

10^{èmes} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

Nantes, 7, 8 et 9 mars 2005

BARGE POUR ENVIRONNEMENTS TYPE BRÉSIL : ESSAIS EN BASSIN

BARGE FOR BRAZILIAN WATERS : WAVE TANK STUDY

M. LE BOULLUEC *, **Ch. MAISONDIEU***, **G. DU PLESSIX**** et **C. CORDEAU****

* Hydrodynamique et Océanométéo, Ifremer

BP 70, 29280 Plouzané, France

**Technology Development, Saipem Sa

Saint Quentin en Yvelines, France

Résumé

Le Well Head Production Floater (WHPF®) est un nouveau concept de barge accueillant des risers à têtes de puits aériennes développé par Saipem SA pour l'exploitation offshore des champs du Brésil (ou conditions environnementales similaires) par des profondeurs d'eau pouvant aller jusqu'à 3000 m.

Cette barge comporte un moon-pool central destiné à accueillir les têtes de risers de production de pétrole et un ponton immergé. Au-dessus de ce ponton et de part et d'autre du château entourant le moon-pool se trouvent des murs et colonnes qui le relient au pont aérien. L'objectif des essais en bassin est la validation des calculs préliminaires de comportement du flotteur et l'étude précise des effets de surface libre dans le moon-pool et au-dessus du ponton immergé.

Summary

The Well Head Production Floater (WHPF®) is a dry-tree oil production platform with drilling capability designed by SAIPEM for oil production offshore Brazil or area with equivalent environmental conditions.

A central moon-pool is surrounded by a system of walls and columns above an immersed pontoon. An upper deck is situated above the water line. Sea water can flow between walls and columns above the pontoon.

The aim of wave tank experiments is to validate the preliminary sea keeping calculations and study the free surface effects inside the moon-pool and above the pontoon.

Mots-clés :

Hydrodynamique, essais en bassin, houle, surélévations, diffraction, radiation, moon-pool

I-INTRODUCTION

Le Well Head Production Floater (WHPF®) est un nouveau concept de barge développé par SAIPEM pour l'exploitation pétrolière offshore des champs du Brésil, ou de sites présentant des conditions environnementales météo-océaniques similaires, plus sévères que celles du Golfe de Guinée pour lequel ont déjà été développés et évalués les concepts de Well Head Barge [1] et Multi Function Barge (MFB®) [2][3]. Ces études ont conduit par ailleurs à des analyses approfondies de la dynamique des risers [4].

Les dimensions de la barge sont : longueur : 300 m, largeur : 60 m, tirant d'eau : 23 m. Cette barge comporte un moon-pool central destiné à accueillir les têtes de risers de production de pétrole qui peuvent opérer jusqu'à 3000 m de profondeur et un ponton immergé. Au-dessus de ce ponton et de part et d'autre du château entourant le moon-pool se trouvent des murs et colonnes qui relient le ponton immergé au pont aérien (Fig. 1). Au repos la face supérieure du ponton est immergée de 12 m et la face inférieure du pont aérien se trouve à une distance symétrique de 12 m par rapport à la flottaison. Cette géométrie comporte donc des cavernes dont l'objectif est la diminution des raideurs hydrostatiques et conséquemment des mouvements du flotteur sur houle par rapport à ceux d'un flotteur conventionnel de forme parallélépipédique, mais elle entraîne des surélévations de la surface libre au dessus du ponton immergé et au voisinage des murailles.

La forme et le chargement de la barge sont les résultats d'itérations numériques visant à minimiser ses mouvements et les surélévations de surface libre.

Les essais conduits dans le bassin de l'Ifremer ont pour objectifs la validation des calculs. Afin de définir le modèle et l'instrumentation, des calculs préliminaires de dénivellations de surface libre conduits grâce au code de diffraction-radiation linéaire AQUA+ [5] ont permis de dresser une cartographie détaillée du champ de vagues à proximité du flotteur en fonction de la période et de l'incidence de houle.

Des emplacements jugés pertinents pour y opérer des mesures ont alors été retenus, au nombre de 24 compte tenu de l'instrumentation disponible.

Outre les calculs de diffraction-radiation linéaire, la formulation établie par B. Molin [6] pour les modes oscillatoires de moon-pool de forme rectangulaire est exploitée. Des analogies sont également envisagées entre les modes résonants des oscillations au-dessus du ponton immergé et ceux de cuves fermées.

II-DISPOSITIF EXPERIMENTAL

II.1 Maquette

Les calculs prévoyant des surélévations pouvant atteindre localement de l'ordre de 5 fois l'amplitude de la houle incidente, les murailles du modèle ont été extrapolées jusqu'à 2.5 fois la garde prévue et le pont aérien a été supprimé. Ainsi l'interprétation des phénomènes est plus aisée dans la mesure où les impacts sur la face inférieure du pont aérien sont éliminés.

Afin d'avoir une bonne compréhension des phénomènes de diffraction, la maquette a successivement été étudiée en configuration ancrée, puis fixée rigidement à la passerelle du bassin (Fig.3).

La conception modulaire des murs et des colonnes de la maquette a permis la conduite d'essais pour des variantes de la géométrie de base en configuration fixe.

Compte tenu des paramètres de houle à reproduire et de la dimension du bassin de l'Ifremer, un modèle à l'échelle géométrique 1/80 a été conçu et réalisé (Fig. 2).

En similitude de masse, centre de gravité et inerties principales, la maquette libre est ancrée par un système de quatre lignes aériennes constituées par des ressorts linéaires étalonnés de telle façon que les raideurs horizontales selon les deux axes principaux soient en similitude des raideurs d'ancrage réelles correspondantes induites par un ensemble de 4 fois 6 lignes sous-marines. Les autres raideurs peuvent être déduites.

II.2 Instrumentation

Sondes capacitives

24 sondes capacitives de marque Orca sont réparties sur la maquette conformément à la figure 4. Spécialement conçues pour fonctionner en eau de mer, elles sont constituées de fils de faible diamètre (0.5 mm) qui ne perturbent pas l'écoulement. Ceux-ci sont tendus entre le cadre supérieur de la maquette et la face supérieure du ponton immergé ou le fond de la maquette dans le cas d'une sonde latérale. A proximité d'une paroi, la distance est alors équivalente à 1 m au réel.

