

SSNL143 – Validation de la loi de relaxation pour les câbles acier pré-contraints

Résumé :

L'objectif de ce test est de valider la loi de comportement de relaxation de câble acier utilisé en béton pré-contraint. La validation est réalisée par rapport aux expressions issues du BPEL. Trois modélisations sont réalisées :

- a) Simulation de la relaxation d'un câble (classe 1, $k_1=6.0E-03$, $k_2=1.10$), sur une durée de 4000 heures, avec $\mu=0.75$.
- b) Simulation de la relaxation d'un câble (classe 2, $k_1=8.0E-03$, $k_2=1.25$), sur une durée de 4000 heures, avec $\mu=0.75$.
- c) Simulation d'une relaxation à déformation variable d'un câble sur une durée de 6 ans. Sur la plage $[0, 1\text{an}]$ déformation imposée ε_0 correspondant à $\mu=0.75$, sur la plage $]1\text{an}, 3\text{ans}]$ déformation imposée de $1.025*\varepsilon_0$, sur la plage $]3\text{ans}, 6\text{ans}]$ déformation imposée de $1.050*\varepsilon_0$.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère une barre de 1m de long sur l'axe X , allant du nœud A au nœud B .

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau a une partie élastique :

- $E = 190\,000\text{ MPa}$
- $\nu = 0.1$ La loi est uni-dimensionnelle, ν n'est pas utilisé.

La partie correspondant à la loi de relaxation du câble de classe 1, pour les modélisations A et C :

- $fprg = 1800.0\text{ MPa}$,
- $kecoul = 0.800646195576$, cf. remarque [R5.03.09] pour l'unité.

Les paramètres suivants sont sans dimension :

- $necoul = 8.50471392583$
- $necrou = 1.45855523878$
- $becrou = 49503.9155816$
- $cecrou = 33211.7441074$

La partie correspondant à la loi de relaxation du câble de classe 2, pour la modélisation B :

- $fprg = 1800.0\text{ MPa}$,
- $kecoul = 1.45558790406$, cf. remarque [R5.03.09] pour l'unité.

Les paramètres suivants sont sans dimension :

- $necoul = 6.10743489945$
- $necrou = 1.33140738573$
- $becrou = 47893.0394375$
- $cecrou = 32941.1476218$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Le nœud A est encasté, au nœud B le déplacement est imposé suivant la direction X .

1.4 Conditions initiales

Néant.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Les formules utilisées sont issues de BPEL 83. On les retrouve également dans NF EN 1992-1-1 Octobre 2005, AFCEN ETC-C 2010, avec quelques petites variantes.

$$\sigma_p(x) = \sigma_{pi}(x) (1.0 - \Delta\sigma_p(\mu, t))$$
$$\Delta\sigma_p(\mu, t) = k_1 \cdot \rho_{1000} \left(\frac{t}{1000} \right)^{\frac{3}{4}(1-\mu)} \cdot e^{\frac{10\mu-7.5}{k_2}} \text{ avec } \mu = \frac{\sigma_{pi}(x)}{f_{prg}}, t \text{ est en heures.}$$

Pour pouvoir appliquer ces formules la déformation doit rester **constante**. σ_{pi} est la contrainte initiale qui correspond à la déformation initiale.

La validation se fera donc sur les modélisations 'a' et 'b', avec ces formules. Le cas test 'c' sera un cas test de non-régression car on simule un remise en tension du câble, donc la déformation varie au cours du temps.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

La grandeur testée sera la contrainte dans le câble, à différents instants.

2.3 Incertitudes sur la solution

Aucune incertitude, la solution de référence est analytique.

2.4 Références bibliographiques

[1] BPEL.

[2] NF EN 1992-1-1 Octobre 2005.

[3] AFCEN ETC-C 2010.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type BARRE.

Cette modélisation simule la relaxation d'un câble (classe 1, $k_1=6.0E-03$, $k_2=1.10$), sur une durée de 4000 heures, avec une déformation imposée correspondant à $\mu=0.75$.

