



Gaétan Pérez
Aime Zo Randriamoramanana
Camilo Ortiz
Ambre Ricouard

Projet 3A: 2024-2025

ENST2



INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS

Kayak automatisé sur Foil

Contexte

Hydrofoil

- Embarcation équipée de plans porteurs immergés ou **foils**
- À une certaine vitesse, la portance soulève la coque hors de l'eau

Avantages

- Réduction de la traînée en vol: **vitesse accrue**
- **Efficacité énergétique améliorée**
- **Confort de voyage** en transport civil

Applications

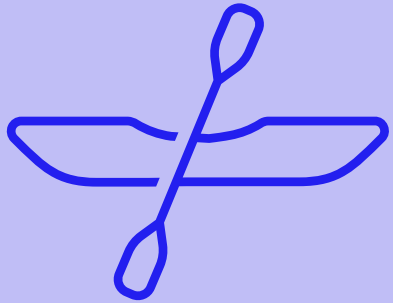
- Transport maritime plus rapide
- Navires militaires **furtifs**



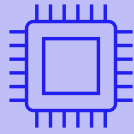
Boeing PHM Pegasus (1973)



Notre mission



Fiabiliser la
plateforme



Adapter l'électronique à de
l'embarqué

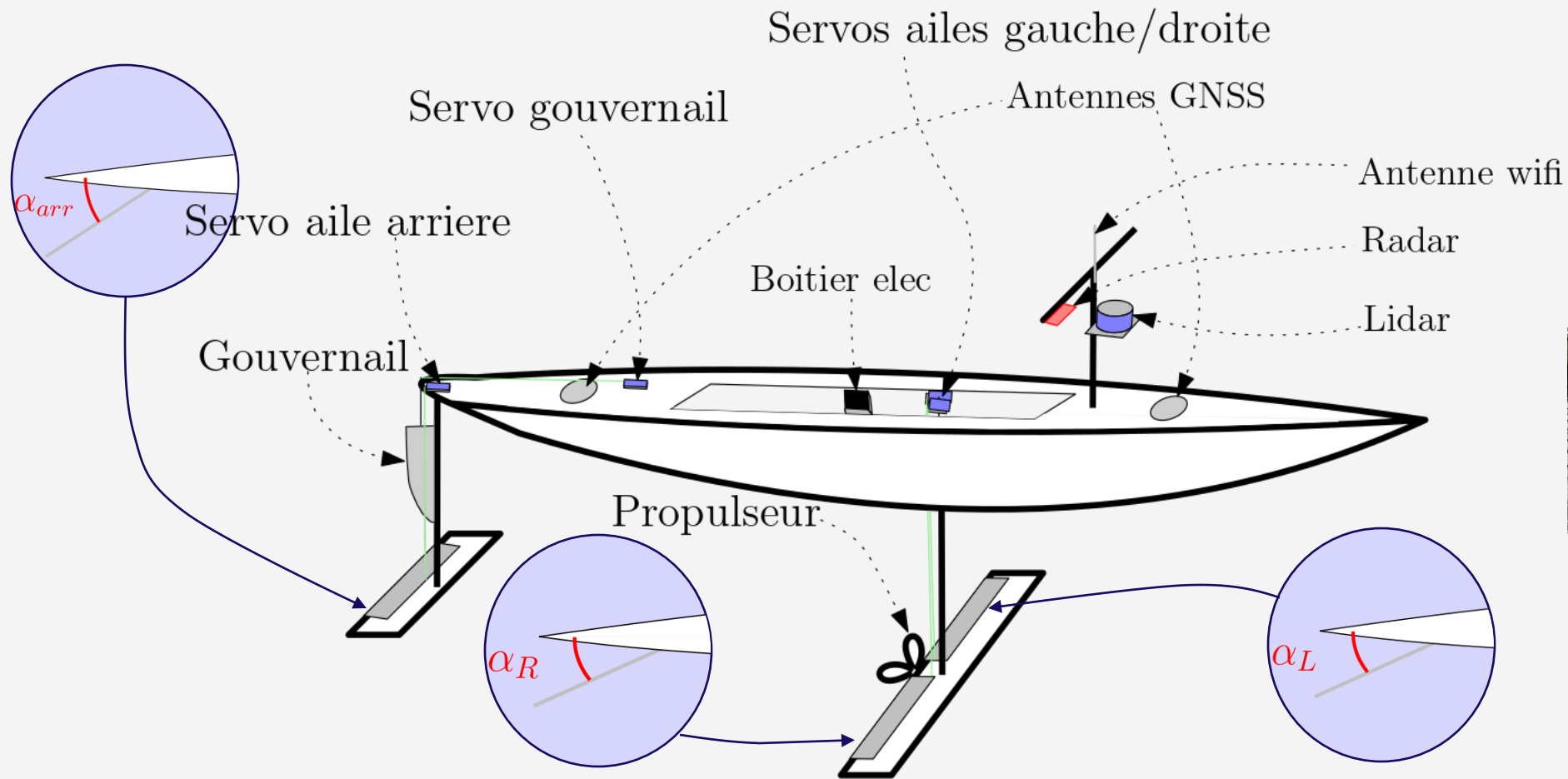


Revoir les capteurs les mieux adaptés
pour l'automatisation

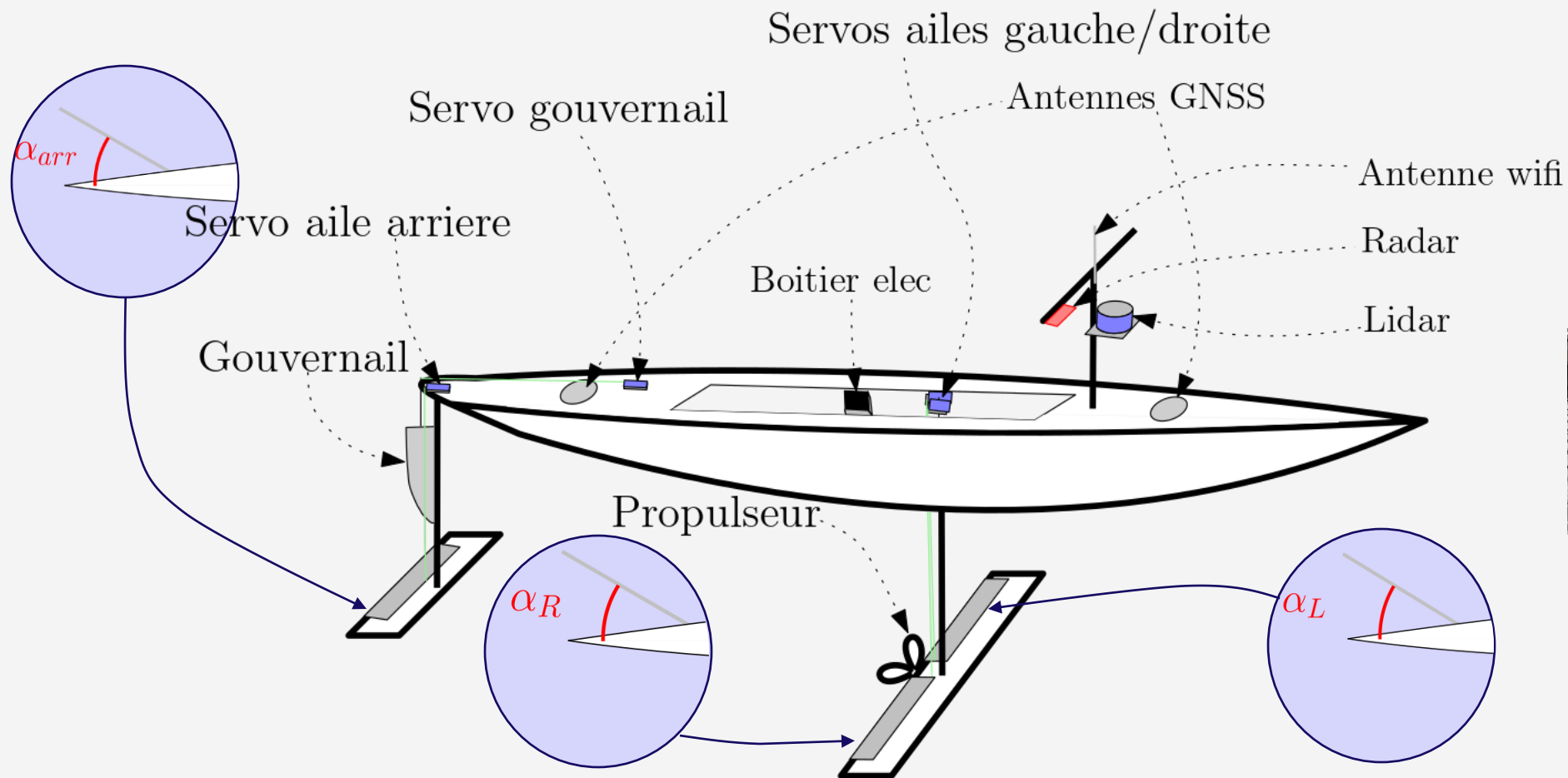


Nouvelle loi de commandes pour
améliorer la maniabilité du kayak

Actionnements



Actionnements



Capteurs

Position / Attitude

- Antennes GNSS
- Centrale Inertielle: SBG Ellipse D



Hauteur de vol

- Radar: IWR6843AOPEVM



Évitement d'obstacle

- Lidar: Velodyne
- Caméra

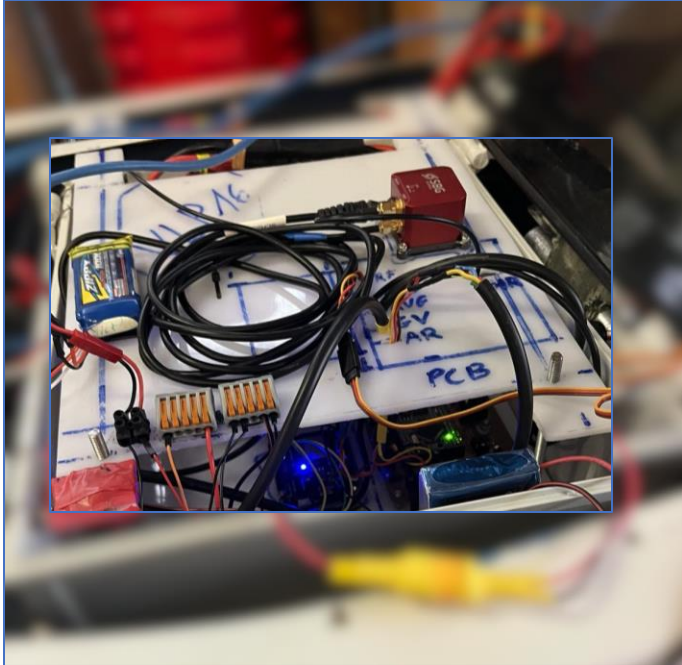


Communication

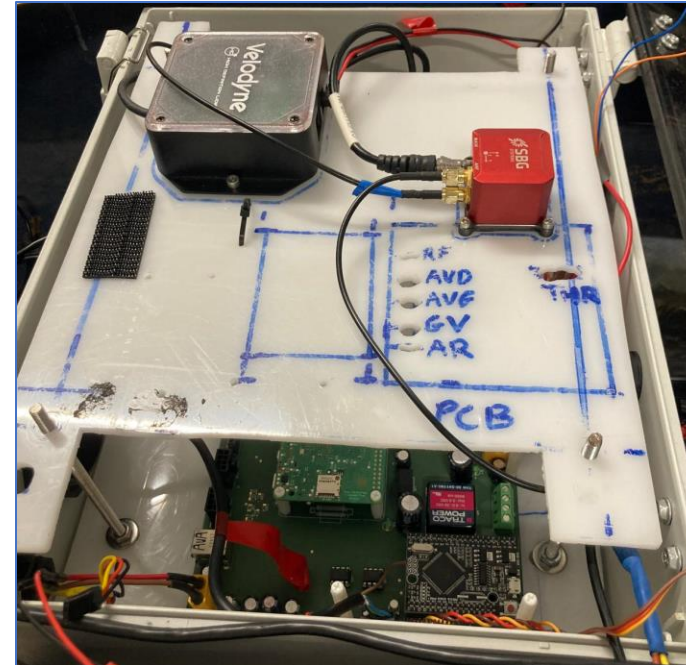
- Antenne Wifi Ubiquiti

Architecture électronique

/ **Problématique** : Rendre l'électronique plus fiable en réordonnant le boîtier électronique



