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, $k1=6.0E-03$, $k2=1.10$), sur une durée de 4000 heures, avec $\mu=0.75$.
- b) Simulation de la relaxation d'un câble (classe 2, $k1=8.0E-03$, $k2=1.25$), 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, 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 $1.050*\varepsilon_0$.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 :
- $E=190\,000\,MPa$
- $\nu=0.1$ 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 :
- $fprg=1800.0\,MPa$,
- $kecoul=0.800646195576$, 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 :
- $fprg=1800.0\,MPa$,
- $kecoul=1.45558790406$, 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 encastré, au nœud B le déplacement est imposé suivant la direction X .

1.4 Conditions initiales

Néant.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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.

$$\sigma_p(x)=\sigma_{pi}(x)\left(1.0 - \Delta\sigma_p(\mu,t)\right)$$

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

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 vari e ra 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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type BARRE.

C ette modélisation simule la relaxation d'un câble (classe 1, $k1=6.0E-03$, $k2=1.10$), 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

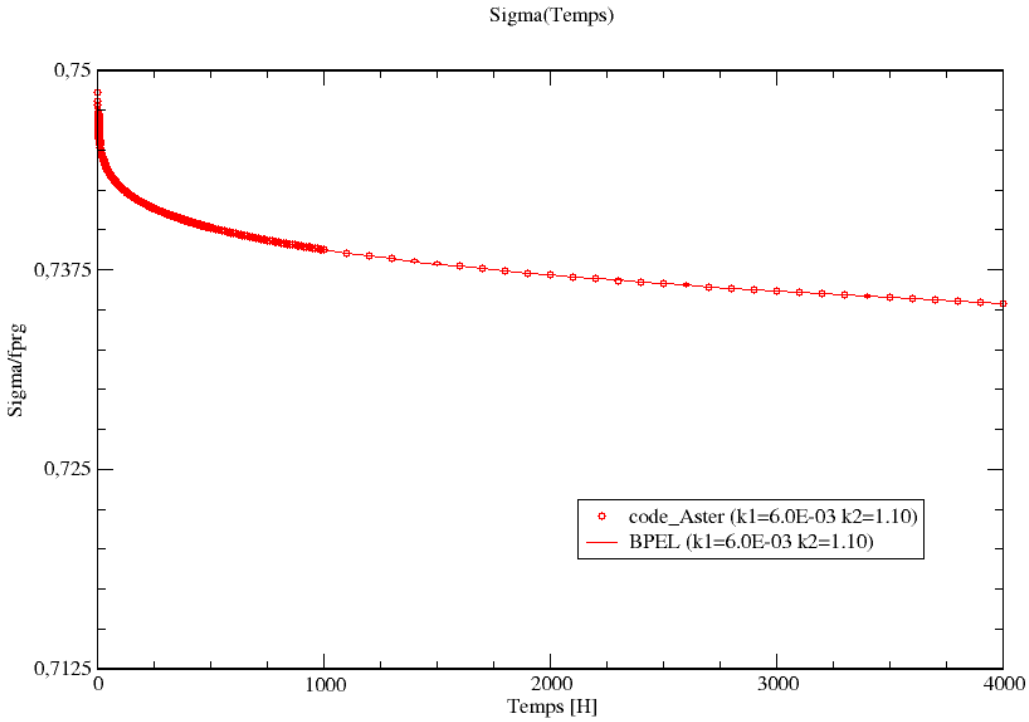


Figure 3.3-a : Évolution de la contrainte au cours du temps : référence et code_aster.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 , $k1=8.0E-03$, $k2=1.25$) , 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