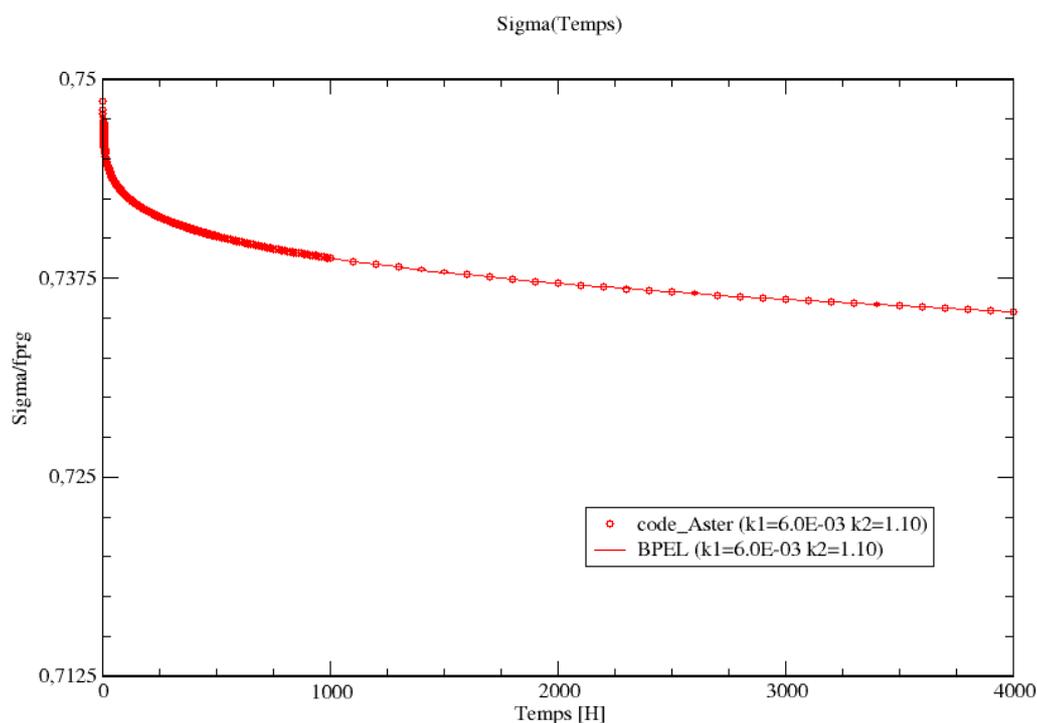
3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1 élément de type BARRE.

3.3 Grandeurs testées et résultats

La grandeur testée sera la contrainte dans la barre, à différents instants.

Instant [heure]	Sigma [Pa] Référence
5.0	4.218557745813E+05
100.0	4.199915984302E+05
500.0	4.185307080916E+05
1000.0	4.177544764194E+05
4000.0	4.158652582231E+05



4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type BARRE.

Cette modélisation simule la relaxation d'un câble (classe 2 , $k_1=8.0E-03$, $k_2=1.25$) , sur une durée de 4000 heures, avec une déformation imposée correspondant à $\mu=0.75$.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1 élément de type BARRE.

4.3 Grandeurs testées et résultats

La grandeur testée sera la contrainte dans la barre, à différents instants.

Instant [heure]	Sigma [Pa] Référence
5.0	4.211026966969e+05
100.0	4.186171284954e+05
500.0	4.166692747106e+05
1000.0	4.156342991477e+05
4000.0	4.131153415526e+05

