SDLX102 – Interaction structure - sol - structure paramétrique entre deux bâtiments de niveau

Résumé :

Ce test contribue à la validation du chaînage Aster-MISS3D par la méthode fréquentielle de couplage. Il représente un cas type de couplage par le sol entre deux bâtiments, soit un cas d'interaction structure - sol - structure. On teste deux bâtiments jumeaux représentés chacun par un modèle 1D de type modèle-brochette, positionnés chacun sur un sol stratifié et reliés par une fondation surfacique de même surface. Une force harmonique, de module constant pour chaque fréquence comprise entre $0,1$ et $20\,Hz$, est imposée au sommet d'un des bâtiments. Afin d'accélérer le test, on ne va calculer que deux fréquences : 7,3 Hz et 10,4 Hz.

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 pour différents modules de la fondation intermédiaire de liaison par rapport aux valeurs obtenues avec les conditions extrêmes de liaison entre les deux bâtiments : fondations complètement découplées ou complètement rigides. On montre qu'en divisant ou en multipliant par 1000 le module constitutif des structures pour l'affecter à la fondation intermédiaire de liaison avec hypothèse de fondation souple, on obtient les deux cas limites de liaison entre les deux bâtiments avec uniquement hypothèse de fondation rigide.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le logiciel Aster-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 problème traité exploite des données issues d'expérimentations menées par NUPEC [bib2].

Le sol

Le sol correspond au profil à 5 couches horizontales représenté sur la figure ci-dessous :

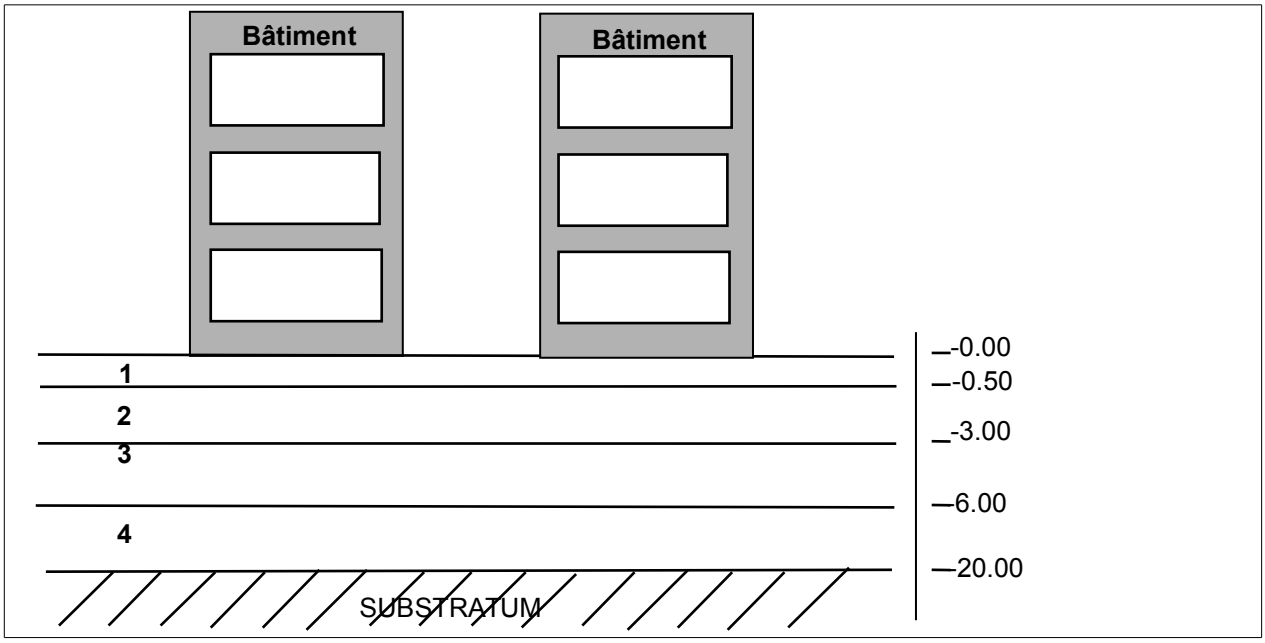


Figure 1.1-a : Configuration bâtiments juxtaposés [bib2]

