

Systeme d'aide à la navigation

Dossier Ressources



1. Glossaire

Fréquence et hauteur de la houle

La houle correspond à la propagation libre des vagues. Elle est caractérisée par sa hauteur (qui se mesure du creux entre deux vagues à la crête de la vague), sa période (ou sa fréquence) et sa longueur d'onde.

Sur une mer calme (la houle est alors souvent appelée « clapot » et la hauteur est très faible), la période est comprise entre 1 et 4 s et sa longueur d'onde est inférieure au mètre. Sur une mer agitée, la période est comprise entre 3 s et 10 s.

Description de l'état de la mer. Échelle de Douglas

Les marins utilisent couramment l'échelle de Douglas, qui donne 9 classes de valeur pour cette hauteur des vagues, de mer 0 à mer 9 :

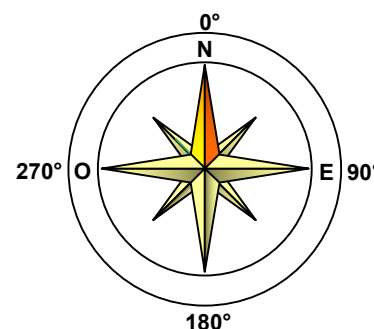
Degrés	Termes descriptifs	Hauteur des vagues
0	calme	0
1	ridée	0 à 0,1 m
2	belle	0,1 à 0,5 m
3	peu agitée	0,5 à 1,25 m
4	agitée	1,25 à 2,5 m
5	forte	2,5 à 4 m
6	très forte	4 à 6 m
7	grosse	6 à 9 m
8	très grosse	9 à 14 m
9	énorme	≥ 14 m

Le cap

Le cap d'un bateau est l'angle mesuré entre l'axe longitudinal de la coque et la direction du Nord magnétique terrestre.

Par convention le Nord magnétique terrestre correspond à 0°, l'Est à 90°, le Sud à 180° et l'Ouest à 270° avec toutes les valeurs intermédiaires possibles entre 0° et 360°.

Sur les cartes, la direction du Nord parallèle aux méridiens correspond au Nord géographique. Il existe entre le Nord magnétique et le Nord géographique un angle de correction, variable d'une année sur l'autre.



Conversion nœud km/h

Le nœud est une unité de vitesse utilisée en navigation maritime et aérienne.

1 nœud correspond à 1 mille marin par heure, soit 1,852 km/h.

2. Modélisation SysML du système

Diagramme des cas d'utilisation (Use Case Diagram, uc)

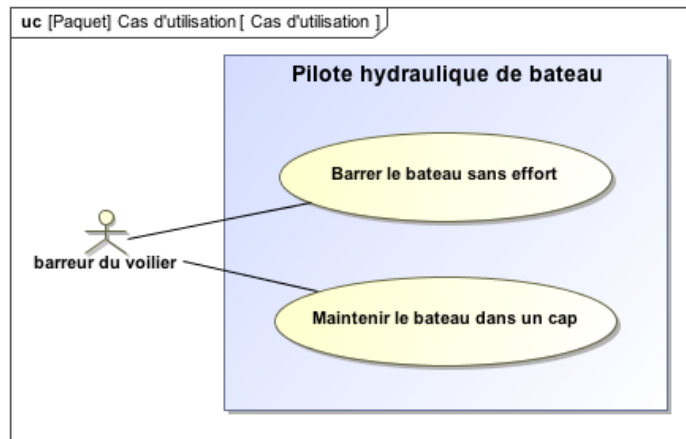
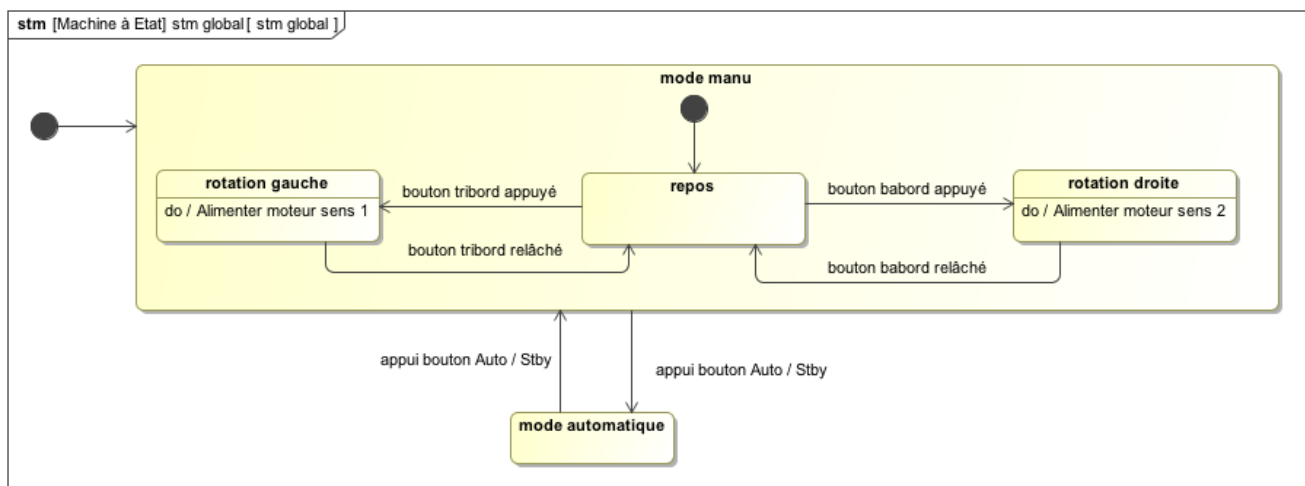


Diagramme des exigences (Requirement Diagram, req)

Voir page suivante.

