

CI 2 – SLCI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES SYSTÈMES LINÉAIRES CONTINUS INVARIANTS

DEVOIR MAISON 3 – ENGIN SOUS-MARIN AUTONOME D'INSPECTION

ÉLÉMENTS DE CORRIGÉ

D'après ressources de Christophe Durant, Olivier Le Gallo et Damien Iceta.

1 Introduction

2 Présentation du drone

3 Analyse système

3.1 Diagramme de contexte

Question 1

Après avoir reproduit ce tableau sur votre copie, identifier les éléments du contexte présents dans chaque phase.

	Opérateur	Milieu Marin	Source d'énergie	Pipeline
Phase de présentation avant mise à l'eau	X		X	
Phase de descente	X si pilotage manuel	X		
Phase d'inspection	X si pilotage manuel	X		X

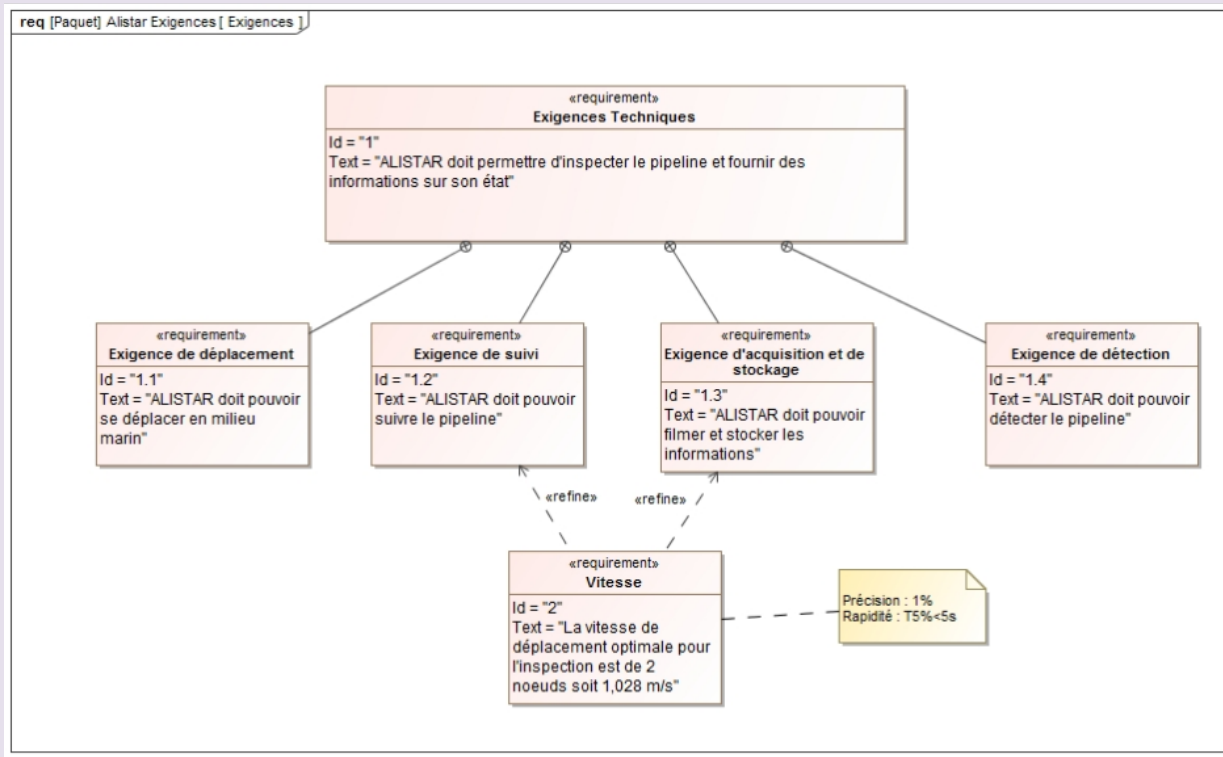
3.2 Diagramme d'exigences

On donne sur le document réponse DR 1 le diagramme d'exigence partiel de l'ALISTAR.

Question 2

Compléter celui-ci à partir des informations du sujet.

