

Etude prospective de foils pour Twino

Mohamed BOUDHINA
Lucas CARPENTIER
Ewen GUIVARCH
Titouan LAOT
Rozenn LE BIHAN
Emma LE GUEN
Maxime MENEGOLLA
Bastien ROY
Nolwenn STÉPHAN

ENCADRANTS :

Sophie BERLIOZ
Mehmet ERSOY
Ghizlane KINANI
Gilles TEDESCHI

- PROJET 1A - ÉQUIPE 13 -

Juin 2023

Remerciements

La quatrième équipe sur le projet d'étude prospective de foils pour Twino tient particulièrement à remercier :

- Mme. Kinani, enseignante de sciences humaines à Seatech et encadrante dans la gestion de projet, pour son aide dans la gestion de notre projet et particulièrement pour la mise en place des différentes techniques de gestion.
- Mme Berlitz, M. Ersoy, M. Tedeschi, enseignants chercheurs à Seatech, pour leur aide dans l'appréhension du sujet vis-à-vis de nos compétences ainsi qu'à la gestion du projet du point de vue scientifique.
- M. Jeanjean, employé chez Twino & Tuiva et notre interlocuteur avec l'entreprise sur ce projet, pour son projet innovant, son ouverture d'esprit ainsi que sa bonne humeur.

Table des matières

Introduction	1
Objectifs	2
1 Modèle de la limule	4
1.1 Dimensionnement de la limule	4
1.2 Protocole d'expérimentation de la limule	4
1.3 Réalisation du modèle pour l'impression 3D	5
1.4 Choix du matériau d'impression	5
1.5 Résultats expérimentaux	5
2 Modèle de foil proposé par l'équipe	8
2.1 État de l'art	8
2.2 Étude des types de profil	10
2.3 Modèle retenu	12
2.4 Étude du dimensionnement du foil en T	13
2.5 Modélisation 3D du modèle sur le catamaran	14
2.6 Étude expérimentale	15
2.7 Analyse de l'amélioration possible au vu des problèmes	15
Conclusion	17
Annexe	20

Résumé

Durant notre étude, nous souhaitions proposer des solutions pour permettre au catamaran de l'entreprise Twino & Tuiva de voler 20 cm au-dessus de l'eau. Pour cela, nous nous sommes penchés sur deux formes de foil possibles : la première s'inspire de la limule, proposée par l'entreprise, et la seconde est un foil en T qui s'étendrait sur toute la largeur du catamaran. Notre but a été de pouvoir valider ou invalider certaines conditions du cahier des charges et de proposer, dans le cas d'une impossibilité, une solution alternative possible. D'une part, nous avons modélisé numériquement le foil en forme de limule afin de tester ses performances et de répondre sur la validité de cette solution quant aux cahiers des charges. D'autre part, nous avons proposé d'étudier un autre modèle inspiré du foil en T qui permettrait de faire décoller notre catamaran grâce à la force de portance générée par celui-ci.

Pour proposer ce second modèle de foil, nous avons étudié les différents types de foils déjà existants, en comparant leurs avantages et inconvénients respectifs. Cette étude nous a permis d'identifier un type de foil respectant au mieux notre cahier des charges. Nous avons retenu le foil en T que nous avons adapté à notre embarcation. Nous avons également choisi un profil d'aile pour le foil permettant de générer une portance suffisante afin de porter les 650 kg de l'embarcation.

Nous voulons ensuite réaliser des impressions 3D des deux foils en modèles réduits dans le but d'effectuer des tests et calculs de portances en bassin dans le canal à houle.

Mots clés

Foil, Limule, Portance, Biomimétisme, Navigation

Abstract

During our study, we wanted to propose solutions to enable the Twino & Tuiva catamaran to fly 20 cm above the water. To do this, we looked at two possible foil shapes : the first was inspired by the horseshoe crab, proposed by the company, and the second was a T-shaped foil that would span the entire width of the catamaran. Our aim was to be able to validate or invalidate certain conditions of the specifications and, in the case of impossibility, to propose a possible alternative solution. On the one hand, we numerically modeled the horseshoe crab-shaped foil to test its performance and answer questions about the validity of this solution in terms of the specifications. On the other hand, we proposed to study another model inspired by the T-shaped foil, which would enable our catamaran to take off thanks to the lift force generated by it.

To propose this second foil model, we studied the different types of foils already in existence, comparing their respective advantages and disadvantages. This study enabled us to identify a type of foil that best met our specifications. We chose the T-shaped foil, which we adapted to our boat. We also chose a wing profile for the foil that would generate sufficient lift to carry the 650kg of the boat.

Our next aim is to produce 3D prints of the two foils in scale models, and then carry out tests and lift calculations in the swell channel at our disposal.

Keywords

Foil, Horseshoe crab, Lift, Biomimicry, Navigation

Introduction

Les sports de loisirs nautiques offrent une escapade rafraîchissante et dynamique aux amateurs de plaisirs aquatiques. Que ce soit en explorant les eaux calmes d'un lac tranquille, en surfant sur les vagues de l'océan ou en naviguant sur les rivières tumultueuses, ces activités offrent une expérience unique de divertissement en plein air. Les sports de loisirs nautiques comprennent une variété d'activités, allant des pédalos aux catamarans, en passant par le kayak, le stand-up paddle, le jet ski et bien d'autres encore.

Ainsi, les foils représentent une innovation technologique révolutionnaire utilisée dans le domaine de la navigation. Ils ont été popularisés dans les années 2000 après avoir été introduits par Eric Tabarly avec son trimaran à foil, et ont fait leur première apparition lors de l'édition 2016 du Vendée Globe.

Ces dispositifs sont également connus sous le nom de foils hydrodynamiques. Ils ont transformé notre interaction avec l'eau en améliorant, par exemple, la vitesse, l'efficacité et la stabilité des embarcations. L'idée de créer des foils provient des travaux d'architectes navals et d'ingénieurs aéronautiques qui se sont inspirés du principe de la portance aérodynamique. Tout comme les ailes d'un avion lui permettent par l'intermédiaire de la portance de s'élever dans les airs, les foils utilisent le même principe pour soulever l'embarcation au-dessus du niveau de l'eau, ce qui réduit la traînée hydrodynamique et permet d'obtenir de meilleures performances.

Un foil est une aile profilée placée sous la coque d'une embarcation. À une certaine vitesse, l'eau qui s'écoule sur le dessus de l'aile crée une différence de pression par rapport au dessous de l'aile, générant ainsi une force de portance dirigée vers le haut. Cela soulève la coque de l'embarcation au-dessus du niveau de l'eau, ce qui réduit la surface de contact entre l'eau et la coque et diminue la résistance. Les foils sont utilisés dans de nombreux domaines tels que la planche à voile, le kitesurf, le paddleboard et même certains paquebots de luxe.

Olivier Jeanjean, créateur de l'entreprise de Nova Design, a proposé le projet d'installer un foil sur un catamaran de loisir. L'objectif est de faire voler le catamaran à 20 cm de la surface de l'eau et à une vitesse comprise entre 6 et 8 km/h.

Après avoir défini nos objectifs, nous étudierons le modèle de foil inspiré de la limule qui nous a été proposé par Olivier Jeanjean. Puis, nous étudierons un autre modèle de foil que nous avons adapté à l'embarcation et aux contraintes liées au cahier des charges.

Objectifs

Le but de ce projet est, pour l'entreprise, de rendre la navigation accessible aux plus sceptiques. En effet, face à la démocratisation du foil dans le monde sportif, celui-ci paraît au premier abord difficile d'accès pour le grand public en raison des dispositifs nécessaires, de l'expertise requise ainsi que du prix élevé de ces mêmes dispositifs.

