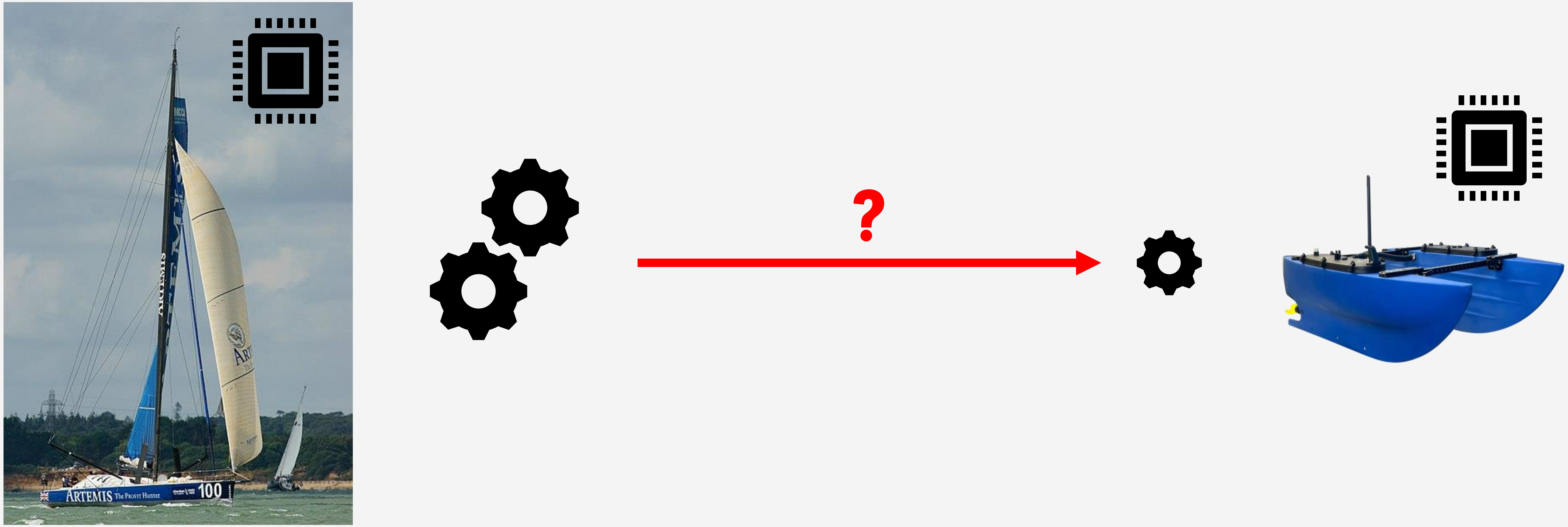
Travail réalisé par :
Ylona PROVOT
Harendra RANGARADJOU
Luc-André TERRINE
Main TIHAMI OUAZZANI
Adrian VANALLI CARRARO

Sous la supervision de :
Loïck DEGORRE
Gabriel BETTON
Fabrice LE BARS
Olivier MÉNAGE

Projet 3A: commande par jumeau numérique

I/ Introduction

A) Contexte


ARTEMIS The Profit Hunter
100
?

I/ Introduction

B) Objectifs

Objectif principal :

Permettre à un USV d'imiter le comportement du jumeau numérique d'un voilier

I/ Introduction

B) Objectifs

Objectif secondaire :

Permettre la navigation simultanée d'un voilier et d'un USV imitant son comportement

