

Etude numérique de l'effet de l'angle d'attaque sur les forces hydrodynamiques d'un engin sous-marin forme torpille

Z. Laffane^{1,a}, S. Fethi¹, M. Aissoui¹, Y. Boualia¹, B. Hamoudi¹

¹Laboratoire Aéro-Hydrodynamique Naval Faculté de Génie Mécanique Université des Sciences et Technologies d'Oran 'M-B', Algérie

.....
Zaky.zach@outlook.fr

Abstract—Les missions proposées par les marines du monde, les scientifiques marins et l'industrie pour les véhicules sous-marins autonomes (AUV) deviennent de plus en plus complexes et difficiles. Afin de répondre à ces exigences, la prochaine génération d'AUV devra être plus rapide, fonctionner plus longtemps et être plus manœuvrable que les véhicules existants. La performance hydrodynamique des AUV est un domaine d'intérêt ayant des implications pour le contrôle, la navigation, le lancement et la récupération, les besoins en énergie et la charge utile. Un outil essentiel pour comprendre les performances d'un AUV est la simulation dynamique des équations de mouvement du véhicule par le CFD. Le but de cet article est de fournir une estimation de différentes forces hydrodynamiques agissant sur un engin sous-marin de forme torpille, dans différents angles d'opération, allant de $\alpha=0^\circ$ jusqu'à $\alpha=16^\circ$, pour une plage de vitesses entre 0.5m/s et 2.67m/s. cette étude a été effectuée à l'aide du logiciel de calcul du volume finis CFD, en basant sur les équations de Navier-Stokes Reynolds moyenné. Les résultats obtenus montrent la variation des forces hydrodynamique en fonction de l'angle d'attaque correspondant. Les effets de l'angle de l'attaque sur la traînée, la portance et la pression sont discutés par conséquent.

Keywords— hydrodynamiques performances, engin sous-marin, analyses numérique, CFD

NOMENCLATURE

Symboles

p la pression

CL coefficient de portance

CD coefficient de trainée

Cp coefficient de pression

Fx la force suivant l'axe X

Fy la force suivant l'axe Y

Lettres grecques :

ρ la masse volumique, kgm-3

u la vitesse de fluide, m/s

μ_m la vitesse laminaire du mélange

μ_l la viscosité dynamique du liquide

μ_v la viscosité dynamique du vapeur

μ_T la viscosité turbulente

I. INTRODUCTION

Un engin sous-marin est un véhicule submersible conçu pour exécuter des missions dans différents domaines industriels, recherches ou militaires (1). Les développements technologiques et scientifiques concernant les engins sous-marins (torpilles, missiles, leurres, véhicule sous-marin autonomes...etc.) sont récents, mais l'intérêt qu'ils suscitent se confronte encore aujourd'hui à des verrous scientifiques importants. Cependant, la conception, le développement et la mise en œuvre de véhicules sous-marins posent certaines difficultés. Concernant les véhicules sous-marins autonomes (2), on peut définir quatre grandes problématiques. En premier lieu, l'énergie qu'ils sont capables d'embarquer reste faible au regard des distances à parcourir. En second lieu, le véhicule doit aussi être autonome du point de vue décisionnel et c'est l'une des préoccupations majeures de plusieurs communautés de chercheurs. Un troisième point concerne le positionnement de l'engin. Le positionnement par balises acoustiques, ainsi que le recalage par système GPS sont des verrous technologiques se confrontent à la difficulté de communiquer sous l'eau. Enfin, certaines équipes de recherche se tournent vers la problématique de la navigation, elles travaillent essentiellement sur les aspects de la modélisation, du contrôle et de la génération et du suivi de trajectoires. La prédiction efficace des paramètres hydrodynamiques (3), dans le stade de la conception de ce genre d'engins, s'avère important pour comprendre et améliorer les performances de l'engin (4). Récemment, après avoir utilisé longtemps les méthodes empiriques et semi-empiriques, l'utilisation des méthodes CFD dans notre cas, est devenue une tradition pour prédire et déterminer les coefficients hydrodynamiques, sans fournir autant du temps et avec le moindre des coûts.

Une simulation numérique sur un engin sous-marin de forme torpille, pour différentes angle d'attaque (0 à 16 degrés) a été menée au sein du laboratoire d'aéro-hydrodynamique navale à l'aide du code ANSYS-CFX. Pour voir une estimation de différentes forces hydrodynamiques agissant sur l'engin sous-marin.