6 sondes, dont 5 disposées selon son axe longitudinal, mesurent l'agitation dans le moon-pool. 18 sondes mesurent les surélévations au-dessus du ponton et en trois points sur les parois latérales externes du modèle.

Ces sondes mesurent l'élévation relative de la surface libre dans le repère de la maquette.

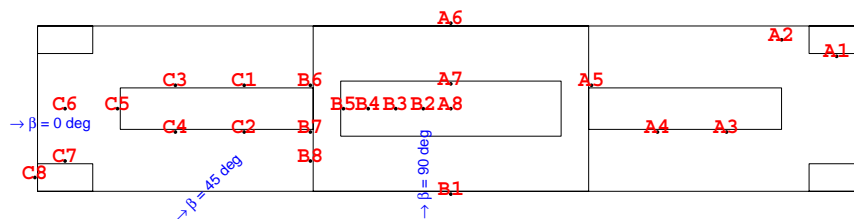


Fig. 4 : Emplacement des sondes embarquées

Sondes asservies

La mesure du champ de vague à distance de la maquette est assurée par 4 sondes asservies de marque Orca qui enregistrent le champ total (incident + diffracté + radié + réfléchi) en divers points amont, latéraux et aval. Ces sondes sont calibrées grâce à un banc dynamique et ont une précision de ± 0.5 mm pour une course de ± 300 mm.

Systèmes de trajectographie optique

Deux systèmes ont été employés.

Chacun est fondé sur le même principe du suivi de cibles liées au corps en mouvement.

Deux caméras suivent chacune dans son plan de vision les trajectoires de cibles solidaires de la maquette et un algorithme permet de reconstituer leurs trajectoires tridimensionnelles.

Il est alors possible de reconstituer les mouvements d'un corps rigide dès lors que le nombre de cibles est suffisant et que leurs positions sont précisément connues dans le repère du corps. En pratique un nombre de cibles surabondant est employé permettant une détermination des mouvements au sens des moindres carrés en minimisant ainsi les erreurs.

Le système Dynascope commercialisé par Sirehna emploie deux caméras montées indépendamment et visant des diodes solidaires du corps à suivre. L'étalonnage doit être fait pour chaque configuration.

Un nouveau système développé par la société Videometric comporte deux caméras montées sur un même bras et calibré « définitivement » pour un espace de fonctionnement donné. Les cibles sont constituées de ronds noirs flous sur fond blanc permettant une reconnaissance de forme sur image numérique (Fig. 5). La précision obtenue est de 0.1 mm dans le plan perpendiculaire à l'axe moyen des deux caméras et de 0.3 mm suivant cet axe. La fréquence d'acquisition est de 18 Hz ré-échantillonnée à 25 Hz.

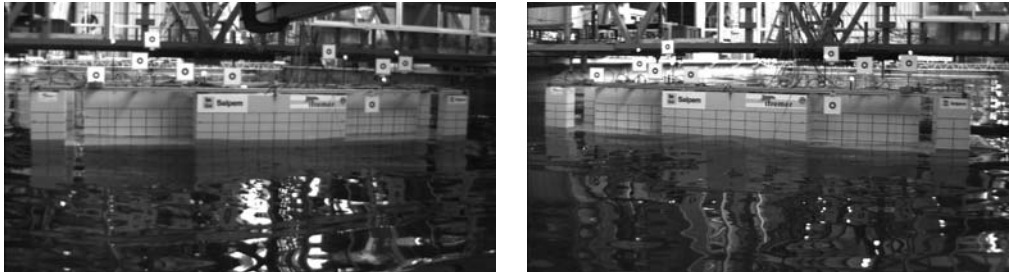


Fig. 5 : Vues gauche et droite des deux caméras du système Videometric durant les essais.

Ancrage

Chaque ligne est pesée grâce à un capteur d'effort à jauges de contraintes embarqué à bord de la maquette dont la fonction principale est l'équilibrage initial des tensions dans les quatre lignes.

Acquisition

Chaque système optique comporte son propre système d'acquisition et délivre après traitement 6 composantes de mouvements du corps rigide. Les voies analogiques sont regroupées en un groupe de 32 grandeurs synchronisées, acquises à 100 Hz puis ré-échantillonnées à 25 Hz par moyenne glissante. Voies analogiques et optiques sont synchronisées par « TTL Trigger ». Un total de 44 voies utiles est donc acquis in fine.

II.3 Bassin

Le bassin de Brest de l'Ifremer a pour dimensions : longueur = 50m , largeur = 12.5 m, profondeur = 9.8 m sur $\frac{3}{4}$ de sa longueur et 19.8 m sur le dernier $\frac{1}{4}$.

Un batteur de houle de type coin plongeant, constitué de deux éléments jumeaux permet de générer des vagues bidimensionnelles jusqu'à 50 cm de crête à creux en houle régulière.

Une plage d'amortissement parabolique surplombe la fosse de 20 m.

II.4 Houle

Sept jeux de paramètres caractéristiques de spectres de type JONSWAP ont été définis.

Deux jeux de paramètres ont été ajoutés afin de représenter des états de mer de plus longues périodes de pic et ainsi mieux couvrir la gamme de fréquence du générateur de houle et décrire les fonctions de transfert.

Lors des essais en présence du modèle, le champ de vagues est rapidement perturbé par les ondes émises par la maquette et réfléchies par les parois.

De nombreux modes susceptibles d'être excités sont décrits dans le tableau 2.

Le mode numéro 8 est particulièrement sensible à un effet de diffraction de la maquette autour de [1.35, 1.40] s, visible à l'oeil nu et mesuré par les sondes.