L'objectif est de tester le modèle de foil fourni par l'entreprise dans le but d'évaluer sa faisabilité d'un point de vue physique. L'embarcation est destinée à la plaisance, et doit donc être accessible à tous, notamment à ceux qui pourraient avoir des appréhensions concernant la navigation. La vitesse est donc limitée et la manipulation de l'embarcation ne nécessite aucune compétence particulière. Nous allons donc étudier le foil proposé ainsi qu'au moins une autre possibilité de foil que nous avons sélectionné en accord avec les critères du cahier des charges, dans l'idée de répondre au mieux aux conditions présentées précédemment.

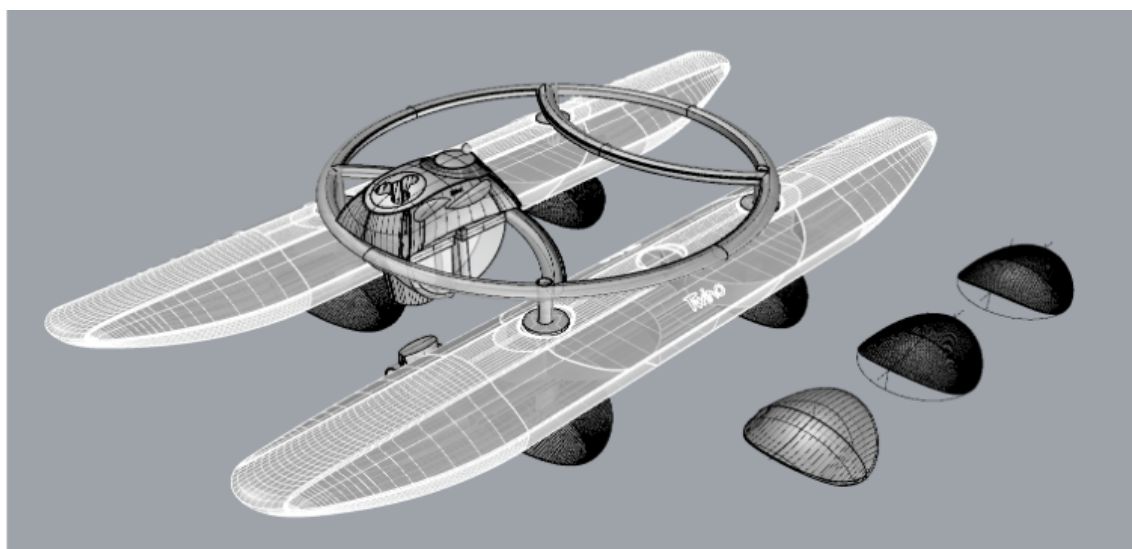


FIGURE 1 – Design proposé par l'entreprise avec les foils inspirés de limule

Après une prise de contact avec M. Jeanjean, nous avons obtenu toutes les informations nécessaires pour établir un état de l'art.

Nova Design a imaginé des différentes embarcations modulables : Véla Latina (catamaran avec voile), Meridian, E-Solar (avec parasol), Cyclo 4 (pédalo).

Cahier des charges

De ces informations obtenues par l'entreprise, le cahier des charges a été réalisé.(Figure 2). Celui-ci nous permet ensuite de répondre au mieux aux attentes de l'entreprise.

Pour l'utilisateur, le catamaran doit être stable, agréable et facile à faire naviguer. Il doit pouvoir se déplacer dans un maximum de zones sans problèmes liés aux foils qui seraient installés. Il faut limiter sa dangerosité en cas de contact ou choc, et encore sa longueur qui obligerait l'utilisateur à ne naviguer qu'en eaux profondes.

	Fonctions de service	Critères d'appréciations	Niveaux d'appréciations	Flexibilité
FC1	Déplacement	Vitesse	v=6 à 8 km/h	Limité par la puissance moteur
FC2	Dimension bateau	Longueur	460 cm	Dimension constructeur
		Largeur	230 cm	
FC3	Poids	Poids maximum	<650 kg	Aucune
		Flotteurs	32kg x2	Aucune
		Toile trampoline	33kg	Aucune
		4 passagers	320kg (80 kg/per)	Faible
		Propulsion, batterie	<100kg	Aucune
		Victuailles (boissons, barbecue)	6kg	Importante
FP1	Décoller au dessus de l'eau	Hauteur de "vol"	<=20 cm	Aucune
FC4	Propulsion électrique	Autonomie	1000 à 1200 Watts	Aucune
FC5	Sécurité du foil	Dimension	Limité à la largeur du bateau	Faible
		Impact	Bord d'attaque arrondi, vitesse limitée	Faible
FC6	Environnemental	Matériau	Recyclable, non polluant	Aucune
FC7	Foil	Matériau	Polyéthylène	Aucune

FIGURE 2 – Cahier des charges fonctionnel

Du point de vue scientifique, le défi est de faire voler le catamaran de 650 kg à 20 cm au-dessus de l'eau. Avec un tel poids, il faut une surface de foil importante pour que la portance soit suffisante.

La majorité des foils sont adaptés pour des catamarans sportifs. Ils ont ainsi la capacité d'aller à des vitesses importantes. Les circonstances à faibles vitesses sont différentes. Les problèmes de ventilation ou de cavitation, qui sont généralement des phénomènes relatifs à des vitesses importantes, ne sont pas observés [1].

Après avoir établi les critères contraignants, nous nous sommes mis à réfléchir sur les pistes d'études possibles.

Partie 1

Modèle de la limule

L'objectif est de tester la portance d'un foil en forme de limule fabriqué par impression 3D afin de le tester dans un canal à houle.

Pour cela, nous allons suivre ces différentes étapes :

- Dimensionnement d'un foil qui peut rentrer dans le canal à houle sans subir les effets des parois.
- Réaliser le modèle de foil prêt à l'impression avec une plateforme (4 trous pour l'accroche) pour ajuster le poids en respectant les dimensions.
- Choisir le matériau d'impression et réaliser l'impression
- Réaliser le protocole
- Collecter et interpréter les résultats

1.1 Dimensionnement de la limule

Pour déterminer les dimensions du modèle réduit pour pouvoir réaliser l'expérience dans le bassin à houle, nous avons réalisé un modèle réduit de foil, de largeur 20 cm maximum (contrainte donnée par la largeur du canal).

Sachant que le foil taille réelle fait 70 cm de diamètre, nous avons donc une réduction de facteur 0.286. Nous augmentons aussi la taille du mât (30*16*4 cm) afin de s'assurer que le catamaran puisse se soulever de 20 cm. Nous pouvons donc déterminer le volume puis la masse de notre modèle réel en prenant comme matériaux l'aluminium anodisé de masse volumique 2.7 kg/dm^3 : volume = 0.0173 m^3 , masse = 46.74 kg . Le poids du modèle réduit doit donc être $3.5^3 = 43$ fois plus léger donc 1.08 kg. Par un produit en croix avec le poids d'un foil taille réel qui doit soulever 162.5 kg, nous pouvons donc déterminer la masse théorique que doit soulever le modèle réduit : 3.75 kg. Sachant que la masse volumique du PLA (matériau avec lequel sera imprimé le modèle) est de 1250 kg/m^3 le modèle réduit fera donc 500 g et devra être capable de porter 1.74 kg.