Diagramme d'état du système (State Machine, stm)



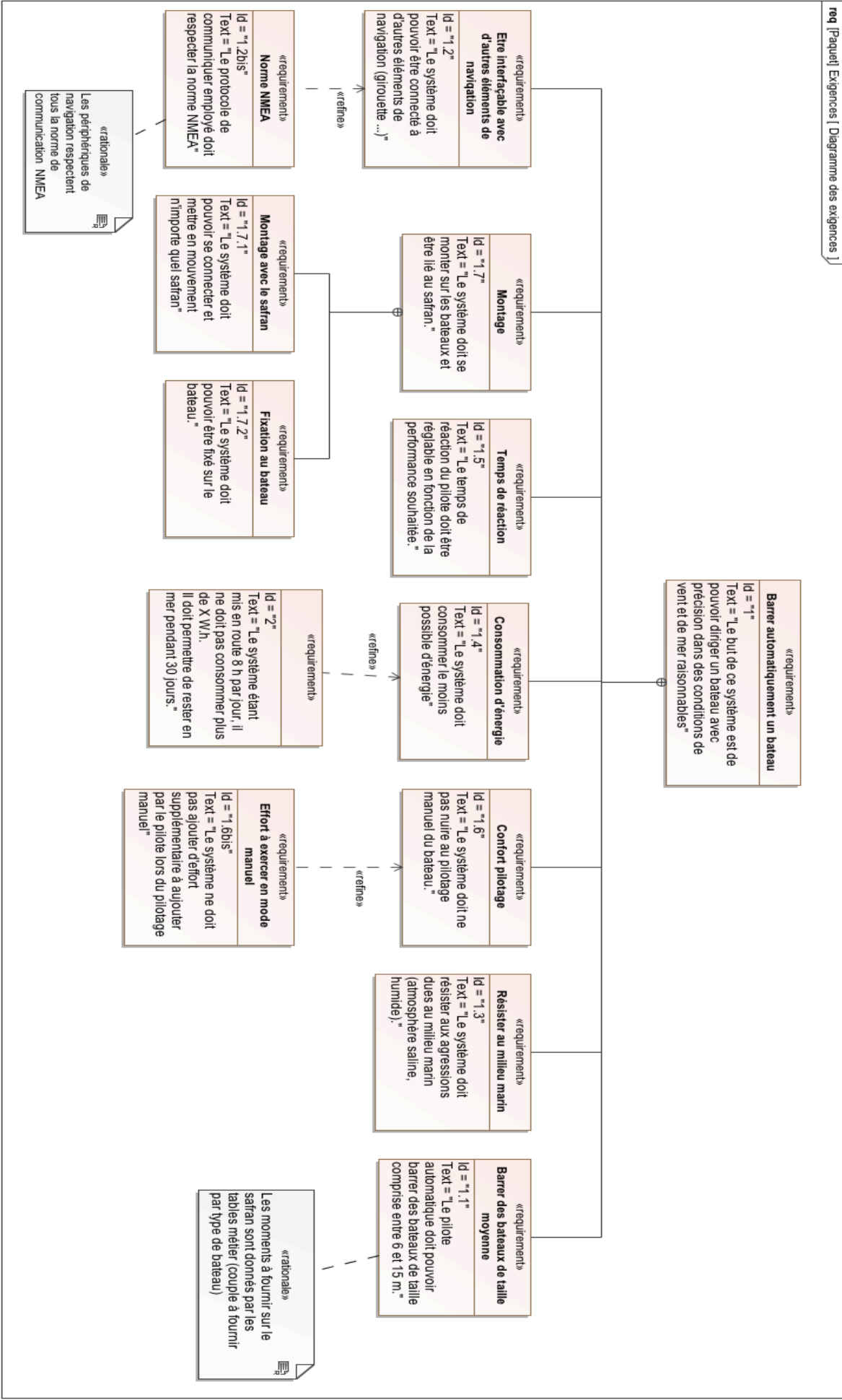
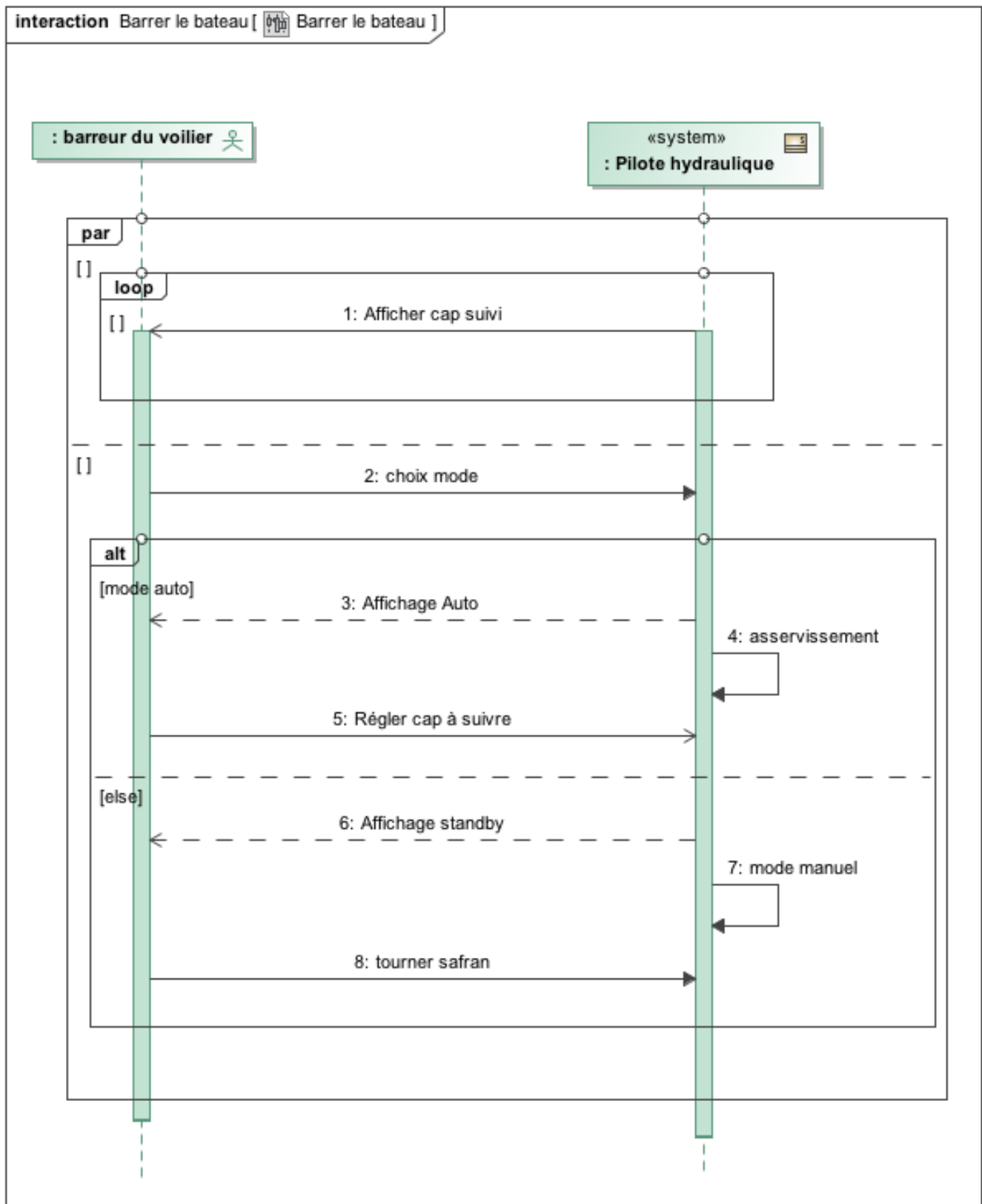


