MISS10 - Accélération du chaînage MISS3D-*Code_Aster* sur le cas KARISMA

Résumé :

Ce test met en œuvre un calcul d'interaction sol-structure réalisé grâce au chaînage *Code_Aster* - MISS3D par la méthode fréquentielle de couplage sur un modèle 3D du cas KARISMA reposant sur un sol stratifié.
Il constitue un test de performances destiné à vérifier l'accélération du chaînage au moyen des fonctionnalités de parallélisation de MISS3D.

Dans un deuxième modèle, on utilise une méthode de condensation dynamique où le sol est représenté directement par une impédance de sol déterminée au moyen du chaînage de *Code_Aster* avec le logiciel MISS3D et considérée comme un macro-élément dynamique. La résolution du problème statique sous sollicitation de poids propre avec STAT_NON_LINE s'opère sur un modèle mixte constitué du macro-élément et du modèle physique de la structure 3D.
La réponse verticale obtenue à la base du modèle de la structure constitue un premier résultat de référence.

Ce calcul est d'abord effectué en pur mode séquentiel (modélisation A). Les deux autres modélisations effectuent les mêmes calculs et testent les mêmes champs, mais en s'appuyant cette fois sur plus de ressources machines: 6 threads pour la B, 24 pour la C. L'objectif est de vérifier l'accélération du calcul (jusqu'à X16) et l e bon fonctionnement de l'extension du périmètre parallèle OpenMP de MISS3D (à partir de MISS3D v6.7).

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.

1.1.1 Géométrie du modèle de bâtiment

Les éléments structuraux principaux composant le bâtiment avec leurs épaisseurs sont donnés dans le Tableau 1-1.

Composa nts	Caractéristiques
Radier en béton armé	Epaisseur de 5,5 m
Planchers en béton armé	Epaisseurs de 50 cm à 2,3 m
Voiles externes en béton armé	Epaisseurs de 1.5 m à 1.7 m dans fondation
Voiles externes en béton armé	Epaisseurs de 40 cm à 1,5 m hors-sol
Voiles internes en béton armé	Epaisseurs de 30 cm à 2,5 m
Enceinte de confinement en béton armé	Epaisseur de 2 m

Tableau 1 - 1 : principaux composants structuraux du bâtiment

Un certain nombre d'équipements est pris en compte dans le modèle de bâtiment :
- La chaudière nucléaire (NSSS, pour *Nuclear Steam Supply System*) est située à l'intérieur de l'enceinte de confinement, répartie sur les six premiers niveaux du bâtiment. L'ensemble des composants de la chaudière a une masse d'environ 7000 tonnes.
- Les différentes charges présentes dans le bâtiment lors du séisme sont également prises en compte. Celles-ci correspondent d'une part aux tuyauteries (PL pour *Piping Loads*), aux équipements permanents (EL pour *Equipment Loads*) et aux équipements temporaires (LL pour *Living Loads*).

Les caractéristiques des matériaux utilisés pour la modélisation sont données dans le Tableau 1.2-1.

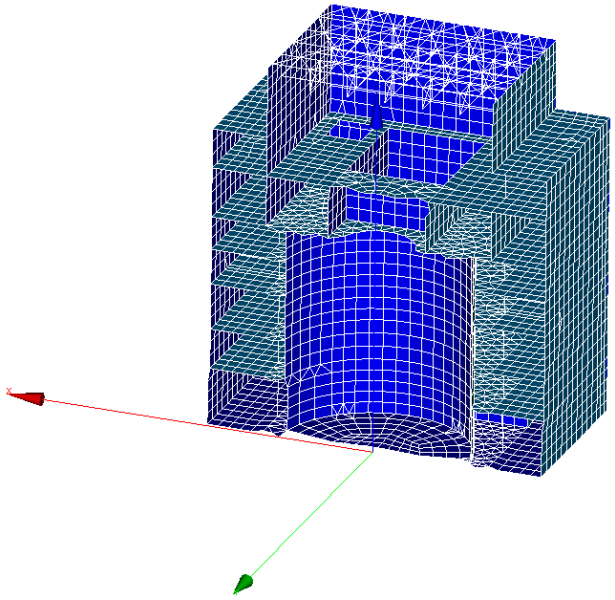


Figure 1.1-1 : Représentation du modèle de la structure et coupe dans le plan YZ

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

1.1.2 Géométrie du modèle de la fondation

Le bâtiment est posé sur une fondation enterrée sur une hauteur de $23\,m$ dans un domaine parallélépipédique de $375\,m$ de côté pour $50\mathrm{m}$ de hauteur (voir Figure 1.1-2)