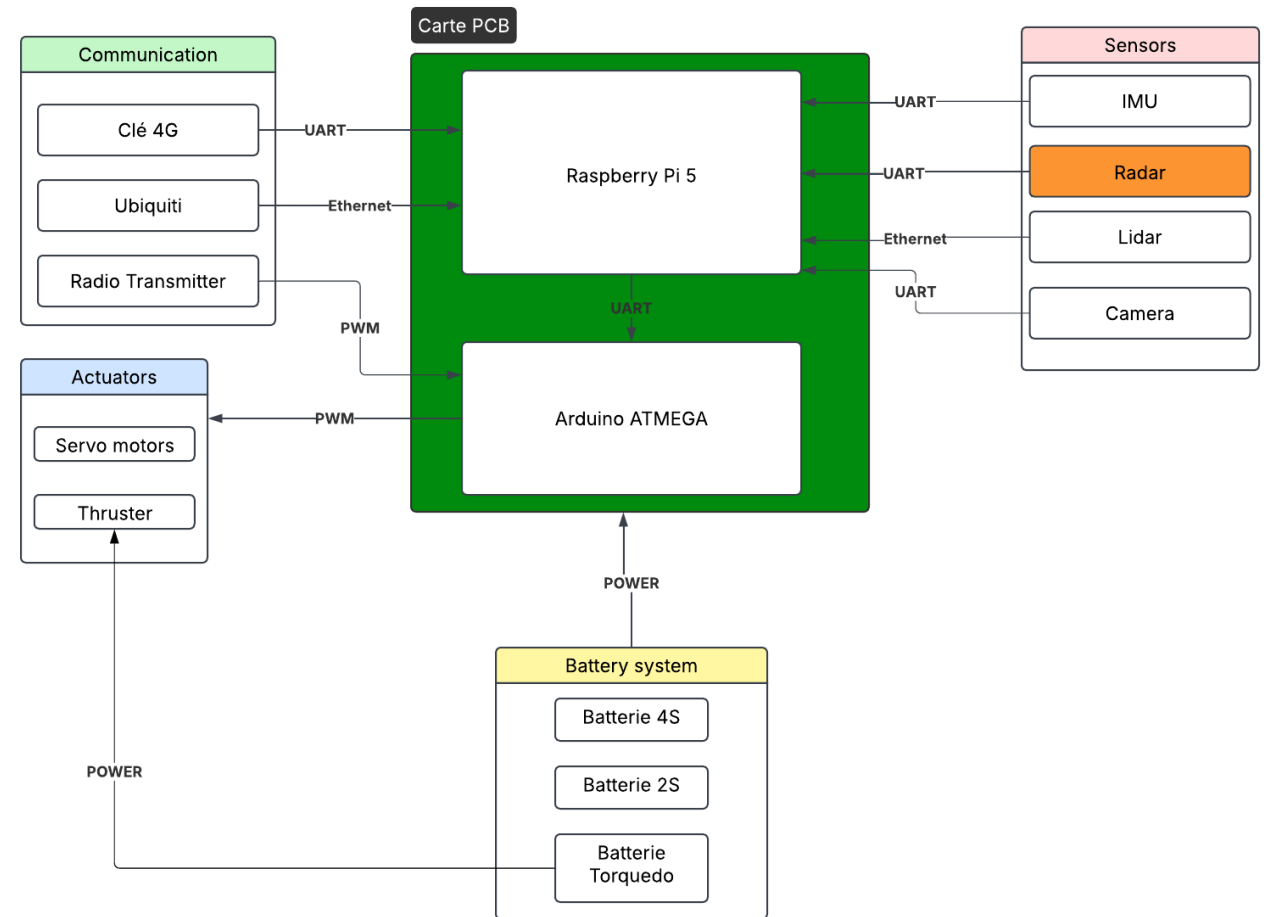
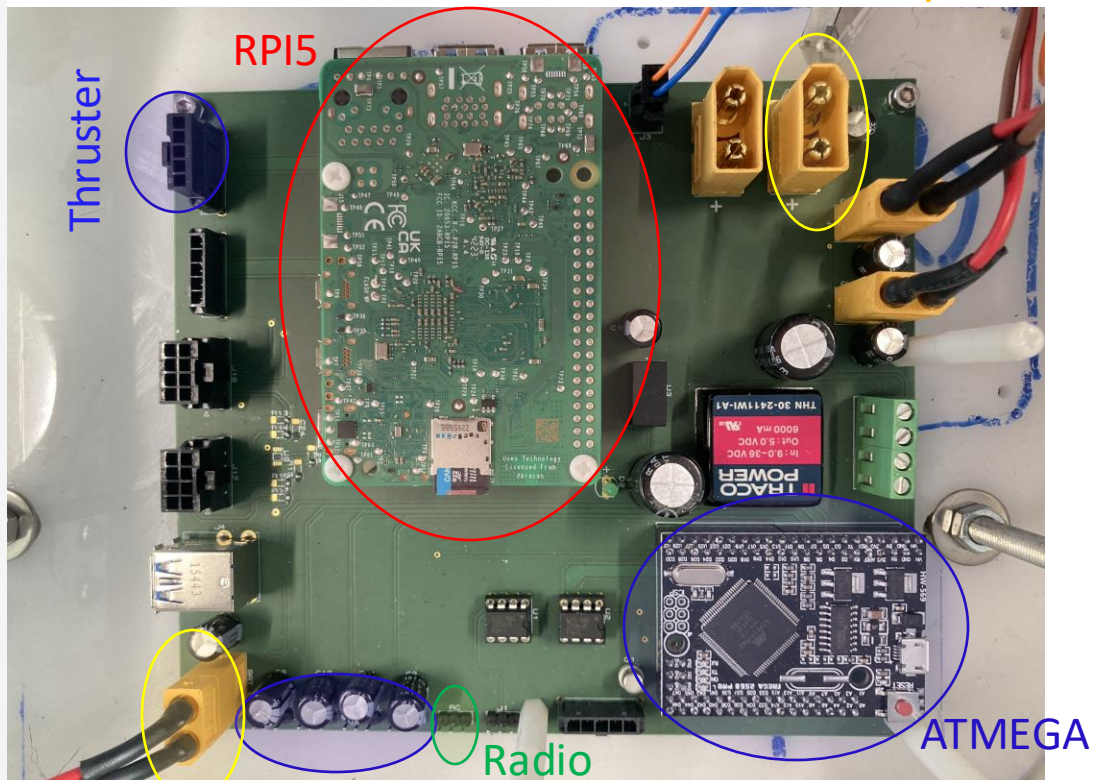
Avant



Après

Architecture électronique

/ Architecture matérielle



Changement du Nuc vers la Raspberry Pi 5

/ Architecture matérielle



NUC

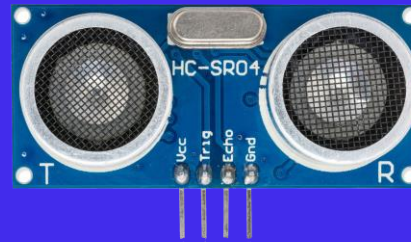


Pi 5

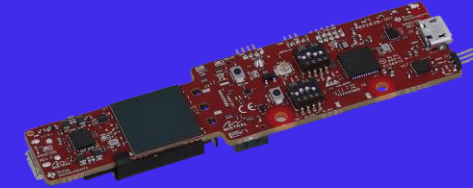
	NUC	Pi 5
Adaptabilité à l'embarqué	---	+++
Type de processeur	X86	ARM Cortex A76
Système d'exploitation	Ubuntu 22	Ubuntu 24
Alimentation	19W-65W	5W

