

Conception d'un voilier radiocommandé à réglage de voile automatique



THÈME : TRANSITION, TRANSFORMATION, CONVERSION

Romain CARRIERE – 10585

Session 2025

Sommaire

I. Introduction

II. Conception de la maquette

III. Automatisation du réglage de voile

IV. Conclusion

Vocabulaire



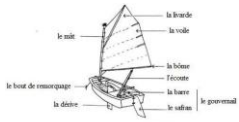
Présentation du Système [1]

Optimist – apprentissage



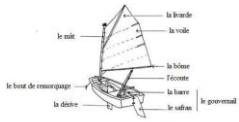
Optimist débutant [2]

Optimist – compétition



Optimist aux championnats du monde [3]

Apprentissage simultané



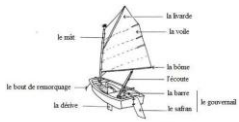
Réglage de la voile



Direction

Deux gestes, deux mains, une seule tête [4]

Solutions possibles



Optimist en duo [5]

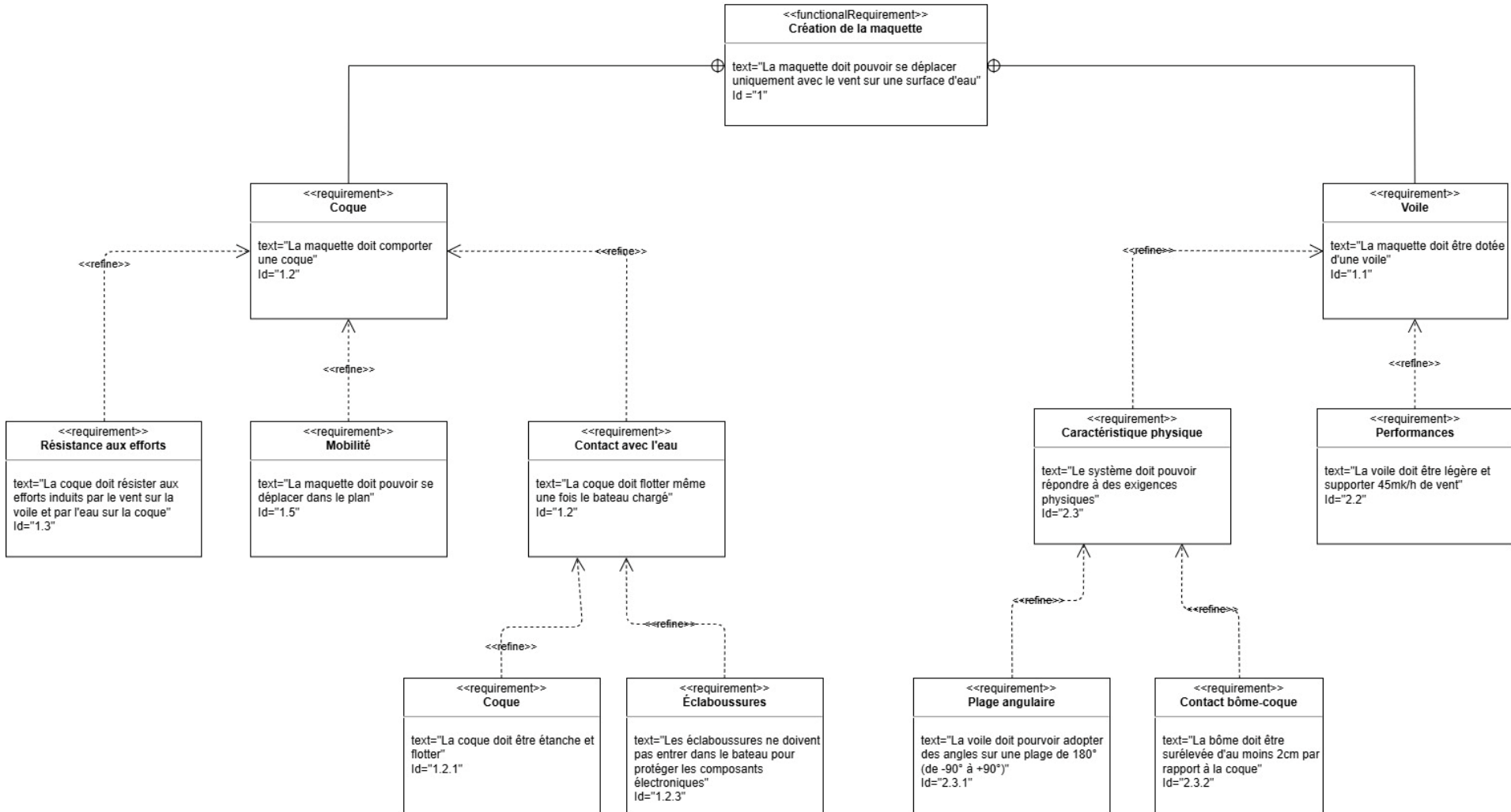
Problématique

Comment concevoir un bateau radiocommandé à réglage de voile automatisé ?