II/ Présentation du système

A) Architecture matérielle : Brave

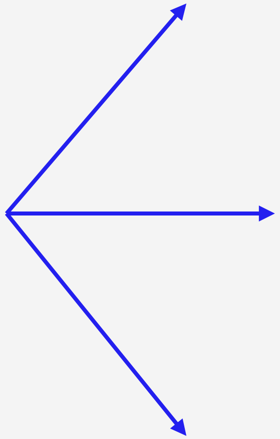
Configurations

Voile souple

Voile souple

Capteur principal

Station
Airmar 220WX



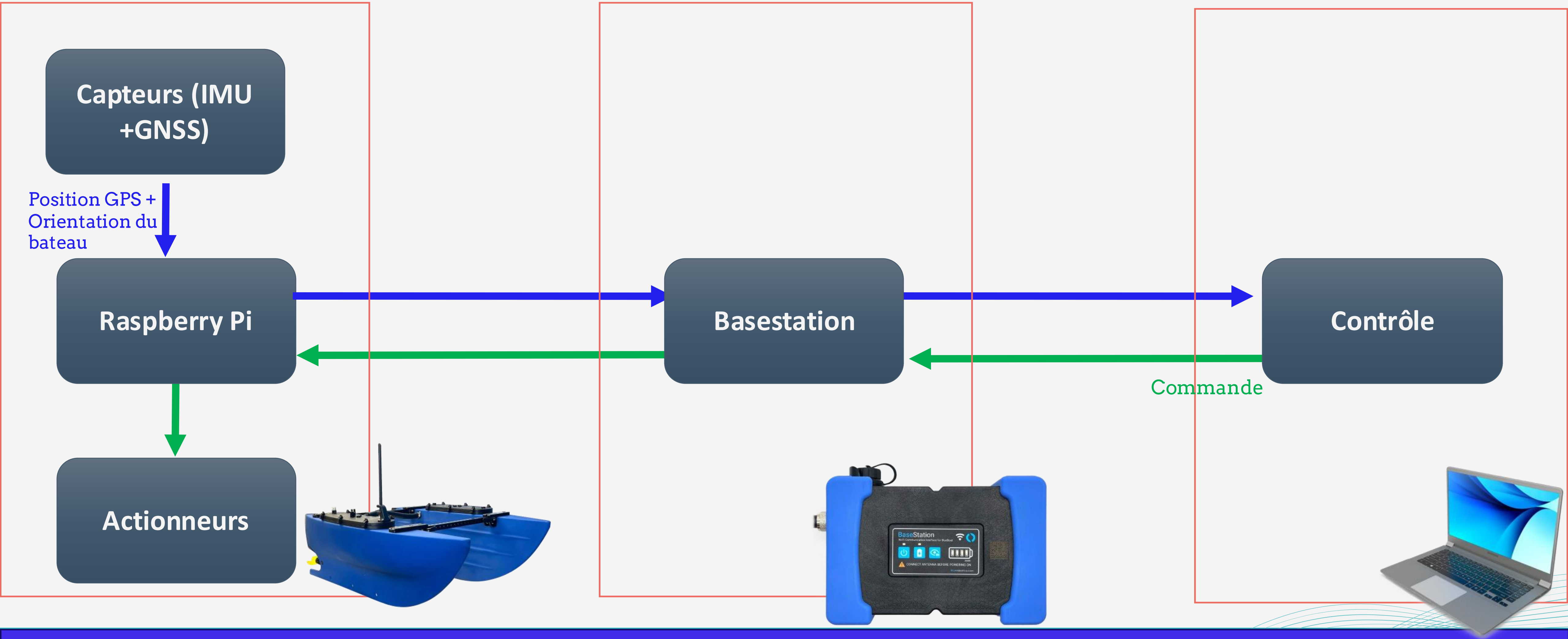
Position

Cap

Vent

II/ Présentation du système

B) Architecture matérielle : Blueboat



Capteurs (IMU +GNSS)

