

8^{èmes} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

5, 6, 7 MARS 2001 - NANTES

MODELISATION DYNAMIQUE COUPLEE DE SYSTEMES OFFSHORES.

DYNAMICAL MODELING OF COUPLED OFFSHORE SYSTEMS.

J.M. HEURTIER¹, Ph. LE BUHAN², E. FONTAINE², C. LE CUNFF¹ et F. BIOLLEY¹

¹ Institut Français du Pétrole, Division Mécanique Appliquée,
1 et 4 Av. de Bois Préau, 92852 Rueil-Malmaison, Cedex, France.

² Principia R&D,
Zone Portuaire de Brégaillon, 83507 La Seyne sur Mer, France.

Résumé

Dans cette communication, on s'intéresse à la réponse dynamique d'un système offshore complexe, typiquement un navire de type FPSO avec ses lignes d'ancrage et ses conduites, l'ensemble étant soumis à l'action du vent, du courant et de la houle. Classiquement, chaque composant du système est étudié de manière individuelle, les interactions entre sous systèmes étant éventuellement prises en compte après coup de manière simplifiée. Cette modélisation découplée est intrinsèquement limitée aux cas d'interactions faibles. Dans cette étude, une approche temporelle couplée est mise en œuvre, dans laquelle les mouvements du navire et des liaisons fond – surface sont évalués simultanément. Les résultats des approches couplée et découplée sont comparées pour un FPSO placé dans des conditions environnementales sévères.

Abstract

This paper deals with the dynamic response to environmental sea loads of complex offshore structures, such as ship-based Floating Production and Storage Offloading vessels (FPSO) with mooring lines and risers. Usually, each component is analysed individually, and sub-system interactions are then accounted for in a simplified way. Intrinsically, such a modelling based on a decoupled approach remains limited to cases of weak interactions. In the present study, a fully coupled approach is presented wherein the motions of the floater, mooring lines and risers are computed simultaneously in the time domain. Comparisons between coupled and uncoupled results are presented for a moored FPSO in harsh environment.

1. INTRODUCTION

Evaluer avec précision le comportement dynamique d'un système offshore complexe possédant plusieurs composants et placé dans l'environnement marin hostile est un problème complexe. Au stade de l'avant projet, chaque composant est habituellement étudié individuellement (voir par exemple les normes API-2SK) ; les interactions de comportement entre composants étant éventuellement étudiées après coup et de manière simplifiée. Cette approche est qualifiée de découplée, par opposition à une méthode couplée où tous les éléments constitutifs du système sont modélisés simultanément. Le degré d'imprécision de l'approche découplée et son domaine de validité restent mal connus. En particulier, la validité d'une approche découplée peut être mise en doute lorsque un environnement marin est sévère ; c'est à dire lorsque les effets dynamiques sont a priori les plus importants. L'objectif de cette étude est de mieux cerner l'importance des effets couplés dans le cas particulier d'un FPSO amarré par grande profondeur.

L'approche découplée consiste en deux phases. Les mouvements du navire sont tout d'abord évalués en supposant une réponse simplifiée des lignes d'ancrage. Dans une seconde étape, les mouvements du navire préalablement obtenus à partir de ses fonctions de transfert, sont imposés en tête de chaque ligne pour étudier le comportement dynamique de la ligne et des conduites dans lesquelles circulent gaz et pétrole (également dénommées risers). Dans la première étape de l'analyse découplée, les composantes du mouvement aux basses fréquences et aux fréquences de houle sont évaluées séparément. Aux basses fréquences, les valeurs asymptotiques du coefficient de masse ajoutée et d'amortissement sont retenues, alors qu'aux fréquences de houle, les valeurs correspondant à la fréquence du pic du spectre de houle sont considérées. L'effet de mémoire, représenté par la convolution provenant de la transformation de Fourier inverse (passage du domaine fréquentiel vers le domaine temporel) est négligé, ce qui suppose une distinction claire entre la gamme des basses fréquences et celle des fréquences de houle. Si cette hypothèse s'avère vérifiée dans le cas de « grands » corps, elle peut néanmoins être mise en défaut dans le cas de corps plus petits. C'est par exemple le cas pour une bouée de déchargement dont la dimension caractéristique serait proche de la longueur d'onde de la houle.

Lors du calcul des mouvements du navire, les lignes d'ancrage et les risers sont représentés par leurs raideurs, qui dépendent éventuellement de la position navire. Ces valeurs de raideur sont issues de calcul quasi-statiques préliminaires utilisant des éléments de type câbles, barres ou poutres. Ces derniers permettent de prendre en compte les effets de flexion de la ligne mais nécessitent la mise en œuvre d'une résolution par éléments finis. Dans le cadre de l'approche découplée, les mouvements du navire ne sont pas influencés par les effets d'inertie des lignes puisqu'à chaque instant, l'accélération et la vitesse en chaque point de la ligne sont nulles. La vitesse relative entre la ligne et le fluide n'est donc pas évaluée correctement, ce qui peut porter à conséquence puisque l'amortissement du système par la ligne n'est pas correctement prédit. La prise en compte de cet effet est cependant importante pour la prédiction du mouvement en roulis et de la réponse dynamique à une vague extrême (voir par exemple Webster, 1995).

En ce qui concerne les efforts hydrodynamiques, les principales non-linéarités de l'écoulement sont classiquement prises en compte dans le cadre de la théorie du potentiel linéarisé au second ordre, voir Newman (1967) et Molin (1993) pour une analyse plus récente et exhaustive. La théorie de diffraction - rayonnement a prouvé son efficacité pour expliquer la plupart des non-linéarités observées. Pour rester cohérent, il apparaît naturel de résoudre

