SDLS112 - Extrapolation de mesures sur un modèle 2D (test de GARTEUR)

Résumé :

Ce cas test permet de valider l'extrapolation de mesures obtenues par un modèle expérimental sur un modèle 2D numérique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie du modèle numérique

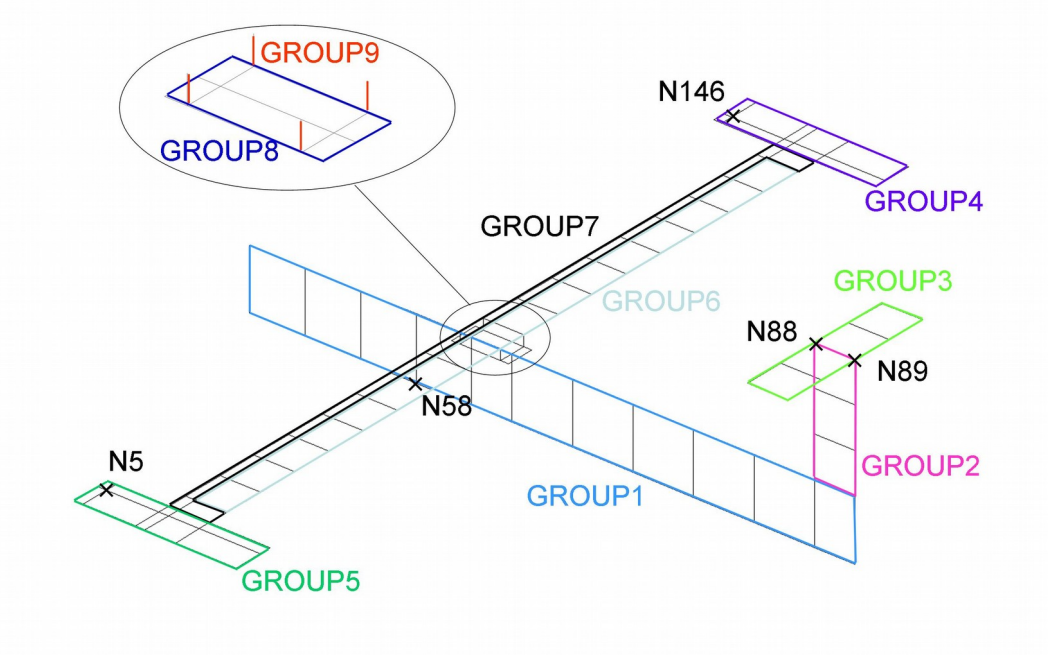


Figure 1-1: maillage du modèle numérique

- Coordonnées des nœuds (m) :
  - $N5:(0.42,-0.93,0.176)$
  - $N58:(0.412,0.0,0.0)$
  - $N88:(1.4,0.0,0.45)$
  - $N89:(1.5,0.0,0.45)$
  - $N146:(0.42,0.93,0.176)$
- Épaisseur (m) :
  - $e1=0.05$ $GROUP1$
  - $e2=0.01$ $GROUP2, GROUP3, GROUP4, GROUP5, GROUP7$
  - $e3=0.011$ $GROUP6$
  - $e4=0.016$ $GROUP8$
- formule
  - $GROUP10:(N5,N88,N89,N146)$

1.2 Propriétés des matériaux

- $GROUP1$ à $GROUP7$
  - $E=7.2\times10^{10}\,Pa$ Module d'Young
  - $\nu=0.34$ Coefficient de poisson
  - $\rho=2700.0\,kg.m^{-3}$ Masse volumique

- $GROUP8$
  - $E=2.1\times10^{11}\,Pa$ Module d'Young
  - $\nu=0.29$ Coefficient de poisson
  - $\rho=7800.0\,kg.m^{-3}$ Masse volumique

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

- caractéristiques pour le $GROUP9$:
  - Matrice de rigidité K_TR_D_L : $\begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix}$

$$\text{avec } [K]=\begin{bmatrix} 10^{12} & 0. & 0. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 10^{12} & 0. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 10^{12} & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 10^{8} & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 10^{8} & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 10^{8} \end{bmatrix}$$

- caractéristiques pour le $GROUP10$:
  - Matrice de masse M_T_D_N : $[M]=\begin{bmatrix} 0.5 & 0. & 0. \\ 0. & 0.5 & 0. \\ 0. & 0. & 0.5 \end{bmatrix}$