Changement du Sonar vers le Radar

/ Architecture matérielle



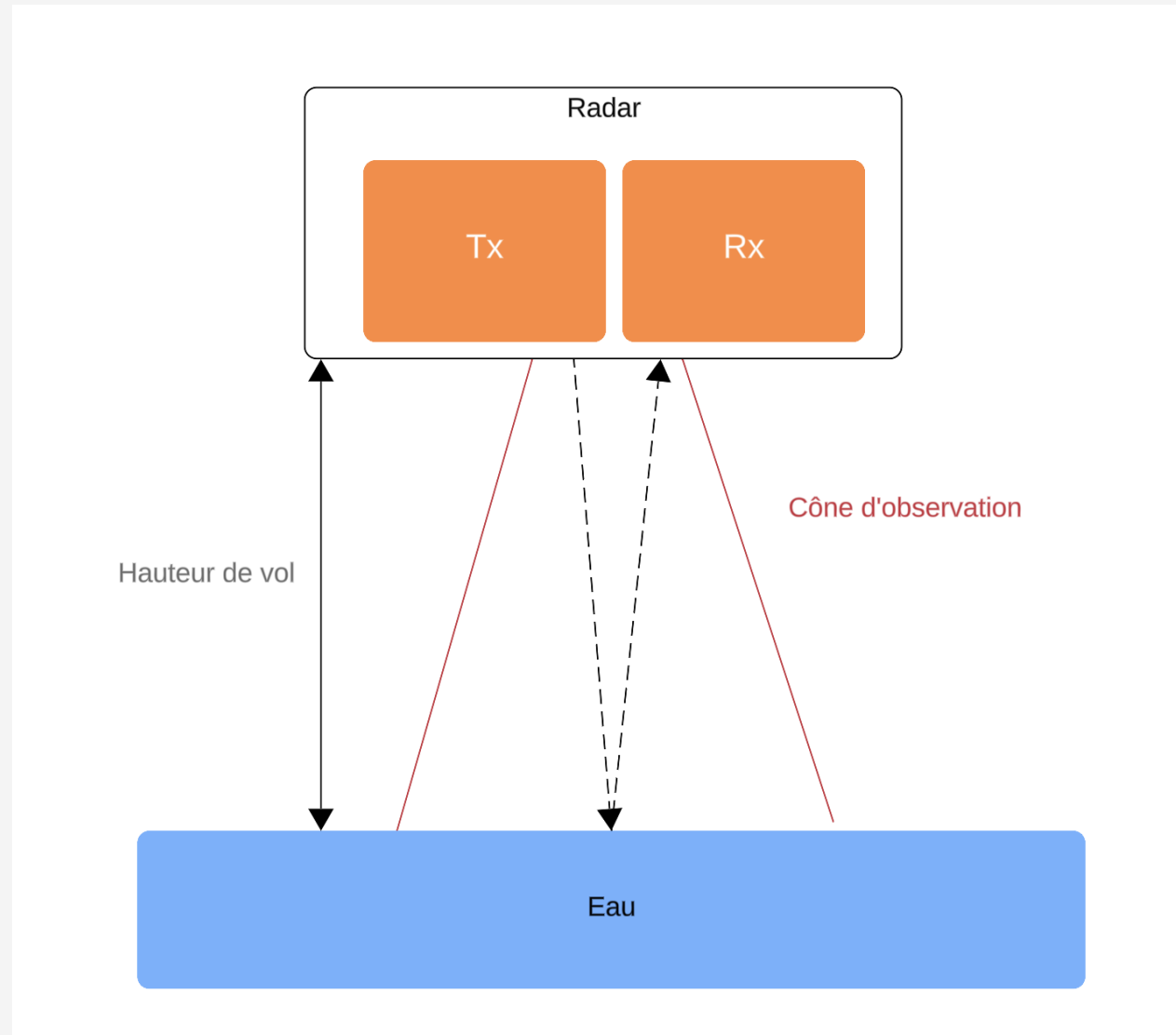
Ultrason HC-SR04



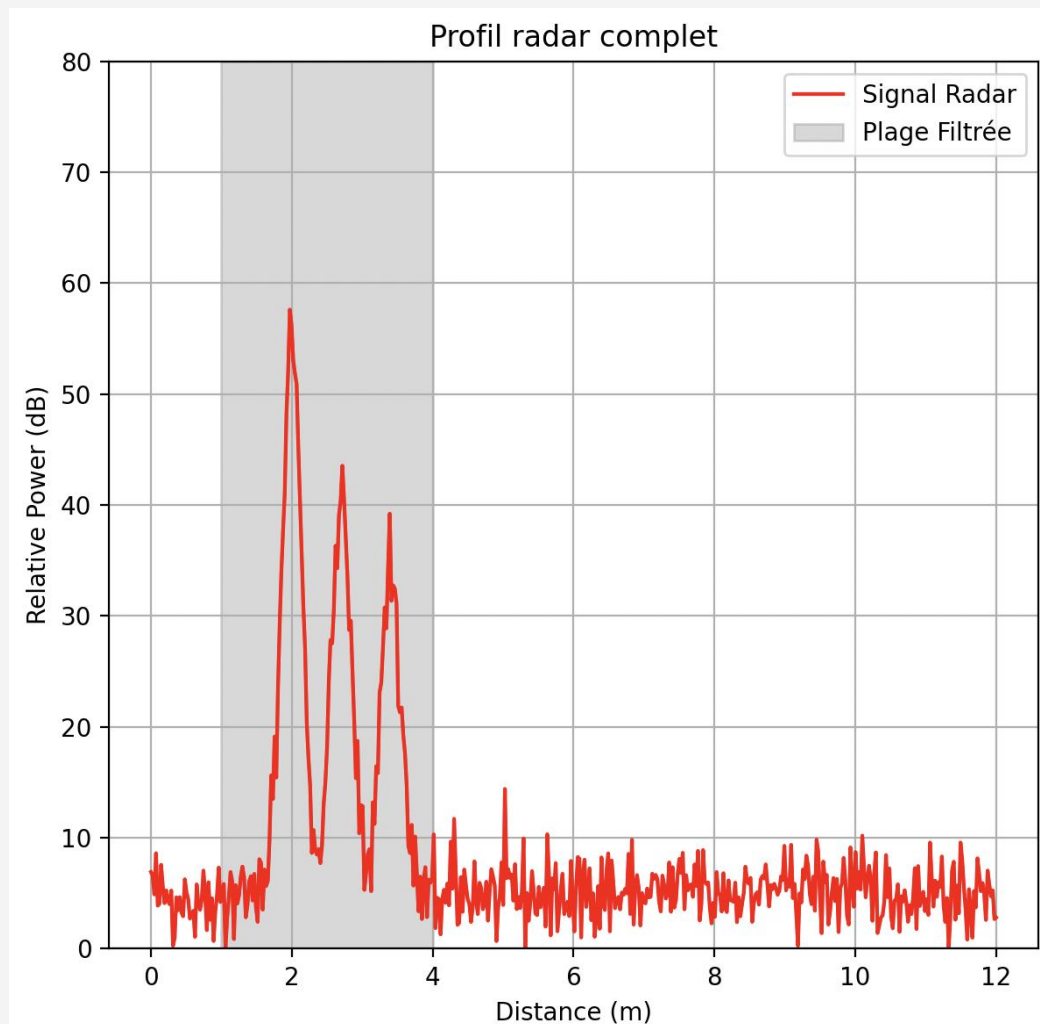
Industrial mmWave Radar
IWR6843AOPEVM

Sensibilité aux Conditions	Perturbé par l' humidité l' écume	Compatible avec la pluie le brouillard les vagues
Précision	Centimétrique	Millimétrique
Détection des Surfaces Liquides	Difficile erreurs si surface agitée	Oui capte même l'eau en mouvement

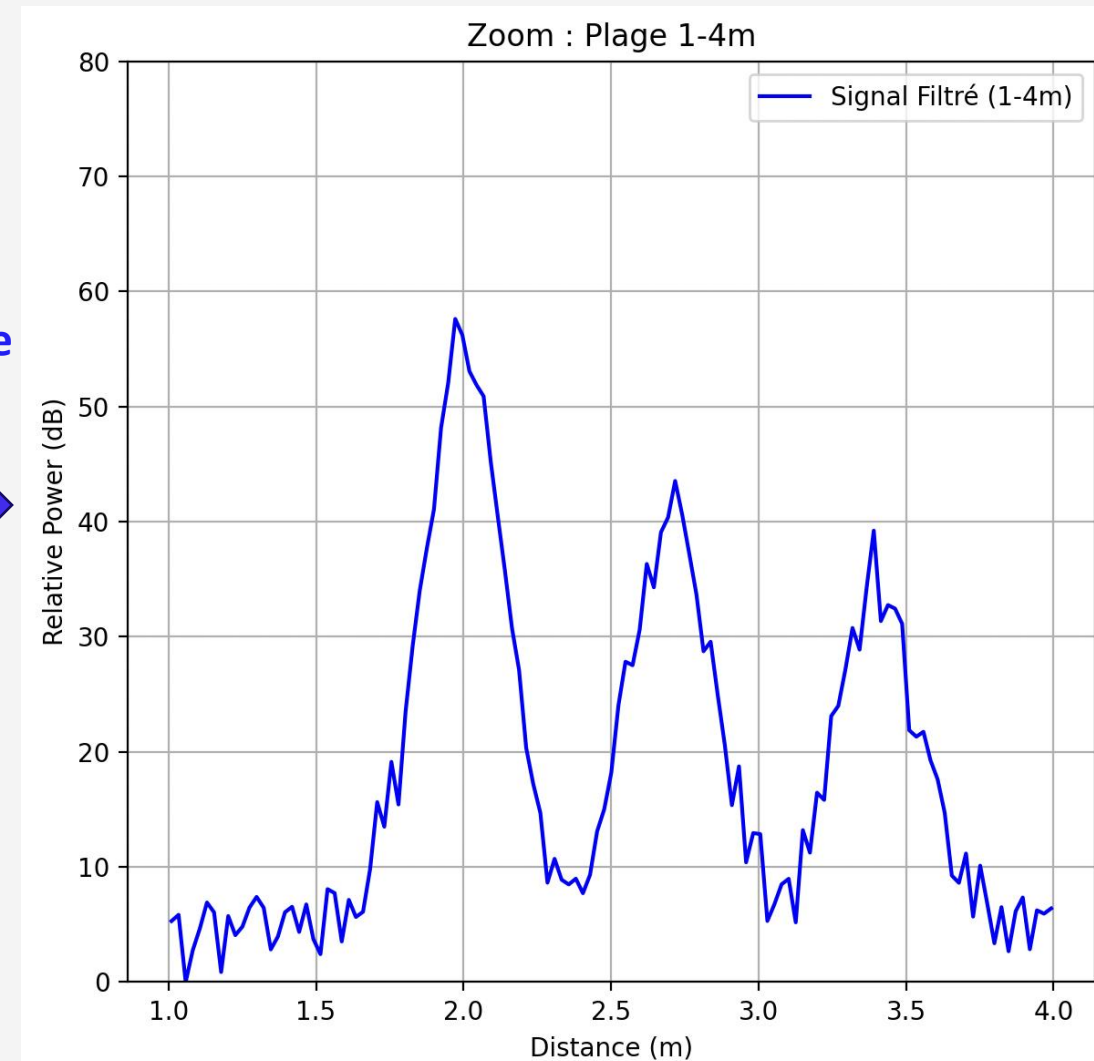
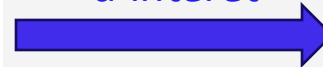
Fonctionnement du radar