Correction



3.3 Diagramme des cas d'utilisation et cahier des charges associé

Question 3

Expliquer en une phrase ce que ce diagramme retranscrit comme information.

Correction

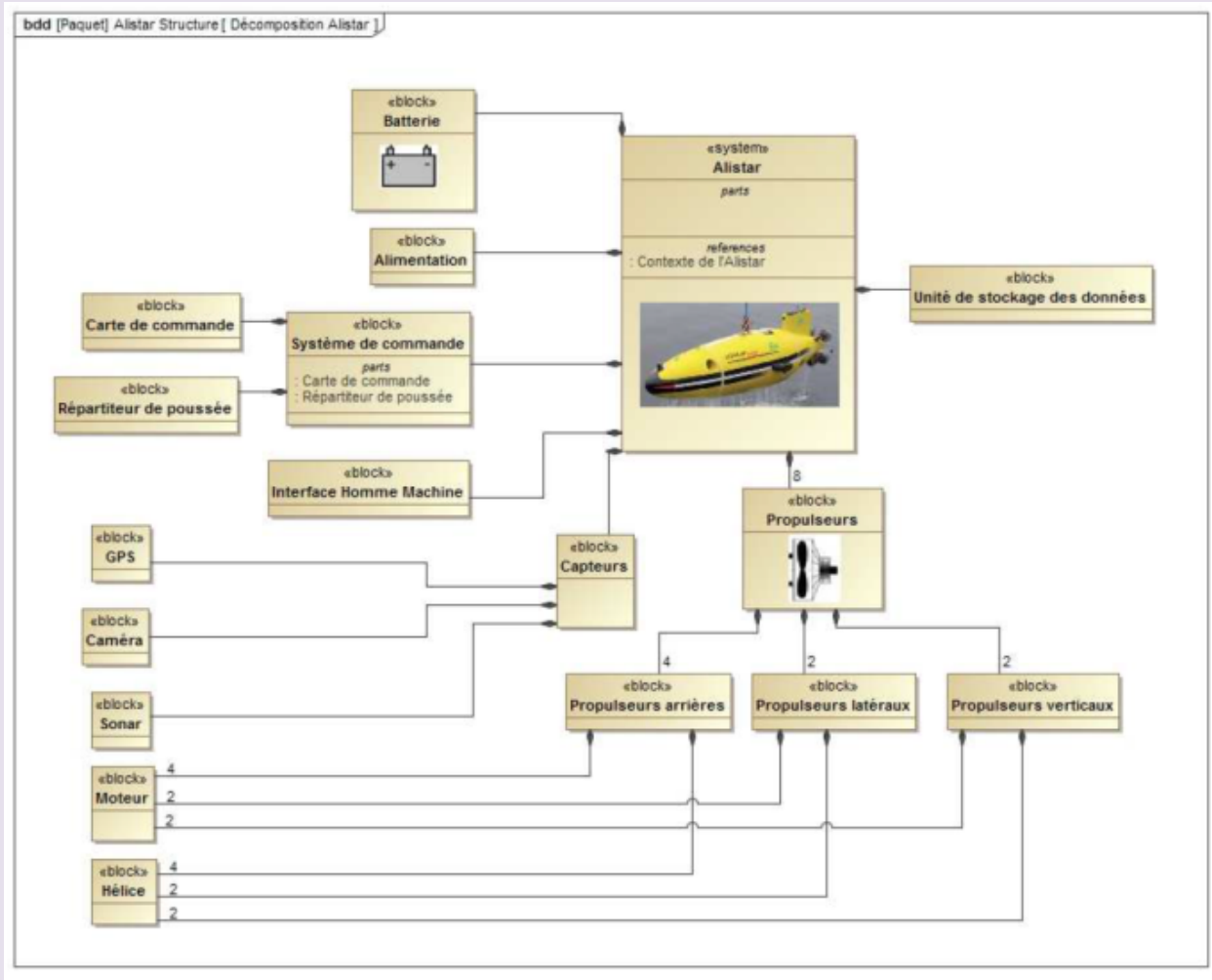
L'utilisateur doit pouvoir acquérir des informations sur le pipeline en utilisant l'Alistar.

