SDLX104 - Mise en œuvre de la méthode de réduction modale dans le chaînage MISS3D-*Code_Aster*

Résumé :

Ce test de non régression met en œuvre un calcul d'interaction sol-structure réalisé avec la méthode de réduction modale grâce au chaînage *Code_Aster* - MISS3D par la méthode fréquentielle de couplage sur un modèle 3D de bâtiment reposant sur un sol stratifié. On reprend ainsi le modèle et le chargement du cas test MISS01.

Les spectres de réponse obtenus à partir du modèle 3D du bâtiment et à l'aide de la chaîne *Code_Aster* - MISS3D sont comparés à ceux obtenus par un calcul réalisé avec prise en compte de tous les modes contraints d'interface (hypothèse de radier souple) constituant un résultat de référence.

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 de sous-structuration dynamique, consiste à découper le domaine d'étude en trois sous-domaines :

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

La géométrie prise en compte est celle d'un bâtiment étendu sur radier unique.

- Géométrie du modèle de la fondation

Le radier est cruciforme, comme le montre la [Figure 1.1-a] ci-dessous :

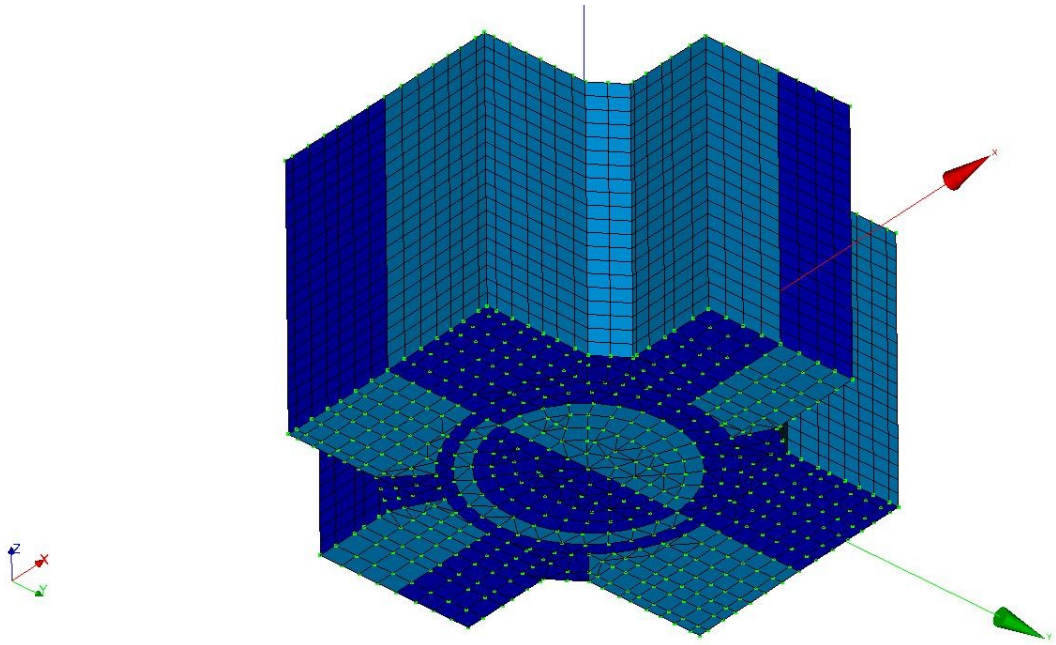


Figure 1.1-a : Fondation du bâtiment

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

1.2 Propriétés des matériaux

On considère un sol stratifié moyen dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-après :

Couche	Épaisseur (m)	$\rho(kg/m^3)$	ν	$E(MPa)$	β
Couche 1	43.9	2150	0.40	4480	0.08
Couche 2	31.0	2070	0.45	1421	0.114
Couche 3	38.5	2150	0.45	1305	0.16
Couche 4	substratum	2400	0.45	6000	0.06

Tableau 1.2-1 : Caractéristiques mécaniques du sol stratifié

La fondation et le bâtiment sont en bétons armés, précontraint et rigide :

Matériau	$E(Pa)$	$\rho(kg/m^2)$	ν
armés	3.5 E10	0 -> 12500	0.2
précontraint	4.0 E10	2.5 E3	0.2
rigide	4.0 E11	0.	0.2

1.3 Conditions aux limites et chargements mécaniques

La fondation est considérée comme rigide. Cette condition est assurée par une liaison solide sur le groupe de mailles de la fondation.