Position GPS + Orientation du bateau

Raspberry Pi

Actionneurs

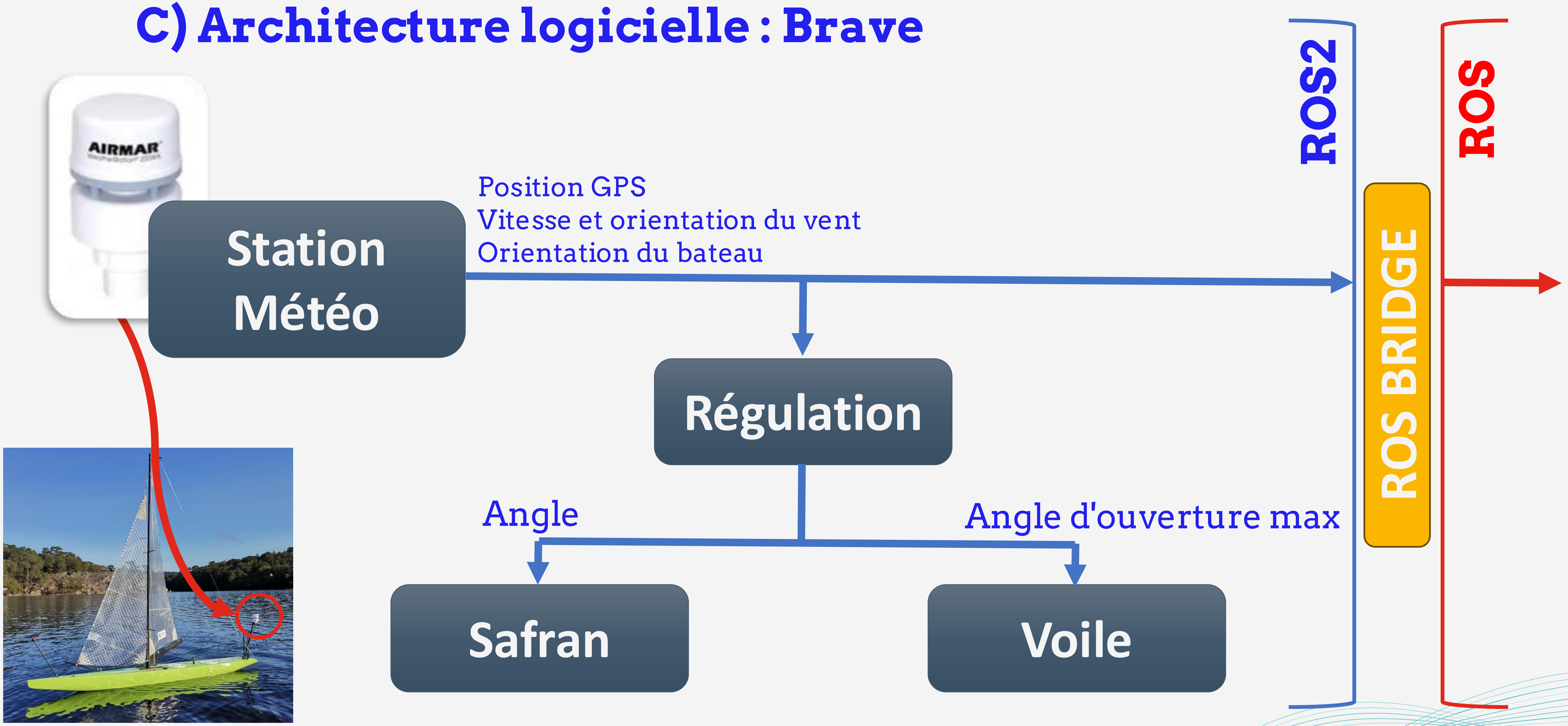
Basestation

Contrôle

Commande

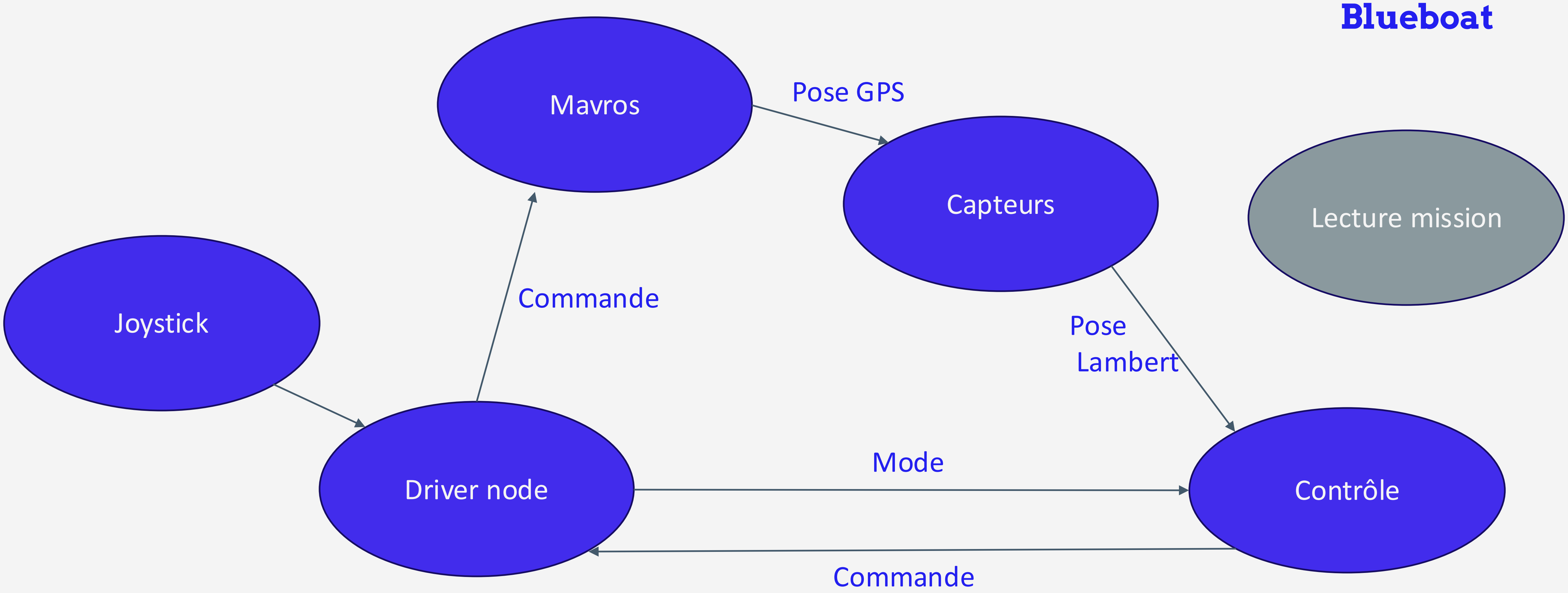
II/ Présentation du système

C) Architecture logicielle : Brave


AIRMAR
Station Météo
Position GPS
Vitesse et orientation du vent
Orientation du bateau
Régulation
Angle
Angle d'ouverture max
Safran
Voile
ROS2
ROS BRIDGE
ROS

II/ Présentation du système

D) Architecture logicielle : Blueboat



Blueboat

Mavros

Pose GPS

Capteurs

Lecture mission

Commande

Joystick

Pose

Lambert

Mode

Driver node

Contrôle

Commande

III/ Modélisation

A) Modélisation des véhicules

Blueboat

$$\text{Soit } \eta = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \psi \end{pmatrix}_{R_0} \quad \text{et} \quad \nu = \begin{pmatrix} u \\ v \\ r \end{pmatrix}_{R_b}$$

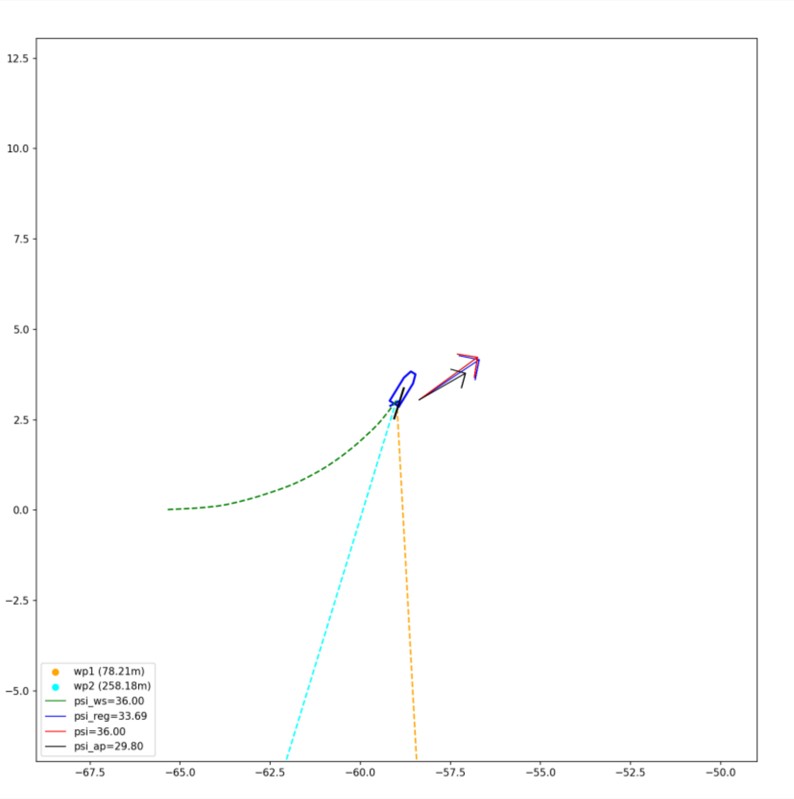
Equation d'état :

$$\dot{X} = \begin{pmatrix} \dot{\eta} \\ \dot{\nu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J.\nu \\ M^{-1}(\tau - C\nu - D\nu) \end{pmatrix}$$