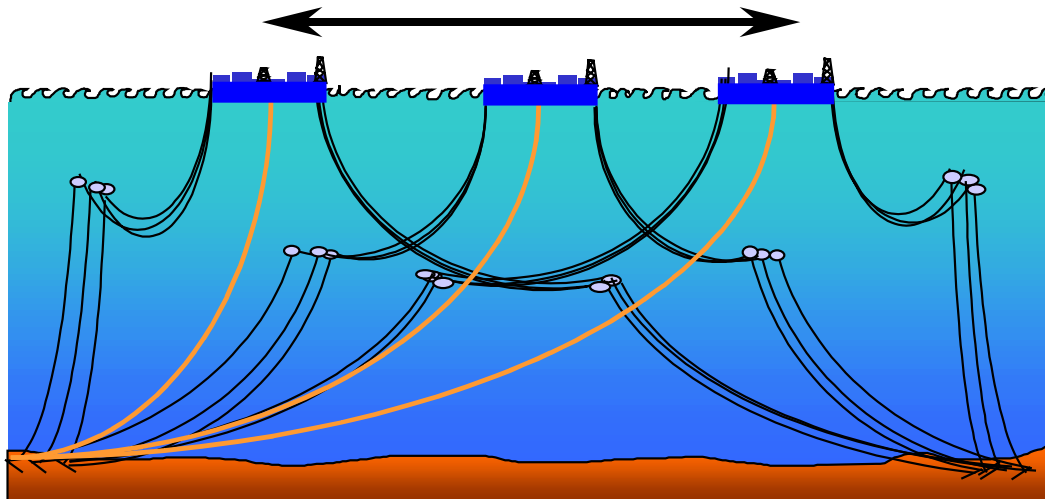


Fig. 1: Illustration des mouvements horizontaux de grande amplitude qui apparaissent aux basses fréquences et résultent d'effets non linéaires du second ordre.

avec le même degré de précision le mouvement des lignes d'ancrage, et leurs interactions mutuelles avec le navire. L'étude de ces effets couplés n'a pu être réalisée que récemment, compte tenu de l'importance du volume de calcul requis. Comme nous le verrons, le pas de temps utilisé lors de la résolution du problème structurel est faible comparé à celui qui serait requis pour évaluer avec une précision équivalente les mouvements du navire. Cela est d'autant plus gênant qu'il est nécessaire de réaliser des simulations de longue durée. Le mouvement basse fréquence du FPSO est en effet gouverné par des interactions du second ordre et la simulation doit être menée sur plusieurs cycles basse fréquence pour obtenir une estimation correcte des grandeurs statistiques.

De nombreuses études ont récemment porté sur ces effets de couplage en fonction du type de support flottant. Le cas d'une plate-forme à lignes tendues PLT est étudié par Paulling & Webster (1995), Ma & Lee (2000) ; celui d'une bouée Spar par Gupta, Finn & Weaver (2000), Colby et al. (2000). Des exemples d'analyses couplées sur des PLT ont été présentés par Paulling & Webster (1986), Kim et al. (1994) et Heurtier et al. (1994) parmi d'autres. Ma & Lee (2000) comparent les concepts de bouée Spar et PLT pour différentes profondeurs d'eau, jusqu'en ultra grand fonds. En ce qui concerne les FPSO, des études de cas ont été proposées par Chakrabarti et al. (1996) et Ormberg & Larsen (1998). Pour évaluer le mouvement d'un FPSO amarré, il est important de prendre en compte l'amortissement basse fréquence dû à la présence des lignes et des risers. Ces effets ont été étudiés expérimentalement (Wichers & Huijsmans, 1990, Le Boulluec *et al.* 1994, Wichers & Ji, 2000) et de manière théorique (Webster, 1995). Le but de cette étude est de comparer les différentes méthodes de calcul des mouvements du FPSO et de la tension en tête des lignes. Une brève description des différents effets physiques pris en compte dans l'analyse est tout d'abord proposée. Des comparaisons de résultats quasi-statiques et dynamiques pour des simulations découplée et couplée sont alors présentées.

Plus spécifiquement, on se propose de comparer les résultats des différents calculs pour deux configurations de FPSO ancrés en mer du Nord par 2000 et 200 mètres de profondeur. Le premier cas (cf. fig. 2) a été proposé par Ormberg & Larsen (1998). Le FPSO est amarré par son touret par 2000m de fond grâce à huit lignes d'ancrage. Le système comprend en outre deux risers de production, une ligne d'export pour le gaz et une autre pour le pétrole. Toutes ces conduites sont en acier et leur disposition est fixée selon la configuration « low

long wave » préconisée par Karunakaran et al. (1996). Le second cas, par 200m de fond, est issu d'une étude réalisée à l'IFP pour tester un nouveau concept.

Les conditions environnementales sont relativement sévères. Le vent, le courant et la houle sont colinéaires. Le spectre de vent est de type NPD avec une vitesse de 33.9m/s et une durée moyenne de 1 heure. Le spectre de houle est de type JONSWAP avec une hauteur significative $H_s=16.2\text{m}$ et une période pic $T_p=16.2\text{s}$. Le courant décroît linéairement de 0.95m/s à la surface, pour s'annuler au fond.

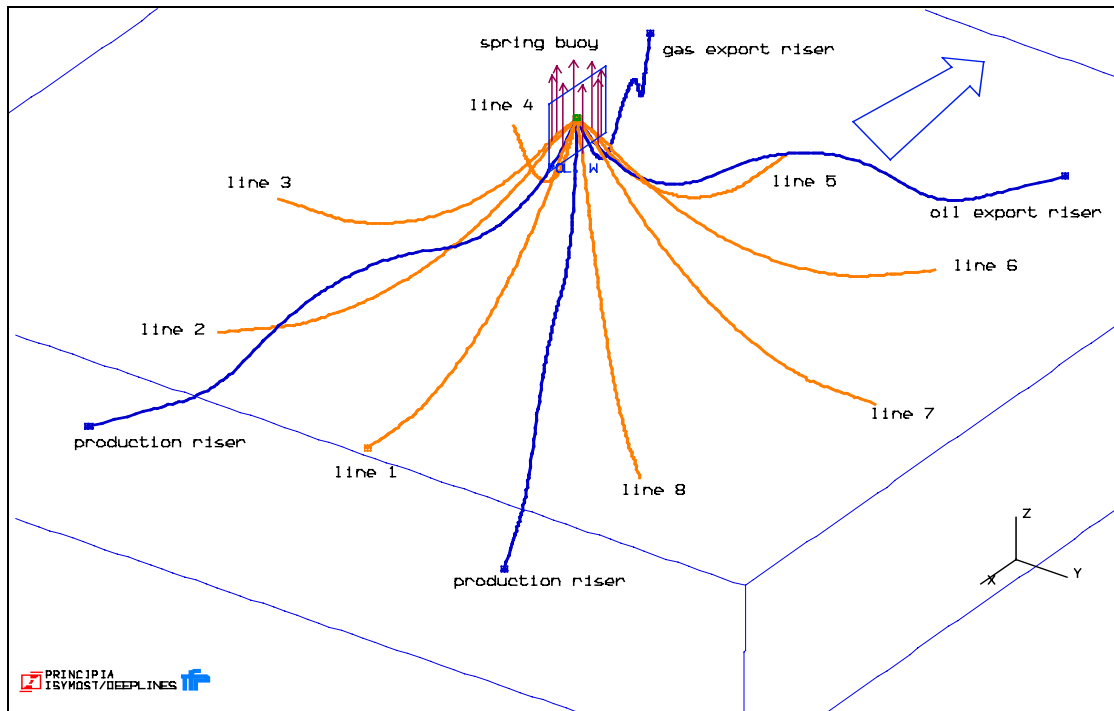


Fig. 2: Exemple de modèle élément finis mis en œuvre dans DeepLines™.