- Dimensions du bassin : 27 cm d'eau et 30.5 cm de large
- Dimension de l'embarcation : 2.50 m de largeur par 4m de longueur
- Poids de l'embarcation : 650 kg
 - Flotteurs : 32x2 kg
 - Trampoline : 33 kg
 - 4 passagers assis (sans chahut) : 320 kg
 - Propulsion, batteries : max 100 kg
 - Victuailles : min 6 kg
- Charge par foil(4) : 162.5 kg

1.2 Protocole d'expérimentation de la limule

Ce protocole expérimental a été établi afin de mettre en pratique l'expérience que nous souhaitons mener sur le foil limule.

- Réaliser l'étalonnage du canal.
- Placer notre foil dans le canal et l'accrocher à l'aide d'une corde de façon perpendiculaire au plan d'eau.
- Réaliser une marque de référence de hauteur
- Installer un système vidéo pour traquer l'évolution de hauteur. La vidéo nous permet de voir la variation de notre marque de référence en fonction de la vitesse.
- Lancer le canal à houles à une vitesse initiale déterminée par le dimensionnement pour voir s'il y a une portance ou une variation de hauteur significative, le cas échéant continuer jusqu'à observer le phénomène escompté.
- Analyser la vidéo pour voir si ce foil est capable de faire décoller notre charge.

1.3 Réalisation du modèle pour l'impression 3D

Nous avons réalisé le modèle pour impression 3D sur SolidWorks (FIGURE 1.1) en utilisant la modélisation Catia fournie par l'entreprise. Nous avons effectué le redimensionnement de la limule et du mât auxquels nous avons ajouté une plateforme comportant des trous par lesquelles nous allons faire passer la corde pour fixer notre structure au canal à houles. L'objectif de cette plateforme et de répartir la tension sur l'ensemble de la surface afin d'avoir une structure la plus stable possible.

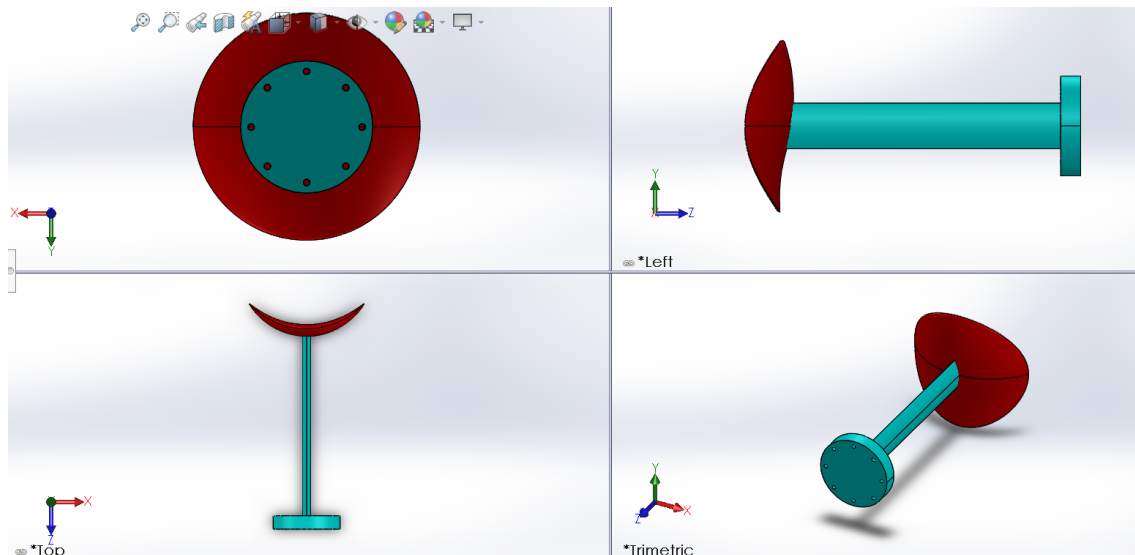


FIGURE 1.1 – Modélisation sur SolidWorks du foil limule

1.4 Choix du matériau d'impression

Pour se faire nous choisissons un plastique qui soit assez résistant pour supporter la charge que nous voulons apporter à la structure : le PLA.

1.5 Résultats expérimentaux

Une première impression a été réalisée mais sans succès car elle s'est cassée. En effet, l'imprimante n'étant pas assez grande pour imprimer la pièce en une seule partie, nous avons dû l'imprimer en deux parties (le mât et la limule). La seconde impression est terminée cependant il y a un problème d'impression au niveau de la structure extérieure de la limule. Nous avons rencontré un nouveau problème : la liaison entre le mât et la limule n'est pas adaptée. Voici les photos de l'impression (FIGURE 1.2) :



FIGURE 1.2 – Impression 3D de la limules

Par manque de temps, nous n'avons pas pu mener à bien l'expérience souhaitée. C'est pourquoi nous avons pu seulement faire le montage de façon brève afin de visualiser le déroulement de l'expérience (FIGURE 1.3).



FIGURE 1.3 – Limule dans le canal

Partie 2

Modèle de foil proposé par l'équipe

2.1 État de l'art

Nous avons analysé les points forts et les inconvénients de chacun des foils déjà existants pour nous guider dans le choix de notre foil [2].

- Le foil en Y est conçu pour les multicoques à foil d'appoint. Ce type de foil a l'avantage de s'auto réguler pour éviter de décrocher. Les efforts sont équilibrés avec ce type de foil. Il se fixe sous la coque. Sa forme peut cependant être dangereuse (FIGURE 2.1).

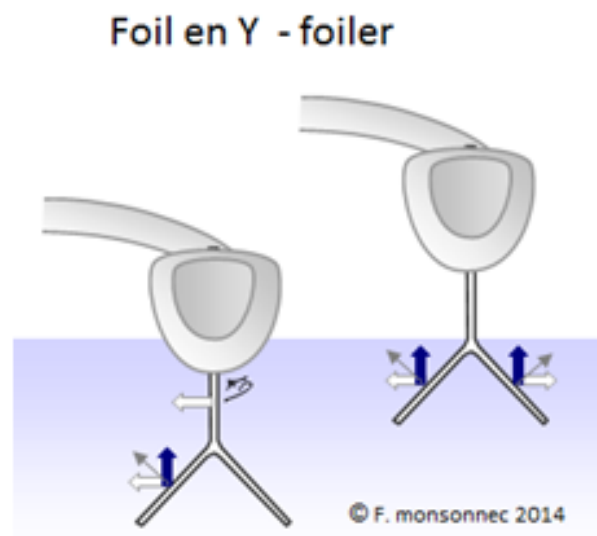


FIGURE 2.1 – Foil en Y

- Le foil en O est simple à produire, sa forme n'est pas dangereuse et lui permet d'être résistant. L'inconvénient est que ce type de foil est encore au stade expérimental (FIGURE 2.2).

Foil en O - hydrofoil

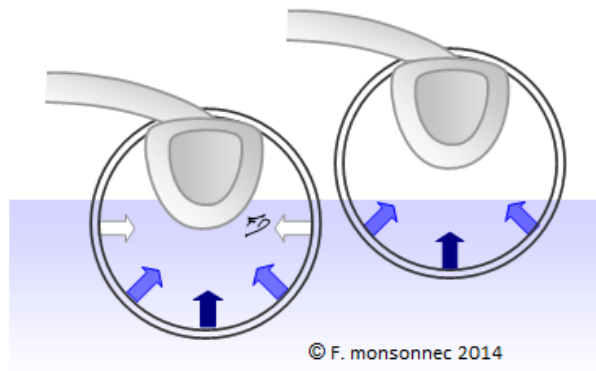


FIGURE 2.2 – Foil en O

- Le foil en T est le plus démocratisé, nous avons trouvé beaucoup plus de documentation à son sujet que pour les autres foils. Il possède une architecture solide grâce à sa portance transmise verticalement le long du bras. Il n'est par ailleurs pas stable et nécessite un asservissement (FIGURE 2.3).

