

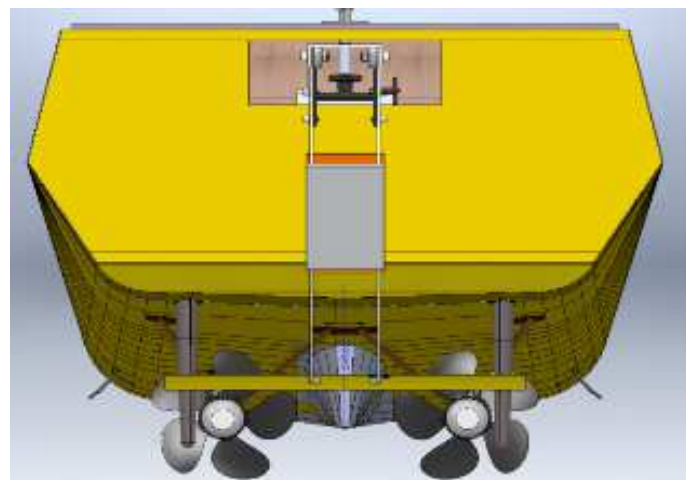
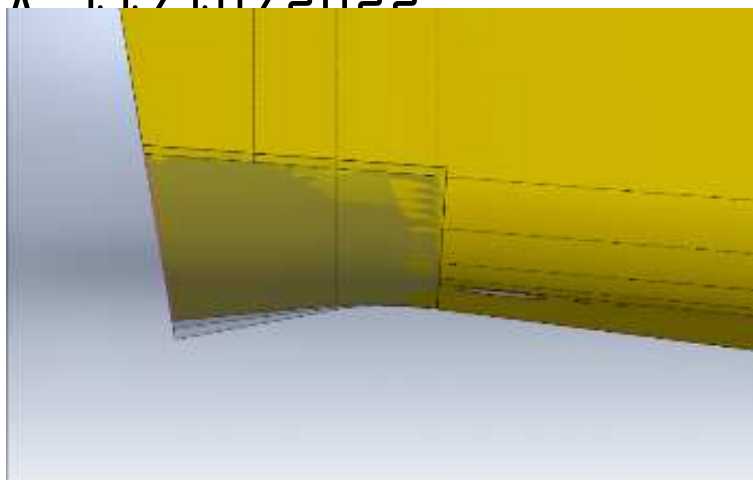


MINISTÈRE
DES ARMÉES

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Evaluation des performances d'un trim-wedge et d'un Hull Vane[®] sur une frégate

T. Chambenois, J. Cherroret, P. Bunel, D. Bellèvre -
ATMA 11/10/2022



Présentation de l'étude

L'objet de l'étude est d'une part l'évaluation relative des gains en performances propulsives d'une carène apportés par deux types d'appendice, trim-wedge et Hull Vane[®], et l'analyse du comportement de tenue à la mer du bateau avec mer de face dans le cas du Hull Vane[®].

D'autre part, cette étude s'attache à définir à DGA TH un standard de procédure d'essai, de simulation numérique, et d'exploitation des résultats.

La présente étude est ciblée sur une frégate. En effet, ces bateaux sont généralement proches du nombre de Froude critique à leurs vitesses maximales ($Fr \sim 0.4$), avec une prise d'assiette à cabrer très significative, et la forte augmentation de résistance qui en résulte.

Les grandes étapes de l'étude

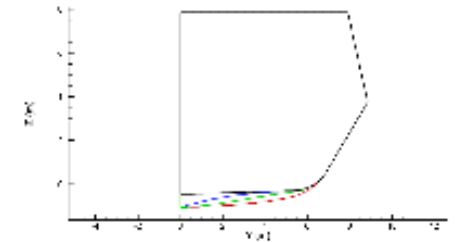
- Etude préparatoire paramétrique avec calculs CFD pour différentes configurations de trim-wedge et de Hull Vane[®],
- Fabrication au modèle de 4 trim-wedges, d'un Hull Vane et son dispositif de mise en position sur la maquette ($\lambda \sim 1/18$),
- Essais au modèle de résistance et d'autopropulsion dans le bassin Emile Barrillon (DGA TH),
- Calculs CFD au modèle et au réel des configurations testées en bassin pour la détermination des effets d'échelle,

Etude CFD paramétrique préparatoire

Périmètre de l'étude paramétrique

Configurations de trim-wedges (24 wedges et 480 cas de calcul)

- Variation de l'angle géométrique longitudinal,
- Variation en hauteur (10 à 70 cm au réel),
- Variation en longueur (0.4%, 0.8%, 1.7%, 2% de la L_{pp})
- Variation en courbure longitudinale (convexe, neutre-triangulaire, concave),
- Variation en loi transversale d'épaisseur (raccordement au bordé).



Configurations de Hull Vane® (95 configurations et > 400 calculs)

- Variation de la corde (0.8%, 1.6%, 2.5% de la L_{pp} du bateau),
- Variation de l'immersion (-2m, -3m et -4m),
- Variation de l'angle géométrique de braquage (0° à -6°),
- Variation de la position longitudinale (0 à -4 m pour bord d'attaque du

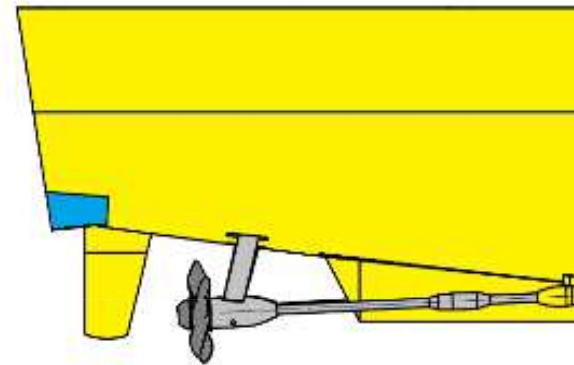
~~HV® vs tableau arrière du bateau)~~



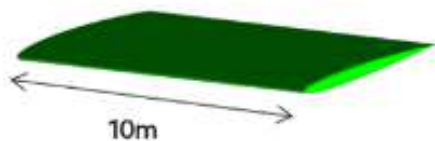
Configurations retenues pour les essais

Configurations retenues après exploitation de l'étude (CFD) paramétrique préparatoire

- trim-wedges à 2.52° , 5° , 7° et 10°



- Intégration du Hull Vane[®] sur le modèle de frégate (2 réglages longitudinaux, 5 braquage du HV[®] et 2 immersions)



