

## **ANALYSE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES PROPULSIVES D'UN PROFIL PORTANT ANIME DE MOUVEMENTS DE PILONNEMENT ET TANGAGE**

### ***NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE THRUST PERFORMANCE OF AN HEAVING AND PITCHING HYDROFOIL***

**M. LE BOULLUEC<sup>(1)</sup>, J-V. FACQ<sup>(1,2)</sup>, B. GAURIER<sup>(2)</sup>, B. GOMEZ<sup>(2)</sup>  
O. GIUSTI<sup>(3)</sup>, D. LE ROUX<sup>(3)</sup>, J. ERCOLANELLI<sup>(3)</sup>**

*Marc.le.boulluec@ifremer.fr ; jean-michel.kobus@ec-nantes.fr ; prenom.nom@mail.com*

<sup>(1)</sup> Laboratoire d'Hydrodynamique Marine, Ifremer, Centre de Bretagne, Brest

<sup>(2)</sup> Laboratoire d'Hydrodynamique Marine, Ifremer, Centre Manche Mer du Nord, Boulogne sur Mer

<sup>(3)</sup> BLUEFINS, Brest

#### **Résumé**

L'interaction entre un navire et un profil horizontal situé à l'arrière du flotteur conduit à des efforts hydrodynamique associés à la vitesse d'avance et aux mouvements du flotteur et du profil en interaction. Selon le mode d'interaction, un effet propulsif induit par le profil est observé. Celui-ci peut être optimisé par un contrôle des mouvements relatifs principaux (pilonnement et tangage). Des essais sont menés sur un profil seul dans la veine de courant et houle de l'Ifremer à Boulogne sur Mer pour diverses vitesses de courant qui simulent la vitesse d'avance. Grâce à un Hexapode, le profil est soumis à des mouvements de pilonnement et tangage seuls ou couplés. Une balance permet de mesurer les efforts appliqués sur le profil. Les termes de traînée, portance, inerties ajoutées et amortissement sont identifiés à partir des mesures. Des calculs en fluide parfait avec le code Hydrostar estiment les inerties ajoutées en l'absence de courant. Des simulations numériques menées avec le code CFD OpenFoam reproduisent plus généralement les mesures avec une bonne précision.

## Summary

The interaction between a ship and a horizontal profile located at the rear of the floater leads to hydrodynamic forces associated with the forward speed and the motions of the interacting floater and profile. Depending on the mode of interaction, a propulsive effect induced by the profile is observed. This can be optimized by controlling the main relative movements (heave and pitch). Tests are carried out on a single profile in the Ifremer current and wave tank at Boulogne sur Mer for various current speeds which simulate the forward speed. Thanks to a Hexapod, the profile is submitted to heave and pitch motions alone or coupled. A 6 components gauge measures the forces and moments applied on the profile. The terms of drag, lift, added inertias and damping are identified from the measurements. Numerical simulations carried out with the OpenFoam CFD code reproduce the measurements with good accuracy.

## **I – Introduction**

La propulsion de navires par les effets de profils portants est souvent inspirée par les observations des êtres vivants, poissons et mammifères aquatiques. Des analogies biomimétiques sont exploitées depuis longtemps au travers d'appendices tels que palmes de nageurs, godilles. Des modélisations récentes ont été conduites [1] [2] [3] pour des navires équipés d'appendices, du type profil portant, disposés en divers endroits des carènes.

BLUEFINS développe un dispositif de propulsion par profil rigide disposé à l'arrière de navires. Des mouvements relatifs entre flotteur et profil sont autorisés selon des degrés de liberté attelés à des raideurs mécaniques adaptées, voire à des systèmes de contrôle.

Sur houle proche des incidences de face et de l'arrière, les mouvements couplés induisent des efforts propulsifs du profil portant qui, dans le cas de grands navires évoluant à Froude proche de 0.2, peuvent représenter sur leurs durées de vie une assistance avec une part objectif de 20% de la propulsion principale par hélices classiques et par conséquent une économie d'énergie carbonée.

Sur des structures ancrées l'effet propulsif permet de soulager les tensions d'ancrages.

De plus le dispositif peut être adapté à la captation d'énergie houlomotrice.

Les grandeurs hydrodynamiques associées au comportement d'un profil portant sont étudiées expérimentalement au travers des mouvements forcés induits par un Hexapode en présence de courant et numériquement grâce au code de diffraction-radiation Hydrostar et au code CFD OpenFoam.

## **II – Essais en bassin**

### **II – 1 Dispositif expérimental**

Le bassin de l'Ifremer à Boulogne sur Mer permet de générer un courant dans une boucle fermée sur de longues durées avec un taux de turbulence de l'ordre de 1.5%. Une houle régulière ou irrégulière peut être générée en même temps que le courant. La largeur du canal rempli d'eau douce est 4 m, sa profondeur est 2 m et sa longueur utile est de 16 m.

Le profil portant testé est de type Naca009 avec une envergure  $B = 1.2$  m et une corde  $C = 0.5$  m. Le profil est immergé à une profondeur moyenne de 0.5 m par rapport au plan de la surface libre du bassin au repos.

Un étrier relie le profil à une balance d'efforts à six composantes. L'axe vertical  $z$  de la balance intercepte le profil en son quart avant. La composante  $x$  est alignée avec la direction principal du bassin. La balance est fixée par l'intermédiaire d'un bras rigide sur la partie mobile d'un Hexapode dont la partie fixe est bridée en hauteur. Les consignes délivrées à l'Hexapode permettent de générer des mouvements de pilonnement et tangage prescrits au point situé au quart avant du profil et au milieu de son envergure et de sa corde. Les efforts endurés par le profil et mesurés par la balance sont transportés en ce même point de référence.

La vitesse de courant est imposée par le régime des pompes de mise en circulation du volume d'eau avec une bonne précision, de l'ordre du mm/s pour les vitesses considérées. Le système d'acquisition permet de synchroniser les mesures des six mouvements imprimés par l'Hexapode et les mesures des six composantes d'effort de liaison. En présence de houle, des sondes d'élévation de surface libre sont associées et synchronisées avec les autres voies de mesure.

Les essais analysés dans le contexte de cet article comprennent des essais de mise en incidence dans le courant afin de déterminer les coefficients de traînée et portance du profil et des essais avec mouvements réguliers forcés en pilonnement seul, tangage seul, et pilonnement et tangage couplés pour diverses amplitudes et phases. La période d'oscillation est commune aux deux mouvements.



Figures 1a et 1b : Dispositif expérimental en bassin. Du bas vers le haut : profil (orange), étrier et bras, balance d'efforts, bras de liaison entre la balance et le plateau mobile de l'Hexapode.

