

Quille pendulaire (d'après Mines-Ponts 2014)

Une évolution des voiliers de courses océaniques est de les doter d'une quille pendulaire (figures 6 et 7) qui augmente le couple de redressement du bateau sous voile sans augmenter le poids du lest. Cette quille est en liaison pivot d'axe $(O, \vec{z}_N)$ avec la coque du navire et peut être orientée d'un côté ou de l'autre du navire. Une fois l'orientation désirée obtenue, tout mouvement dans la liaison pivot est supprimé par le blocage en rotation de celle-ci. La mise en mouvement et le blocage en position de la quille sont décrits par une chaîne fonctionnelle.



Figure 7 : Voilier avec sa quille pendulaire écartée au maximum sur « bâbord »

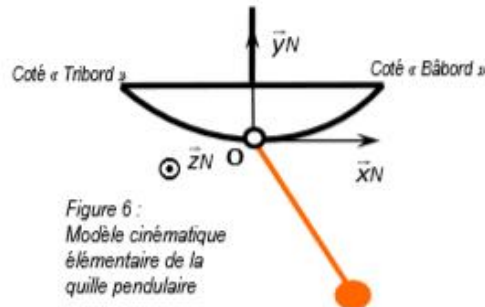


Figure 6 : Modèle cinématique élémentaire de la quille pendulaire

La commande des manœuvres de la quille s'effectue via un pupitre (voir figure 10) placé à proximité du poste de barre proximité du poste de barre à partir duquel le navigateur peut demander à l'automate de réaliser :

- Le déplacement de la quille d'un bord ou de l'autre selon une valeur de consigne.
- Des cycles préprogrammés comme celui de « virement de bord » et celui de « Relâcher ».

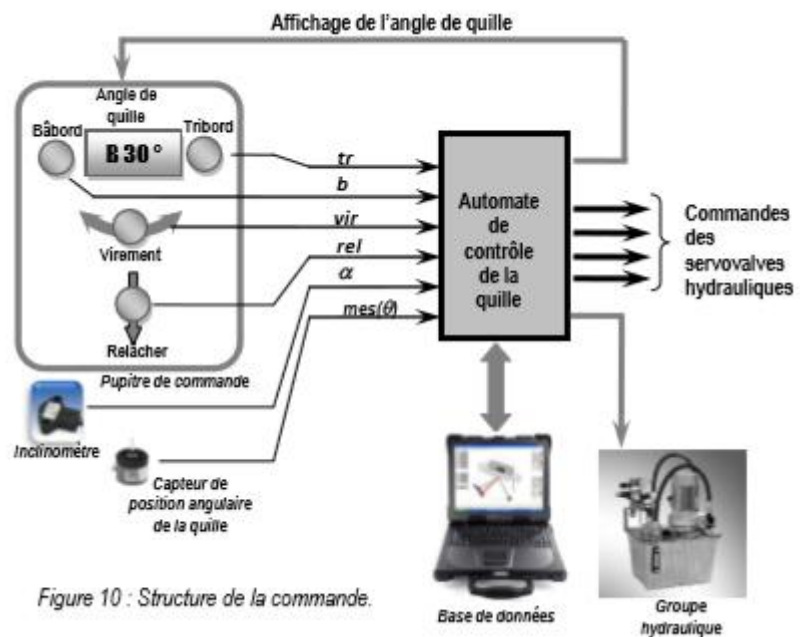


Figure 10 : Structure de la commande.

Le cycle de virement de bord permet de placer la quille de façon symétrique à la position qu'elle occupait précédemment. Ce cycle est utilisé lorsque le navigateur change l'orientation du navire par rapport au vent lors d'un virement de bord. L'automate prend alors en charge intégralement la séquence de manœuvres de la quille, laissant le navigateur disponible pour les autres tâches.

Le cycle « Relâcher » permet de déplacer la quille sous le seul effet de la pesanteur. La quille est ainsi manœuvrée sans utiliser l'énergie de la centrale hydraulique.