10m



2.4m

Surface mouillée (m²)
50.09
Volume (m³)
4.109

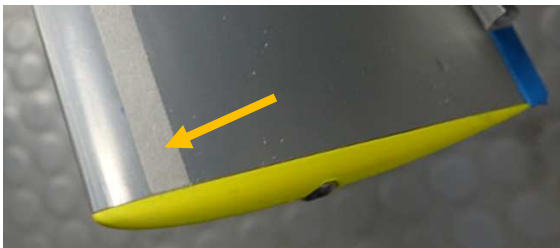


Instrumentation en bassin

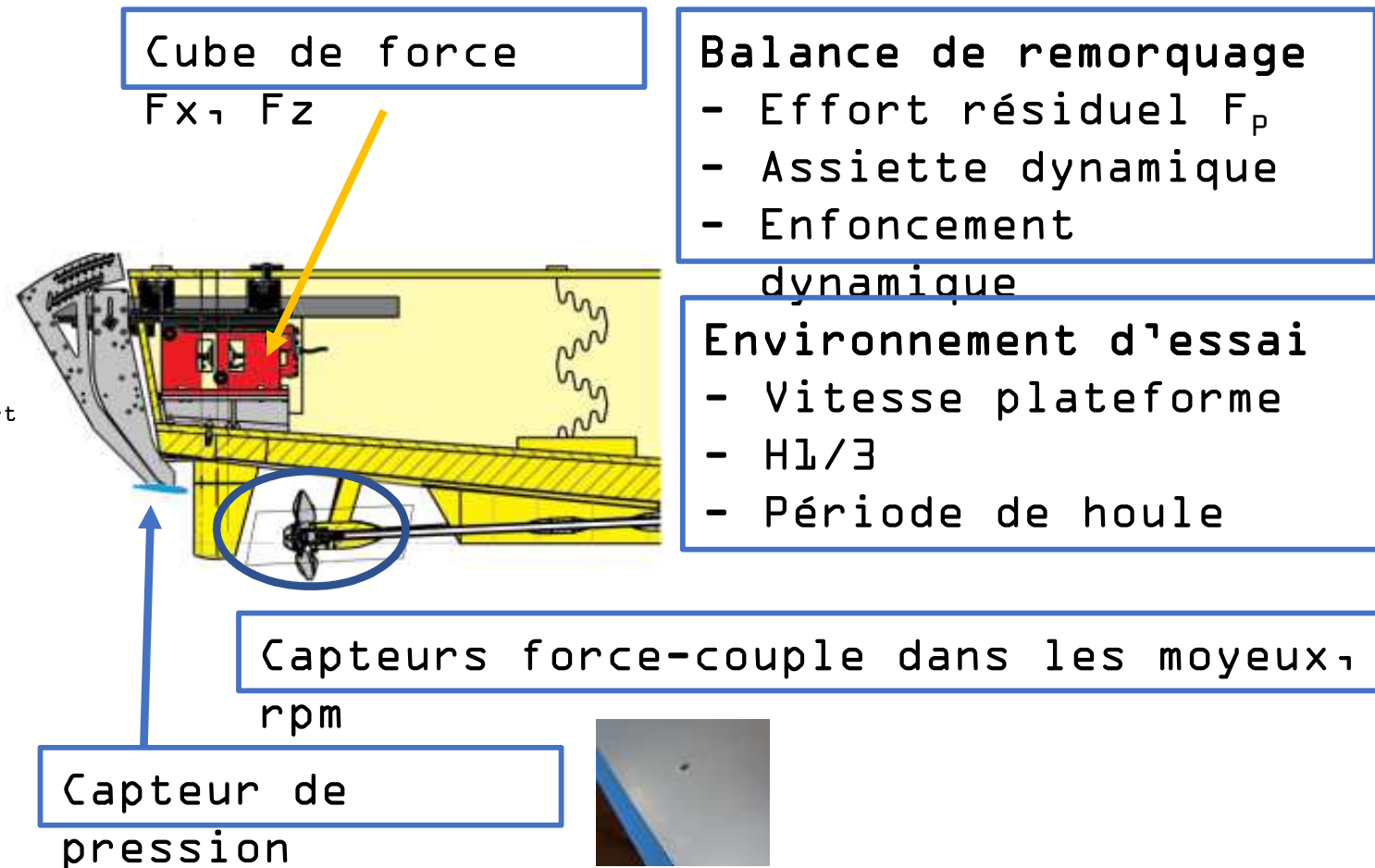
Remorquage et autopropulsion



Montage de passive sur la trainée du support de HV®

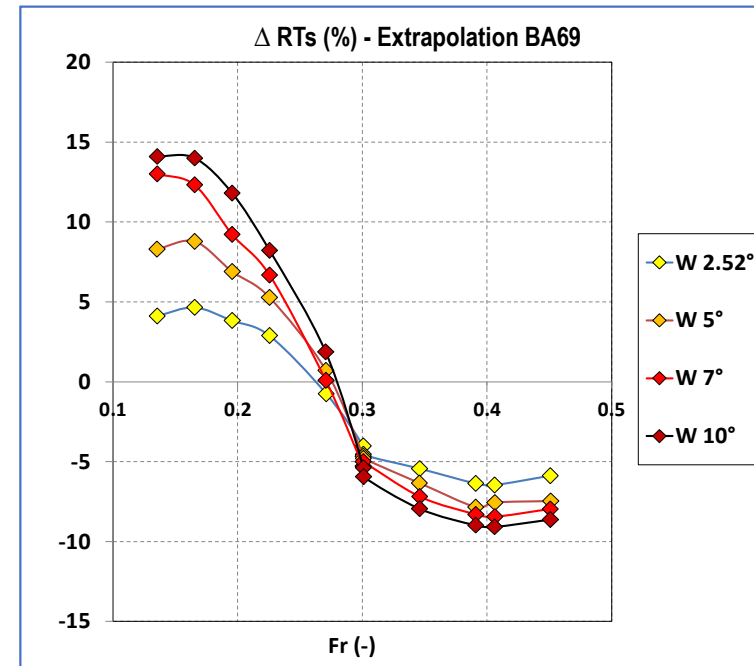
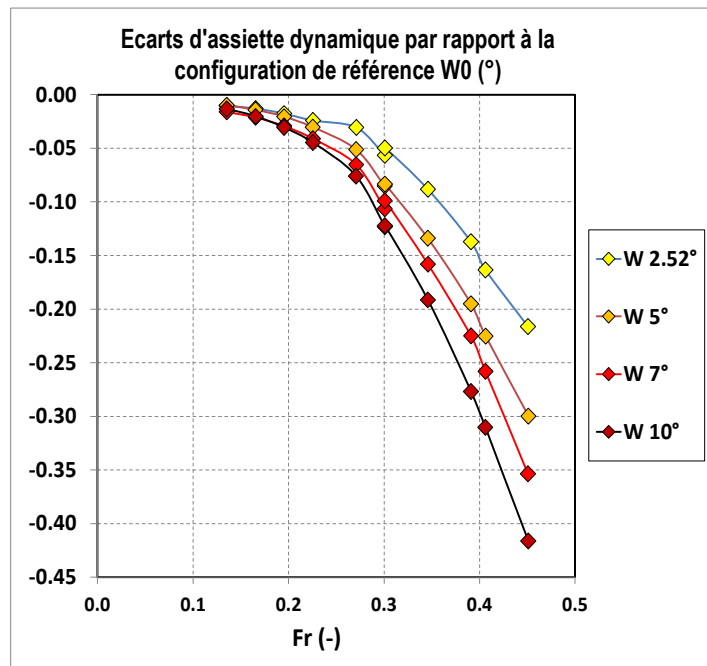