	Épaisseur (m)	Module d'Young (MPa)	Densité (kg/m^3)	Amortissement hystérétique (%)	Coefficient de Poisson
1	0,50	97,78	1940	10	0,120
2	2,50	614,93	1940	10	0,371
3	3,00	1015,10	1940	4	0,415
4	14,00	10190,00	2210	4	0,386
5 (substratum)	27,75	15015,00	2210	4	0,343

Tableau 1 .1-a : sol avec fondation enterrée [bib2]

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

La fondation

La fondation surfacique des deux bâtiments est donnée sur la [Figure 1.1-b] ci-dessous. Deux modèles surfaciques de la fondation complètent deux modèles brochettes des bâtiments [Figure 1.1-c] ci-après). Au modèle surfacique initial de 128 éléments représentant la base de la double fondation rigide, on ajoute 64 éléments surfaciques ayant pour épaisseur la base des fondations, soit 1,6 m, pour représenter la fondation intermédiaire de liaison souple de rigidité variable paramétrée par son module d'Young et encastrée dans la double fondation rigide [Figure 1.1-b]. On juxtapose les deux configurations superficielles de bâtiment seul en laissant entre chaque radier une distance de $8\,m$.

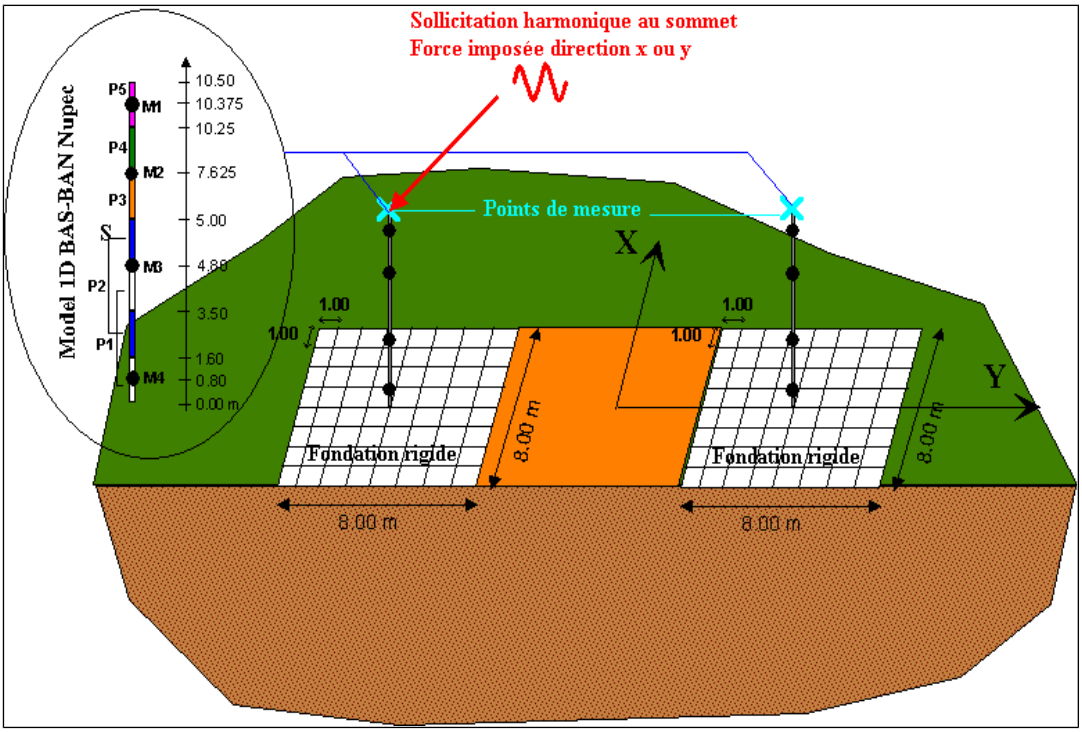


Figure 1.1-b : Modèles et maillages surfaciques des fondations

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 comme le montre la [Figure 1.1-c] ci-après :