L'automate est également interfacé via le réseau du navire à une base de données où sont stockés les paramètres des navigations précédentes (conditions météorologiques, performances du navire et angle de quille). Le navigateur peut ainsi intégrer les paramètres de la quille à l'ensemble des paramètres décisionnels qui lui permettent d'élaborer sa stratégie de navigation.

L'automate gère également la centrale hydraulique qui met en pression l'huile utilisée dans les vérins de manœuvre de la quille.

Deux capteurs renseignent l'automate :

- Un inclinomètre mesure l'angle de gîte du navire, information notée α ;
- Le capteur de position angulaire mesure l'angle d'inclinaison de la quille par rapport à la coque.

Le pupitre de commande est doté de quatre boutons poussoirs :

- tr : Demande d'inclinaison sur tribord ;
- b : Demande d'inclinaison sur bâbord.

Un appui « bref » sur l'un ou l'autre de ces boutons provoque une évolution de l'angle de consigne de 1° , un appui « long » une évolution de 10° .

- vir : Demande du cycle « virement de bord ».
- rel : Demande du cycle « Relâcher ».

Il comporte également un afficheur numérique permettant de visualiser soit l'angle d'inclinaison de la quille, soit la valeur de consigne lorsque le barreur agit sur « bâbord » ou « tribord » (variables b ou tr).

VALIDATION DU CAHIER DES CHARGES : Afin de garantir sa répétabilité, la mise en position angulaire de la quille par rapport à la coque fait l'objet d'un contrôle par une boucle d'asservissement, dont le cahier des charges est donné ci-dessous.

Cahier des charges :

	Critères	niveau
Stabilité	C11 Marge de gain	10dB
	C12 Dépassement vis-à-vis d'une entrée en échelon	Aucun
Rapidité	C21 Temps de réponse à 5%	4s maxi
	C22 Vitesse angulaire de rotation de la quille	$8^\circ/s$ maxi
Précision	C3 Erreur statique vis-à-vis d'une entrée en échelon	nulle

Grandeurs physiques :

1 : Variable temporelle ; 2 : Transformée de Laplace correspondante.

