# SDLS119 - Plaque sur appuis soumise à une accélération de Ricker (méthode temps-fréquence)

**Résumé :**

Ce test de non régression met en œuvre le traitement du problème non linéaire de décollement d'une plaque souple modélisée par éléments finis de coques et posée sur des ressorts de contact. Ces ressorts supportent le poids propre de la plaque et les compressions engendrées par la rotation et le mouvement vertical de la plaque. Les décollements sont pris en compte et traités par pénalisation.

Les sollicitations imposées sous forme d'accélération d'entraînement horizontale sont des impulsions de type Ricker. Dans cette modélisation, la résolution du problème dynamique s'opère dans une boucle de calculs linéaires où on recalcule à chaque fois sur toute la plage temporelle le complément de forces nodales dû à la non linéarité du décollement. On utilise, soit un calcul harmonique avec une évolution fréquentielle et retour en temps par transformée de Fourier dans la méthode temps-fréquence classique, soit un calcul transitoire sur base physique dans une méthode strictement temporelle alternative.

Ce cas test permet de tester, sur un calcul strictement linéaire, l'opérateur REST_SPEC_TEMP de retour en temps par transformée de Fourier inverse de toute l'évolution harmonique en comparant son résultat à l'évolution transitoire obtenue directement par le calcul transitoire.

La modélisation B réalise un calcul identique sur base modale. Les paramètres de calcul sont différents (notamment le pas et la bande de temps de calcul). Ce cas-test permet de tester l'option EXCIT_RESU dans un calcul transitoire sur base modale, et l'option de projection RESU_GENE d'une structure dyna_trans dans PROJ_BASE .



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

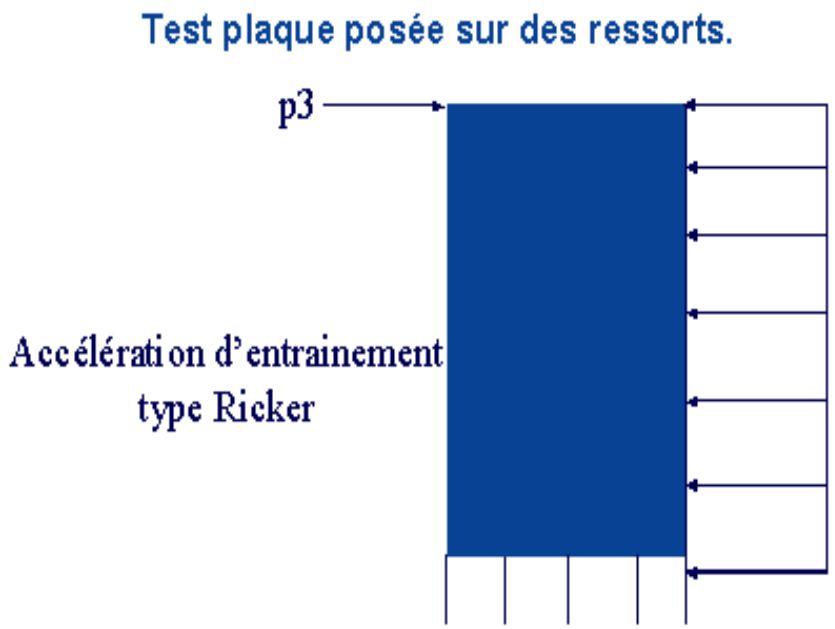



Figure 1 : plaque sur appuis ressorts soumise à une accélération imposée

La plaque a une largeur de $4\,m$ (direction $X$), une hauteur de $8\,m$ (direction $Y$) et une épaisseur de $1\,m$ dans la direction $Z$ normale à son plan.

On affecte une double série de ressorts au bord inférieur de la plaque. Une première série de 5 ressorts pour représenter l'appui de la plaque et une deuxième série de 5 ressorts intercalée entre la première et le bord inférieur de la plaque pour représenter les ressorts de contact par pénalisation.