III/ Modélisation

B) Estimation des paramètres

Jumeau numérique



Modèle dynamique

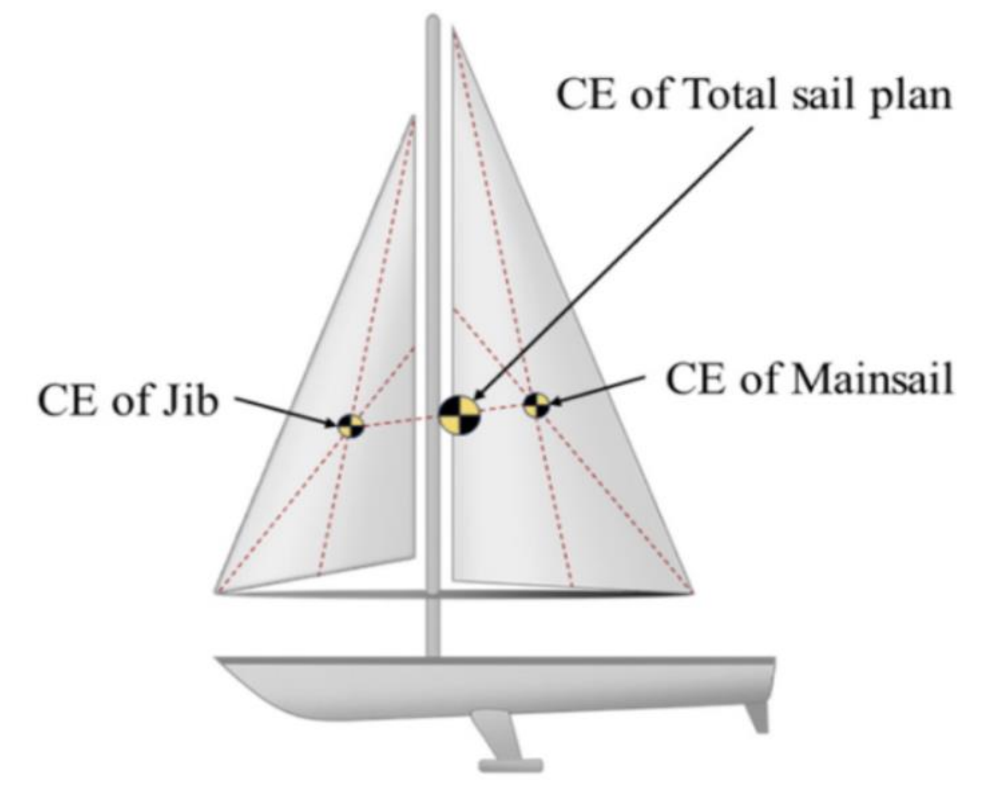
$$\dot{x} = f(x, u, p_1, \ldots, p10)$$

III/ Modélisation

B) Estimation des paramètres

Détermination des paramètres empiriques p6, p7, p8, p9

- p6 = 0, 65 m : position du centre de poussée du vent sur la voile
- p7 = 0, 06 m : position du mât
- p8 = 0, 296 m : position du gouvernail
- p9 = 21, 7 kg : masse


CE of Total sail plan
CE of Jib
CE of Mainsail

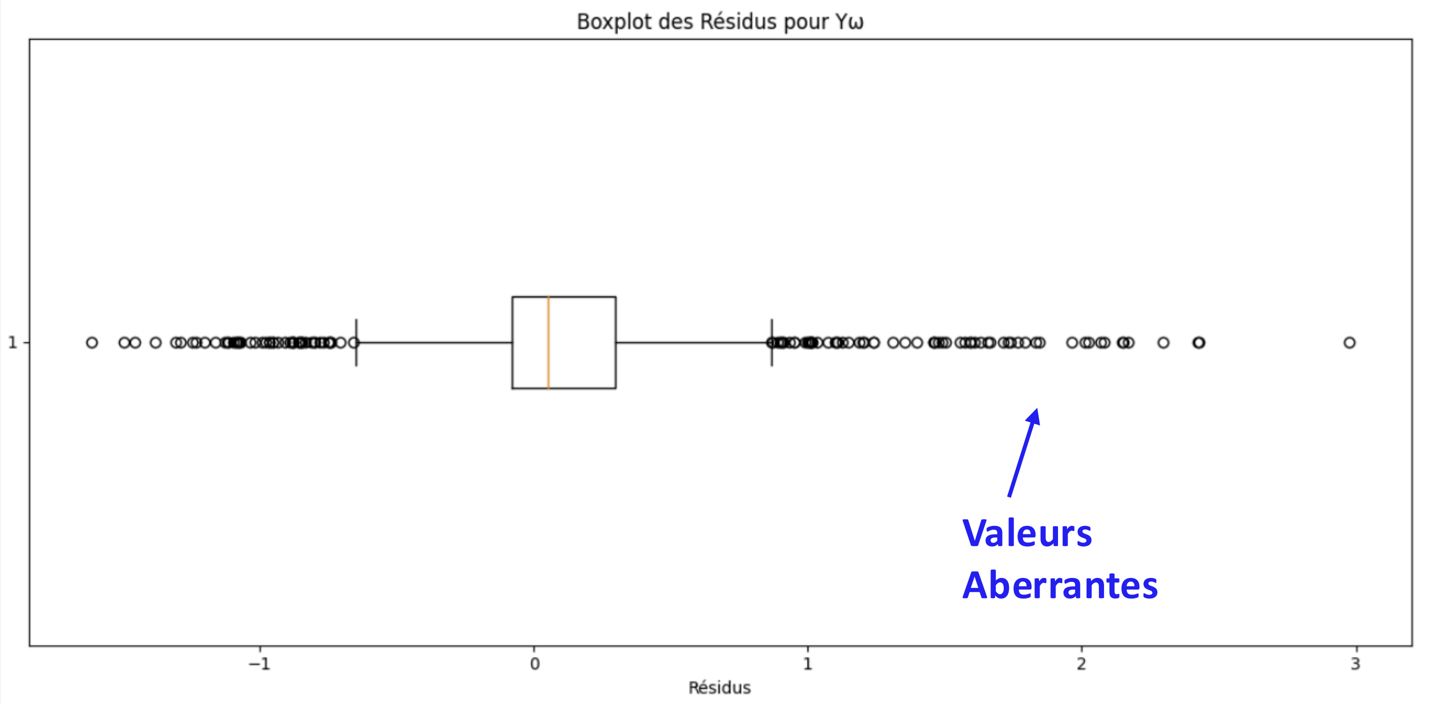
P6: Position aérodynamique du centre de la voile