Tableau 1: Paramètres des spectres JONSWAP ($\gamma = 2$)

Paramètres réels		Paramètres à l'échelle de Froude 1/80	
T_p (s)	H_s (m)	T_p (s)	H_s (cm)
15.35	7.8	1.716	9.750
14.70	7.0	1.643	8.750
11.35	6.7	1.269	8.375
10.00	6.3	1.118	7.875
9.40	5.4	1.051	6.750
9.21	4.7	1.030	5.875
8.19	4.6	0.916	5.750
20.0	8.0	2.236	10.00
18.0	8.0	2.012	10.00

Des trains de vagues représentatifs des caractéristiques de ces spectres ont été calibrés en l'absence de la maquette. Des variations de hauteurs significatives ont été opérées pour chaque période de pic (50%, 80%, 100% * H_s).

Les enregistrements ainsi effectués ont servi de référence de houle pour les essais en présence de la maquette, les trains d'ondes étant recalés par inter corrélation des signaux durant les premières dizaines de secondes de génération avant que le champ de vagues ne soit trop perturbé.

Tableau 2 : Périodes des modes propres transversaux du bassin

Mode	2	4	6	8	10	12	14	16
T (s)	2.830	2.001	1.633	1.415	1.265	1.155	1.069	1.000

II.5 Traitement des signaux

Diverses procédures sont appliquées aux signaux mesurés selon le type d'essai.

Houle régulière : Série de Fourier et Transformée de Fourier Discrète.

Houle irrégulière : Transformée de Fourier Discrète, analyse vague par vague, analyse spectrale.

Les fonctions de transfert expérimentales en houle irrégulière sont établies par lissage des rapports des Transformée de Fourier Discrète des sorties sur les entrées.

III. APPROCHE ANALYTIQUE ET NUMERIQUE

III.1 Moon-Pool

Des études analytiques et numériques du comportement hydrodynamiques des moonpools ont été conduites ces dernières années [6][7].

Les formules établies par B. Molin [6] pour un moon-pool de forme rectangulaire sont employées ici et ont déjà fait l'objet d'application lors de l'étude du concept WHB® [1].

Les valeurs numériques des périodes des modes propres du moon-pool sont données dans le tableau 3.

Le rapport longueur sur largeur du moon-pool étant de 4, le quatrième mode longitudinal a la même période que le premier mode transversal.

III.2 Cuves externes

Bien que la WHPF ne comporte pas de cuves fermées, l'observation des essais comme les mesures montrent l'existence d'oscillations de forte amplitude au-dessus du ponton immergé et le long des murs et colonnes similaires au sloshing observé dans des réservoirs clos [8]. C'est pourquoi une analogie est employée ici.

Dans le cas présent, il apparaît que la profondeur d'eau au-dessus du ponton joue le rôle de la profondeur H d'une cuve et que diverses longueurs L peuvent être envisagées parmi lesquelles :

- la distance entre colonnes : $L = 40$ m
- la largeur de la barge : $L = 60$ m
- une longueur efficace entre la position moyenne des colonnes et le mur extérieur du moon-pool : $L = 90$ m.

Les périodes propres correspondantes sont évaluées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Périodes propres des modes du moon-pool et de cuves externes virtuelles

Moon-Pool			Cuves externes		
	Echelle 1	Echelle 1/80		Echelle 1	Echelle 1/80
Mode	T (s)	T (s)	Mode	T (s)	T (s)
l = 80 m b = 20 m h = 23 m			L = 90 m H = 12 m		
Piston			1	17.063	1.908
2D	10.808	1.208	2 T_{e1}	9.176	1.026
3D	12.677	1.417	3	6.723	0.752
T moyenne	11.742	1.313	4	5.560	0.622
f moyenne	11.668	1.304	5	4.875	0.545
Sloshing longitudinal			L = 60 m H = 12 m		
1	9.405	1.051	1 T_{e2}	11.748	1.313
2	7.107	0.795	2	6.723	0.752
3	5.840	0.653	3	5.180	0.579
4	5.061	0.566	4	4.412	0.493
5	4.527	0.506	5	3.928	0.439
Sloshing transversal			L = 40 m H = 12 m		
1	5.061	0.566	1	8.342	0.933
2	3.579	0.400	2 T_{e3}	5.180	0.579
3	2.922	0.327	3	4.147	0.463
4	2.531	0.283	4	3.581	0.400
5	2.264	0.253	5	3.201	0.358

On observe la coïncidence des périodes du mode piston du moon-pool et de T_{e2} comme la proximité de la période du premier mode longitudinal du moon-pool et de T_{e1} .

III.3 Diffraction-radiation linéaire

Le code de diffraction-radiation linéaire AQUAPLUS est employé pour évaluer :

- efforts de houle
- masses ajoutées et amortissements d'onde
- mouvements
- élévations de surface libre absolues et relatives

Les maillages de la géométrie de base et des variantes obtenues par enlèvement de portions de murs et des colonnes sont décrites sur la figure 6.

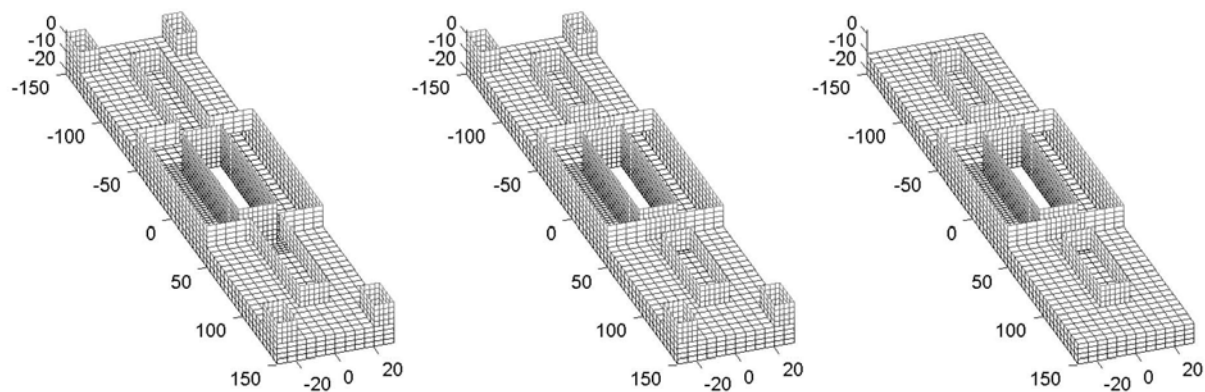


Fig. 6 : Maillages de la carène et variantes géométriques

IV. OBSERVATIONS

IV.1 Mouvements du flotteur

Les mouvements du modèle sont modérés et l'amortissement visqueux associé aux tourbillons bien visibles au contournement des arrêtes vives des murs, des colonnes et du ponton immergé semble jouer un rôle important.

