

## TD : ENGIN SOUS-MARIN AUTONOME D'INSPECTION

(D'après Concours Centrale – 2011)

### INTRODUCTION

Les installations (plate-forme, tête de puits, pipeline, . . .) d'exploitation des champs pétrolifères Offshore situées en haute mer font l'objet d'une constante surveillance. Bien que cruciale pour des raisons de sécurité, elle est difficilement réalisable à cause de l'hostilité du milieu marin et des grandes profondeurs rendant l'intervention humaine irréaliste. Le recours à un drone sous-marin s'impose naturellement. La conception d'un tel engin repose essentiellement sur le type de mission à réaliser. Dans le cas particulier d'une inspection de pipeline, il doit être capable, en toute autonomie, de localiser puis de suivre le tracé de ce dernier sur plusieurs dizaines de kilomètres afin de contrôler son état général.

### PRESENTATION DU DRONE

Le sous-marin autonome d'inspection, objet de cette étude, est développé par la société ECA, localisée à Toulon (Var), spécialisée dans la robotique terrestre et sous-marine pour les environnements hostiles où l'homme ne peut pas intervenir directement.

L'ALISTAR 3000 (figure 1) est un engin sous-marin autonome qui entre dans la catégorie des « AUV » (Autonomus Underwater Vehicle) capable d'effectuer une grande variété de tâches d'inspection sur les champs pétrolifères Offshore jusqu'à une profondeur de 3 000 m. Une fois la mission d'inspection établie et programmée, il offre la possibilité de recueillir des données vidéo (caméra) et sonars (latéral et à balayage) des installations sous-marines visitées (pipeline, tête de puits, . . .).

Le profil d'une mission type de ce sous-marin (figure 2) se décompose par l'enchaînement temporel de cinq phases distinctes :

1. une phase de préparation du sous-marin et de mise à l'eau ;
2. une phase de descente afin de rejoindre le point de départ de son travail d'inspection ;
3. une phase d'inspection (contrôle de l'état général du pipeline) ;
4. une phase de remontée à la surface ;
5. une phase de récupération du sous-marin.