## II – 2 Analyse des mesures

Les voies de mesure sont soumises aux analyses suivantes pour des intervalles de mouvements établis :

- évaluation des valeurs moyennes, maximales, minimales et écarts types
- évaluation des composantes harmoniques par série de Fourier et Transformée de Fourier

Des procédures d'identifications permettent de lier les efforts aux mouvements selon des lois simples, de type formulation de Morison, qui permettent l'évaluation des coefficients hydrodynamiques des inerties ajoutées et amortissements

## III – Modélisation numérique

### III – 1 Diffraction-radiation

La présence de la surface libre incite à conduire des calculs selon la méthode de diffraction-radiation pour identifier notamment les termes d'inerties ajoutées et les amortissements d'onde. Néanmoins les résultats sont ici limités au cas des oscillations dans un fluide au repos, sans courant.

Le logiciel employé est Hydrostar développé par le Bureau Veritas. Un maillage de 3008 facettes sur la moitié du corps est généré (Figure 2) par un algorithme simple à partir du profil connu.

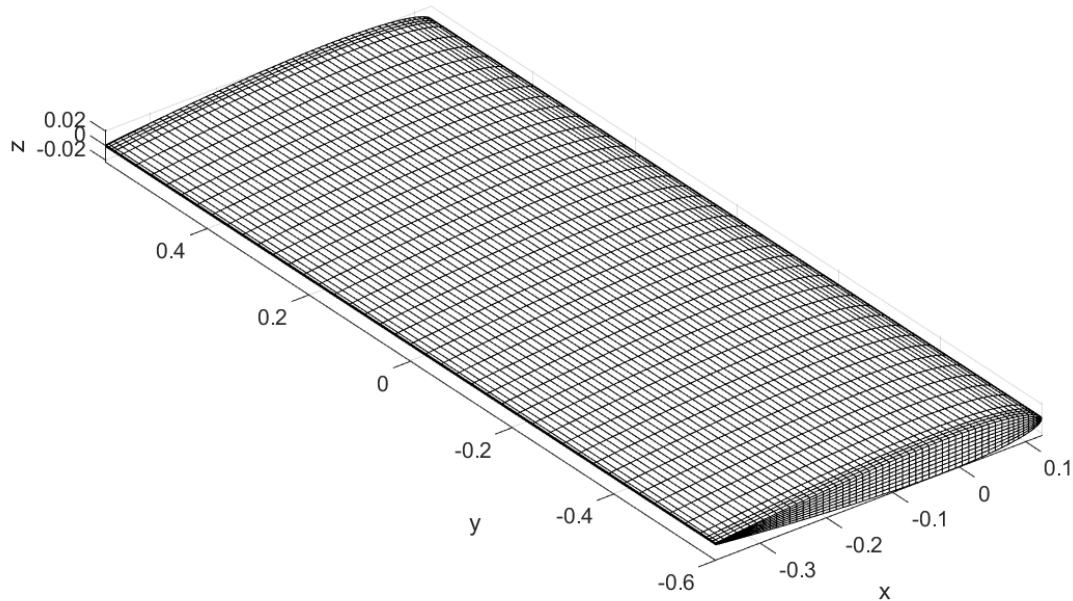


Figure 2 : Maillage du profil

### III – 2 Computational Fluid Dynamics

Le code CFD employé est OpenFOAM [4].

Un maillage polyédrique cartésien constitué de 6.9M de cellules est réalisé avec cfMesh (bibliothèque libre d'OpenFOAM) (Figures 3a et 3b) et permet d'obtenir une bonne convergence des efforts sur le profil.

Le pas de temps est ajustable et sa valeur est recalculée afin de ne pas dépasser un nombre de Courant de 10.

Le "Solveur" d'OpenFOAM utilisé est InterFOAM, solveur diphasique pour fluides incompressibles, isothermes et non-miscibles qui utilise la méthode Volume of Fluid (VoF) pour capter l'interface entre plusieurs fluides.

La procédure utilise un maillage dynamique avec mouvement du foile imposé. La zone de déformation du maillage est contrôlée par deux paramètres de distance définis par rapport au foile.

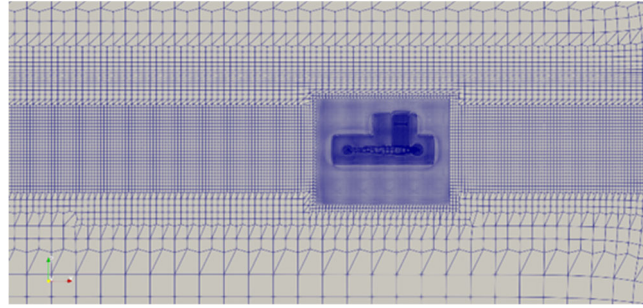
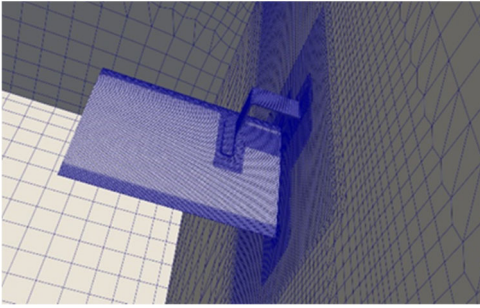
Le modèle de turbulence k-omega SST est utilisé.

Les schémas numériques sont :

- schéma d'Euler pour les dérivées temporelles
- discrétisation par la méthode des Volumes Finis pour le calcul des gradients, laplaciens et divergences,

Le temps de calcul est de 24h pour 4 périodes sur 48 cœurs.





Figures 3.a et 3.b : Maillage du domaine fluide  
(3.a : frontières du demi-domaine  $y < 0$ , 3.b : vue dans le plan  $zx$ )

## **IV – Identification des grandeurs hydrodynamiques**

### **IV – 1 Incidences statiques**

Pour une vitesse de courant fixée, l'Hexapode permet d'imposer successivement une série d'incidences fixes avec des durées pour lesquelles les efforts sont suffisamment stabilisés.

L'effort horizontal  $F_x$ , l'effort vertical  $F_z$  et le moment  $M_y$  sont exploités. Les coefficients de traînée et portance sont rapportés à l'aire évaluée par le produit de l'envergure par la corde du profil B\*C (Figure 4).

Des dissymétries sont observées selon le signe de l'angle d'incidence imposé par l'angle de tangage statique. Elles sont attribuées d'une part à la dissymétrie du montage mécanique qui lie le profil à la balance et d'autre part à la présence de la surface libre. Le coefficient de traînée est le plus impacté par ces effets. Les efforts de portance sont les mieux ordonnés. Les résultats des calculs CFD montrent des dissymétries mais moins importantes que celles des résultats expérimentaux.