L'excitation sismique de la structure est réalisée en appliquant 3 accélérogrammes, tels que :

Direction	Accélérogramme	Norme
X	acc1.c2	$0.1\,g$
Y	acc2.c2	$0.1\,g$
Z	acc3.c2	$0.06\,g$

Tableau 1.3-1 : Excitations sismiques

On donne donc ici l'accélérogramme (normé à $0.1\mathrm{g}$) et le spectre de chacune des excitations élémentaires pour un amortissement de 4%.

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

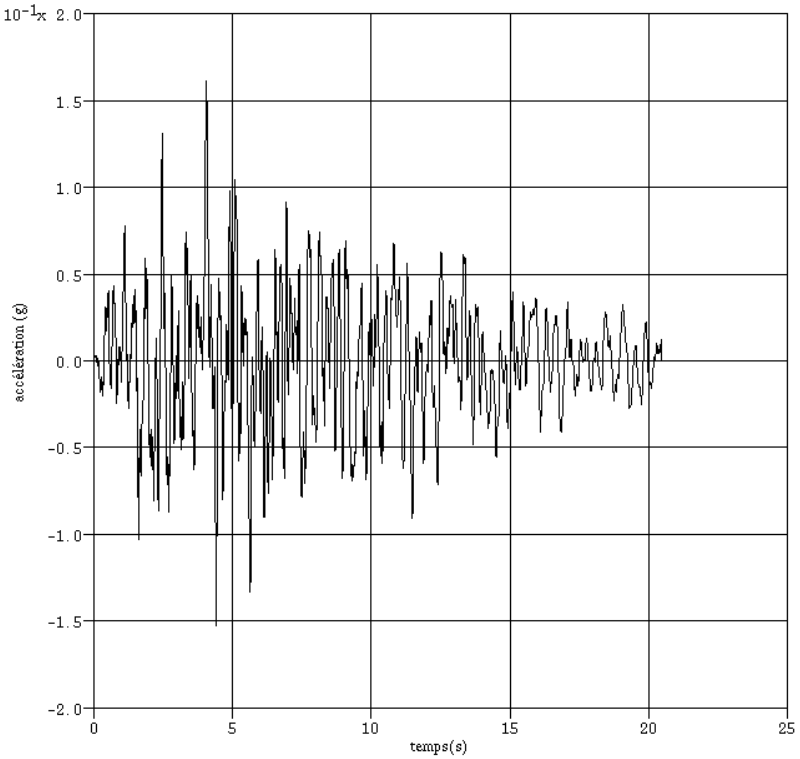


Figure 1.3-a : Accélérogramme `acc1.c2`

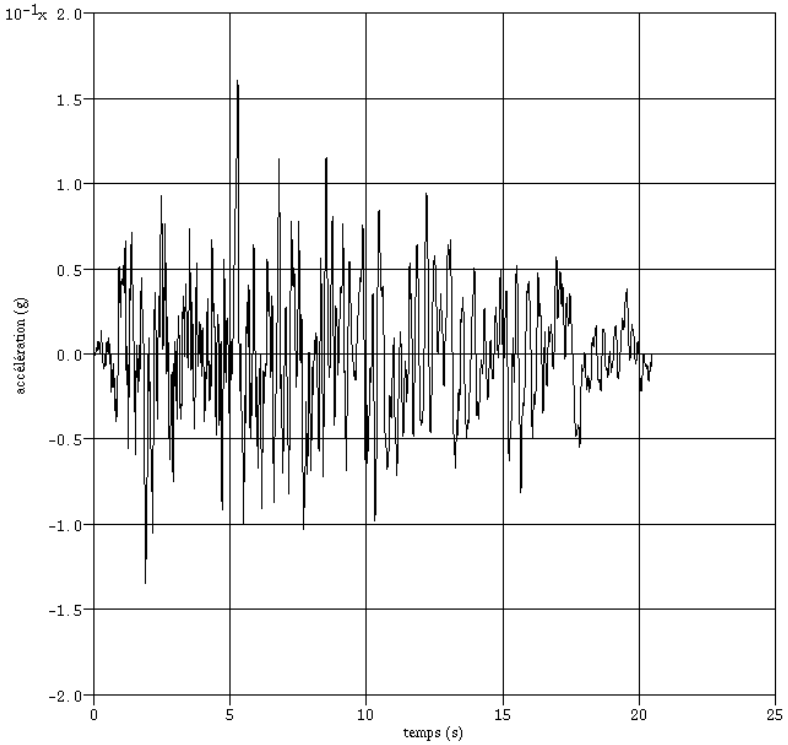


Figure 1.3-b : Accélérogramme `acc2.c2`

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

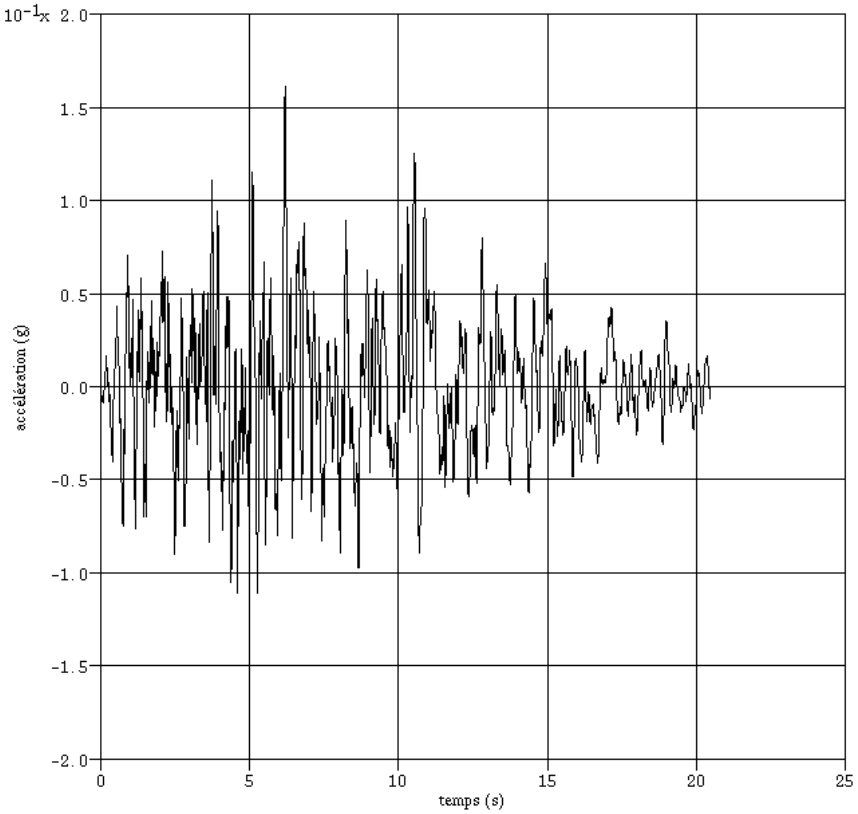


Figure 1.3-c : Accélérogramme `acc3.c2`

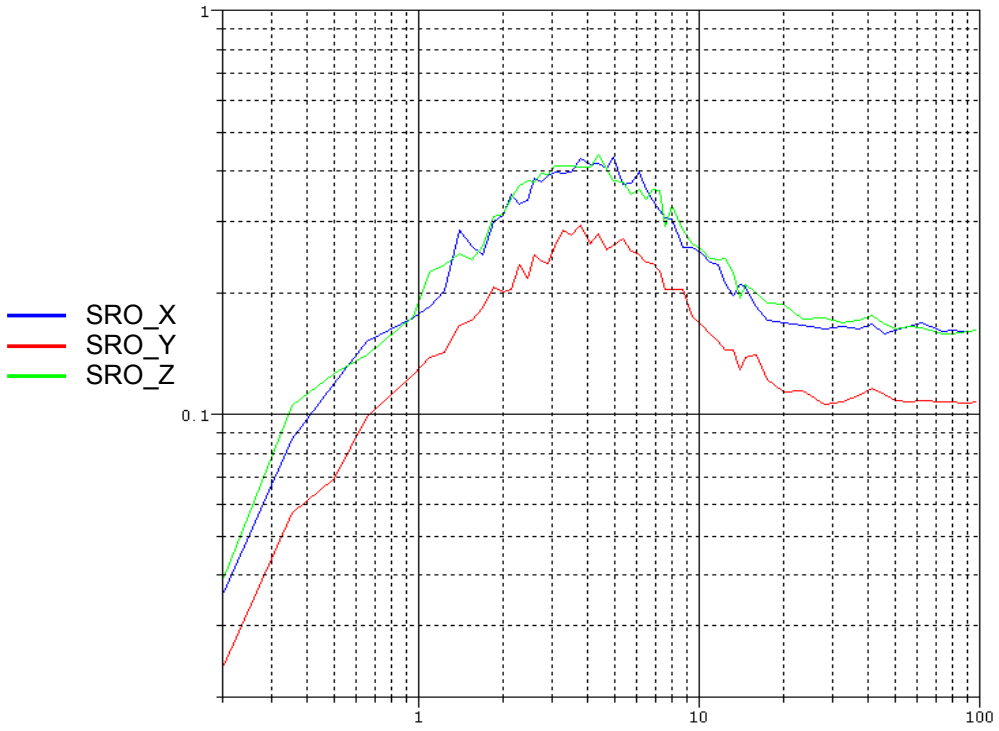


Figure 1.3-d : Spectres de l'excitation

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La méthode utilisée pour le calcul sur fondation souple en interaction sol-structure (ISS) consiste à ne considérer que quelques modes de fondation choisis

2.1.1 Les principales étapes de la méthode de réduction modale