Foil en T - hydrofoil

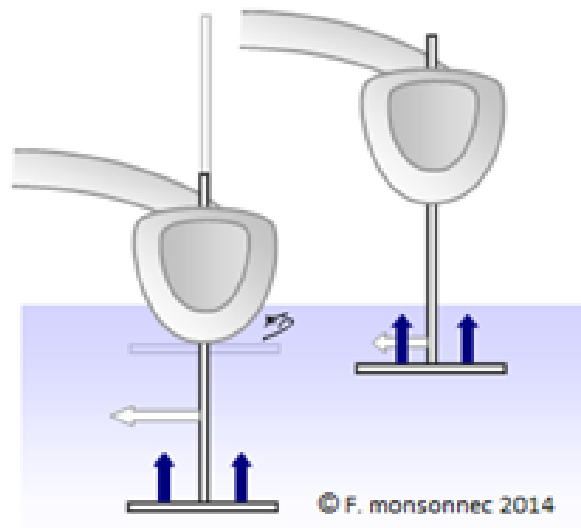


FIGURE 2.3 – Foil en O

- Le foil en V s'autorégule et conserve le même angle d'incidence par rapport à la plateforme. Il possède un système de rétractation plus facile à mettre en place. L'inconvénient est sa taille, il est plus long donc plus encombrant. L'effort est perturbé par les mouvements en surface (vagues) et la ventilation à haute vitesse (FIGURE 2.3).

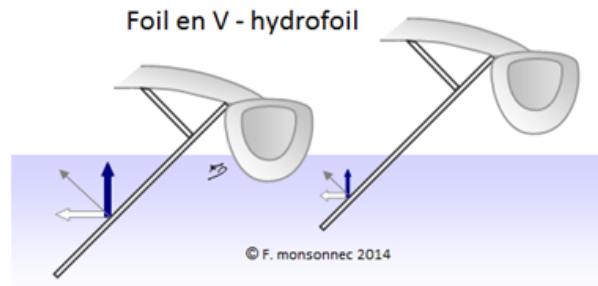


FIGURE 2.4 – Foil en T

- Le foil en J est beaucoup plus complexe à produire que les foils en plan. La ventilation est retardée par la forme ce qui permet de gagner en stabilité (FIGURE 2.5).

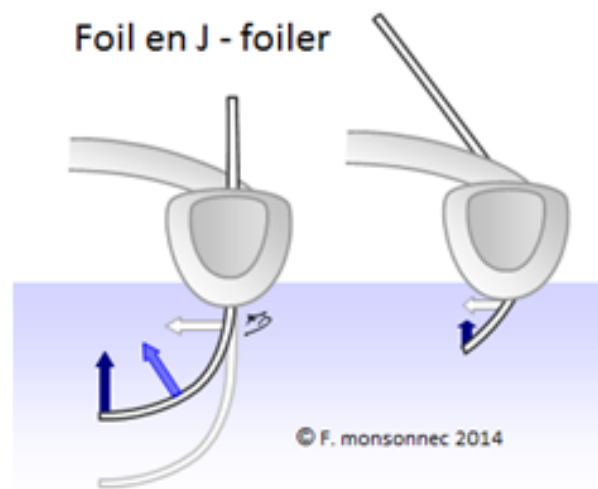


FIGURE 2.5 – Foil en V

Ainsi, les différents types de foils offrent des caractéristiques techniques uniques et sont utilisés dans des disciplines nautiques variées. Les foils à bascule offrent une stabilité directionnelle et un contrôle précis de la hauteur de vol, tandis que les foils en C sont adaptés aux sports nautiques légers et offrent une bonne stabilité latérale. Les foils en L et en V offrent une excellente stabilité directionnelle et une grande portance, tandis que les foils en T inversé sont conçus pour des conditions de navigation plus extrêmes. Les foils asymétriques permettent un réglage précis pour optimiser les performances. La sélection du type de foil dépendra des besoins spécifiques du bateau ou du véhicule nautique, ainsi que des conditions de navigation.

2.2 Étude des types de profil

Le choix du profil du foil dépend de plusieurs paramètres, pour un profil permettant un décollage à faible vitesse d'un bateau assez lourd, nous avons besoin d'un foil épais, avec une courbure importante, et un angle d'attaque important dans la limite des angles de décrochage (maximum 15°). Les coefficients de traînée ne nous semblent pas être une priorité. Nous cherchons à travailler à basses vitesses, le fait d'avoir une traînée importante bride la vitesse maximale mais ce n'est pas ici notre priorité.

Plusieurs profils potentiels différents se dessinent :

- Le profil GOE 265 (FIGURE 2.6) offre une portance très bonne pour des angles corrects (1.60

pour $\alpha = 10^\circ$, (FIGURE 2.7), la courbe montre une grande stabilité, et la forme se rapproche vaguement de l'idée initiale de l'entreprise [3].

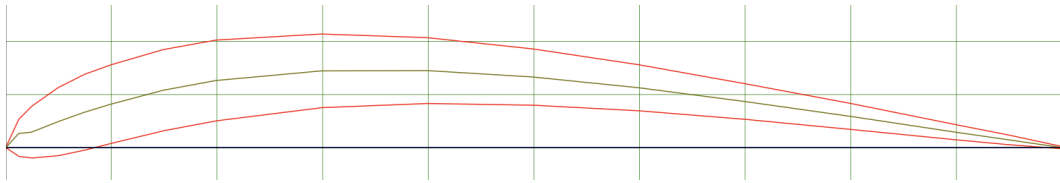


FIGURE 2.6 – Profil GOE 265

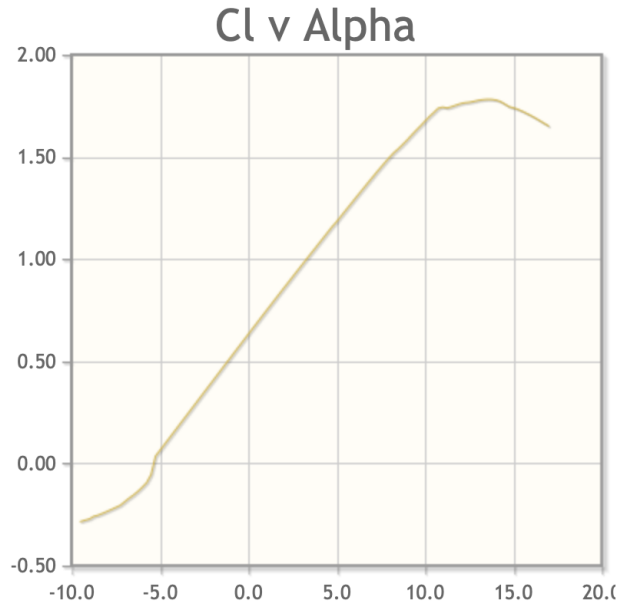


FIGURE 2.7 – Courbe polaire du profil GOE 265

- Le profil AH 93-W-480B (FIGURE 2.8) est très différent dans sa forme, c'est un profil extrêmement épais, plus simple à la réalisation, et qui offre également une très bonne portance bien que la courbe puisse sembler plus instable dans les grands angles (1.50 pour $\alpha = 11^\circ$) (FIGURE 2.9) [4].