### **IV – 2 Mouvements non couplés**

Les essais en pilonnement seul et tangage seul permettent de déterminer aisément les inerties ajoutées et les amortissements.

L'effort vertical  $F_z$  et le moment  $M_y$  sont exploités pour chacun des mouvements de pilonnement  $T_z$  et de tangage  $A_y$ . Ces grandeurs étant représentées par leurs composantes de Fourier à la période d'oscillation  $T$  de pulsation  $\omega$ , les inerties ajoutées (1) (3) et les amortissements (2) (4) suivants peuvent être déterminés expérimentalement :

$$A_{33} = \frac{|F_z| \cos(\phi_{Fz} - \phi_{Tz})}{\omega^2 |T_z|} \quad A_{53} = \frac{|M_y| \cos(\phi_{My} - \phi_{Tz})}{\omega^2 |T_z|} \quad (1)$$

$$B_{33} = -\frac{|F_z| \sin(\phi_{Fz} - \phi_{Tz})}{\omega |T_z|} \quad B_{53} = -\frac{|M_y| \sin(\phi_{My} - \phi_{Tz})}{\omega |T_z|} \quad (2)$$

$$A_{35} = \frac{|F_z| \cos(\phi_{Fz} - \phi_{Tz})}{\omega^2 |A_y|} \quad A_{55} = \frac{|M_y| \cos(\phi_{My} - \phi_{Ay})}{\omega^2 |A_y|} \quad (3)$$

$$B_{35} = -\frac{|F_z| \sin(\phi_{Fz} - \phi_{Tz})}{\omega |A_y|} \quad B_{55} = -\frac{|M_y| \sin(\phi_{My} - \phi_{Tz})}{\omega |A_y|} \quad (4)$$

Des coefficients sans dimensions  $C_m$  et  $C_b$  sont construits par référence à la masse ajoutée d'une plaque plane (5), la corde  $C$  et la pulsation  $\omega$ . Le coefficient 0.8 (5) est issu de [5] pour  $B/C=2.4$ .

$$M_{33} = \frac{\pi}{4} C^2 B 0.8 \quad (5)$$

Ces coefficients sont tracés sur les planches 5 et 6. Les points sont différenciés selon le coefficient de Keulegan Carpenter évalué à partir de l'amplitude de pilonnement ( $2\pi|Tz|/C$ ) ou selon l'amplitude de l'angle de tangage ( $Ay$ ). Les vitesses de courant sont également identifiées.

En pilonnement forcé (Figure 5), les inerties ajoutées en l'absence de courant et pour l'amplitude la plus faible sont en accord avec les résultats de Hydrostar. Ces inerties ajoutées augmentent avec le nombre KC. Cette sensibilité vis-à-vis de KC est plus faible en présence de courant mais les valeurs évoluent de manière importante.

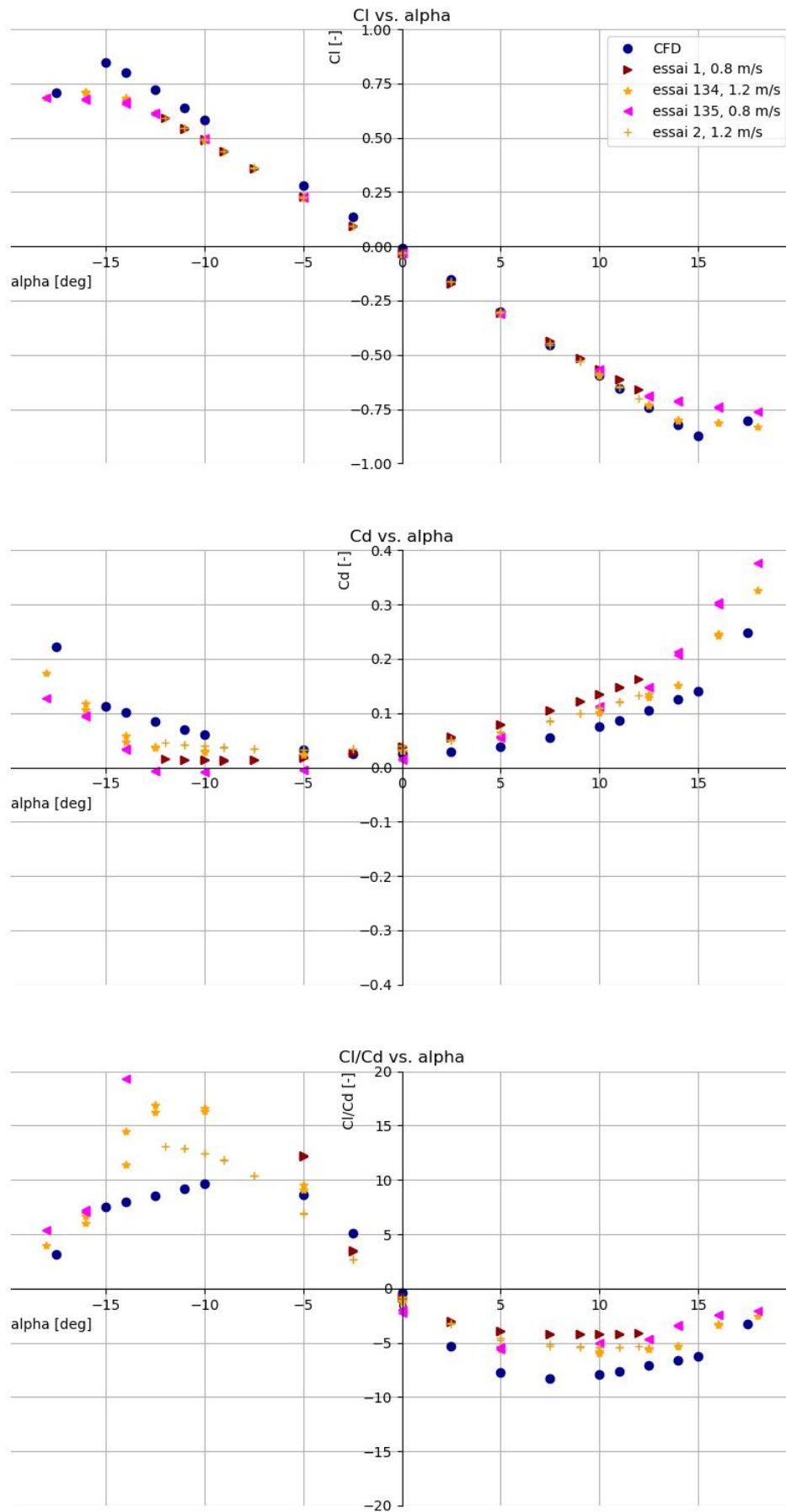


Figure 4 : Coefficients  $C_l$ ,  $C_d$  et ratio  $C_l/C_d$  en fonctions de l'angle d'incidence.