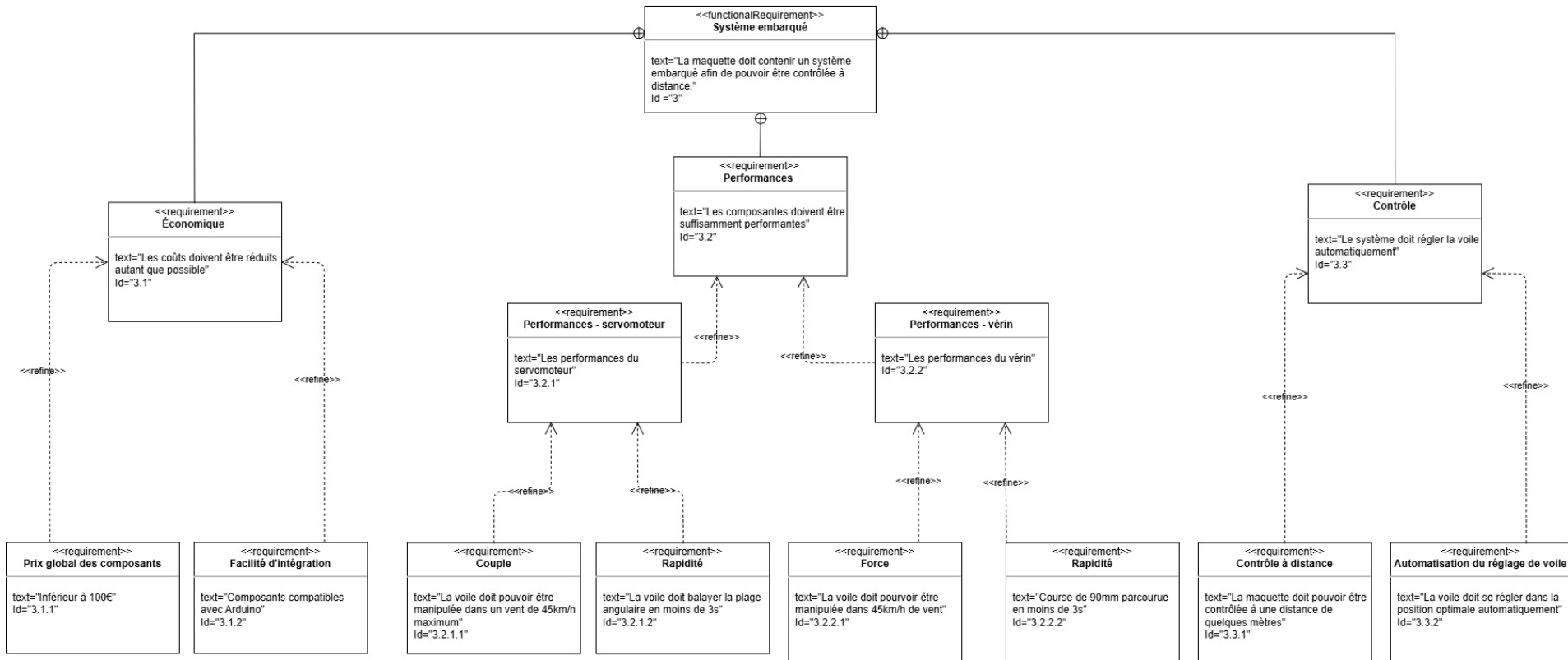
II – Conception de la maquette

1. Conception de la coque et de la voile
2. Choix des composants électroniques

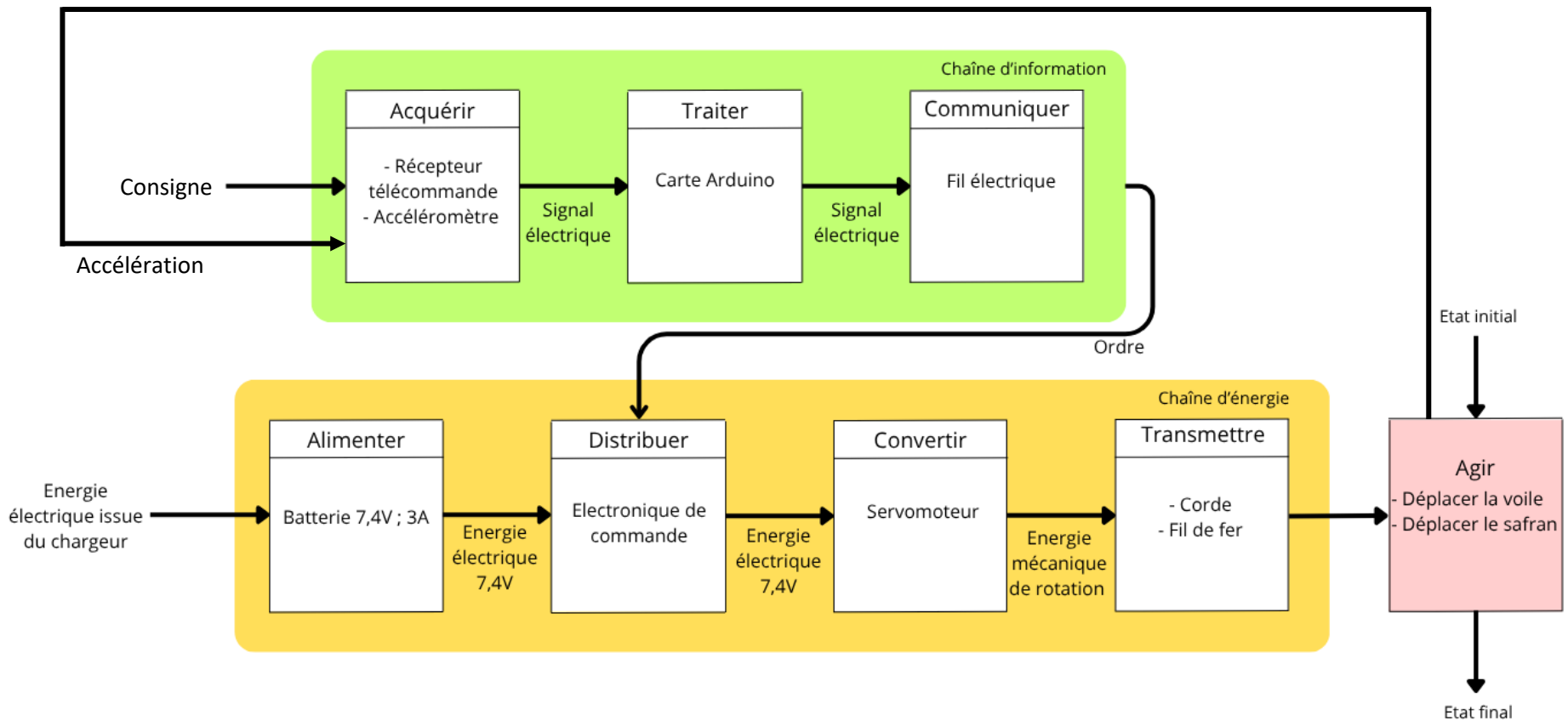
Cahier des charges – voile et coque



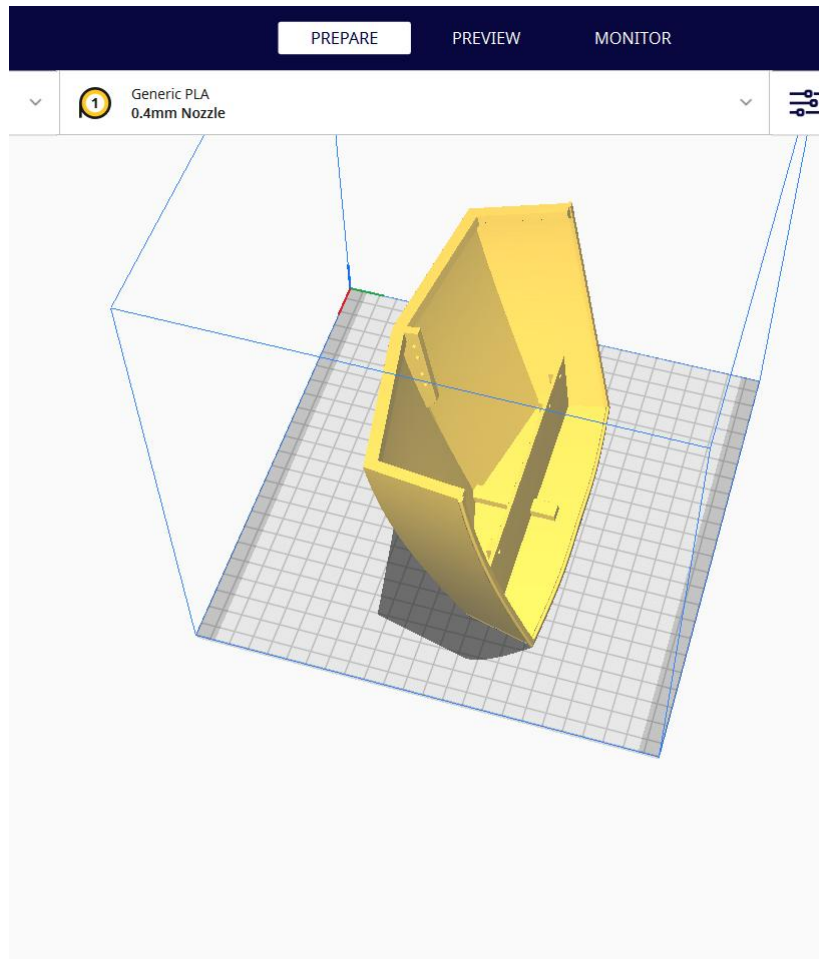
Cahier des charges – système embarqué



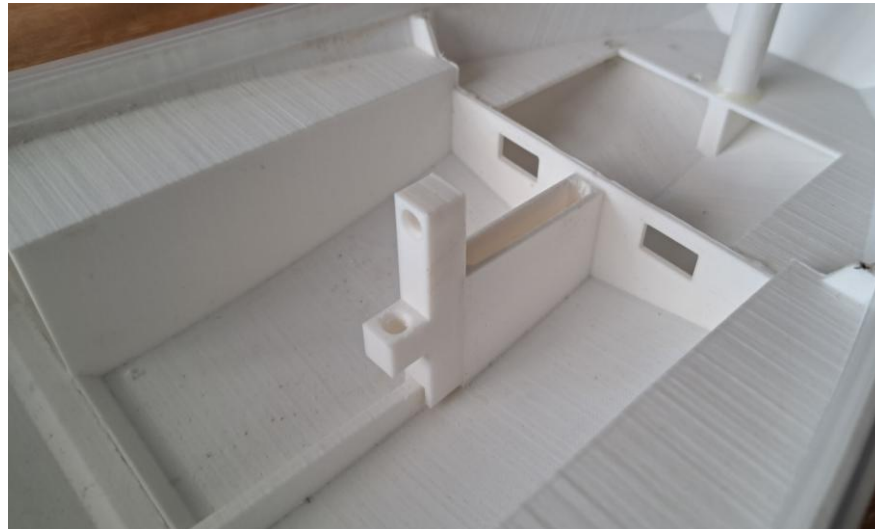
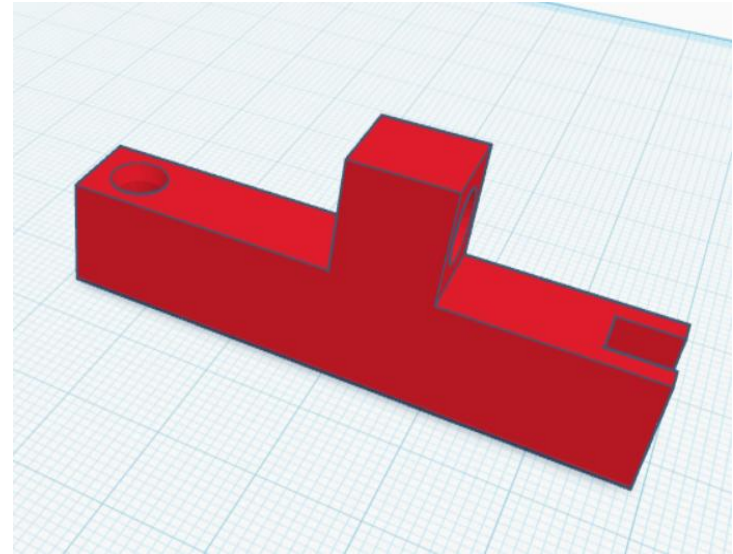
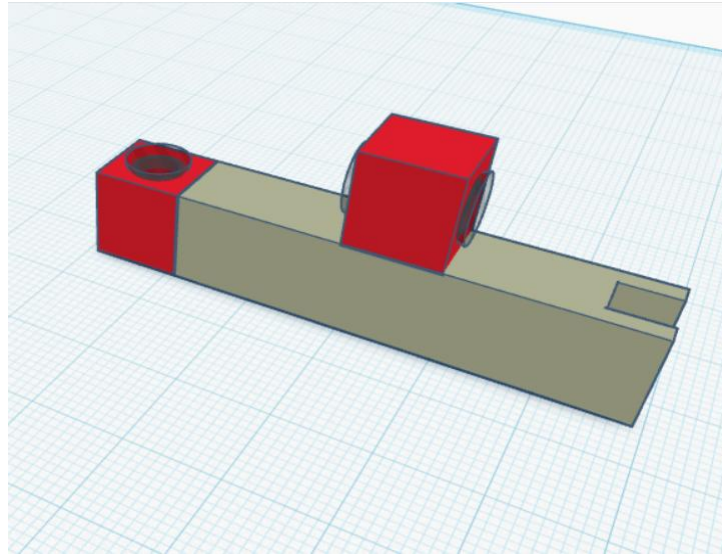
Ancrage au thème



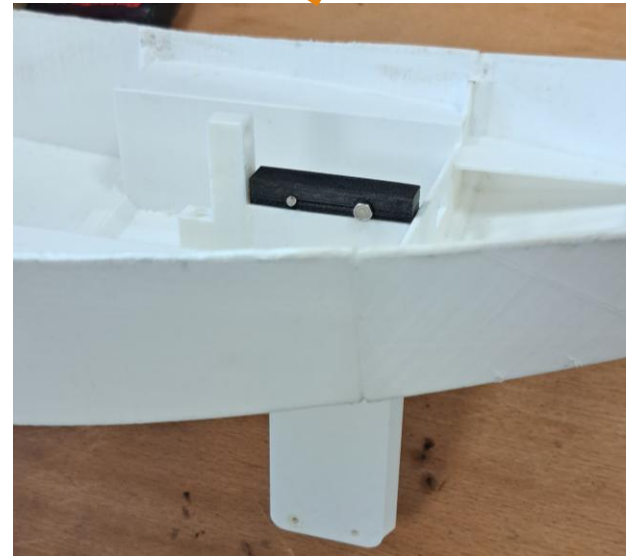
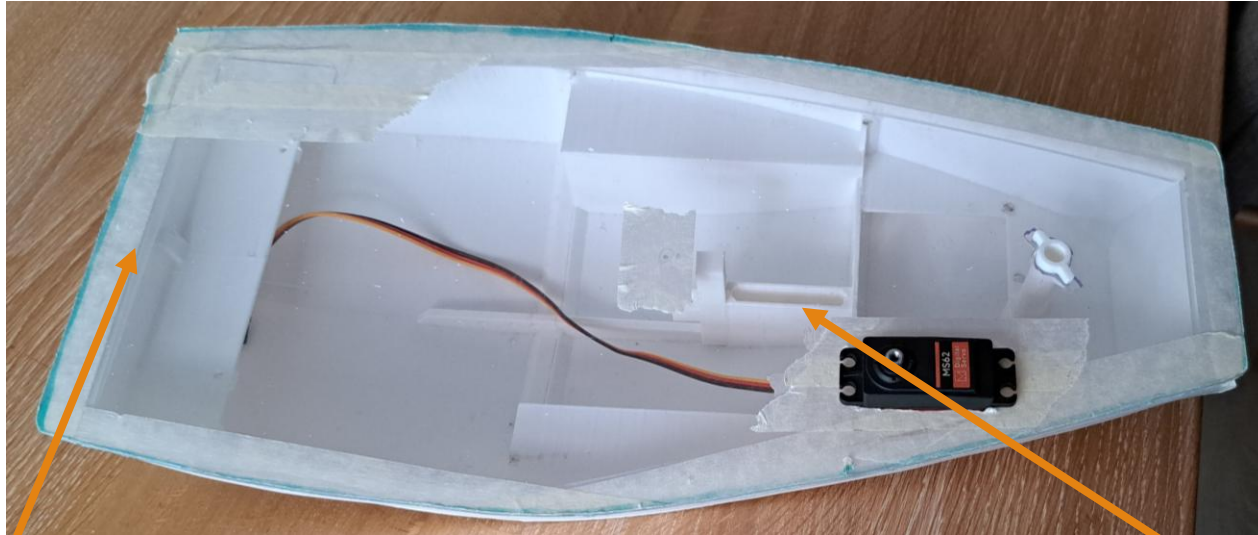
Impression de la coque



Pilier de traction d'écoute



Protection contre les éclaboussures



Masse maximale embarquée

Bilan des forces :

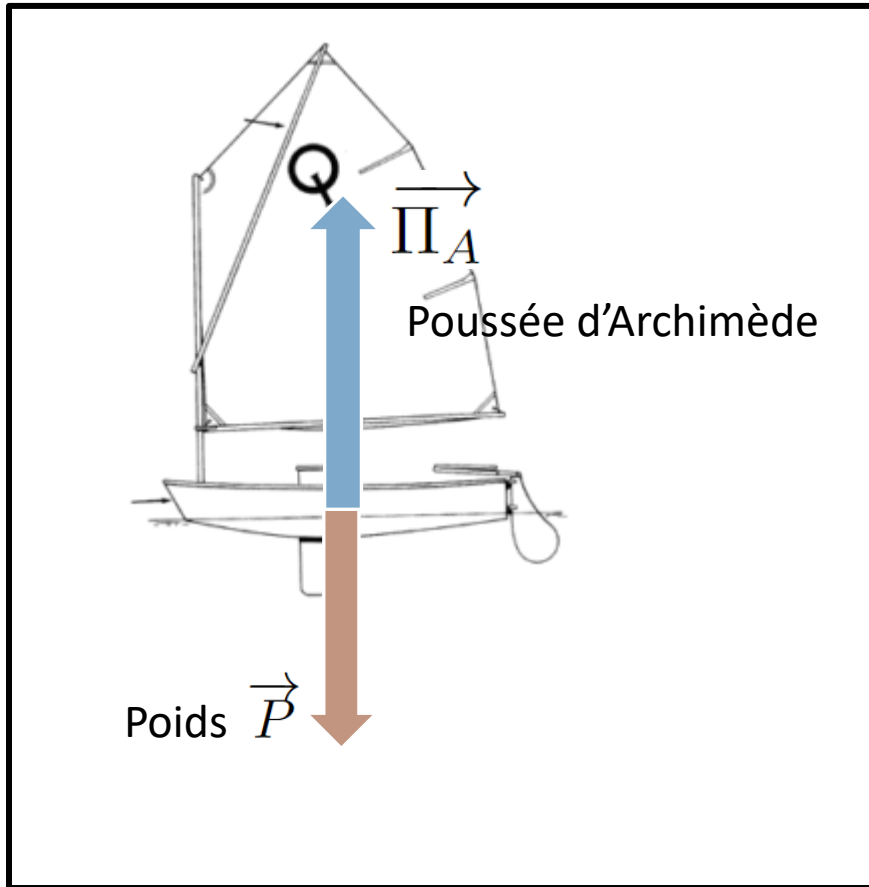


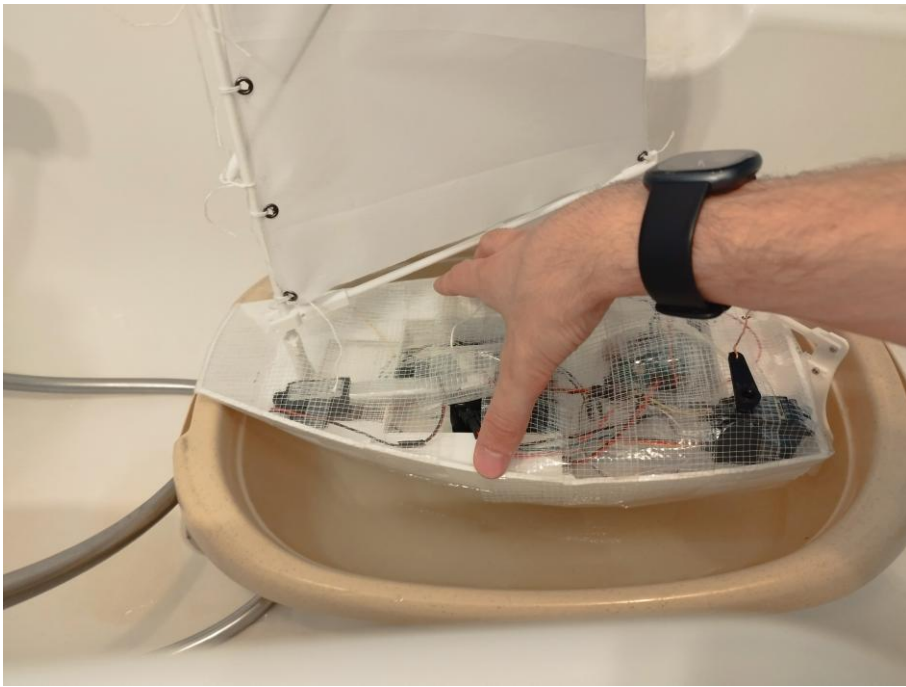
Image d'Optimist [6]

