

PLEXU04 : Cylindre avec câbles de précontrainte sous pression interne en dynamique transitoire

Résumé :

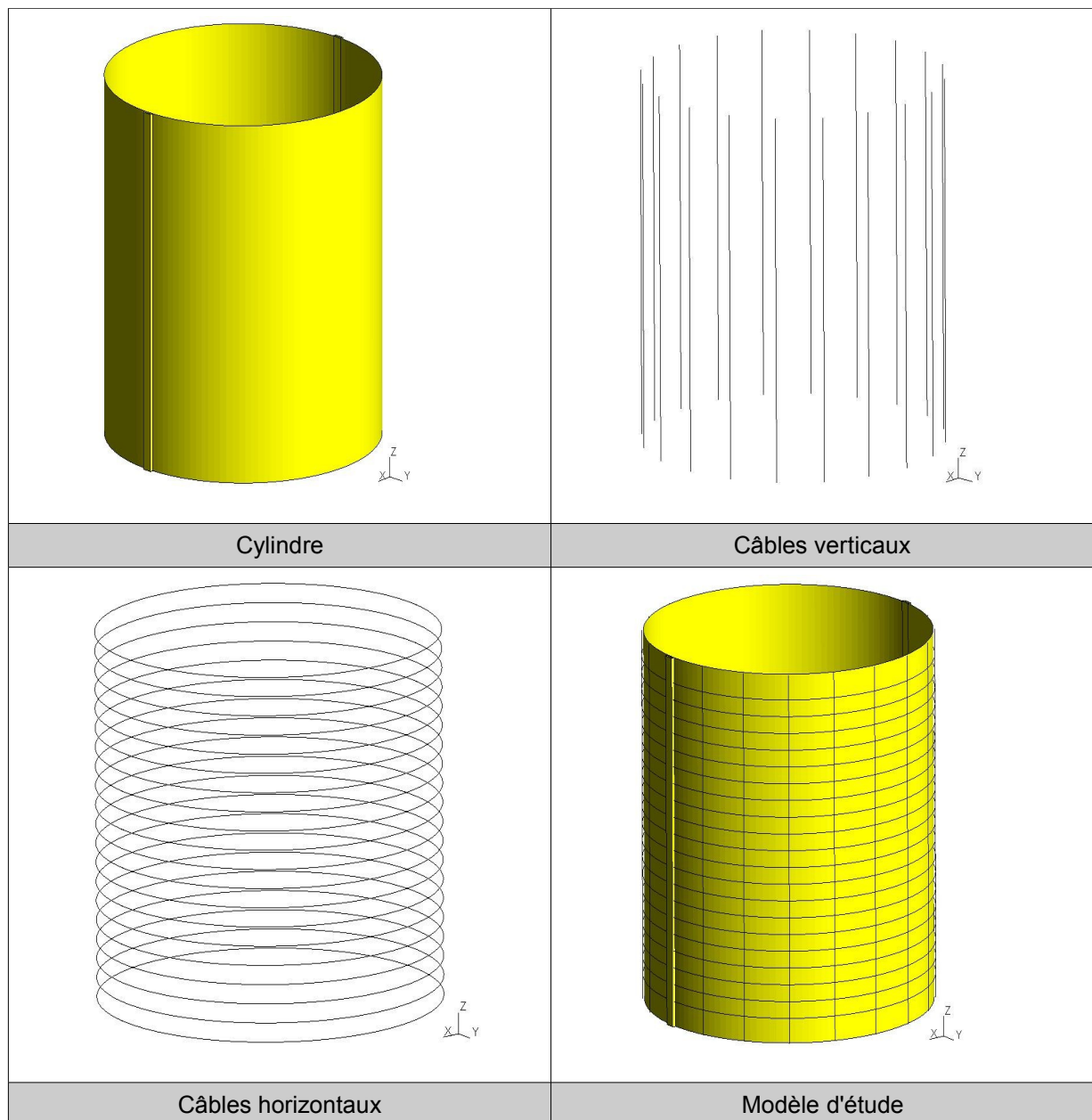
Ce test a pour but de valider l'ensemble des fonctionnalités mises en place dans le cadre de la méthodologie de chaînage Code_Aster/Europlexus pour l'utilisation de la précontrainte dans Europlexus, sur un modèle semi-industriel (ces fonctionnalités ayant été testées, ensemble et/ou séparément, uniquement sur des tests élémentaires).

