SDLX105 – Impédances de sol sous une fondation cylindrique creusée dans un milieu bi-couche

Résumé :

Ce test participe à la validation du chaînage *Code_Aster* - MISS3D. Il représente un cas type de calcul d'impédances de sol sous une fondation cylindrique enfoncée dans un milieu bi couche. On considère la possibilité de liaison partielle entre le sol et la paroi latérale de la fondation.

Les impédances obtenues par le chaînage entre *Code_Aster* et MISS3D sont comparées à celles données dans la référence [bib2] faisant une synthèse entre plusieurs méthodes numériques. On obtient des écarts inférieurs à 15 % en moyenne pour le cas de liaison rigide entre le sol et la paroi latérale de la fondation. Pour les cas de liaison partielle, les écarts maximaux peuvent être plus importants, de l'ordre de 30 %.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le logiciel *Code_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,
- la structure.

Le sol

Le sol correspond à une couche de milieu homogène semi-infini de 8 mètres d'épaisseur au-dessus d'un substrat infiniment dur.

La fondation

La fondation du cylindre de sol est représentée sur la [Figure 1.1-a] ci-dessous. Au modèle surfacique initial de 64 éléments représentant la base de la fondation de rayon $4\,m$, on ajoute 64 éléments surfaciques pour représenter les parois latérales de l'enfoncement de $4\,m$.

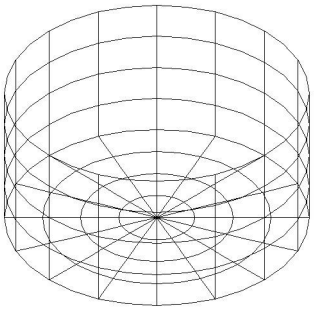


Figure 1.1-a : Maillage surfacique de la fondation

La structure

La structure est constituée d'éléments massifs représentant un cylindre plein de $4\,m$ de hauteur et $4\,m$ de rayon creusé dans la première couche de sol homogène.

1.2 Propriétés des matériaux

Le sol

Les caractéristiques mécaniques des couches du modèle de sol élastique qui ont été utilisées sont celles indiquées ci-dessous qui permettent d'obtenir une vitesse d'onde de cisaillement de $330\,m/s$ pour la première couche de sol d'épaisseur $8\,m$ au-dessus d'un substrat infiniment dur.

E (N/m^2)	$580.8\,E6$
NU	0.3333
RHO (kg/m^3)	2000
AMOR_HYST	0.1

La fondation et la structure

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

Les caractéristiques mécaniques de la fondation et de la structure qui ont été utilisées sont les mêmes que celles du sol décrites plus haut.

1.3 Conditions aux limites et chargements mécaniques

Pour calculer les 6 modes statiques de corps rigide de la fondation et les modes propres, on bloque les 6 degrés de liberté de translation et de rotation du nœud central de la fondation en y imposant une relation de liaison solide.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Les résultats de référence sont les impédances de sol obtenues à partir des champs de déplacements incidents et des contraintes induites calculés par le logiciel de calcul d'interaction sol-structure *Code_Aster* - MISS3D en divers niveaux de profondeur d'un sol stratifié. Le champ incident à la surface du sol est considéré unitaire dans chaque direction de l'espace et pour toute fréquence de sollicitation. La variation de ce champ dans la profondeur du sol, ou déconvolution, est obtenue à partir de fonctions de Green. Ces fonctions constituent une base de solutions élémentaires en divers niveaux récepteurs à des sollicitations unitaires en divers niveaux sources du sol [bib1].

2.2 Résultats de référence

Pour l'obtention de résultats de référence, on se réfère aux résultats de calculs d'impédance complexe obtenus par la référence [bib2] et faisant la synthèse de plusieurs études numériques ou semi-analytiques réalisées par divers auteurs [bib3]. Les valeurs d'impédance sont données pour chacune des 6 directions de corps rigide avec une partie rigidité réduite sur la rigidité statique et une partie amortissement réduit.