2. METHODOLOGIE DU CALCUL COUPLE

Le logiciel DeepLines™ permet la modélisation de systèmes offshore complexes. La modélisation structurelle des risers flexibles et des lignes d'ancrage est réalisée à partir d'éléments de type câble, barre ou poutre. L'élément poutre, à six degrés de liberté, est non linéaire et permet la prise en compte de grands déplacements. Les effets de couplage torsion – flexion sont également modélisés. Sur ces éléments filaires, des efforts de traînée sont appliqués selon une formulation de Morison modifiée. Le contact au sol est également représenté dans le modèle, même si les effets de frottement n'ont pas été utilisés dans cette étude.

Les équations couplées décrivant le mouvement du navire et des lignes aux basses fréquences et aux fréquences de houle sont intégrées à chaque pas de temps. Dans la modélisation structurelle, le support flottant est représenté par son centre de gravité où les efforts hydrodynamiques et les efforts de réaction des lignes sont appliqués. L'écoulement autour du navire est modélisé dans le cadre de la théorie du potentiel linéarisée au second ordre. Dans les équations gouvernant le mouvement du navire, les coefficients de masse ajoutée et d'amortissement linéaire sont fonctions de la fréquence. Le terme de mémoire, sous forme d'une convolution intervenant du passage du domaine spectral au domaine temporel

peut être pris en compte. Les autres efforts fluides s'exerçant sur le support flottant sont dus au vent et au courant, ainsi qu'aux vagues incidentes.

Au niveau de la méthode numérique, le principe des travaux virtuels est classiquement discrétisé en utilisant un algorithme en temps de Newmark associé à une discrétisation spatiale selon la méthode des éléments finis. Le système non linéaire résultant est résolu par la méthode itérative de Newton Raphson. L'intégration en temps du mouvement du navire est réalisée en utilisant un schéma de Euler décentré arrière. Bien que du premier ordre, ce schéma reste satisfaisant dans la mesure où le pas de temps utilisé dans la simulation reste très faible puisque adapté au calcul de la dynamique des lignes aux hautes fréquences. Compte tenu de la faible valeur du pas de temps, l'équation du mouvement du navire est intégrée avec une bonne précision mais les simulations temporelles sont en revanche rendues coûteuses. Plusieurs options de couplage ont été implémentées afin de pouvoir adapter le type de calcul à la physique du problème et aux contraintes de temps CPU éventuelles. Ainsi, il est possible de mettre en œuvre les approches couplées et découplées, en séparant si nécessaire les composantes aux basses fréquences de celles aux fréquences de houle, et en considérant ou non les effets dynamiques.

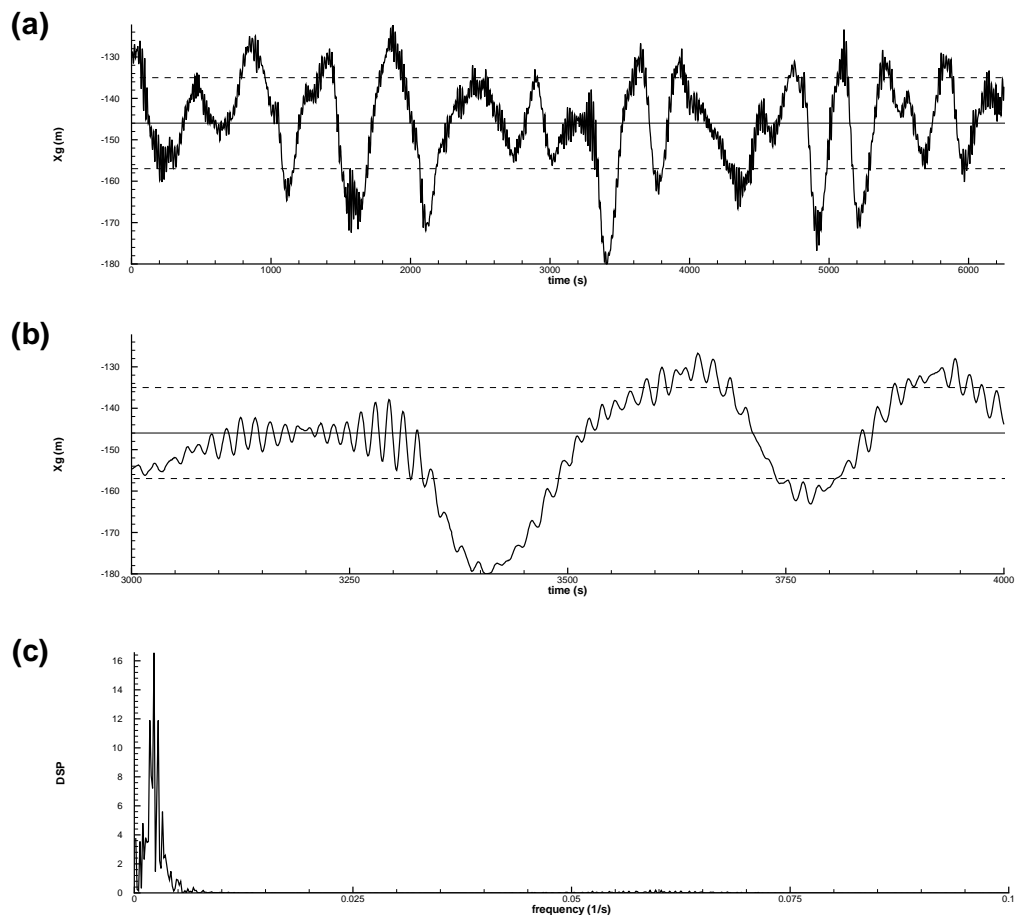


Fig. 3: Cas du FPSO par ultra grands fonds (2000m). Evolution temporelle du mouvement de cavaleme. (a) Simulation complète sur une durée de trois heures. (b) Agrandissement au voisinage d'un maximum pour distinguer les contributions aux basses fréquences et aux fréquences de houle. (c) FFT du signal (a). La valeur moyenne et l'écart type sont respectivement représentés par les lignes continues et pointillées.