Diagramme de séquences (Sequence Diagram, seq)



Cahier des charges fonctionnel partiel

Exigence	Critère	Niveau
Suivre un cap	Précision de cap suivi en régime permanent par mer belle à peu agitée	$\left \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \text{cap}(t) \cdot dt \right \leq 1^\circ$ pour $T \geq 10\text{mn}$
	Stabilité du cap suivi	Erreur maximale de cap $\pm 5^\circ$
	Temps de réponse suite à un changement de cap de 40° par mer belle à peu agitée	Moins de 15 secondes
	Précision	Résolution de 1°
Alimenter le système	Tension d'alimentation	0 - 12 V
	Autonomie de fonctionnement	10 h
	Capacité de la batterie	70 A.h
	Part du système d'aide à la navigation dans la consommation d'énergie électrique du bateau	20 %

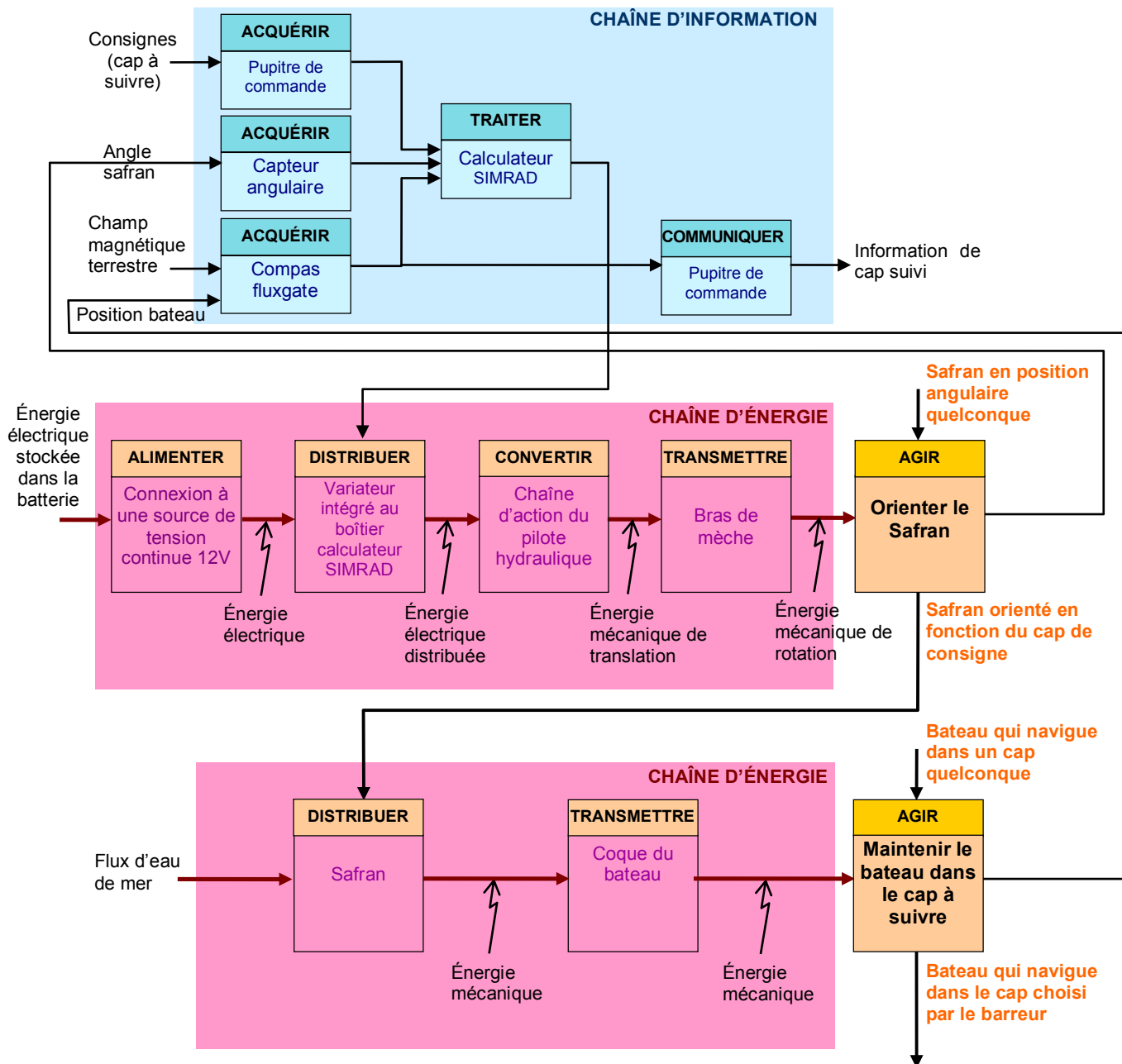
3. Chaînes fonctionnelles du système