3.4 Description structurelle du drone – Chaîne d'énergie et d'information

On propose sur le document réponse DR2 un diagramme bdd du drone.

Question 4

Relier les blocs GPS, Caméra, Sonar, moteur et hélice à un des blocs déjà définis.



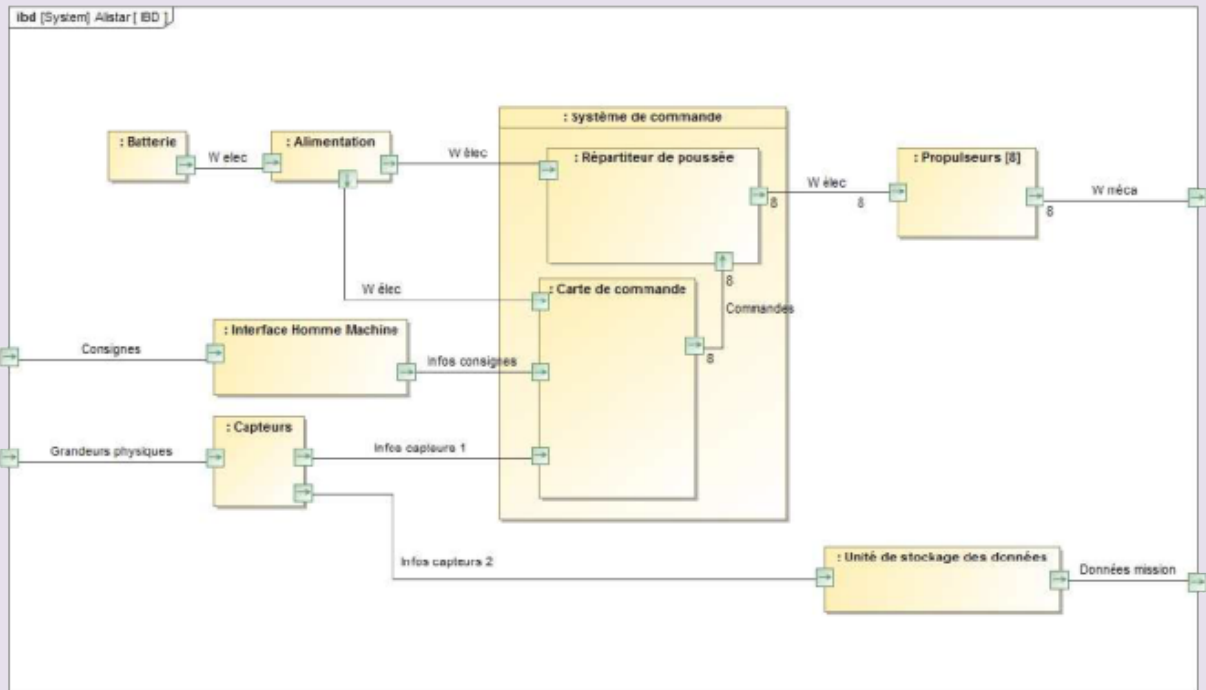
Correction

On propose alors un diagramme ibd (DR3).

Question 5

Compléter le diagramme en faisant apparaître pour chaque flux sa nature (Matière – Energie – Information).

Correction



Question 6

Faire apparaître en couleur la chaîne d'énergie sur le diagramme ibd.

Question 7

En utilisant la question précédente compléter le diagramme chaîne d'énergie et d'information du document réponse DR 4.

4 Modélisation du système

Question 8

En précisant les hypothèses nécessaires, donner les transformées de Laplace des équations 1 à 4.

Les conditions initiales étant nulles et les fonctions étant causales (fonctions nulles pour $t \leq 0$), on a donc :

$$U_m(p) = E(p) + RI(p)$$

$$C_m(p) = K \cdot I(p)$$

$$E(p) = K \cdot N(p)$$

$$C_m(p) = JpN(p)$$

Correction

Question 9

Par le calcul, définir la fonction de transfert du moteur notée $H(p)$ telle que $N(p) = H(p) \cdot U_m(p)$. Cette fonction de transfert s'exprimera uniquement en fonction de R , K et J .