Les masses ajoutées pourraient être influencées par les effets visqueux et la proximité de la surface libre au-dessus du ponton. Les mouvements verticaux de pilonnement et tangage sur houle de face induisent un puissant courant transverse au-dessus du ponton.

Les périodes propres du flotteur sont identifiées grâce à la réponse sur houle et à des essais de lâchers en eau calme (Tableau 4).

Le mouvement de roulis sur houle de travers et de trois quart révèle une intéressante composante à basse fréquence associée à sa période propre, intermédiaire entre les très basses fréquences et les fréquences de houle. Le roulis est excité à la fois par les efforts du premier et second ordre et les impacts induits par les fortes remontées d'eau le long des parois. Un couplage important existe entre roulis et embardée notamment lors des essais de lâchers en eau calme. L'influence de l'ancrage amarré sur la maquette plus haut que dans la réalité devrait être examinée. Les mouvements horizontaux de dérive lente sont modérés et les translations induites sont de l'ordre de l'épaisseur des murs.

Tableau 4 : Périodes propres observées du modèle WHPF (transposées à l'échelle 1)

Mouvement	Cavalement	Embardée	Pilonnement	Roulis	Tangage	Lacet
T (s)	190	250	25	45	33	130

IV.2 Mouvements d'eau

De fortes oscillations surviennent au dessus du ponton associées intuitivement à des modes de cuve entre les murs, les colonnes et le ponton. Des remontées d'eau importantes durant quelques oscillations sont souvent conclues par un déferlement qui brise le phénomène.

A l'intérieur du moon-pool les oscillations de surface libre sont visiblement organisées autour de la base modale. Les mouvements longitudinaux sont dominants sur houle de face et le mode vertical de piston est dominant sur houle de travers.

V. COMPARAISON CALCULS-EXPERIENCES

V.1 Phénomènes transitoires

Les plus fortes remontées d'eau sont observées aux emplacements B6 et B7 sur houle de face.

Les enregistrements représentés sur la figure 7 montrent l'évolution des vagues incidentes et de l'élévation relative de surface libre B7 dans le cas du modèle ancré sur houle de face et pour deux états de mer différents.

La fréquence instantanée d'oscillation est calculée par différentiation de la phase de la Transformée de Hilbert du signal assortie d'une procédure de lissage.

Sur la figure 7 le temps sans dimension est rapporté à la période particulière T_{e2} du premier mode de cuve de longueur $L = 60$ m et de profondeur $H = 12$ m (Tableau 3).

L'élévation sans dimension est le rapport de l'élévation à la hauteur H .

La fréquence instantanée sans dimension est le rapport de la fréquence à $f_{e2} = 1/T_{e2}$.

La figure 7.a représente l'évolution temporelle de la houle incidente et de l'élévation en B7 pour un état de mer dont la période de pic T_p est proche de T_{e1} .

La figure 7.b représente une séquence typique de remontée d'eau constituée de deux oscillations successives à forte non linéarité illustrée par la dissymétrie entre crête ($\eta/H > 1.75$) et creux ($\eta/H \sim -0.7$).

La figure 7.c représente l'évolution temporelle des fréquences instantanées de la houle incidente et de la remontée d'eau proches de l'intervalle $[f_{e2}, f_{e1}]$.

Les figures 7.d.e.f sont similaires aux figures 7.a.b.c pour un autre état de mer de période de pic T_p plus longue.

Pour les deux états de mer les remontées d'eau maximum ont des fréquences de crête instantanées proches de l'intervalle $[f_{e2}, f_{e1}]$. Durant les mêmes plages de temps les fréquences instantanées des vagues incidentes appartiennent au même intervalle de fréquences, proches de f_{e1} dans le premier cas et de f_{e2} dans le second.

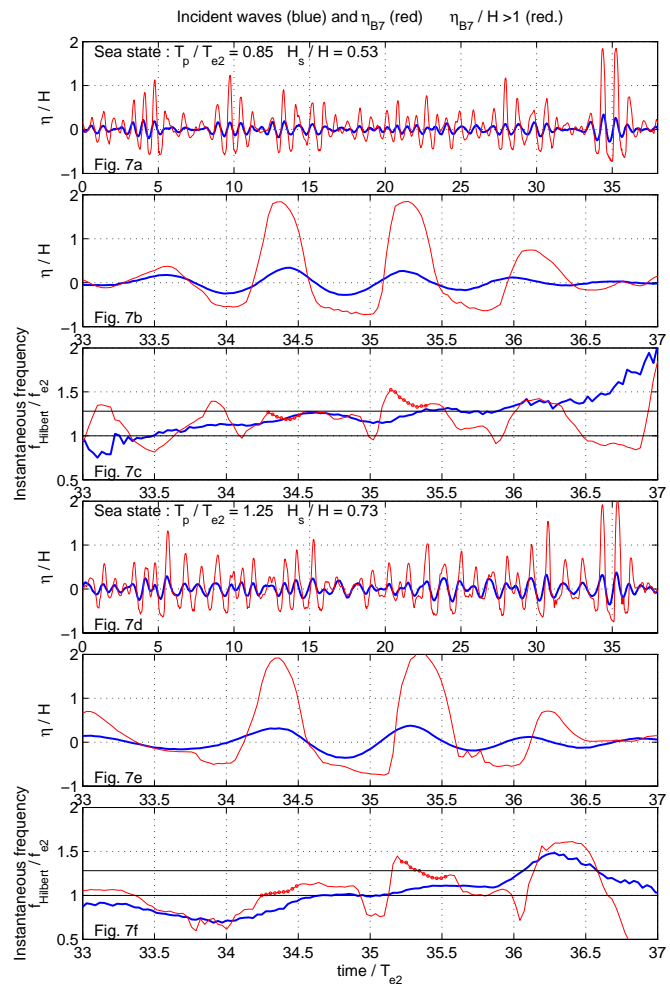


Fig. 7 : Elévation mesurée à l'emplacement B7 sur houle de face

Avec une extension des parois verticales du modèle à 2.5 fois la hauteur théorique du pont, certaines configurations de vagues induisent une surélévation supérieure à la limite des mesures définie par $-1 < \eta/H \leq 2.25$.