Pour le calcul d'ISS, MISS3D a besoin d'une base constituée à la fois de modes propres nuls sur l'interface sol-structure et d'autres modes non nuls sur cette interface. Cette base correspond à une interface de type CRAIG_BAMPTON. Pour les premiers modes, on prend généralement les modes propres de la structure obtenus en bloquant les déplacements sur l'interface (base bloquée) et pour les seconds, on prend les modes statiques dits « contraints », obtenus successivement en imposant un déplacement unitaire en chacun des degrés de liberté de chaque nœud de l'interface (la fondation).

Le principe de la méthode ici mise en œuvre consiste à remplacer les modes statiques contraints pléthoriques par des modes propres de fondation en petit nombre calculés sur tapis de ressorts de sol et choisis selon un critère établi.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour mener à bien le calcul.

2.1.2 La détermination du tapis de ressorts à placer sous la fondation.

Les valeurs des raideurs des ressorts équivalents au sol stratifié du bâtiment sont déterminées à travers un calcul des fonctions de transfert sous sollicitation harmonique de module 1 lors de l'étude avec fondation rigide (*cf.* test SDLX101 [V2.05.101]).

On obtient les 6 valeurs de raideur du ressort globale du sol stratifié : $Kx(N/m)$, $Ky(N/m)$, $Kz(N/m)$, $K\theta x(N.m)$, $K\theta y(N.m)$, $K\theta z(N.m)$. Ces raideurs, indépendantes de la fréquence, sont réparties au prorata des surfaces des éléments autour des nœuds de la fondation grâce à l'opérande RIGI_PARASOL de la commande AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01] de *Code_Aster*.

2.1.3 Le calcul des modes dynamiques de la structure

Ce calcul s'effectue sur base encastrée avec la commande CALC_MODES (on applique sur tous les nœuds de la fondation la condition aux limites suivante : $Dx=Dy=Dz=Drx=Dry=Drz=0$).

2.1.4 Le calcul des modes propres de fondation sur tapis de ressorts

Lors du calcul des modes propres de fondation sur tapis de ressorts avec la commande CALC_MODES, on dissocie les modes avec déplacements non nuls de l'infrastructure (radier) des modes de la superstructure (bâtiments....) en considérant que seul le radier est pesant. Ceci est réalisé en appliquant, aux éléments ne modélisant pas la fondation, un matériau dont la masse volumique est nulle. On évite ainsi, lors de la construction de la base modale regroupant les modes de fondation et dynamiques de la structure, de considérer deux fois les modes propres de la superstructure.