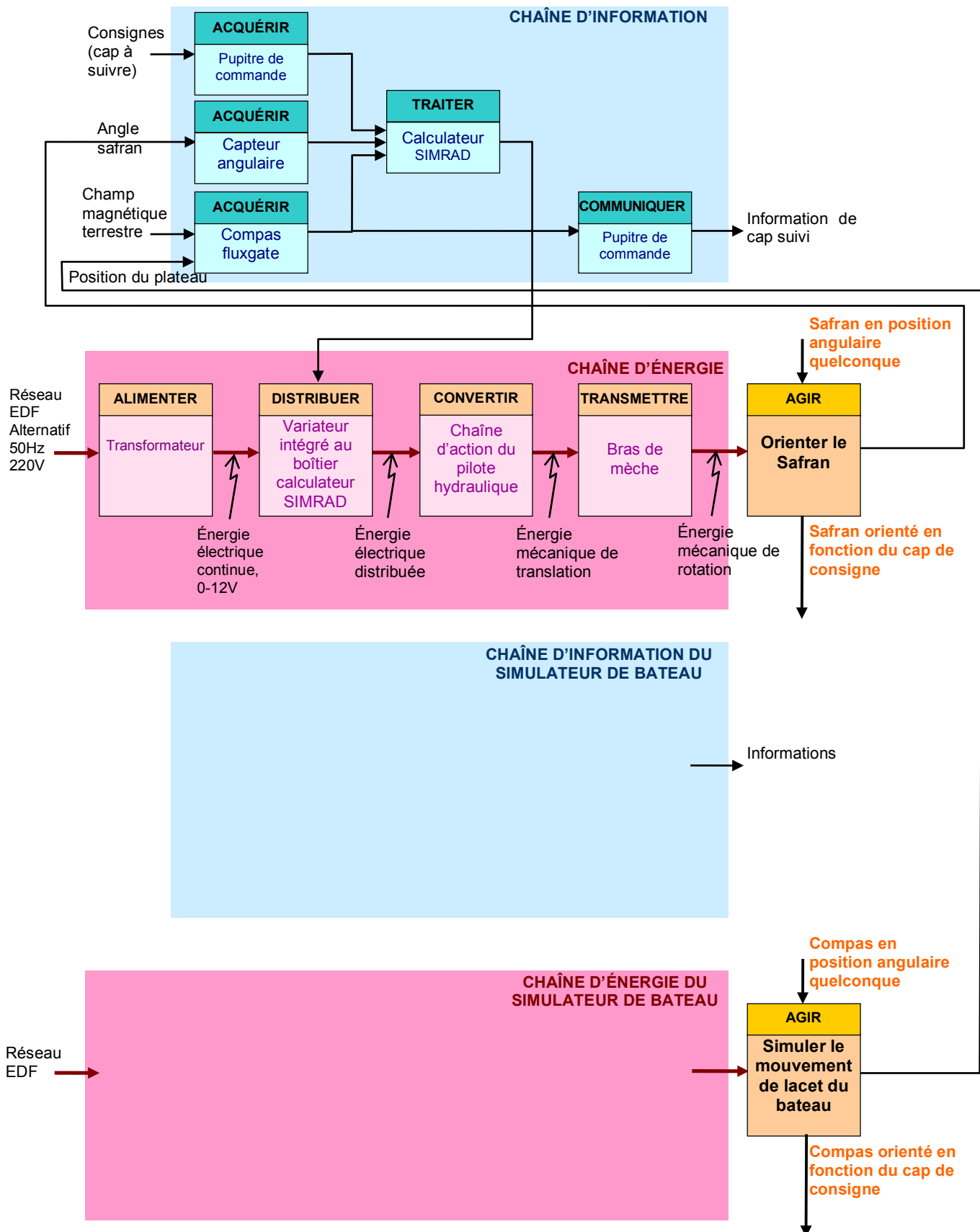
3.1. Version 1 : bateau en mer avec système de navigation SIMRAD

Voir page 7

3.2. Version 2 : banc d'essai avec système de navigation SIMRAD

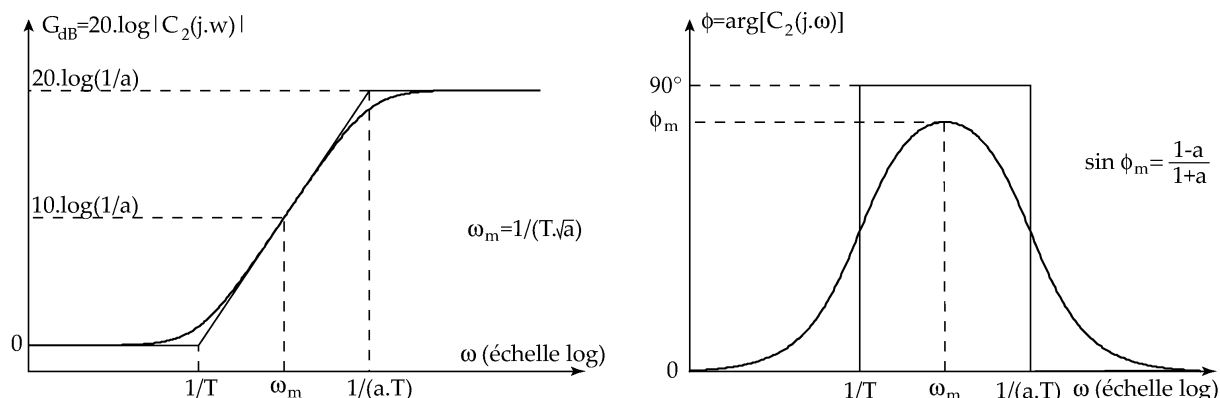
Voir page 8





4. Système à avance de phase

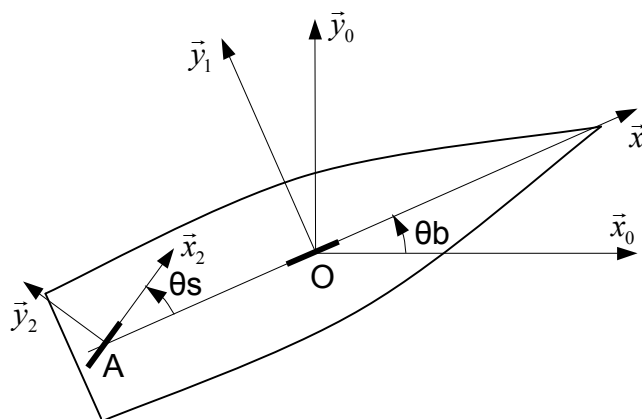
Diagrammes de Bode du système de fonction de transfert : $C_2(p) = \frac{1+T.p}{1+a.T.p}$ avec $a < 1$



5. Modèle dynamique à 1 degré de liberté du bateau

(Pour information)

La quille représentant un point d'appui majeur dans l'eau, un modèle dynamique simple consiste à supposer que le mouvement du bateau est la combinaison d'une vitesse constante V du point O (centre d'effort de la quille) colinéaire à la quille et d'une rotation θ du bateau par rapport à l'eau (supposée immobile dans le référentiel galiléen).



