SDLX103 – Interaction structure - sol - structure entre deux bâtiments enfouis

Résumé :

Ce test contribue à la validation du chaînage *Code_Aster* - MISS3D par la méthode fréquentielle de couplage. Il représente un cas type de couplage par le sol entre 2 bâtiments enfouis, c'est-à-dire un cas d'interaction structure - sol - structure. On teste 2 bâtiments jumeaux représentés chacun par un modèle 1D de type modèle-brochette, enfoncés chacun de $5\mathrm{m}$ dans un sol stratifié. Une force harmonique, de module constant pour chaque fréquence comprise entre $0{,}1\,Hz$ et $20\,Hz$, est imposée au sommet d'un des bâtiments.

On teste le module de la réponse directe en haut du bâtiment excité ainsi que le module de la réponse couplée en haut du bâtiment adjacent par rapport aux valeurs obtenues lors d'un programme d'essais sur des structures représentatives de bâtiments nucléaires soumis au risque sismique : le programme NUPEC [bib1]. La concordance entre calculs et essais est très satisfaisante.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le logiciel MISS3D utilise la méthode fréquentielle de couplage pour tenir compte de l'interaction sol-structure. Cette méthode, basée sur la sous-structuration dynamique, consiste à découper le domaine d'étude en trois sous-domaines :

- le sol,
- la fondation,
- le bâtiment.

Le sol

Le sol correspond au profil à 10 couches horizontales représenté sur la [Figure 1.1-a] ci-dessous :

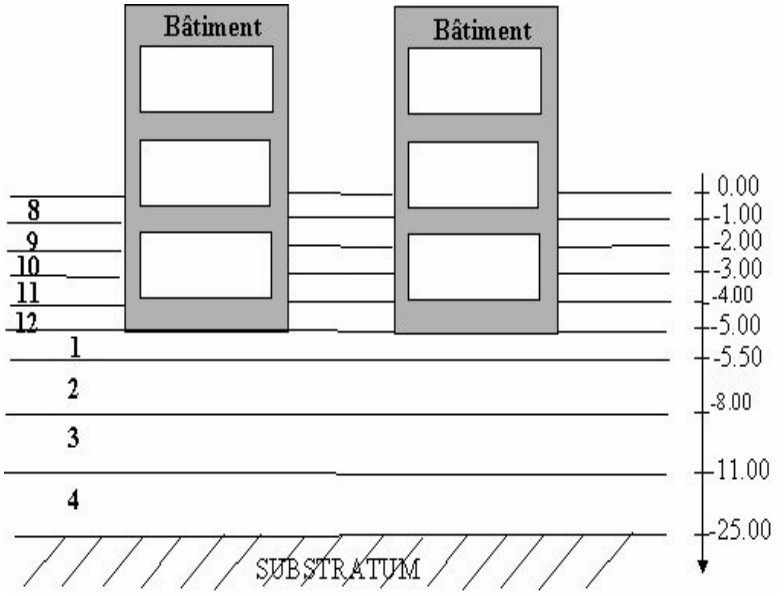


Figure 1.1-a : Configuration bâtiments juxtaposés [bib1]

n° Couche	Epaisseur (m)	E (MPa)	ρ (kg/m3)	2β (%)	ν
1	0,50	97,776	1940	10	0,120
2	2,50	614,930	1940	10	0,371
3	3,00	1015,100	1940	4	0,415
4	14,00	10190,000	2210	4	0,386
5 (substratum)	27,75	15010.00	2210	4	0,343
8	1,00	117,880	1770	10	0,386
9	1,00	190,270	1770	10	0,279
10	1,00	207,000	1770	10	0,265
11	1,00	224,190	1770	10	0,251
12	1,00	248,670	1770	10	0,272

Tableau 1.1-a : sol en configuration fondation enterrée [bib1]

La fondation

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

La fondation surfacique des 2 bâtiments est représentée sur la [Figure 1.1-b] ci-dessous. Deux modèles surfacique de la fondation complètent deux modèles brochettes des bâtiments ([Figure 1.1-c] ci-après). Au modèle surfacique initial de 128 éléments de plaques représentant la base de la double fondation, on ajoute 320 éléments de plaque de très faible épaisseur pour représenter les parois latérales de l'enfoncement de $5\,m$ [Figure 1.1-b]. On juxtapose les deux configurations de type bâtiment seul enterré en laissant entre chaque radier une distance de $60\,cm$.