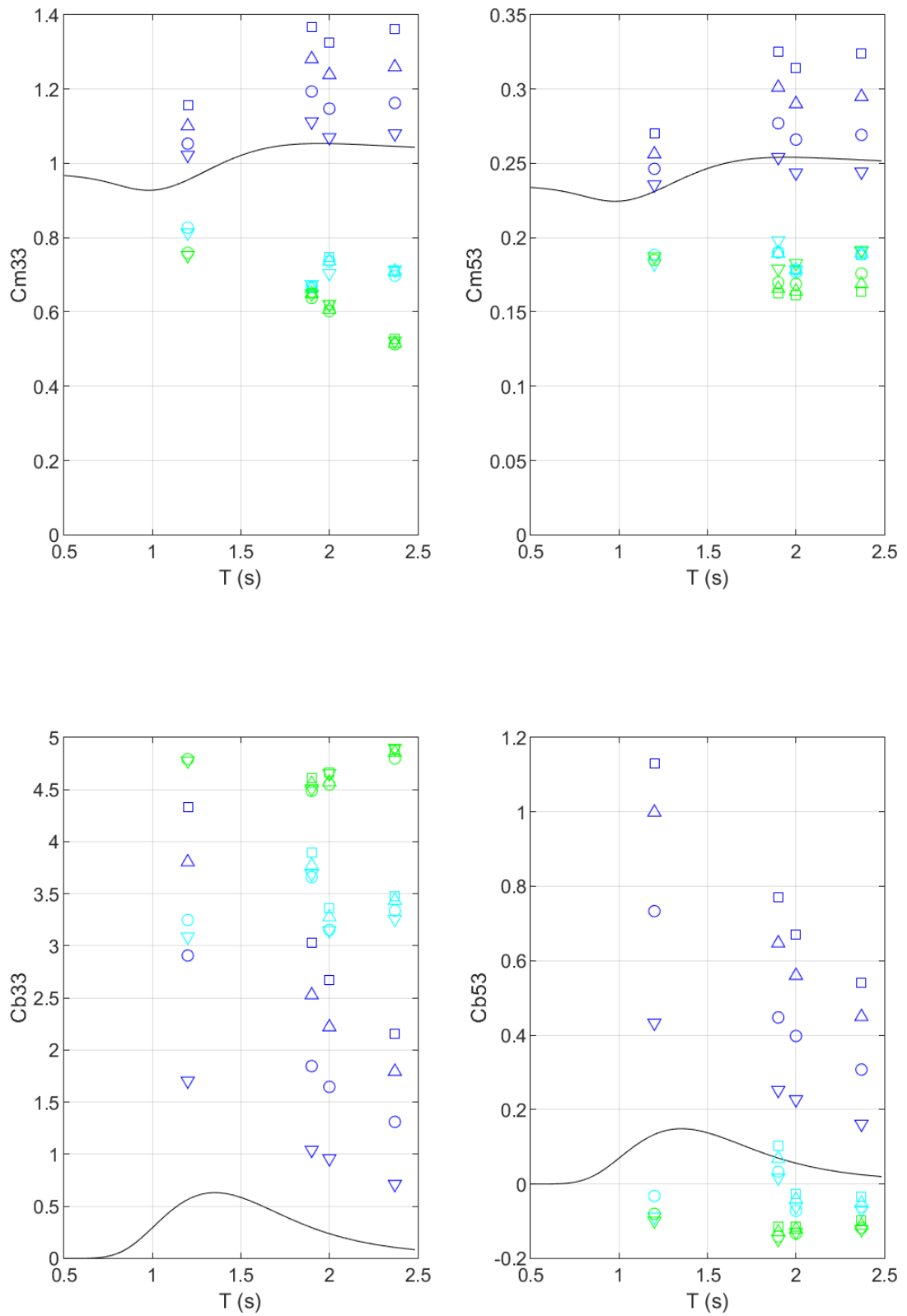


Figure 5 : Mouvement forcé de pilonnement

- KC = 0.283 (triangle pointant vers le bas)
- KC = 0.566 (rond)
- KC = 0.848 (triangle pointant vers le haut)
- KC = 1.131 (carré)

- Vitesse de courant = 0.0 m/s (bleu)
- Vitesse de courant = 0.8 m/s (cyan)
- Vitesse de courant = 1.2 m/s (vert)
- Calcul Hydrostar (noir)