2.3 Références bibliographiques

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

2) J. G. SIEFFERT & F. CEVAER : « Calcul des impédances de fondation – Centrale Nantes – Editions Ouest-France »

3) J.L TASSOULAS : « Elements for the Numerical Analysis of Wave Motion in Layered Media – MIT – Research Rep. R 81-2 »

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]. On utilise une gamme de fréquences de calcul entre 1 et $35\,Hz$ par pas de $1\,Hz$ donnant une valeur de paramètre adimensionnel de fréquence $a_0 = \omega R / Vs$ inférieure ou égale à 5.

On utilise dans CALC_MISS le mode de calcul automatisé des paramètres de MISS3D.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage fourni à *Code_Aster* contient des mailles de types QUAD4, TRIA3 pour modéliser la fondation du cylindre de sol modélisée par des éléments DST. 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. On obtient en tout 128 mailles surfaciques pour la fondation avec une taille de maille de $1\,m$ environ.

On distingue sur la paroi latérale de la fondation des groupes de mailles appartenant à l'interface sol-structure avec orientation vers le sol et éventuellement des groupes de mailles de sol libre avec orientation opposée où il n'y a pas contact entre le sol et la paroi.

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

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées de rigidité

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-a] pour le cas avec liaison totale entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=1$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
$KH\ (26\,Hz)$	0,43	'SOURCE_EXTERNE'	27%
$KH\ (35\,Hz)$	0,79	'SOURCE_EXTERNE'	3%

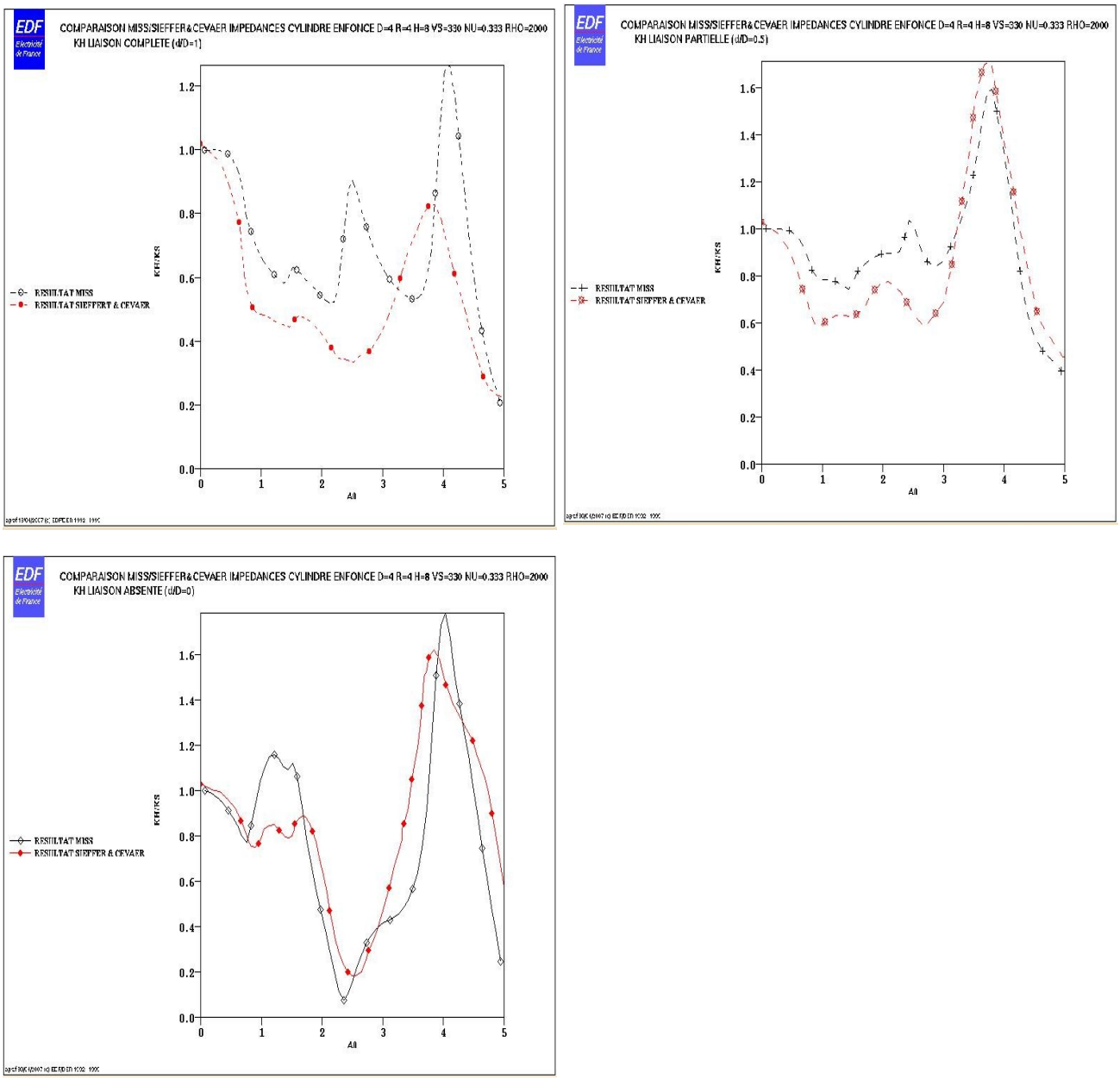
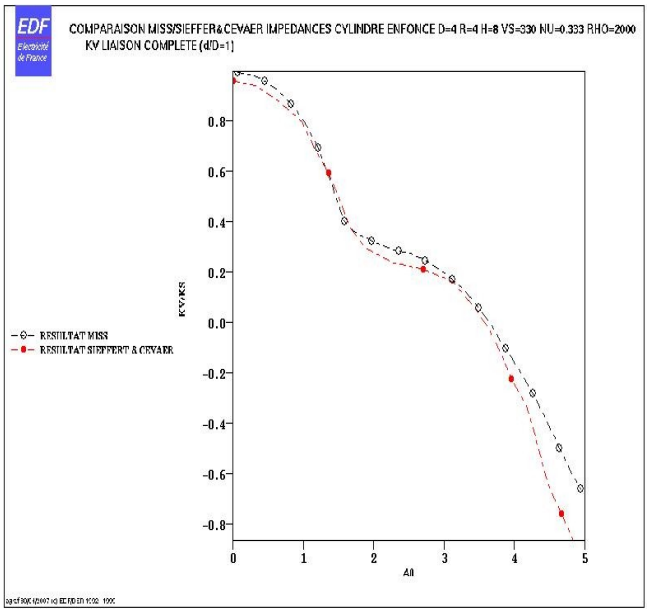