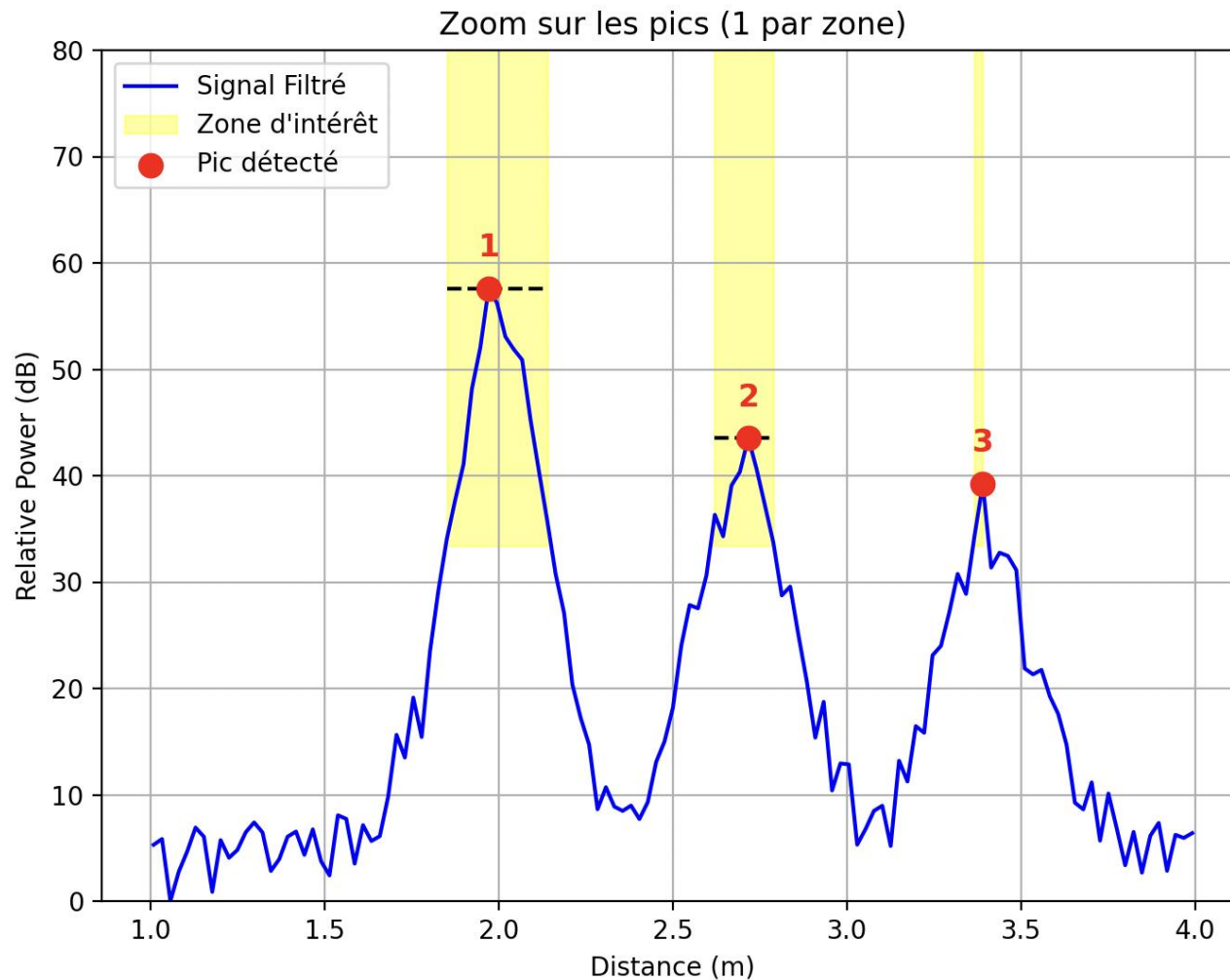
Récupération de la hauteur de vol



Filtrage spatiale
de la zone
d'intérêt

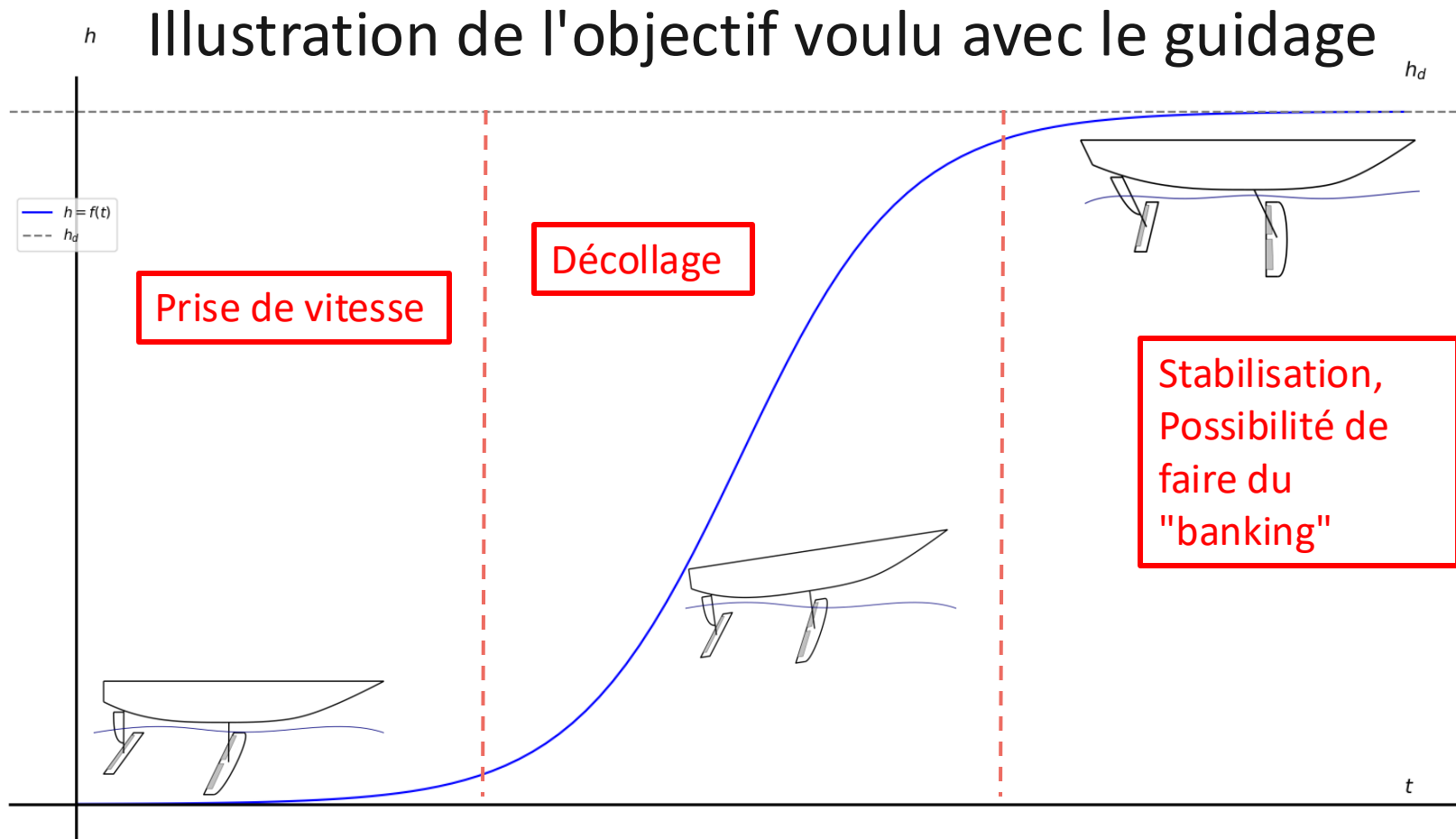


Récupération de la hauteur de vol



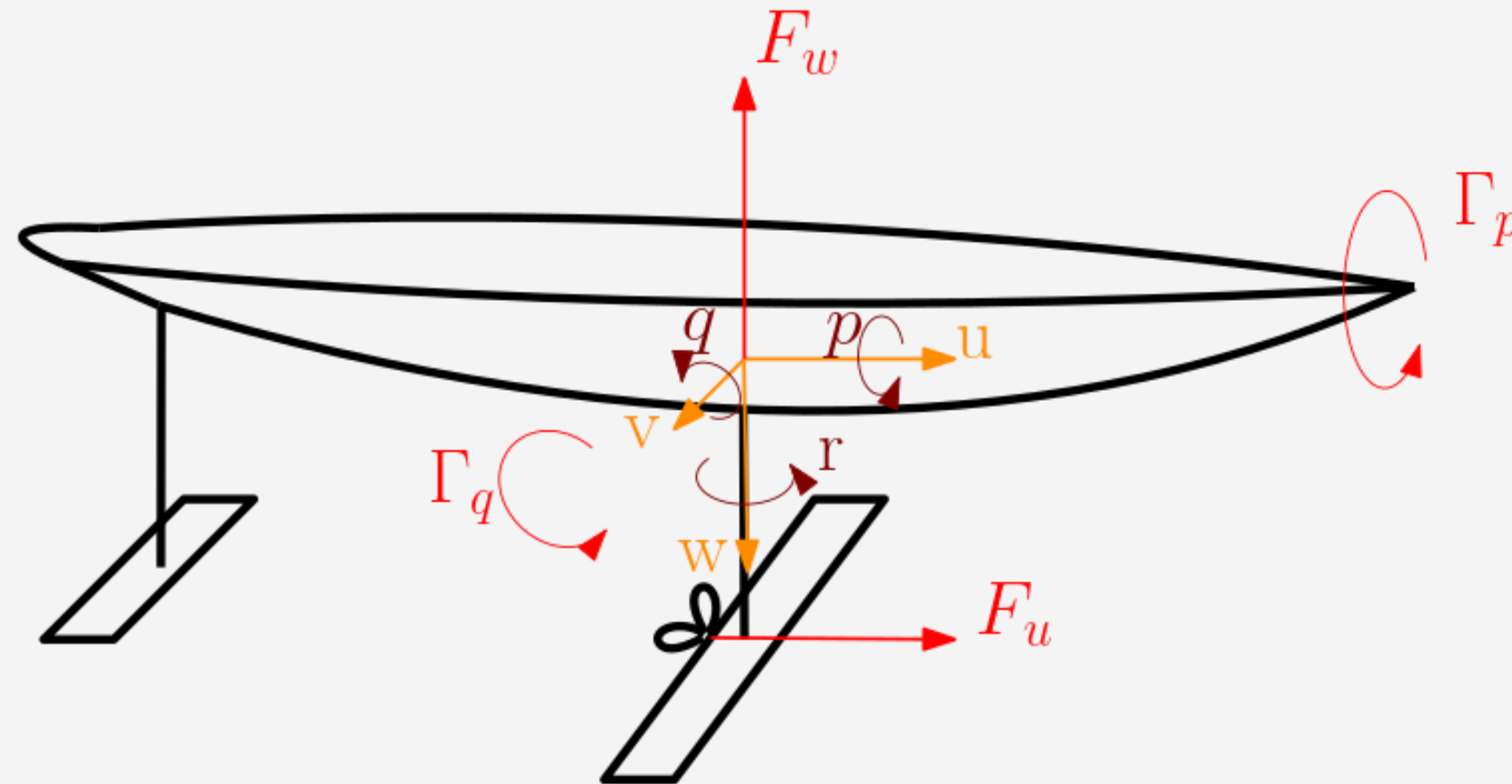
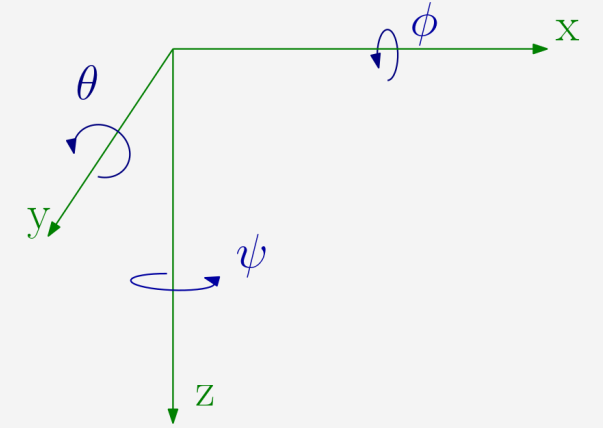
Numéro du Pic	Distance (m)	Puissance (dB)
1	1.97	57.6
2	2.72	43.5
3	3.39	39.2

Lois de guidage



1. Prise de vitesse
2. Sortie de l'eau
3. "Banking" dans les virages

Lois de guidage

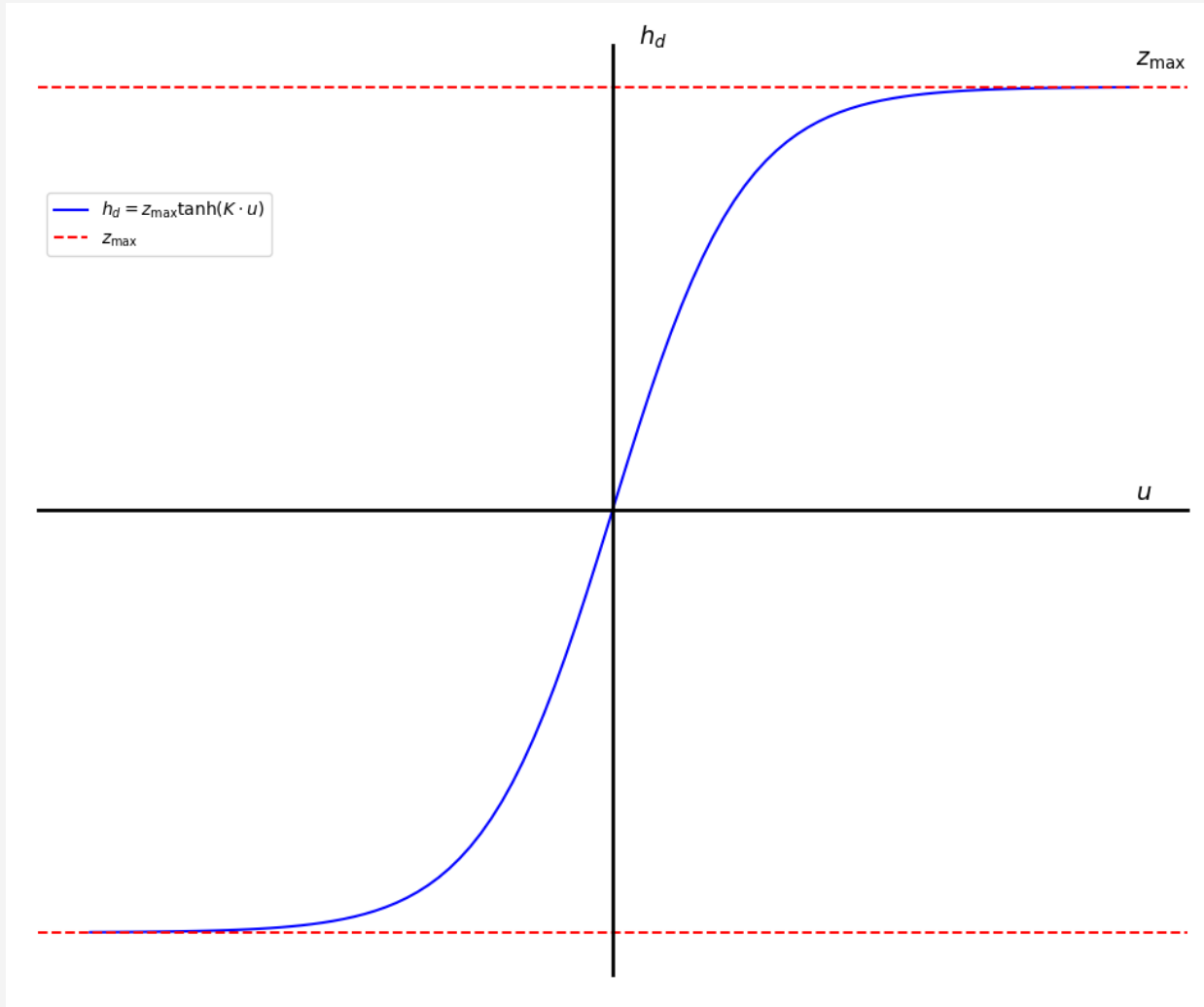


Quatre **forces/couples** sur lesquels intervenir:

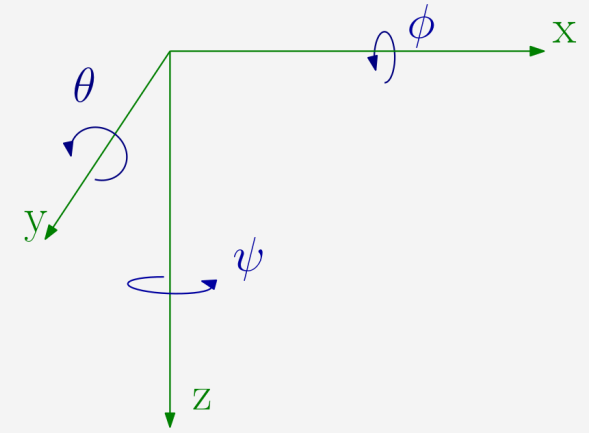
- F_w : Résultante liée aux **portances** de chaque foil;
- F_u : Force de **poussée** liée au propulseur;
- Γ_p : Couple induisant du **roulis**;
- Γ_q : Couple induisant du **tangage**;

Lois de guidage

Contrôle de la hauteur en fonction de la vitesse



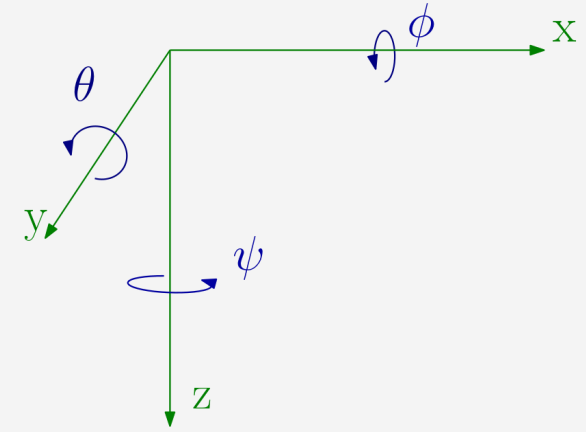
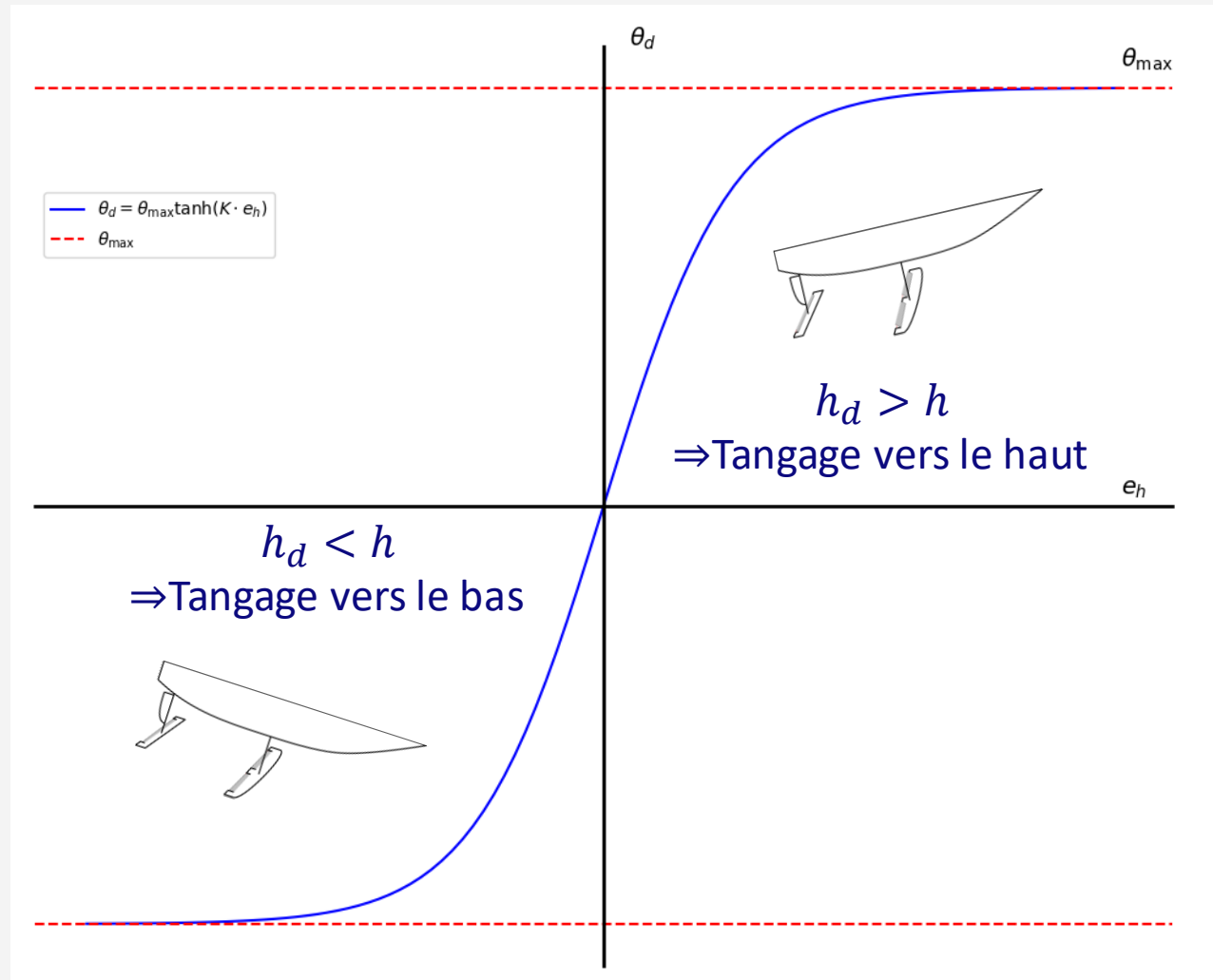
$$h_d = z_{max} \tanh(K \cdot u)$$



Vitesse d'avance exprimée
dans le repère du robot

Lois de guidage

Sortie de l'eau avec la gestion du tangage



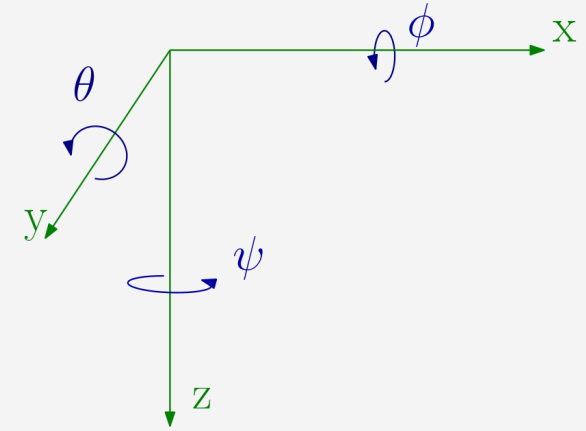
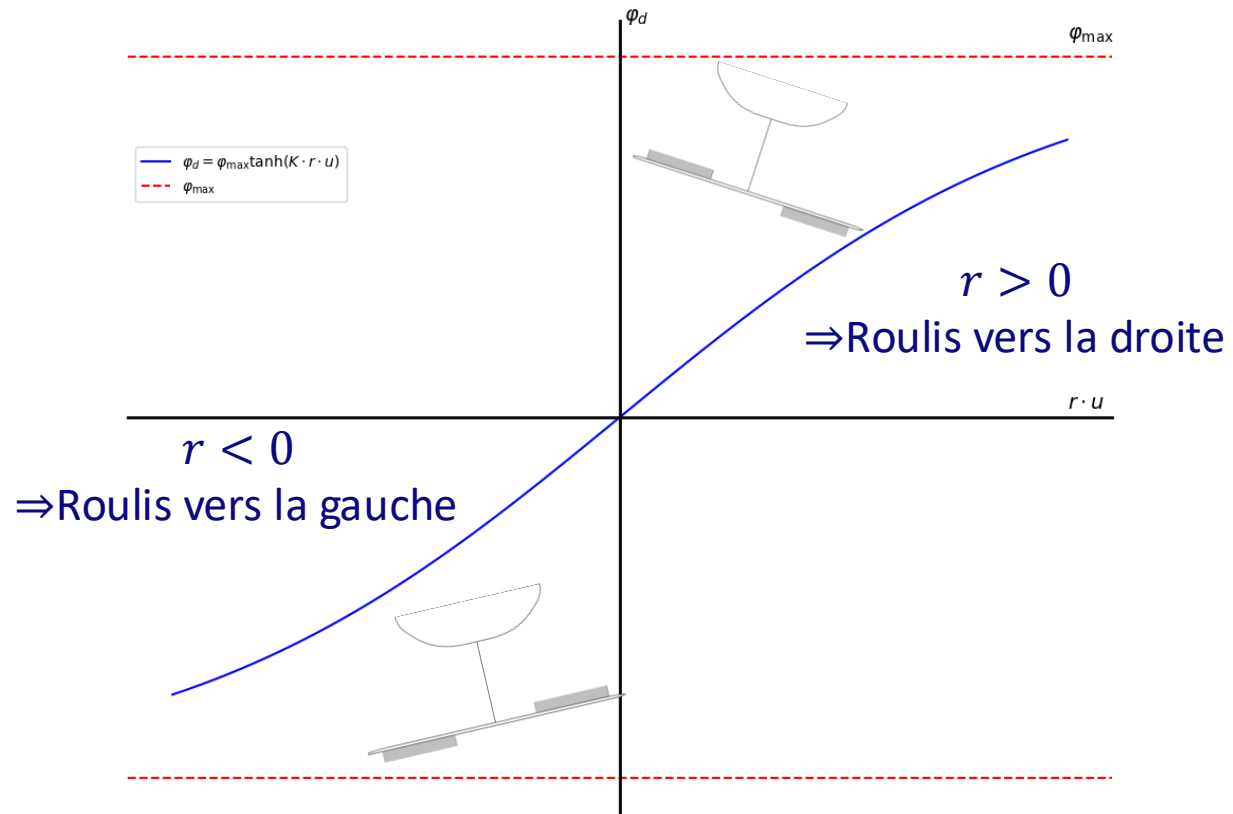
$$\theta_d = \theta_{\max} \tanh(K \cdot (h_d - h))$$