1.3 Conditions aux limites et chargements

- Déplacement imposé :
  - nœud $N58$: $DRX=DRY=DRZ=DX=DY=DZ=0.0$

1.4 Géométrie du modèle expérimental

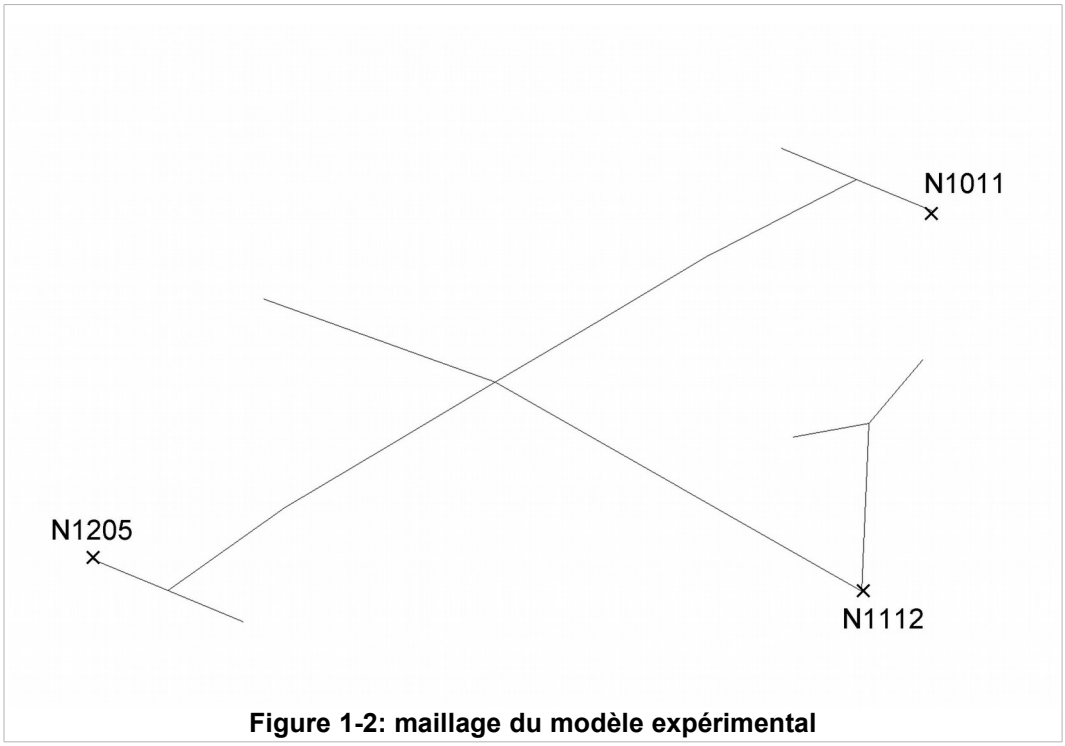


Figure 1-2: maillage du modèle expérimental

Coordonnées des noeuds formule (m) :

$$N1011:(0.78\,;0.98\,;0.186)$$

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

$N1112 : (0.42 ; -0.98 ; 0.186)$
$N1205 : (1.45 ; -0.025 ; 0.075)$

Groupe de maille :

formule $NOEU$: Ensemble des éléments segments du modèle experimental

1.5 Propriétés du modèle expérimental

Caractéristiques pour le groupe de maille formule $NOEU$:

- Matrice de rigidité K_T_D_N : formule $\begin{bmatrix} 10^{12} & 0. & 0. \\ 0. & 10^{12} & 0. \\ 0. & 0. & 10^{12} \end{bmatrix}$

Les caractéristiques mécaniques du modèle expérimental n'ont pas vocation à représenter la physique de la structure, mais à créer les structures de données nécessaires à la lecture des résultats expérimentaux (l'opérateur LIRE_RESU a en effet besoin des matrices et nume_ddl associés à la structure pour créer la structure de données resultat associée).

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

2 Objectif du cas-test, validation

L'objectif du cas-test est de valider plus particulièrement les commandes suivantes :

- MAC_MODES : calcul de la matrice de MAC entre deux bases modales,
- LIRE_RESU : lecture de données expérimentales au format IDEAS,
- MACRO_EXPANS : expansion de données mesurées sur un modèle numérique constitué d'une base de déformées « judicieuse ».

Le cas-test est basé sur le benchmark du garteur (www.garteur.eu, groupe de recherche en aéronautique européen).
Le cas-test est ici trivial : les données expérimentales (FRF et modes propres) ont d'abord été calculés numériquement avant d'être exportés au format IDEAS. Leur expansion sur le même modèle numérique doit donc permettre de retrouver exactement les données attendues.

2.1 Déroulement du cas-test

- Modèle numérique :
  - Définition et calcul de la base modale du modèle numérique,
  - Extraction des modes selon leur masse effective dans les trois directions (avec EXTR_MODES)
  - Calcul de la matrice de corrélation entre deux bases modales avec MAC_MODES : ce calcul est fait pour vérifier l'orthogonalité de la base MODESORT.