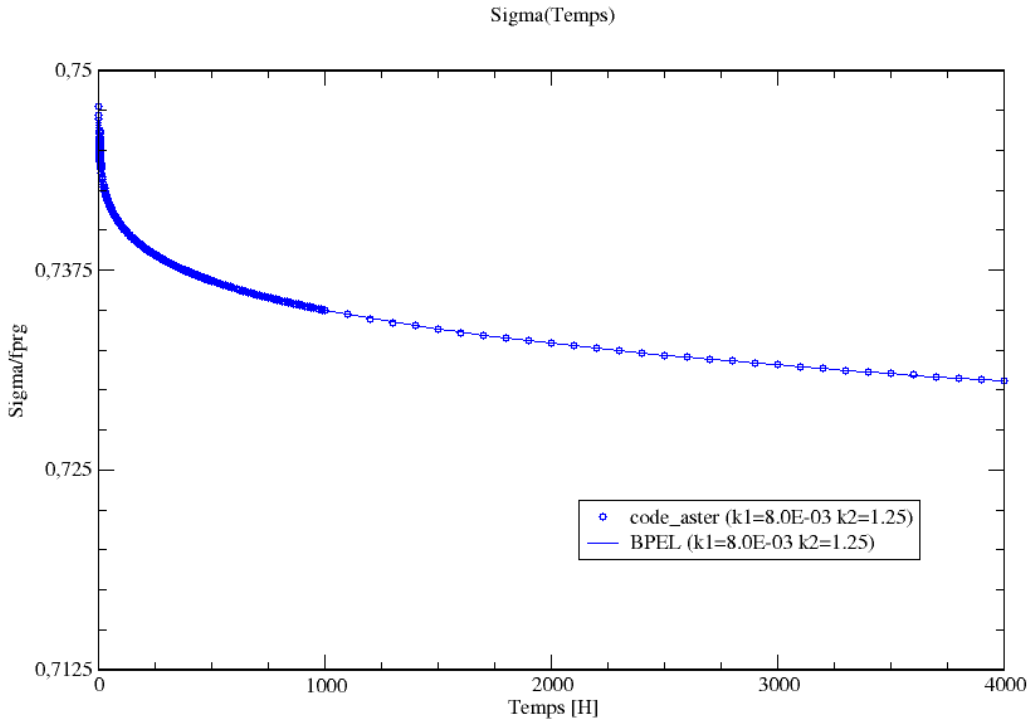


Figure 4.3-a : Évolution de la contrainte au cours du temps : référence et code_aster.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $]1\,an\,,3\,ans]$ déformation imposée de $1.025*\varepsilon_0$, sur la plage $]3\,ans\,,6\,ans]$ 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

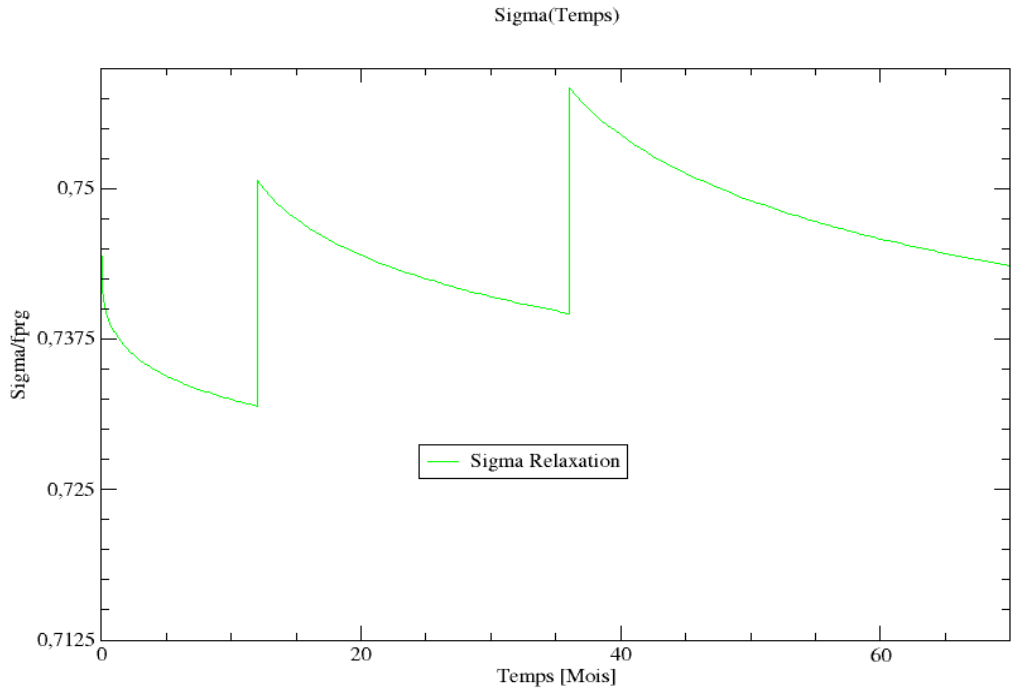


Figure 5.3-a : Évolution de la contrainte au cours du temps avec un chargement variable.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)