II. SIMULATION NUMÉRIQUE

A. Formulation mathématique

La modélisation numérique de la cavité du véhicule sous-marin (5) a été faite en utilisant le logiciel CFD, les équations de Navier-Stokes, en leur de conservation, d'un fluide newtonien sont présentées comme suit :

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_m u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho_m u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_m u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu_m + \mu_T) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_{jk}} \delta_{ij} \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_l \alpha_l}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_l \alpha_l u_j)}{\partial x_j} = \dot{m}^+ + \dot{m}^- \quad (3)$$

$$\rho_m = \rho_l \alpha_l + \rho_v \alpha_v \quad (4)$$

$$\mu_m = \mu_l \alpha_l + \mu_v \alpha_v \quad (5)$$

ρ_m Est la densité du mélange, u est la vitesse, p est la pression, μ_m est la vitesse laminaire du mélange, μ_l la viscosité dynamique du liquide et μ_v est celle du vapeur, et μ_T est la viscosité turbulente. Les indices i, j, k sont les axes de la direction. Le terme source \dot{m}^+ et le terme de dispersion \dot{m}^- sont les taux de condensation et d'évaporation et sont définis par le modèle KUBOTA, et le modèle $k-\omega$ SST est aussi utilisé [6].

B. Méthodologie

Plusieurs facteurs doivent bien étudier pour l'exactitude de la simulation. Parmi ces exigences, le facteur clé est le type du maillage, conditions aux limites et le model utiliser.

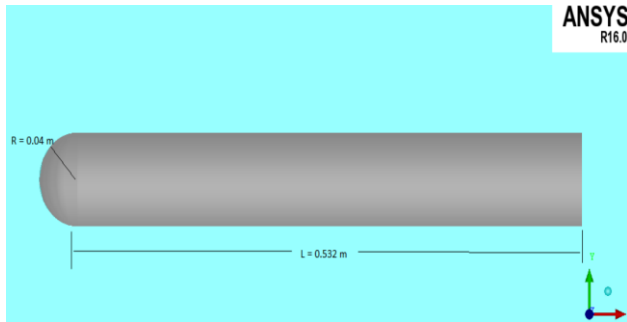


Fig.1. Détails de la géométrie du modèle

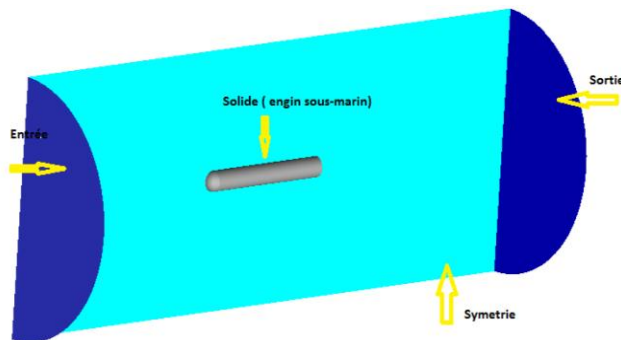


Fig.2. Domaine de calcul

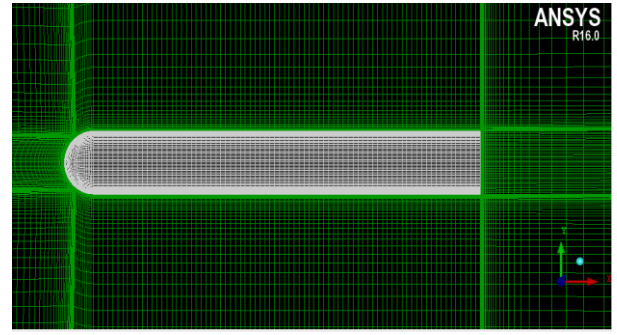


Fig.3. Le maillage de l'engin sous-marin, Hexa

La Fig. 2, montre Le domaine utiliser dans cette simulation, longueur et la section sont respectivement de $2.5 \cdot 10^3$ mm et de $10^3 \times 5 \cdot 10^2$ mm², le modèle étudié est un engin sous-marin de forme torpille Fig. 1, la longueur de la corde est $L = 5.32 \cdot 10^2$ mm et le rayon est égale à 40 mm, les conditions aux limites doivent être appliquées à toutes les régions aux extrémités (externes et internes) du domaine de calcul et Pour le choix du modèle de la turbulence : Le plus utilisé est le modèle (SST $k-\varepsilon$), $Re = 1.8 \cdot 10^6$ $\mu = 1.19 \cdot 10^{-6}$ [kg/(m.s)] $\rho = 998$ [kg/m³]

Le maillage utilisé est le Hexa type structuré et se compose de 1281769 éléments Fig.3.