III/ Modélisation

B) Estimation des paramètres

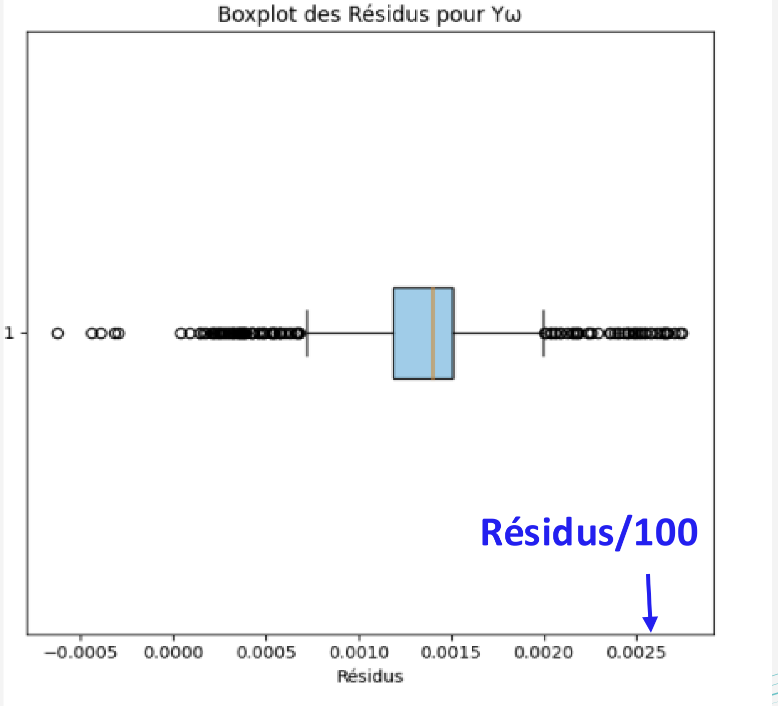
Détermination des paramètres p1, p2, p3, p4, p5, p10