Déclencheur de turbulence sur le HV® pour une correction de frottement au réel



Efficacité relative d'un trim-wedge (sans prise en compte d'effet d'échelle)

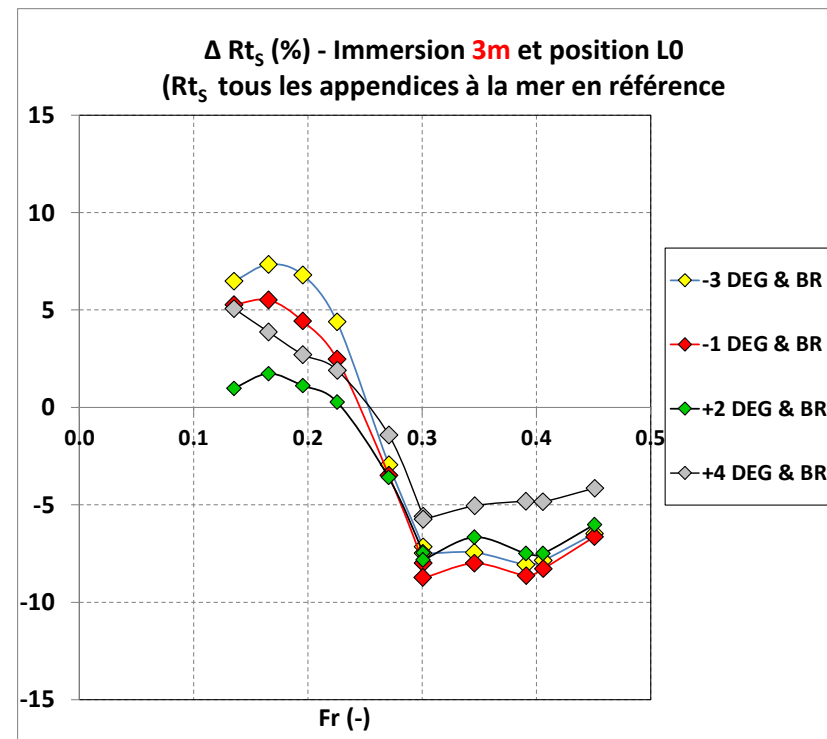
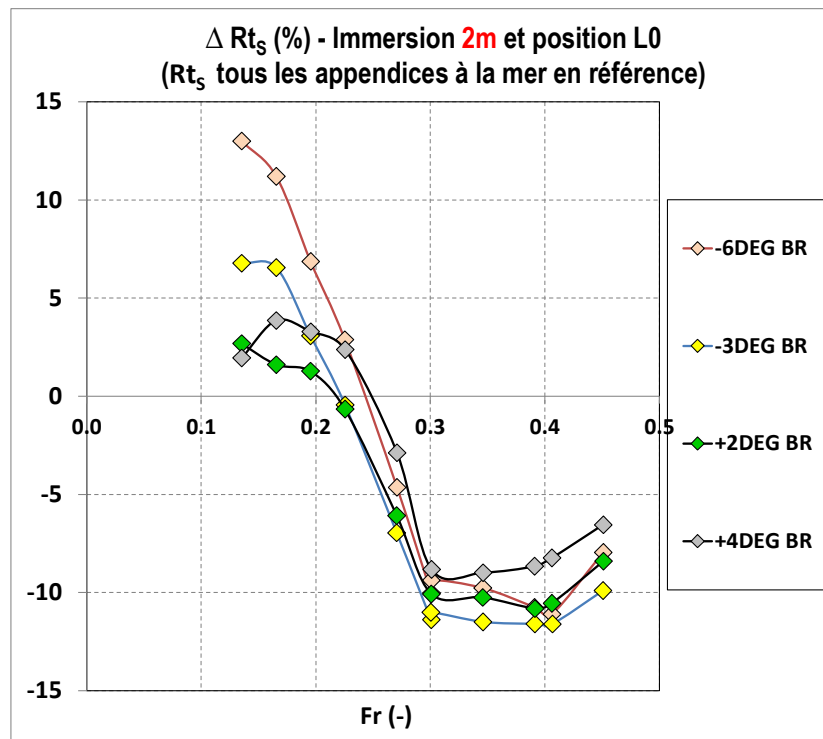
Configuration de référence: sans appendice arrière



Les courbes de résistance et d'assiette relatives au réel montrent un comportement classique de trim-wedge avec une efficacité aux grands nombres de Froude croissante avec l'angle du trim-wedge, mais au détriment de la résistance aux bas nombre de Froude (Notamment vitesse d'autonomie). Le trim-wedge à 2.52° est ici le meilleur compromis (-6.5% en résistance à Vmax).