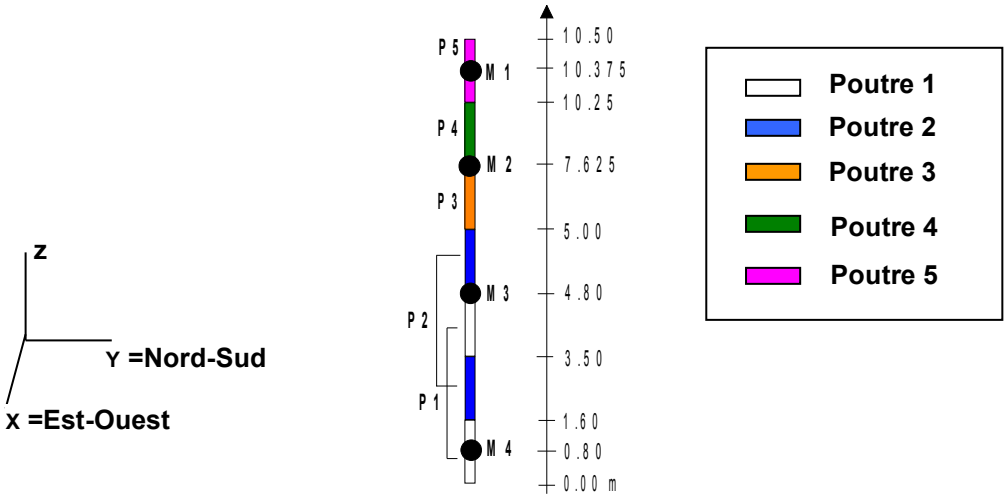


Figure 1.1-c : Modélisation de chacun des bâtiments

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 [bib2]

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	2,94	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	2,13	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 [bib2]

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 `MISS_3D`.

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 1.1-a.

La double fondation rigide et le bâtiment

E	$31000\,MPa$
NU	0.16
RHO	$0.$
ALPHA	$0.$

Le module E de la fondation souple intermédiaire de liaison est paramétré comme un multiple de 10 du module du bâtiment avec un facteur multiplicatif compris entre 0.001 et 1000.

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

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

impose un mouvement de corps solide au radier. Pour calculer les modes contraints associés à la fondation de liaison, on bloque également les degrés de liberté de translation de la fondation de liaison.

On excite le sommet du modèle du bâtiment dans les directions horizontales X et Y avec un chargement harmonique $F=F_o \sin \omega t$ 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 $0,1 Hz$. Cela revient dans *Code_Aster* à imposer un chargement de type FORCE_NODALE et à transmettre dans IMPR_MISS_3D le vecteur assemblé correspondant avec une fonction multiplicatrice unitaire en fréquence.

L'excitation est appliquée comme indiqué sur la [Figure 1.1-b].

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

2 Solution de référence

2.1 Résultats de référence

La méthode fréquentielle de couplage entre MISS3D et *Code_Aster* est décrite dans le document de référence [bib1].

On teste (non-régression) le module de la réponse directe en haut du bâtiment excité ainsi que le module de la réponse couplée en haut du bâtiment adjacent.

Les résultats de calculs sur ces structures ont fait l'objet d'une étude détaillée.

2.2 Références bibliographiques

1. D. CLOUTEAU : « Manuel de référence de MISS3D – version 6.3 – Centrale Recherche SA »

2. 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 paragraphe [1]. Afin d'accélérer le test, on ne va calculer que deux fréquences : 7,3 Hz et 10,4 Hz. On utilise les impédances et forces sismiques calculées sur le serveur de référence aster5, ces données sont donc fournies en entrée du test et l'appel à CALC_MISS ayant servi à les calculer est donc commenté.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage fourni à *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.

3.3 Grandeurs testées et résultats

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

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

4 Synthèse des résultats

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 pour différents modules de la fondation intermédiaire de liaison. On les compare aux valeurs obtenues avec les conditions extrêmes de liaison entre les 2 bâtiments : fondations complètement découplées ou complètement rigides. On montre sur les figures ci-dessous qu'en divisant ou en multipliant par 1000 le module constitutif des structures pour l'affecter à la fondation intermédiaire de liaison avec hypothèse de fondation souple, on obtient les 2 cas limites de liaison entre les 2 bâtiments (hypothèse de fondation rigide).