L'équation de moment en O du PFD appliquée au bateau et projetée sur l'axe \vec{z} permet d'obtenir une équation différentielle liant l'angle safran θ_s et le cap du bateau θ_b . Un bref bilan des actions mécaniques extérieures conduit à l'équation :

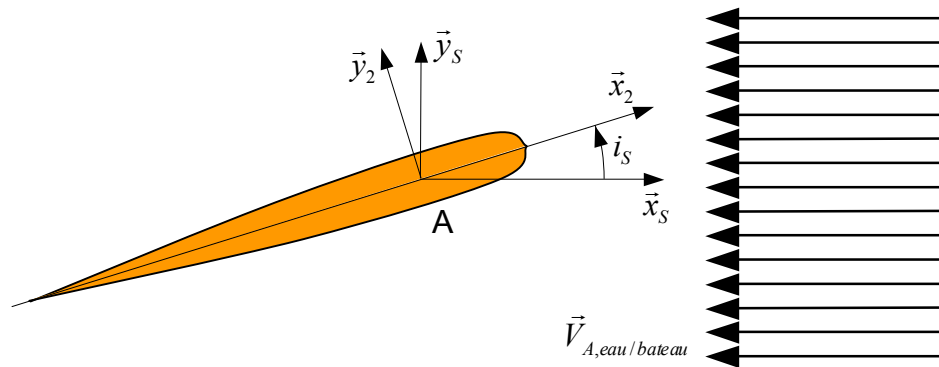
$$\begin{aligned} \vec{z} \cdot \vec{M}(O, \text{eau} \rightarrow \text{safran}) + \vec{z} \cdot \vec{M}(O, \text{eau} \rightarrow \text{quille}) + \vec{z} \cdot \vec{M}(O, \text{vent} \rightarrow \text{voiles}) \\ + \vec{z} \cdot \vec{M}(O, \text{eau} \rightarrow \text{coque}) = \vec{z} \cdot \vec{\delta}(O, \text{bateau} / \text{Rg}) \end{aligned}$$

- L'action mécanique de l'eau sur la quille est modélisable par un torseur force dont le support passe par le point O . Son moment en O est donc nul.
- Lorsque le bateau bien réglé, l'action du vent dans les voiles ne modifie pas le cap du bateau. Le moment de l'action du vent sur la voile suivant (O, \vec{z}) est donc nul.
- Pour une mer calme, l'action de l'eau sur la coque ne perturbe pas le cap du bateau. On considère à nouveau que le moment de l'action de l'eau sur la coque suivant (O, \vec{z}) est nul.

L'équation devient donc : $\vec{z} \cdot \vec{M}(O, \text{eau} \rightarrow \text{safran}) = \vec{z} \cdot \vec{\delta}(O, \text{bateau} / \text{Rg})$

5.1. Modélisation de l'action de l'eau sur le safran

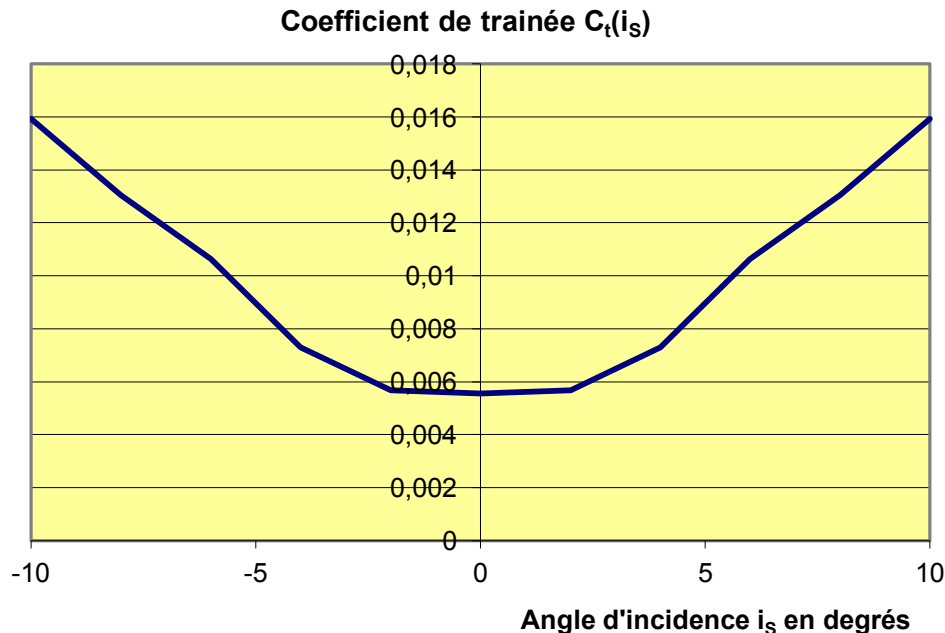
Le safran est considéré comme une aile plongée dans un écoulement fluide uniforme. L'action de l'eau sur le safran est modélisée par un torseur force dont le support passe par le centre de poussée A du safran.

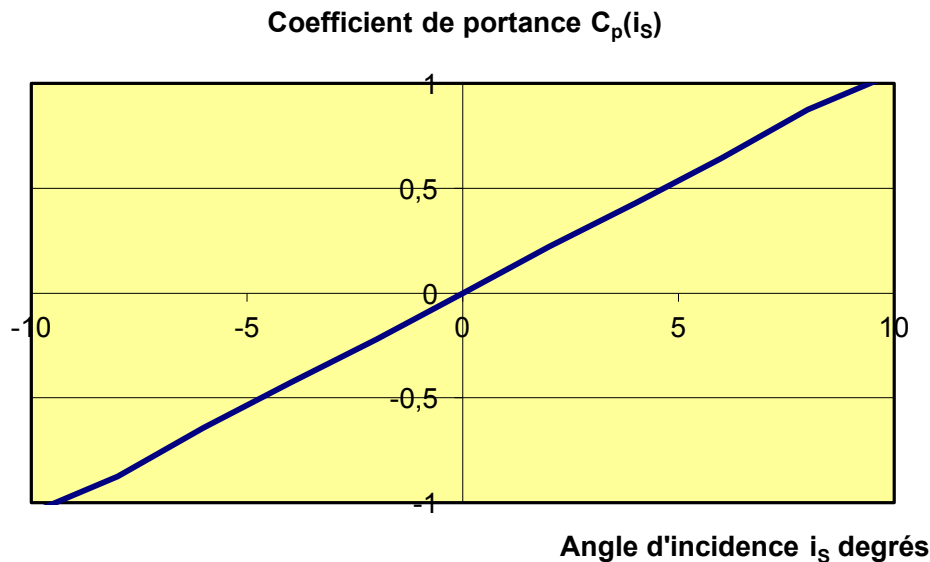


Cette action mécanique est classiquement décrite par les coefficients de portance C_p et de trainée C_t , dépendant de l'angle d'incidence du fluide. Elle dépend de la masse volumique ρ du fluide, de la vitesse du fluide et de sa surface S_s de l'aile :

$$\{F_{\text{eau} \rightarrow \text{safran}}\} : \left\{ \begin{array}{c} (C_p(i_s)\vec{y}_s - C_t(i_s)\vec{x}_s) \times \frac{1}{2} \rho \cdot S_s \cdot \|\vec{V}_{\text{A, bateau/eau}}\|^2 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_A$$