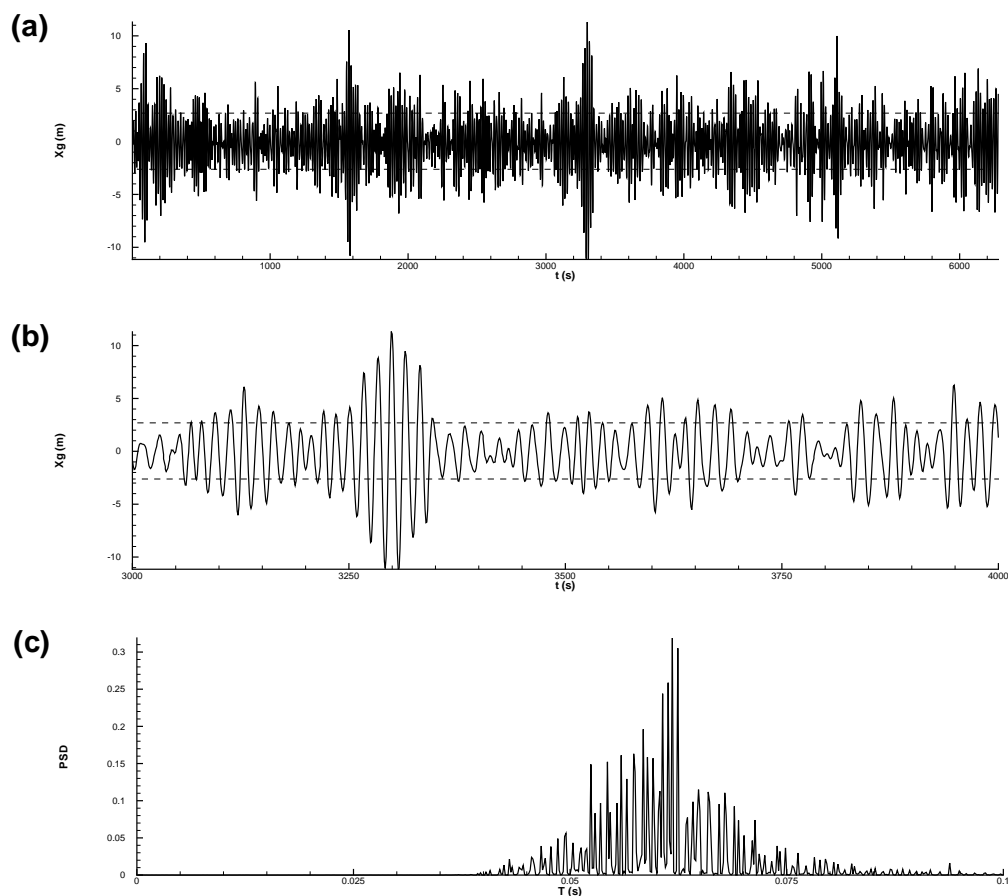


Fig. 4: Cas du FPSO par ultra grands fonds (2000m). Evolution temporelle du mouvement de pilonnement. (a) Simulation complète sur une durée de trois heures. (b) Agrandissement au voisinage d'un maximum pour distinguer les contributions aux basses fréquences et aux fréquences de houle. (c) FFT du signal (a). La valeur moyenne et l'écart type sont respectivement représentés par les lignes continues et pointillées.

3. SIMULATION DYNAMIQUE COUPLÉE

Une simulation dynamique couplée du cas précédemment décrit a été réalisée. Compte tenu du mouvement aux basses fréquences du FPSO avec une période d'environ 500s (voir fig. 3), la simulation doit être menée sur une durée d'environ trois heures pour obtenir des estimations statistiques satisfaisantes. Néanmoins, le pas de temps utilisé dans la simulation doit rester faible, typiquement de l'ordre de 0.2s pour évaluer avec précision la dynamique des lignes aux fréquences les plus hautes, en particulier les termes d'inertie. Cette analyse dynamique couplée ne peut donc être mise en œuvre qu'au stade final d'une étude, lors de l'étape de validation. Pour information, les résultats présentés ci-dessous ont nécessité environ 10 jours de calcul sur un PC à 500Mhz. Dans ce contexte, disposer d'une connaissance initiale de l'importance des différents effets de couplage apparaît intéressant.