A l'équilibre, on a :

$$m_{\max} \times g = \rho_{\text{eau}} \times V_{\text{déplacé}} \times g$$

$$\Rightarrow m_{\max} = \rho_{\text{eau}} \times V_{\text{déplacé}}$$

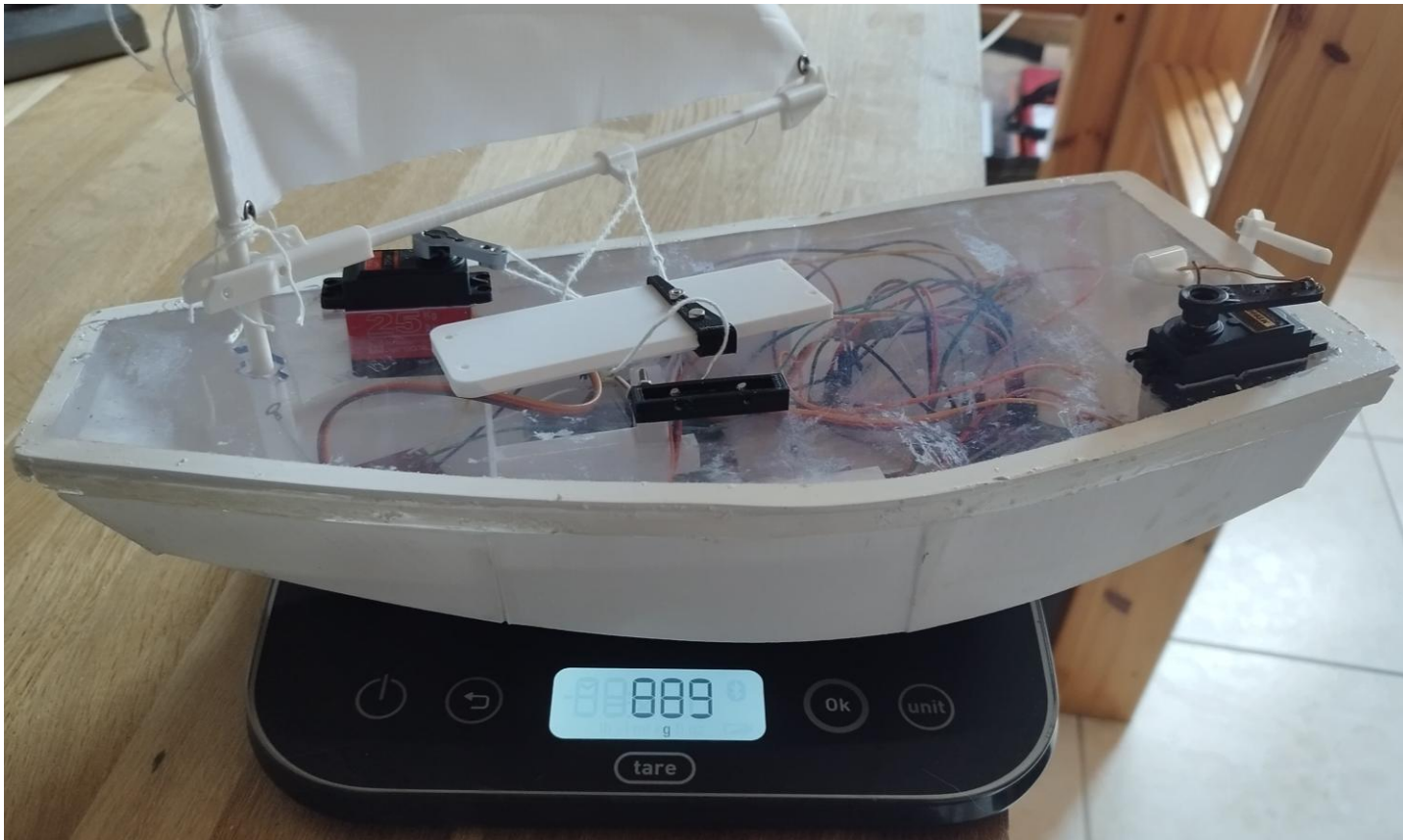
Volume déplacé par la coque



$$V_{\text{déplacé}} = 2,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

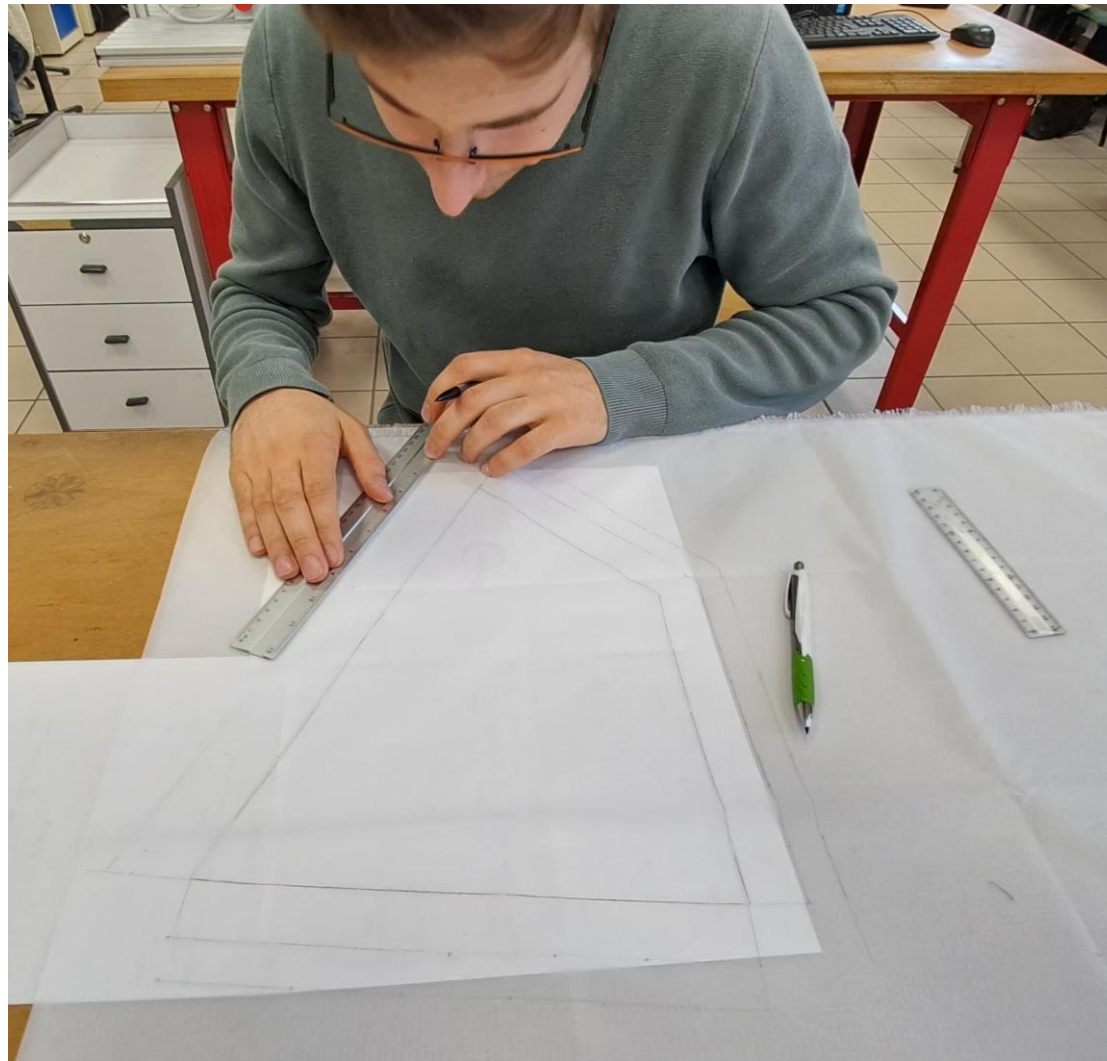
$$\begin{aligned} m_{\text{max}} &= 1000 \times 2,45 \times 10^{-3} \\ &= 2,45 \text{ kg} \end{aligned}$$

Masse à bord

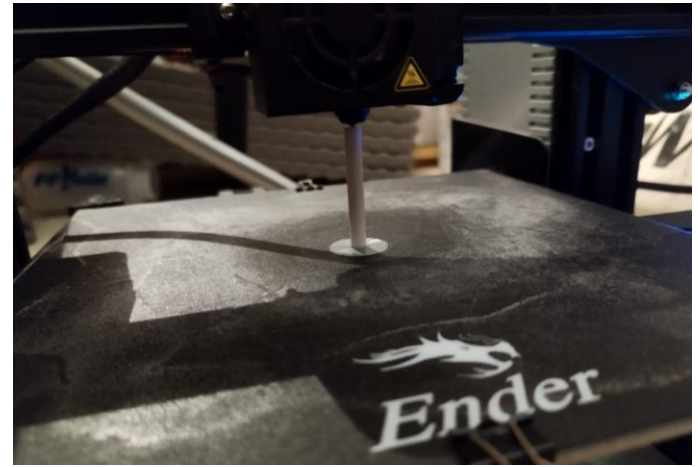
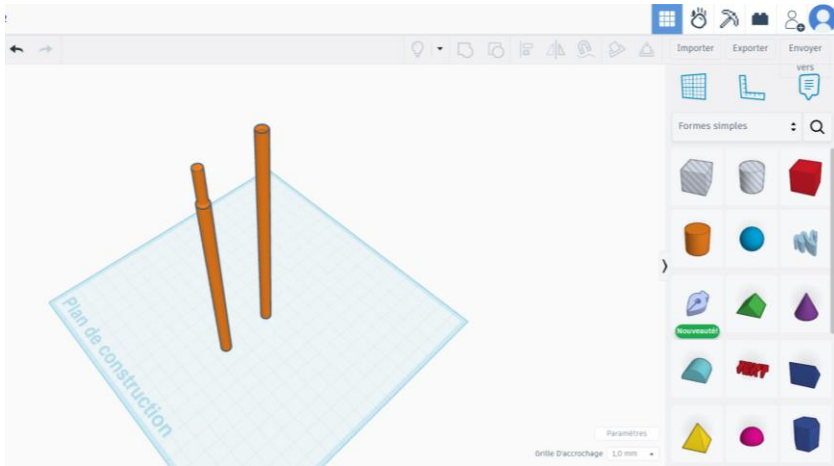


$$m_{\text{total}} = 0,889 \text{ kg} < 2,45 \text{ kg}$$

Découpe de la voile



Conception du mât



Utilisation de *Tracker* – Solidité du mât

Tracker

Fichier Édition Vidéo Trajectoires Système de Coordonnées Fenêtre Aide

masse A m 1,000 kg

masse A (t, x)

masse A (t, y)

Tableau de données

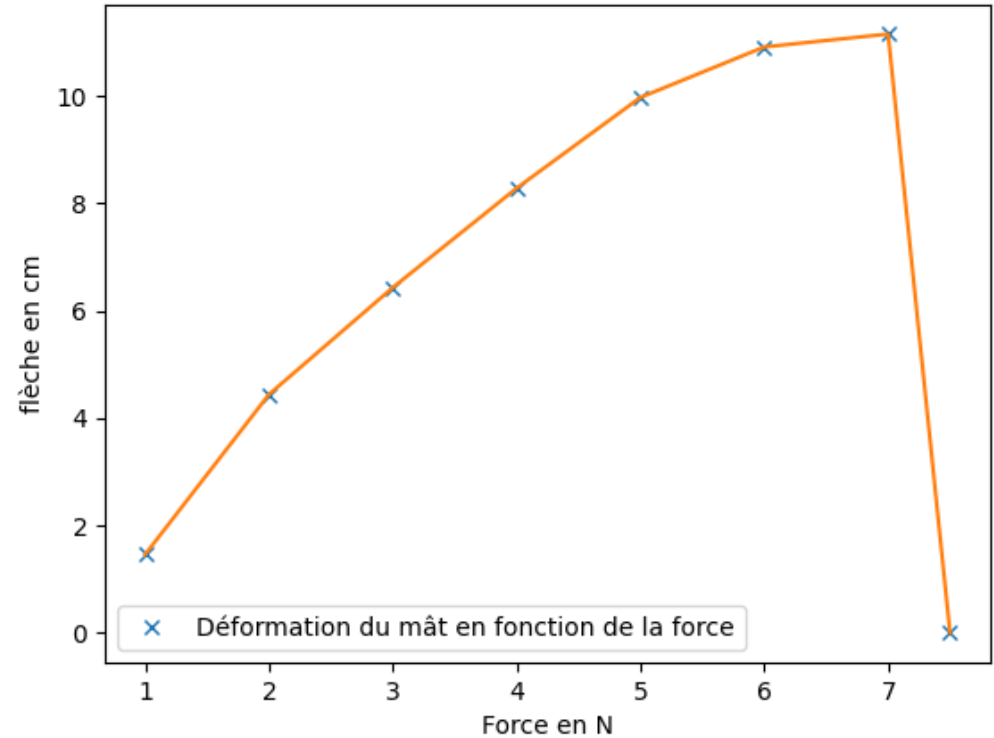
t (s)	x (cm)	y (cm)
9,259	-6,505E-3	0,852
9,292	-6,505E-3	0,878
9,326	-6,505E-3	0,878
9,392	-6,505E-3	0,878
9,425	-6,505E-3	0,878
9,459	-6,505E-3	0,891
9,492	-6,505E-3	0,904
9,525	-6,505E-3	0,904
9,559	-6,505E-3	0,917
9,592	-6,505E-3	0,930
9,625	-6,505E-3	0,950
9,659	-6,505E-3	0,956
9,692	-6,505E-3	0,956
9,725	-6,505E-3	0,956
9,758	-6,505E-3	0,956

masse A sélectionné (déterminer la masse sur la barre d'outils, maj-clic pour marquer à nouveau la zone mise en évidence)