Efficacité relative d'un Hull Vane[®] (sans prise en compte d'effet d'échelle)

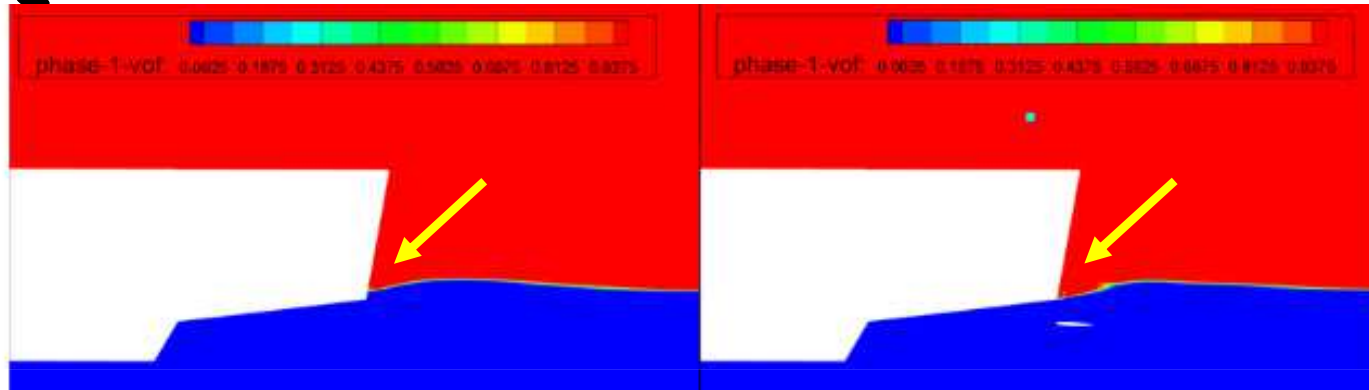
Configuration de référence: sans appendice arrière



Les courbes de résistance au réel en fonction des immersions testées (avec le bord d'attaque au droit du tableau arrière du bateau montrent) montrent une perte d'efficacité du Hull Vane avec la prise d'immersion. Le gain en résistance à V_{max} ($Fr=0.4$) est de -11.6% , bien supérieur au gain fourni par le trim-wedge.



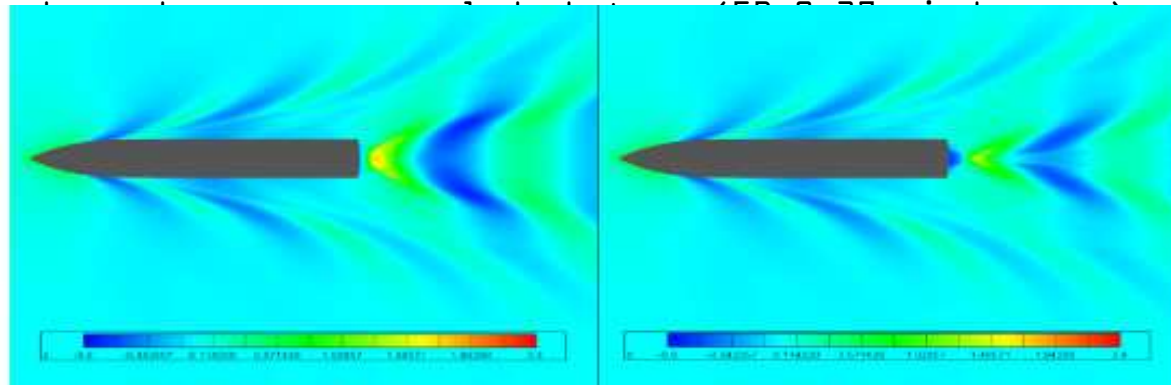
Effet du Hull Vane sur la vague de poupe



Configuration de référence

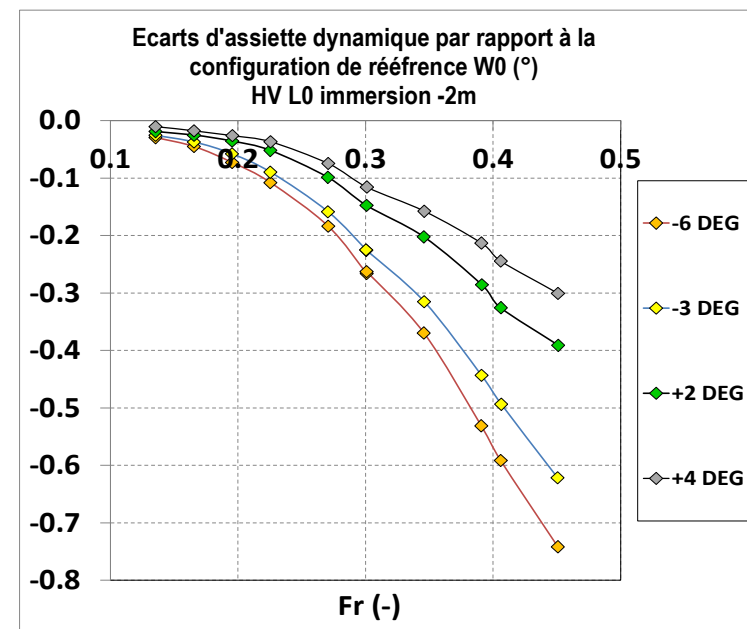
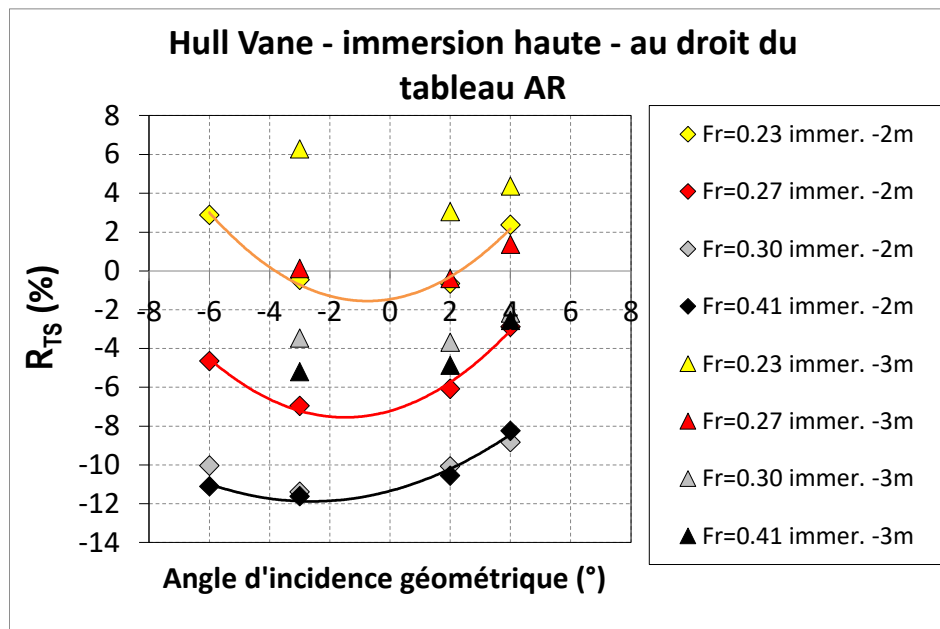
Configuration avec Hull Vane®