Moindres carrés



Valeurs Aberrantes

RANSAC

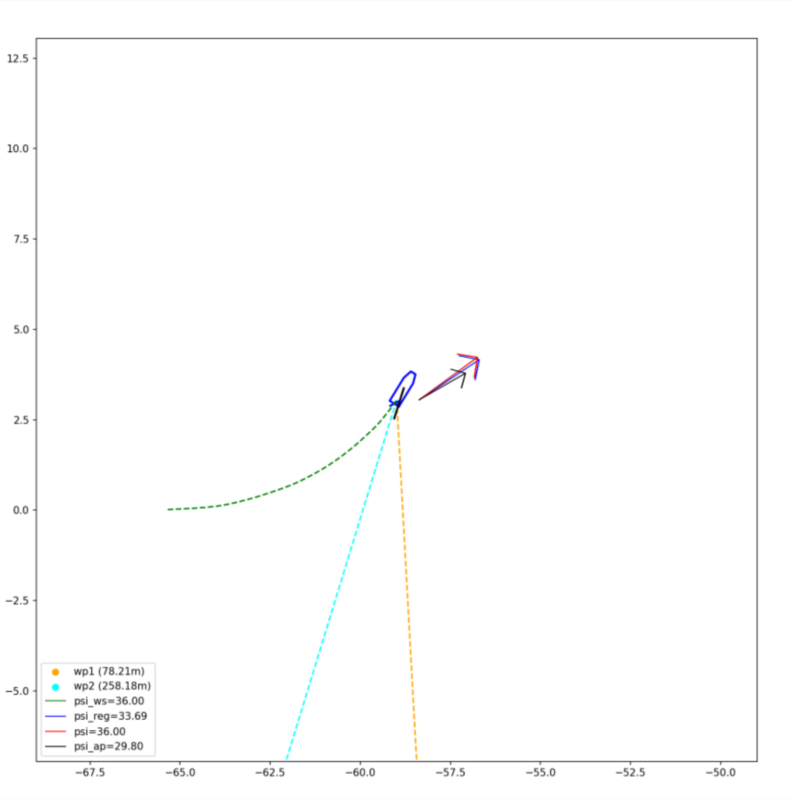


Résidus/100

III/ Modélisation

C) Apprentissage du modèle

Jumeau numérique

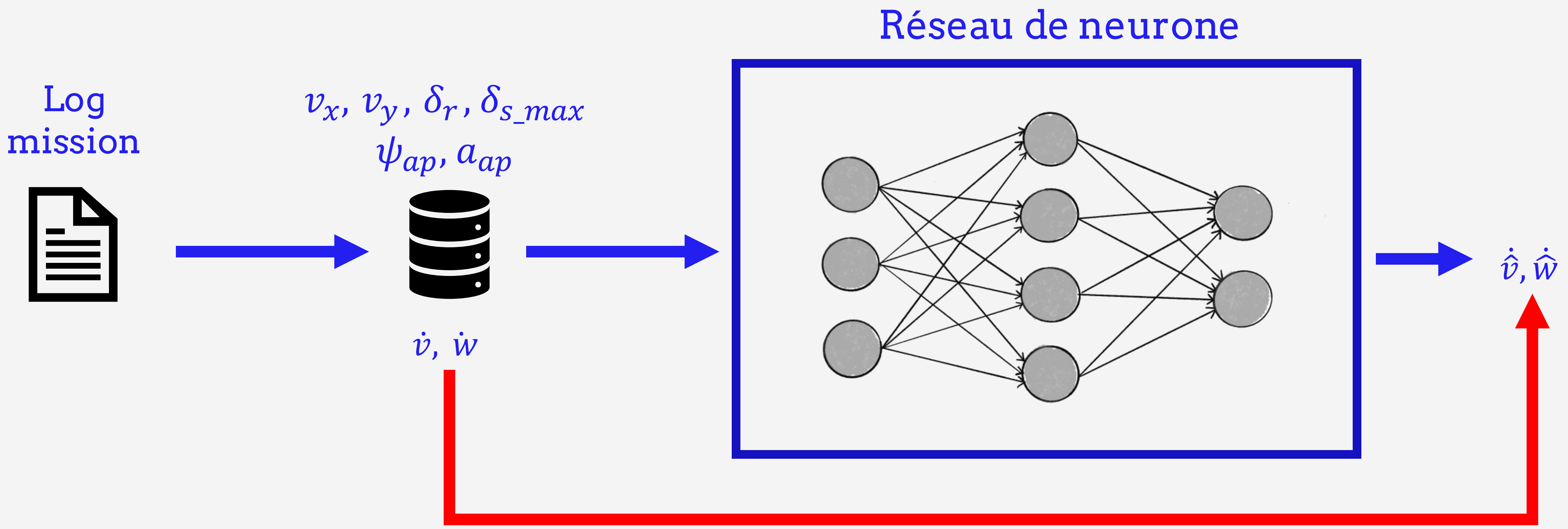


Modèle appris

$$\dot{x} = \hat{f}(x, u)$$

III/ Modélisation

C) Apprentissage du modèle



Log mission

$v_x, v_y, \delta_r, \delta_{s\_max}$

ψ_{ap}, a_{ap}

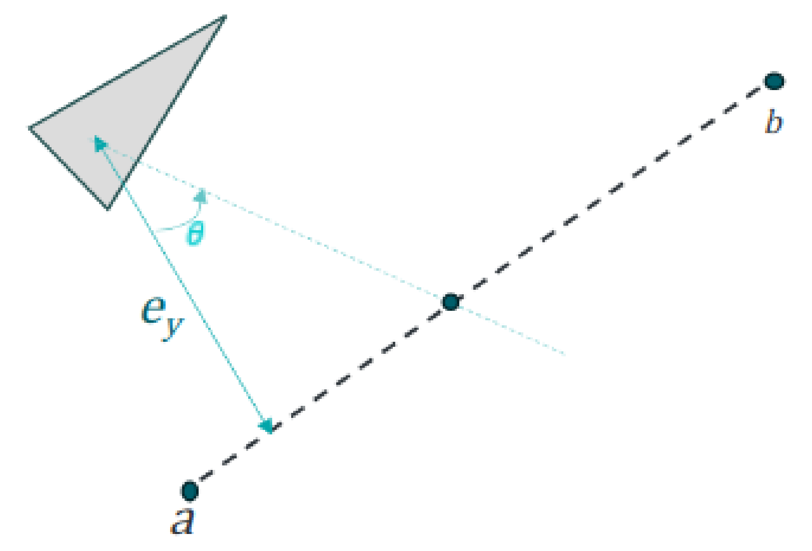
$\dot{v},\ \dot{w}$

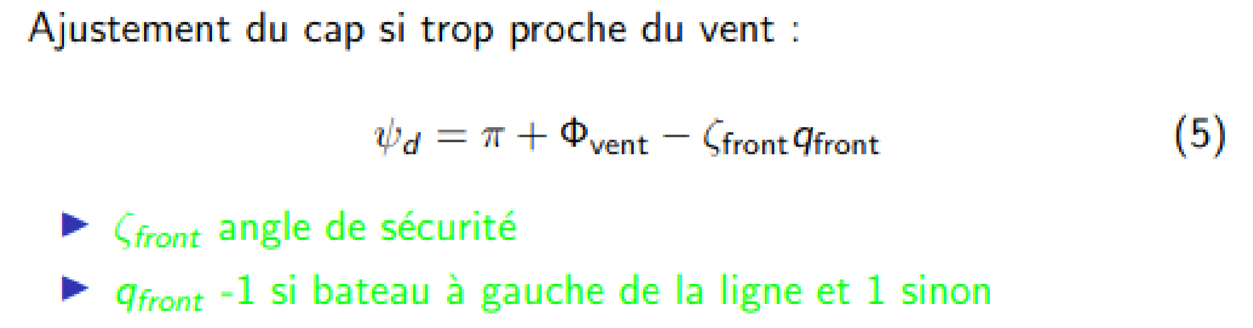
Réseau de neurone

$\hat{\dot{v}}, \hat{\dot{w}}$

IV/ Commande

A) Voilier





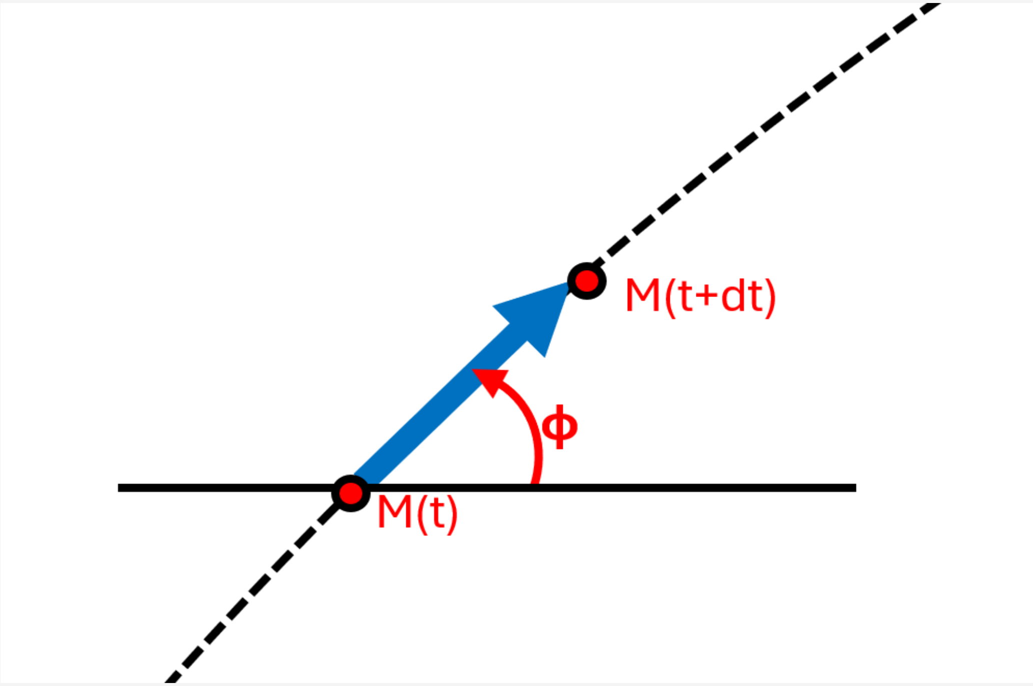
Ajustement du cap si trop proche du vent :