549 100%

Solidité du mât

Force (N)	Flèche moyenne sur 6 mesures (cm)	Ecart-type
1N	0,146 cm	0,038 cm
2N	0,444 cm	0,045 cm
3N	0,643 cm	0,026 cm
4N	0,828 cm	0,040 cm
5N	0,997 cm	0,035 cm
6N	1,091 cm	0,047 cm
7N	1,115 cm	0,018 cm
7,5N	RUPTURE	



Force exercée par le vent sur la voile

Hypothèse : voile plate orthogonale au vent

$$F_{\text{vent} \rightarrow \text{voile}} = \frac{1}{2} \times \rho_{\text{eau}} \times S_{\text{voile}} \times C_{xp} \times v^2$$

Données :

- $V_{\text{max}} = 45 \text{ km/h} = 12,5 \text{ m/s}$
- $S_{\text{voile}} = 0,05670 \text{ m}^2$ (cf. Annexe)
- $C_{xp} \in [1,10 ; 1,15]$ ($\frac{h}{b} = \frac{33}{27} = 1,22$)
- $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (au niveau de la mer)

$$F_{\text{vent} \rightarrow \text{voile}} = 6,10 \pm 0,13 \text{ N}$$

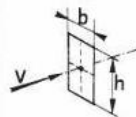
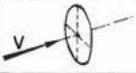
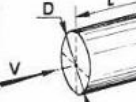
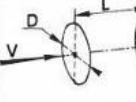
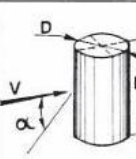
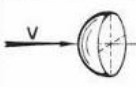
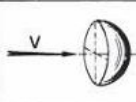
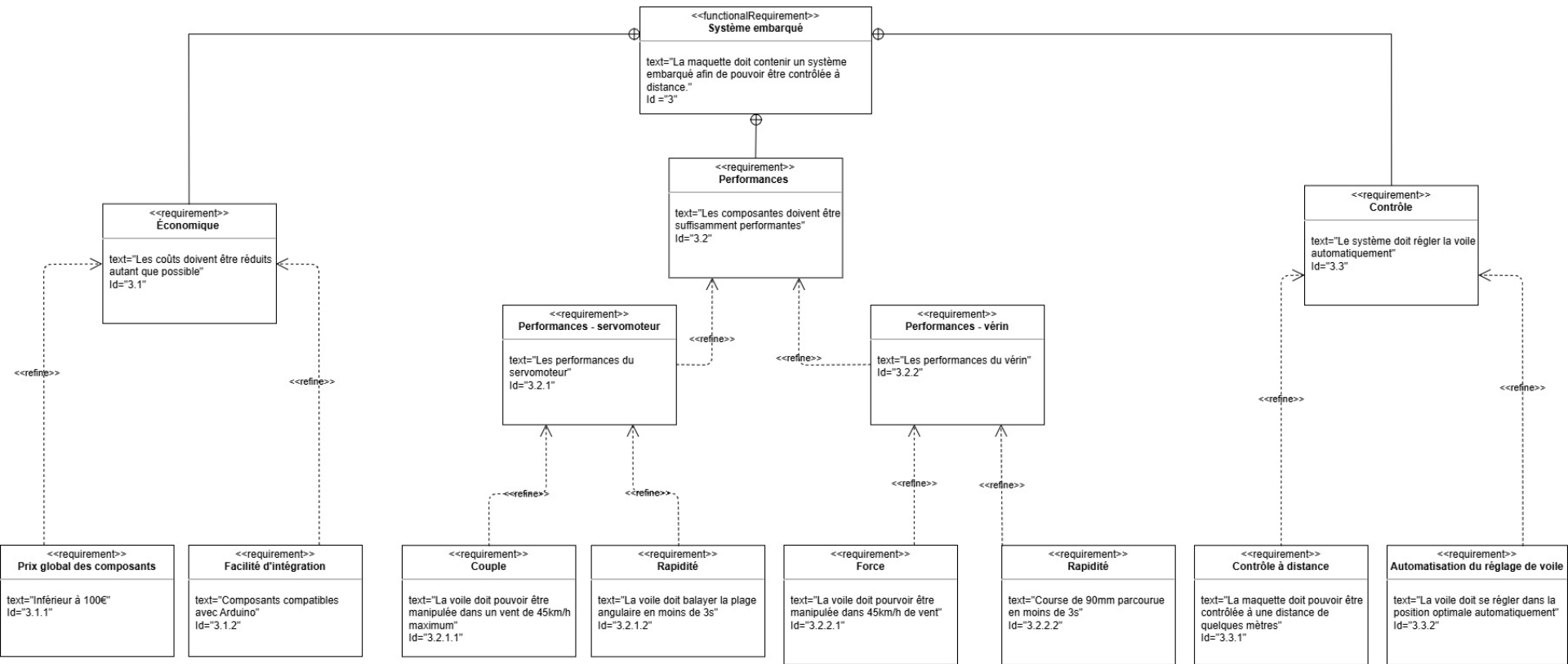
Fig. 19	Géométries	C _{xp}								
a	 $\frac{h}{b} = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ 4 \\ 10 \\ 18 \\ \infty \end{cases}$	$\begin{cases} 1,10 \\ 1,15 \\ 1,19 \\ 1,29 \\ 1,40 \\ 2,01 \end{cases}$								
b		1,11								
c	 $\frac{L}{D} = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ 4 \\ 7 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,91 \\ 0,85 \\ 0,87 \\ 0,99 \end{cases}$								
d	 $\frac{L}{D} = \begin{cases} 1 \\ 1,5 \\ 2 \\ 3 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,93 \\ 0,78 \\ 1,04 \\ 1,52 \end{cases}$								
e	 $\frac{L}{D} = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ 5 \\ 10 \\ 40 \\ \infty \end{cases}$ <small>Re ~ 9.10⁴ (sous-critique) Re 5.10⁵ (critique)</small> Coef. de correction de l'obliquité $C_{xp,\alpha} = k \cdot C_{xp,0}$ <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>k pour alpha</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>0°</td> </tr> <tr> <td>0,7</td> <td>30°</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>60°</td> </tr> </table>	k pour alpha		1,0	0°	0,7	30°	0,2	60°	$\begin{cases} 0,63 \\ 0,68 \\ 0,74 \\ 0,82 \\ 0,98 \\ 1,02 \\ 0,35 \end{cases}$
k pour alpha										
1,0	0°									
0,7	30°									
0,2	60°									
f	 Sans fond Avec fond	$\begin{cases} 0,34 \\ 0,40 \end{cases}$								
g	 Sans fond Avec fond	$\begin{cases} 1,33 \\ 1,17 \end{cases}$								

Figure 2 Extrait de *L'Aérodynamique et l'origine des trainées parasites*, Ewald HUNZINGER, Michaël OFFERLIN, Inter.action, 1997

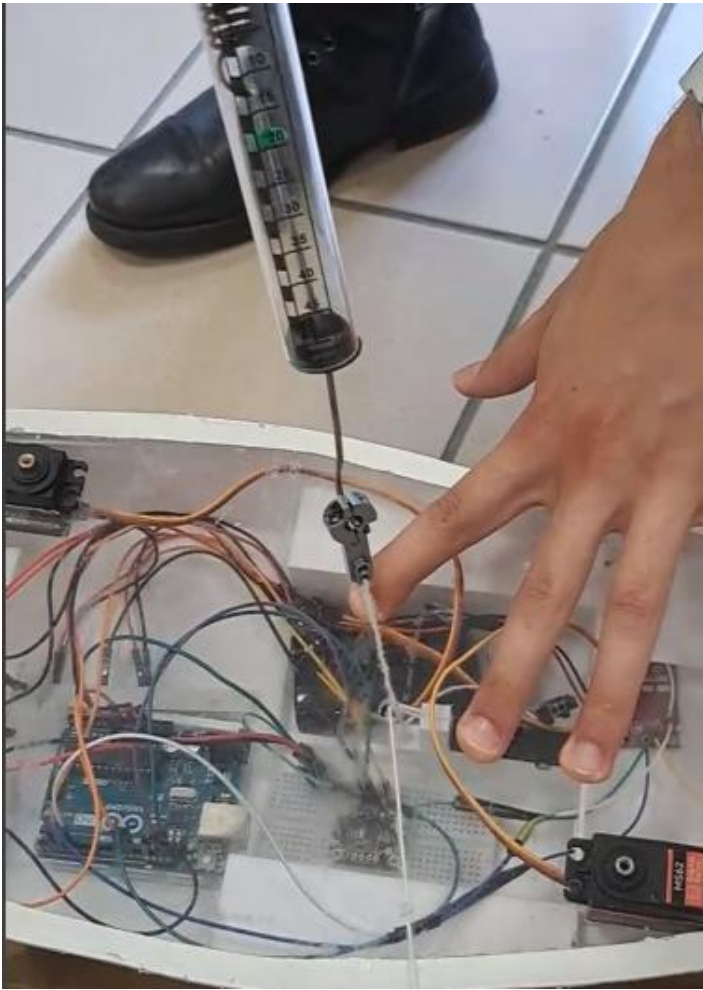
Autre facteur de rupture de la voile



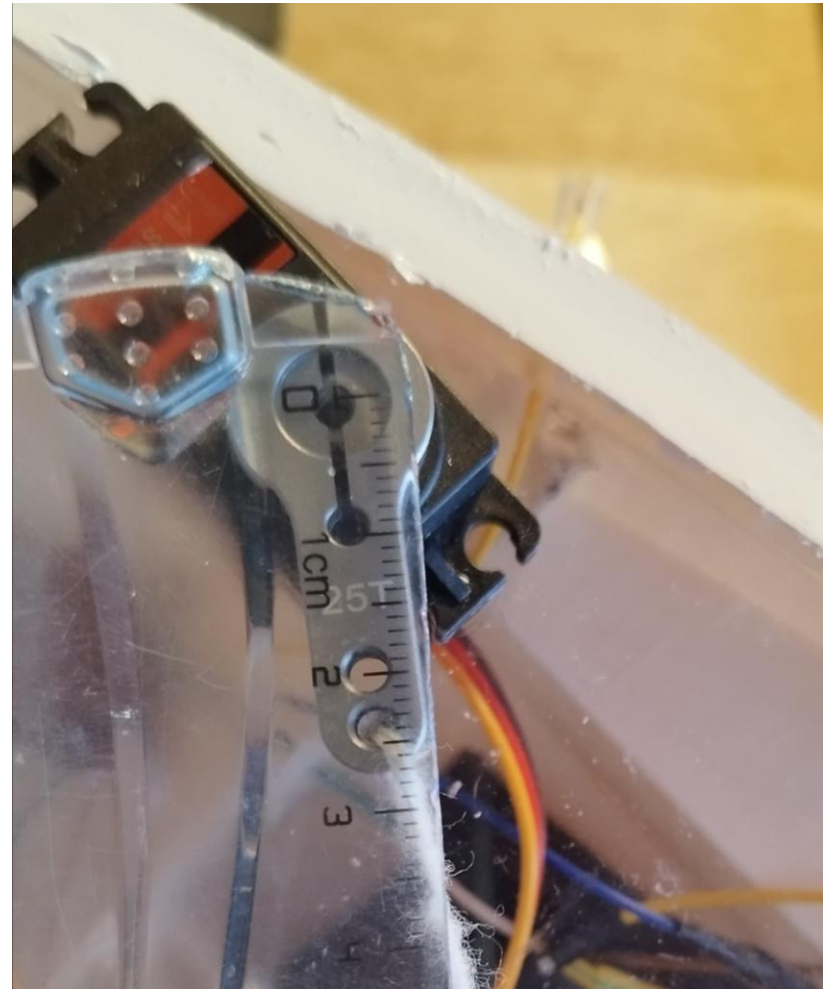
Cahier des charges – système embarqué



Couple du servomoteur



$$F = 30\text{N}$$



$$d = 2,4\text{cm}$$

Couple et rapidité du servomoteur

Le constructeur donne $\Omega = 7,48$ rd/s et $C = 2,55$ N.m pour notre plage d'utilisation



$$C = F \times d$$

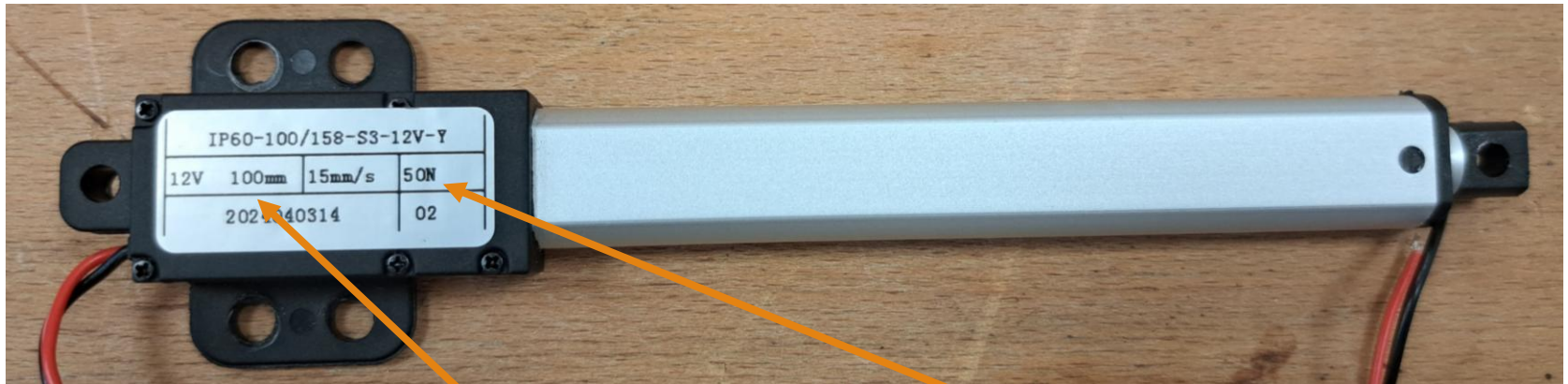
- C : le couple (en N.m)
- d : le bras de levier (en m)
- F : la force appliquée (en newtons)

$$C = 30 \times 0,024 = 0,72 \text{ N.m}$$

$$\Delta t = \frac{\pi}{\Omega} = 0,42\text{s}$$

$$\text{Ainsi, } \Delta t < 3\text{s}$$

Force et rapidité du vérin



<<requirement>>
Rapidité

text="Course de 90mm parcourue
en moins de 3s"
Id="3.2.2.2"