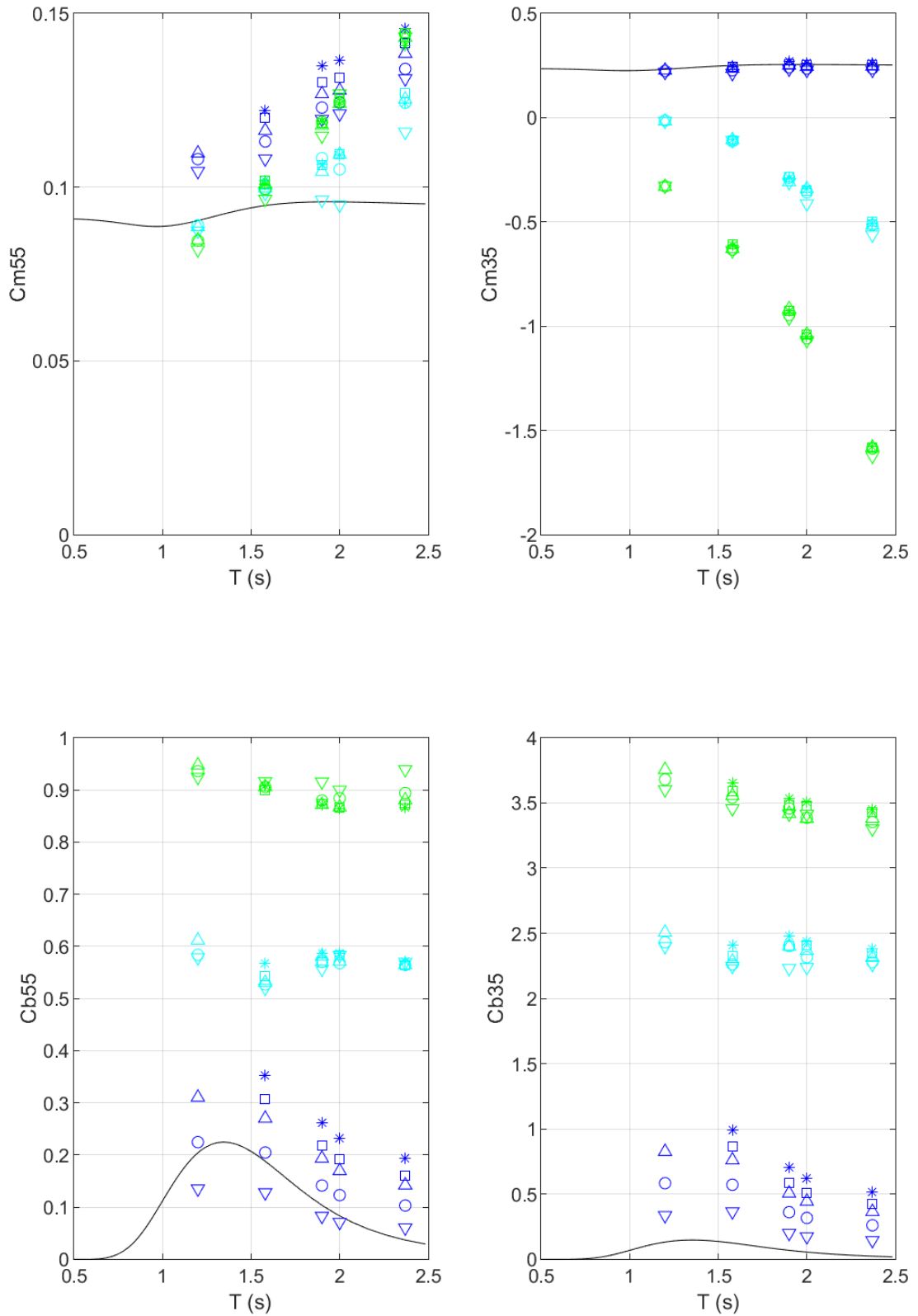


Figure 6 : Mouvement forcé de tangage

$|A_y| = 2.5^\circ$  (triangle pointant vers le bas)  
 $|A_y| = 5.0^\circ$  (rond)  
 $|A_y| = 7.5^\circ$  (triangle pointant vers le haut)  
 $|A_y| = 9.0^\circ$  (carré)  
 $|A_y| = 11.5^\circ$  (étoile)

Vitesse de courant = 0.0 m/s (bleu)  
 Vitesse de courant = 0.8 m/s (cyan)  
 Vitesse de courant = 1.2 m/s (vert)  
 Calcul Hydrostar (noir)

### IV – 3 Mouvements couplés

Les essais en pilonnement et tangage couplés sont plus délicats à analyser. Les simulations CFD permettent de reproduire des situations complexes (Figures 6 et 7). Un bon accord entre calcul et expérience est observé pour les efforts  $F_z$  et  $M_y$ . Des écarts plus importants sont observés sur la force  $F_x$  qui est d'un ordre de grandeur inférieure à  $F_z$ , celle-ci comprend une harmonique de Fourier d'ordre 2 supérieure à celle d'ordre 1.

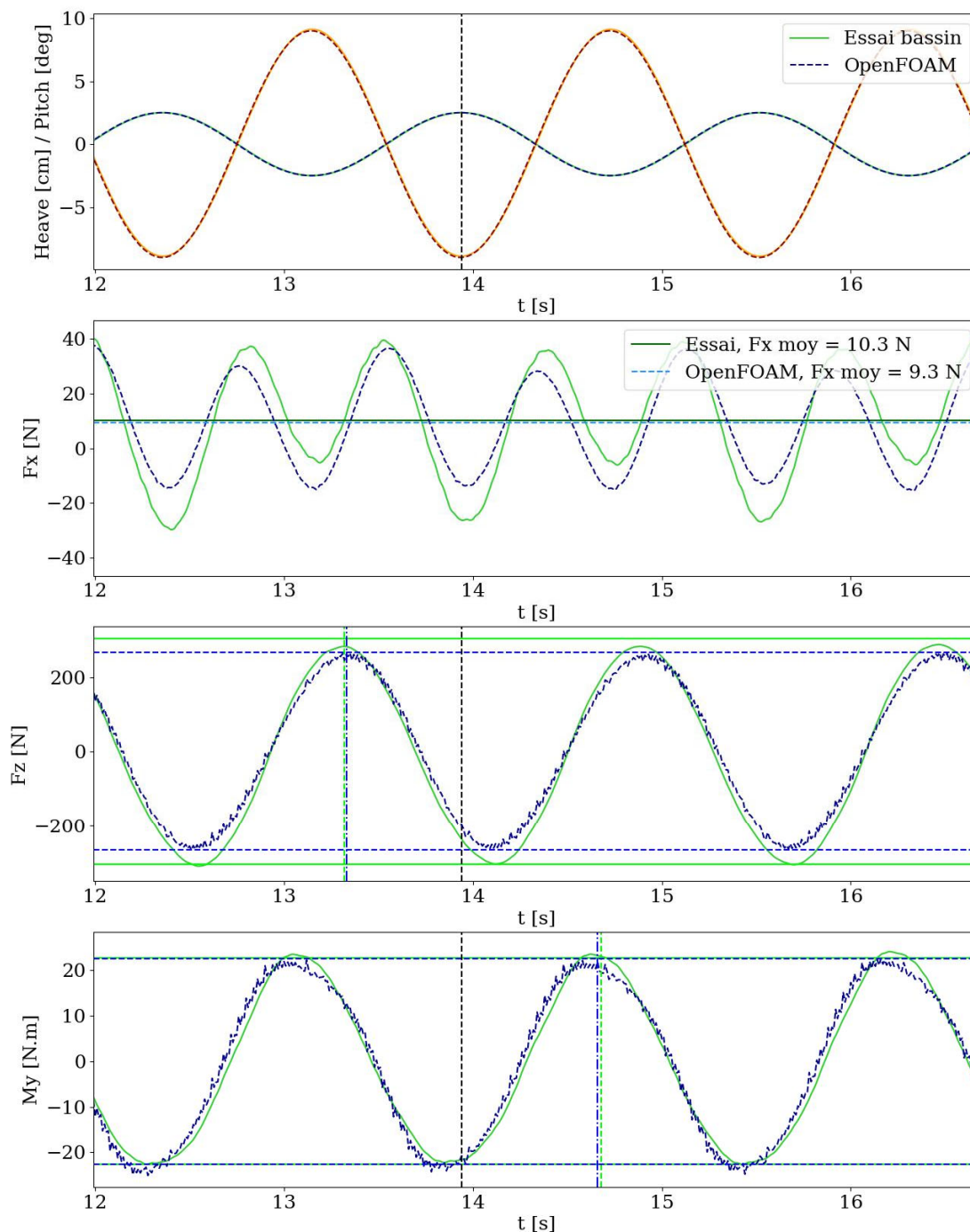


Figure 7 : Mouvements forcés de pilonnement et tangage  
 $T = 1.58$  s  $|T_z| = 9$  cm  $|A_y| = 2.5^\circ$  Déphasage =  $180^\circ$  Vitesse de courant = 0.8 m/s