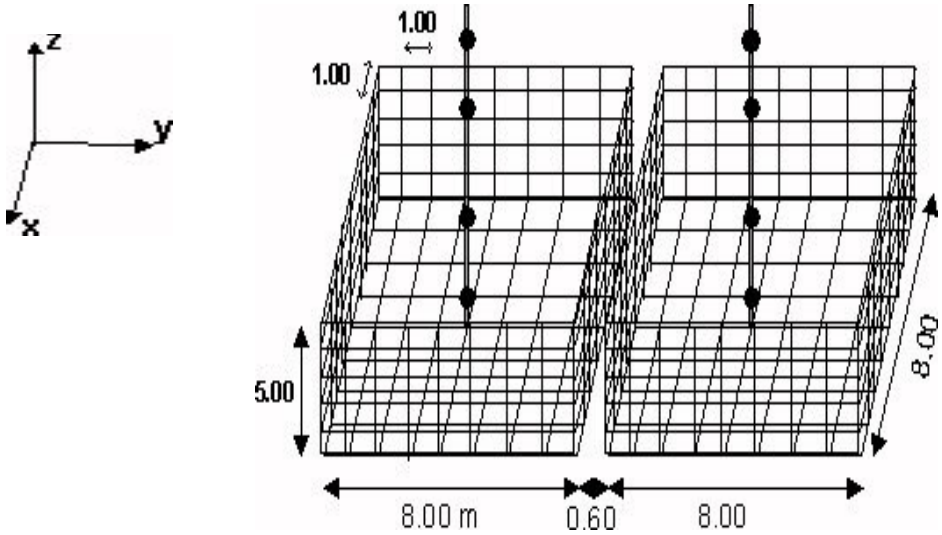


Figure 1.1-b : Maillage surfacique de la fondation

Le bâtiment

Le bâtiment est modélisé en 1D par un modèle brochette composé de 7 poutres non pesantes de 5 types et de 4 masses ponctuelles comme le montre la [Figure 1.1-c] ci-après :

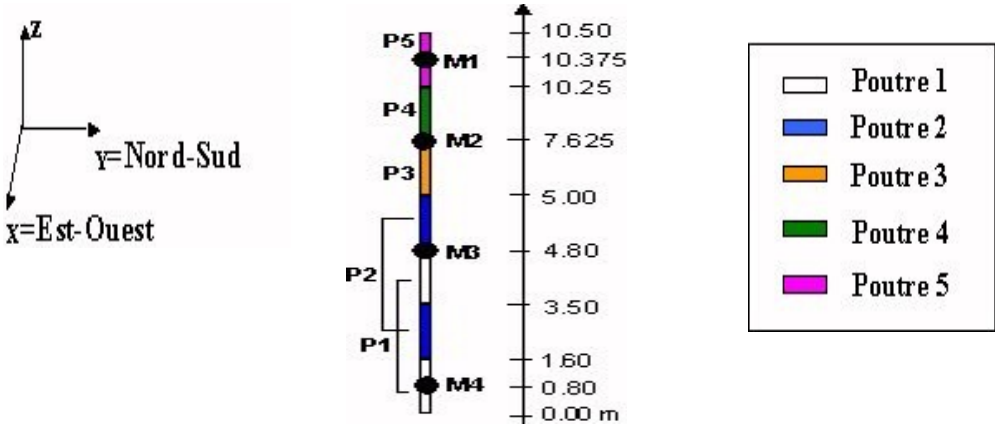


Figure 1.1-c : Modélisation de chacun des bâtiments

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

Caractéristiques du bâtiment :

Les caractéristiques des poutres et des masses qui ont servi à modéliser chacun des bâtiments sont données dans les tableaux ci dessous :

Masse	Altitude	Masse	Inerties massiques ($10^3 kg.m^2$)		
	(m)	($10^3 kg$)	J_{xx}	J_{yy}	J_{zz}
M1	10,38	79,25	410,72	482,34	893,06
M2	6,25	104,09	574,75	694,04	1268,79
M3	4,8	156,71	1020,85	1071,22	2092,07
M4	0,8	316,97	1846,7	1844,02	3690,72