Un phénomène typique de surélévation est décrit sur la figure 8 (photos 1 à 10) montrant deux oscillations dont la seconde dépasse la hauteur des murs, impacte sur un capot de protection et déferle.

V.2 Analyse vague par vague

Une analyse vague par vague « down zero crossing » fournit les durées des crêtes et creux des oscillations de toutes les voies de mesure.

Les résultats obtenus pour la voie B7 sont représentés sur la figure 9 sous forme adimensionnelle. Les durées des hauteurs crêtes à creux maximales sont supérieures à T_{e1} .

Les doubles durées des hauteurs de crêtes maximales appartiennent à l'intervalle $[T_{e1}, T_{e2}]$.

Les résultats obtenus pour la voie B5 à l'avant du moon-pool sont représentés sur la figure 10 sous forme adimensionnelle. Les durées des hauteurs crêtes à creux maximales sont associées aux périodes propres du mode piston et du premier mode longitudinal. Les crêtes et les creux ont des amplitudes similaires.

Pour la voie C5 à l'avant du mur axial, les périodes des hauteurs maximales sont proches de l'intervalle $[T_{e1}, T_{e2}]$ et un pic de moindre importance apparaît aux courtes périodes autour de T_{e3} .

V.3 Fonctions de transfert

Les fonctions de transfert identifiées pour chaque essai en houle irrégulière sont tracées à l'échelle de la maquette sur l'intervalle de fréquence $[0.3, 1.25]$ Hz. Sous l'effet d'une non linéarité d'amortissement la RAO diminue lorsque la hauteur significative H_s augmente.

Elévations

Sur la figure 11 les deux modes principaux du moon-pool sont identifiés.

Des écarts de fréquence sont observables entre résultats analytiques, expérimentaux et numériques.

L'accident de la fonction de transfert évaluée grâce au code AQUA+ autour de la fréquence de mode externe f_{e1} est en fait associé à la fréquence d'oscillation du premier mode longitudinal du moon-pool, laquelle est surestimée par le code.

Le calcul linéaire surestime la réponse autour des résonances du moon-pool. Les phases (non tracées) sont en bon accord. Les écarts entre RAO observables sur les élévations externes sont liés aux non linéarités des élévations et aux modes propres du bassin.

Les fonctions de transfert de toutes les élévations mesurées sont tracées sur les figures 13 et 14 où les axes horizontaux sont la fréquence à l'échelle de la maquette et les axes verticaux sont les RAO, adimensionnelles par construction.

La symétrie des résultats est vérifiée pour certains couples de sondes selon l'incidence de houle, de face ou de côté.

Sur houle de travers, le mode longitudinal du moon-pool est légèrement excité et la réponse sur le mode piston est double de celle sur houle de face.

Sur houle de travers, des problèmes électroniques aléatoires sont survenus sur les voies des sondes A4, C2, C5 et C7.