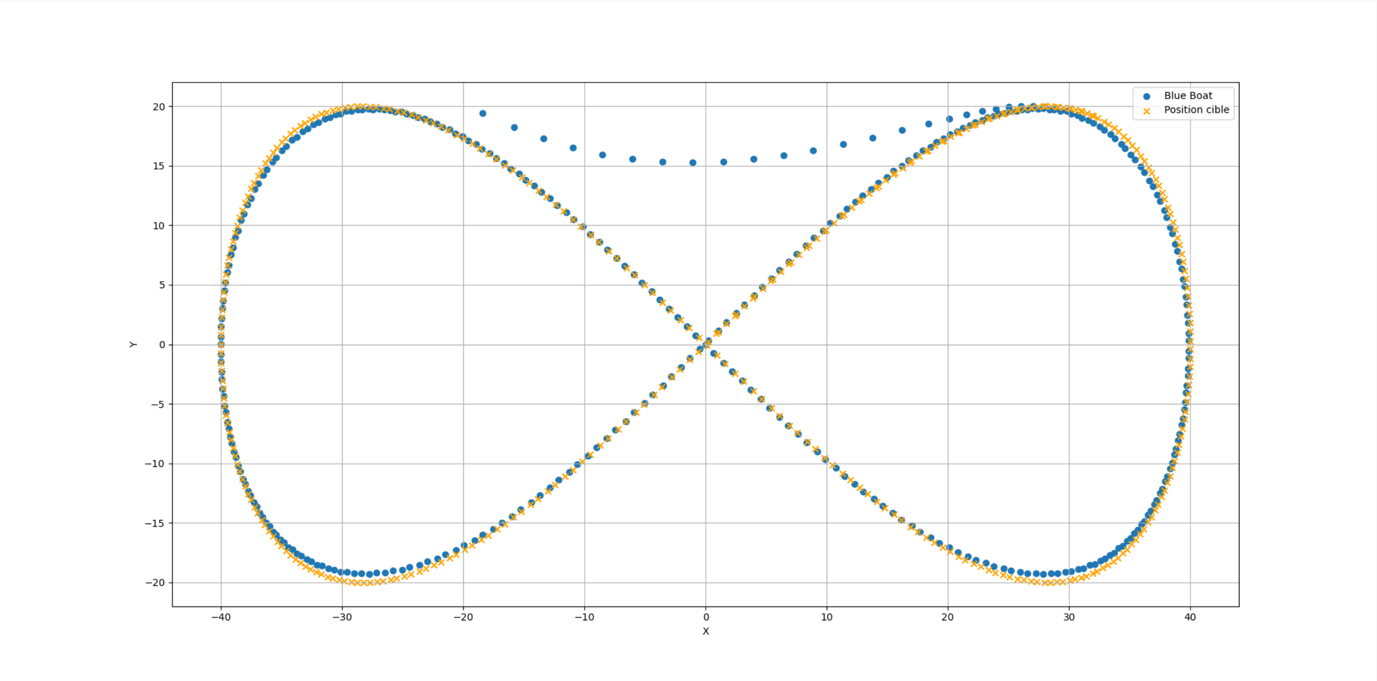
$$\psi_d = \pi + \Phi_{\text{vent}} - \zeta_{\text{front}} q_{\text{front}} \tag{5}$$

- ζ_{front} angle de sécurité
- q_{front} -1 si bateau à gauche de la ligne et 1 sinon