## 1.2 Propriétés des matériaux

Pour le matériau de la plaque, on a :

$$E=1.4\times10^{8}\,Pa \qquad \nu=0.3 \qquad \rho=2.5\times10^{3}\,kg/m^{3}$$

Amortissement proportionnel (RAYLEIGH) :

$$C=\alpha K+\beta M \quad \text{avec} \quad \alpha=5.0\times10^{-3}\,s \quad \text{et} \quad \beta=0.1\,s^{-1}.$$

La première série de ressorts pour représenter l'appui de la plaque a des caractéristiques de rigidité de $1.0\times10^{8}\,N.m$ dans la direction $Y$ horizontale. Les autres caractéristiques de rigidité dans les autres directions ainsi que celles des ressorts de contact par pénalisation valent $1.0\times10^{15}\,N.m$ .

## 1.3 Conditions aux limites et chargements



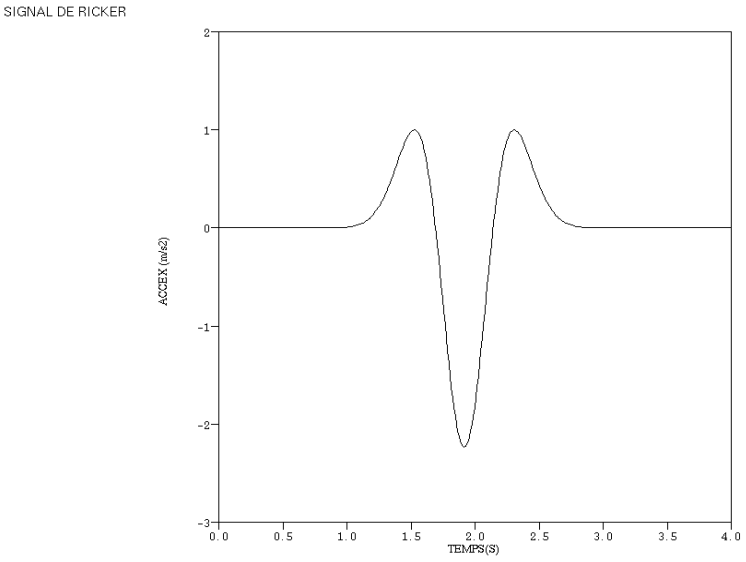
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Sur toute la structure on impose $DZ = DRY = 0$ .

On impose la condition d'encastrement en bas de la première série de ressorts afin de représenter l'appui de la plaque: $DX = DY = DZ = 0$ .

On applique la pesanteur dans la direction verticale $Y$ .

On applique également une accélération imposée mono-appui dans la direction horizontale $X$ sous forme de signal de Ricker d'amplitude $0.23\,g$ .




## 1.4 Conditions initiales

La structure est initialement au repos.

# 2 Solution de référence : modélisation A

## 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La méthode utilisée ici est la méthode dite temps-fréquence [bib1] où après une première étape linéaire résolue en fréquentiel après transformation de Fourier des excitations transitoires puis retour général en temps de tout le résultat obtenu par transformation de Fourier inverse, on estime le complément de forces nodales internes dû à la non linéarité du décollement calculé sur toute la plage temporelle. On procède ensuite dans une nouvelle étape à une nouvelle résolution linéaire en fréquentiel après transformation de Fourier de ce complément ajouté aux excitations transitoires initiales. La solution obtenue génère un nouveau complément de forces nodales internes non linéaires et ainsi de suite. On arrête le processus itératif quand une norme sur la fenêtre temporelle de la différence des déplacements entre 2 étapes successives devient inférieure à une valeur de critère utilisateur.
Il existe aussi une variante purement transitoire de cette méthode [bib2] où on ne résout qu'en transitoire sans retour en fréquentiel du complément de forces nodales internes non linéaires.

## 2.2 Résultats de référence

On retient comme résultats de référence les maxima des déplacements horizontaux et verticaux relevés pendant 2 étapes du calcul dynamique à l'extrémité supérieure gauche de la plaque au point $P3$ (cf. figure1).



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

## 2.3 Validation complémentaire de REST_SPEC_TEMP

L'opérateur REST_SPEC_TEMP se base sur une version fortran de l'algorithme de FFT. Il est pertinent de vérifier que l'on retrouve bien le même résultat avec la FFT (python) de CALC_FONCTION. Pour cela, on va comparer l'évolution du déplacement suivant $X$ et $Y$ du point $P3$. L'écart absolu entre les deux méthodes doit être négligeable (de l'ordre de la précision numérique).

