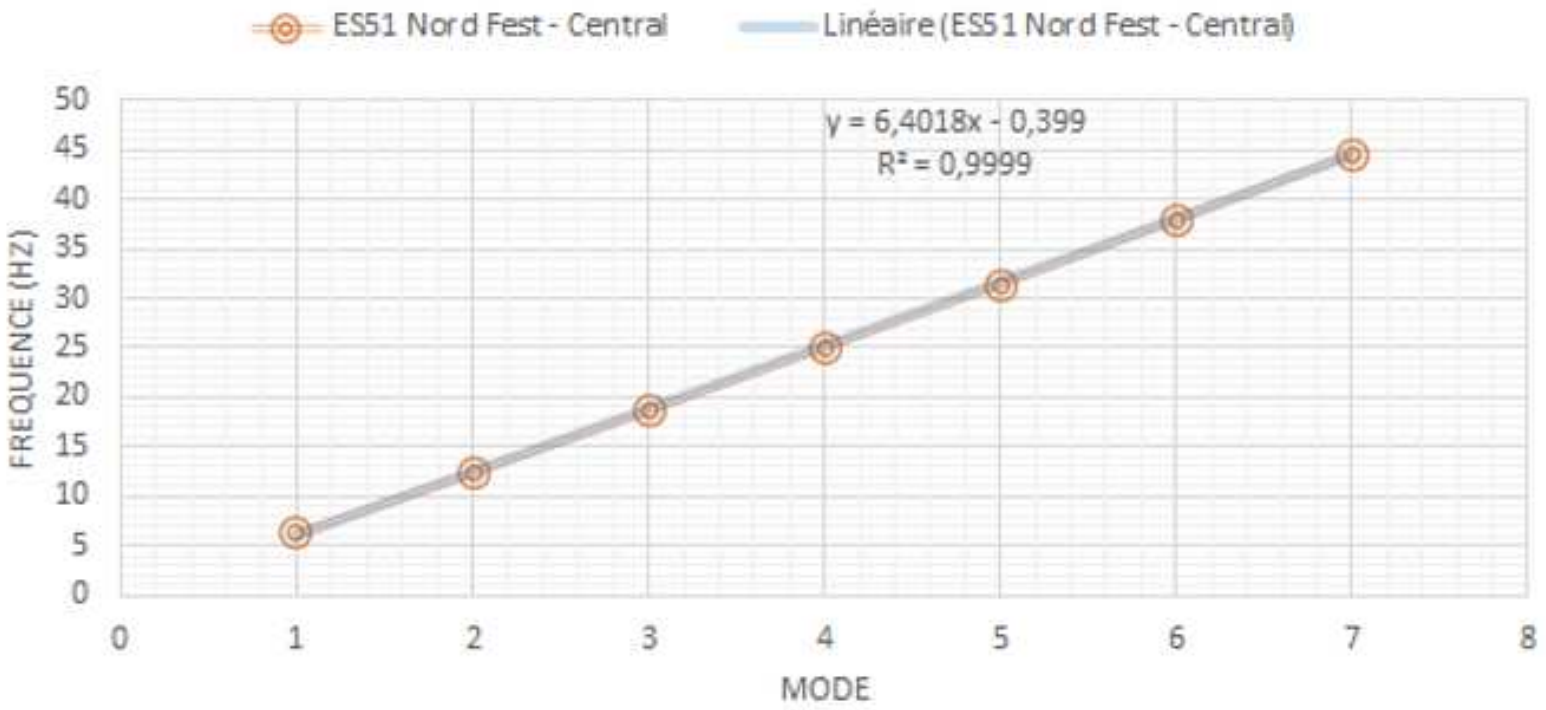
Sur la base du mode fondamental (n=1) :

$$\boldsymbol{T = 4l^2 \mu f^2}$$

- $\mathbf{f_n}$ = fréquence du mode de vibration n (Hz)
- **μ** = masse linéique des câbles (kg/m)
- **l** = longueur vibrante (m)
- **T** = tension (N)

4-3 Limites du modèle

- **Cordes vibrantes simples (théorie du fil) :** si EI négligeable par rapport à T/², ce qui suppose **la proportionnalité des fréquences propres mesurées jusqu'au septième mode**



4-4 Si le module de rigidité n'est pas négligeable (résolution itérative)

- **Faible longueur du câble,**
- **Raideur importante**

=> Les conditions aux limites du câble influent sur la vibration

Dans ce cas :

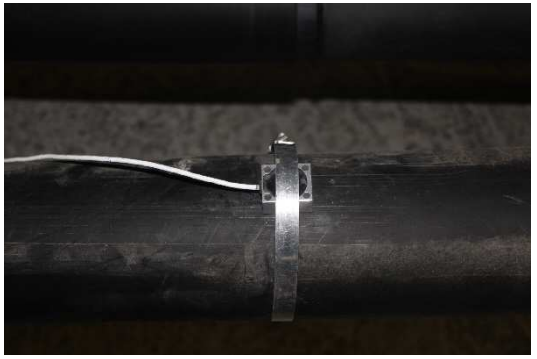
$$f_n = \frac{n}{2\,l}\sqrt{\frac{T}{\mu}}\left[\,1 + 2R + \left(4 + \frac{n^2\,\pi^2}{2}\right)R^2\,\right]$$

