

Titre : HSNL100 - Echauffement d'un câble par effet Joule

Date : 03/12/96

Auteur(s) : M. AUFAURE

Clé : V7.21.100-A Page : 1/6

Organisme(s) : EDF/IMA/MNN

Manuel de Validation**Fascicule V7.21 : Thermo-mécanique statique non linéaire des structures linéiques
Document V7.21.100****HSNL100 - Echauffement d'un câble par effet Joule****Résumé :**

Ce test concerne la thermique transitoire indépendante de l'espace des câbles électriques soumis à l'effet Joule et la thermo-élasticité dynamique de ces câbles.

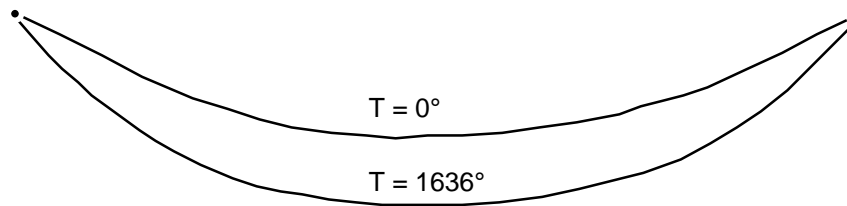
Intérêt :

- tester les fonctions d'évolution de l'échauffement d'un câble conducteur par effet Joule, puis de son refroidissement à l'air ambiant (opérateur `DEFI_THER_JOULE` [U4.21.09]),
- tester l'influence de la variation de température d'un câble sur l'évolution de la flèche (opérateur `DYNA_NON_LINE` [U4.32.02]).

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Un câble de section $1.71 \cdot 10^{-3}$ et de portée 100 m pend dans le champ de la pesanteur, à la température de 0°C. Il est le siège, pendant 25 secondes, d'un courant de court-circuit qui porte sa température à 1636°C. On suit l'évolution de la position d'équilibre.



1.2 Propriétés des matériaux

Propriétés du métal conducteur :

$$E = 5.4 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$$

$$\rho = 2761.4 \text{ Kg/m}^3$$

$$\alpha = 23 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\text{résistivité (T : température)} : \sigma(T) = 3.25 \cdot 10^{-8} (1. + 3.6 \cdot 10^{-3} (T-20.)) \text{ } \Omega\text{m}$$

$$C_p = 2 \,457 \,646 \text{ J m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Coefficient de convection pour les pertes de chaleur par la paroi latérale du câble :

$$0.5 \text{ J m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Le câble a ses extrémités fixes. Il est soumis à la pesanteur et se dilate par l'effet Joule dû à un courant de 70 000 A pendant 25 secondes.

1.4 Conditions initiales

Le câble forme une chaînette, à la température de 0°C.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

- En première partie, le test consiste à vérifier si *Aster* tabule bien deux fonctions-température d'échauffement et de refroidissement. Ce sont des fonctions analytiques, de caractère exponentiel par rapport au temps, résultant de l'intégration exacte de l'équation de la chaleur indépendante de l'espace mais comportant un terme d'échange de type Fourier. Cette équation et sa solution sont dans [bib1] [R3.08.02].

La valeur numérique des coefficients est dans [bib2] [U4.21.09].

- En deuxième partie, on compare la flèche du problème de référence, à un instant donné, à la flèche théorique de la chaînette d'équilibre statique d'un câble inextensible, de mêmes longueur, portée et température. On peut le faire parce que la rigidité extensionnelle du câble (produit EA) est grande et que la variation de température est lente.

Comme il n'existe pas de solution analytique au problème de référence, on admet qu'un échauffement régulier de 1600° en 25 secondes provoque une évolution quasi-statique. La vitesse de descente du milieu du câble est en effet de l'ordre de 0,3 m/s, alors que la vitesse d'un mouvement pendulaire à 0° atteint une valeur au moins 30 fois supérieure.

La courbe d'équilibre statique d'un câble inextensible dont les extrémités sont de niveau [fig 2.1-a], de portée s , de poids linéique w ($\rho g A$) et de tension horizontale H a pour équation [bib3] :

$$z = \frac{H}{w} \left[\cosh \frac{w}{H} \left(\frac{s}{2} - x \right) - \cosh \frac{ws}{2H} \right]. \quad \text{éq 2.1-1}$$

D'où l'on déduit la longueur L :

$$\frac{wL}{2H} = \sinh \frac{ws}{2H}. \quad \text{éq 2.1-2}$$

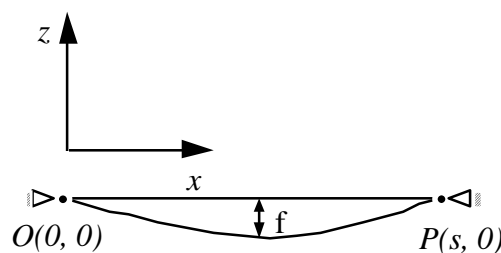


Figure 2.1-a : Courbe d'équilibre d'un câble

H , qui est constant le long du câble puisqu'il n'y a aucune force extérieure horizontale, est donné, d'après [éq 2.1-2], par l'équation transcendante :