# 3 Solution de référence : modélisation B

## 3.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Le calcul réalisé ici est identique à celui de la modélisation A, sur base modale. Ce calcul permet de valider les commandes

- PROJ_BASE option RESU_GENE : projection d'une évolution temporelle (dyna_trans) sur une base de modes,
- DYNA_VIBRA, en temporel (TYPE_CALCUL='TRAN') et sur base modale (BASE_CALCUL='GENE') avec une excitation définie par l'option EXCIT_RESU.

## 3.2 Résultats de référence

Les résultats testés dans le cadre de la modélisation B sont les mêmes que pour la modélisation A. Les valeurs de référence sont différentes, car les valeurs des bandes et pas de temps de calcul sont différentes. La fréquence d'échantillonnage choisie pour les calculs temporels est de 1000 Hz.

# 4 Références bibliographiques

1. N. GREFFET : Projet OMERSI - Bilan sur la méthode temps-fréquence en ISS. CR-AMA–06.219

2. G. DEVESA : Application d'une méthode de condensation dynamique modale dans *Code_Aster* à l'étude en ISS de la reprise conjointe de la méthode Temps-Fréquence et d'une méthode alternative strictement temporelle. CR-AMA–08.164



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

# 5 Modélisation A

## 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Dans cette modélisation, la résolution du problème dynamique s'opère dans une boucle de calculs linéaires où on recalcule à chaque fois sur toute la plage temporelle le complément de forces nodales dû à la non linéarité du décollement. On utilise, soit un calcul harmonique avec une évolution fréquentielle et retour en temps par transformée de Fourier dans la méthode temps-fréquence classique, soit un calcul transitoire sur base physique avec une méthode strictement temporelle alternative.

## 5.2 Caractéristiques du maillage

Le modèle est composé de 55 nœuds (285 ddls), 42 éléments (32 éléments plaques DKT et 10 éléments discrets DIS_T).

## 5.3 Paramètres du calcul

Chaque calcul dynamique transitoire est mené sur un intervalle de $5\,s$ par pas de temps de $0.005\,s$ archivé tous les 2 pas. Chaque calcul harmonique est mené avec un pas de $1/20.48\,Hz$ qui permet de restituer une fenêtre temporelle de $20.48\,s$ suffisante pour bien calculer la FFT de la force de pesanteur constante dans le temps ; la fréquence maximale de calcul vaut $25\,Hz$ et celle prolongée est de $50\,Hz$ afin d'obtenir un pas de temps de $0.01\,s$ dans la fenêtre temporelle restituée par FFT.

## 5.4 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Transitoire | Harmonique | Différence |
|---|---|---|---|
| $P3$ – $DX$ (2.33 s) iter=1 | -4.58502E-2 | -4.58588E-2 | 0.019 % |
| $P3$ – $DY$ (2.33 s) iter=1 | 5.67299E-3 | 5.67541E-3 | 0.043 % |
| $P3$ – $DX$ (2.34 s) iter=2 | -4.82202E-2 | -4.82436E-2 | 0.048 % |
| $P3$ – $DY$ (2.34 s) iter=2 | 6.55566E-3 | 6.54736E-3 | 0.127 % |

Comparaison de la FFT fortran (REST_SPEC_TEMP) et de la FFT python (CALC_FONCTION) :

| Identification | REST_SPEC_TEMP | CALC_FONCTION | Écart absolu |
|---|---|---|---|
| $P3$ – $DX$ (2.34 s) iter=2 | -4.82202E-2 | -4.82202E-2 | 2.5673907444E-16 |
| $P3$ – $DY$ (2.34 s) iter=2 | 6.55566E-3 | 6.55566E-3 | -7.4593109467E-17 |



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

# 6 Synthèse des résultats

On peut considérer que la mise en œuvre de ce cas test est une bonne application de la méthode temps-fréquence et qu'elle permet à la fois de tester, sur un calcul strictement linéaire, l'opérateur REST_SPEC_TEMP de retour en temps par transformée de Fourier inverse de toute l'évolution harmonique en comparant son résultat à l'évolution transitoire obtenue directement par un calcul transitoire sur base physique.



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