Tableau 1.1-b : caractéristiques des masses du modèle brochette fourni par NUPEC [bib1]

Poutre	Aire (m^2)	Moment d'inertie (m^4)		Coefficient de cisaillement		Constante de torsion (m^4)
	A	I_z	I_y	A_y	A_z	J_x
P1	59,50	341,33	341,33	1/0,93	1/0,93	682,70
P2	8,28	39,51	54,77	2,94	1,47	94,30
P3	63,19	341,33	341,33	1/0,99	1/0,99	682,70
P4	19,78	148,34	149,14	2,13	2,11	297,50
P5	64,00	341,33	341,33	1,00	1,00	682,70

Tableau 1.1-c : caractéristiques des poutres du modèle brochette fourni par NUPEC [bib1]

La géométrie prise en compte dans *Code_Aster* est celle de la structure des bâtiments ainsi que leur fondation. Les données géométriques et physiques du sol sont directement données à MISS3D.

1.2 Propriétés des matériaux

Le sol

Les caractéristiques mécaniques des couches du modèle de sol qui ont été utilisées sont celles indiquées dans le tableau 1.

La fondation et le bâtiment

E	$31000\ MPa$
NU	0,16
RHO	0.
ALPHA	0

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

1.3 Conditions aux limites et chargements mécaniques

Chacune des 2 liaisons entre un modèle 1D et sa fondation est réalisée par une condition de liaison solide entre la fondation et le nœud commun avec le modèle de bâtiment. On bloque ce nœud et on impose un mouvement de corps solide au radier.

On excite le sommet du modèle du bâtiment dans la direction Y, qui est la direction de séparation entre les bâtiments, avec un chargement harmonique $F = F_o \sin \alpha t$ dont le module de la force F_o est de $10\,kN$ avec une pulsation qui varie de 0 à $20\,Hz$ par pas de $0.1\,Hz$.
Pour la configuration enterrée, l'excitation est appliquée de la façon suivante :

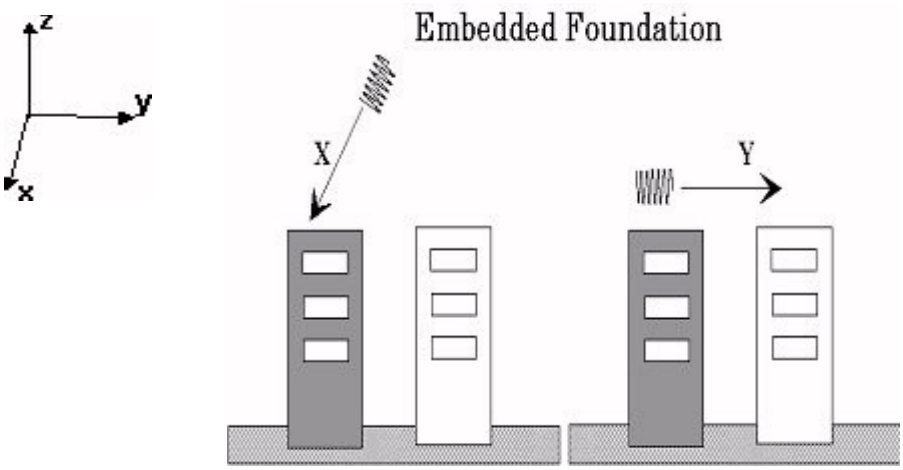


Figure 1.3-a : configuration de l'excitation harmonique en fondation enterrée

2 Solution de référence

2.1 Résultats de référence

On teste le maximum du module de la réponse directe en haut du bâtiment excité ainsi que le maximum du module de la réponse couplée en haut du bâtiment adjacent par rapport aux valeurs obtenues lors d'un programme d'essais sur des structures représentatives de bâtiments nucléaires soumis au risque sismique : le programme NUPEC [bib1].

Les résultats des calculs ont fait l'objet d'une étude détaillée.

2.2 Références bibliographiques

1. Y. KITADA & al: « Models test on dynamic structure-structure interaction of nuclear power plant buildings". Nuclear Engineering and Design 192 (1999) 205-216.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les caractéristiques utilisées et le maillage sont ceux déduits des données du [§1].