Les coefficients $C_p(i_s)$ et $C_t(i_s)$ sont mesurés expérimentalement pour différentes incidences. Les résultats sont donnés sur les courbes suivantes :





L'angle d'incidence est l'angle entre le vecteur vitesse $\vec{V}(A, \text{bateau} / \text{eau})$ et le safran.

Le torseur cinématique du bateau par rapport à l'eau s'écrit, à partir des hypothèses faites sur

le mouvement : $\{V_{\text{bateau/eau}}\} : \left\{ \begin{array}{c} \dot{\theta}_b \vec{z} \\ V \vec{x}_1 \end{array} \right\}_O$

En déplaçant le torseur en A, on obtient : $\vec{V}(A, \text{bateau} / \text{eau}) = V \vec{x}_1 - L \dot{\theta}_b \vec{y}_1$

L'angle d'incidence vaut donc :

$$i_s = (\vec{V}(A, \text{bateau} / \text{eau}), \vec{x}_2) = (\vec{V}(A, \text{bateau} / \text{eau}), \vec{x}_1) + (\vec{x}_1, \vec{x}_2) = \arctan\left(\frac{L \dot{\theta}_b}{V}\right) + \theta_s$$

Le moment de l'action de l'eau sur le safran en projection sur l'axe (O, \vec{z}) se calcule par la relation :

$$\vec{M}(O, \text{eau} \rightarrow \text{safran}) \cdot \vec{z} = (-LC_p(i_s) \cos(\theta_s - i_s) + LC_t(i_s) \sin(\theta_s - i_s)) \times \frac{1}{2} \rho S_s (V^2 + L^2 \dot{\theta}_s^2)$$

5.2. Moment dynamique

Le moment cinétique se calcule par la relation :

$$\vec{\sigma}(O, \text{bateau} / Rg) = I(O, \text{bateau}) \cdot \vec{\Omega}(\text{bateau} / Rg) + m \overrightarrow{OG} \wedge \vec{V}(O, \text{bateau} / Rg) = I \dot{\theta}_b \vec{z}$$

Le moment dynamique se calcule par la relation :

$$\vec{\delta}(O, \text{bateau} / Rg) = \left[\frac{d\vec{\sigma}(O, \text{bateau} / Rg)}{dt} \right]_O + m \vec{V}(O / Rg) \wedge \vec{V}(G, \text{bateau} / Rg) = I \ddot{\theta}_b \vec{z}$$

