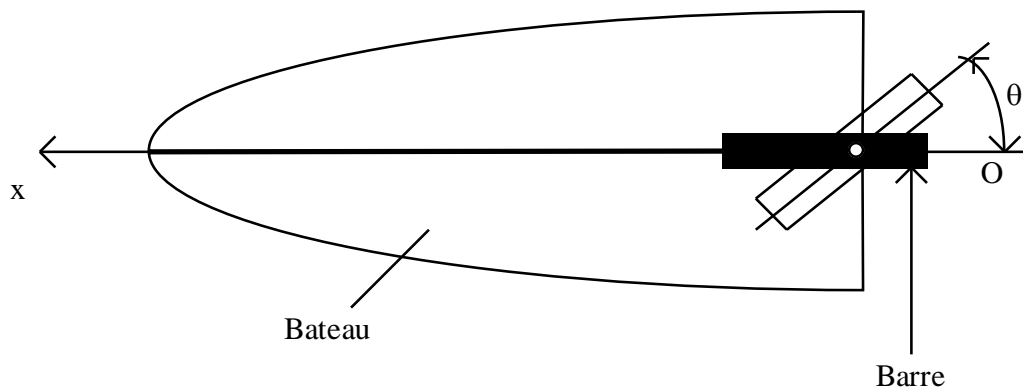
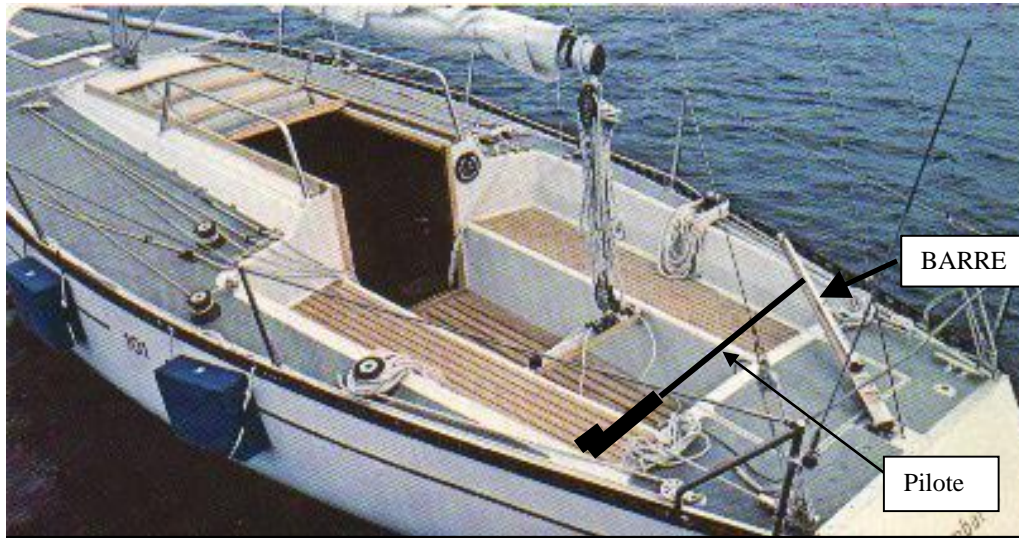


## Pilote automatique de voilier

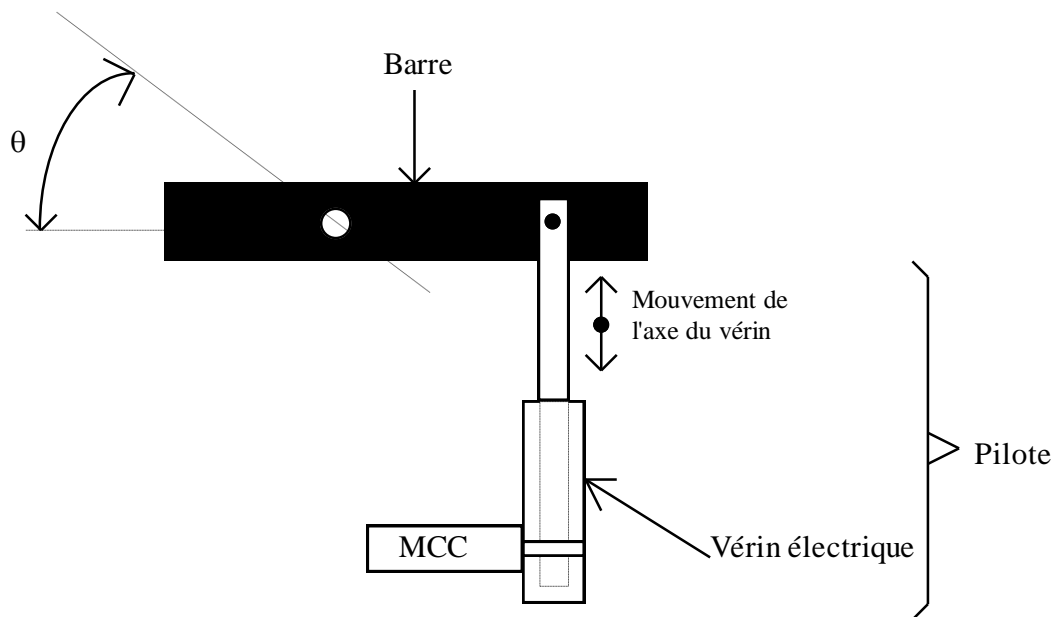
On se propose d'analyser le fonctionnement et de régler un pilote automatique de cockpit pour bateau à voile de moins de 12m.