IV/ Commande

B) Blueboat





V/ Expérimentations

Guerlédan 1

- Navigation du Brave
- Acquisition de données

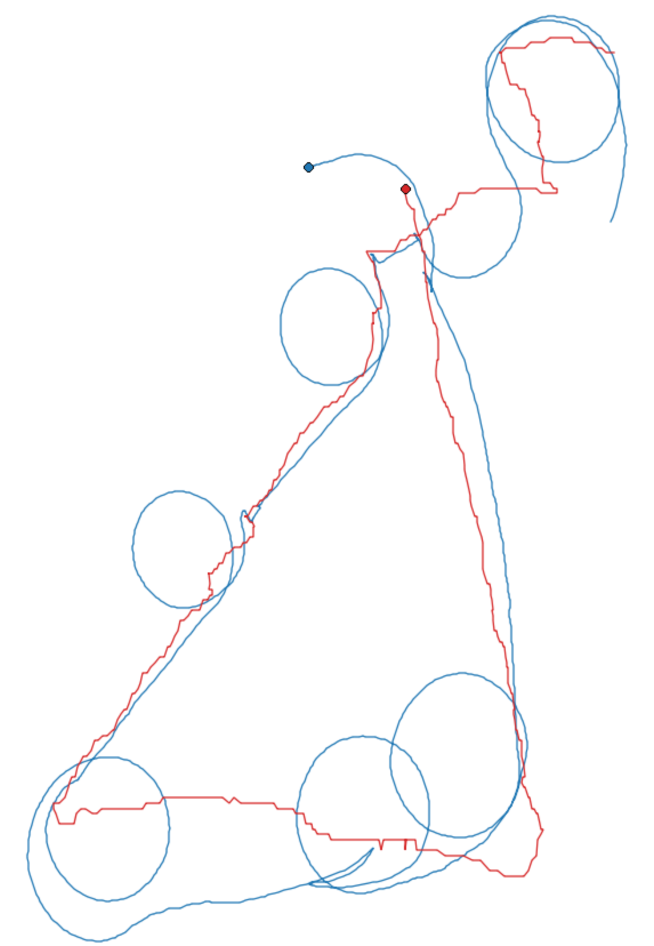
Guerlédan 2

- Une seule journée
- Navigation du Blueboat
- Amélioration

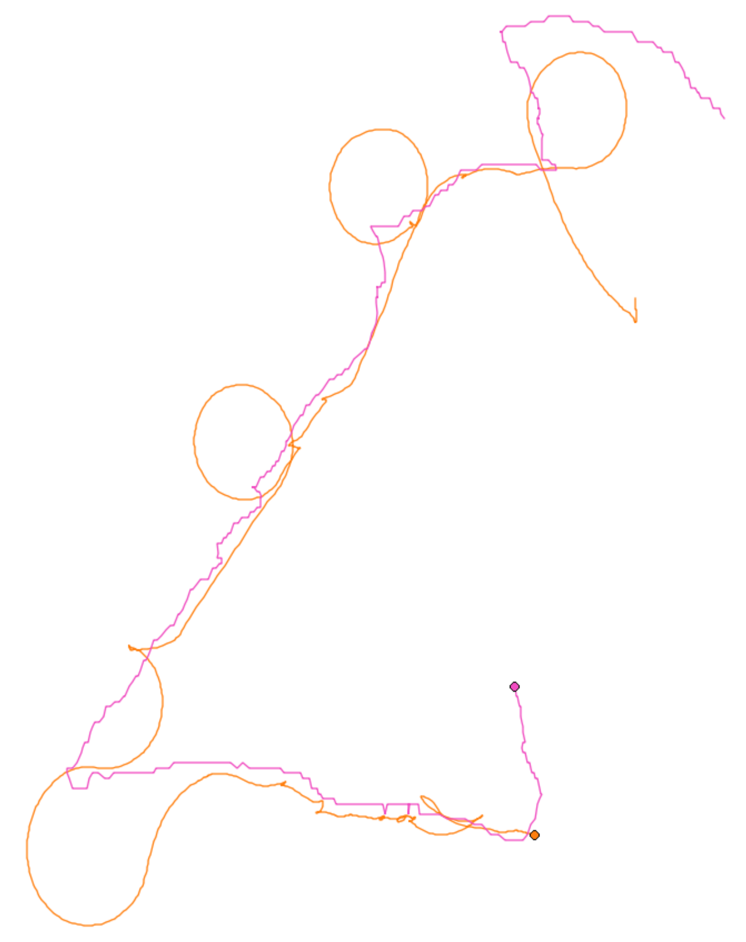
Guerlédan 3

- Jumeau numérique
- Navigation simultanée

VI/ Résultats



Sans régulation de l'accélération



Avec régulation de l'accélération

Conclusion

Questions

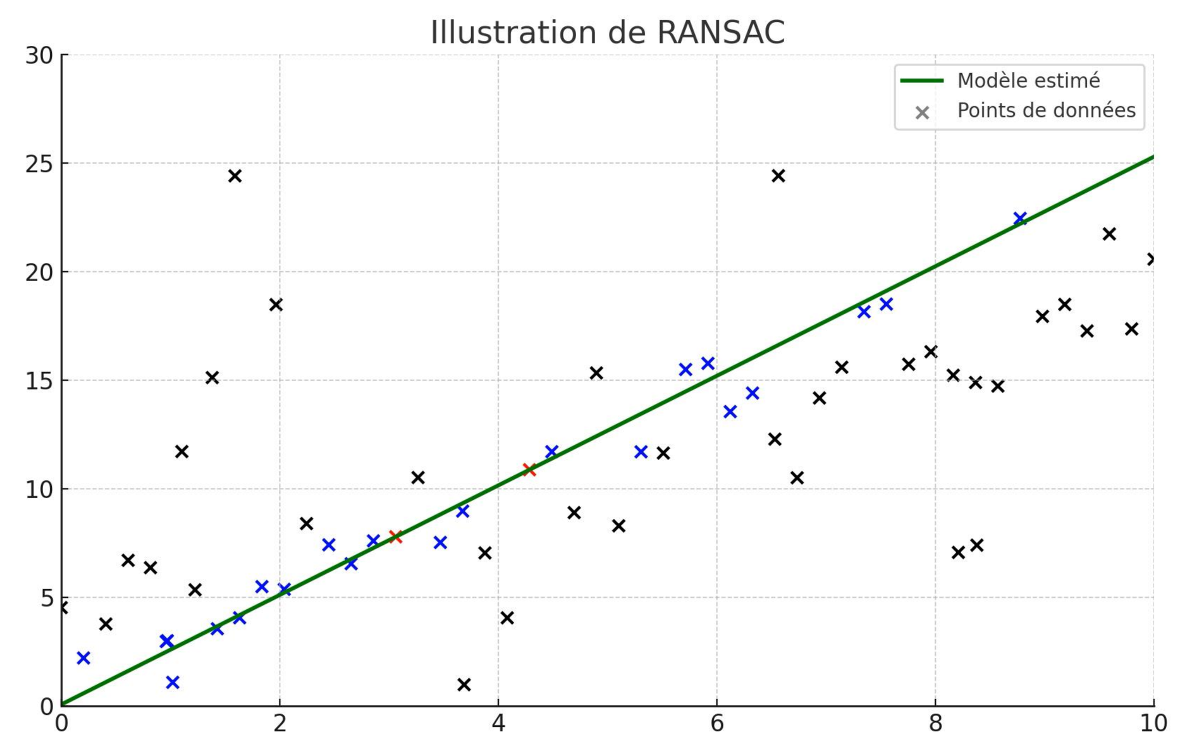


Illustration de RANSAC
Modèle estimé
Points de données
30
25
20
15
10
5
0
0
2
4
6
8
10