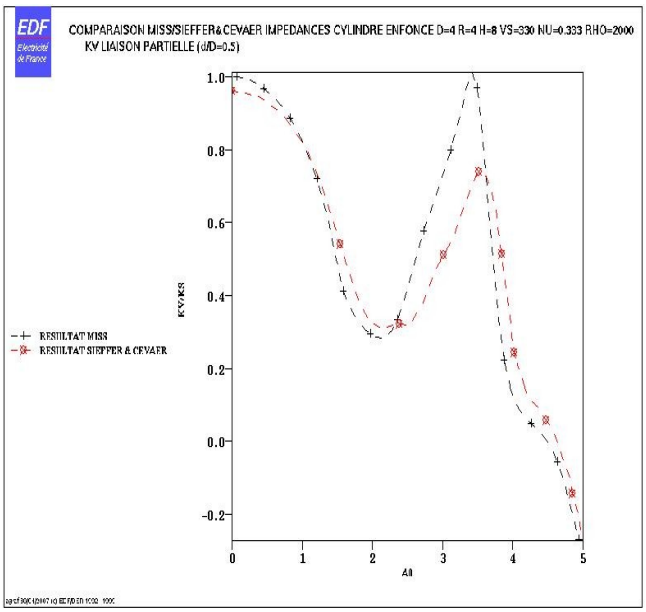
Figure 4.1-a : Évolutions des impédances de translation horizontale

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

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-b] pour le cas avec liaison totale entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=1$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
KV ($26\,Hz$)	0,28	'SOURCE_EXTERNE'	17%
KV ($35\,Hz$)	-	'NON_REGRESSION'	-