Figure 1

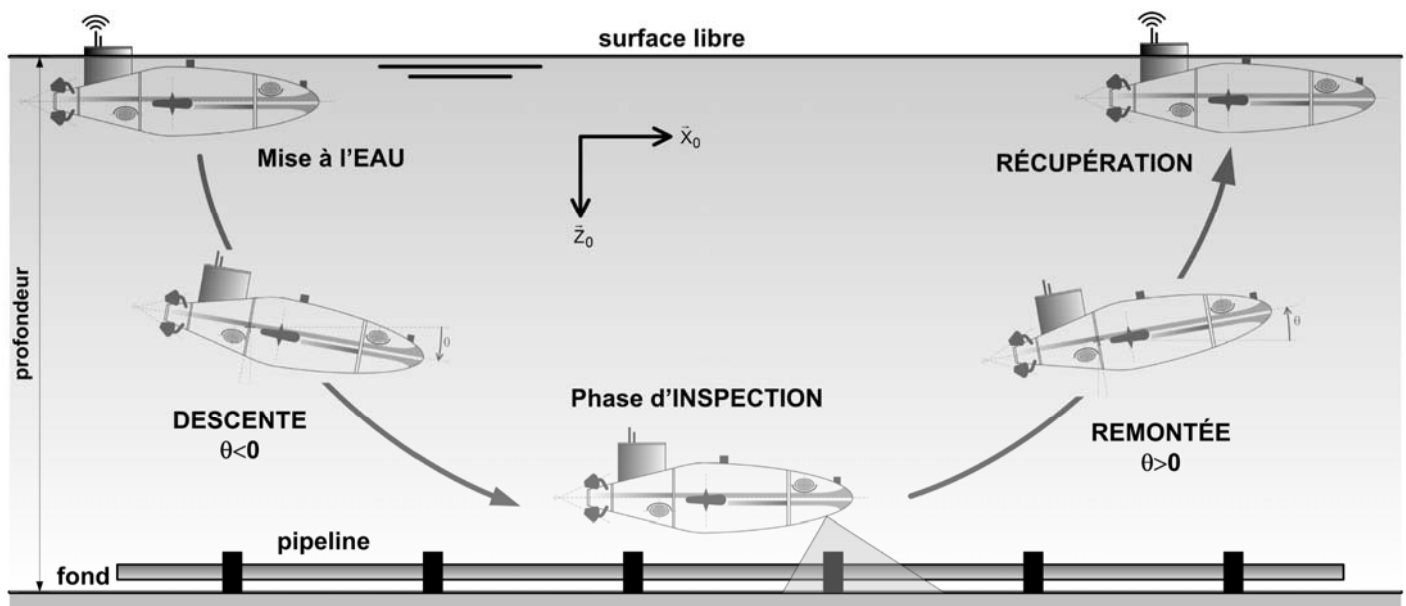


Figure 2

Pour se déplacer, l'ALISTAR est pourvu de 8 propulseurs : 4 propulseurs principaux arrière, 2 propulseurs latéraux avant et arrière et 2 propulseurs verticaux gauche et droite (architecture et localisation figure 3). Cette structure assure une excellente manœuvrabilité dans l'espace.

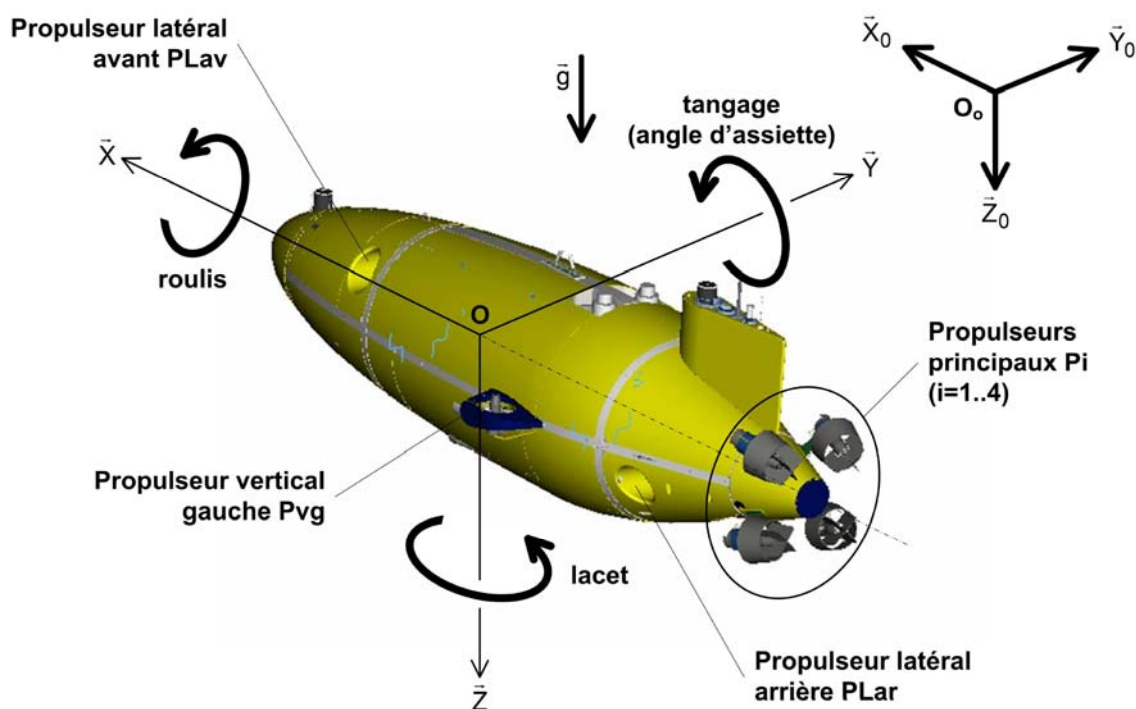


Figure 3

Comme le montre la figure 4, l'ALISTAR peut être commandé soit par un guidage automatique soit par une commande de type manuel (joystick). Dans le cas autonome, des consignes de pilotage préalablement définies sont fournies au système de commande. Différents capteurs (Doppler vitesse, gyro, compas, profondimètre, altimètre, GPS) renseignent le système de commande sur le déplacement de l'ALISTAR. La caméra et le sonar permettent de recueillir les informations sur le pipeline, ces informations sont communiquées à l'utilisateur via l'antenne.