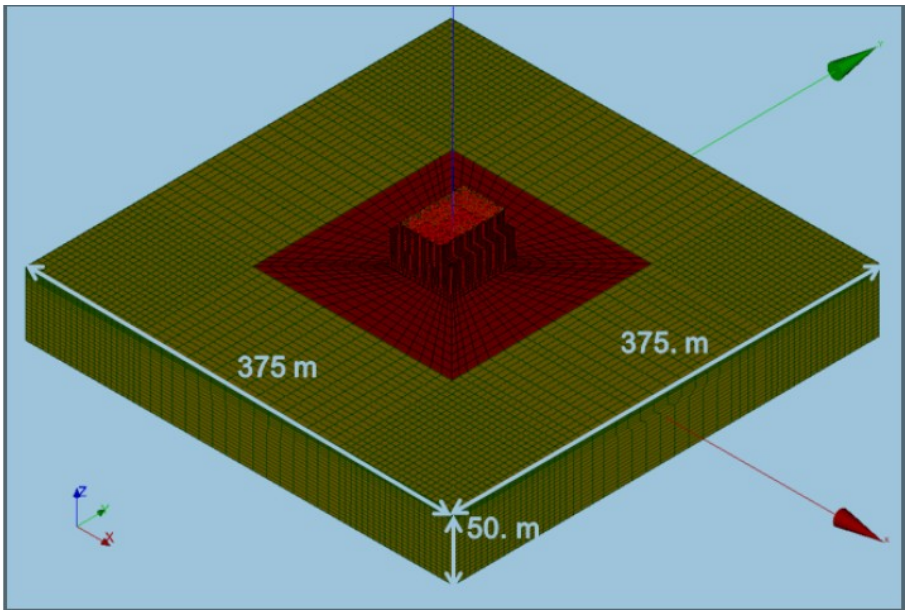


Figure 1.1-2 : Fondation modélisée du cas KARISMA

1.2 Propriétés des matériaux

Les caractéristiques des stratifications de sol sont résumées dans le tableau ci-après :

Matériau	Épaisseur (m)	$\rho\,(kg/m^3)$	ν	$E\,(MPa)$	β
Sable	7.5	1610	0.327	42	0.42
Argile	9.5	1730	0.462	380	0.1
Roche	28.0	1700	0.451	1100	0.03
Substratum	-	1930	0.424	2300	0.03

Tableau 1.2-1 : Caractéristiques mécaniques des stratifications de sol

La fondation et le bâtiment sont en béton, acier général et acier des brochettes :

Matériau	$E\,(Pa)$	$\rho\,(kg/m^2)$	ν
Béton	3.13 E10	2500.	0.2
Acier	2.05 E11	7800.	0.3
Acier modèle brochette	1.92 E11	0.	0.2

Tableau 1.2-2 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la structure

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

Une analyse massique permet de mieux connaître la répartition de la masse dans la structure (voir Tableau 1.2-3). Cette analyse permet de constater l'importance du radier dans la masse de la structure.

Composants	Masse (Tonnes)	% Masse
Radier	45 996	22,99
Planchers (sauf radier)	60 000	29,99
Voiles externes enterrés	20 837	10,41
Voiles externes en surface	12 778	6,39
Voiles internes	31 916	15,95
Poutres en béton armé	10 828	5,41
Poteaux en béton armé	8 430	4,21
NSSS	7 286	3,64
Pont roulant	270	0,13
Toit	664	0,33
Total	**Total 200 065 100,00**	**Total 200 065 100,00**

Tableau 1.2-3 : répartition de la masse du modèle EF de la structure.

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. Cette condition limite sert au calcul des modes statiques de fondation associés au blocage des degrés de liberté de la fondation.
Puis, on applique un chargement de poids propre de la structure avec seulement la condition de liaison solide sur la fondation posée sur une impédance de sol.

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

Cas test de non régression.

2.2 Résultats de référence

Le résultat de référence est le déplacement vertical obtenu au point central de la base du bâtiment sous l'effet de son poids propre.

2.3 Références bibliographiques

1) Note EDF R&D H-T64-2015-04369-FR : « Projet OMARISI2016 - Méthodologie d'Interaction Sol-Structure non linéaire pour le cas d'application industriel KARISMA » F. BANCI et al.
2) Note EDF 6125-1106-2017-04875. « Accélération des simulations d'interaction sol-structure (ISS) conduites avec code_aster-MISS3D : application à l'étude sismique de l'îlot nucléaire de Kashiwasaki-Kariwa ». O.Boiteau et G.Devesa.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

3.1.1 Maillage et modèle de la fondation

La fondation peut être schématiquement représentée par un rectangle de $375\,m$ de côté pour $50\,m$ de hauteur. Cela représente environ 125000 éléments 3D (voir Figure 11-2).
Lorsque la structure est considérée comme isolée (sans prise en compte du sol), pour un calcul d'analyse des modes dynamiques par exemple, les nœuds correspondant à l'interface avec le sol sont entièrement bloqués (voir Figure 3 - 1a , la zone en jaune pour la configuration réelle enterrée).