Le Hull Vane agit sur la vague de poupe en reculant la bosse en aval du tableau arrière. A $Fr=0.23$, vitesse économique du bateau, le Hull Vane dégage complètement le tableau arrière du bateau avec un gain de résistance à la clé. A cette vitesse le trim-wedge augmente l'immersion du tableau arrière avec un surcroît de résistance. On note également un effet bénéfique sur le



Efficacité relative d'un Hull Vane® (sans prise en compte d'effet d'échelle)

Configuration de référence: sans appendice arrière

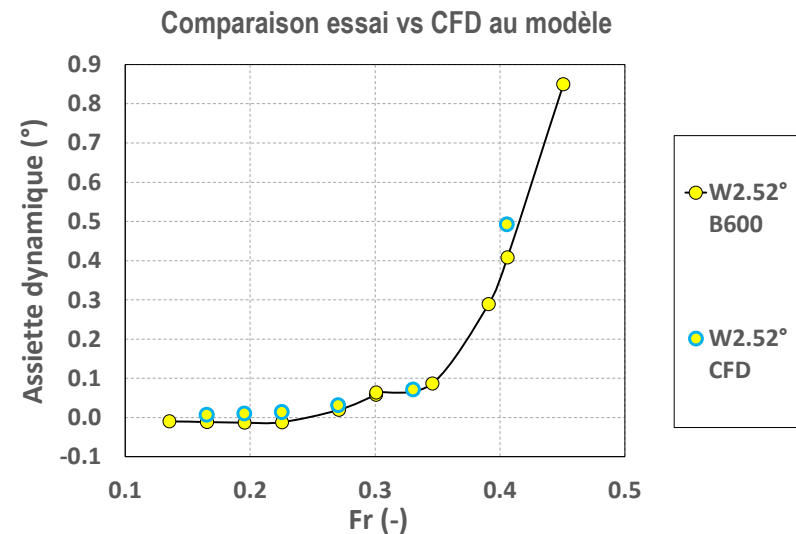
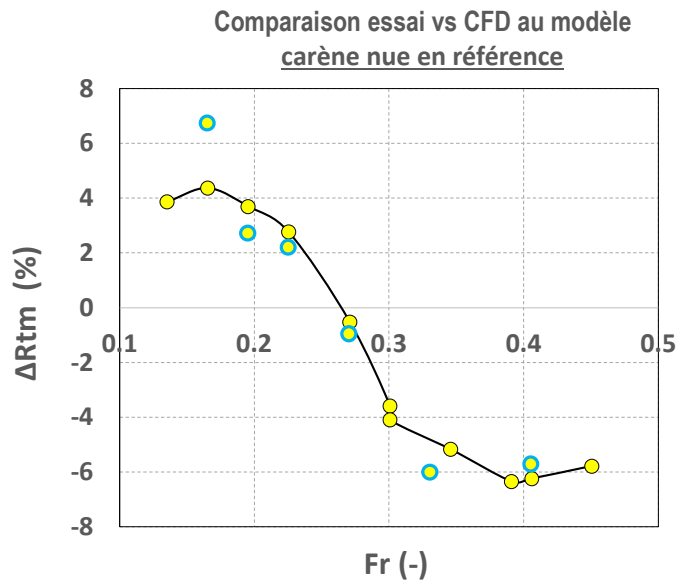


L'angle de braquage optimal en fonction du nombre de Froude dépend assez peu de l'immersion, et se situe entre -1 et -3 degrés.

La capacité de correction de l'assiette à cabrer du bateau est plus forte avec le Hull Vane® qu'avec le trim-wedge.

Prise en compte des effets d'échelle

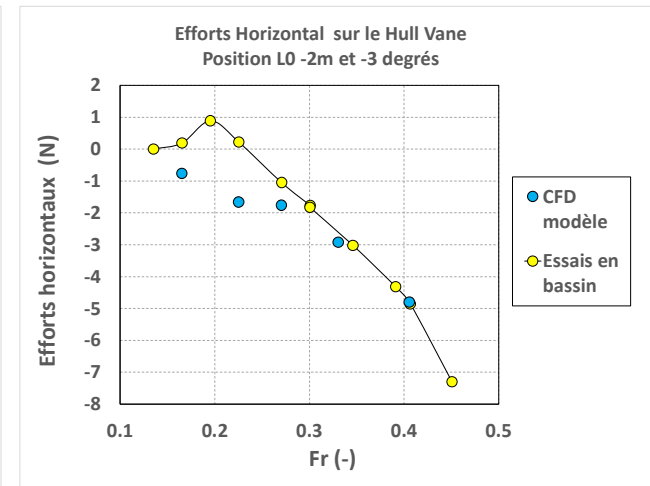
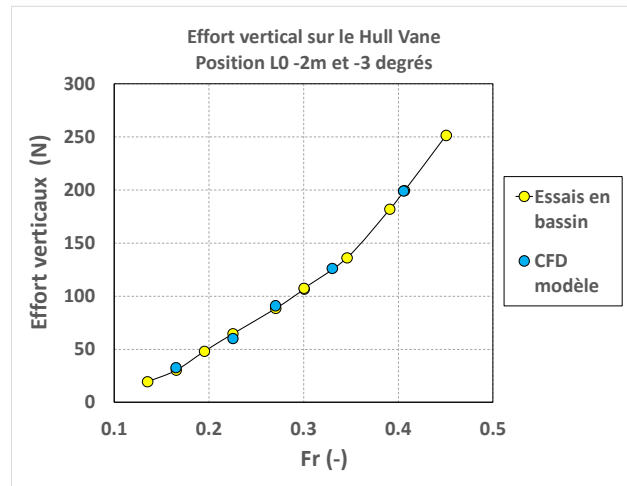
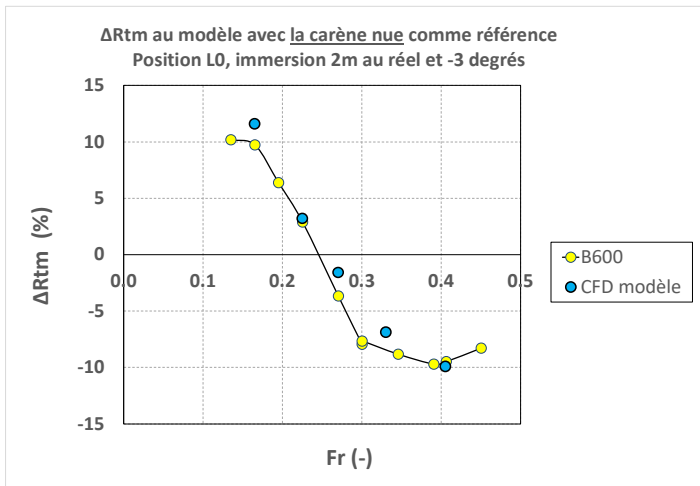
Comparaison des essais bassin avec la simulation numérique au modèle pour le Trim-wedge