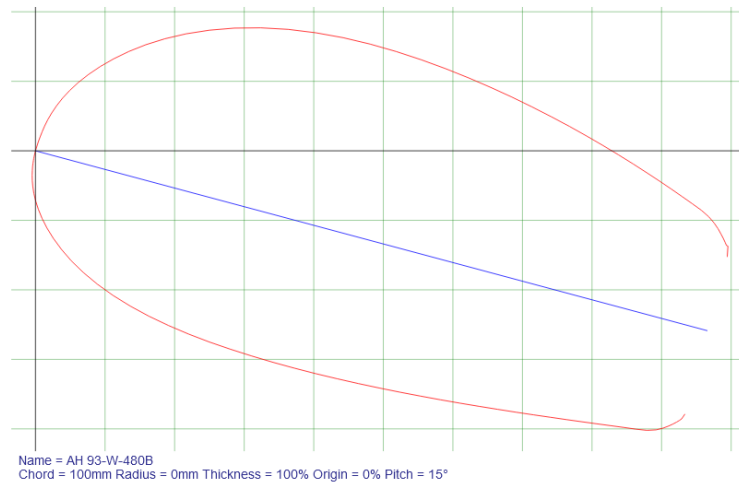


FIGURE 2.8 – Profil AH 93-W-480B

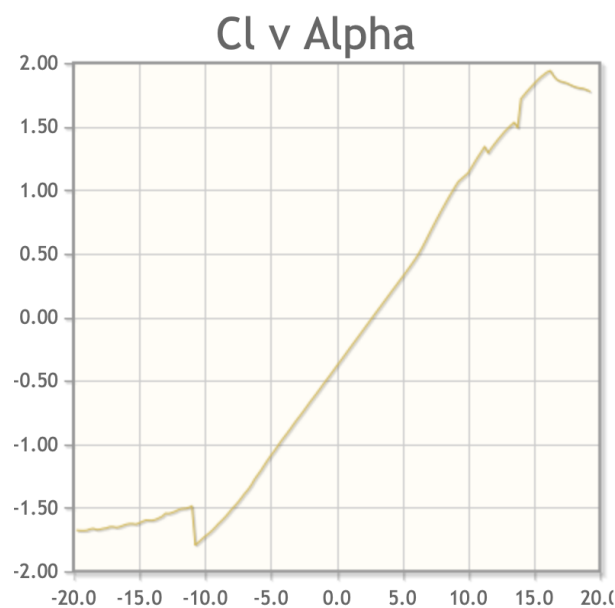


FIGURE 2.9 – Courbe polaire du profil AH 93-W-480B

Ces profils sont étudiés pour un nombre de Reynolds de 1.000.000, les calculs sont effectués sur le calculateur intégré au site airfoiltools.com pour nos données de vitesse et de dimensions du foil. Toutes les informations sont issues du site [airfoil tools.com](http://airfoiltools.com).

2.3 Modèle retenu

Choix de la forme de foil :

Le modèle de foil que nous avons retenu est le suivant :

À l'avant, nous réalisons un grand foil en T de la largeur du catamaran avec le profil GOE 265 et de corde de longueur 0.8 m qui forme un grand plan porteur unique et devrait, pour un coefficient de portance de 1.50, fournir une portance suffisante pour soulever le catamaran. A l'arrière, nous installons deux plans stabilisateurs qui permettent de compenser l'écart entre le centre de gravité du bateau et le centre de poussée du premier foil, situé plus en avant. Nous privilégions la forme en T pour plusieurs raisons : il est plus simple à réaliser, sa profondeur est toujours la même contrairement au foil en V (qui pour fournir une portance suffisante, devrait descendre trop profondément et être bien plus grand vu que la portance n'est pas dirigée à la verticale, seule la composante verticale sert la poussée), il est plus simple de s'approcher du bord et cela diminue à la fois les risques d'impact au fond et les risques de casse en cas d'impact [5].

Conséquences de ce choix :

Le choix d'un foil en T implique, contrairement à l'autorégulation induite par le foil en V dont la surface diminue avec la hauteur de vol du catamaran, que nous asservissons différemment la régulation de hauteur de vol. En effet, le foil en T fournit à vitesse constante la même portance indépendamment de la hauteur du catamaran (tant que les foils sont dans l'eau...) donc sans asservissement le catamaran va continuer de monter jusqu'au décrochage et donc la chute du catamaran [6].

Plusieurs solutions sont envisageables :

- Nous modifions directement l'inclinaison de l'intégralité du foil pour adapter la portance fournie, ce qui est compliqué au niveau des efforts en jeu (il faut modifier au niveau des deux mâts l'inclinaison de tout le plan porteur).
- Nous modifions uniquement l'extrémité des foils, sur le même principe que les volets d'un avion, ce qui simplifie les problèmes évoqués ci-dessus, mais ajoute une contrainte sur la fabrication, il faut :
 - Fabriquer un foil en deux parties, faire une jonction étanche entre les deux et asservir les volets.
 - Jouer sur les deux plans porteurs arrières, qui peuvent eux aussi être inclinés ou y intégrer le système de volets.
 - Fournir un effort suffisant à ce niveau pour compenser la portance du grand foil peut demander des efforts très importants.

Dans tous les cas une méthode pour déterminer la hauteur ou les variations de hauteur du bateau doit être mise en place, cela peut être fait avec un palpeur ou une méthode de détection informatique.

Concernant les exigences de sécurité, ce profil de foil nous permet de garantir une activité à risques très modérés. Le principal risque que nous devons considérer, est la collision avec des baigneurs. Le profil arrondi du foil empêche les risques de coupures, et la faible vitesse à laquelle navigue l'embarcation limite fortement les risques de choc violent, pouvant entraîner des blessures graves comme des traumatismes crâniens ou des fractures [7].

Le foil a été dimensionné de manière à ne pas dépasser la largeur du catamaran, afin de limiter au maximum les risques de collision. Cependant, le risque ne peut être inexistant, il sera donc primordial d'être vigilant lors de la navigation et de toujours garder un regard attentif aux autres utilisateurs.

2.4 Étude du dimensionnement du foil en T

Une fois le profil de foil choisi, il nous faut déterminer la surface nécessaire pour soulever le catamaran. Pour cela nous considérons l'équation usuelle de la portance suivante :

$$P = \frac{1}{2} \rho C S V^2$$

Cependant, comme nous l'avons établie précédemment, le foil sera légèrement incliné par rapport à l'axe horizontal, d'où le besoin de réestimer la formule de portance selon l'axe voulu, dans notre cas, l'axe vertical z.

$$P_z = P \cos(\theta) = \frac{1}{2} \rho C_z S V^2 \cos(\theta)$$

Enfin, nous récupérons la composante désirée :

$$S = \frac{2P_z}{\rho C_z V^2 \cos(\theta)}$$

Dans notre cas nous prenons : $P = mg$

$m = 650 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \theta &= 10 \text{ et donc } C_z = 1,6 \\ \rho &= 1011 \text{ kg/m}^3 \\ V &= 2,058 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Cela nous donne : $S = 1,89 \text{ m}^2$

Et donc, dans le cas où le foil prend la largeur du catamaran (c'est à dire 2,3 m) , la longueur manquante est :