Correction

On a :

$$N(p) = \frac{C_m(p)}{Jp} \Leftrightarrow N(p) = \frac{K}{Jp} \cdot I(p) \Leftrightarrow N(p) = \frac{K}{RJp} \cdot (U_m(p) - E(p)) \Leftrightarrow N(p) = \frac{K}{RJp} \cdot (U_m(p) - K \cdot N(p))$$

Au final,

$$H(p) = \frac{N(p)}{U_m(p)} = \frac{\frac{K}{RJp}}{\frac{K^2}{RJp} + 1} = \frac{K}{K^2 + RJp} = \frac{1/K}{1 + \frac{RJ}{K^2}p}$$

Question 10

Mettre $H(p)$ sous forme canonique et déterminer ses paramètres caractéristiques.

Correction

$$H(p) \text{ peut se mettre sous la forme } H(p) = \frac{K_m}{1 + \tau_m p} \text{ avec } K_m = \frac{1}{K} \text{ et } \tau_m = \frac{RJ}{K^2}.$$

5 Analyse et validation des performances.

5.1 Étude des performances de précision de l'asservissement non corrigé

On suppose que le correcteur est unitaire, soit $C(p) = 1$. Par ailleurs, on supposera ici les perturbations nulles.

Question 11

Calculer la FTBO puis $\varepsilon(p)$.

Correction

Dans un premier temps,

$$FTBO(p) = H_1(p) \cdot H_2(p) \cdot K_{capt} = K_{capt} G \cdot \frac{\tilde{K}}{1 + \tilde{\tau} p}$$

$\varepsilon(p)$ peut être directement déterminé ainsi :

$$\varepsilon(p) = \frac{1}{1 + FTBO(p)} \cdot K_{capt} \tilde{U}_c(p) = \frac{K_{capt}}{1 + K_{capt} G \cdot \frac{\tilde{K}}{1 + \tilde{\tau} p}} \tilde{U}_c(p) = K_{capt} \frac{1 + \tilde{\tau} p}{1 + \tilde{\tau} p + K_{capt} G \tilde{K}} \tilde{U}_c(p)$$

En mettant cette expression sous forme canonique, on obtient :

$$\varepsilon(p) = \frac{K_{capt}}{1 + \tilde{K} G K_{capt}} \cdot \frac{1 + \tilde{\tau} p}{1 + \frac{\tilde{\tau}}{1 + \tilde{K} G K_{capt}} p} \tilde{U}_c(p)$$

Question 12

On considère une position de consigne variant en échelon d'amplitude U_{c0} . Donner l'expression de la transformée de Laplace $\tilde{U}_c(p)$ de ce signal d'entrée.

Correction

Une entrée échelon se modélise ainsi :

$$\tilde{U}_c(p) = \frac{U_{c0}}{p}$$

Question 13

À partir du théorème de la valeur finale, calculer la valeur de l'erreur en régime permanent pour une entrée en échelon en fonction de G et \tilde{K} .

Correction

On a :

$$e_{rs} = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \varepsilon(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{U_{c0}}{p} \cdot \frac{K_{capt}}{1 + \tilde{K} G K_{capt}} \cdot \frac{1 + \tilde{\tau} p}{1 + \frac{\tilde{\tau}}{1 + \tilde{K} G K_{capt}} p} = \frac{K_{capt} U_{c0}}{1 + \tilde{K} G K_{capt}}$$

Indépendamment du résultat trouvé précédemment, on prendra :

$$e_{rs} = \frac{K_{capt}}{1 + G \tilde{K} K_{capt}} \cdot U_{c0}$$

Question 14

Le système est-il précis vis-à-vis de cette entrée en échelon ? Calculer la valeur numérique de l'erreur en régime permanent pour une entrée en échelon relative (en pour-cents).

Correction

$$e_{rs} = \frac{1}{1 + 94 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1} \cdot U_{c0} = 0,68 \cdot U_{c0}$$

Question 15

À partir de la réponse à la question précédente, conclure quant au respect du cahier des charges.

Correction

Le cahier des charges indique une erreur statique admissible de 1% ce qui est largement inférieur aux 68% calculés. Le système tel qu'il est modélisé actuellement ne respecte donc pas le cahier des charges.