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage fourni à *Code_Aster* contient des mailles de type SEG2 pour modéliser la structure bâtiment avec des éléments de poutre et des mailles de types QUAD4, TRIA3 pour modéliser la fondation avec des éléments DKT. Il est important d'avoir orienté les éléments de surface de la fondation avec normale rentrant dans le sol. Les mailles des parois latérales représentant l'enfoncement sont engendrées par la même génératrice verticale comme l'exige MISS3D.

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Les valeurs testées concernent le module de la réponse maximale directe au sommet du bâtiment excité (point $A1$) et le module de la réponse maximale couplée au sommet du bâtiment voisin (point $B1$).

Identification	Référence	*Aster*	Différence
$MYA1$ ($12.5\,Hz$)	27.583	29.123	5.6 %
$MYB1$ ($12.5\,Hz$)	18.048	19.259	6.7 %

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

5 Synthèse des résultats

Les allures des variations des modules des réponses calculées au sommet de chaque bâtiment, (réponse directe et réponse couplée, respectivement en bleu et vert) sont représentées sur le même graphe que celles obtenues par le programme d'essais NUPEC (respectivement en rouge et noir). La concordance entre calculs et essais est très satisfaisante avec un écart relatif autour de 6%.

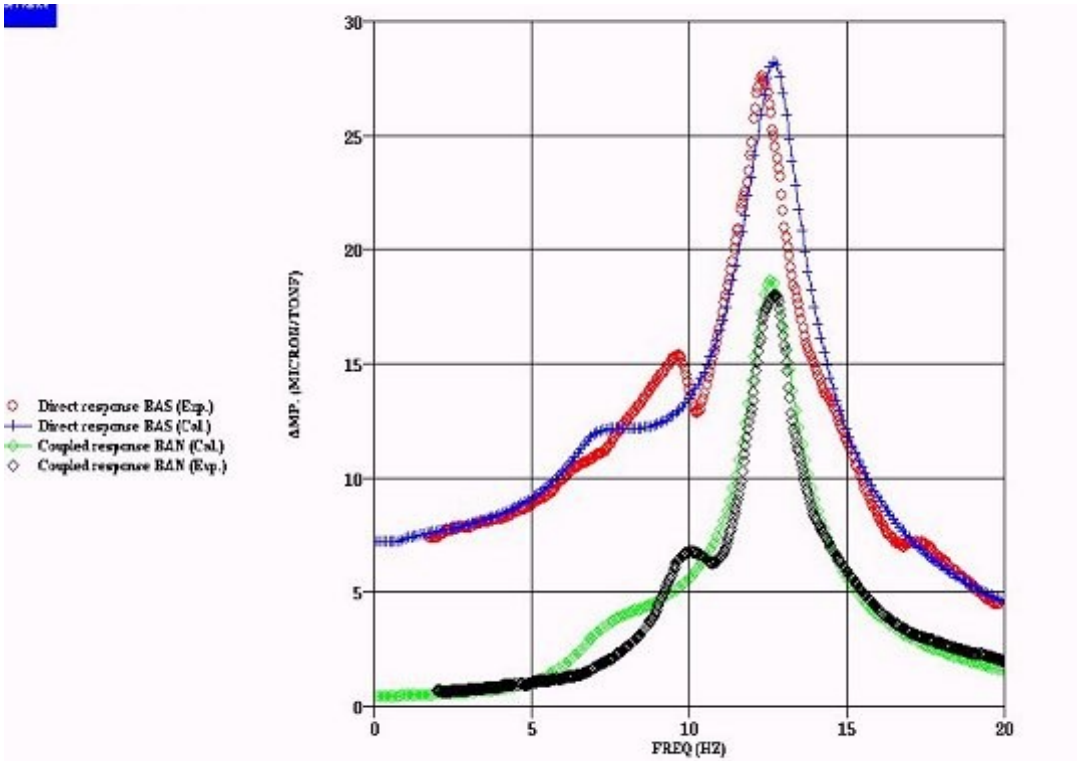


Figure 5 : évolutions calculées et mesurées du module des réponses directe et couplée à l'excitation harmonique en fondation enterrée dans la direction Y.

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