TABLE I. LES CONFIGURATIONS DE MAILLAGE

Maillage	3D	
	N° des éléments	N° des nœuds
Hexa plus raffiné	<u>1281769</u>	<u>1239080</u>

Le modèle utilisé ici est le modèle $k-\omega$ SST (7,8). Les forces hydrodynamiques exercées par le fluide sur un engin sous-marin de forme torpille sont obtenues à partir de la solution des équations de Navier-Stokes moyennées, avec l'intégration de la pression (p) et les contraintes de cisaillement sur la surface du profil.

Les deux forces de la traînée et de la portance (D et L) sont déduites à partir des projections des forces aérodynamiques totales Normales et parallèles à l'écoulement

$$Cd = \frac{D}{0.5 \times \rho \times s \times U_\infty^2} \quad (6)$$

$$Cl = \frac{L}{0.5 \times \rho \times s \times U_\infty^2} \quad (7)$$

Où, S est la surface de torpille, ρ est la masse volumique du fluide et U_∞ est la vitesse du fluide de l'écoulement non perturbé

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour simuler le véhicule sous-marin incliné en mouvement dans un écoulement, le modelé a été soumis aux différents angles d'incidence de 0° jusqu'à 16° , en mettant une plage de vitesses allant de 0.5m/s jusqu'à 2.67m/s. des résultats ont été obtenus, montrant les coefficients des forces hydrodynamiques, C_D , C_L , C_P , en fonction de l'angle d'attaque pour chaque vitesse.

A. Forces et Coefficients hydrodynamiques

La figure.4 a) et b) présentent la variation des forces hydrodynamiques F_x et F_y agissant sur le véhicule sous-marin, ou il est montré que la force hydrodynamique F_y augmente proportionnellement avec l'augmentation de l'angle d'attaque. Cependant, les valeurs de F_x ne connaissent pas une augmentation considérable que pour des vitesses supérieures à 1.5m/s.

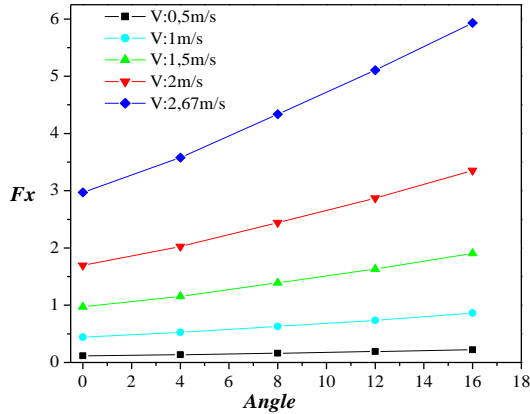


Fig.4. a) Force hydrodynamique F_x en fonction de l'angle d'attaque

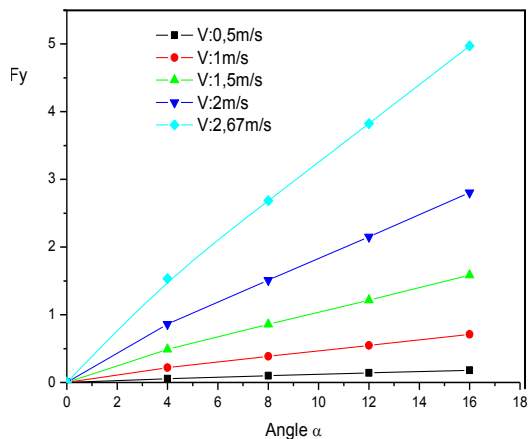


Fig.4. b) Force hydrodynamique F_y en fonction de l'angle d'attaque

Quant aux coefficients de traînée C_D et de portance C_L sont représentés dans les figures V.5.a et b respectivement. Les valeurs de C_D et C_L augmentent en fonction de l'angle d'attaque, tandis que les valeurs enregistrées des coefficients de traînée C_D et de portance C_L , pour la vitesse maximale 2.67m/s sont remarquablement inférieures à celles de la vitesse 0.5m/s.