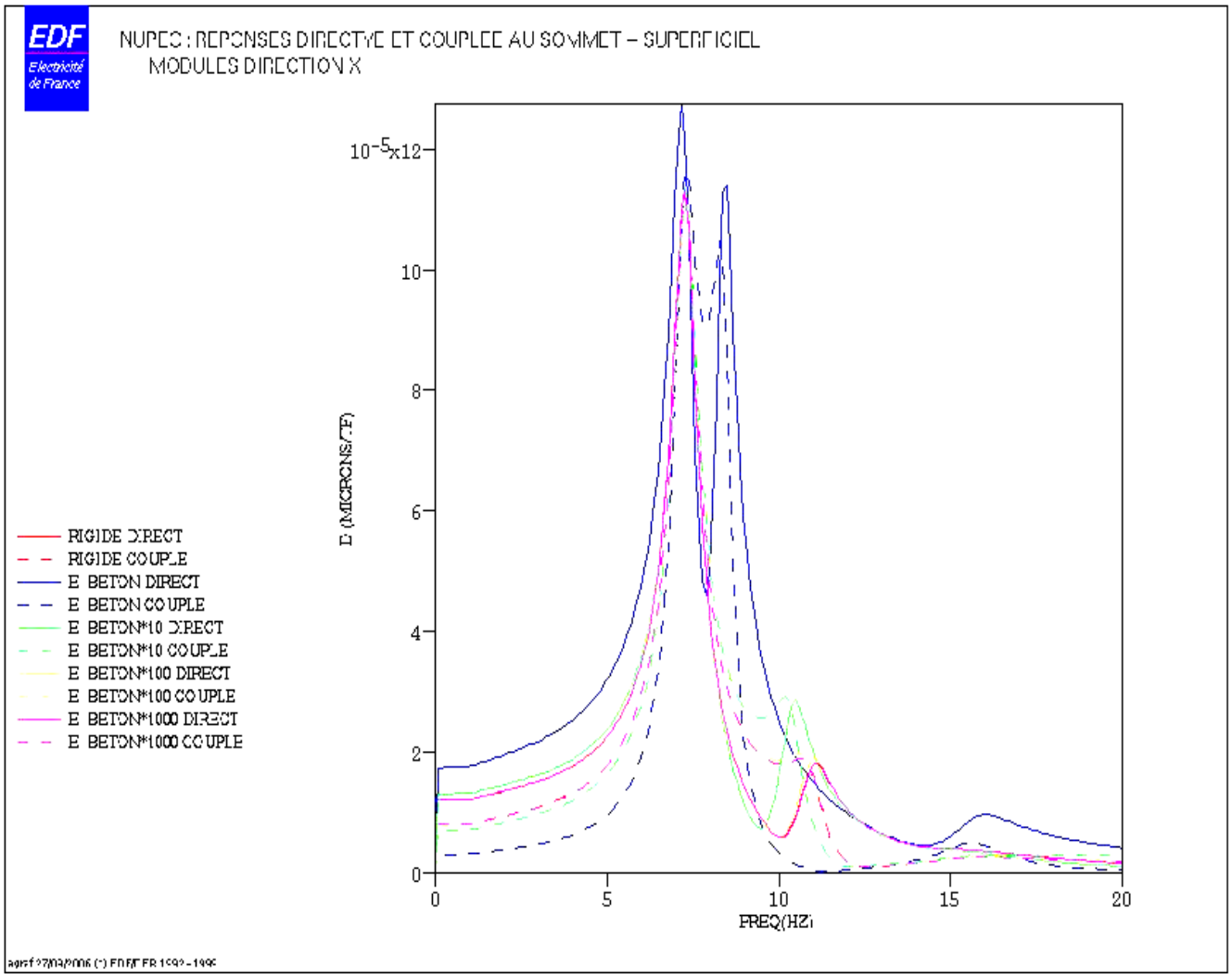


Figure 4-a : Comparaison des modules des réponses directe et couplée à l'excitation harmonique entre cas rigide et cas souple avec augmentation du module de la fondation de liaison dans la direction X.