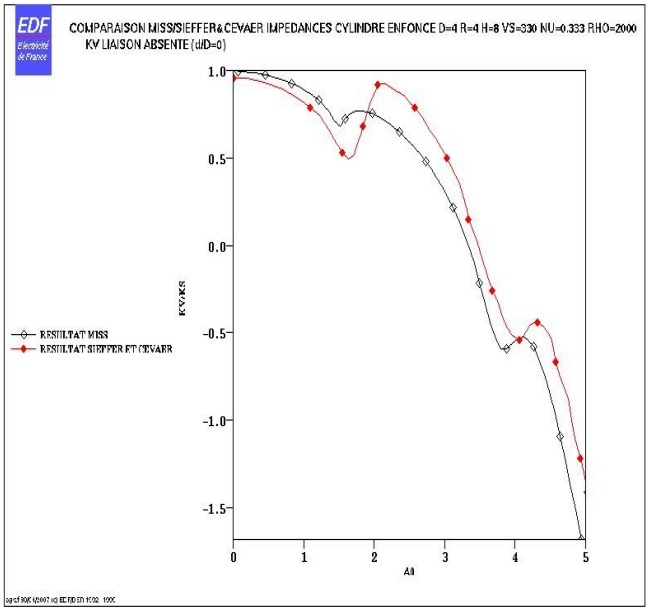


Figure 4.1-b : Évolutions des impédances de translation verticale

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

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-c] pour le cas avec liaison totale entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=1$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
$KR\ (26\,Hz)$	0,63	'SOURCE_EXTERNE'	5%
$KR\ (35\,Hz)$	-	'NON_REGRESSION'	-