Le dispositif est le suivant :

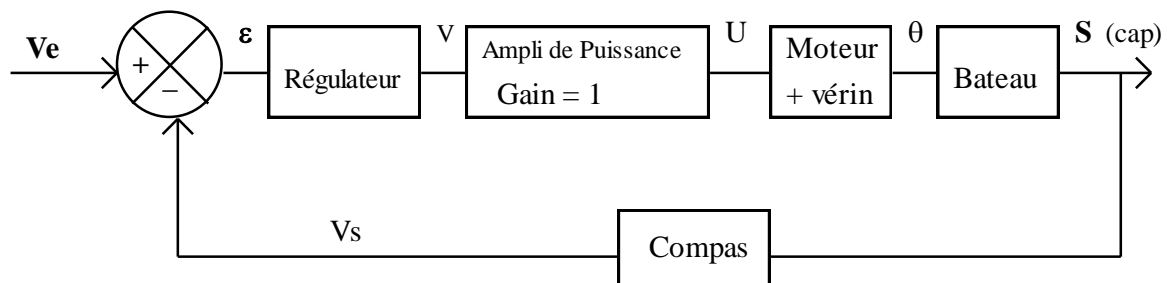
- La commande de direction du bateau est constituée d'un safran (ou gouvernail) entraîné par une barre. Lorsque la barre est alignée sur l'axe du bateau, celui-ci se déplace en ligne droite suivant l'axe (Ox). Si la barre est déplacée en rotation d'un angle  $\theta$ , le bateau "tourne" en sens inverse. Le changement de cap est stoppé lorsque la barre redevient alignée sur l'axe du bateau.



- La barre peut être actionnée manuellement ou par un pilote automatique, constitué des éléments suivants :
  - Un vérin électrique : c'est l'actionneur de la barre. Il est constitué d'un moteur à courant continu à aimants permanents qui entraîne en translation l'axe du vérin, cet axe étant fixé à la barre.
  - Un capteur de cap du bateau (compas "flux gate") qui donne la position angulaire absolue de l'axe (Ox) :  $S = 0^\circ$  pour le Nord,  $S = 180^\circ$  pour le Sud. On suppose que l'information du compas, après mise en forme, est une tension notée  $V_S$ .

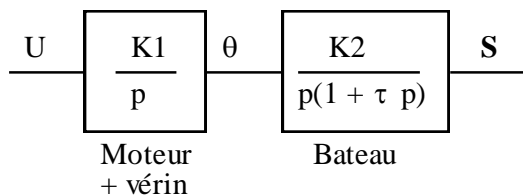


La boucle d'asservissement de cap est la suivante :



### 1) Analyse du fonctionnement en boucle ouverte

On va vérifier que, pour une vitesse moyenne de 6 nœuds le modèle du système à asservir est approximativement le suivant :



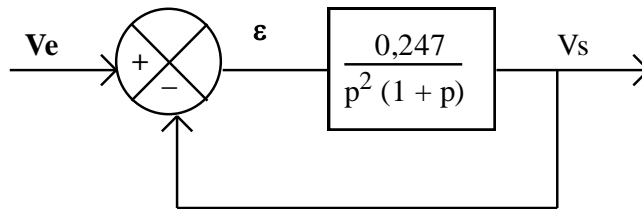
Avec :  $K1 = 9$ ,  $K2 = 0,5$ ,  $\tau = 1s$