Le système de commande traite l'ensemble des informations pour élaborer les consignes de pilotage du répartiteur de poussée. Chaque propulseur est alors piloté individuellement pour diriger l'ALISTAR. Dans le cadre de l'inspection d'un pipeline, il est par exemple nécessaire que l'ALISTAR se déplace à vitesse constante et à une distance constante du pipeline.

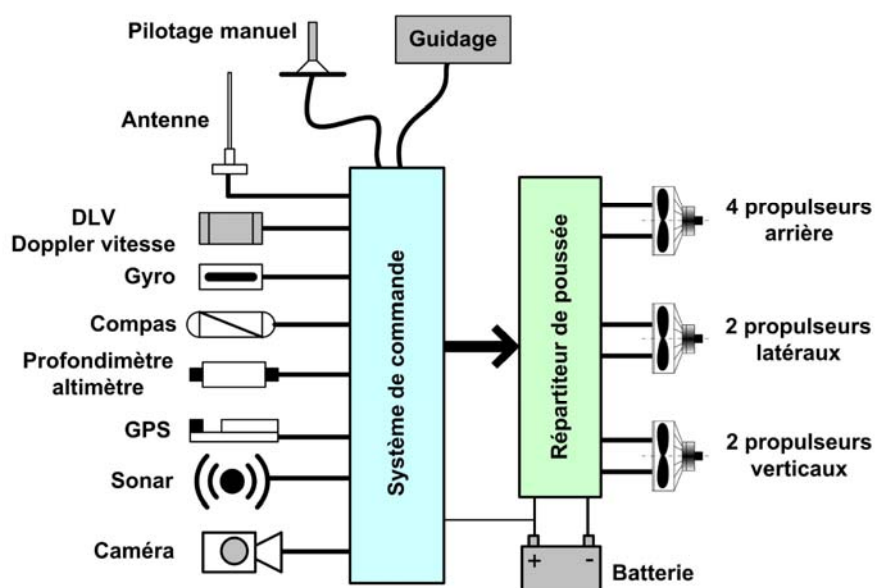


Figure 4

## ANALYSE FONCTIONNELLE

**Q1 :** Proposer une analyse fonctionnelle externe de l'ALISTAR à l'aide d'un diagramme des interacteurs.

**Q2 :** Compléter le document réponse présentant une analyse interne de l'ALISTAR à l'aide des SADT niveaux A-0 et A0.

## PILOTAGE DE L'ALISTAR

La commande individuelle de chacun des propulseurs permet de diriger l'ALISTAR dans l'espace. Ces entités de propulseurs sont constituées d'un moteur électrique à courant continu piloté en tension et accouplé à une hélice. La variation de la tension de commande du moteur entraîne une variation de la fréquence de rotation de l'hélice modulant alors la poussée du propulseur.

On précise que les propulseurs verticaux gauche et droite sont situés en arrière du plan  $(O, \vec{Y}, \vec{Z})$ .

**Q3 :** Quel(s) propulseur(s) proposez-vous de piloter et comment pour obtenir une simple translation de l'ALISTAR dans la direction  $\vec{X}$  ? Même question pour : une rotation autour de l'axe  $(O, \vec{Y})$  (tangage), une rotation autour de l'axe  $(O, \vec{X})$  (roulis) et une rotation autour de l'axe  $(O, \vec{Z})$  (lacet).

On se place dans le cas de l'inspection d'un pipeline rectiligne et horizontal. Au cours de son évolution, l'ALISTAR enregistre une image de la structure externe du pipeline et effectue un balayage sonar. La qualité de ces enregistrements dépend fortement de la qualité du contrôle du déplacement de l'ALISTAR notamment en ce qui concerne la vitesse de déplacement de l'ALISTAR au dessus du pipeline. Différents essais ont montré que la vitesse optimale était de 2 nœuds soit  $1,028 \text{ m.s}^{-1}$ . Une ébauche du schéma-bloc modélisant la commande asservie de la vitesse du sous-marin peut se mettre sous la forme suivante :