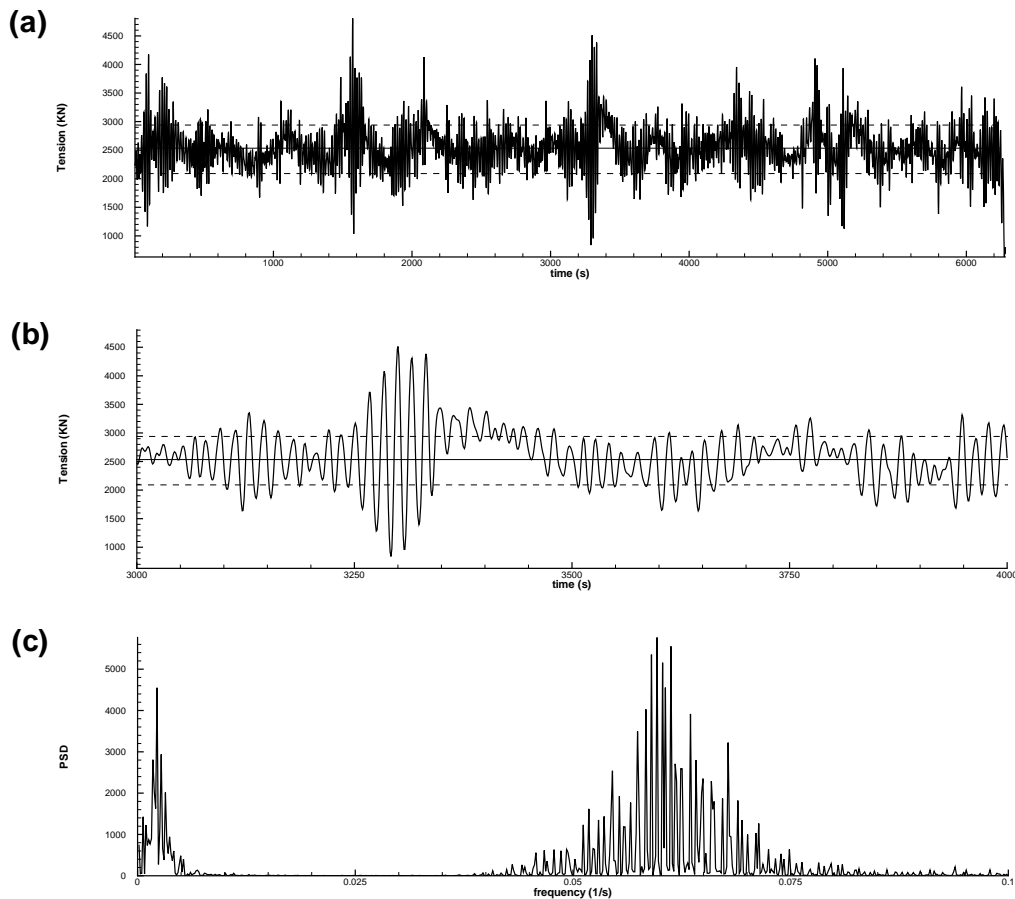


Fig. 5: Cas du FPSO par ultra grands fonds (2000m). Evolution temporelle de la tension en tête de ligne la plus chargée. (a) Simulation complète sur une durée de trois heures. (b) Agrandissement au voisinage d'un maximum pour distinguer les contributions aux basses fréquences et aux fréquences de houle. (c) FFT du signal (a). La valeur moyenne et l'écart type sont respectivement représentés par les lignes continues et pointillées.

L'évolution temporelle du mouvement de cavement du FPSO est présentée sur la figure 3. Le mouvement horizontal (fig. 3a) apparaît essentiellement aux basses fréquences et semble donc gouverné par les interactions résonnantes du second ordre, dont l'amplitude est généralement plus importante que celles aux fréquences de houle, comme cela peut être observé sur la figure 3b. La valeur moyenne et l'écart type sont respectivement représentés par les lignes continues et pointillées. Dans le cas présent, les variations maximales se situent dans un intervalle centré sur la valeur moyenne et de largeur égale à deux fois l'écart type. L'importance relative du mouvement oscillatoire aux fréquences de houle reste faible. Ces résultats sont confortés par l'analyse spectrale du signal temporel qui indique que l'essentiel de l'énergie est concentré dans la gamme des basses fréquences (fig. 3c), l'énergie du signal aux fréquences de houle restant négligeable.

L'évolution temporelle du mouvement de pilonnement est présentée sur la figure 4. En général, le mouvement vertical (cf. fig. 4a) est gouverné par les efforts du premier ordre aux fréquences de houle. Les pics que l'on observe correspondent aux passages de vagues de fortes amplitudes. Une vue détaillée est présentée fig. 4b. Dans le cas présent, les variations maximales sont localisées dans une fenêtre centrée sur la valeur moyenne de largeur égale à trois fois l'écart type. L'analyse spectrale du signal indique que l'énergie est largement répartie sur la gamme des fréquences de houle (cf. fig. 4c). A noter cependant que la composante basse du mouvement de pilonnement n'a pas été calculée. L'amélioration de ces

calculs passe par une prise en compte de cette composante ainsi que des efforts hydrostatiques non linéaires, c'est à dire tenant compte des déformations de la surface libre.

L'évolution temporelle de la tension en tête de ligne la plus chargée est présentée sur la figure 5. Le niveau moyen de la courbe correspond à peu près à la valeur obtenue par le calcul quasi-statique. La composante dynamique du signal est importante, aussi bien aux basses fréquences qu'aux fréquences de houle. Les effets dynamiques, représentés par les fluctuations autour de la courbe basse fréquence, peuvent atteindre jusqu'à 30% de la valeur quasi-statique, d'où la nécessité d'une méthode aussi précise que possible pour leur prédiction. Sur la figure 5c, la présence de deux pics indique que l'énergie du signal est répartie aussi bien aux fréquences de houle qu'aux basses fréquences. La composante basse fréquence du signal est corrélée avec le déplacement horizontal du FPSO. De manière similaire, la composante du signal aux fréquences de houle semble être corrélée au mouvement en tête de ligne, c'est à dire, au mouvement de pilonnement du support flottant.

4. SIMULATIONS QUASI-STATIQUES ET DYNAMIQUES

Les simulations quasi-statiques découplées sont généralement réalisées au niveau de l'avant projet du dimensionnement du système d'ancrage. L'inertie des lignes et leur influence sur les mouvements du navire (effets de couplage) sont donc négligées. Dans cette section, on s'attache à montrer l'importance relative des effets dynamiques. En d'autres termes, on cherche à connaître quels seraient les déplacements du navire et les tensions en tête de lignes si des simulations quasi-statiques avaient été réalisées à la place des calculs dynamiques présentés ci-dessus. Sur la figure 6, on présente les résultats des simulations couplées, dynamiques et quasi-statiques, pour les 500 premières secondes de la séquence de houle. Le calcul du mouvement du navire est effectué seulement aux basses fréquences (symbole LF), ou aux fréquences de houle et aux basses fréquences (LWF). Le calcul des lignes est réalisé en quasi-statique (QS) ou en dynamique (D). L'évolution temporelle pour les mouvements de cavement (a), de pilonnement (b) et la tension en tête de ligne la plus chargée (c) sont représentés.

Clairement, la prise en compte des effets d'inertie conduit à une réduction de l'amplitude du cavement (fig. 6a), par un facteur 2 dans le cas présent. La principale différence apparaît dans la composante basse fréquence du signal. Il est aussi intéressant de noter que le calcul le plus complet (LWF), prenant en compte simultanément toutes les fréquences, n'oscille pas toujours autour de la valeur basse fréquence. Un tel comportement peut être observé aux alentours de $t=200s$ dans la simulation quasi-statique, et autour de $t=400s$ dans le cas dynamique. Cet effet semble provenir de la prise en compte du couplage entre les mouvements des lignes et du FPSO. En ce qui concerne le mouvement de pilonnement, très peu de différences sont observées entre les deux simulations.

La tension effective dans la ligne la plus chargée (fig. 6c) est significativement différente selon que l'on considère ou non les effets dynamiques. Si les variations aux basses fréquences restent similaires, la composante aux fréquences de houle est fortement influencée par les effets d'inertie des lignes. Dans l'exemple présent, au voisinage de $t=100s$, la valeur dynamique atteint presque deux fois la valeur quasi-statique. Bien que ce pic soit éventuellement encore dans le régime transitoire de la simulation, il est clair que les effets dynamiques doivent être pris en compte dans le dimensionnement du système d'ancrage.