On enrichit ensuite la base modale établie au [§ 2.1.3], via la commande DEFI_BASE_MODALE, mot clé RITZ, par les premiers modes calculés qui sont tous des modes de fondation puisque sont rejetés vers les hautes fréquence tous les modes de la superstructure.

2.1.5 La sélection des modes

En réduisant considérablement le nombre de modes de fondation contraints on peut arriver à retrouver la solution en réponse et fréquence de résonance obtenue avec la méthode précédente mettant en œuvre la totalité des modes statiques et permettant un gain de temps de calcul substantiel.

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

On juge que la méthode de réduction est intéressante, en terme de gain de temps, lorsque le nombre de modes propres de fondation sur tapis de ressort est au plus égal au tiers du nombre de modes statiques sur fondation souple (pour cette étude, la méthode est intéressante si le nombre de modes de fondation sur tapis de ressort est inférieur à environ 500 modes).

Pour affiner la sélection des modes, on peut utiliser la méthode préconisée par E. Balmès **[bib2]** qui consiste à ne retenir que les modes de fondation donnant des fréquences propres de modes généralisés inférieures à deux fois la fréquence de coupure utilisée lors du calcul des modes dynamiques [Figure 2.1.5-a].

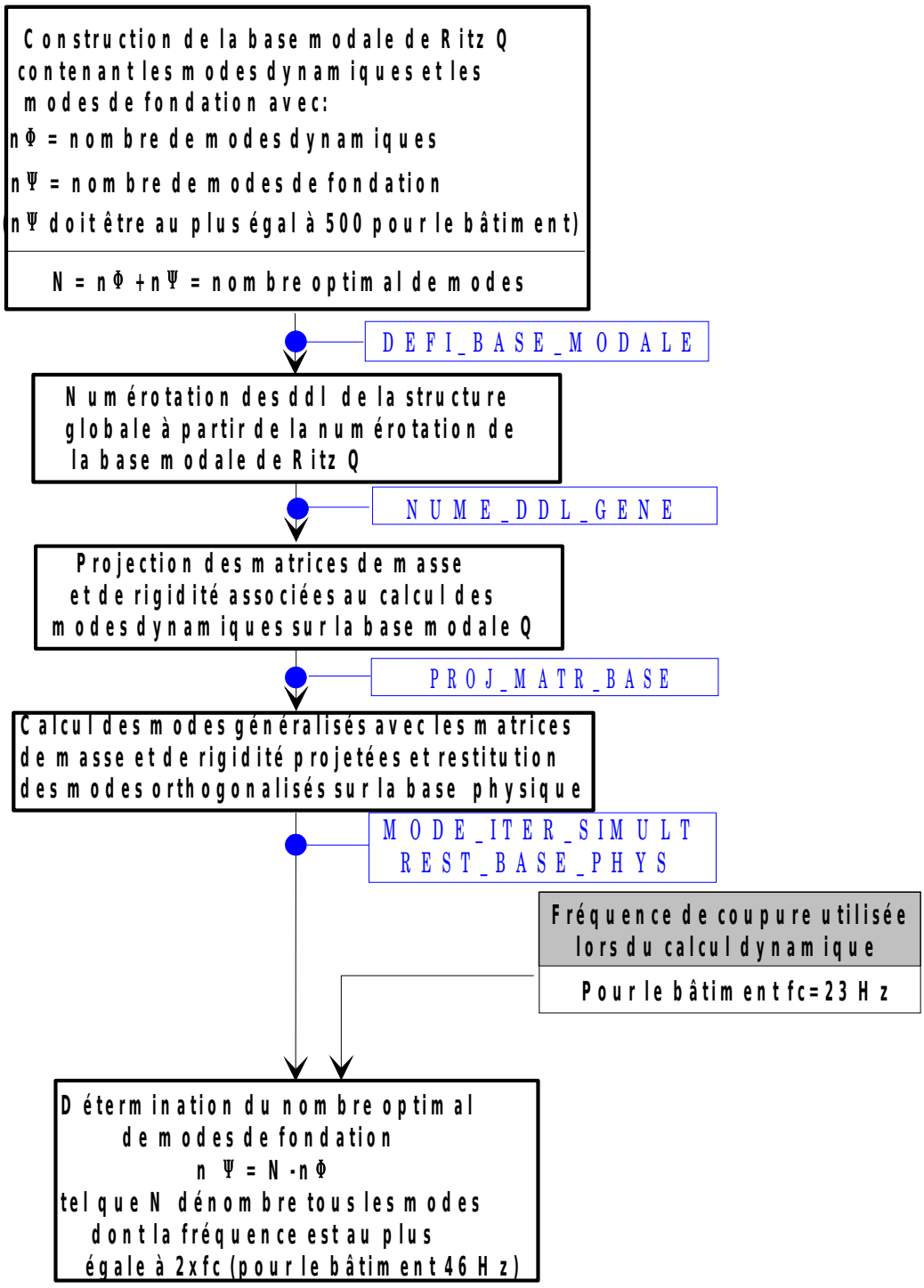


Figure 2.1.5-a : Optimisation du nombre de modes de fondation

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

Le déroulement du calcul complet avec réduction des modes de fondation se fait de la façon suivante :

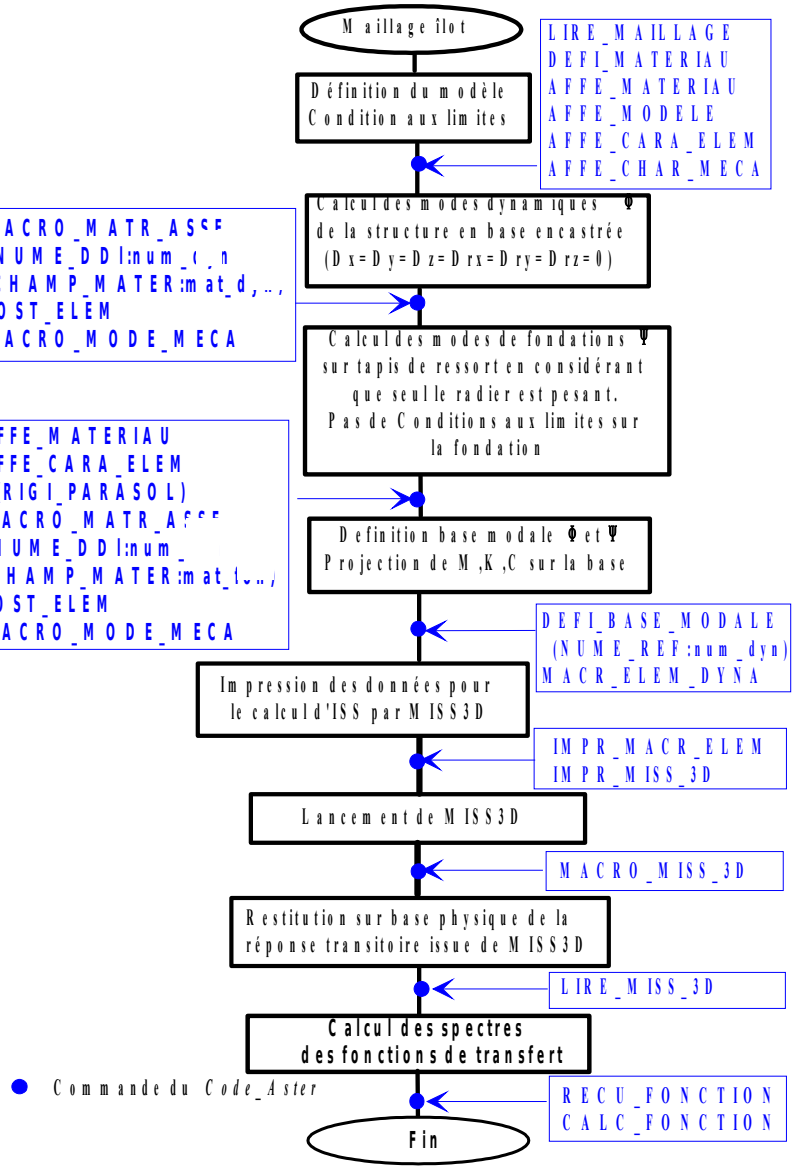


Figure 2.1.5-b : Synoptique du calcul avec modes de fondation sur tapis de ressorts

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

2.2 Résultats de référence

Les spectres de plancher ont été calculés en pseudo-accélération avec un amortissement de 4% dans les directions horizontales X et Y au sommet du bâtiment.