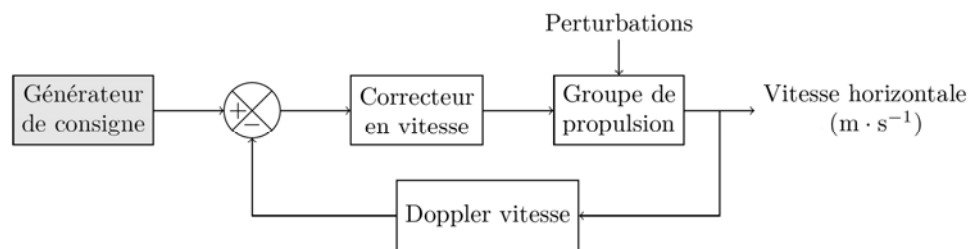


Figure 5

**Q4 :** Dans le cas de l'ALISTAR, expliquer en quelques mots l'intérêt d'une structure de commande asservie et la fonction de chacun des composants. Cet asservissement fonctionne-t-il ici en régulation ou en poursuite ?

Après différentes hypothèses simplificatrices, le schéma bloc modélisant la commande asservie de la vitesse du sous-marin prend la forme :

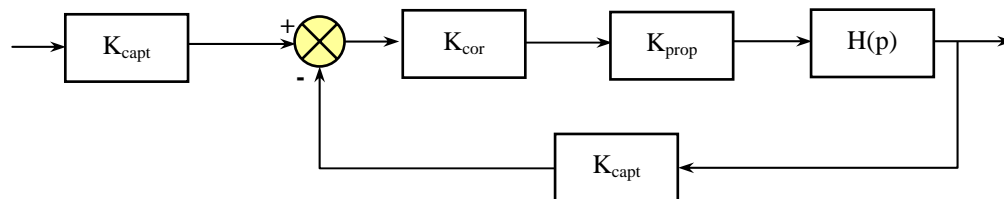


Figure 6

On note :

- $V_c(p)$  : consigne de vitesse
- $V(p)$  : vitesse de l'ALISTAR
- $U_c(p)$  : tension image de la consigne de vitesse
- $U_m(p)$  : tension image de la vitesse réelle
- $U(p)$  : tension de commande du moteur du propulseur
- $P(p)$  : effort de poussée produit par le propulseur
- $K_{cor}$  : gain du correcteur

- $H(p) = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{1 + 11p}$  : fonction de transfert modélisant le comportement mécanique de l'ALISTAR
- $K_{prop} = 94 \text{ N.V}^{-1}$  : gain modélisant le propulseur
- $K_{capt} = 1 \text{ V} / (\text{m.s}^{-1})$

Les forces d'origine hydrodynamique agissant sur l'ALISTAR autres que celles produites par les propulseurs constituent les principales perturbations. Ces forces varient en fonction du milieu marin, des courants, de la profondeur,...

**Q5** : Sur votre copie, reproduire le schéma bloc de la figure 6 en modélisant la présence des perturbations notées  $F_{\text{pert}}(p)$ . Préciser également les grandeurs physiques intermédiaires et leurs unités.

**Q6** : Expliquer la présence du bloc en amont du comparateur. Justifier le choix d'un gain pour ce bloc identique au gain du capteur.

Pour la suite du problème, on travaille avec un modèle sans perturbation identique à celui de la figure 6.

Un extrait du cahier des charges est présenté dans le tableau ci-dessous :

Fonction de service	Critère	Niveau
Maîtriser la vitesse de suivi du pipeline	Erreur statique pour une entrée en échelon de vitesse	1 %
	Rapidité	$T_{5\%} < 5 \text{ s}$

**Q7** : Déterminer sous forme canonique la fonction de transfert globale du système de commande :  $G(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$ . Donner son expression numérique en fonction de  $K_{cor}$ .

**Q8** : Déterminer la valeur numérique optimale du gain  $K_{cor}$  du correcteur permettant de répondre au critère du cahier des charges sur l'erreur statique (attention : c'est une erreur relative en %). Vérifier que ce gain permet également de valider le critère sur la rapidité.

## DOCUMENT REPONSE