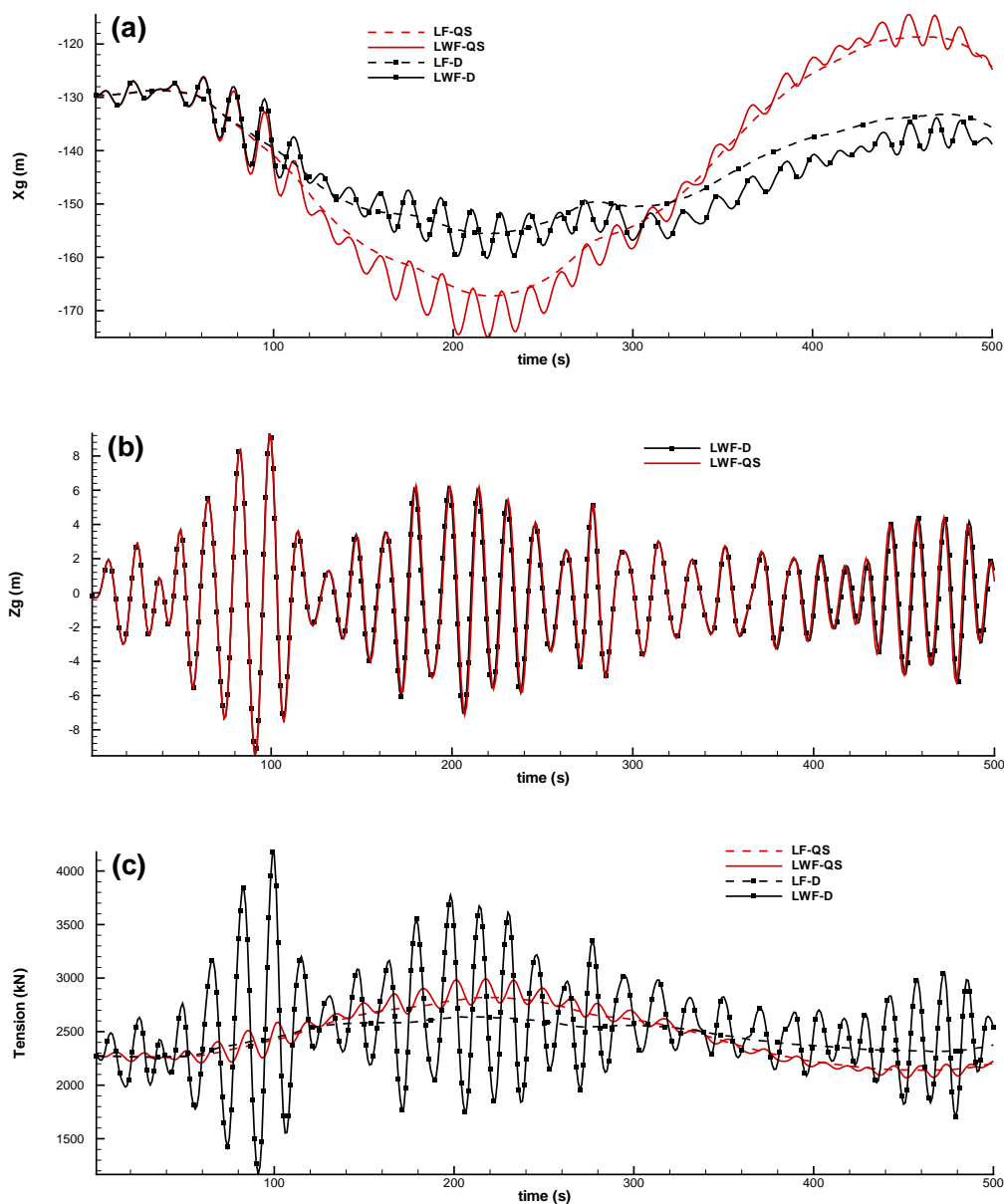


Fig. 6: Cas du FPSO par ultra grands fonds (2000m). Influence de la dynamique des lignes. Comparaisons des approches couplées en tenant compte, ou non, des effets d'inertie (d'accélération) des lignes. Cf. le commentaire dans le texte.

Afin d'illustrer l'importance des effets dynamiques, on présente en aparté les résultats d'une autre étude réalisée par l'IFP. Il s'agit d'un support flottant amarré par 16 lignes d'ancrage par 200m de profondeur. Les résultats dynamiques et quasi statiques sont présentés sur la figure 7. Compte tenu de la plus faible longueur des lignes, l'amortissement est réduit et les mouvements horizontaux obtenus en quasi statique sont du coup proches de ceux donnés par l'analyse dynamique. Pour le mouvement de pilonnement, les résultats des deux approches sont quasiment confondus. Pour la tension en tête de ligne, on constate tout d'abord de fortes variations par rapport à la valeur obtenue à l'équilibre aussi bien en quasi-statique qu'en dynamique. La tension maximale atteint près de quatre fois sa valeur d'équilibre, ce qui a conduit à modifier le concept, puisque trop sensible aux conditions environnementales. On

constate par ailleurs des valeurs relativement différentes et un déphasage des maxima de tension, l'approche dynamique étant 15% supérieure à la valeur obtenue en quasi-statique.