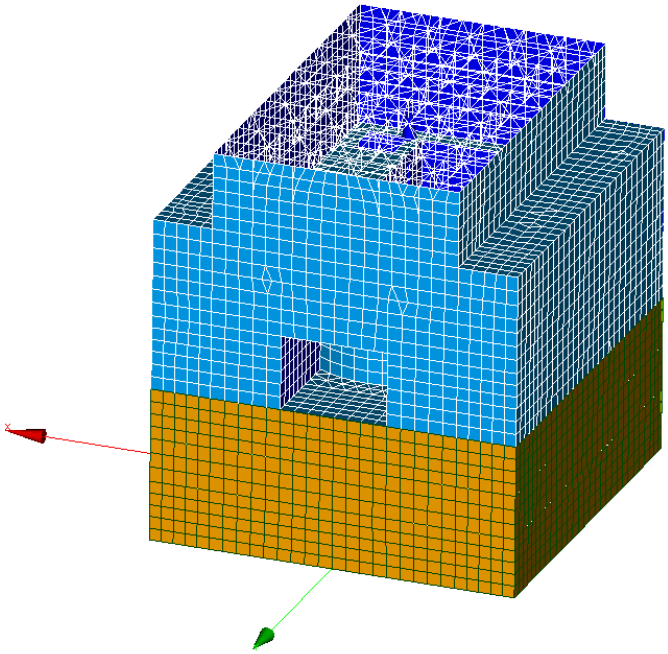


Figure 3.1-1: Maillage de la fondation du cas KARISMA

3.1.2 Maillage et modèle du bâtiment

La structure est maillée intégralement en éléments de structure (voir Figure 1.1-1). L'origine est prise au centre du radier. Les planchers et l'ensemble des différents voiles sont maillés en éléments DKT. Les poutres et poteaux en béton armé, ainsi que les poutres métalliques noyées dans les planchers sont modélisés en poutres d'Euler-Bernoulli POU_D_E. Le treillis métallique supportant le toit est modélisé en éléments BARRE et POU_D_E. Le NSSS est modélisé en éléments de masse discrets DIS_T (de type M_T_D_N) et en poutres de Timoshenko POU_D_T. Il est relié à la structure par des ressorts ponctuels DIS_T de type K_T_D_N.
Les PL et LL sont pris en compte par des masses volumiques ajoutées dans les planchers. Lorsque les équipements sont de forte emprise au sol, ceux-ci sont également pris en compte dans le modèle par des masses volumiques augmentées dans les planchers. Lorsqu'ils sont de faible emprise au sol, ceux-ci sont modélisés par des discrets DIS_T de type M_T_D_N.
Le pont roulant est pris en compte par deux masses discrètes DIS_T de la moitié de masse totale du pont roulant, et placées dans la position du pont roulant au moment du séisme. Enfin, la masse du toit est répartie en masses discrètes DIS_T appliquées sur les nœuds du treillis métallique.
Pour prendre en compte les renforts d'acier présents dans le béton armé, la densité du béton est considérée supérieure à la théorie (on prend donc la valeur de 2,5 t/m3 au lieu de 2,2 à 2,3).

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

Le modèle complet 3D du bâtiment [bib1] compte environ 10 700 nœuds, 15 600 éléments, pour environ 92 000 DDL. Cela représente environ 9300 éléments plaques, 2100 éléments poutres et 200 éléments discrets.

3.2 Modélisation de la réponse statique par condensation dynamique

Une seconde modélisation alternative à celle exclusive du modèle physique du bâtiment consiste à traiter le même problème en utilisant une méthode de condensation dynamique du domaine de sol par ses modes d'interface avec la fondation. Le sol est représenté directement par l'impédance de sol considérée comme un macro-élément dynamique. La résolution du problème statique avec STAT_NON_LINE s'opère sur un modèle mixte constitué du macro-élément de sol et du modèle physique du bâtiment.

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

La valeur testée principale, dépendant de la composante d'impédance Kzz ,est celle du déplacement vertical obtenu au point central de la base du bâtiment sous l'effet de son poids propre.
On teste aussi les autres composantes de déplacement au même point. Les résultats de référence constituent des tests de non régression.

Identification	Référence (m)
PCENT ('DX')	5.25366E-9
PCENT ('DY')	5.11714E-3
PCENT ('DZ')	-2.03982E-8

Ce calcul est effectué en pur mode séquentiel (version aster séquentielle ou version MPI avec 1 processus MPI, 1 thread). Les deux autres modélisations effectuent les mêmes calculs et testent les mêmes champs, mais en s'appuyant cette fois sur plus de ressources machines: 6 threads pour la B, 24 pour la C. L'objectif est de vérifier l'accélération du calcul et l e bon fonctionnement de l'extension du périmètre parallèle OpenMP de MISS3D (à partir de v6.7).

5 Résultats de la modélisation B

Calculs et tests de la modélisation A mais effectués cette fois sur 6 threads.

6 Résultats de la modélisation C

Calculs et tests de la modélisation A mais effectués cette fois sur 24 threads.

7 Synthèse des résultats

Le résultat obtenu de la réponse statique au poids propre du bâtiment constitue un test de non régression.

L'objectif est de vérifier l'accélération du calcul et l e bon fonctionnement de l'extension du périmètre parallèle OpenMP de MISS3D (à partir de v6.7).
Par exemple, la version MISS3D v6.7 (couplée avec code_aster 14.3 sur un noeud de la machine Aster5) produit une accélération de l'ordre de X5 entre les modélisations A et B, et, de X3, entre les modélisations B et C.

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