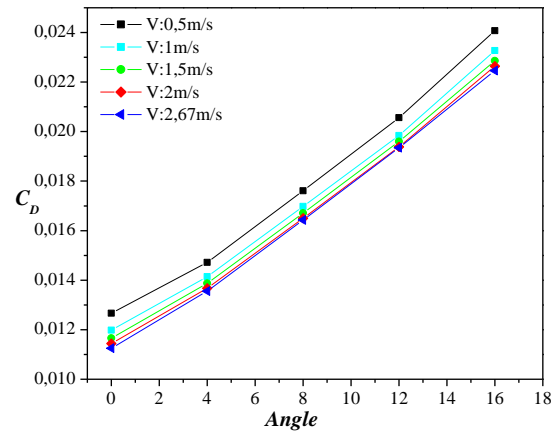


Fig.5. a) Coefficient de traînée C_D en fonction de l'angle d'attaque

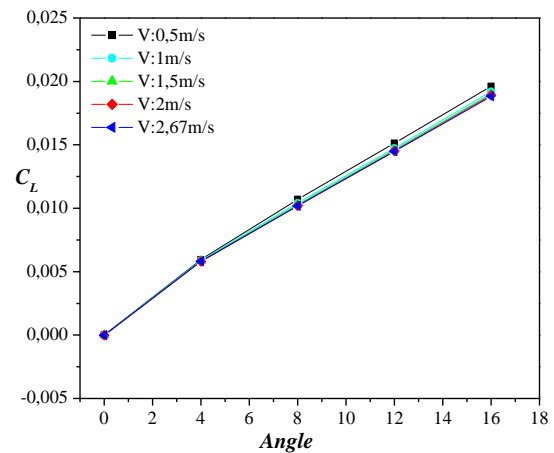
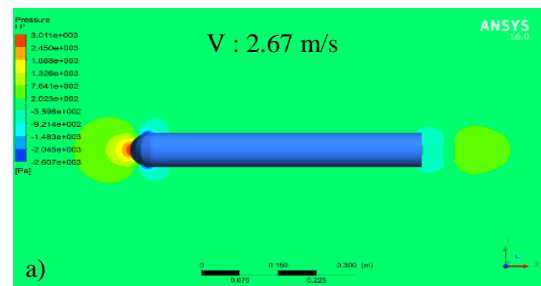


Fig.5. b) Coefficient de portance C_L en fonction de l'angle d'attaque

B. Contour de pression

- On peut voir la distribution des contours de pression des angles d'incidences 0° et 12° sur la Fig.6.
- On remarque que la plus grande valeur de pression est prise au bord d'attaque le bout du véhicule pour l'angle 0° , et qu'elle est de l'ordre de $3,01 \cdot 10^3$ Pa, cette valeur reste la même pour les autres angles considérés mais en changeant la zone de stagnation vers l'intrados du cylindre.
- On constate aussi que pour l'angle d'incidence 0° , la pression est répartie d'une manière symétrique entre l'intrados et l'extrados du cylindre, alors qu'on ne peut pas dire au temps pour les angles 12° .