- Modèle expérimental :
  - Définition du modèle expérimental : les valeurs des caractéristiques mécaniques sont arbitraires, elles ne servent qu'à créer des structures de données cohérentes pour la lecture des données expérimentales,
  - Lecture de la réponse harmonique expérimentale,
  - Expansion de la réponse expérimentale sur le modèle numérique (MACRO_EXPANS),
  - Lecture des modes expérimentaux,
  - Expansion des modes expérimentaux sur le modèle numérique.

L'expansion des données expérimentales avec MACRO_EXPANS consiste en la succession des commandes PROJ_MESU_MODAL et REST_GENE_PHYS (et PROJ_CHAMP, pour vérification). L'objectif est de trouver la meilleure combinaison des vecteurs propres contenus dans la base numérique devant le mot-clé BASE qui reproduisent correctement le comportement des données expérimentales. Sous réserve que la modélisation reflète correctement la physique de la structure mesurée, on interpole les données expérimentales avec les déformées contenues dans le modèle numérique.

- Modélisation A : expansion des FRF définies sur le modèle expérimental sur une base composée des modes dynamiques de la structure, et expansion des modes modes propres identifiés sur le modèle expérimental sur la même base d'expansion,
- Modélisation B : expansion des modes propres identifiés sur le modèle expérimental en utilisant une base d'expansion composée de déformées statiques définies sur une partie des DDL de la structure numérique.

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

2.2 Validation des résultats

Le test des résultats se fait par expansion/reprojection. Aucune référence extérieure au calcul n'a donc à être définie. Pour la modélisation a, les test suivants sont réalisés :

- test de l'orthogonalité des modes propres extraits MODESY (5 modes) : la matrice obtenue est la matrice unité,

	Composante	Référence
Matrice obtenue par MAC_MODES	SOMM	5.0

- FRF étendues : test des écarts entre FRF expérimentales et FRF étendues/reprojetées, sur une composante de trois noeuds : on calcule le ratio suivant :

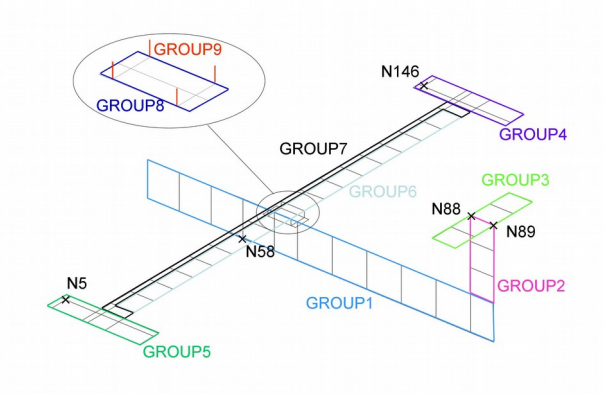
$$R=\frac{RMS(\left|FRF_{\exp}-FRF_{et}\right|)}{RMS(FRF_{\exp})}$$

- modes propres étendus : test de l'orthogonalité de la base étendue, en faisant le MAC de celle-ci par elle-même (MAC_ET),
- modes propres étendus : test des composantes diagonales de la matrice de MAC entre les modes étendus modes numérique (MAC_ETNX), pour la modélisation A, et entre les modes étendus/reprojetés et les modes expérimentaux pour la modélisation B (MAC_RDEX).

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

3 Modélisation A

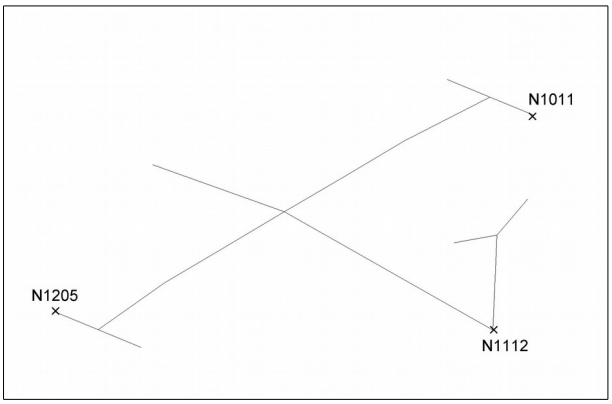
3.1 Modèle numérique



$GROUP1$ à $GROUP8$: Modélisation DKT
$GROUP9$: Modélisation DIS_TR
formule $GROUP10 : (N5, N88, N89, N146)$:Modélisation DIS_T

Nombre de nœuds	138	
Nombre de mailles	86	Soit :
		SEG2 4
		QUAD4 82

3.2 Modèle expérimental



Modélisation DIS_T : les caractéristiques du modèle expérimental n'ont pas de réalité physique, et n'ont pour objectif que de pouvoir affecter une numérotation et des matrices qui permettent le post-traitement des résultats. Ainsi, lire un résultat expérimental (LIRE_RESU), il faut auparavant avoir défini des matrices de masse et de raideur, et pour faire un calcul de MAC entre deux bases de modes expérimentales, il faut auparavant avoir défini un NUME_DDL.