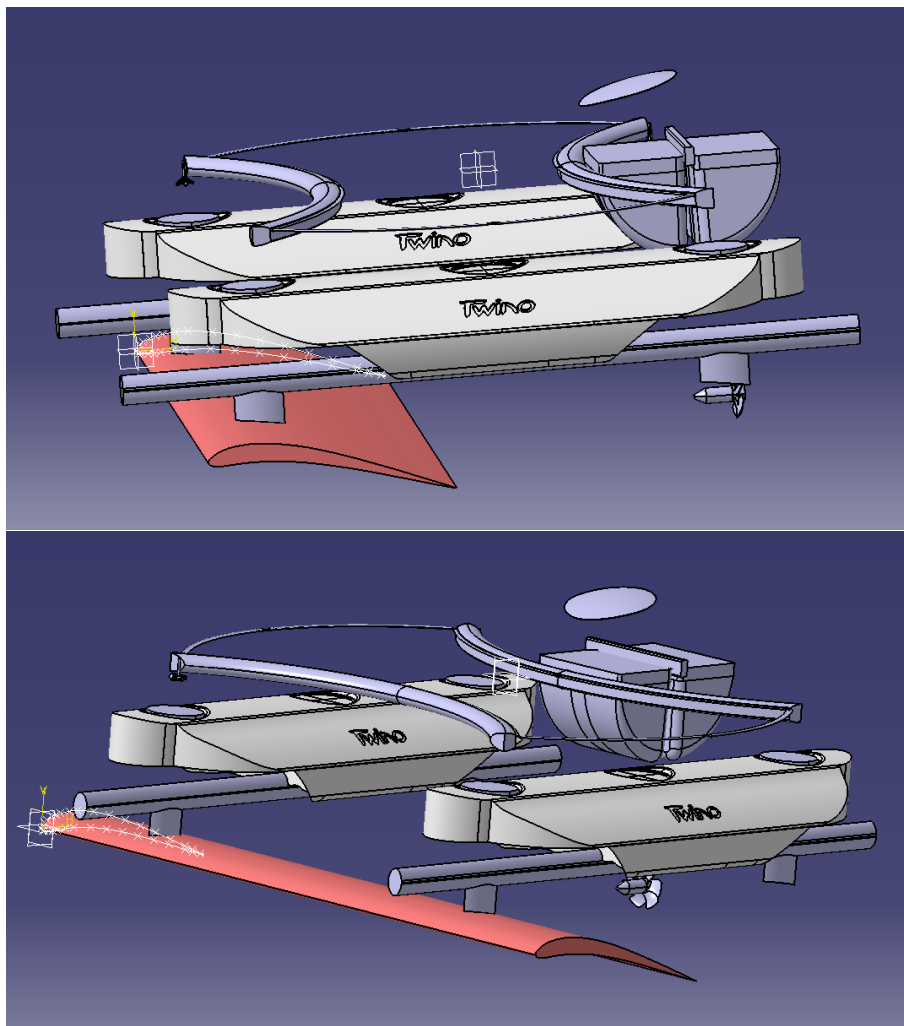
$$l = \frac{S}{L} = 0,82$$

m avec $L = 2,3\text{m}$.

Cela nous permet ainsi de passer à l'étape suivante de la conception 3D de notre foil, dans l'idée de pouvoir ensuite le tester.

2.5 Modélisation 3D du modèle sur le catamaran

Dans l'optique d'une meilleure visualisation de notre modèle de foil utilisable, nous avons réalisé la modélisation suivante.



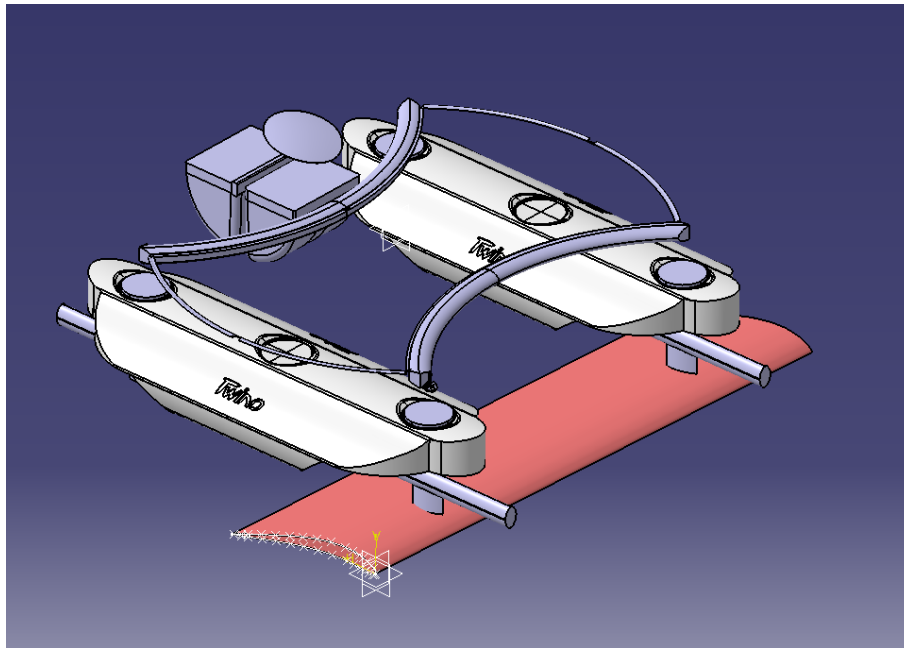


FIGURE 2.10 – Modélisation 3D du catamaran

Nous ne nous sommes concentrés ici que sur la partie foil avant. Comme dit précédemment, nous avons sélectionné un profil de foil qui nous paraissait optimal dans les circonstances du projet.

2.6 Étude expérimentale

Dans la même démarche que celle présentée pour le foil limule, nous souhaitons réaliser un test en canal avec un modèle réduit pour vérifier que le foil se lève bien de 20 cm avec une charge calculée.

2.7 Analyse de l'amélioration possible au vu des problèmes

L'étape naturelle suivant notre étude est d'intégrer une autorégulation à notre foil.

Comme introduit dans la partie 2.1 sur l'étude des différents modèles de foils, il existe de nombreuses alternatives intéressantes pouvant s'adapter à notre problème d'autorégulation. Par exemple, une forme inclinée ou incurvée permet au foil de diminuer sa portance au fur et à mesure que la surface dans l'eau se réduit lorsque le catamaran se lève. En effet, nous obtenons un état d'équilibre naturel dans le cas où le foil est précisément dimensionné au vu du poids de l'embarcation (FIGURE 2.11).

Ainsi, nous pourrions imaginer reprendre le modèle de foil en T proposé et l'adapter pour qu'il s'autorégule (figure 2.11). Nous pourrions réaliser un foil qui possède une cassure au centre (arrondie pour éviter les surcontraintes). En conséquent, lorsque que le catamaran monterait, la surface du foil diminuerait donc sa portance aussi et le catamaran pourrait être stabilisé à une certaine hauteur.

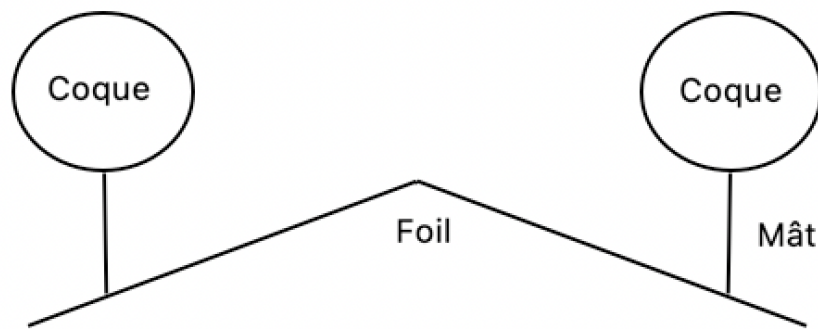


FIGURE 2.11 – Idée de foil en T autorégulé

Cette solution est intéressante, permettant ainsi à des personnes non-expertes dans le domaine de la navigation de prendre en main l'embarcation.