Hauteur désirée

Hauteur actuelle mesurée

Lois de guidage

Gestion du "banking" dans les virages

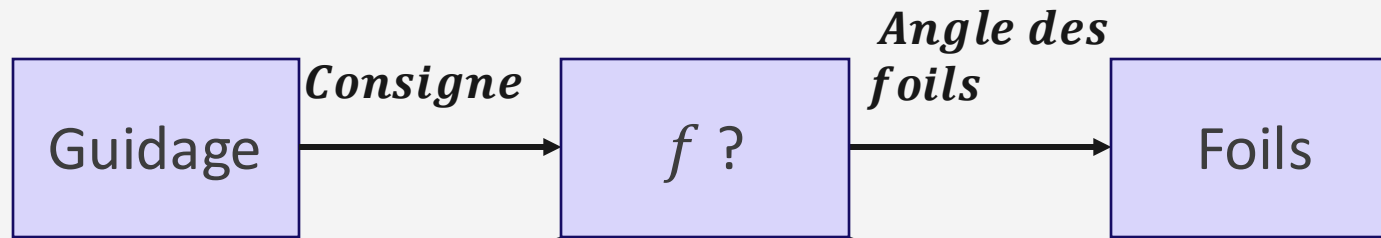


$$\varphi_d = \varphi_{\max} \tanh(K \cdot r \cdot u)$$

Vitesse de rotation
autour de l'axe Z

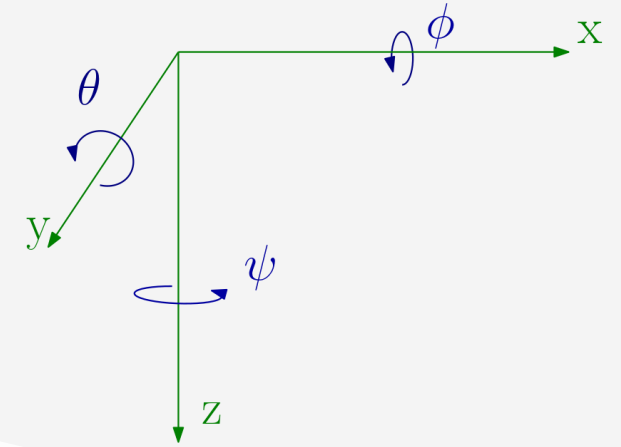
Vitesse d'avance
supposée constante

Intégration du guidage au système



Trouver la fonction f qui relie les angles d'inclinaison des foils aux erreurs calculées avec le guidage, et l'inverser.

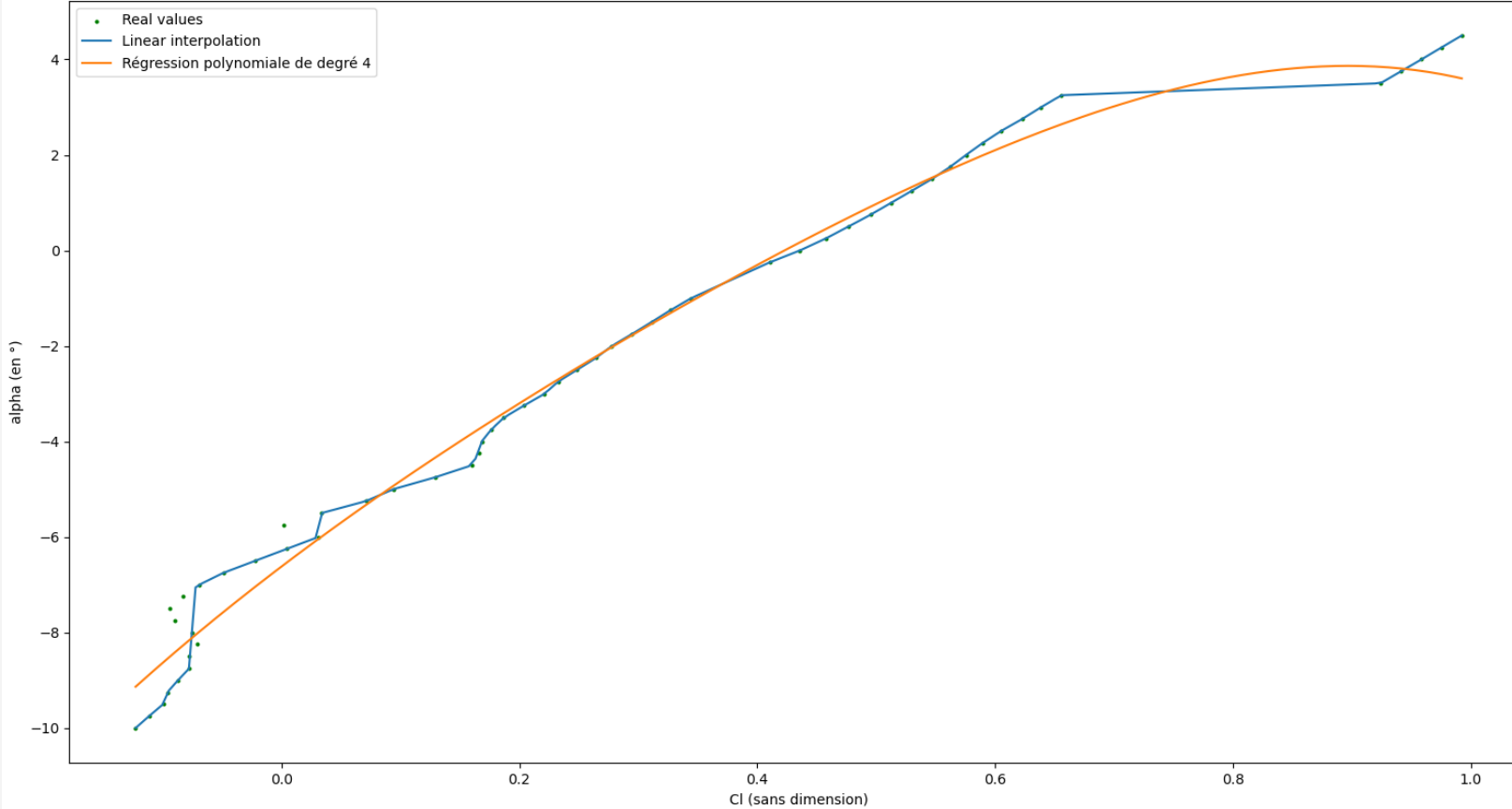
→ Problème, f n'est pas une fonction analytique et dépend de paramètres expérimentaux



Intégration du guidage au système

Données expérimentales

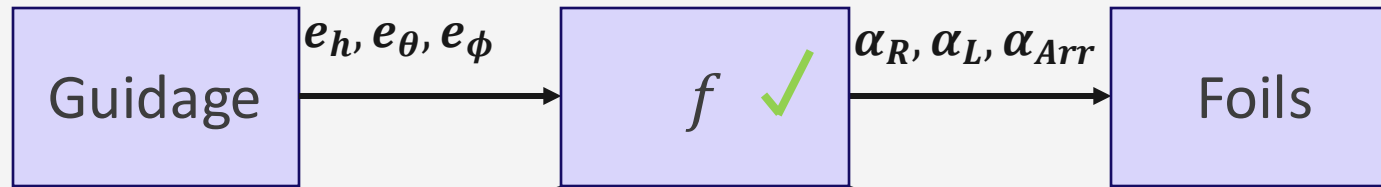
Alpha en fonction du coefficient de trainée pour un foil type FG4 pour un nombre de Reynolds de 500000



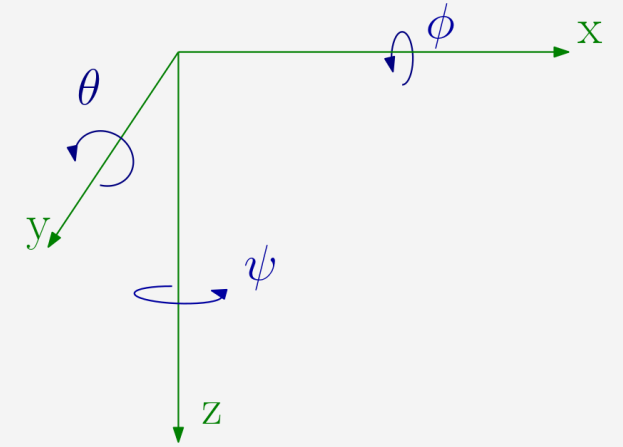
Données expérimentales
obtenues sur le site **AirfoilTools**
pour un foil **FG4** avec un nombre
de Reynolds de **50000**.

On approxime avec un polynôme
pour avoir une forme analytique

Intégration du guidage au système

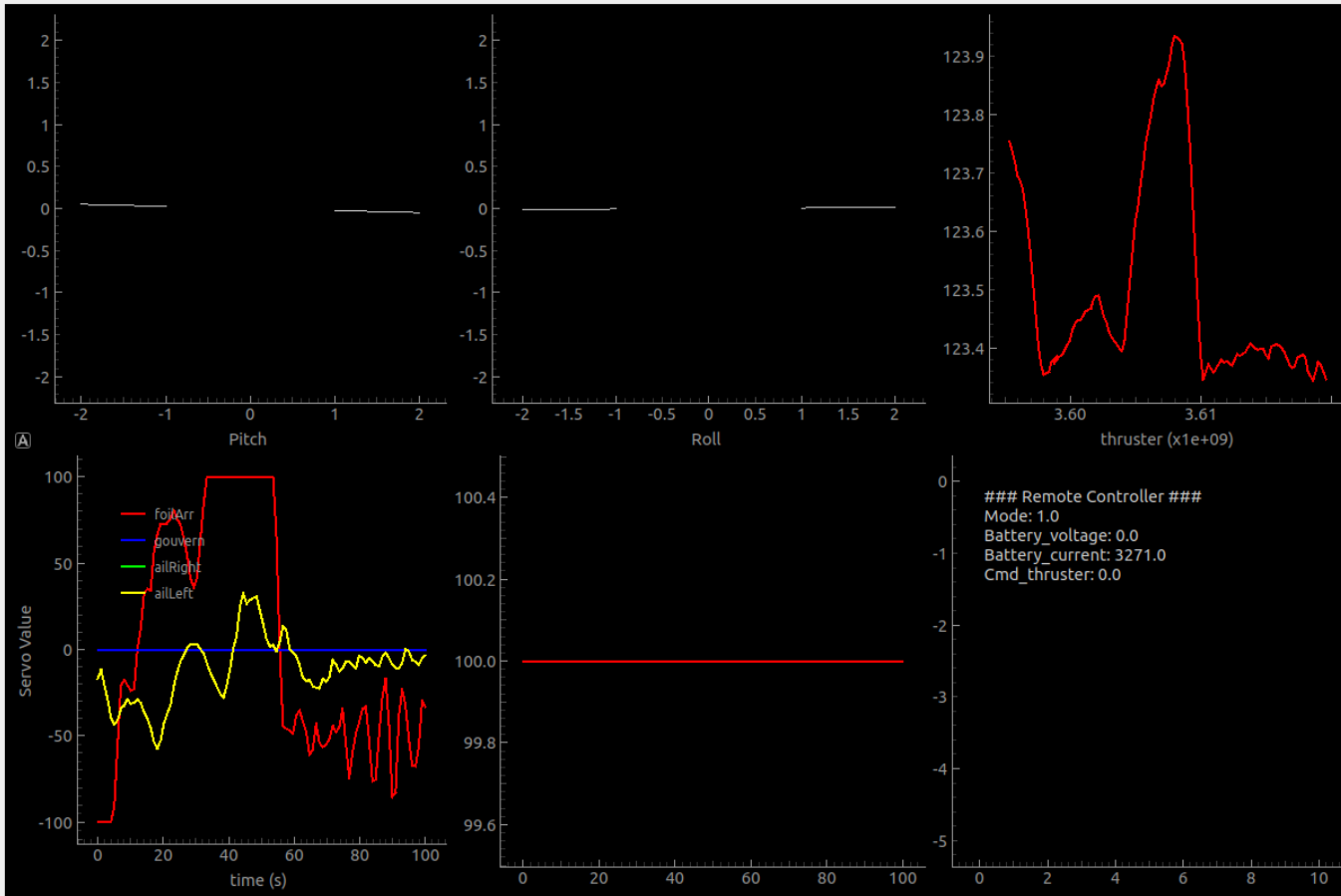


- Une forme analytique de f a pu être déterminée
- Le lien entre le guidage et les commandes angulaires est fait.