avec : $R = \sqrt{\frac{E\,I}{T\,l^2}}$ et $n^2 \ll \frac{T l^2}{\pi^2 EI}$

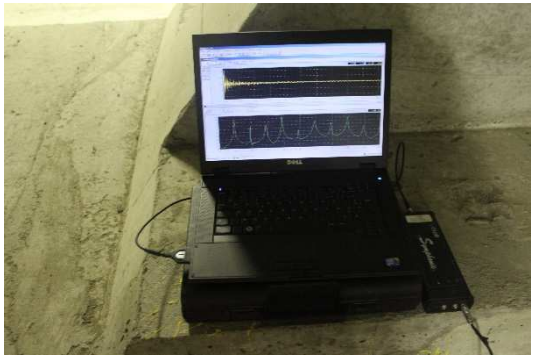
5 – Matériel - méthodologie

5-1 Matériel

- **Accéléromètres**

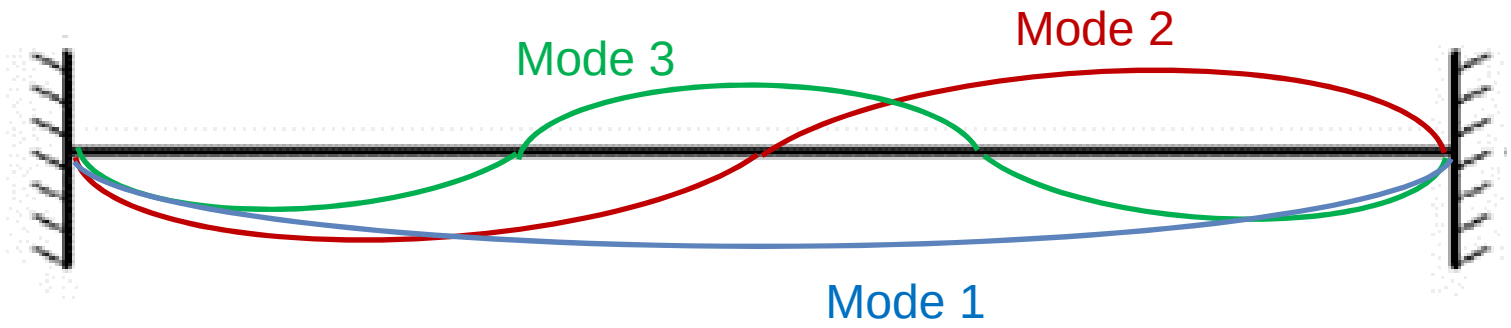


- **Boitier d’acquisition**



- **PC portable**

5-2 Point d'excitation



6 – Applications

6-1 Pont de Normandie







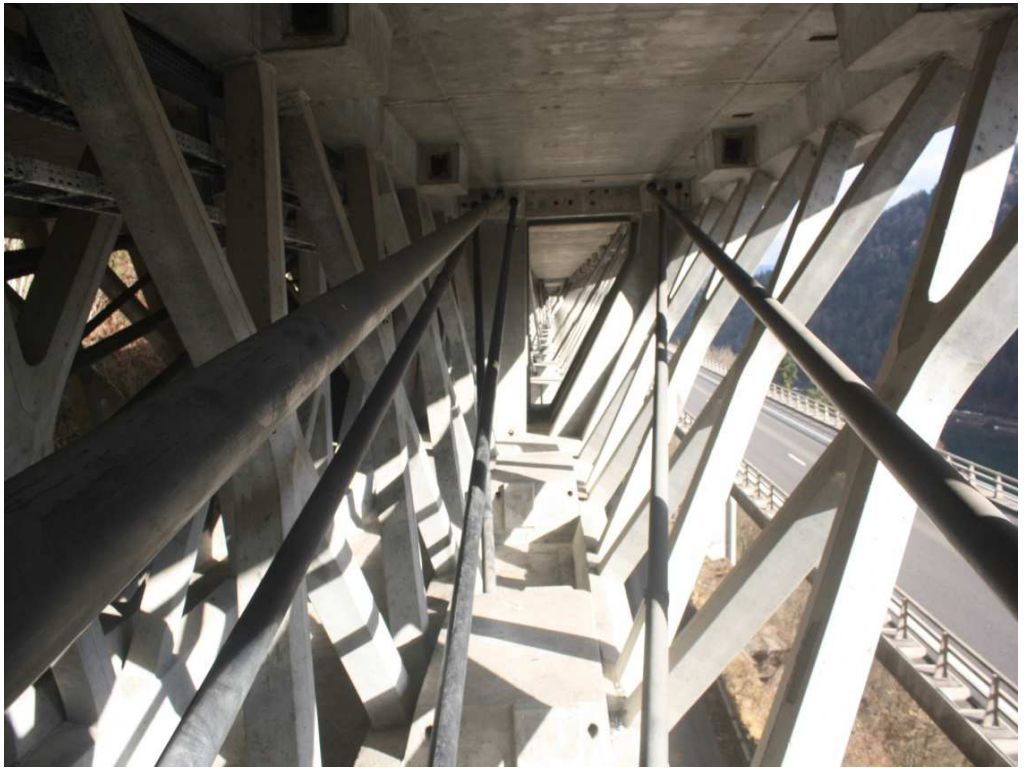
- Tronçons de câble assez courts entre déviateurs.
- **Utilisation de la méthode de résolution itérative**

6-2 Viaduc de Sylans (A40)

- Contrôle de câble après rupture

- Mesures sur les câbles présentant des défauts visuels

- **Utilisation de la méthode de résolution itérative**



6-3 Viaduc de Rogerville (A13)

- Mesures sur les câbles présentant un festonnage
- **Utilisation de la méthode de résolution analytique**