Conclusion

Ainsi, nous avons d'abord étudié le modèle de foil proposé par M. Jeanjean, s'inspirant de la forme d'une limule, puis nous avons proposé un autre foil que nous avons modélisé. L'étude théorique du modèle de foil montre, en se basant sur d'autres modèles de foils existants, que les forces en jeu dans ce projet nécessitent une création de portance très importante. Les surfaces nécessaires semblent trop importantes pour ce type de foil, un profil très porteur sur une surface continue nous semble plus prometteur.

Par ailleurs, les autres modèles présentés rencontrent eux aussi des problèmes sous-jacents : la nécessité d'un asservissement afin d'adapter la hauteur de l'embarcation, la stabilisation arrière, les perturbations dues au foil. Ces problèmes peuvent trouver une solution dans l'utilisation de formes plus complexes, nous avons utilisé un foil en T pour pouvoir nous concentrer sur la création d'un profil et d'une surface permettant le décollage. Néanmoins, une forme mixte entre un foil en V et en T donc en partie inclinée pourrait convenir pour résoudre la question de l'asservissement en rendant le système stable, et en gardant l'idée du foil en T pour fournir une force verticale suffisante.

Enfin, ces études ont été réalisées dans le cadre de profils sur lesquels suffisamment de ressources sont à notre disposition. Des études récentes en hydrodynamique laissent entrevoir de nouvelles possibilités, plus techniques mais potentiellement très efficaces, qui pourraient résoudre certains de nos problèmes. C'est le cas d'une technique, appliquée sur certains bateaux les plus à la pointe de la technologie, qui consiste à imiter les bosses présentes sur les nageoires des baleines à bosse sur les appendices des bateaux. Cela a été prouvé comme très efficace pour réduire la trainée (Figure 2.12), ce qui nous intéresse ici puisque la trainée créée par une aile fournissant une telle portance est très importante. Cela permettrait également de modifier complètement le principe de décrochage classique et de tenir à des angles plus élevés sans perte totale de portance (Figure 2.13). Donc nous augmenterions grandement la stabilité. Cela pourrait également être très utile pour un projet comme celui-ci [8] [9].

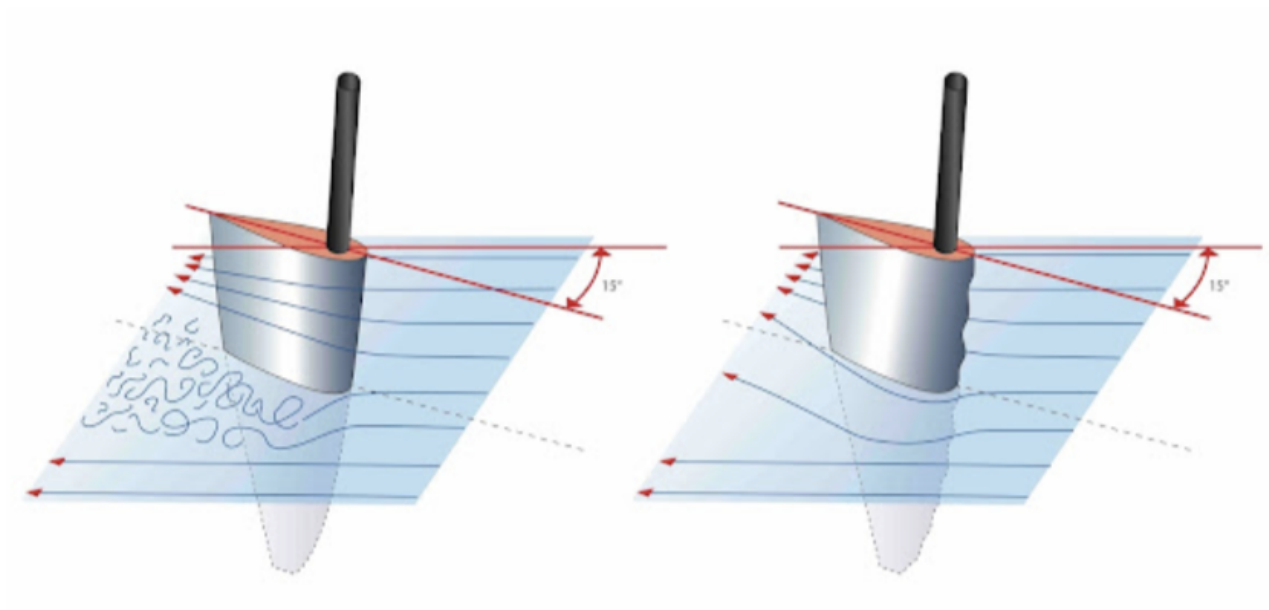


FIGURE 2.12 – Comparaison entre un foil classique et un foil à bosses

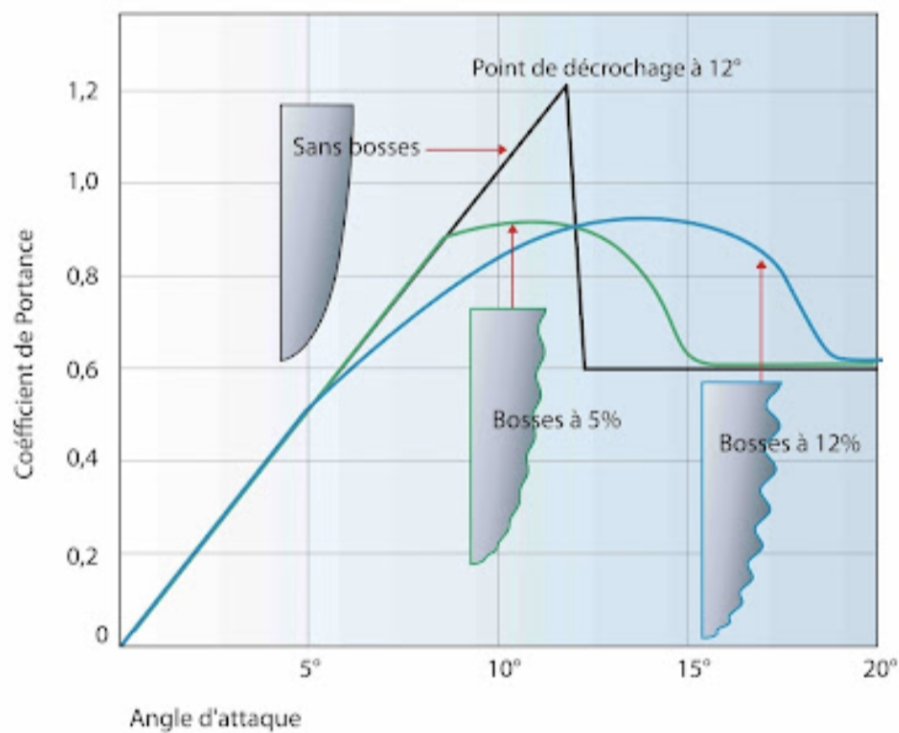


FIGURE 2.13 – Courbes de portances en fonction de l'amplitude des bosses

Bibliographie

- [1] Dr. GOULU. *La Cavitation*. 2007. URL : <https://foils.wordpress.com/2007/03/10/cavitation/>.
- [2] 2015. URL : <https://foils.wordpress.com/2014/10/26/lalphabet-du-foil/>.
- [3] *GOE 265*.
- [4] *AH93-W-480B*. URL : <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=ah93w480b-il>.
- [5] Fred MONSONNEC. 2008. URL : <https://foils.wordpress.com/2008/11/12/foils-en-t-ou-foils-en-v/>.
- [6] Bruno VON SICARD. *Non-magnetic pitch and heave stabilizing T-foil*. Master Thesis. 2002. URL : <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:234673/FULLTEXT01.pdf>.
- [7] P. NEIRAS. *Catamaran foils et sécurité*. 2015. URL : <https://pdfslide.net/documents/catamaran-foils-et-scurit-catamarans-foils-et-scurit-dcembre-2015.html?page=1>.
- [8] François CHEVALIER. *Le Rambler 88 et les baleines à bosse*. 2015. URL : <https://chevaliertaglang.blogspot.com/2015/06/rambler-88rambler-88.html>.
- [9] Pascale COLISSON. "Biomimétisme : les pales d'éoliennes imitent les nageoires des baleines à bosse". In : *Les Echos* (2018). URL : <https://www.lesechos.fr/thema/articles/biomimetisme-les-pales-deoliennes-imitent-les-nageoires-des-baleines-a-bosse-132243>.