Pour cela, on compare les résultats issus de la macro-commande `CALC_EUROPLEXUS` avec ceux issus de l'opérateur `DYNA_NON_LINE` utilisant le schéma explicite des différences finis .

1 Description

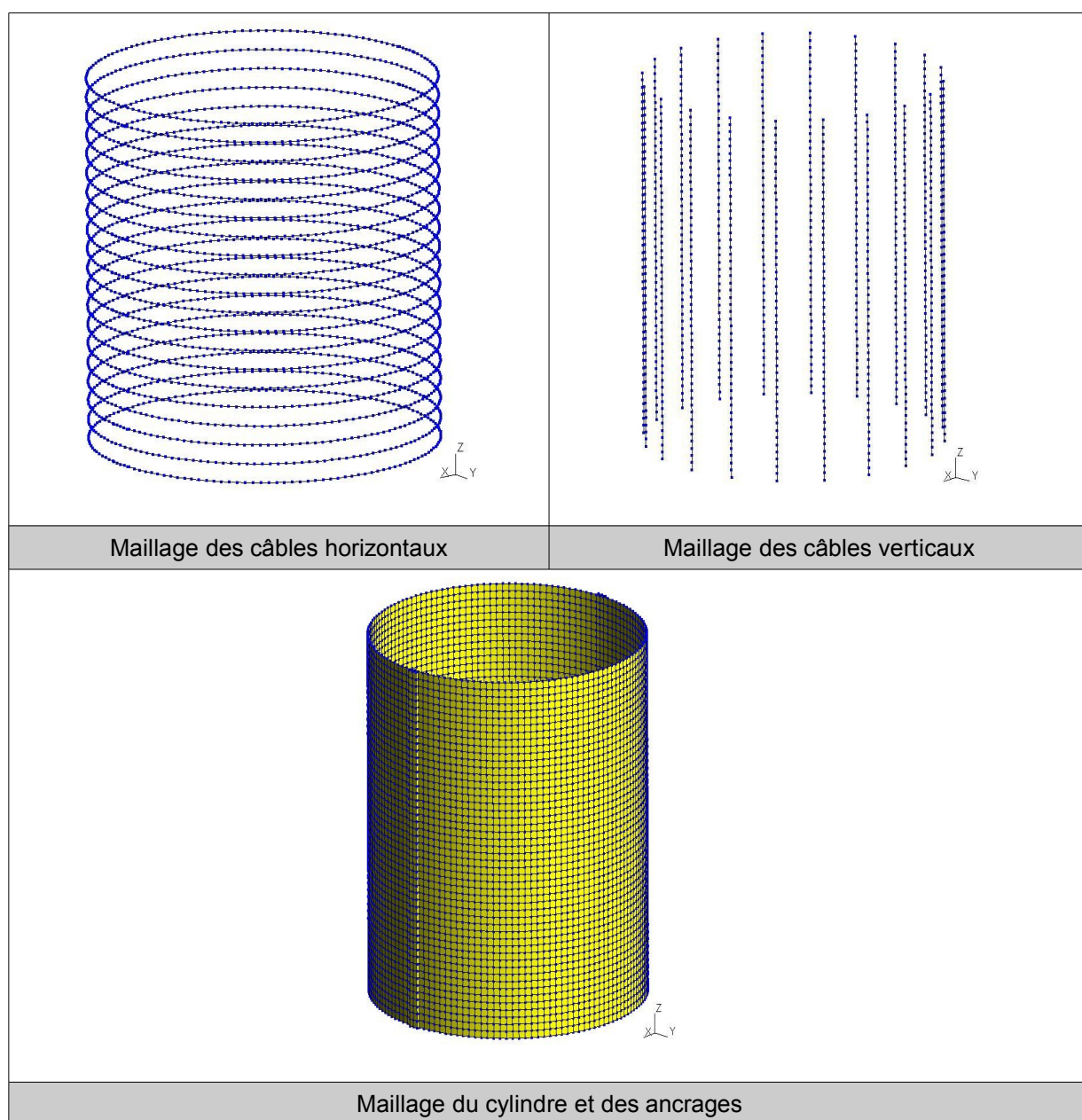
1.1 Géométrie

Le modèle d'étude est une enveloppe cylindrique de rayon moyen $R=21.9\text{ m}$, de hauteur $H=49.6\text{ m}$ et d'épaisseur $t=0.6\text{ m}$. Les ancrages pour les câbles sur les côtés du cylindre, ont pour longueur $L=1.5\text{ m}$ et pour largeur $l=0.5\text{ m}$. Concernant les câbles, ils sont positionnés sur la peau extérieure du cylindre. Ils sont alors excentrés d'une distance $e=0.25\text{ m}$. Le modèle est composé de 20 câbles horizontaux et de 20 câbles verticaux. Les figures ci-dessous présentent les différents composants du modèle d'étude.



1.2 Maillage