Amelioration Logicielle : Visualisation des rosbags

Graphes de roll et pitch du kayak



Hauteur

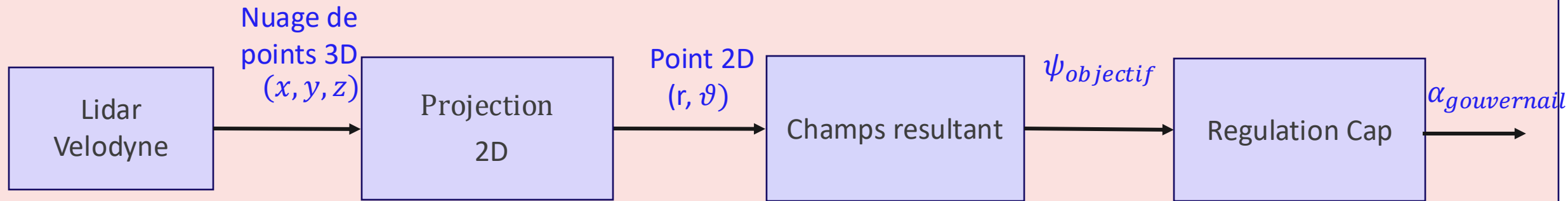


- Suivi des variables du robot
- Post traitement des données
- Contrôle de la bonne exécution des lois de commande

Commandes servos et Thruster

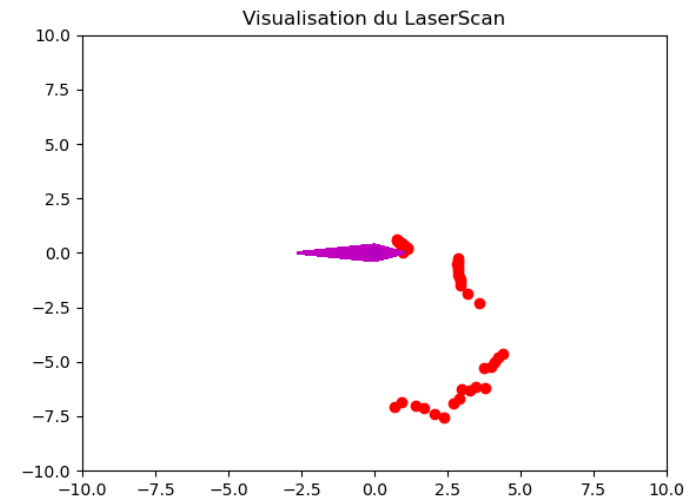
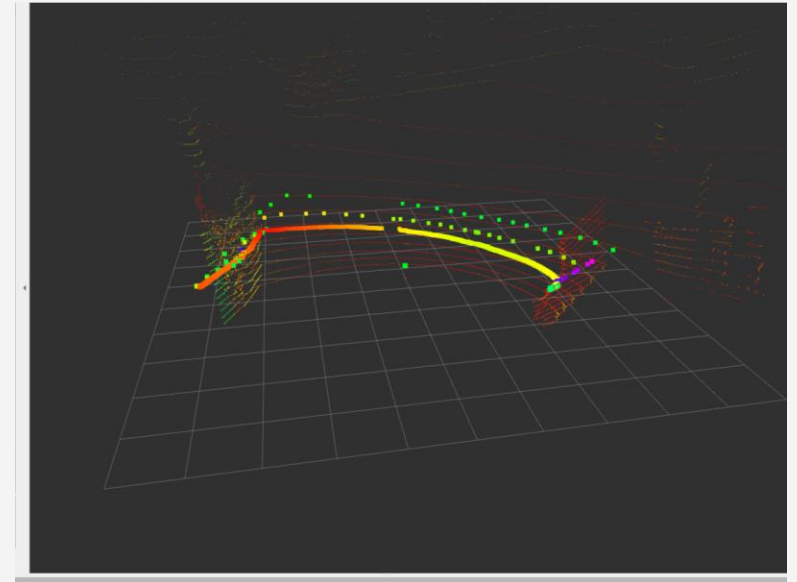
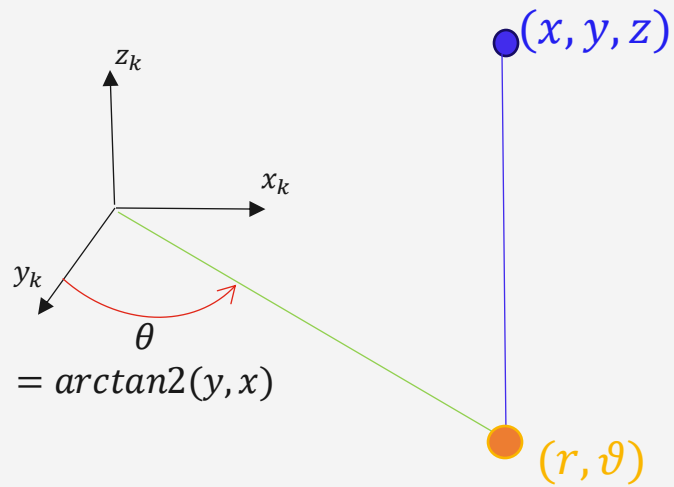
Fenêtre d'information

Algorithme d'évitement d'obstacles



Algorithme d'évitement d'obstacles

Projection
2D



Algorithme d'évitement d'obstacles

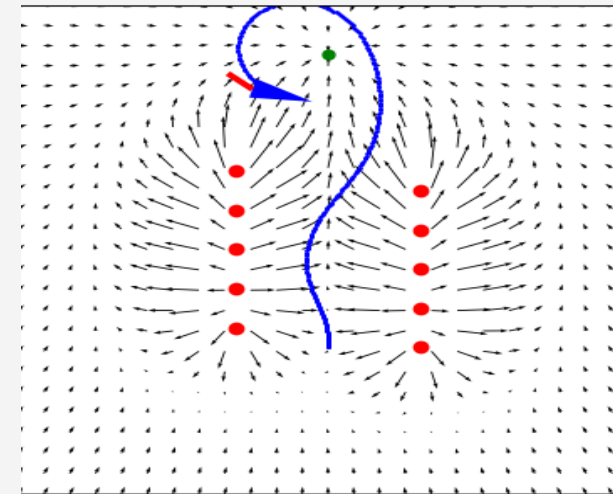
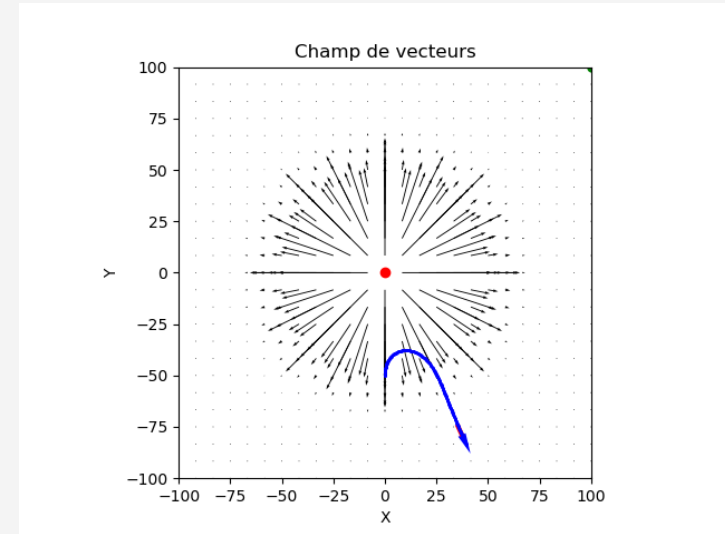
Modélisation de force répulsive

Equivalent force du point i : $\psi_i = (\theta - \pi) \cdot e^{-\frac{r}{d}}$

$$\sum_i \psi_i = \psi_{objectif}$$

Regulation du Cap

$$\alpha_{gouvernail} = K_p(\psi_{actuel} - \psi_{objectif}) + K_d r$$



Algorithme d'évitement d'obstacles

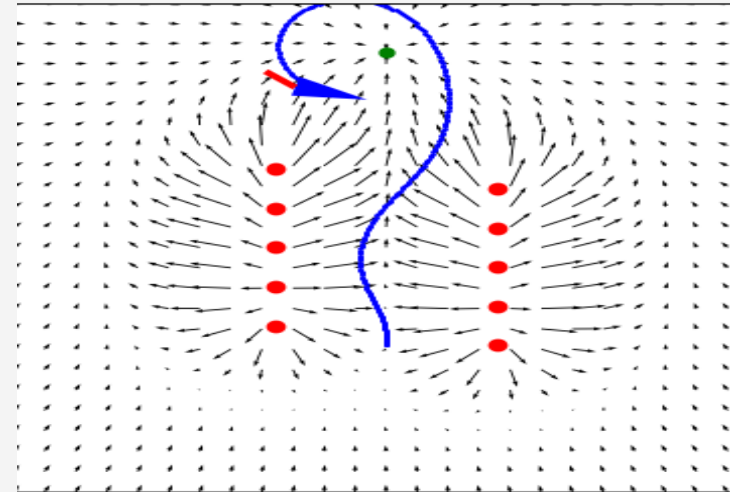
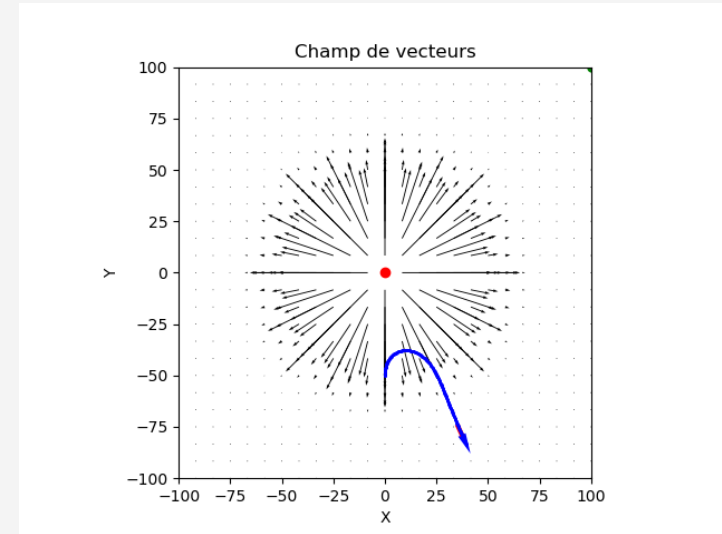
Modélisation de force répulsive

Equivalent force du point i : $\psi_i = (\theta - \pi) \cdot e^{-\frac{r}{d}}$

$$\sum_i \psi_i = \psi_{objectif}$$

Regulation du Cap

$$\alpha_{gouvernail} = K_p(\psi_{actuel} - \psi_{objectif}) + K_d r$$



Conclusion

Les avancées

- Amélioration de l'électronique
- Ajout de capteurs plus performants
- Améliorations de la mécanique
- Implémentation de lois de commande
- Implémentation d'un logiciel de visualisation des rosbags