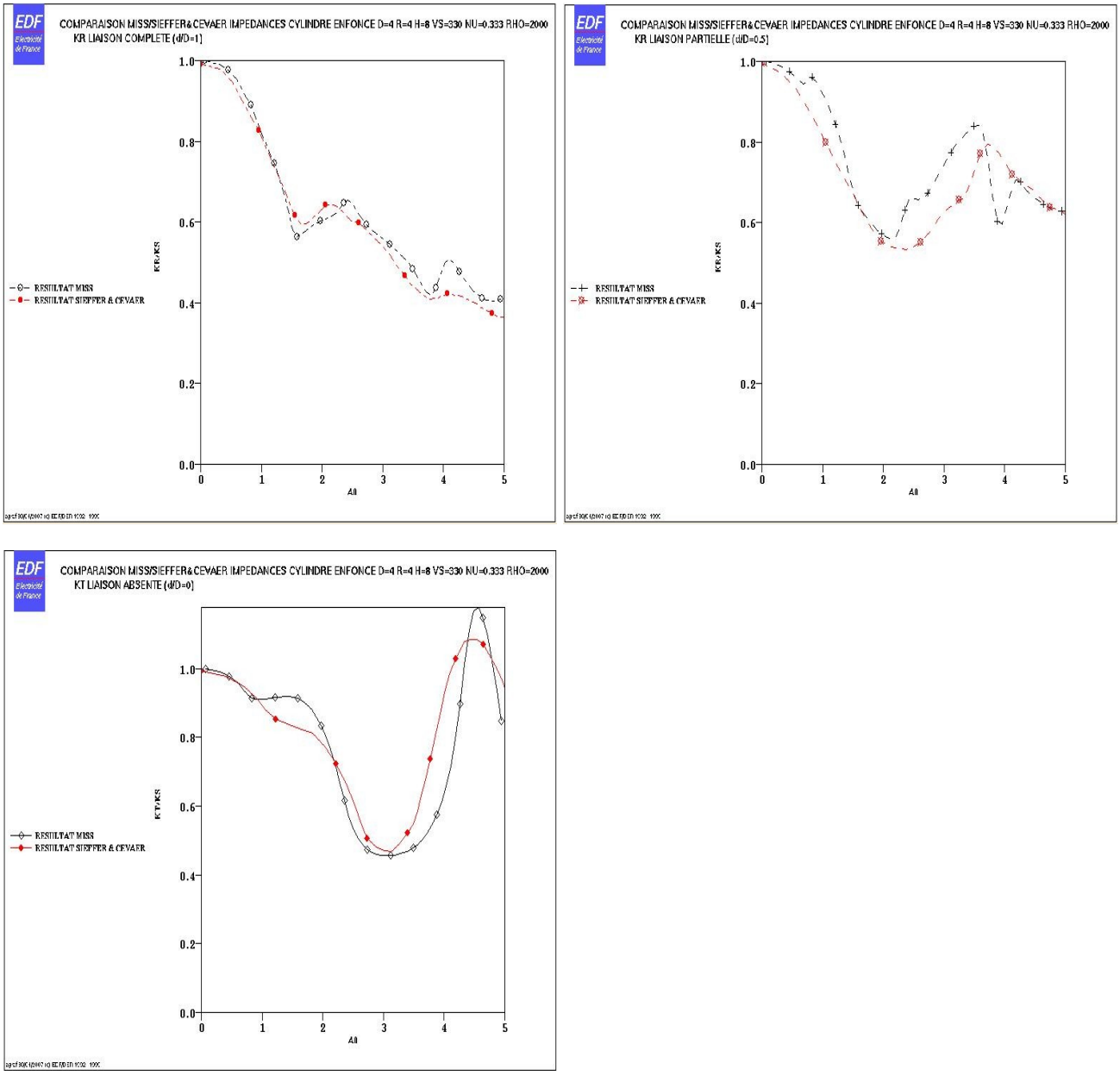


Figure 4.1-c : Évolutions des impédances de balancement

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

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-d] pour le cas avec liaison totale entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=1$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
KT ($26\,Hz$)	0,624	'SOURCE_EXTERNE'	15%
KT ($35\,Hz$)	-	'NON_REGRESSION'	-