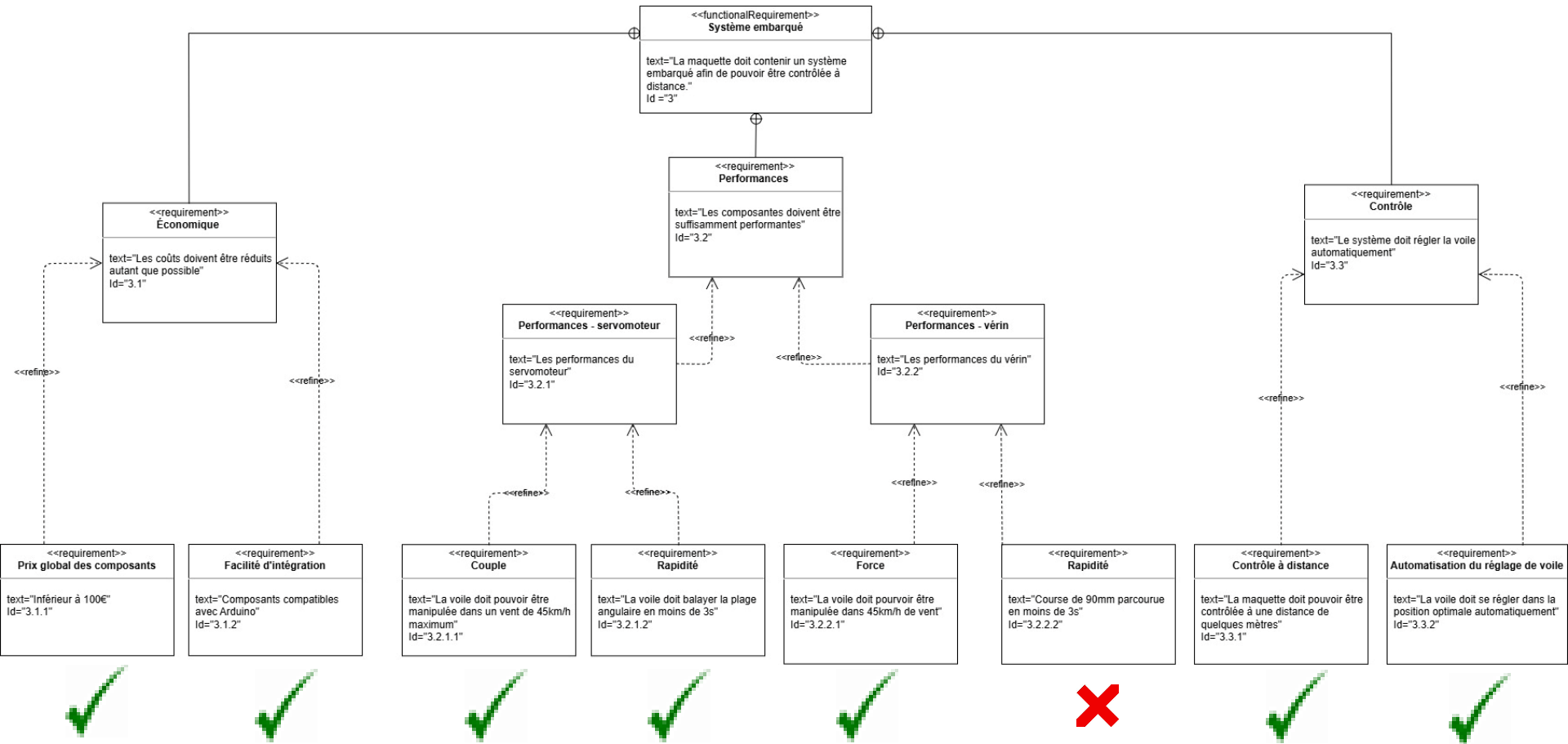
<<requirement>>
Force

text="La voile doit pouvoir être
manipulée dans 45km/h de vent"
Id="3.2.2.1"

$$\Delta t_{\max} = \frac{90}{15} = 6s$$

Ainsi, $\Delta t_{\max} > 3s$

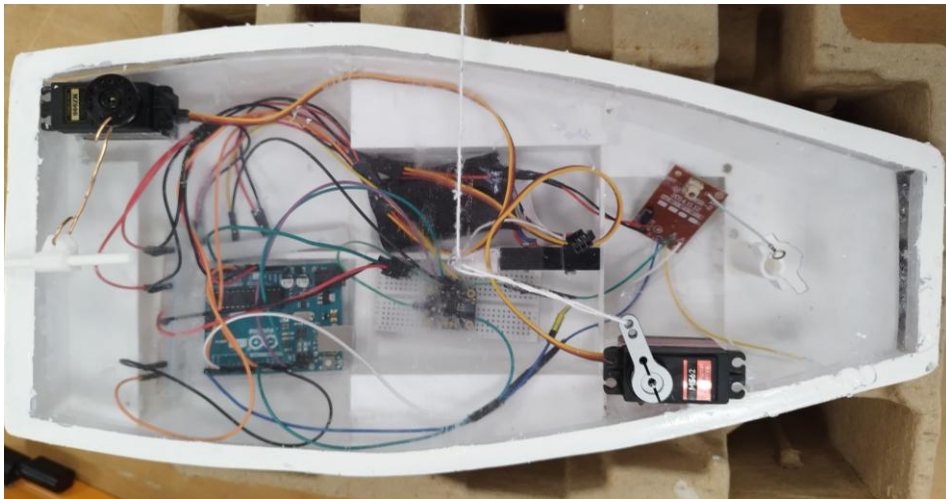
Cahier des charges – système embarqué



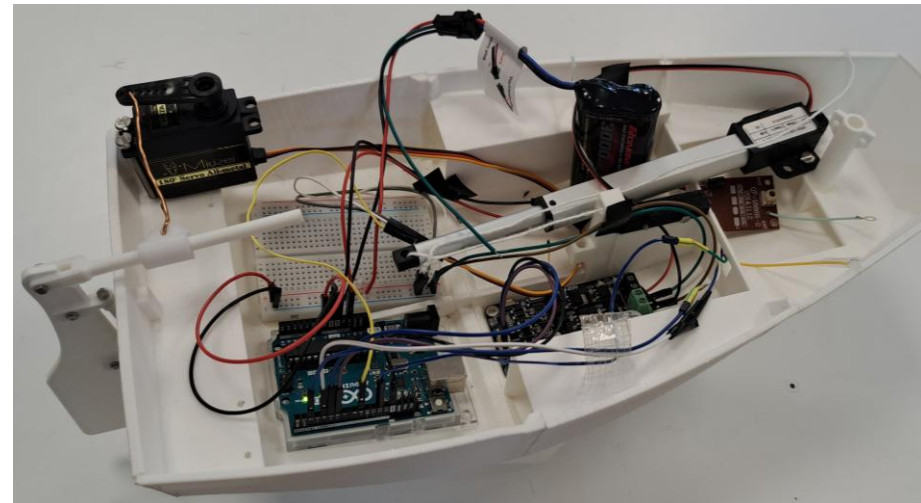
Servomoteur ou vérin– Id 3.3.2

Capacité	Vérin	Servomoteur
Course/plage	9cm	160°
Force	50N	8,3N
Rapidité	6,67 secondes	0,5 seconde
Prix	40€	15€
Voltage	12V	8,4V
Matériel auxiliaire	Hacheur	Aucun

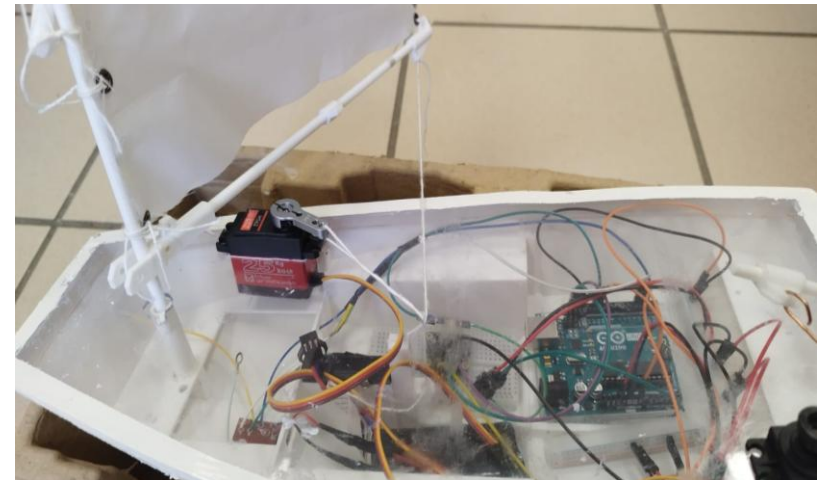
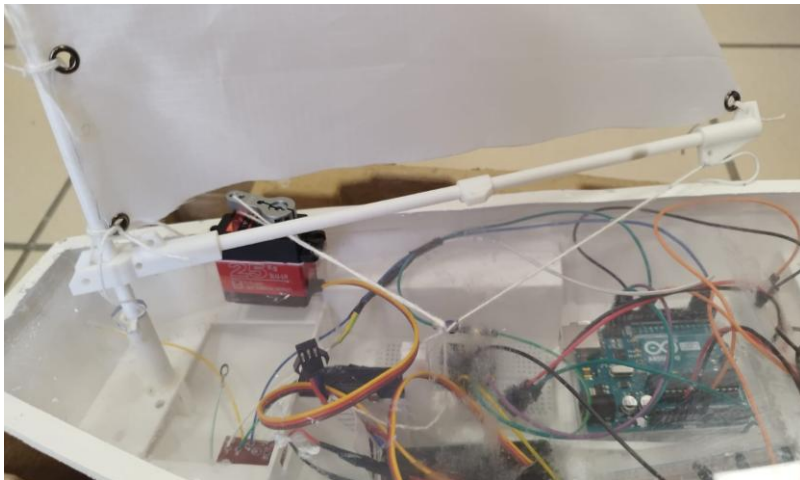
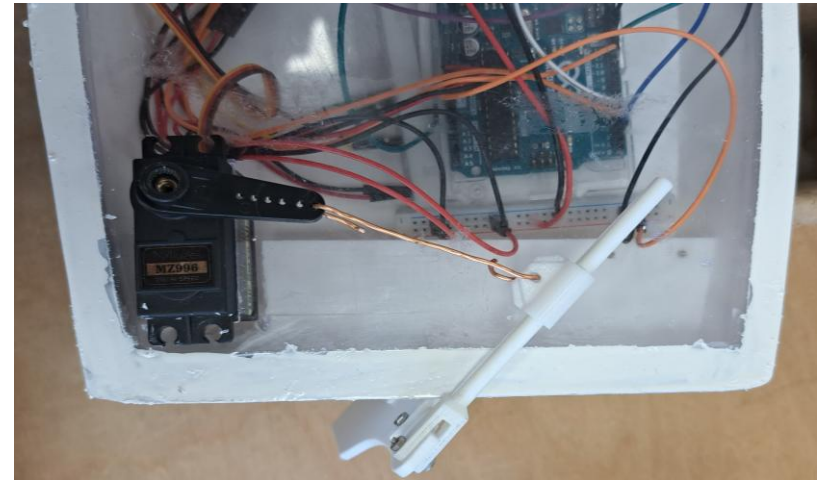
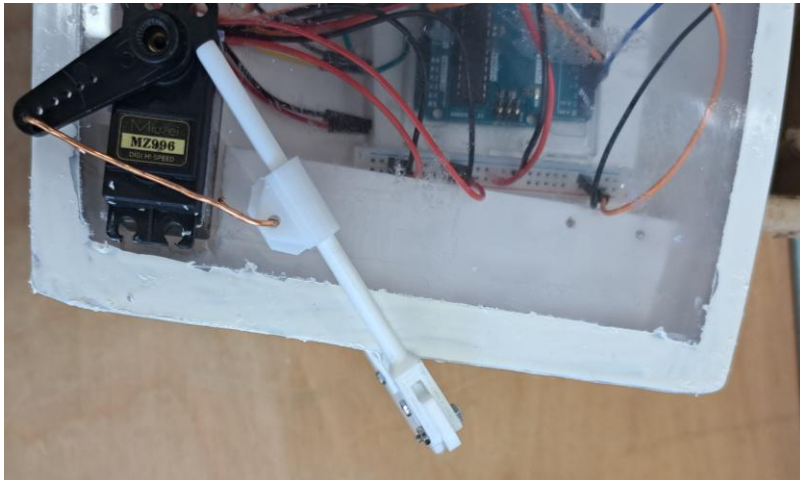
Installation électronique à bord - Servomoteur