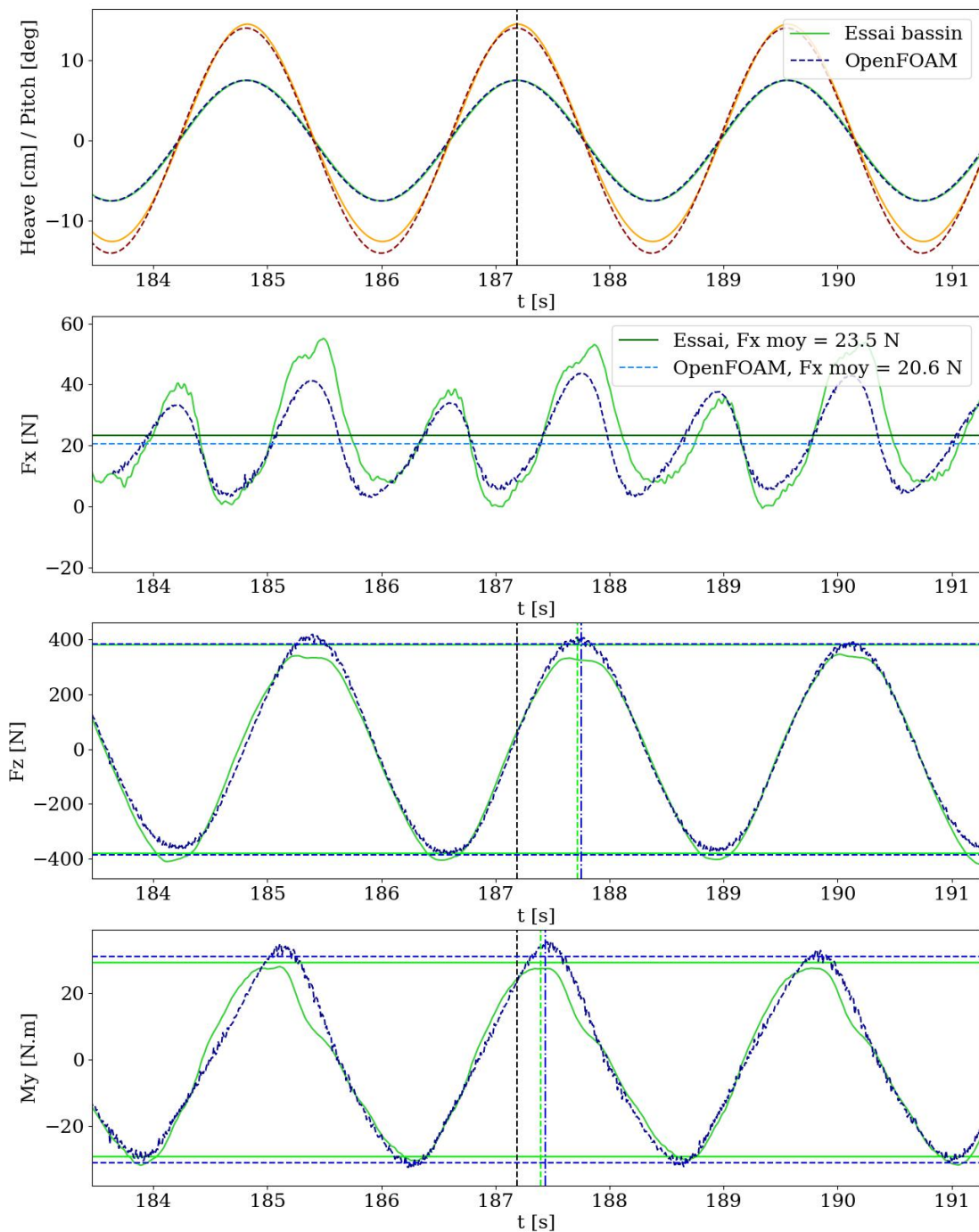


Figure 8 : Mouvements forcés de pilonnement et tangage  
 $T = 2.37$  s  $|T_z| = 14$  cm  $|A_y| = 7.5^\circ$  Déphasage =  $0^\circ$  Vitesse de courant = 0.8 m/s

Le tableau 1 restitue une comparaison des résultats expérimentaux et des résultats des simulations réalisées avec le code OpenFOAM pour la plupart des cas de mouvements couplés. Quelques rares écarts supérieurs à 10% sur les composantes de Fourier sont visibles selon la coloration jaune des cellules du tableau 1.

#### IV – 3 Effet propulsif

Les mouvements de pilonnement et tangage induisent des efforts de traînée et portance dont les combinaisons, lorsqu'elles sont favorables, produisent un effort propulsif.

La figure 9 illustre cet effort propulsif par un coefficient de traînée négatif comparé au coefficient de traînée en régime d'incidence statique, majoritairement positif.

#### IV – 4 Reconstruction des efforts

Une base de données a été constituée grâce au calcul CFD et un balayage systématique des paramètres cinématiques (mouvements) et des paramètres qui caractérisent les efforts hydrodynamiques.

La figure 10 illustre la reconstruction des efforts expérimentaux à partir de résultats numériques puisés dans la base de données.