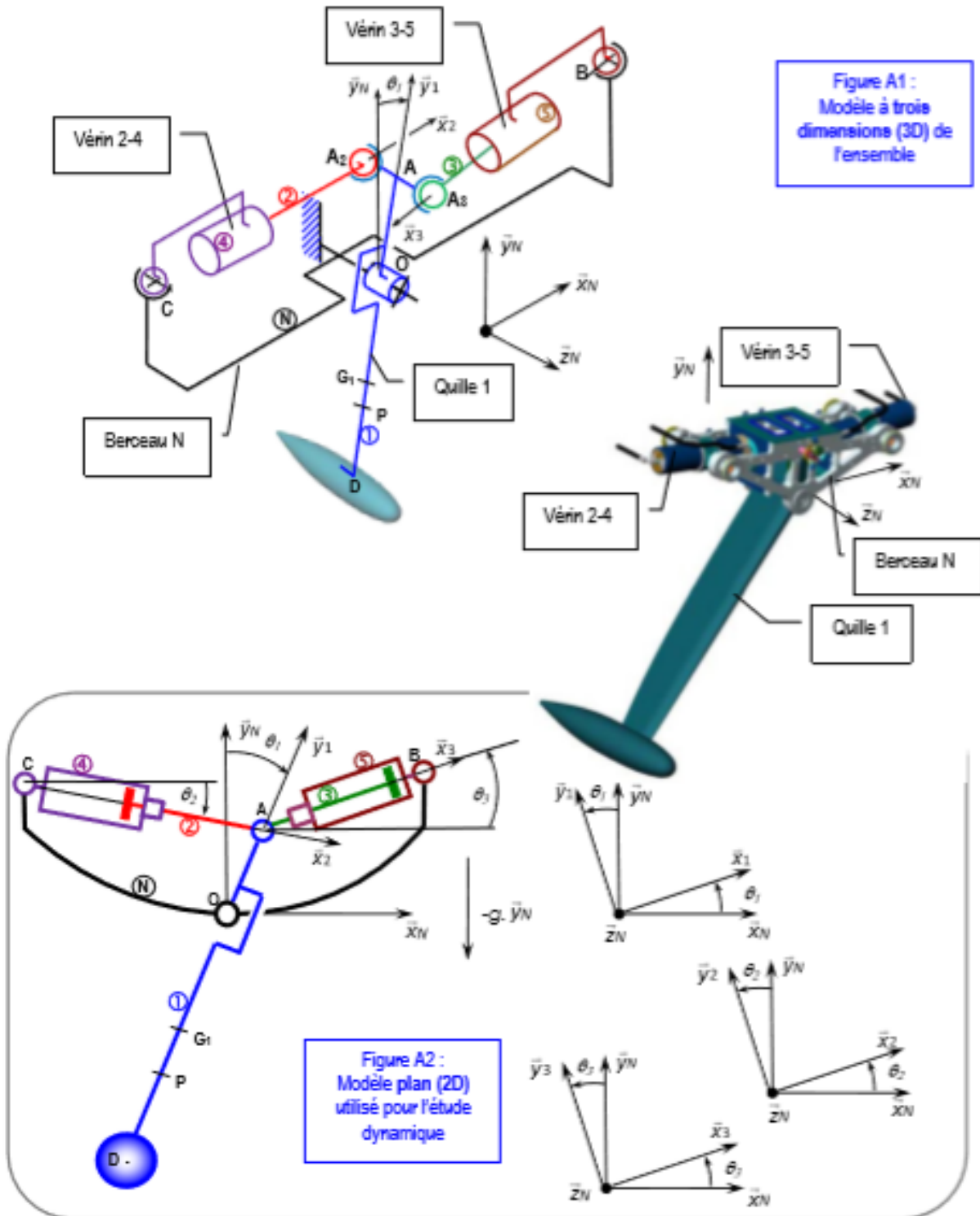
1	Définition (unité)	2	1	Définition (unité)	2
$q(t)$	Débit d'alimentation du vérin ($m^3.s^{-1}$)	$Q(p)$	$f_R(t)$	Composante selon l'axe de la tige de vérin de la résultante du torseur d'inter-effort de la liaison pivot entre tige et quille. (N)	$F_R(p)$
$\alpha(t)$	Différence de pression entre les deux chambres du vérin (Pa)	$\Sigma(p)$			
$x(t)$	Position de la tige du vérin (m)	$X(p)$			
Constantes : Définitions et unités (N.B. : toutes ces constantes sont positives)					
S	Section du vérin (m^2)	M		Masse équivalente à l'ensemble des éléments mobiles ramenée sur la tige de vérin (kg)	
k	Raideur mécanique du vérin ($N.m^{-1}$)				
V	Volume d'huile de référence (m^3)	λ		Coefficient de frottements visqueux ($N.m^{-1}.s$)	
B	Coefficient de compressibilité de l'huile ($N.m^{-2}$)				

Dans la suite du cours, ces grandeurs physiques seront reliées par des équations modélisant leurs évolutions temporelles. C'est l'approche comportementale.



La quille est manœuvrée par deux vérins hydrauliques. Chacun d'eux est alimenté par une servovalve de débit. Ce composant délivre un débit $q(t)$ proportionnel à sa tension de commande $u(t)$.

Lors d'une manœuvre de quille un seul de ces vérins est moteur et alimenté via sa servovalve. L'autre est laissé dans une configuration où sa tige est libre de tout mouvement. L'angle de rotation de la quille par rapport au bâti est mesuré par un capteur angulaire potentiométrique.



Q1. En raisonnant sur les conséquences du mouvement de la quille, justifier l'exigence C22 du cahier des charges ?

Q2. Comment est noté l'angle d'inclinaison de la quille par rapport à la coque ?

Q3. Construire la chaîne fonctionnelle du système « quille pendulaire » associée à l'exigence de positionnement angulaire.