Installation électronique à bord - Vérin



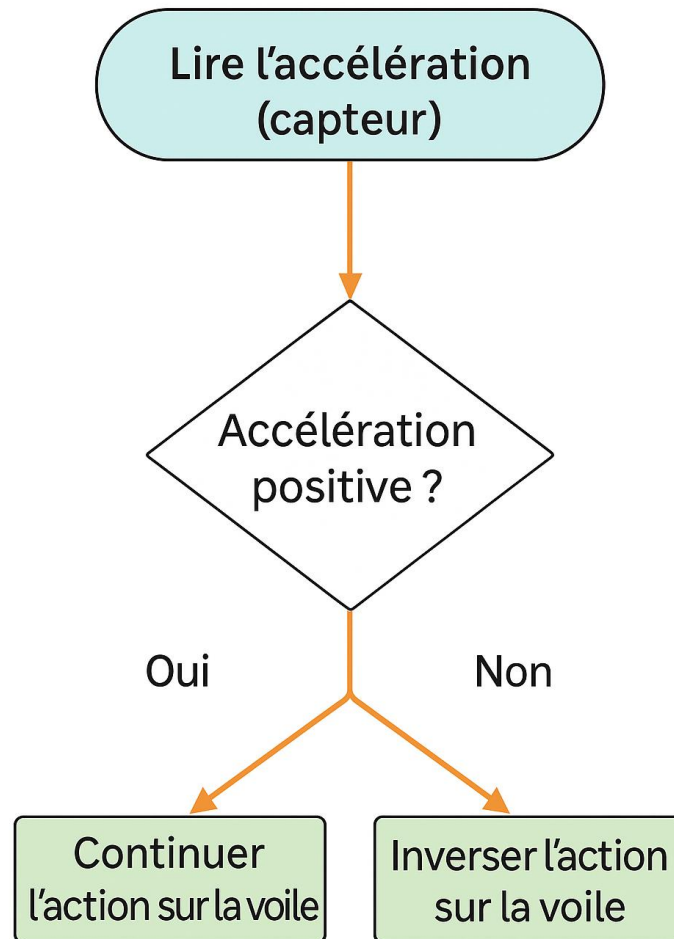
Fonctionnement de la direction et tension de la voile



III – Automatisation du réglage de voile

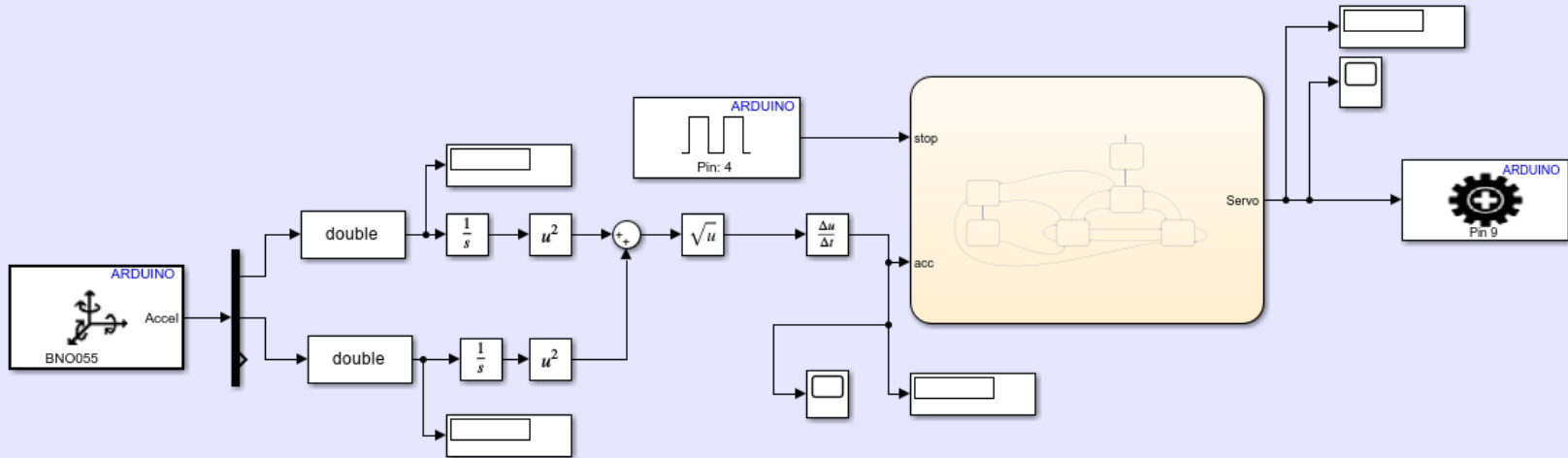
1. Principe de fonctionnement
2. Programmation

Le principe de fonctionnement



Programme global

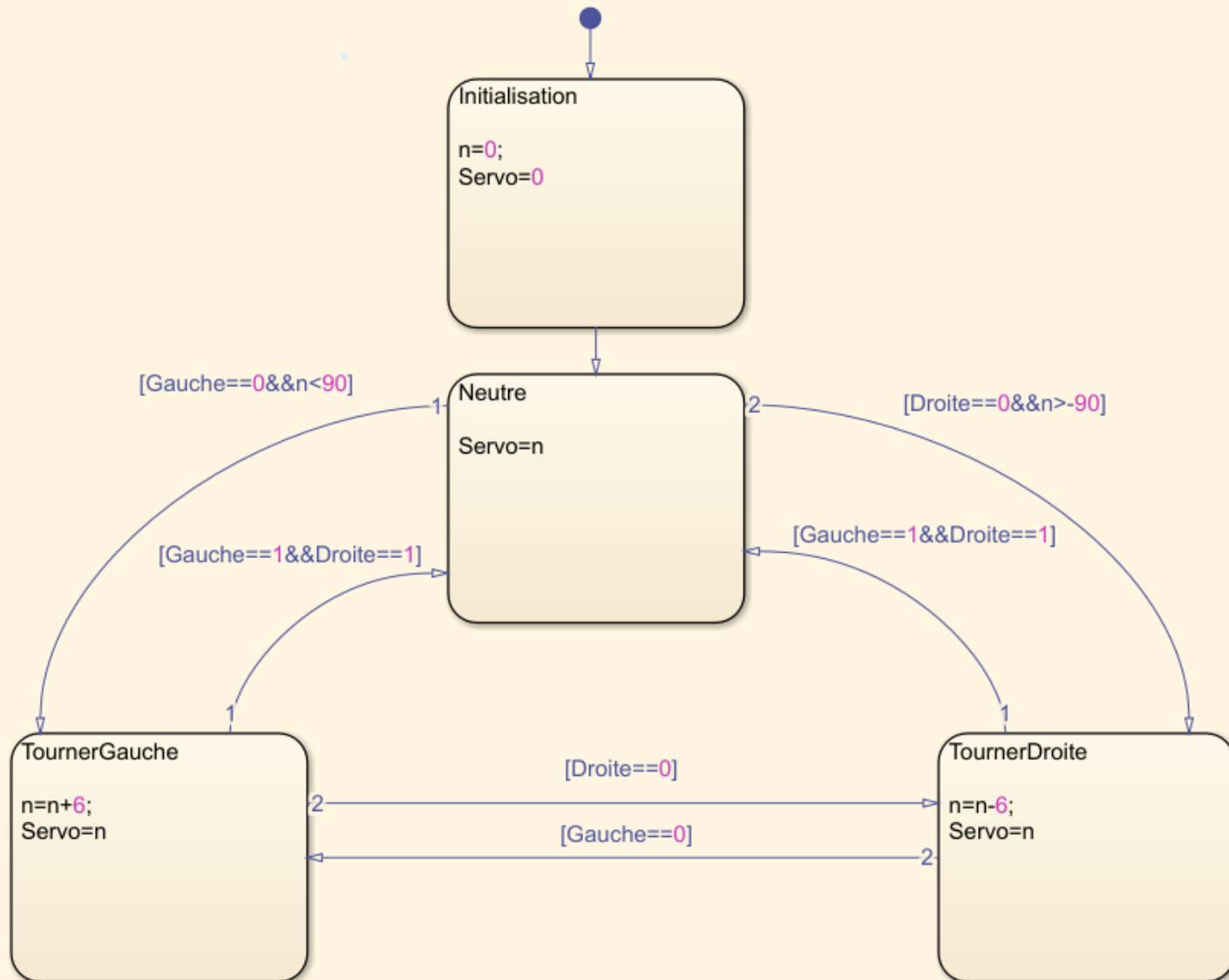
Automatisation de la voile



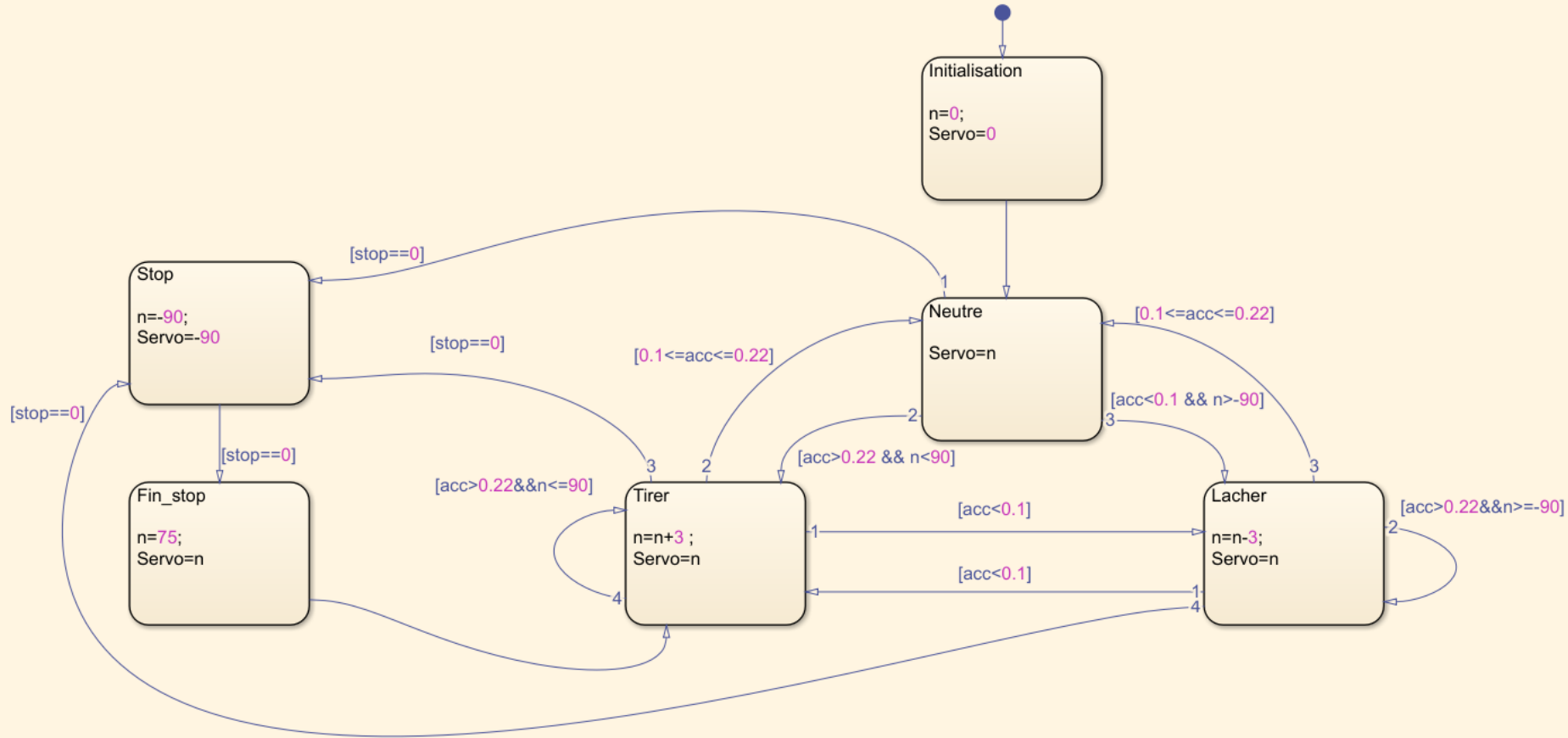
Contrôle du gouvernail



Contrôle du gouvernail



Automatisation de la voile



Conclusion

● Bilan du projet

- ✓ Conception d'un système automatisé de réglage de voile
- ✓ Prototype fonctionnel à échelle réduite
- ✓ Servomoteur adopté en remplacement du vérin

● Applications envisagées

- 🎓 Pédagogie (navigation assistée)
- ♿ Accessibilité (personnes à mobilité réduite)

◆ Perspectives d'évolution

1. Passage à l'échelle réelle

- Recalibrage des efforts et dynamique des fluides
- Dimensionnement du couple moteur

2. Robustesse embarquée

- Étanchéité et protection de l'électronique
- Intégration dans l'espace interne du bateau