Les calculs CFD restituent fidèlement les essais au modèle jusqu'à un nombre de Froude relativement bas ($Fr=0.2$ et $R_{tm} \sim 17N$), tant pour la résistance que pour l'assiette dynamique.

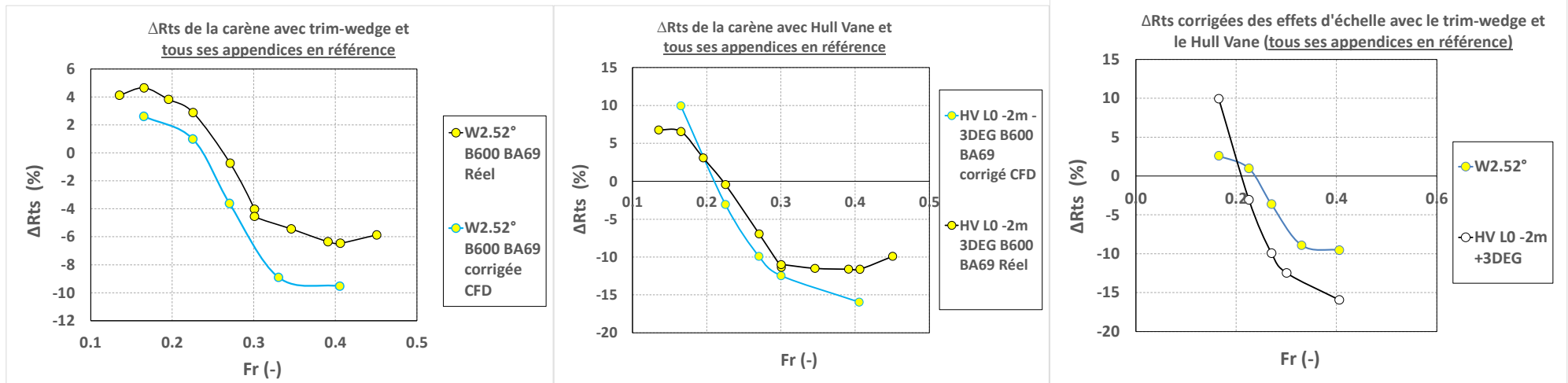
Prise en compte des effets d'échelle

Comparaison des essais bassin avec la simulation numérique au modèle pour le Hull Vane®



Les calculs CFD restituent fidèlement les essais au modèle sur toute la gamme de nombre de Froude explorée. et R_{tm} ~17N), tant pour la résistance que pour les efforts sur le Hull Vane®.

Efficacité relative d'un trim-wedge et d'un Hull Vane[®] avec sans prise en compte de l'effet d'échelle

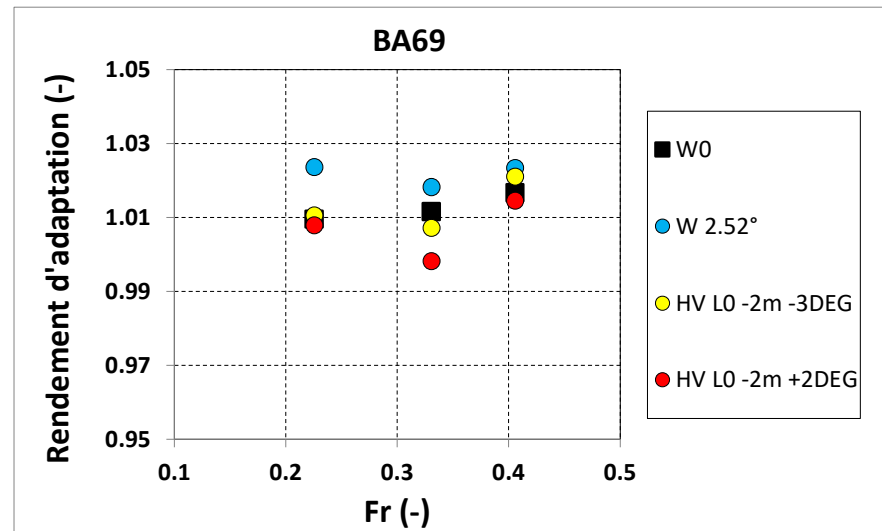
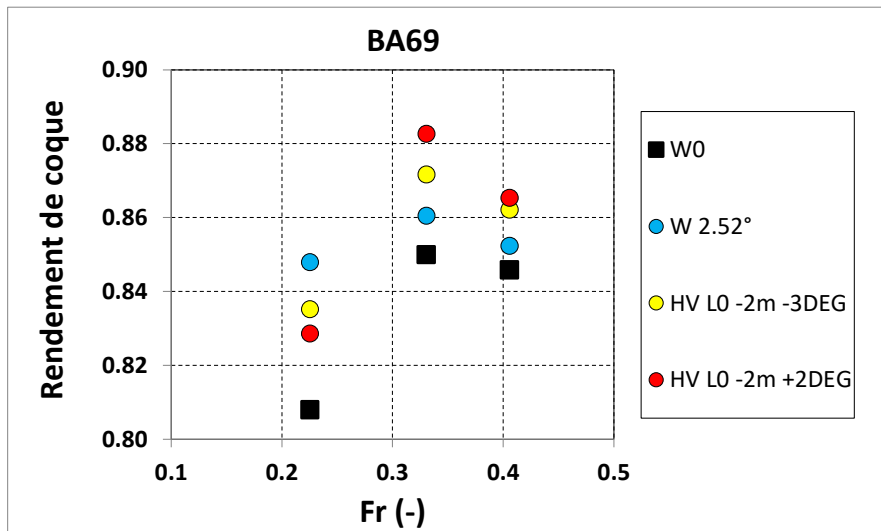


La prise en compte de l'effet d'échelle sur le trim-wedge montre que l'on peut attendre un gain en résistance de 9.5% à V_{max} . On remarque également que le trim-wedge est neutre pour $Fr=0.23$ correspondant à la vitesse économique du bateau.