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

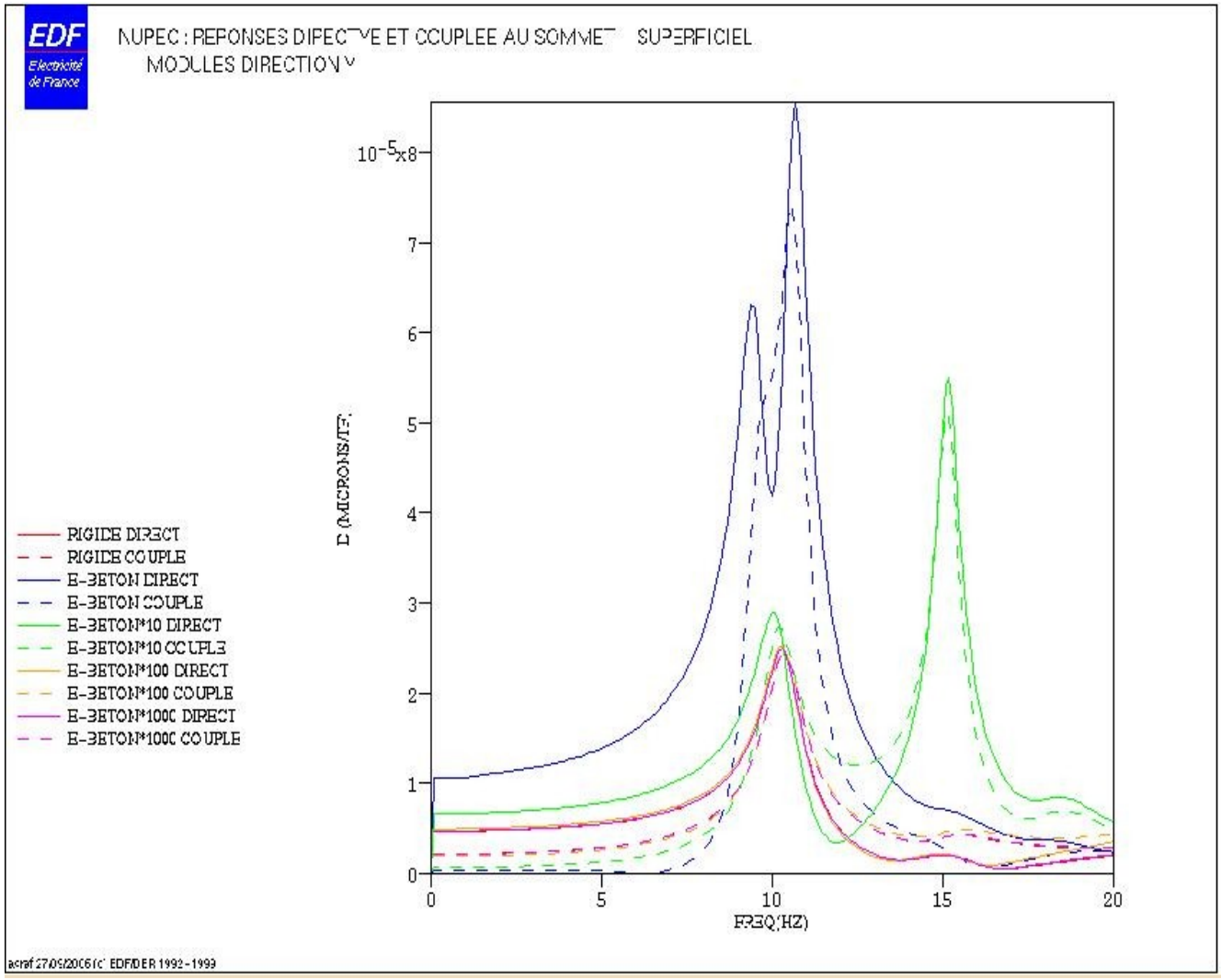


Figure 5-b : Comparaison des modules des réponses directe et couplée à l'excitation harmonique entre cas rigide et cas souple avec augmentation du module de la fondation de liaison dans la direction Y.