Systeme d'aide à la navigation

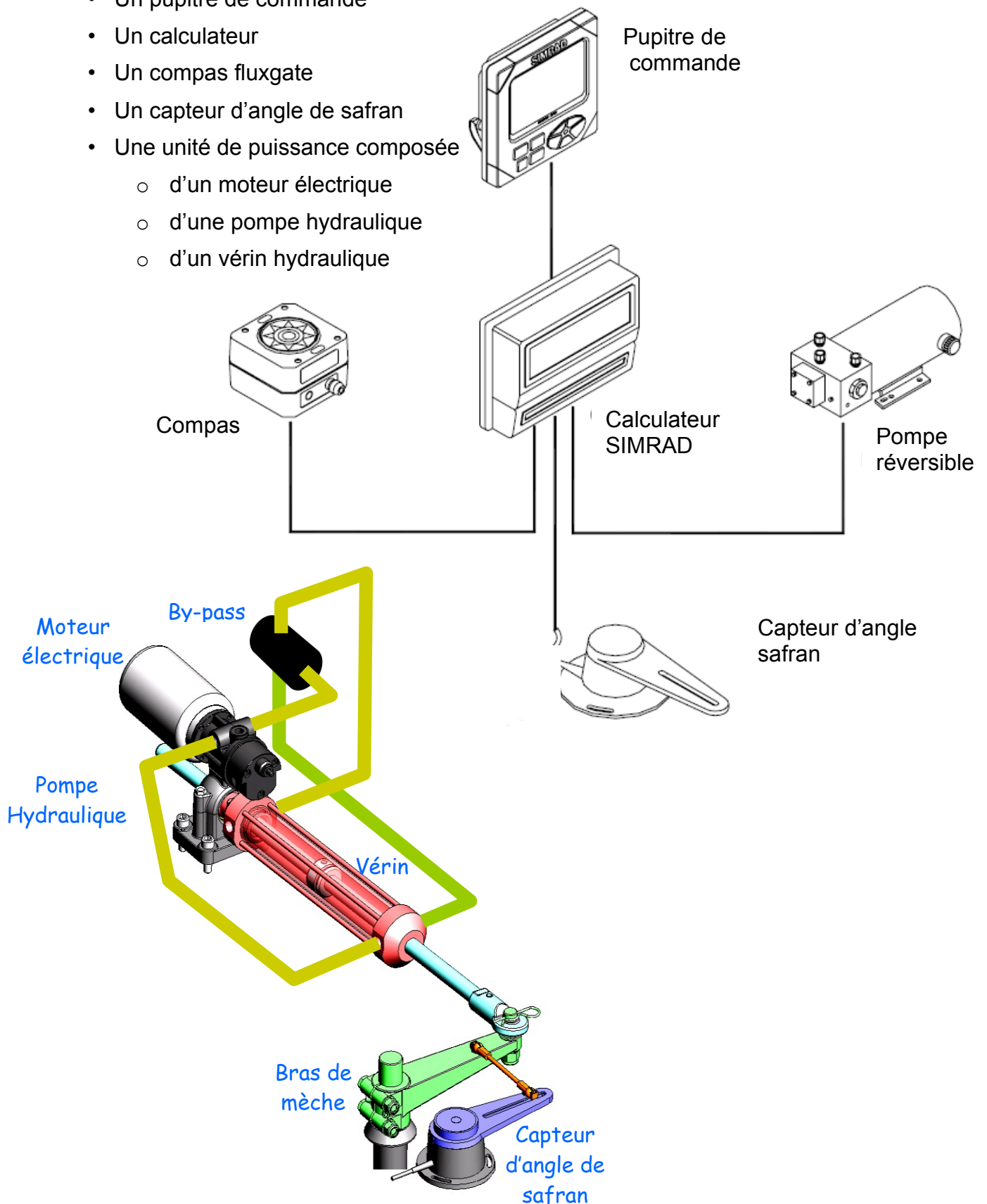
Dossier Technique



1. Composants du système d'aide à la navigation SIMRAD

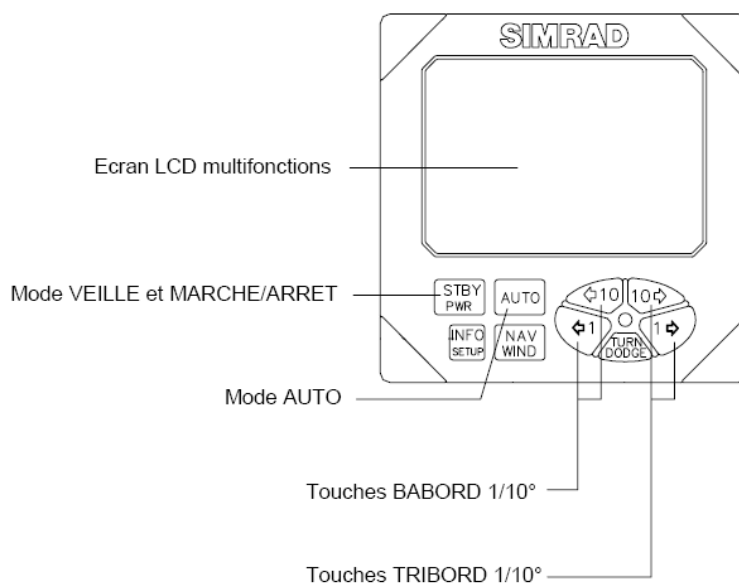
Le système à la navigation étudié comprend les éléments suivants :

- Un pupitre de commande
- Un calculateur
- Un compas fluxgate
- Un capteur d'angle de safran
- Une unité de puissance composée
 - d'un moteur électrique
 - d'une pompe hydraulique
 - d'un vérin hydraulique



2. Notice d'utilisation du pupitre de commande SIMRAD

2.1. Vue d'ensemble

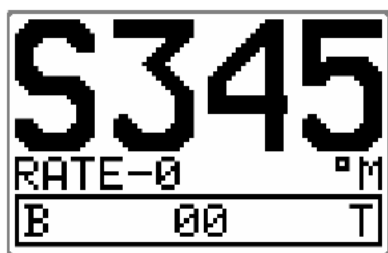


2.2. Mode d'utilisation

Mode veille

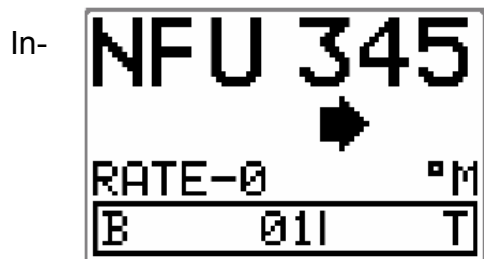
Après l'appui sur **STBY PWR** le système SIMRAD est en mode veille.

Informations affichées :



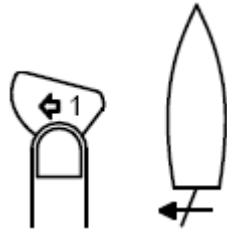
- Mode veille
- Cap courant : 345°
- Angle de barre : 0°

Fonctionnement en mode non- suiveur

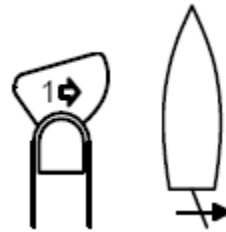


Informations affichées :

- Mode non-suiveur
- Cap courant : 345°
- Angle de barre : 1° à Tribord.



Active la commande de
l'angle de barre à Bâ-
bord



Active la commande de
l'angle de barre à Tri-
bord

Pilotage automatique

In-

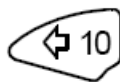


formations affichées :

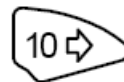
- Mode pilotage automatique
- Cap de consigne : 305°
- Cap compas : 301° M. (Nord magnétique)
- Angle de barre : 1° Tribord



Réglage de cap
vers bâbord par
pas de 1°



Réglage de cap
vers bâbord par
pas de 10°



Réglage de cap
vers tribord par
pas de 10°



Réglage de cap
vers tribord par
pas de 1°

4. Description des éléments originaux

4.1. Alimentation électrique

Alimentation sur 12 V continu (alimentation stabilisée sur le poste de travail, batterie haute capacité sur un bateau).

4.2. Pompe hydraulique

La pompe hydraulique est à 6 pistons. Sa cylindrée est réglable par vis pointeau sur la plage 0,2 litres / minutes à 2 litres / minute sous 25 bars.

4.3. Moteur électrique

Technologie à courant continu. Vitesse de 2000 tours/minute sous 12 V.

4.4. Vérin hydraulique

Le vérin est de type « double effet et double tige ».

La pression maximale admissible est de 25 bars, la course est de 240 mm, la tige est de diamètre 23 mm et le piston est de diamètre 50 mm.

4.5. Bras de mèche

Le bras de mèche est de longueur 200 mm entre l'axe de rotation et le point de fixation de la tige du vérin. Dans cette configuration, l'amplitude du pivotement est de $\pm 35^\circ$.

4.6. Compas + chaîne de mesure

Mesure sur la plage $0^\circ \sim 359^\circ$. Résolution de 1° .

4.7. Capteur d'angle de barre + chaîne de mesure

Mesure sur la plage $\pm 37^\circ$. Résolution de $0,5^\circ$.

