

## Optimisation de la vitesse d'un catamaran grâce à l'ajustement de l'incidence du foil

Ayant, mon binôme et moi, pratiqué la navigation en catamaran durant quelques années, au moment du choix du sujet, l'étude de ce dernier nous est venue tout naturellement.

Ces dernières années, dans l'objectif d'améliorer les performances des catamarans de course, les foils se sont développés. Ils rendent la pratique de ce sport plus délicate, mais ouvrent la voie à de nouvelles optimisations.

**Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.**

**Liste des membres du groupe :**

- *FERRY--PAPON Clovis*

**Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :**

- *PHYSIQUE (Mécanique)*

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*

**Mots-clés (ÉTAPE 1) :**

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Foil</i>	<i>Hydrofoil</i>
<i>Portance / Traînée</i>	<i>Lift / Drag</i>
<i>Dynamique des fluides numérique</i>	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
<i>Simulation numérique</i>	<i>Numerical Simulation</i>
<i>Cavitation</i>	<i>Cavitation</i>

### Bibliographie commentée

Dans le cadre des courses de catamarans, l'optimisation du bateau est primordiale pour espérer arriver en tête. Cette optimisation doit viser à améliorer différentes caractéristiques du catamaran telles que la vitesse, la stabilité et la maniabilité.

Afin d'atteindre cet objectif, l'utilisation des foils est reconnue comme étant particulièrement efficace. Cette ailette immergée, similaire à une aile d'avion, située sous la coque permet au

bateau de « voler » au-dessus de l'eau : sous l'effet de l'accélération du fluide due à la géométrie du foil, conformément au principe de Bernoulli, une différence de pression apparaît entre l'extrados et l'intrados (surfaces supérieure et inférieure de l'aile) induisant une force verticale appelée force de portance. Cette force croît lorsque le bateau accélère et tend à éléver ce dernier au-dessus de l'eau, ce qui réduit de manière significative la résistance à l'avancement exercée par l'eau et par conséquent augmente fortement la vitesse du catamaran. [4][2]

Cependant, l'utilisation de foils dans les sports nautiques requiert rigueur et précision. En effet, l'incidence du foil doit être maîtrisée pour optimiser la vitesse tout en évitant le décrochage, le déséquilibre et le phénomène de cavitation. [5]

Nous concentrerons notre étude sur l'optimisation des performances du foil. Parmi les paramètres ayant une influence sur ces performances (forme générale du foil, profil du foil, matériaux utilisés, etc.) nous nous focaliserons sur l'angle d'incidence.

Nous nous appuierons sur les bateaux F50 utilisés lors des courses de la compétition SailGP. Ces catamarans disposent d'un système de contrôle de l'angle d'incidence des foils permettant de l'adapter en temps réel. Nous aurons recours à la simulation numérique, méthode la plus adaptée à notre étude. Ce procédé permet de réaliser un très grand nombre de calculs nous fournissant des résultats relativement proches de la réalité. [4][2]

L'ajustement de l'incidence du foil aura pour but de maximiser la force de portance afin de permettre au bateau de « décoller » à faible vitesse. Cependant, nous veillerons à contrôler cette portance dans le but de conserver la stabilité du catamaran car une élévation trop importante du bateau conduirait à un déséquilibre. Par la suite, il conviendra de prendre en compte la force de traînée générée par le foil. Cette dernière, exerçant un effet de freinage sur le bateau, devra être minimisée, tout en veillant à ne pas compromettre l'aptitude du catamaran à maintenir son vol. [2][3]

Par ailleurs, certains phénomènes tels que la cavitation ne peuvent pas être ignorés. En effet, à haute vitesse, une forte dépression apparaît sur l'extrados formant des bulles de vapeur. Ces dernières, implosant, dégradent alors le foil. Ce phénomène, s'accentuant avec l'augmentation de l'angle d'incidence, devra donc être considéré. [1]

En vue de respecter les différentes contraintes et exigences citées plus tôt, nous aurons donc pour objectif de trouver l'incidence optimale en fonction de la vitesse du catamaran pour différentes situations. [3][5]

La simulation numérique sera complétée d'une approche plus théorique basée sur des modèles. Ces deux démarches offriront alors une comparaison permettant de discuter la validité des différentes hypothèses.

## Problématique retenue

Comment ajuster l'angle d'incidence d'un foil afin de maximiser la vitesse et la stabilité d'un catamaran ?