Pour ce niveau, on calcule les spectres sur certains nœuds du maillage. Le spectre final est obtenu en prenant l'enveloppe des directions X et Y. Les valeurs testées correspondent aux pics de ce spectre.

2.3 Références bibliographiques

1. G. QUILTON : « Présentation et exemples d'utilisation de CLASSI : Code de calcul d'analyse des effets de l'interaction sol - structure sur la réponse sismique des bâtiments » E SE TA 82-01 SG 1
2. E. BALMES : « Use of generalized interfaces degrees of freedom in component mode synthesis » IMAC 1996

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La fondation en forme de croix :

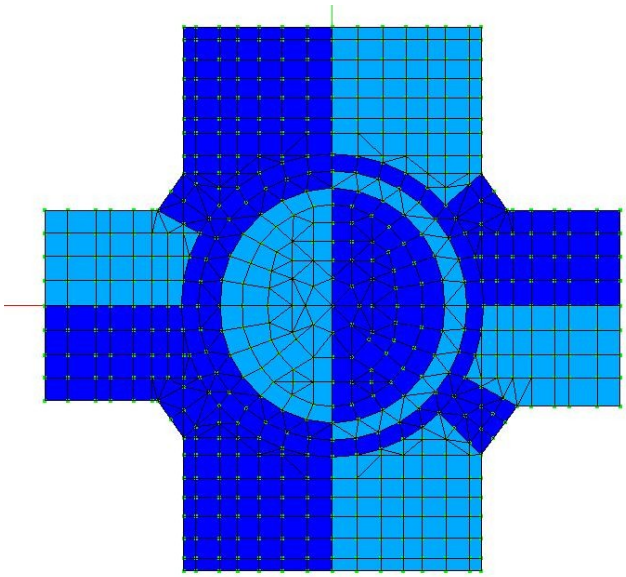


Figure 3.1-a : Maillage de la fondation

Maillage du bâtiment

Le modèle 3D creux du bâtiment est constitué d'éléments de plaques :

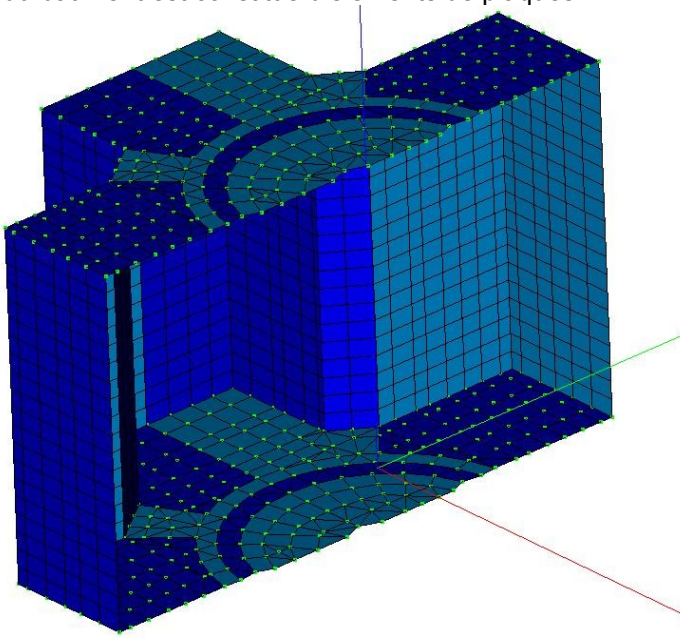


Figure 3.1-b : Représentation en coupe du maillage du bâtiment

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

3.2 Caractéristiques du maillage

Le modèle est composé de 3 149 nœuds et 3 432 éléments plaques.

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

On teste les spectres pour certaines fréquences.

5 Synthèse des résultats

Les résultats de spectres horizontaux obtenus par la méthode de réduction modale au sommet du bâtiment sont testés en non-régression.

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