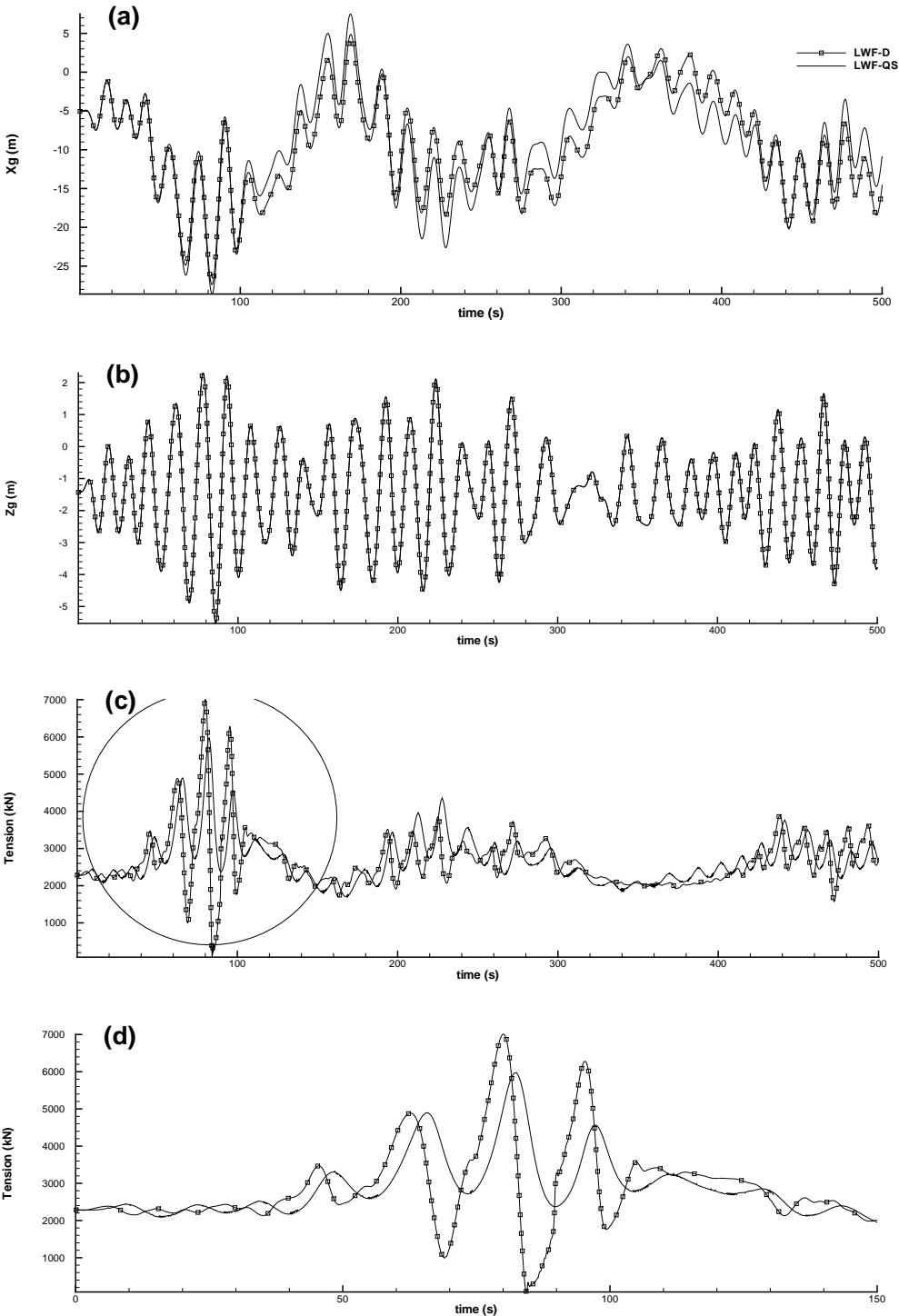


Fig. 7: Cas du FPSO par faible profondeur (200m). Comparaison entre les approches quasi-statique et dynamique. (a) Mouvement de cavement du FPSO (b)mouvement de pilonnement, et (c), (d) tension dans la ligne la plus chargée.

5. ANALYSES COUPLÉES ET DECOUPLÉES

Dans cette section, des comparaisons entre les approches couplées et découplées sont présentées. Pour obtenir les résultats découplés, une simulation quasi-statique basse fréquence (LF-QS) a été réalisée. Les coefficients de masse ajoutée et d'amortissement sont choisis à fréquence nulle et l'inertie des lignes est négligée. Les raideurs équivalentes aux lignes d'ancrage sont évaluées en fonction de la position horizontale du flotteur. La composante du signal aux fréquences de houle est obtenue en prenant la valeur des coefficients à la fréquence du pic du spectre de houle. Les fonctions de transfert sont évaluées une fois pour toutes au démarrage de la simulation, après le calcul de la position d'équilibre statique du système.

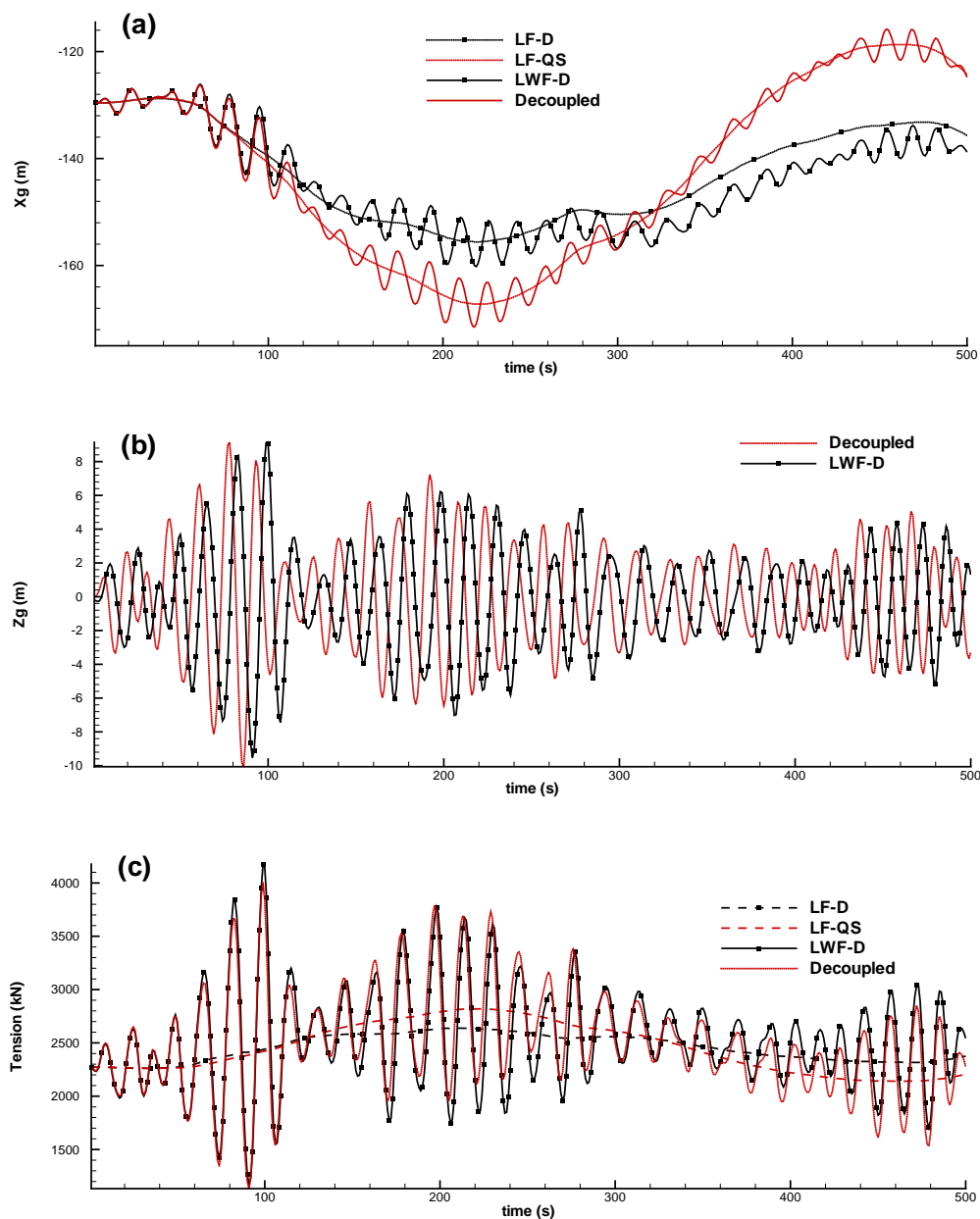


Fig. 8: Cas du FPSO par ultra grands fonds (2000m). Comparaison entre les approches couplées et découplées. (a) Mouvement de cavalemt du FPSO (b)mouvement de pilonnement, et (c) tension dans la ligne la plus chargée.