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

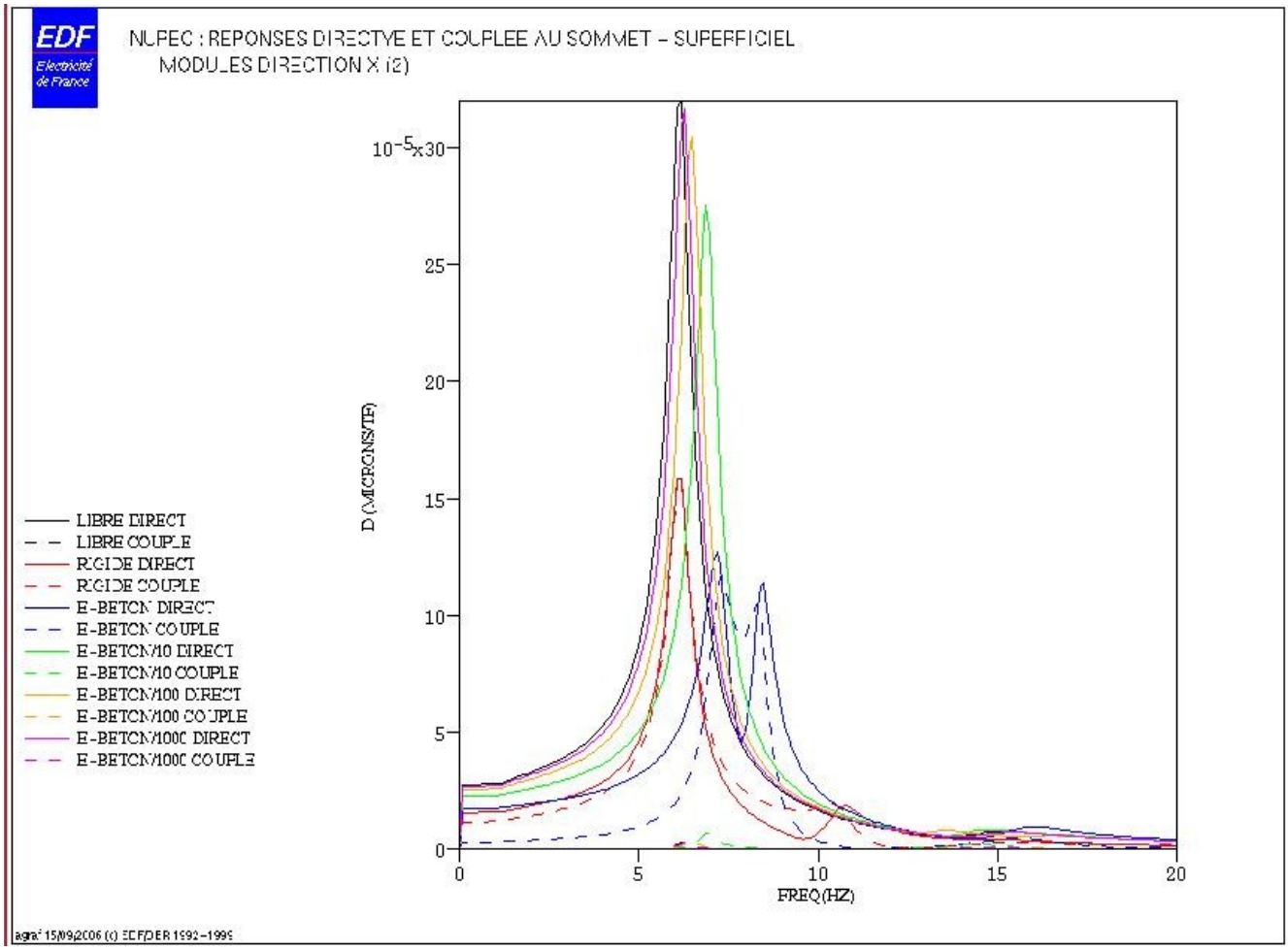


Figure 5-c : Comparaison des modules des réponses directe et couplée à l'excitation harmonique entre cas rigide découplé et cas souple avec diminution du module de la fondation de liaison dans la direction X.