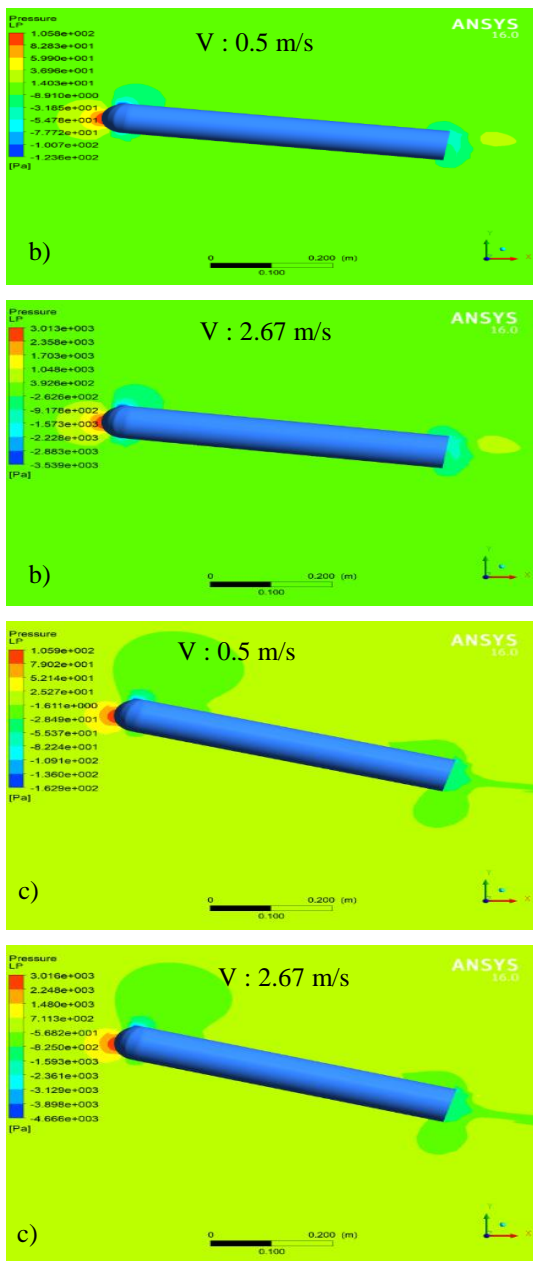


Fig.6. Distribution de la pression pour les deux vitesses 0.5 et 2.67 m.s-1 pour différents angles d'incidences, a)=0°,b)=8°,c)=16°.

C. Lignes de courants

- La figure.7 montre les lignes de courant pour les angles d'incidences 0°, 12° On remarque que les filets fluides suivent parfaitement le contour du profil dans le mouvement relatif de l'angle d'incidence sauf pour l'angle 12° car on voit clairement le détachement du fluide qui se produit à la partie extrados du profile en créant un tourbillon évaluant avec l'évolution de l'angle d'incidence ; on dit qu'il y'a une recirculation.
- Comme on constate qu'à l'angle 0°, la vitesse est répartie symétriquement dans le plan (xy) par rapport à la longueur du véhicule sous-marin. Cette vitesse augmente avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison, et elle varie approximativement de $4.27 \cdot 10^{-3}$ m/s a $6.25 \cdot 10^{-1}$ m/s tout en touchant ça valeur maximum sur l'extrados du profile.

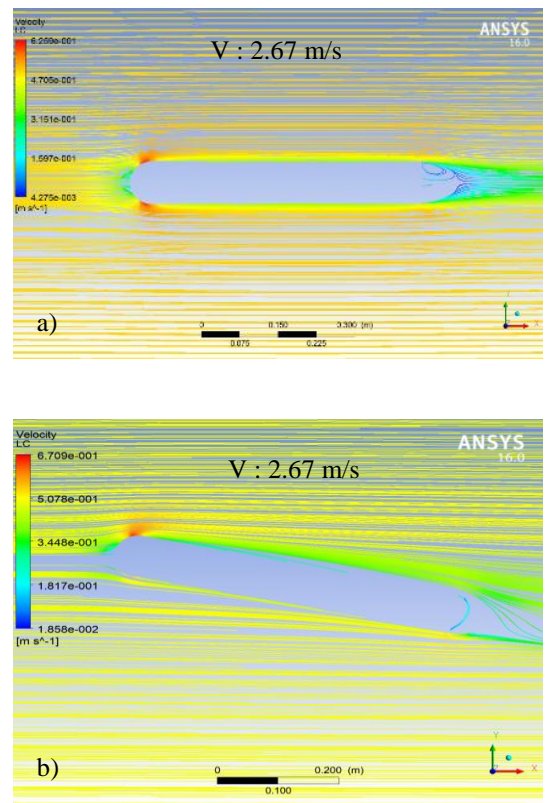


Fig.7. Distribution des lignes de courant pour la vitesse 2.67 m.s-1 pour différents angles d'incidences, a)=0°,b)=12°

D. Coefficient de pression (C_p)

- L'évolution de la distribution du C_p suivant les angles d'incidence est représenté dans les figures.8 a),b), celle-ci mène à considérer l'analyse suivante :
- Le gradient subit une chute importante de la pression, la plus importante est du dernier cas ou l'angle d'incidence est égal à 16°. Cette augmentation est due à la diminution de la vitesse du fluide au niveau du véhicule sous-marin.
- Le gradient de pression commence à régresser après avoir atteint une valeur de C_p maximale (prise de pression, $x/L = 0.05$). Cette diminution est due à la forme du cylindre ce qui a permis l'augmentation de la vitesse du fluide, puis le gradient redevient minimal (C_p) au niveau du bord de fuite pour tous les cas.
- La chute de pression apparait lors du décollement du fluide de la surface du cylindre aux grandes valeurs d' angle d' incidence ($\alpha > 12^\circ$).