Annexes

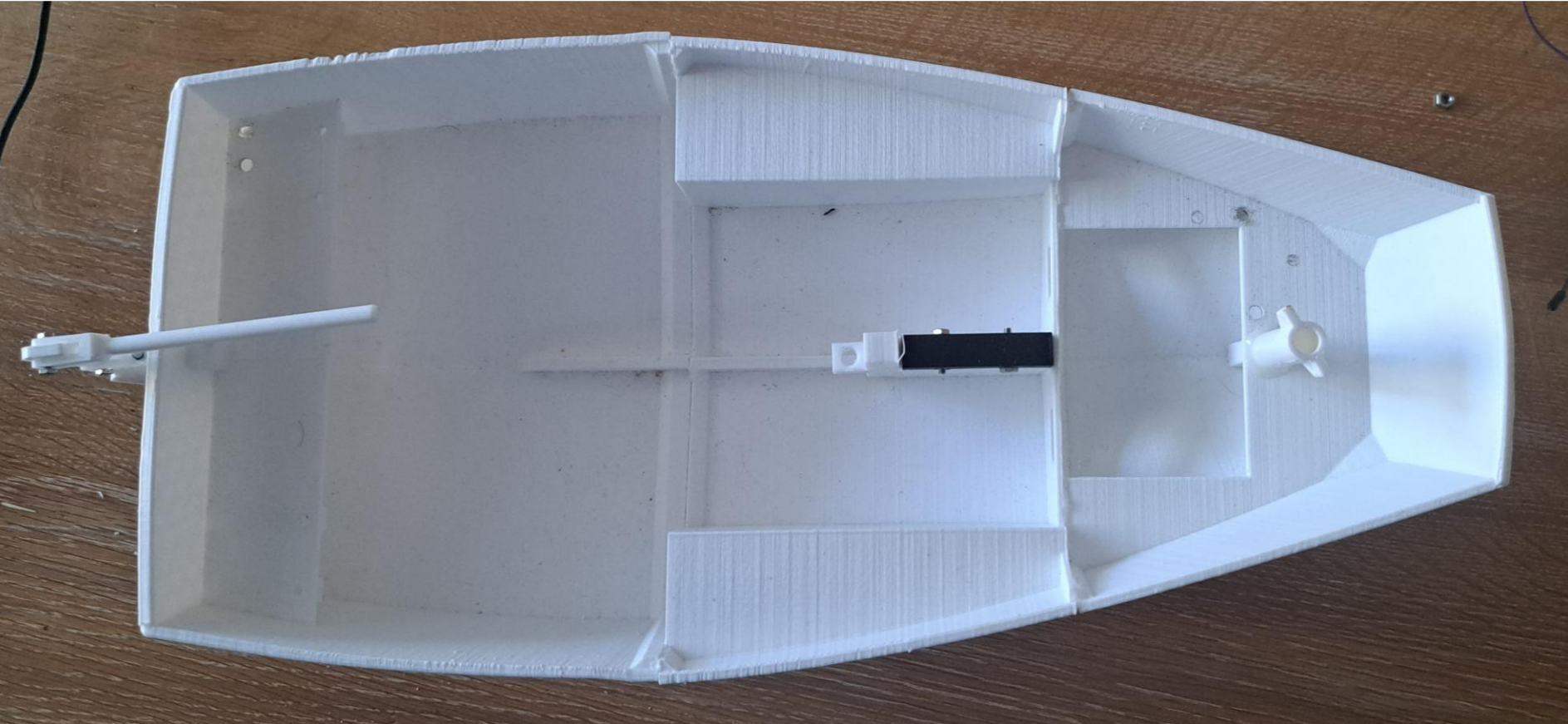
Collage des différentes parties



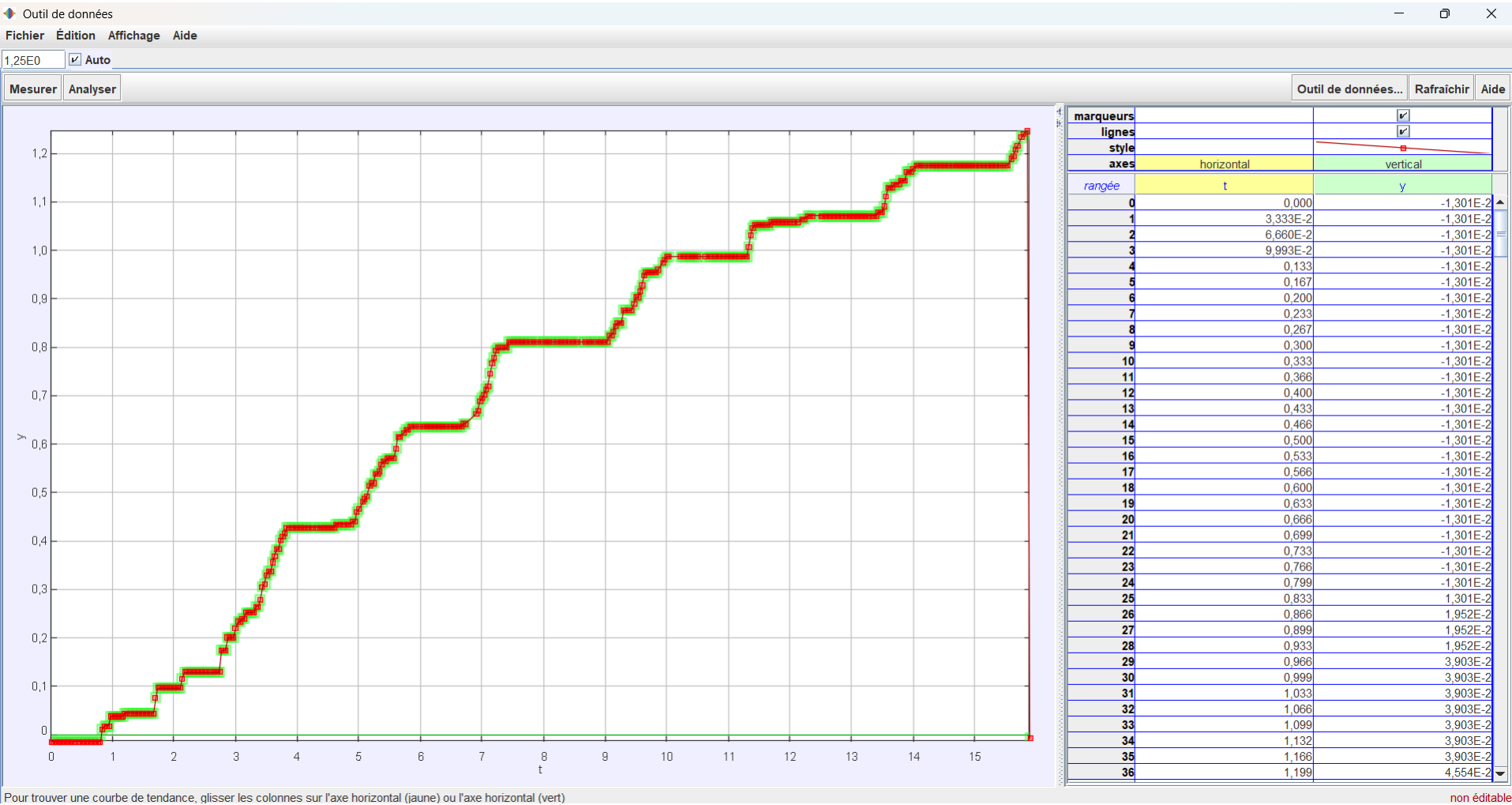
Adaptateur pour le mât



Coque finale

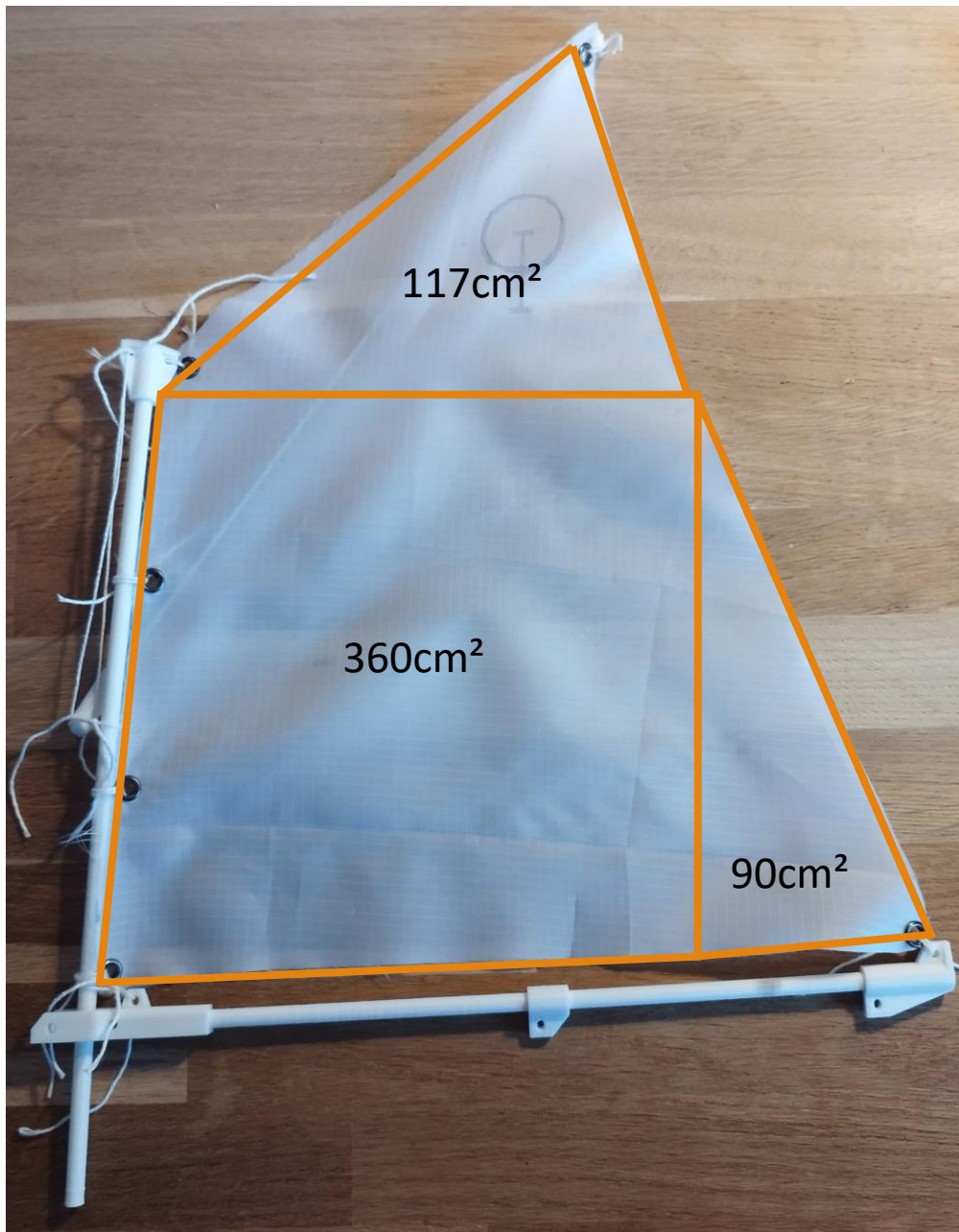


Utilisation de *Tracker* – Solidité du mât



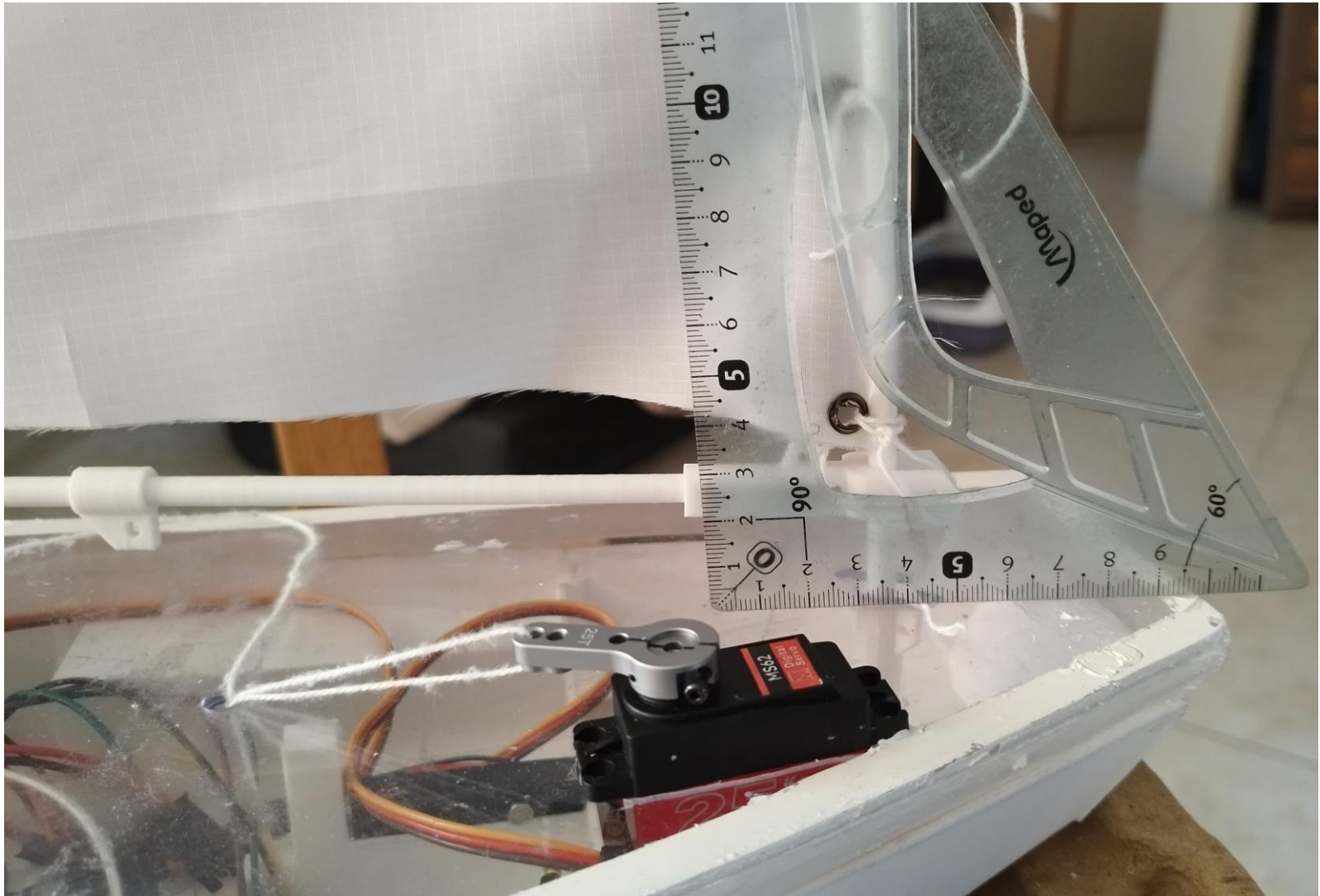
Pour trouver une courbe de tendance, glissez les colonnes sur l'axe horizontal (jaune) ou l'axe horizontal (vert)

non éditable



$$S_{\text{voile}} = 567 \text{ cm}^2$$

Hauteur de la bôme



Données constructeur servomoteur

Betriebsspannung	Betriebsgeschwindigkeit	Stall Drehmoment
5,0 V	0,15 Sek./60 Grad	23,5 kg.cm
6,8 V	0,14 Sek./60 Grad	26 kg.cm
8,4 V	0,13 Sek./60 Grad	27,5 kg.cm
Stall current	Rotationswinkel	Totzonenebreite
2600mA-3400mA	180° (Bei 500 ~ 2500 μ s) 90° (Bei 1000 ~ 2000 μ s)	3 μ s