Cette approche découplée a été mise en œuvre en utilisant la même séquence de houle que précédemment. Une comparaison sur les 500 premières secondes de la simulation est présentée sur la figure 8.

Pour le mouvement de cavement, fig. 8a, l'approche découplée donne des résultats similaires comparée à l'approche couplée quasi-statique. Les composantes basses fréquences du signal sont quasiment identiques, sauf pour les valeurs extrêmes. La composante du signal aux fréquences de houle est légèrement déphasée, ce qui est normal puisque le mouvement du navire n'est pas systématiquement mis à jour dans la simulation découplée. Pour le mouvement de cavement, les effets de couplage sont faibles comparés aux effets dynamiques. Pour le mouvement de pilonnement, fig. 8b, les approches couplées et découplées donnent des résultats très proches. Finalement, les tensions en tête de ligne sont comparables (fig. 8c) avec cependant des différences intéressantes apparaissent. Bien que l'amplitude du mouvement aux basses fréquences soit plus faible dans la méthode couplée, la tension prédite par l'approche couplée peut éventuellement être supérieure à la valeur prédite par l'analyse découplée.

6. CONCLUSIONS

Pour le cas test considéré ici, c'est à dire un FPSO amarré par 2000m de fond, les précédents calculs montrent que :

- Le mouvement horizontal apparaît essentiellement dans le domaine des basses fréquences et doit être calculé en incluant la dynamique des lignes. L'approche quasi-statique conduit à sur-évaluer l'amplitude des déplacements. La méthode couplée permet de bien appréhender l'amortissement apporté par les lignes.
- Contrairement au mouvement dans le plan horizontal, le mouvement de pilonnement ne varie pas de manière significative selon que l'on considère ou non la dynamique des lignes.
- La tension en tête de ligne doit être calculée par une analyse dynamique du système, en tenant compte des mouvements aux basses fréquences et aux fréquences de houle.
- Pour de faibles profondeurs, les effets dynamiques peuvent constituer la contribution majeure de la tension en tête de ligne.

L'approche découplée offre un compromis intéressant entre complexité, précision et temps de calcul, d'où son intérêt certain lors de l'avant projet. Malgré l'accord relativement bon entre approches couplée et découplée, il faut noter que les valeurs extrêmes sont différentes. Dans le cas d'un FPSO par grande profondeur, les effets de couplage restent relativement faibles. Cela doit être confirmé par d'autres études de cas. Néanmoins, des simulations couplées sont probablement nécessaires pour des flotteurs de plus petites dimensions, éventuellement placés dans des conditions de survie.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le support financier du Comité d'Etudes Pétrolières et Marines. Une version anglaise de cette étude a par ailleurs été publiée (Heurtier *et al.*, 2001).

BIBLIOGRAPHIE

- Chakrabarti, P., Chandwani, R., and Larsen, I., 1996, "Analyzing the effect of integrating riser/mooring line design", OMAE, Vol. 1, part B, Offshore Technology, ASME.
- Chaudhury, G., and Ho, C.Y., 2000, "Coupled dynamic analysis of platforms, risers, and mooring", in Proc. Offshore Technology Conference, paper No. 12084.
- Colby, C., Sodahl, N., Katla, E., and Okkenhaug, S., 2000, "Coupling effects for a deepwater Spar", in Proc. Offshore Technology Conference, paper No. 12083.
- Gupta, H., Finn, L. and Weaver, T., 2000, "Effects of spar coupled analysis ", in Proc. Offshore Technology Conference, Houston, Texas.
- Le Boulluec, M., Le Buhan, Ph., Chen, Deleuil, X-B., Foulhoux, L. , Molin, B. & Villeger, F., « Recent advances on the slow-drift damping of offshore structures », Proc. 7th BOSS Conference, Boston, 1994
- Heurtier, J.M., Biolley F., Berhault, C., Le Buhan, P. and Morin, G., 1998, « Fully coupled dynamic analysis of rigid lines and floaters behaviours in deep water », In Proc. of the Eight Intl. Offshore and Polar Engineering Conference, Montreal Canada, pp. 246-252.
- Karunakaran D., Nordsve NT, Olufsen A., 1996, "An efficient metal riser configuration for ship and semi based production systems". Proc. Of the Six International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE), Vol. 2, pp. 156-162. Los Angeles, USA.
- Kim, C.H., Kim, M.H., Liu, Y.H. and Zhao, C.T., 1994, "Time domain simulation of nonlinear response of a coupled TLP system", Intl. Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 4, No. 4, pp.284-291.
- Ma, W., Lee, M., Zou, J., and Huang, W., 2000, "Deepwater nonlinear coupled analysis tool", in Proc. Offshore Technology Conference, paper No. 12085.
- Molin, B., 1993, "Second-order hydrodynamics applied to moored structures. A state-of-the-art survey", Ship Technology Research (Schiffstechnik), vol 41, No. 2.
- Ormberg H. & Larsen, K., 1998, "Coupled analysis of floater motion and mooring dynamics for a turret-moored ship", Applied Ocean Research, vol. 20, pp. 55-67.
- Paulling, J.R. and Webster, W.C., 1986, "A consistent, large amplitude analysis of the coupled response of a TLP and tendon system", Proc. 5th OMAE Conference, Vol. 3, pp. 126-133.
- Webster, W., 1995, "Mooring-induced damping", Ocean Engng, Vool. 22, No. 6, pp.571-591.
- Wichers, J., and Ji, C., 2000, "On the coupling terms in the low-frequency viscous reaction forces of moored tankers in deep water", in Proc. Offshore Technology Conference, paper No. 12086.
- Wichers, J.E.W., and Huijsmans, R.H.M., 1990, "The contribution of hydrodynamic damping induced mooring chains on low frequency vessel motions", in Proc. Offshore Technology Conference, paper No. 6218., pp 171-182.