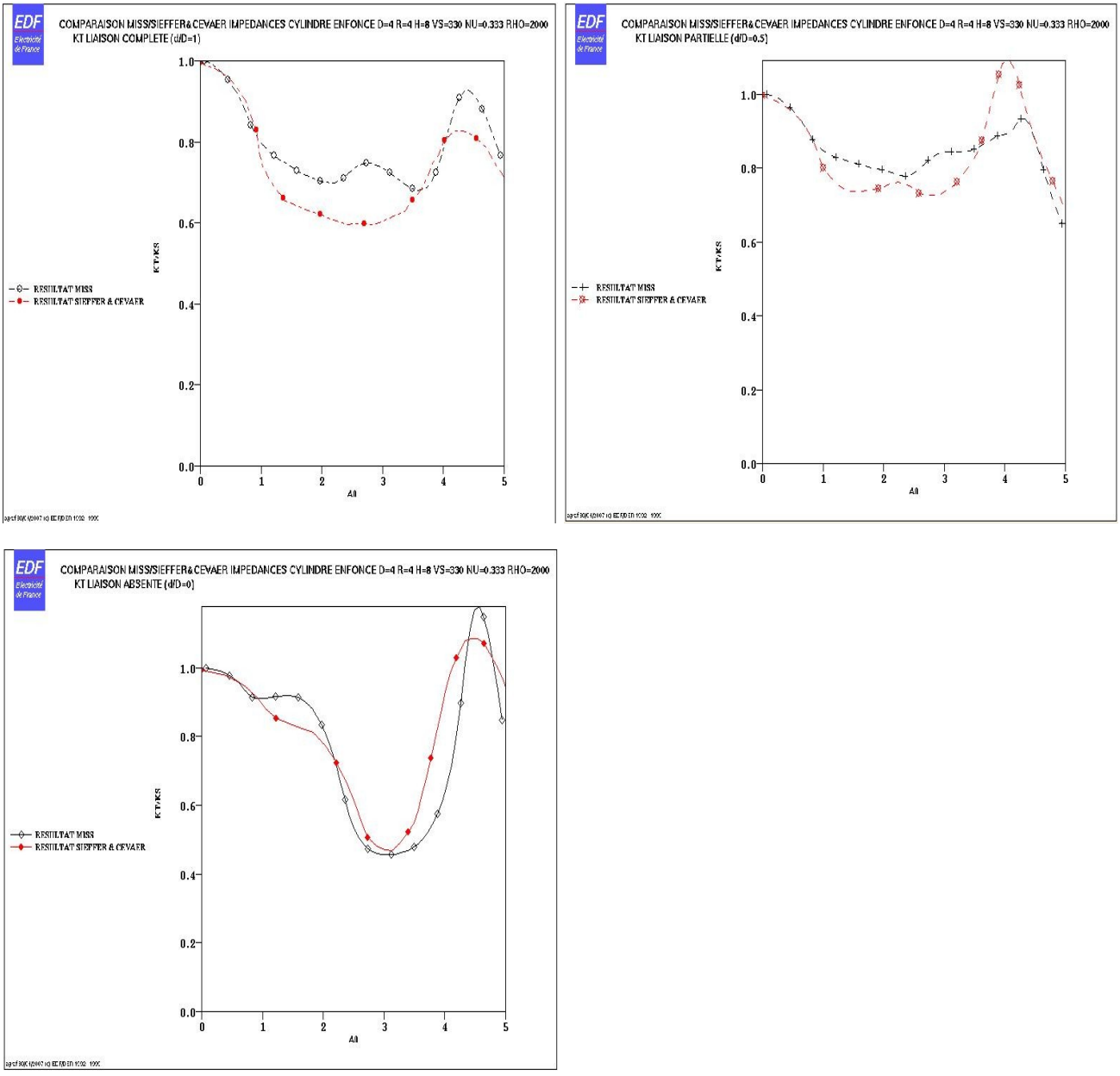


Figure 4.1-d : Évolutions des impédances de torsion

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

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est pratiquement la même que celle de la modélisation A. On y ajoute seulement 2 éléments discrets ponctuels correspondant à des points de contrôle dans le sol situés respectivement à $-0.5m$ et $-4m$ à la base de la fondation enterrée. On y testera l'évolution de fonctions de transferts dans la direction Z pour une pulsation de $5Hz$.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage de cette modélisation est aussi pratiquement le même que celui de la modélisation A..

Cependant,on change l'orientation vers le sol des groupes de mailles de sol libre $LATE$ sur la paroi latérale de la fondation, où il n'y a pas contact entre le sol et la paroi, par l'orientation opposée.
D'autre part, on ajoute les 2 nœuds correspondant aux points de contrôle dans le sol évoqués ci-dessus, situés respectivement à $-0.5m$ et $-4m$ à la base de la fondation enterrée.

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

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées de rigidité

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-a] pour le cas avec absence de liaison entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=0$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
KH ($26\,Hz$)	0,66	'SOURCE_EXTERNE'	30%
KH ($35\,Hz$)	0.2680022	'NON_REGRESSION'	-

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-b] pour le cas avec absence de liaison entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=0$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
KV ($26\,Hz$)	0,85	'SOURCE_EXTERNE'	12%
KV ($35\,Hz$)	0.5198243	'NON_REGRESSION'	-

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-c] pour le cas avec absence de liaison entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=0$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
KR ($26\,Hz$)	0,80	'SOURCE_EXTERNE'	8%
KR ($35\,Hz$)	0.7130195	'NON_REGRESSION'	-

Les valeurs testées ci-dessous correspondent à la [Figure 4.1-d] pour le cas avec absence de liaison entre le sol et la fondation (ronds et traits mixtes, $d/D=0$) et des valeurs de $a0$ proches de 2 et 3.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
KT ($26\,Hz$)	0,78	'SOURCE_EXTERNE'	6,5%
KT ($35\,Hz$)	0.4893130	'NON_REGRESSION'	-

Les valeurs testées ci-dessous correspondent aux fonctions de transferts obtenues dans la direction Z pour une pulsation de $5\,Hz$ aux points de contrôle dans le sol dans la direction Z pour une pulsation de $PC1$ et $PC2$ situés respectivement à $-0.5\,m$ et $-4\,m$ à la base de la fondation enterrée.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
$PC1$ ($5\,Hz$)	0.91043-9.73077E-3j	'NON_REGRESSION'	-
$PC2$ ($5\,Hz$)	0.62509-0.010689j	'NON_REGRESSION'	-

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

7 Synthèse des résultats

La concordance entre les impédances obtenues par le chaînage entre *Code_Aster* et MISS3D et celles données dans la référence [bib2] est satisfaisante, avec des écarts de l'ordre de 15 % en moyenne, surtout pour le cas de liaison rigide entre le sol et la paroi latérale de la fondation où cette référence est une synthèse entre plusieurs auteurs. Pour les cas de liaison partielle (cas $d/D=0$, courbes en traits pleins), les écarts peuvent être plus importants, de l'ordre de 30 % en moyenne, mais on n'a plus alors qu'un seul auteur de référence [bib3] utilisant également une méthode numérique difficile à départager par rapport à la méthode numérique utilisée dans MISS3D.

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