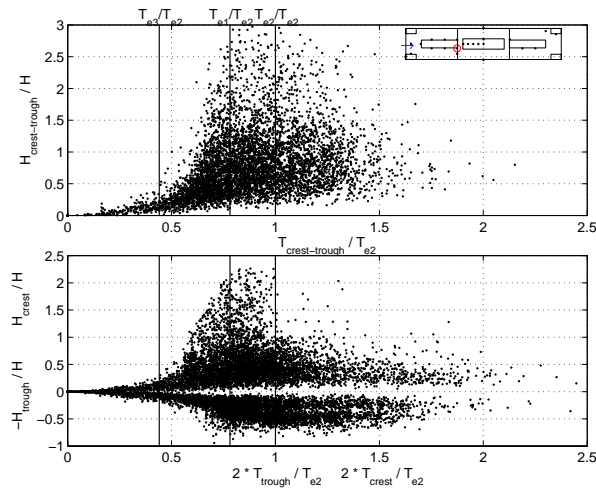


Fig. 9 : Analyse vague par vague
au point B7 sur houle de face

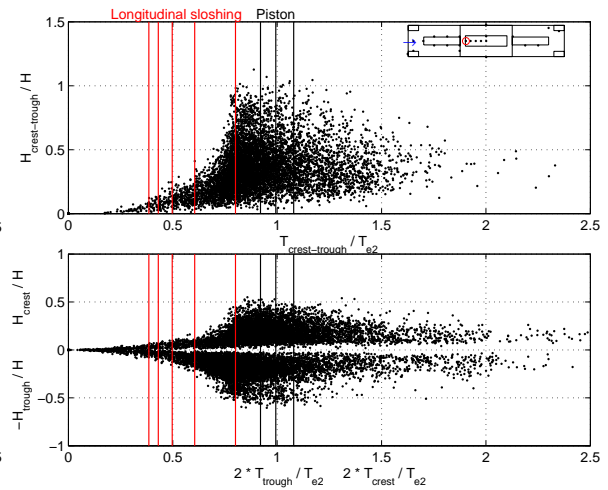


Fig. 10 : Analyse vague par vague
au point B5 sur houle de face

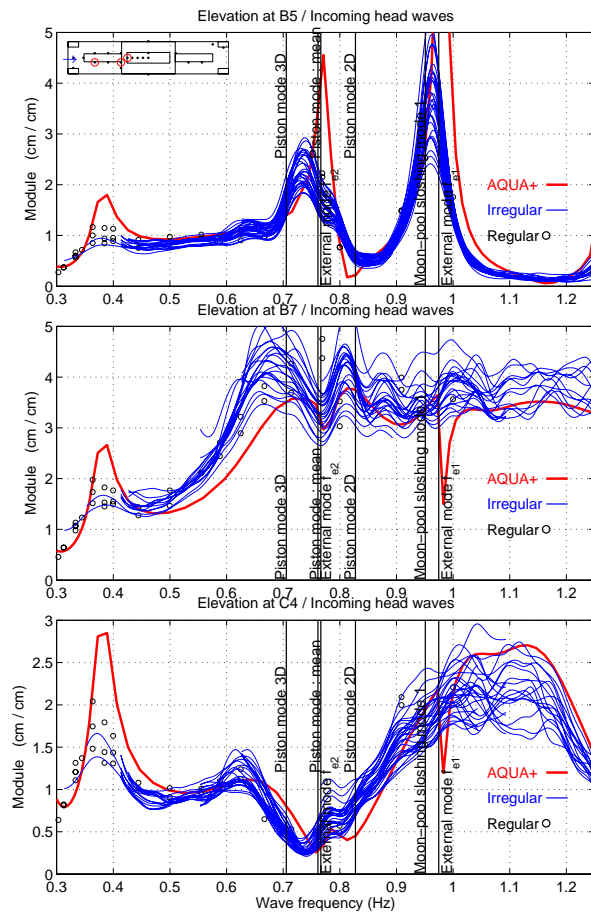


Fig. 11 : Fonctions de transfert
d'élévations sur houle de face

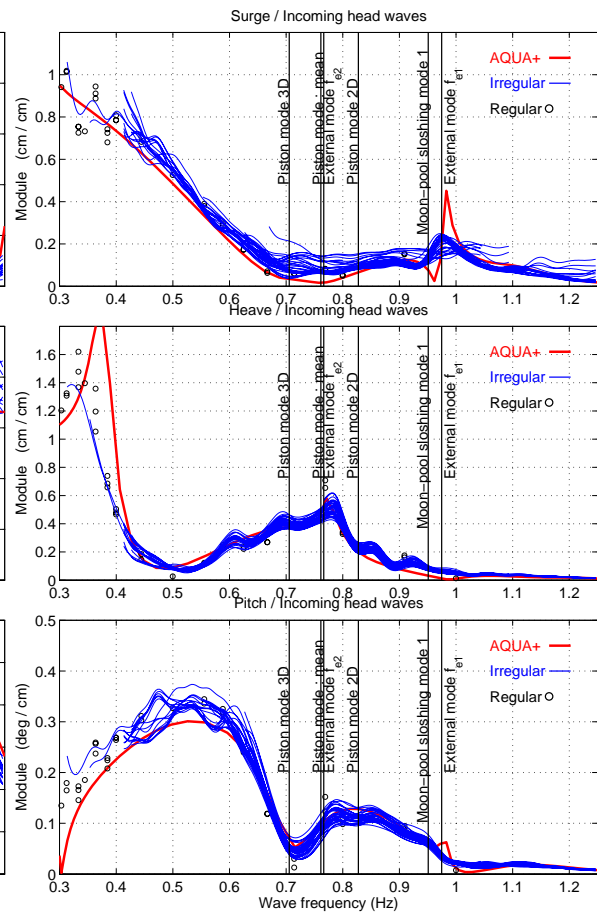


Fig. 12 : Fonctions de transfert
de mouvements sur houle de face

Mouvements

Sur la figure 12, un bon accord est généralement observé entre expérience et calcul linéaire conduit avec AQUA+.

Néanmoins la période expérimentale de pic du pilonnement (25 s à l'échelle 1) est supérieure à la période propre numérique (23.7 s à l'échelle 1). Les effets visqueux et la faible hauteur d'eau au-dessus du ponton pourraient augmenter la masse ajoutée en pilonnement. Le mode longitudinal du moon-pool a une légère influence sur le cavalement.