Les câbles sont maillés avec des mailles SEG2. Le cylindre et les ancrages pour les câbles sont maillés avec des mailles QUAD4. La discrétisation en espace pour les différents composants est au maximum de $f = 1.0\text{ m}$. Les figures suivantes représentent les maillages pour les différentes parties du modèle.



1.3 Propriétés des matériaux

Les propriétés du béton pour le cylindre et les ancrages et de l'acier pour les câbles de précontrainte sont répertoriées dans le tableau suivant.

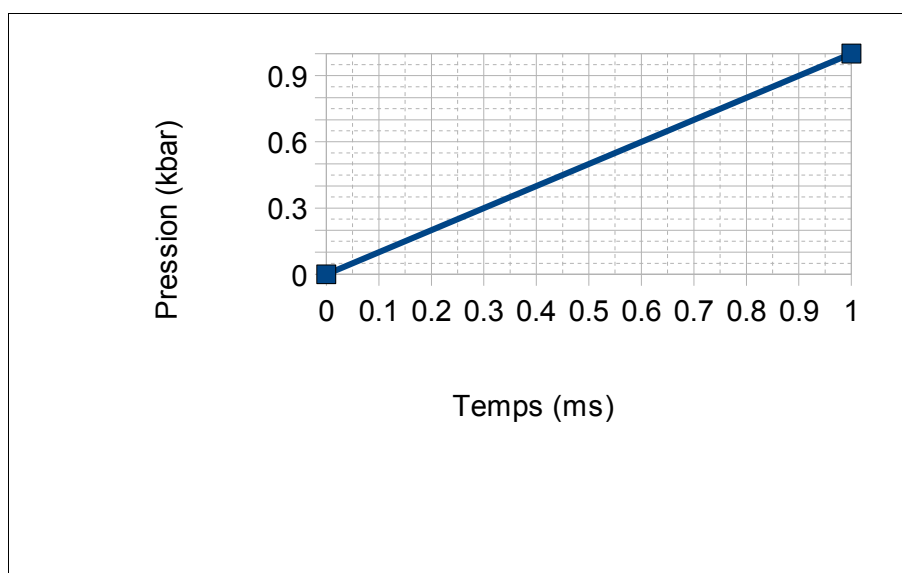
Matériau	Béton	Acier
Module d'Young	$4 \times 10^{10} \text{ Pa}$	$1.93 \times 10^{11} \text{ Pa}$
Coefficient de Poisson	0.2	0.0
Masse volumique	2500 kg/m^3	7850 kg/m^3
Contrainte limite élastique	<i>n/a</i>	$1.94 \times 10^{11} \text{ Pa}$

1.4 Conditions aux limites et chargements

Le cylindre et les ancrages sont encastrés en haut et en bas.