3.3 Paramètres de l'expansion

- Base d'expansion : modes dynamiques calculés sur le modèle dynamique,

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

- 21 modes sont calculés dans la bande $[0.0, 280.0]$,

3.4 Grandeurs testées et résultats

Matrice des modes numériques : elle doit être parfaitement orthogonale au sens du MAC. La somme de ses composantes doit donc valoir 5 (nombre de modes contenus dans la structure MODESY).

	Composante	Référence	Tolérance
Matrice obtenue par MAC_MODES	*SOMM*	formule 5.0	10^{-10}

On vérifie que l'écart entre FRF mesurées et étendues/reprojetées est relativement proche de zéro.

	Nœud	Composante	Référence (m/s^{-2})	Tolérance
Écart relatif sur l'accélération	*N1011*	*D3*	0.0	10^{-2}
	N1112	*D3*	0.0	10^{-2}
	N1205	*D2*	0.0	10^{-2}

On vérifie que l'auto-MAC des modes étendus est proche de la matrice identité, les modes étendus devant être orthogonaux. Le résultat doit être relativement correct (tolérance de 10^{-2}). Remarque : pour la modélisation B, ce test n'est pas réalisé, car dans ce cas, les modes étendus ne vérifient pas la condition d'orthogonalité. La base d'expansion dynamique donne ici de meilleurs résultats

	Composante	Référence	Tolérance
Matrice obtenue par MAC_MODES	*SOMM*	21.0	0.01

On vérifie que la diagonale du MAC entre modes étendus et les modes numériques est proche de 1. Pour chacun des termes de la diagonale (21 modes en tout), on réalise le test suivant :

	Composante	Référence	Tolérance
Matrice obtenue par MAC_MODES	ii, ii	1.0	0.01

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

4 Modélisation B

4.1 Modèles numérique et expérimental

Les modélisations sont identiques au cas de la modélisation A.

4.2 Base d'expansion

La base d'expansion est obtenue avec l'opérateur MODE_STATIQUE . Il faut théoriquement créer les déformées associées au degrés de liberté expérimentaux, c'est-à-dire choisir les nœuds placés au niveau des points de mesure.
Ici, les points de mesure ne correspondent pas à des nœuds définis sur le modèle numérique. Deux solutions sont proposées :

- Liste de nœuds courte : pour chaque nœud expérimental, on a choisi un nœud du modèle numérique qui se situe le plus près ; la correspondance entre les nœuds des deux modèles dans le rapport de calcul de PROJ_MESU_MODAL,
- De la même manière, on définit une liste longue, qui contient tous les nœuds situés à proximité des nœuds de mesure ; les modes statiques issus de cette liste sont cependant redondants pour la résolution du problème inverse : dans ce cas, le problème inverse est mal posé, et il est nécessaire de le régulariser, en utilisant les mots-clés EPS, REGUL et COEF_PONDER dans MACRO_EXPANS ; par défaut, celle liste est en commentaire.

4.3 Grandeurs testées et résultats

Quelques différences sont à noter entre les résultats de la modélisation A et B. La base d'expansion est la base des modes statiques. Il est à noter que ceux-ci sont définis (avec l'opérateur MECA_STATIQUE) sur une matrice de raideur pour laquelle les degrés de liberté correspondant aux relevés statiques sont encastrés. Ce n'est donc pas le même NUME_DDL que pour les modes numériques : on ne peut donc pas comparer les modes étendus et les modes numériques par critère de MAC (ces derniers ne sont donc même pas calculés). On réalise donc une comparaison des modes expérimentaux par rapport aux modes étendus/reprojetés.
La base d'expansion statique n'est pas de très bonne qualité, l'orthogonalité des modes étendus n'est pas réalisée. Elle n'est pas testée ici.

	Composante	Référence	Tolérance
Matrice obtenue par MAC_MODES	*SOMM*	21.0	0.01

On vérifie que la diagonale du MAC entre modes étendus et les modes numériques est proche de 1. Pour chacun des termes de la diagonale (21 modes en tout), on réalise le test suivant :

	Composante	Référence	Tolérance
Matrice obtenue par MAC_MODES	ii, ii	1.0	0.01

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