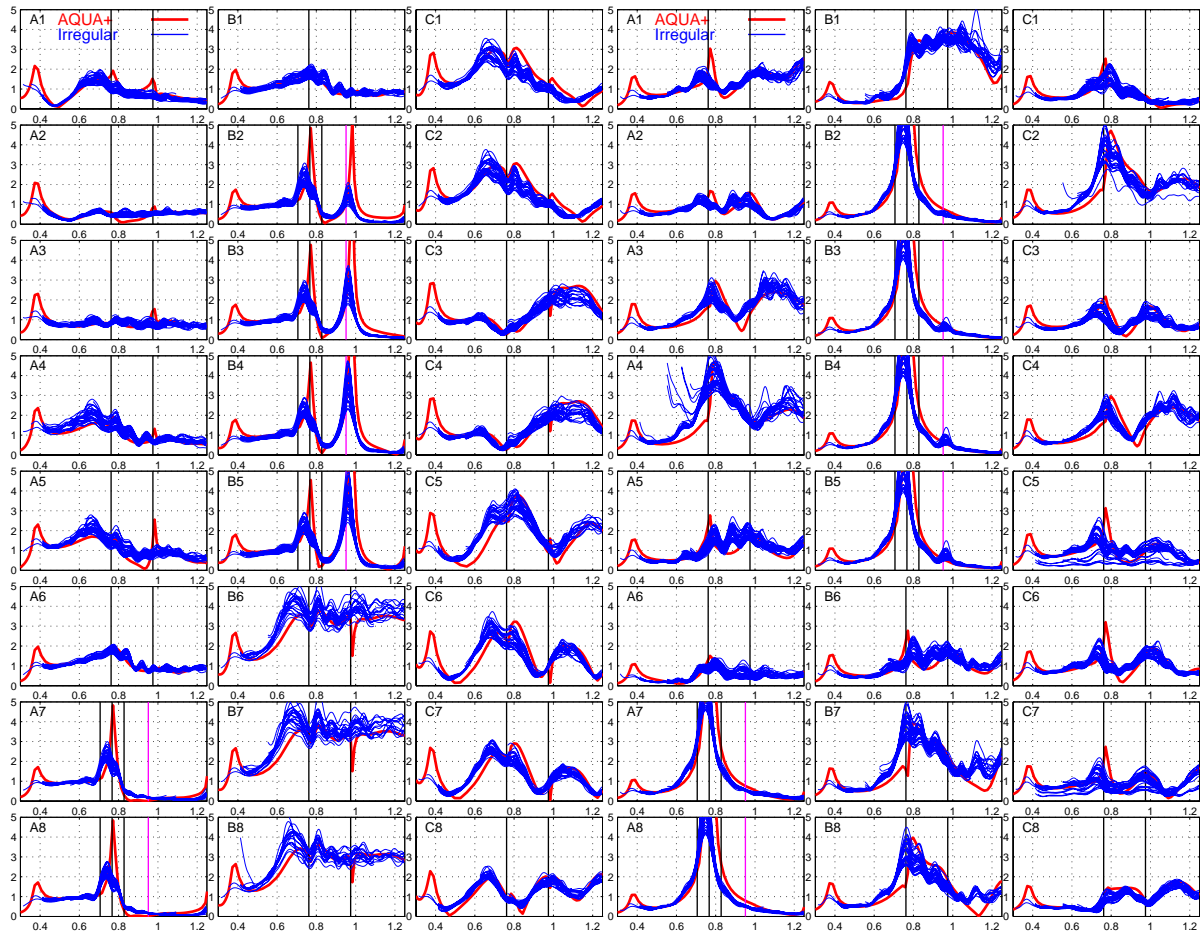


Fig. 13 : Fonctions de transferts des élévations sur houle de face

Fig. 14 : Fonctions de transferts des élévations sur houle de travers

Maquette fixe

Des essais ont été réalisés en diffraction pure avec la maquette fixe.

Les principales différences proviennent de la présence ou de l'absence de mouvements verticaux des sondes.

Pour le modèle libre, la RAO de hauteur relative sur houle longue tend asymptotiquement vers zéro tandis que la RAO de pilonnement tend vers un et celle de tangage vers zéro.

Pour le modèle fixe, la RAO de hauteur absolue sur houle longue tend vers un par valeur supérieure à l'extérieur du moon-pool et par valeur inférieure à l'intérieur.

Des états de mer de hauteurs inférieures ont été testés en configuration fixe afin de sauvegarder la structure de la maquette. Même dans ces conditions de fortes surélévations sont observées au-dessus du ponton aux endroits critiques déjà évoqués.

En diffraction pure le premier mode longitudinal du moon-pool est moins excité sur houle de face en l'absence de cavalemt et la réponse du mode piston est dominante.

Ces essais ont confirmé qu'une faible interaction existe entre la réponse externe et la réponse du moon-pool. Ils ont également confirmé que la perturbation en bassin de période proche de 1.4 s est associée à un effet de diffraction.

Modification de géométrie

La maquette a été conçue pour permettre des modifications des murs et colonnes au-dessus du ponton. Des essais ont été conduits pour deux géométries modifiées.

Dans un premier temps des portions de murs longitudinaux de section carrée proches des murs du moon-pool ont été retirées. Puis les quatre colonnes ont été enlevées.

Ces modifications faites pour examiner de possibles limitations des effets de cuves résonants au dessus du ponton n'ont montré aucune amélioration tangible. Sur houle de face, la surélévation maximale survient au milieu de la barge entre les sondes B6 et B7.

Néanmoins, les comparaisons aux résultats expérimentaux ont montré la capacité de la méthode de diffraction-radiation linéaire à rendre compte de manière précise de l'effet de modifications de la géométrie de la carène sur les fonctions de transfert des surélévations de houle.

Les périodes des modes du moon-pool coïncident de manière fortuite avec les périodes des modes externes ce qui ne facilite pas l'interprétation.

Afin d'asseoir une compréhension claire de l'influence du moon-pool, des calculs de diffraction-radiation linéaire ont été conduits en obturant le moon-pool de la géométrie de base à la fois en configuration ancrée (avec une correction de masse de + 13.7 %) et en configuration fixe.

Les résultats de la figure 15 montrent que c'est principalement la radiation du corps et secondairement le mode piston qui diminuent la réponse des élévations externes autour de la fréquence f_{e2} et que le mode longitudinal du moon-pool interagit (numériquement au moins) avec le mode externe de fréquence f_{e1} .

En l'absence de moon-pool et en configuration fixe, des bosses apparaissent clairement sur la RAO autour des fréquences f_{e1} et f_{e2} .

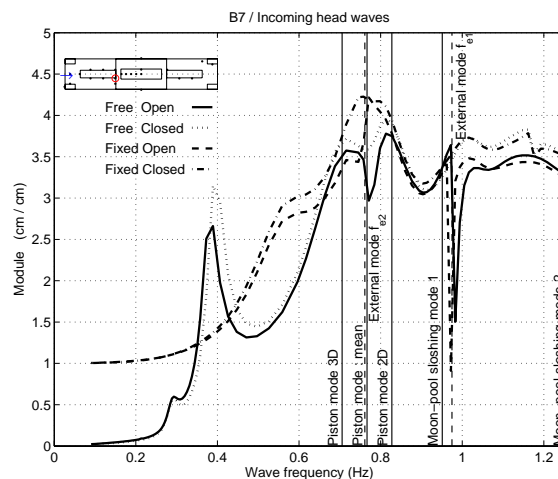


Fig. 15 Interaction entre modes du moon-pool et modes externes

VI-CONCLUSION

Des essais complets d'un modèle à l'échelle 1/80 du concept de barge WHPF® ont confirmé que ses mouvements calculés sous hypothèse hydrodynamique linéaire sont acceptables.

L'approche en diffraction-radiation linéaire permet de décrire les fonctions de transfert des élévations relatives ou absolues pour des géométries diverses.