On impose dans un premier temps une tension dans les câbles égale à $3.75 \times 10^6 \text{ N}$. Les nœuds aux extrémités des câbles verticaux et horizontaux sont considérés «actifs».

Dans un second temps, on soumet le cylindre à une pression interne qui augmente au cours du temps (de $P_i = 0 \text{ Pa}$ à $P_f = 1 \text{ kbar}$ en $\Delta t = 1 \text{ ms}$). Ce chargement est représenté sur le graphique suivant.



1.5 Étapes principales des tests

On utilise la macro-commande `DEFI_CABLE_BP` pour obtenir les relations cinématiques entre le cylindre et les câbles ainsi que le chargement lié à la tension dans les câbles.

On lance ensuite la macro-commande `CALC_PRECONT` pour effectuer la mise en précontrainte de la structure à partir des tensions des câbles données.

Le résultat de cette mise en précontrainte est donné en état initial à la macro-commande `CALC_EUROPLEXUS` afin de calculer la réponse mécanique du cylindre précontraint au chargement de pression interne.

Pour valider les résultats issus de `CALC_EUROPLEXUS`, on fait le même calcul avec l'opérateur `DYNA_NON_LINE`.

Des deux concepts-résultats obtenus, on extrait :

- l'évolution en fonction du temps du déplacement sur le point de référence situé à la mi-hauteur du cylindre, soit en $(0, R, H/2)$, noté N_{ref}^{cyl} .
- les efforts résultants de membrane N_{xx} et N_{yy} , à trois instants différents dans une maille du cylindre ayant un nœud en commun avec le nœud de référence du cylindre, notée M_{ref}^{cyl} .
- l'effort normal dans un élément du câble horizontal localisé le plus près de la mi-hauteur du cylindre et le plus loin des ancrages, noté EL_{ref}^{cab} .

2 Solution de référence

2.1 Résultats de référence

Les résultats de référence sont ceux obtenus avec `DYNA_NON_LINE`.

2.2 Incertitude sur la solution

Imprécisions de `DYNA_NON_LINE`.

3 Modélisation A

La modélisation de coques proposée est la Q4GG. Les câbles en acier sont modélisés par des éléments BARRE.

Le pas de temps utilisé pour les calculs est de $\Delta t = 0.1 \mu s$, il respecte la condition de stabilité (condition CFL).

3.1 Grandeurs testées et résultats

On teste la composante DY du déplacement au nœud N_{ref}^{cyl} à trois instants différents.

Nœud	Composante	Instant (ms)	Valeur de référence (m)	Tolérance (%)
N_{ref}^{cyl}	DY	0	-0.00149186373102	1.E-6
N_{ref}^{cyl}	DY	0.5	-0.000144401505744	1.0
N_{ref}^{cyl}	DY	1	0.00927101130083	0.3

On teste la valeur de deux composantes des efforts généralisés N_{xx} et N_{yy} , dans la maille M_{ref}^{cyl} à trois instants différents.