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

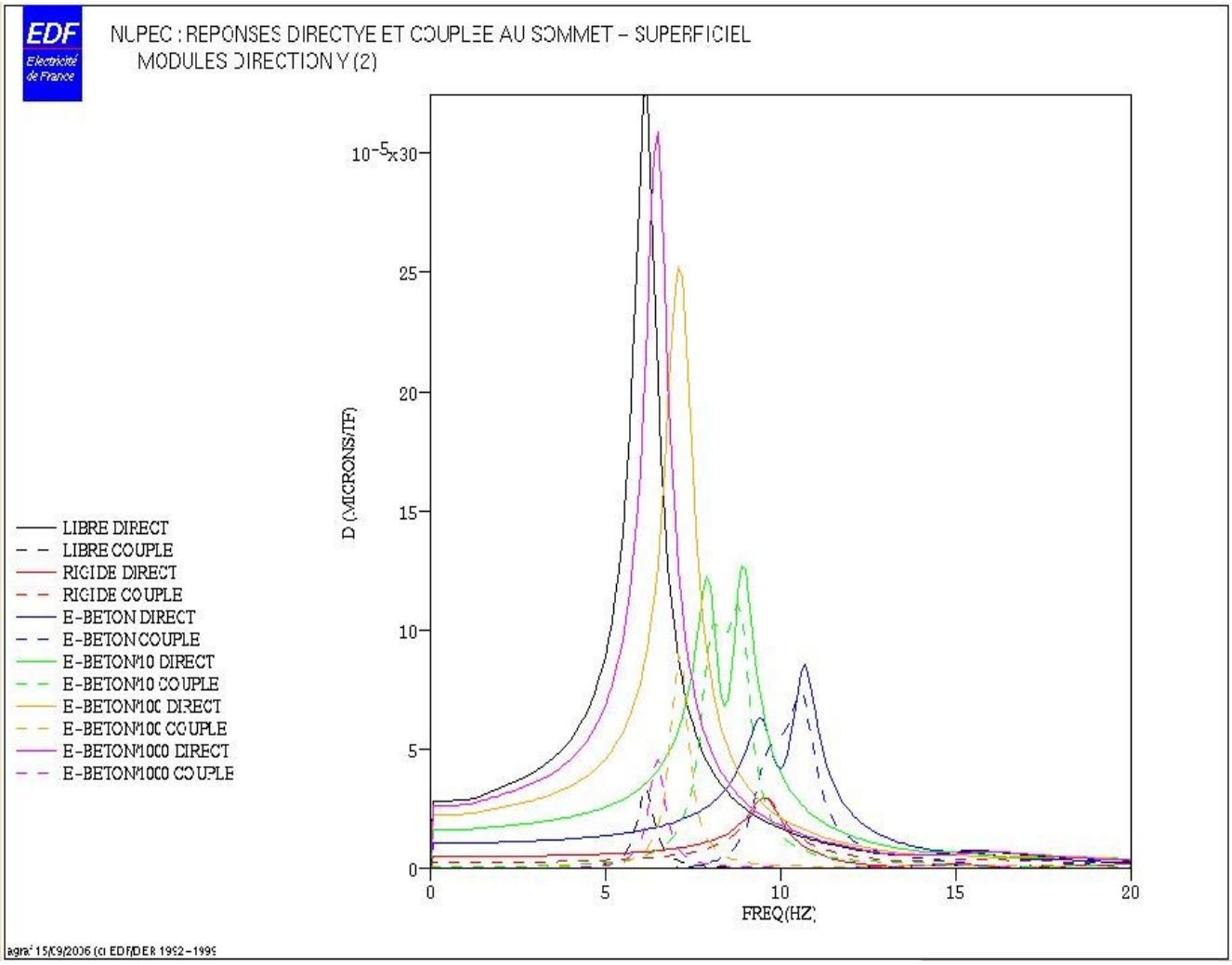


Figure 5-d : Comparaison des modules des réponses directe et couplée à l'excitation harmonique entre cas rigide découplé et cas souple avec diminution du module de la fondation de liaison dans la direction Y.

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