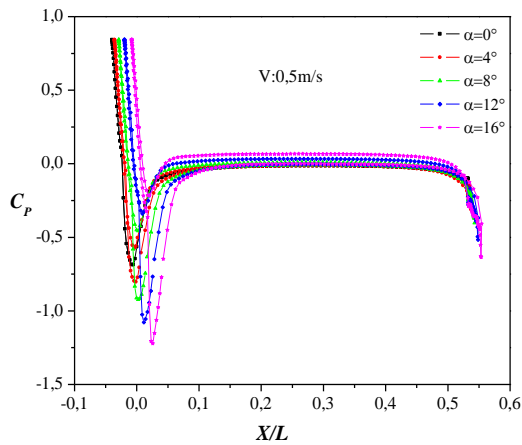


Fig.8. a) Variation du coefficient de pression pour les différents angles pour la vitesse $V : 0.5\text{m/s}$

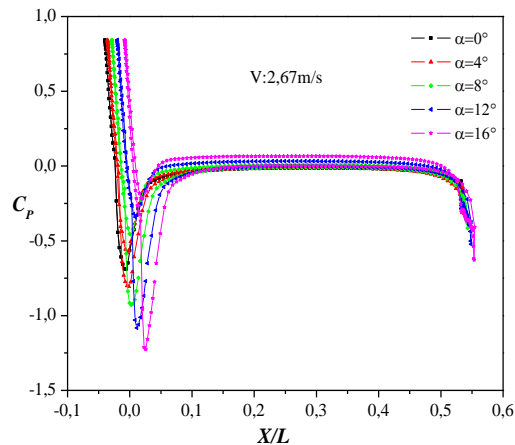


Fig.8. b) Variation du coefficient de pression pour les différents angles pour la vitesse $V : 2.67\text{m/s}$

IV. CONCLUSION

Le résultat de cet article est donc une contribution à la conception et la simulation à bas coût pour un véhicule sous-marin de forme torpille. Les performances hydrodynamiques d'un véhicule sous-marin d'une forme de torpille et l'angle d'attaque du véhicule ont été abordées par une simulation numérique à l'aide d'un logiciel de calcul dynamique CFX

L'ensemble des résultats obtenus semble s'accorder assez bien avec les données expérimentales déjà acquises, notamment sur l'évolution des coefficients hydrodynamiques autour de la torpille étudiée.

Pour l'étude de prédiction des performances de l'engin sous-marin de forme torpille, différentes simulation ont été exécutées, en variant l'angle d'attaque pour différentes vitesses. Les résultats ont été présentés en terme de forces hydrodynamique F_x et F_y , coefficients de portance C_D et de trainée C_L et coefficients de pression en fonction de l'angle d'attaque α . Il est montré que pour des angles supérieurs, les coefficients C_D et C_L diminuent considérablement.

REFERENCES

- [1] J. Park, S. Kim, M. Kim, J. Choi, Y. Jeon, M. Shin, Y. Shin, D. Kang and J. Choi, NUMERICAL analysis of drag and hydrodynamic derivatives of non-symmetric autonomous underwater vehicle using cfd.
- [2] R. Madhan, Elgar Desa, S. Prabhudesai, mechanical design and development aspects of a small auv – maya, National Institute of Oceanography, Dona Paula, Goa 403 004, India
- [3] Xiang Li, Min Zhao, Faming Zhao, Qingqing Yuan and Tong Ge, Study on hydrodynamic performance of Heavier-than-water AUV with overlapping grid method, Ocean Systems Engineering, Vol. 4, No. 1(2014) 001-019 DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/ose.2014.4.1.001>
- [4] Barros, E.A., A.Pascoal and E.de SA (2004). AUV dynamics: Modelling and parameter estimation using analytical and semi-empirical and CFD methods In Proceedings of 6th IFAC, CAM 2004, Ancona, Italy
- [5] Yan, H., Investigation on design, navigation and motion performance of a Heavier-than-water AUV, Ph. D. Dissertation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai (in Chinese) (2012).
- [6] Sakamoto, N., Carrica, P.M. and Stern, F. (2012), "URANS and DES simulations of static and dynamic maneuvering for surface combatant: part 1. Verification and validation for forces, moment and hydrodynamic derivatives", J. Marine Sci. Technol., 17(4), 422-445.
- [7] Ahmed, S., Nazari, A., Wahba, E., Numerical Analysis of Separation Control Over an Airfoil section, (2014) international Review of Aerospace Engineering (IREASE),7(2),pp.61-68
- [8] Salim, W., Ahmed, S., Prediction of Turbulent Swirling Flow in a Combustor model, (2016) international Review of Aerospace Engineering (IREASE), 9(2), pp.43-50