La comparaison des périodes propres du moon-pool identifiées à partir des essais aux résultats analytiques des formulations établies par B. Molin [6] comme aux calculs de diffraction-radiation linéaire sont satisfaisants.

A l'échelle de la maquette les effets de surélévations au-dessus du ponton immergé et le long des murs sont liés à des modes oscillatoires. Une approximation simple fondée sur la formulation des modes de cuves rectangulaires conduit à un intervalle de fréquence qui recouvre celui du phénomène résonant.

Néanmoins, des analyses des modes oscillants au-dessus du ponton sont encore nécessaires, en particulier celle des remontées d'eau non linéaire sur les parois.

REFERENCES

- [1] Maisondieu, Ch, and Le Boulluec, M (2001). "Flow dynamics in a moon-pool: Experimental and numerical assessment," *Proc. OMAE'01 Conference*, Rio de Janeiro. OMAE2001/OFT-1151.
- [2] Stassen, Y, Gassert, M, and Couprie, S (2002). "Evolution of dry tree unit production risers from deep to ultra-deep fields in West Africa," *Deep Offshore Technology Conference*, DOT, New Orleans.
- [3] Valenchon, C, Morand, P, and Gassert, P (2003). "MFB and WHB, a family of drilling and dry-tree barges for deepwater mild environmental areas," *Offshore Mediterranean Conference and Exhibition*, OMC, Ravenna.
- [4] Stassen, Y, Morel, JP, Répécaud, M, Fontaine, E, Di Costanzo, Ph, Molin, B, and De Langre, E (2003). "VIV and masks effects testing in risers array: lessons learnt from experimental and analyses work," *Deep Offshore Technology Conference*, DOT, Marseille.
- [5] Delhommeau G (1989). "Amélioration des performances des codes de calcul de diffraction-radiation au 1er ordre," *Proc. 2èmes Journées de l'Hydrodynamique*, Nantes, France.
- [6] Molin, B (2001). "On the piston and sloshing modes in moonpools," *J. Fluid Mech.*, vol. 430, pp. 27–50.
- [7] Mc Iver, P, and Newman, JN, (2003). "Trapping structures in the three-dimensional water-wave problem," *J. Fluid Mech.*, vol. 484, pp. 283–301.
- [8] Faltinsen, OM, and Timokha, AN (2002). "Asymptotic modal approximation of nonlinear resonant sloshing in a rectangular tank with small fluid depth," *J. Fluid Mech.*, vol. 470, pp. 319–357.

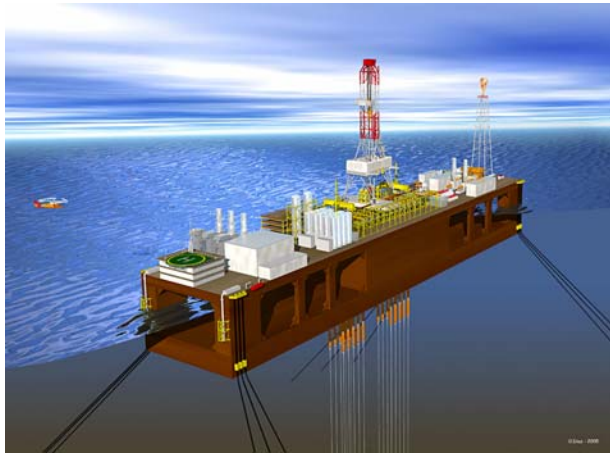


Fig. 1 : Vue d'artiste de la barge WHPF®

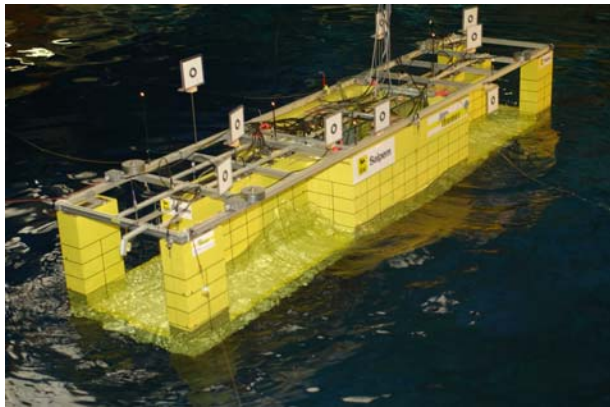


Fig. 2 : Maquette sur houle de travers



Fig. 3 : Maquette encadrée lors de l'étalonnage des sondes embarquées

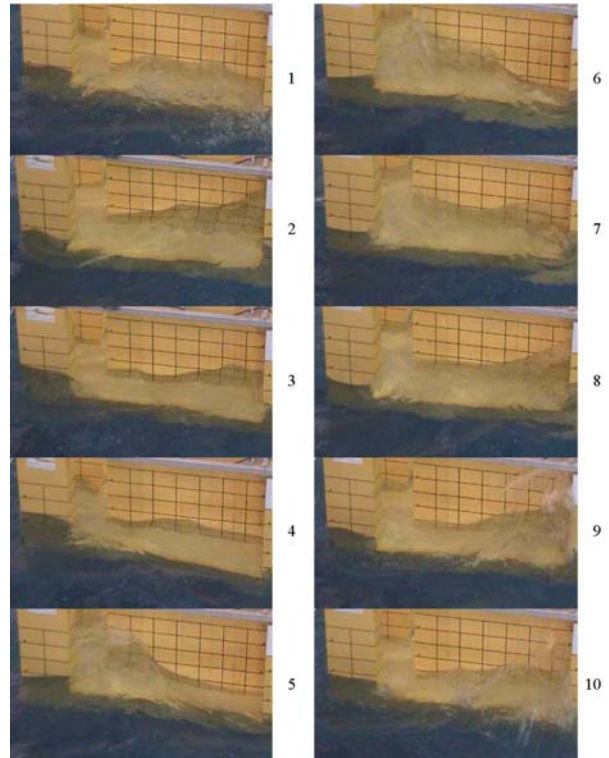


Fig. 8 : Phénomène typique de surélévation déferlante sur houle de trois quart