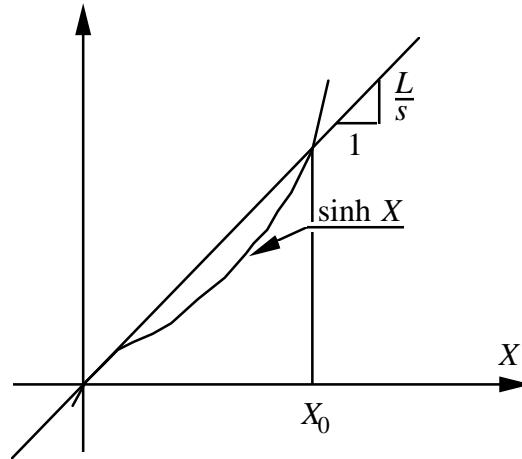
$$\sinh X = \frac{L}{s} X \quad \text{éq 2.1-3}$$

où :

$$X = \frac{ws}{2H}.$$

L'équation [éq 2.1-3] a une racine positive X_o pourvu que :

$$\frac{L}{s} > 1.$$



La flèche f se déduit alors de [éq 2.1-1] :

$$f = \frac{s}{2X_o} (\cosh X_o - 1).$$

La longueur du câble à T^o , qui intervient en coefficient dans [éq 2.1-3], découle de la longueur donnée à 0° par l'équation de dilatation :

$$L(T) = L(0) (1 + \alpha T).$$

2.2 Références bibliographiques

- [1] M. AUFAURE, G. DEVESA : Modélisation des câbles dans le *Code_Aster*. Document [R3.08.02] (1996).
- [2] M. AUFAURE : Opérateur DEFI_THER_JOULE. Document [U4.21.09] (1994).
- [3] H. MAX IRVINE : Cable structures. The MIT Press (1981).

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Câble de 100 m de portée modélisé par 20 éléments de câble du 1^{er} ordre. Pas de temps de l'analyse dynamique : 0.25 secondes.

3.2 Fonctionnalités testées

Commande	Mot clé facteur	Mot clé	Clés
DEFI_THER_JOULE	PARA_COND_1D		[U4.21.09]
AFFE_CHAM_NO	AFFE	GRANDEUR GROUP_NO NOM_CMP FONCTION	[U4.26.01]
CREA_RESU	CHAM_GD	TYPE_RESU NOM_CHAM LIST_INST CHAM_NO	[U4.26.02]
AFFE_CHAR_MECA		TEMP_CALCULEE	[U4.25.01]
STAT_NON_LINE	EXCIT	CHARGE	[U4.32.01]
DYNA_NON_LINE	EXCIT	CHARGE	[U4.32.02]

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
Tabulation de 6 valeurs d'une fonction f01 d'échauffement-refroidissement			
instant -0.1	12.0°C	12.0°C	1E-6
instant 0.	1.0°C	1.0°C	1E-6
instant 10.	44051.93°C	44051.93°C	1E-6
instant 20.	2.9999°C	2.9999°C	1E-6
instant 30.	88102.86°C	88102.86°C	1E-6
instant 40.	4.9998°C	4.9998°C	1E-6
Tabulation de 3 valeurs d'une fonction f02 d'échauffement-refroidissement			
instant -0.1	15.0°C	15.0°C	1E-6
instant 0.	15.0°C	15.0°C	1E-6
instant 40.	15.0°C	15.0°C	1E-6
Câble soumis à une 3 ^{ème} fonction d'échauffement f1			
flèche à l'instant 6.25s (T = 167°C)	1.614397 m	1.583216	1.9
flèche à l'instant 12.50s (T = 441°C)	3.682028 m	3.640127	1.1
flèche à l'instant 18.75s (T = 892°C)	6.157222 m	6.092494	1.1
flèche à l'instant 25.00s (T = 1636°C)	9.244288 m	9.121316	1.3

4.2 Remarques

La flèche dynamique calculée par *Aster* est inférieure, d'environ 1%, à la flèche statique à la même température. Cette différence résulte de l'inertie mécanique.

4.3 Paramètres d'exécution

Version : 3.06.11

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 8 MW

Temps CPU User : 280 secondes

5 Synthèse des résultats

Le passage de ce test garantit qu'il n'y a pas eu de régression du *Code_Aster* pour l'analyse de l'évolution de la flèche des câbles soumis à l'effet Joule.