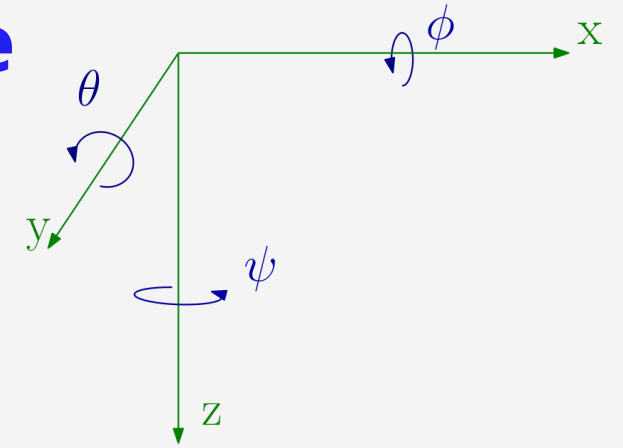
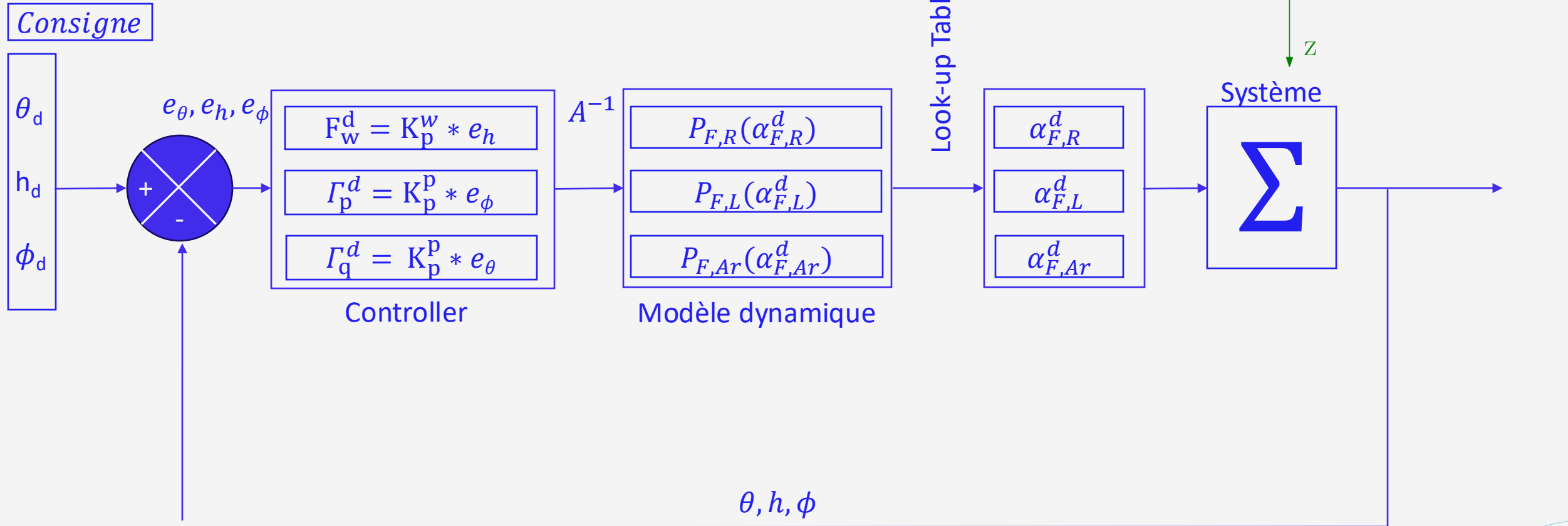
Pistes d'évolution

- Optimisations mécaniques
- Implémentation d'un simulateur
- Améliorations logicielles

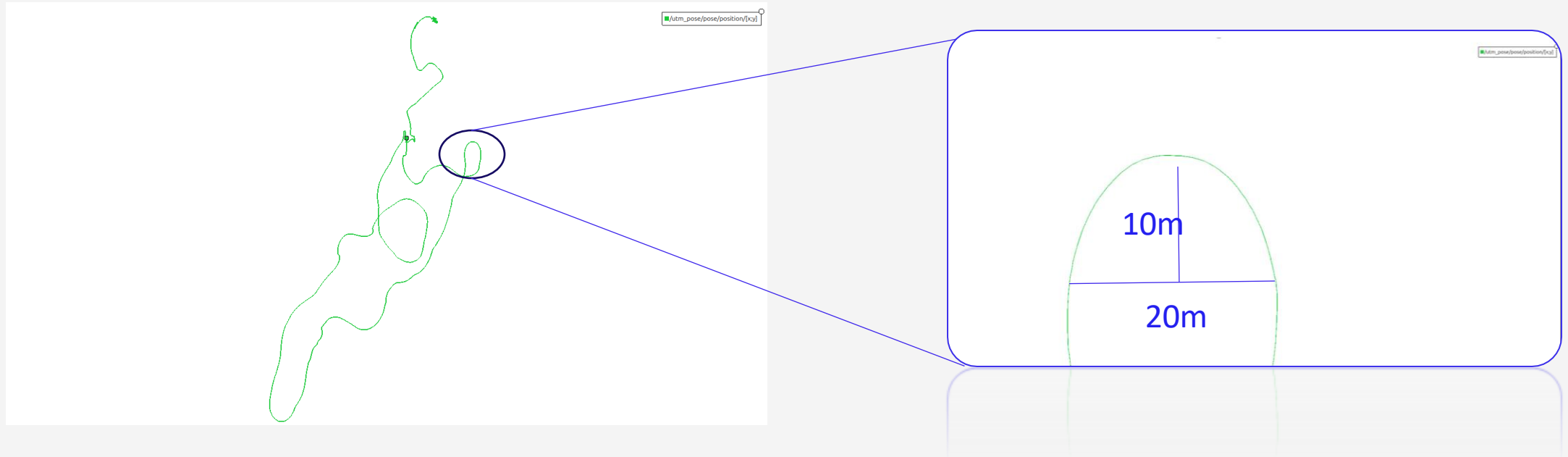


Questions ?

Annexe1 : Intégration du guidage au système

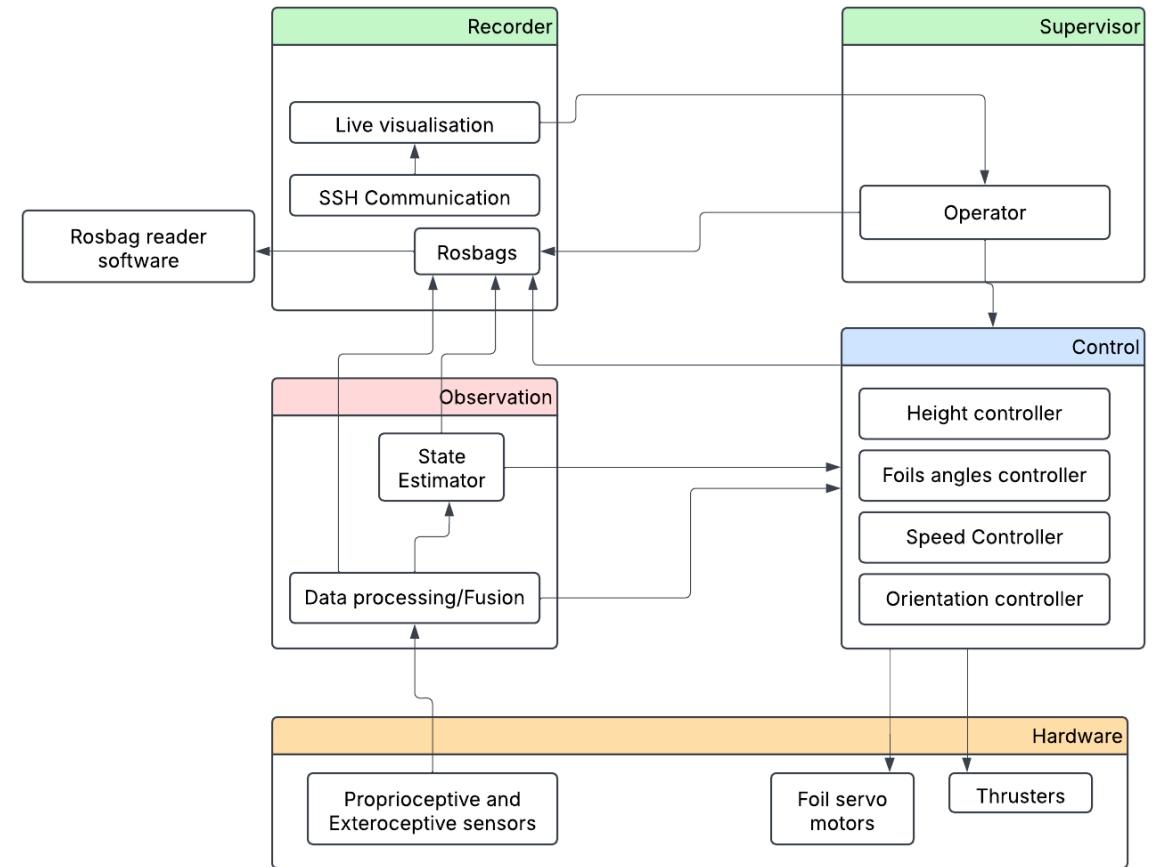
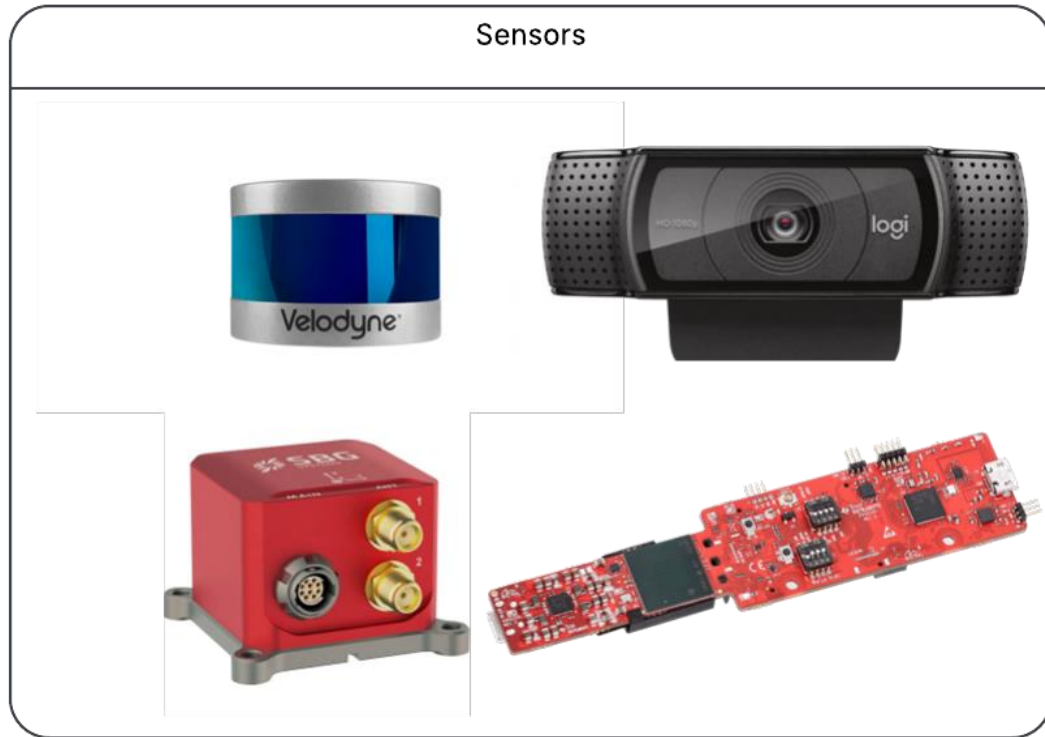


Annexe 2: Rayon de giration retour arrière



Mécanique et électronique

/ Architecture fonctionnelle



Point de départ du projet