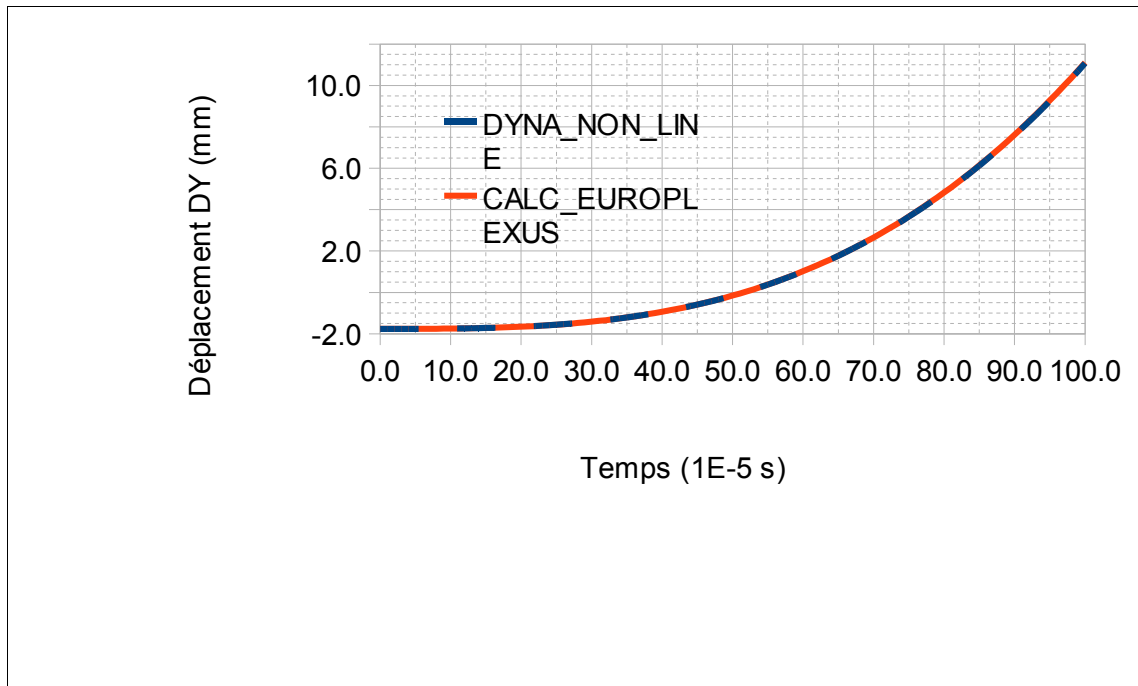
Maille	Composante	Instant (ms)	Valeur de référence (N)	Tolérance (%)
M_{ref}^{cyl}	N_{xx}	0	-298143.155116	1.0E-6
M_{ref}^{cyl}	N_{xx}	0.5	12115.5501671	9,0
M_{ref}^{cyl}	N_{xx}	1	2183543.69511	0.25

Maille	Composante	Instant (ms)	Valeur de référence (N)	Tolérance (%)
M_{ref}^{cyl}	N_{yy}	0	-1671593.79274	1.0E-6
M_{ref}^{cyl}	N_{yy}	0.5	-115751.912334	0.5
M_{ref}^{cyl}	N_{yy}	1	10770356.7548	0.03

On teste la valeur de l'effort normal, dans l'élément EL_{ref}^{cab} à trois instants différents.

Maille	Composante	Instant (ms)	Valeur de référence (N)	Tolérance (%)
EL_{ref}^{cab}	N	0	3750000.0	2.0E-3
EL_{ref}^{cab}	N	0.5	3808797.81286	0.2
EL_{ref}^{cab}	N	1	4229204.58349	0.5

Le graphique ci-dessous trace l'évolution du déplacement du point de référence obtenue soit avec la commande `DYNA_NON_LINE`, soit avec `CALC_EUROPLEXUS`.



4 Synthèse

Les tests réalisés sur les grandeurs les plus importantes du modèle montrent que les valeurs calculées avec `CALC_EUROPLEXUS` sont très proches de celles obtenues avec `DYNA_NON_LINE`.

Au vu du graphique sur l'évolution du déplacement DY du point de référence du cylindre en fonction du temps, on constate tout d'abord que la précontrainte a bien été prise en compte, car le déplacement initial est négatif, et par la suite que les deux courbes se superposent.

On conclut que les câbles verticaux et horizontaux ainsi que les relations cinématiques ont correctement été définis et pris en compte lors du calcul dynamique avec la commande `CALC_EUROPLEXUS`, étant donné que cette commande est capable de correctement restituer la valeur des déplacements, des efforts généralisés dans les coques et des efforts dans les câbles après application d'un chargement en dynamique.