U est exprimée en volts,  $\theta$  et S en degrés

- 1.1) En appliquant un échelon de position en tension U variant de 0 à 1 Volt, calculer et tracer  $\theta(t)$ . (Conditions initiales nulles :  $\theta(t=0)=0$ )
- 1.2) En appliquant un échelon de position sur  $\theta$  d'amplitude  $10^\circ$  (manuellement ou à l'aide d'une "impulsion" sur U), calculer et tracer  $S(t)$ . ( $S(t=0)=0$ )
- 1.3) La tension de sortie du compas  $V_s \in [-10 \text{ Volts}, +10 \text{ Volts}]$  pour un cap  $S \in [-180^\circ, +180^\circ]$   
En négligeant son temps de réponse, donner le gain  $G_c$  de cet élément.

## 2) Etude de la stabilité de la boucle fermée en l'absence de régulateur

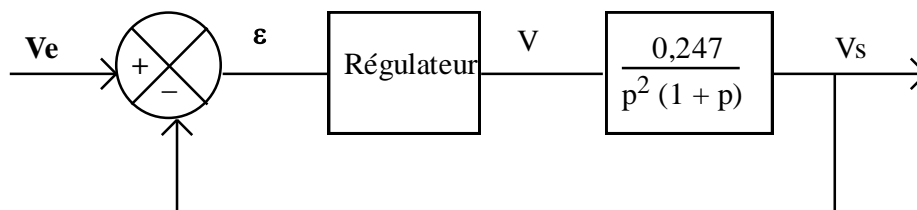
La boucle fermée sera analysée en choisissant comme variable de sortie la tension  $V_s$ .  
ATTENTION : le modèle utilisé sera maintenant le suivant :



- Tracer les lieux de Bode de la boucle ouverte en gain et en phase sur papier libre (tracer les asymptotes et placer approximativement les courbes réelles).
- Calculer le module (en dB) de la boucle ouverte à la pulsation :  $\omega = 1 \text{ rad/s}$
- Dédire sur le tracé asymptotique la pulsation  $\omega_0$  correspondant au passage par 0 dB
- Conclusion sur la stabilité de la boucle fermée ?

## 3) Etude de la stabilité de la boucle fermée en présence d'un régulateur

Le modèle utilisé sera le suivant :



Pour les tracés de Bode, on confondra maintenant courbe et asymptote

On propose d'effectuer le réglage en trois étapes :

**3.1)** Le régulateur est de type proportionnel, de gain  $G = 0,0625$

- Quelle est la nouvelle pulsation  $\omega_1$  correspondant au passage par 0 dB ?
- Conclusion sur la stabilité de la boucle fermée ?

**3.2)** Le régulateur est maintenant le suivant :  $\frac{V}{\varepsilon} = G \frac{1+Tp}{1+\theta p}$

avec :  $T \gg \theta$  et  $G = 0,0625$

- Quel est le type de ce régulateur ?
- On choisit :  $T = 8\text{s}$  et  $\theta = 8\text{ms}$ . Tracer l'allure asymptotique des lieux de Bode en

gain et en phase du terme :  $\frac{1+Tp}{1+\theta p}$  (documenter le tracé en indiquant toutes les

valeurs numériques caractéristiques)

- Dédire des tracés précédents l'allure asymptotique des lieux de Bode en gain et

en phase de la boucle ouverte corrigée :  $0,0625 \frac{1+8p}{1+0,008p} \cdot 0,247 \frac{1}{p^2(1+p)}$

- Conclusion sur la stabilité de la boucle corrigée ?
- Quelle est la pulsation correspondant à un gain de 0 dB ?
- Calculer l'argument de la boucle ouverte corrigée à cette pulsation
- En déduire la marge de phase  $M_\phi$

3.3) On va maintenant ajuster le réglage en modifiant la valeur de G.

- A quelle pulsation  $\omega_2$  faut-il placer le niveau 0dB pour obtenir la marge de phase maximale ?
- Calculer l'argument de la boucle ouverte corrigée à  $\omega = \omega_2$
- En déduire la nouvelle marge de phase  $M_\phi$
- De quelle valeur le gain (en dB) doit-il être modifié pour obtenir ce résultat ?

#### 4) Schéma du Régulateur

Calculer les fonctions de transfert des deux régulateurs proposés.

Quel est celui qui permet de réaliser le régulateur proposé à la question 3.3 de la forme

$$G \frac{1 + Tp}{1 + \theta p} \quad \text{avec : } T \gg \theta$$