## Objectifs du TIPE du candidat

- Simulation numérique du déplacement d'un foil pour visualiser les forces s'exerçant dessus
- Recherche de l'angle d'incidence optimal pour les différentes phases de la navigation
- Prise en compte du phénomène de cavitation dans les stratégies de courses
- Comparaison des résultats avec ceux obtenus par mon binôme
- Validation de l'étude avec les résultats officiellement utilisés en course

## Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] DI ZHU – RUOFU XIAO – RAN TAO – FUNJUN WANG : Designing Incidence-Angle-Targeted Anti-Cavitation Foil Profiles Using a Combination Optimization Strategy : *Energies* (2018) Volume 11 Numéro 11 (Special issue Engineering Fluid dynamics) [https://www.researchgate.net/publication/328904288\\_Designing\\_Incidence-Angle-Targeted\\_Anti-Cavitation\\_Foil\\_Profiles\\_Using\\_a\\_Combination\\_Optimization\\_Strategy](https://www.researchgate.net/publication/328904288_Designing_Incidence-Angle-Targeted_Anti-Cavitation_Foil_Profiles_Using_a_Combination_Optimization_Strategy)
- [2] GÜNTHER MIGEOTTE : Design and Optimization of Hydrofoil-Assisted Catamarans : *University of Stellenbosch, Department of Mechanical Engineering, Dissertation (2002)*, pp. 61-79 <http://hdl.handle.net/10019.1/52756>
- [3] IRA H. ABBOTT - ALBERT E. VON DOENHOFF - LOUIS S. STIVERS, JR : Summary of Airfoil Data : *NACA Technical Reports (1945)*, Document ID : 19930090976
- [4] AHMAD FIRDAUS - KETUT SUASTIKA : Experimental and Numerical Study of Effects of the Application of Hydrofoil on Catamaran Ship Resistance : *Proceedings of the 4th International Conference on Marine Technology, SciTePress (2019)*, pp. 104-110, DOI: 10.5220 /0010854400003261
- [5] ANDREAS HÖRBERG - FELIX LUNDGREN : Flight Control System for a Hydrofoil Boat : *Chalmers University of Technology, Department of Mechanics and Maritime Sciences, Division of Vehicle Engineering and Autonomous Systems, Master's Thesis (2023)* <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/fbd8be1b-eaa0-456f-83ad-7d410d1a258c/content>

## DOT

- [1] : [Février-Mars 2023] Recherche sur les avantages d'utilisation des foils sur les F50 de SailGP et le principe de portance qu'ils génèrent. Appropriation des notions relatives à l'étude des catamarans de course. Détermination d'un objectif global d'optimisation de la vitesse des catamarans grâce à la manipulation des foils.

**[2]** : [Avril-Mai 2023] Compréhension des modes d'études d'un catamaran et recherche des informations nécessaires sur les F50. Travail sur la géométrie .STEP de Johan von Matern pour déterminer le profil du foil utilisé en course grâce à arifoiltools.com. Prise de contact avec Hugo Stubler, ingénieur data scientist chez SailGP, qui accepte de superviser notre étude pendant ces 2 ans.

**[3]** : [Juin-Août 2023] Introduction à Ansys Fluent et à la dynamique des fluides computationnelle. Établissement des volumes fluides autour du foil et d'un maillage optimum par étude du Y+ et du temps de calcul.

**[4]** : [Septembre-Octobre 2023] Lancement des calculs pour chaque vitesse et chaque angle et récupération des données de portance, de traînée et de Y+ dans un tableur. Création d'une première courbe d'angle d'incidence optimal. Comparaison de ce premier résultat avec Hugo Stubler qui crée de nouveaux objectifs d'amélioration des résultats obtenus.

**[5]** : [Novembre 2023] Compréhension des phénomènes physiques négligés lors de la première étude numérique tels que la cavitation et la ventilation grâce à deux entretiens avec Augustin Hugues passionné de navigation et Bertrand Malas architecte naval à l'école centrale Nantes.

**[6]** : [Novembre-Janvier 2023] Essais de prise en compte des phénomènes plus fins en utilisant une simulation numérique avec l'aide de Alain Laville ingénieur en mécanique des fluides et spécialiste de Ansys Fluent. Mise en place d'une méthode plus approximative de prise en compte de la cavitation par une approche analytique sur la formule de la portance et le calcul de la densité d'un fluide à 2 états.

**[7]** : [Février-Avril 2023] Adaptation des résultats en exécutant la méthodologie convenue et nouvelles comparaisons du résultat final avec Hugo Stubler mais aussi avec Raphaël Censier ingénieur naval pour l'America's Cup et SailGP et David Rey data analyst chez SailGP. Compréhension des origines des erreurs commises par rapport à la réalité et prise de contact avec Frédéric HAUVILLE pour faire un essai dans un tunnel de cavitation qui n'a pas pu se faire mais qui aurait permis de valider l'étude approximative.

**[8]** : [Mai-Juin 2023] Mise en forme des résultats et de la présentation sur Latex Beamer et mise en cohérence de mes résultats avec mon binôme Clovis FERRY--PAPON pour une validation ultime de nos résultats.