5. Description des capteurs rajoutés

Les capteurs suivants ont été rajoutés :

- Génératrice tachymétrique pour la mesure de la vitesse de rotation du moteur
- Débitmètre à palettes pour la mesure du débit d'huile envoyé dans les chambres du vérin
- Capteur de pression à technologie piézoélectrique pour la mesure de la pression dans la chambre arrière du vérin.
- Résistance de shunt calibrée pour la mesure de l'intensité consommée par le moteur électrique.
- Potentiomètre rectiligne en parallèle du vérin pour la mesure de l'allongement de la tige par rapport au corps du vérin

Par ailleurs, la tension d'alimentation du moteur est mesurée directement par la carte d'acquisition (voir point suivant).

6. Acquisition et traitement des données

Les grandeurs physiques issues des différents capteurs sont acquises par une carte National Instrument 6009 et traitées par une interface logicielle programmée en Labview.

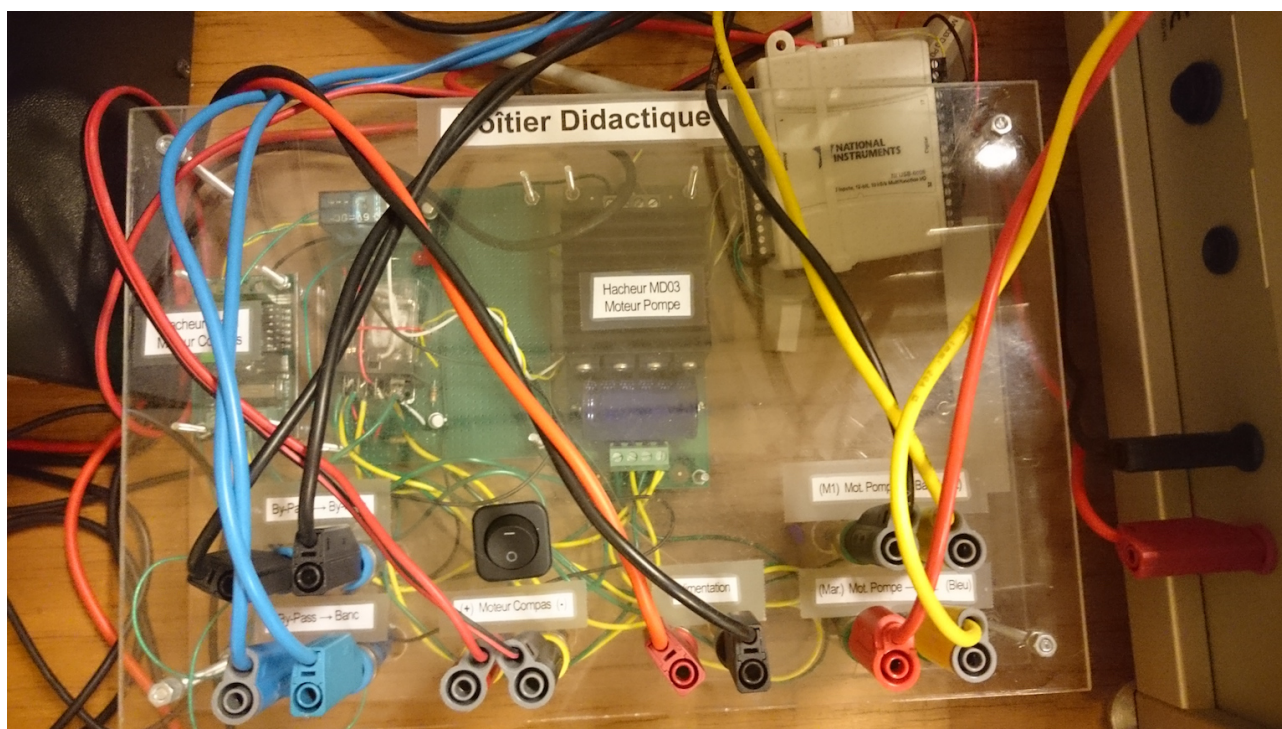
L'évolution en « simulateur de pilote » est décrite dans le paragraphe suivant.

7. Le simulateur de bateau

Afin de simuler le comportement d'un bateau, un système « simulateur de bateau » a été rajouté à ce poste de travail. Ce simulateur comporte trois parties principales :

- Un plateau motorisé et pouvant pivoter de manière continue autour de l'axe vertical : de plateau représente le bateau qui vire de bord. En mode de simulation de l'évolution du bateau, le compas sera posé sur la partie supérieure du plateau.
- Un « boîtier didactique » qui comprend :
 - La carte d'acquisition et de pilotage Ni 6009 (la carte acquière des données, les transfère à l'ordinateur qui les traite puis transfère les ordres à la carte qui pilote les hacheurs en fonction des consignes transmises par l'interface logicielle).

- Un hacheur de puissance MD03 (24 V, 20 A) alimentant le moteur électrique du pilote automatique de bateau (située en amont de la pompe hydraulique).
- Un hacheur de puissance de marque SYREN alimentant le motoréducteur situé sous le plateau orientable.
- Des relais de puissance permettant de changer le mode d'utilisation de ce boîtier didactique permettant de simuler un bateau :
 - pilotage manuel : interrupteur sur la position 0
 - asservissement : interrupteur sur la position 1
- Plusieurs fils de connexion à fiches bananes reliés au banc pour la transmission des informations ou des puissances.



- Une interface logicielle programmée sous l'environnement logiciel Labview et correspondant au calculateur de l'asservissement en lacet du bateau. Dans cette interface logicielle (dont l'utilisation est décrite au fur et à mesure du TP afin de faciliter son utilisation), il est possible de régler :
 - Les caractéristiques du bateau (dimension et vitesse) selon un modèle cinématique (pas de prise en compte de la dynamique de réaction).
 - La gestion de l'information par une ou deux boucles d'asservissement (compas seulement ou compas + capteur d'angle de barre).
 - Le réglage des correcteurs PID associés aux deux boucles d'asservissement (dans le cadre de ce TP, les correcteurs utilisés seront des Proportionnel Dérivés).
 - Le traitement des trames et des grandeurs issues des différents capteurs.

La connexion entre l'ordinateur et le boîtier didactique se fait par une connexion USB sur la carte NI 6009 (câble USB blanc branché sur les ports arrières du PC).

8. Bateau de plaisance de référence

Sun Odyssey 33i Performance



Longueur quille - safran	L	5 m
Surface safran	S_s	$0,4 \text{ m}^2$
Masse totale	M	4700 kg
Moment d'inertie selon l'axe (O,z)	I_B	73600 kg.m^2