L'efficacité du Hull Vane est moins dépendante de l'échelle. Au nombre de Froude de la V_{max} , le gain est de 16%. Le Hull Vane est significativement plus performant que le trim-wedge.

Performances propulsives

Essais d'autopropulsion



Aux gains sur la résistance pour respectivement le trim-wedge et le Hull Vane®, il faut ajouter des gains de 2 à 3 points sur le rendement de coque pour les deux appendices.

Performances de tenue à la mer

Objet de l'essai

Quantités mesurées :

- Mouvements verticaux : tangage, déplacement et vitesse verticale au spot hélicoptère...
- Résistance ajoutée sur houle
- Risque et pressions d'impact

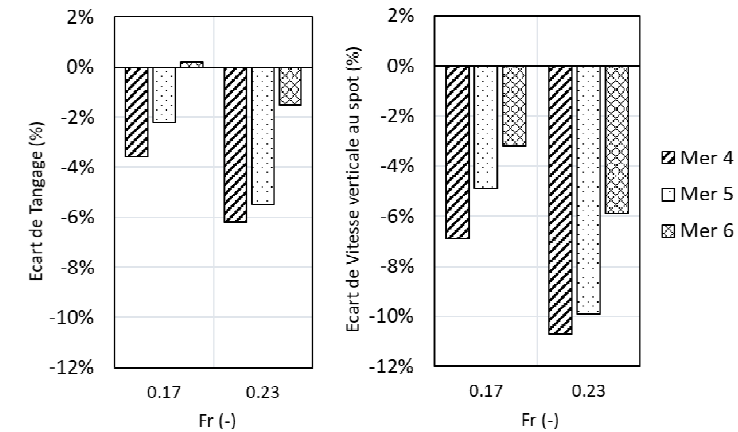
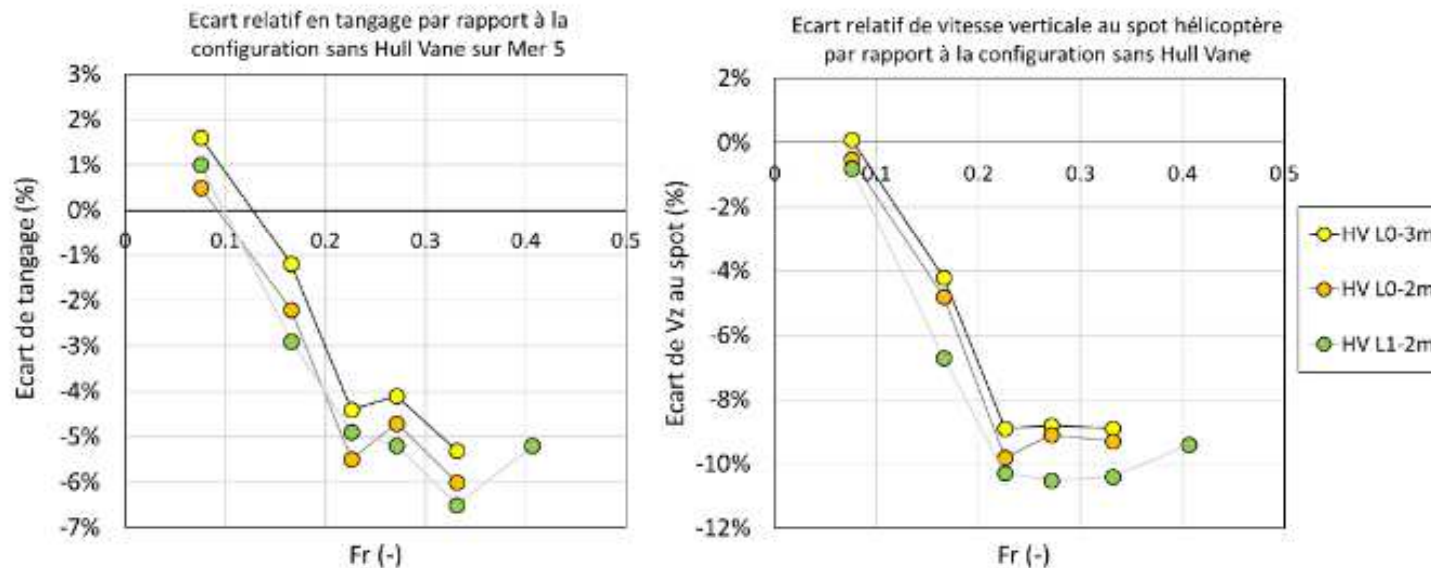
Programme d'essais

Vitesse au réel (nds)	Configurations de Hull Vane testées					
	Etat de mer					
	mer calme	Mer 4	Mer 5	Mer 6	Mer 7/8+	Mer 8
5	3 positions de Hull Vane		3 positions de Hull Vane		3 pos. de Hull Vane	
11		LO_HT		LO_HT		
15						
18						
22						
27		LO_HT	LO_HT			



Performances de tenue à la mer

Mouvements de plateforme : comparaison des 3 positions par rapport à la frégate sans Hull Vane