Betriebsspannung	Betriebsgeschwindigkeit	Stall Drehmoment
5,0 V	6,98 rad/s	2,31 N.m
6,8 V	7,48 rad/s	2,55 N.m
8,4 V	8,06 rad/s	2,70 N.m
Stall current	Rotationswinkel	Totzonenebreite
2600mA-3400mA	180° (Bei 500 ~ 2500 μ s) 90° (Bei 1000 ~ 2000 μ s)	3 μ s

Mesures de la déformation du mât

Force (N)	Flèche 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Mesure 6	Moyenne	Écart type
1N	0,130 cm	0,223 cm	0,122 cm	0,141 cm	0,135 cm	0,127 cm	0,146 cm	0,038 cm
2N	0,429 cm	0,531 cm	0,403 cm	0,446 cm	0,435 cm	0,417 cm	0,444 cm	0,045 cm
3N	0,637 cm	0,687 cm	0,621 cm	0,653 cm	0,645 cm	0,614 cm	0,643 cm	0,026 cm
4N	0,813 cm	0,902 cm	0,799 cm	0,837 cm	0,825 cm	0,789 cm	0,828 cm	0,040 cm
5N	0,989 cm	1,059 cm	0,962 cm	1,011 cm	0,995 cm	0,968 cm	0,997 cm	0,035 cm
6N	1,073 cm	1,180 cm	1,061 cm	1,095 cm	1,085 cm	1,050 cm	1,091 cm	0,047 cm
7N	1,117 cm	RUPTURE	1,102 cm	1,139 cm	RUPTURE	1,101 cm	1,115 cm	0,018 cm
7,5N	RUPTURE	RUPTURE	1,220 cm	RUPTURE		1,198 cm	1,209 cm	0,016 cm
8N			RUPTURE			1,245 cm	1,245 cm	
8,5N						RUPTURE		

Maquette finale sans système embarqué

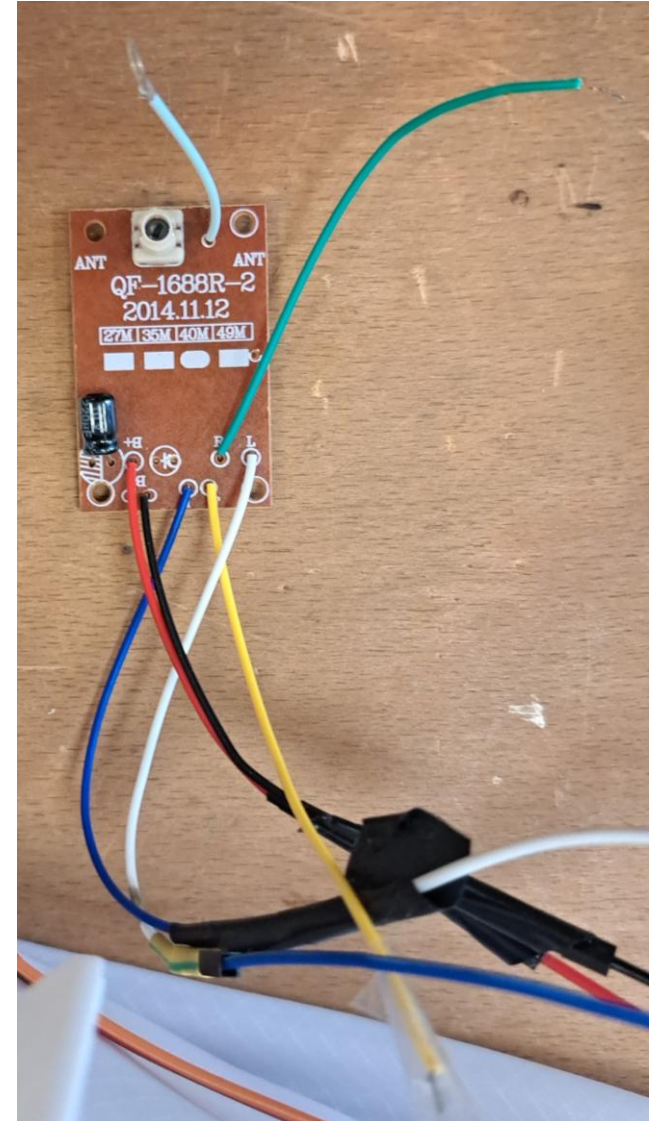


Télécommande et récepteur

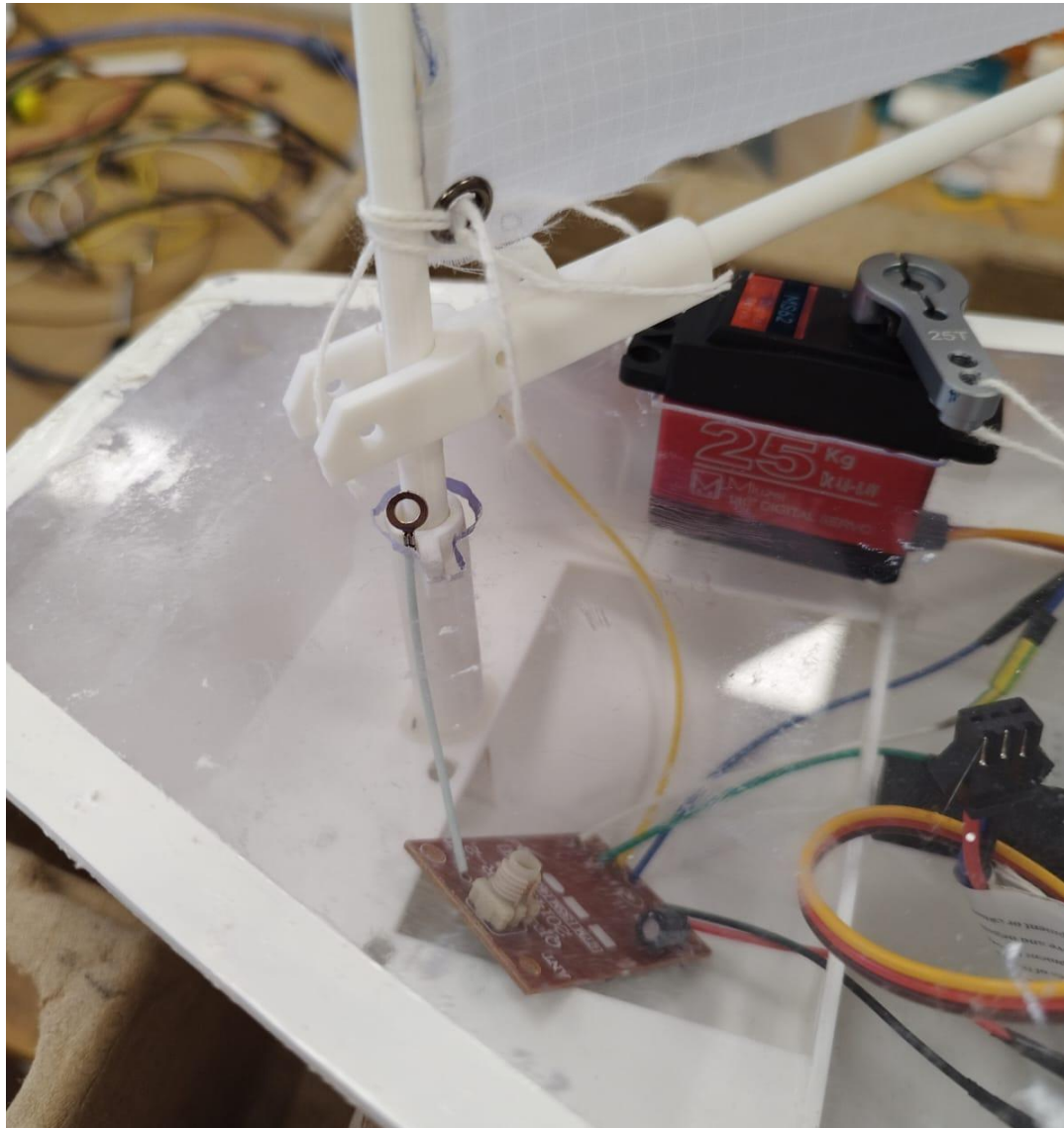


<<requirement>>
Contrôle à distance

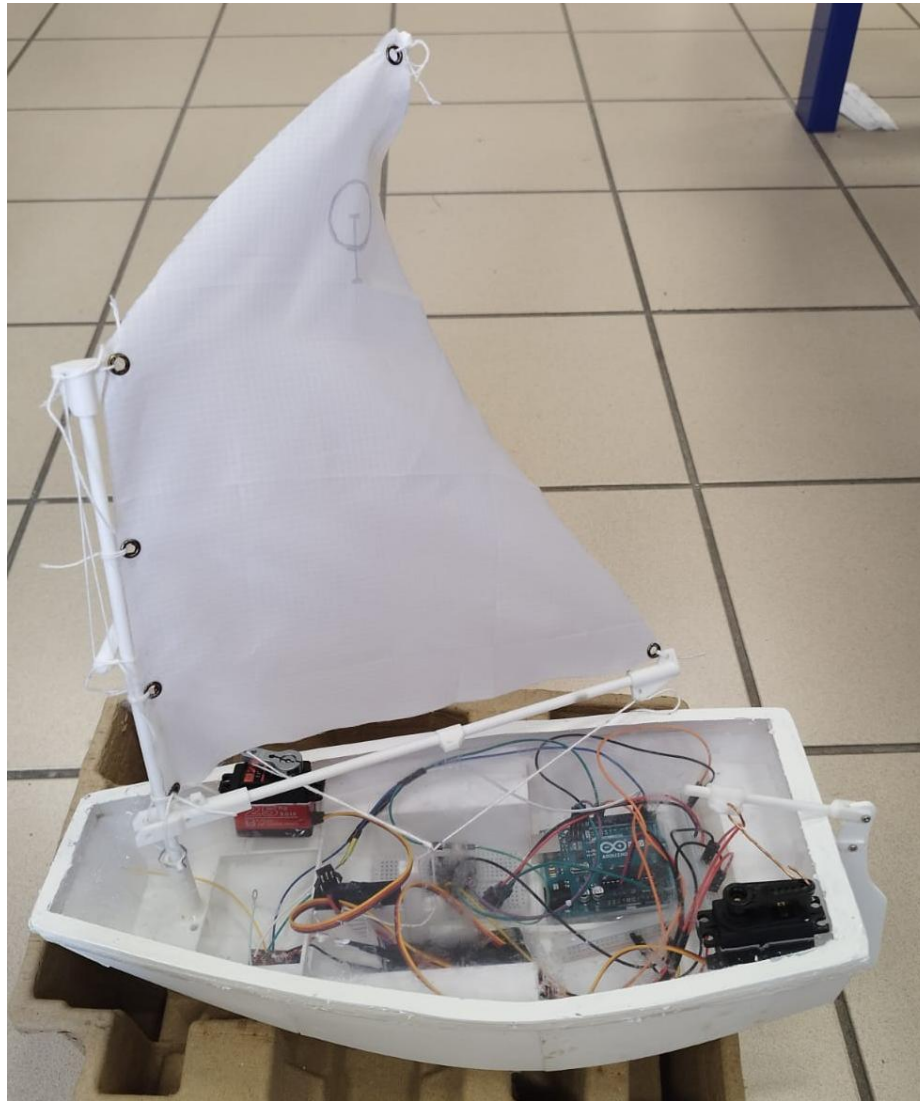
text="La maquette doit pouvoir être contrôlée à une distance de quelques mètres"
Id="3.3.1"



Solution antenne



Maquette finale avec système embarqué



Bibliographie

- [1] CNVA, « La voile à l'École avec le CNVA », [lien](#)
- [2] Erplast, « Tout savoir sur l'Optilène », 2022, [lien](#)
- [3] Alberto Sánchez, Real Club Náutico de Gran Canaria, « Optimist AECIO Trophy », 2013, [lien](#)
Matías Capizzano, Sail-World, « Start line, 2011 Optimist Worlds, Day 1 », 2011, [lien](#)
- OU Fraglia Vela Rival, GardaPost.it, « Meeting del Garda Optimist da Guinness World Records », 2022, [lien](#)
- [4] Charly Fernbach, Bateaux.com, « Essai / Tribord 5S VS Optimist : Quel dériveur pour apprendre la voile en famille ? », 2020, [lien](#)
- [5] Brise et Voiles, [lien](#)
- [6] Image d'Optimist, [lien](#)