Tableau 1 : Examen des écarts entre résultats d'expérience et résultats de calcul CFD

U (m/s)	heave (m)	pitch (deg)	phi (deg)	T (s)	Fx moyen essai (N)	Fx moyen CFD (N)	Erreur absolue Fx (N)	Fz amplitude essai (N)	Fz amplitude CFD (N)	Erreur relative Fz (%)	Erreur absolue phase Fz (deg)	My amplitude essai (N)	My amplitude CFD (N)	Erreur relative My (%)	Erreur absolue phase My (deg)
0.8	0.14	5	0	2.37	22	20	-2	354	354	0	-5	26	27	5	-5
0.8	0.14	7.5	0	2.37	23	21	-3	381	385	1	-5	29	31	6	-6
0.8	0.14	9	0	2.37	23	21	-3	381	404	6	-8	29	34	15	-11
0.8	0.09	2.5	180	1.58	10	9	-1	306	268	-12	-2	23	23	-1	5
0.8	0.09	2.5	180	1.9	5	6	1	235	211	-10	-4	15	15	-2	6
0.8	0.09	2.5	180	2.37	2	3	1	179	171	-5	-3	11	11	6	2
0.8	0.09	2.5	215	1.58	11	9	-2	321	288	-10	0	27	27	0	2
0.8	0.09	2.5	215	1.9	5	6	1	250	229	-9	-2	18	18	-2	4
0.8	0.09	2.5	215	2.37	3	4	1	201	193	-4	-5	13	13	5	-2
0.8	0.09	2.5	250	1.58	12	10	-2	346	313	-9	0	31	31	0	0
0.8	0.09	2.5	250	1.9	7	7	0	260	243	-7	-2	21	21	0	4
0.8	0.09	2.5	250	2.37	2	4	2	206	205	0	-3	14	15	6	-2
0.8	0.09	2.5	270	1.58	14	12	-2	359	327	-9	-2	33	33	-1	0
0.8	0.09	2.5	270	1.9	8	7	-1	269	251	-7	0	22	22	-1	2
0.8	0.09	2.5	270	2.37	3	5	2	206	209	1	-3	15	16	6	-2
0.8	0.09	2.5	90	2.37	3	5	2	152	144	-5	-6	9	8	-3	5
0.8	0.09	5	180	1.58	6	5	-1	291	247	-15	-2	22	22	0	2
0.8	0.09	5	180	1.9	3	3	0	216	196	-9	-8	15	15	0	-6
0.8	0.09	5	180	2.37	1	1	0	173	159	-8	0	11	12	6	3
0.8	0.09	5	215	1.58	7	4	-3	340	298	-12	-2	31	30	-1	0
0.8	0.09	5	215	1.9	3	3	-1	257	237	-8	-8	21	20	-4	-6
0.8	0.09	5	215	2.37	2	1	-1	222	205	-8	0	15	16	3	-2
0.8	0.09	5	250	1.58	9	6	-3	387	348	-10	0	38	37	-1	0
0.8	0.09	5	250	1.9	5	3	-2	287	272	-5	-8	26	25	-2	-8

0.8	0.09	5	250	2.3 7	2	2	0	242	233	-4	-2	18	19	2	-3
0.8	0.09	5	270	1.5 8	12	8	-4	409	373	-9	-2	41	40	-2	0
0.8	0.09	5	270	1.9	7	5	-2	298	289	-3	-8	27	27	1	-8
0.8	0.09	5	270	2.3 7	3	3	1	246	243	-1	-2	20	20	2	-3
0.8	0.09	5	90	2.3 7	3	5	2	127	118	-7	-6	6	5	-23	11
1.2	0.14	0	180	2.3 7	12	15	3	367	369	1	-4	16	16	-1	1
1.2	0.14	5	0	2.3 7	14	17	4	420	437	4	-5	22	21	-3	-5
1.2	0.14	7.5	0	2.3 7	15	16	2	458	481	5	-3	26	25	-1	-9
1.2	0.14	9	0	2.3 7	15	15	1	458	509	11	-6	26	28	10	-15
1.2	0.04 5	0	0	1.2	-6	-1	5	299	260	-13	0	24	22	-5	9
1.2	0.09	0	0	2	-1	4	5	284	275	-3	-5	15	14	-4	4
1.2	0.09	0	0	2.3 7	-7	1	7	231	229	-1	-3	11	10	-7	2
1.2	0.09	2.5	180	1.5 8	7	7	0	379	340	-10	0	24	24	-2	7
1.2	0.09	2.5	180	1.9	-2	3	4	295	273	-7	-2	17	16	-2	6
1.2	0.09	2.5	215	1.5 8	7	8	1	416	378	-9	0	29	29	-2	7
1.2	0.09	2.5	215	1.9	1	3	2	331	307	-7	0	20	20	-2	6
1.2	0.09	2.5	250	1.5 8	8	10	2	435	410	-6	0	33	33	-2	5
1.2	0.09	2.5	250	1.9	2	4	2	348	328	-6	0	23	23	-2	4
1.2	0.09	2.5	270	1.5 8	11	11	0	447	426	-5	0	34	34	-2	2
1.2	0.09	2.5	270	1.9	3	5	2	350	337	-4	0	24	24	-3	2
1.2	0.09	2.5	90	1.9	0	5	5	235	220	-6	-4	11	10	-9	11
1.2	0.09	5	180	1.5 8	3	3	0	363	321	-12	0	26	26	2	9
1.2	0.09	5	180	1.9	-5	-1	4	290	262	-10	0	19	19	1	4
1.2	0.09	5	215	1.5 8	6	4	-2	438	402	-8	0	34	34	0	5
1.2	0.09	5	215	1.9	0	0	0	356	331	-7	0	25	25	0	4
1.2	0.09	5	250	1.5 8	8	7	-1	500	469	-6	0	41	40	-1	2
1.2	0.09	5	250	1.9	2	2	0	396	380	-4	0	29	29	-2	4
1.2	0.09	5	270	1.5 8	11	9	-2	521	498	-4	0	43	42	-1	2
1.2	0.09	5	270	1.9	3	3	1	410	400	-3	-2	31	30	-2	0
1.2	0.09	5	90	1.9	-2	4	6	180	171	-5	-8	5	4	-33	23