L'efficacité du Hull Vane réduit avec l'état de mer

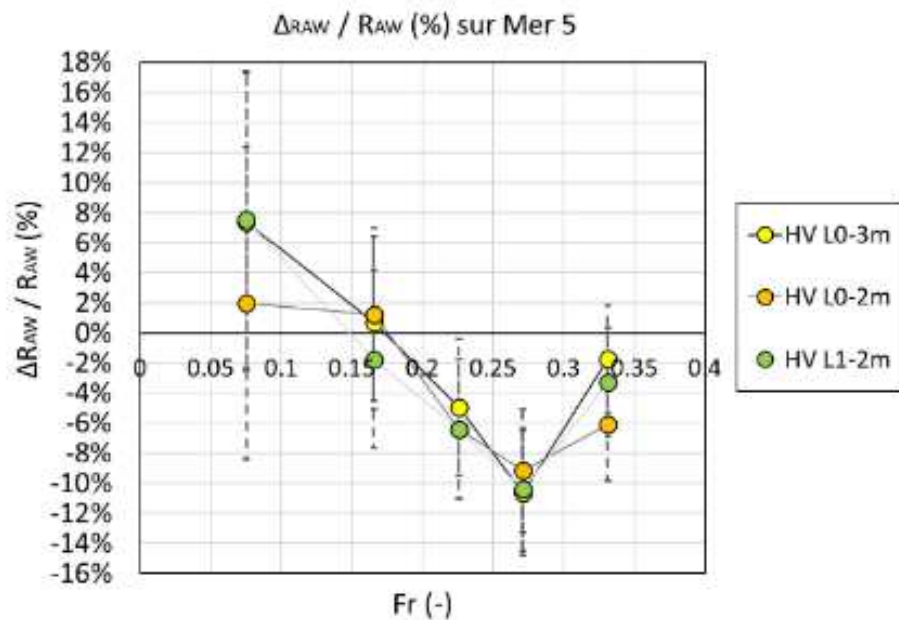
Le Hull Vane réduit encore les mouvements sur Mer 6

Les 3 positions de Hull Vane testées permettent de réduire le tangage jusqu'à 6% et la vitesse verticale jusqu'à 10%

Le choix de la position du Hull Vane impacte les mouvements à hauteur de 1%

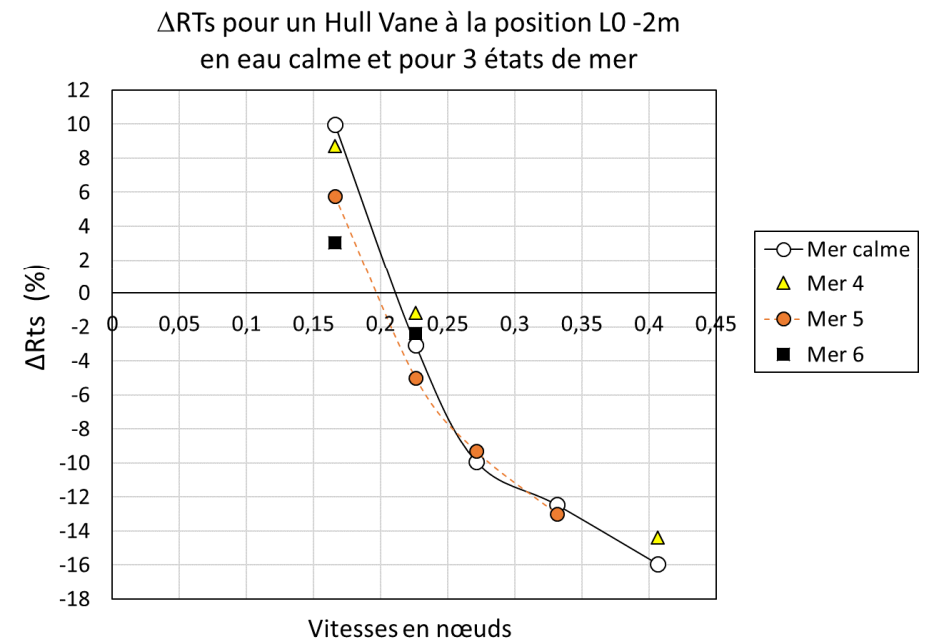
Performances de tenue à la mer

Résistance ajoutée sur houle : comparaison des 3 positions par rapport à la frégate sans Hull Vane



L'augmentation de résistance en présence de la houle diminue avec le Hull Vane.

L'incertitude importante relativement aux quantités mesurées ne permet pas de hiérarchiser clairement les 3 positions



La réduction de résistance totale induite par le Hull Vane est conservée en présence de la houle, sur mer 4 et 5.

Risques d'impacts sur le Hull Vane

Résistance ajoutée sur houle : comparaison des 3 positions par rapport à la frégate sans Hull Vane

	Nombre d'impacts / h		Pression maximale mesurée (bars)	
	Mer 7/8+	Mer 8	Mer 7/8+	Mer 8
L0-3m	4	20	2.2	4.9
L0-2m	7	36	5.4	7.5
L1-2m	22	22	5.5	8.3

Le Hull Vane® le plus immergé subit presque 2 fois moins d'impacts que celui placé à l'immersion de 2 m.

La pression maximale augmente avec l'état de mer, bien que l'état de mer 7/8+ soit plus cambré que l'état de mer 8.

Une grande immersion du Hull Vane® est favorable à la réduction du risque d'impact.



Conclusions

Essais en bassin : grandes précautions pour l'évaluation des gains en résistance

- Attention aux plus petites vitesses d'intérêt (faibles efforts mesurés => apport de la CFD)
- Déclenchement de la turbulence sur le Hull Vane® pour une correction en nombre de Reynolds au réel
- Retrancher la traînée des bras 'outillage' de maintien du Hull Vane®
- Simulation numérique recalée à l'échelle du modèle sur les essais en bassin
- Prise en compte de l'autopropulsion => gain supplémentaire sur le rendement de coque.

Conclusions

Gains propulsif avec trim-wedge et Hull Vane®

- Performances au modèle d'un trim-wedge d'autant plus pessimistes que l'échelle est petite,
- Gain apporté par le Hull Vane® important par rapport au trim-wedge pour les bateaux navigant aux alentours du nombre de Froude critique (Frégates, OPV), et beaucoup moins significatif pour les très grosses unités naviguant à de plus petits nombres de Froude (Porte-aéronefs),
- La présence de la houle ne modifie pas drastiquement l'efficacité du Hull Vane®
- A faible vitesse sur houle, l'augmentation de résistance due au Hull Vane® est atténuée en pourcentage de la résistance totale,
- Le Hull Vane® entraîne une réduction significative de la vitesse verticale à l'arrière du navire aux états de mer faibles à intermédiaires. Ce gain chute encore de plusieurs pourcents pour les navires de très grands tonnages, à ratio corde/longueur navire égal, en raison du nombre de Froude plus faible,
- D'un point de vue opérationnel, dans le cas d'une frégate de 1er rang, le Hull Vane® devra être qualifié à la tenue aux chocs.