Annexe

TABLEAU DE BORD

Dates clés du projet :

- 02/06 : Relecture du rapport par les enseignants
- 07/06 : Date limite de rendu du rapport
- 10/06 : Relecture du diaporama par les enseignants
- 12/06 : Oral blanc
- 14/06 : Soutenance devant le jury

Répartition des tâches :

- Chef de projet : Rozenn
- Communication de l'entreprise : Emma
- Étude de la limule : Maxime et Mohamed
- État de l'art des foils : réalisé par toute l'équipe
- Étude des profils pour le foil en T : Titouan
- Sécurité du foil : Nolwenn
- Cahier des charges : Lucas et Ewen
- Dimensionnement du foil : Bastien
- Rédaction du rapport : toute l'équipe
- Réalisation du diaporama : toute l'équipe
- Présentation oral : Maxime, Nolwenn, Titouan, Rozenn

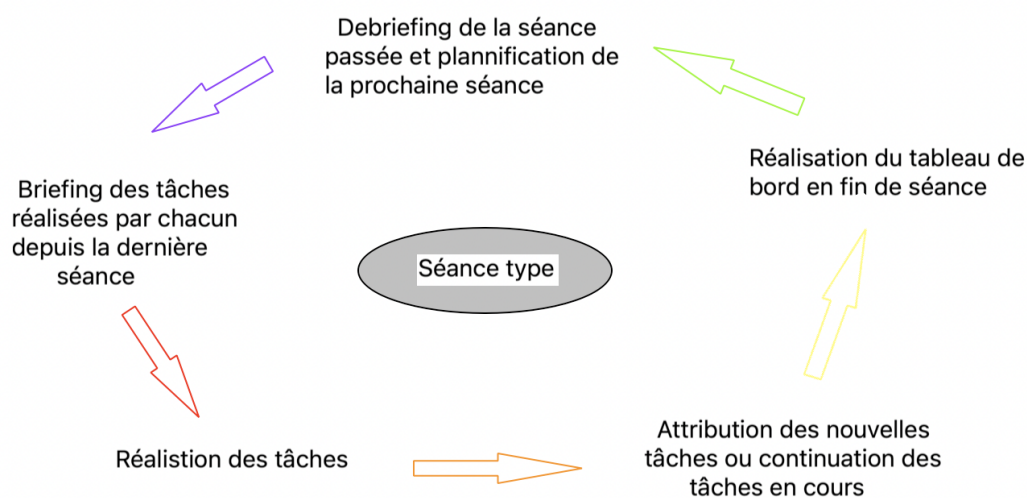


FIGURE 2.14 – Séance type

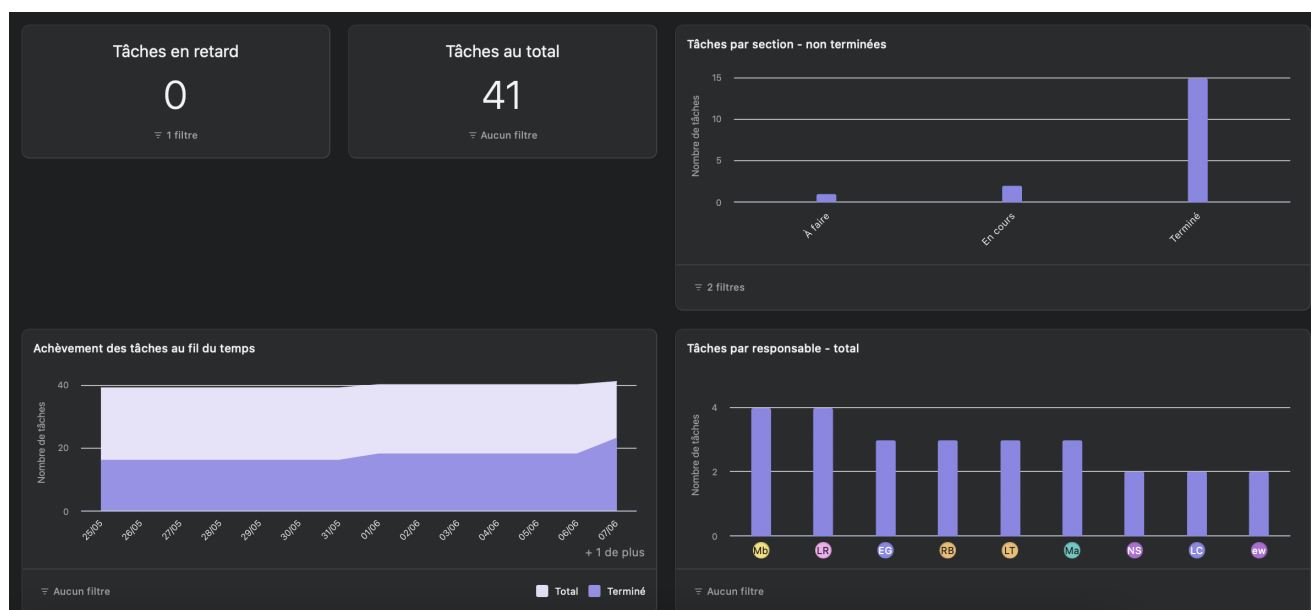


FIGURE 2.15 – Tableau de bord sur Asana

	Mohamed BOUDHINA	Lucas CARPENTIER	Ewen GUIVARCH	Titouan LAOT	Rozenn LE BIHAN	Emma LE GUEN	Maxime MENEGOLIA	Bastien ROY	Nolwenn STEPHAN
Modéliser les pièces sur Catia	I	I	I	R	A	C	I	C	C
Dimensionner la taille du foil	I	C	I	R	C	I	I	A	C
Détermination du profil du foil	I	C	I	A	R	R	I	R	I
Matériaux du foil	R	I	C	I	I	C	A	I	C
Simuler le foil dans un courant	A	C	C	C	C	C	C	C	R
Déterminer le type de fixation du foil	I	A	R	I	C	I	C	R	C
Compte rendu écrit	I	I	C	C	R	R	C	C	A
Dimensionner la limule pour impression 3D	R	C	C	I	I	I	A	C	C
Faire le protocole expérimental pour le test du foil limule	A	I	I	I	I	C	R	C	C
Se renseigner sur le logiciel Fluent	I	C	A	I	C	I	I	C	R
Rédaction du protocole expérimental sur Latex	C	I	I	C	A	C	I	C	R
Étude du foil suggéré par l'entreprise	I	C	I	A	R	C	I	I	I
Simuler le foil dans un courant	A	I	C	C	R	I	I	I	C
Ouverture sur d'autres biomimétismes	I	C	I	R	I	I	I	C	A
Préparer la soutenance orale	C	I	R	I	I	A	R	C	I
Organiser la simulation en bassin	A	C	C	I	I	I	R	I	C

FIGURE 2.16 – Matrice RACI