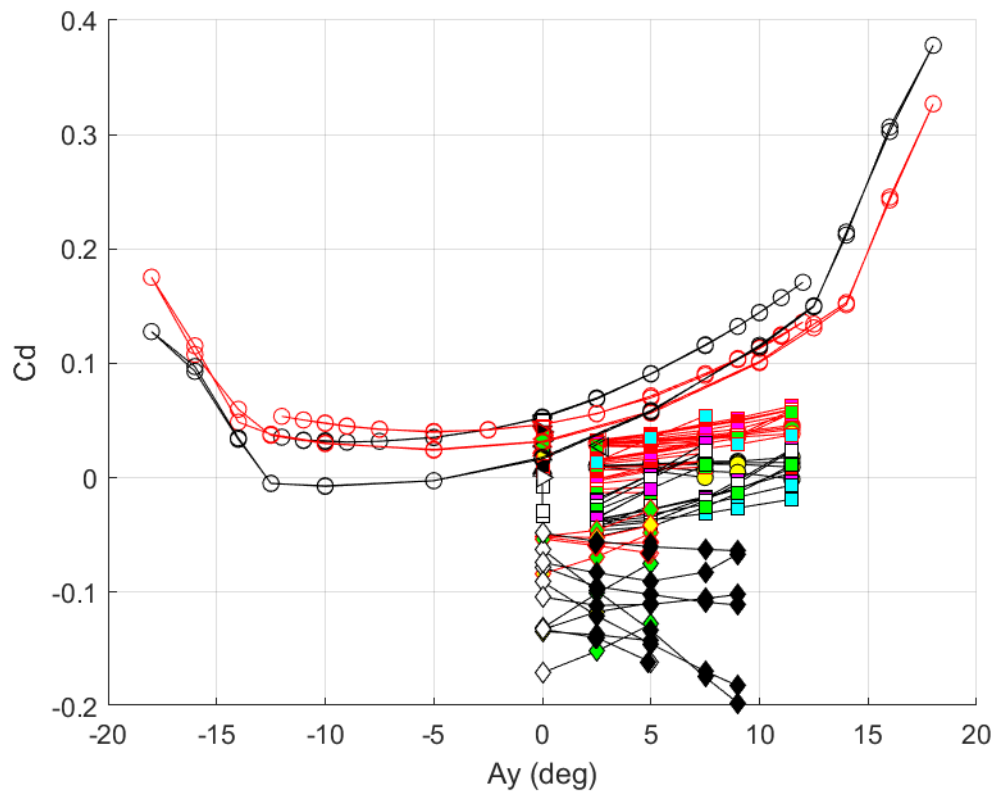


Figure 9 : Coefficients de traînée

Les coefficients de traînée pour des incidences statiques sont représentés par les courbes en U avec des marqueurs ronds. Les coefficients de traînée pour des angles de tangage inférieurs à 12 degrés sont pour une part négatifs selon les couplages favorables avec les mouvements de pilonnement.

Lignes rouges : vitesse de courant = 0.8 s

Lignes noires : vitesse de courant = 1.2 s

Marqueurs carrés : amplitude de pilonnement = 9 cm

Marqueurs losanges : amplitude de pilonnement = 13.5 cm

Les couleurs des marqueurs désignent les secteurs des phases entre mouvement de tangage et de pilonnement,  $pAyTz$ .

- $pAyTz$  proche de -30 à 0 degrés : noir
- $pAyTz$  proche de 90 à 110 degrés : cyan
- $pAyTz$  proche de 145 ou 215 degrés : magenta
- $pAyTz$  proche de 180 degrés : rouge
- $pAyTz$  proche de 250 degrés : blanc
- $pAyTz$  proche de 270 degrés : vert
- $pAyTz$  proche de 300 degrés : jaune

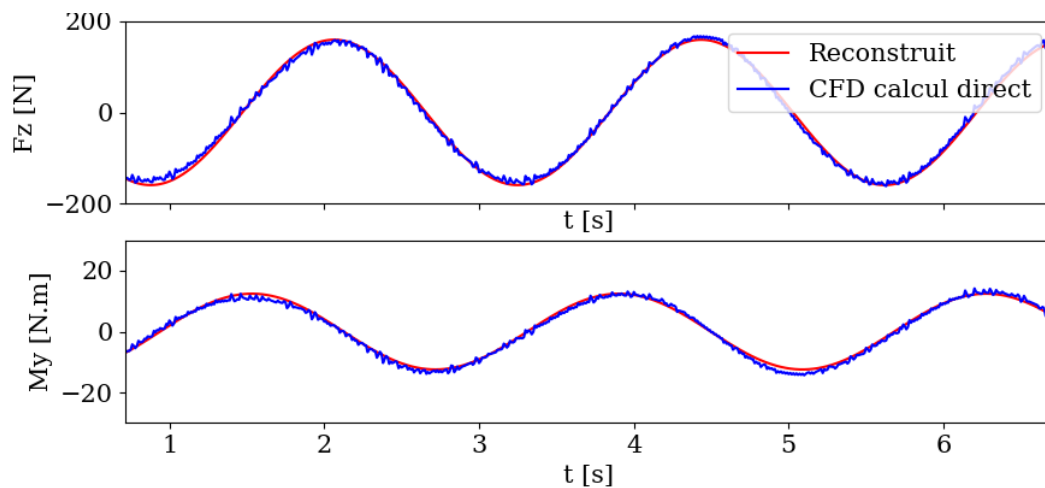


Figure 10 : Reconstruction d'une séquence d'efforts

$T = 2.37$  s  $|Tz| = 9$  cm  $|Ay| = 5.0^\circ$  Déphasage =  $180^\circ$  Vitesse de courant = 0.8 m/s

## IV – Conclusions et perspectives

Les essais conduits en mouvements monochromatiques dans le bassin de l'Ifremer à Boulogne sur Mer ont permis de construire une base de données expérimentales. Si les ordres de grandeurs des inerties ajoutées et amortissements en mouvements forcés sont comparables à ceux des résultats de calcul de radiation (code Hydrostar) dans les limites de petits mouvements et en l'absence de courant, on observe des variations importantes selon les amplitudes de pilonnement et tangage. Les mêmes grandeurs en présence de courant évoluent fortement et sont accessibles aux calculs CFD tels que mis en œuvre par OpenFOAM. L'ensemble des résultats numériques analysé permet d'entrevoir la mise en œuvre de modèle de comportement dans des situations plus complexes telles que les sollicitations d'ondes irrégulières. Des couples d'amplitudes de pilonnement et tangage favorables peuvent conduire à des effets propulsifs. Des perspectives s'ouvrent alors sur des procédures d'optimisation et de contrôle des mouvements favorables à la propulsion et aux économies d'énergies. De nouveaux essais en bassin seront conduits en présence d'une carène et d'un profile optimisé afin de valider les performances propulsives d'un système plus proche du réel.

## Références

- [1] Bøckmann Eirik, Steen Sverre. *The Effect of a Fixed Foil on Ship Propulsion and Motions*. Third International Symposium on Marine Propulsors smp'13, Launceston, Tasmania, Australia, May 2013
- [2] Belibassakis Kostas A. *Marine Propulsion in Waves by Flapping-Foil Systems*. 8th GRACM International Congress on Computational Mechanics. Volos, 12 July – 15 July 2015
- [3] Liu Peng, Liu Yebao, Huang Shuling, Zhao Jianfeng, Su Yumin. *Effects of Regular Waves on Propulsion Performance of Flexible Flapping Foil*. Applied Sciences 8(6): 934 DOI :10.3390/app8060934. June 2018.
- [4] Weller H. G., Tabor G., Jasak H., Fureby C. *A tensorial approach to computational continuum mechanics using object-oriented techniques*. Computers in Physics, Vol. 12, No. 6. November/December 1998.
- [5] Recommended Practice DNV-RP-H103, App.A Added Mass Coefficients – Page 142. April 2011.