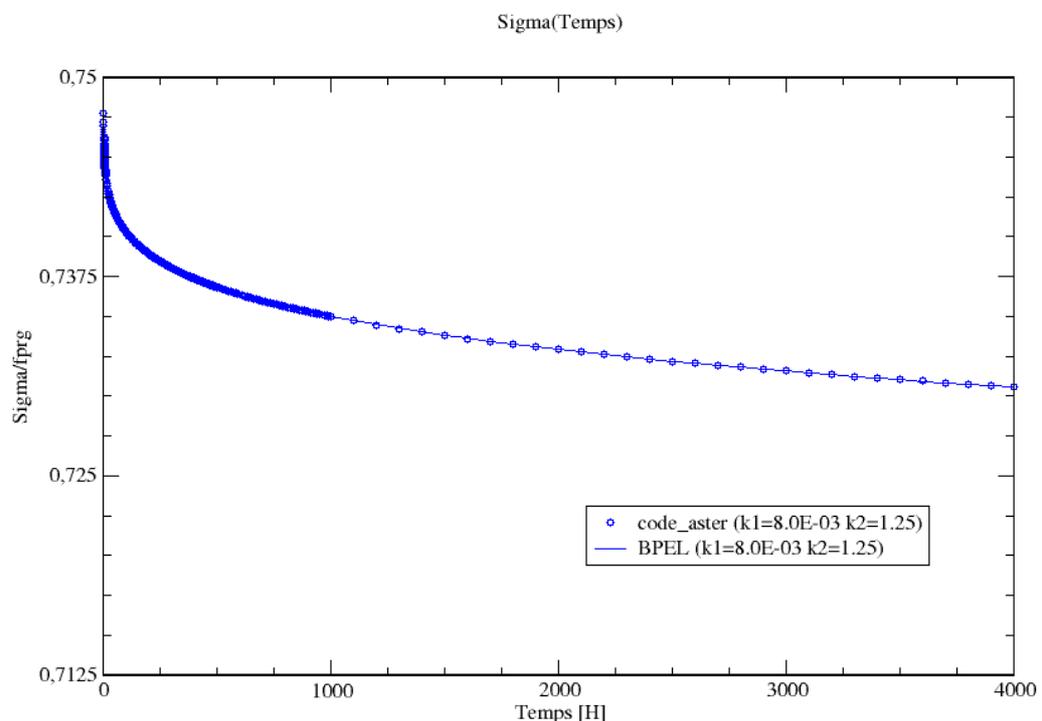


Figure 4.3-a : Évolution de la contrainte au cours du temps : référence et code_aster.

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type BARRE.

Cette modélisation simule la relaxation d'un câble avec une déformation variable sur une durée de 6 ans. Sur la plage [0, 1an] déformation imposée ε_0 correspondant à $\mu=0.75$, sur la plage [1an, 3ans] déformation imposée de $1.025*\varepsilon_0$, sur la plage [3ans, 6ans] déformation imposée de $1.050*\varepsilon_0$. L'application du saut de déformation se fait en 1 heure.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1 élément de type BARRE.

5.3 Grandeurs testées et résultats

La grandeur testée sera la contrainte dans la barre, à différents instants.

Instant	Sigma [Pa] Non régression
1.0*Année	4.13901E+05
1.0*Année + 1.0*Heure	4.24503E+05
3.0*Années	4.18251E+05
3.0*Années + 1.0* Heure	4.28854E+05
6.0*Années	4.20251E+05

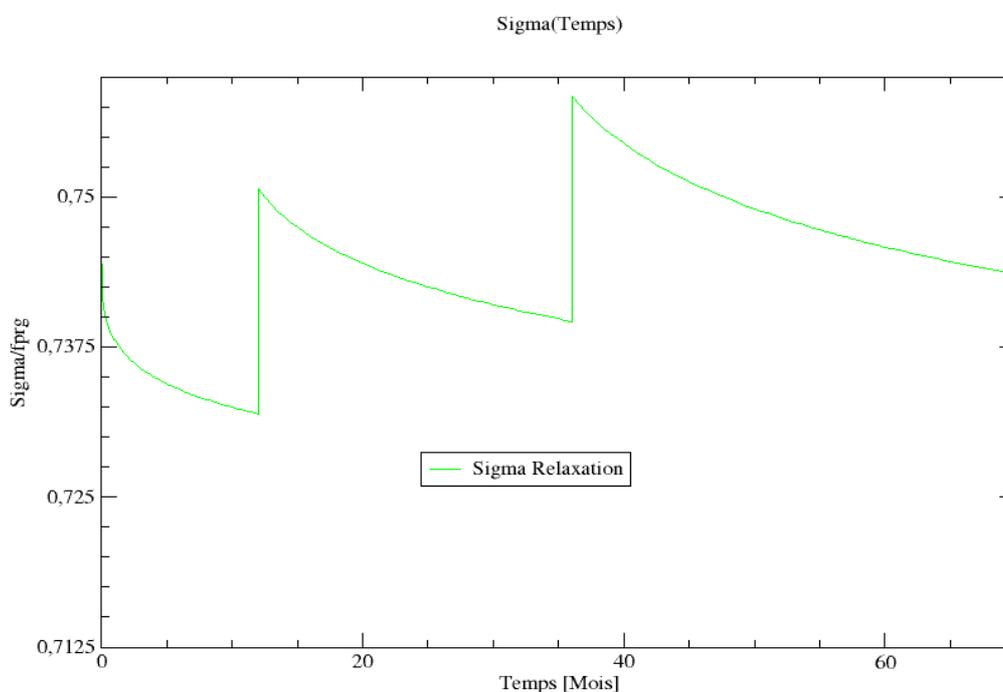


Figure 5.3-a : Évolution de la contrainte au cours du temps avec un chargement variable.

6 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus par code_aster pour les modélisations A et B sont dans la tolérance par défaut par rapport à la solution de référence.

La modélisation C est un cas de non-régression.