5.2 Étude des performances de précision de l'asservissement corrigé

Question 16

Calculer $FTBF(p)$ et donner son expression en fonction des paramètres caractéristiques du modèle. Quel est l'ordre de cette fonction de transfert ?

La fonction de transfert en boucle fermée peut se calculer ainsi :

$$FTBF(p) = \frac{K_{capt} H_1(p) H_2(p)}{1 + K_{capt} H_1(p) H_2(p)} = \frac{K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \frac{\tilde{K}}{1 + \tilde{\tau} p}}{1 + K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \frac{\tilde{K}}{1 + \tilde{\tau} p}} = \frac{K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \tilde{K}}{1 + \tilde{\tau} p + K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \tilde{K}}$$

Ce système est du premier ordre. Mettons le sous forme canonique :

$$FTBF(p) = \frac{\frac{K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \tilde{K}}{1 + K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \tilde{K}}}{1 + \frac{\tilde{\tau}}{1 + K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \tilde{K}} p}$$

Correction

Question 17

Donner sans calculs l'expression analytique puis la valeur du temps de réponse à 5%. Conclure vis-à-vis du cahier des charges fonctionnel.

Le système étant du premier ordre, le temps de réponse à 5% est le triple du temps de réponse. On a donc,

$$tr_{5\%} = 3 \cdot \frac{\tilde{\tau}}{1 + K_{capt} \cdot G \cdot K_{cor} \cdot \tilde{K}} = 3 \cdot \frac{12}{1 + 1.94 \cdot 211 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 0,36 \text{ s.}$$

Le temps de réponse à 5% est inférieur aux 5 secondes imposées par le cahier des charges. Ce dernier est donc vérifié.

Correction

Question 18

À partir de l'expression de la $FTBF(p)$, conclure quant au critère d'amortissement.

Le système étant du premier ordre, il n'y a donc pas de dépassement. Le cahier des charges est donc vérifié.

Correction

6 Flottabilité et mouvement de plongée du drone Alistar

6.1 Étude générale de la flottabilité

Question 19

En supposant l'évolution linéaire de la variation de volume avec la profondeur, et en notant l , en m, cette profondeur, montrer que $V(l) = -0,0104 \cdot l + 1977$, $V(l)$ étant en dm^3 . Déterminer alors la réduction de volume en dm^3 de l'AUV à 3000 m de profondeur.

Correction

On a $V(3000) = 1946 \text{ dm}^3$. La réduction de volume est donc de $31,2 \text{ dm}^3$.

Une étude identique permettrait de définir la masse volumique à 3000 m : $\rho(3000) = 1041,13 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$.

Question 20

Déterminer la masse du lest (en kg) à rajouter au sous-marin afin d'obtenir une flottabilité nulle à 3000 m .

Correction

Pour obtenir une flottabilité nulle à 3000 m , il faut $\Phi = 0$ soit $\rho(3000) \cdot V(3000) - m - m_{\text{lest}} = 0$. On en déduit que $m_{\text{lest}} = 1041,13 \cdot 1946 \cdot 10^{-3} - 1977,2 = 48,84 \text{ kg}$.

En utilisant la valeur du lest déterminée précédemment, on peut montrer que la flottabilité en surface n'est que de $1,77 \text{ kg}$. Cette valeur étant bien en dessous des 10 kg exigés, il faut trouver une autre solution pour ce problème de flottabilité.

Question 21

Sachant que, lors de la mission, l'AUV ne prend ou ne rejette rien, sur quel paramètre structurel de l'AUV peut-on agir afin d'obtenir la flottabilité désirée ?

Correction

Comme l'engin est considéré comme un milieu fermé (pas d'échange de matière), le seul paramètre sur lequel agir est le volume en gonflant ou dégonflant un élément.

6.2 Système SARFA et mouvement de plongée

Question 22

Expliquer le fonctionnement du SARFA pour permettre une plongée sans utiliser les propulseurs.

Correction

Pour plonger il faut diminuer la flottabilité en dégonflant la vessie vers l'intérieur. En partant de la position initiale, le mouvement de plongée peut s'amorcer en dégonflant la vessie externe et en transférant du fluide de l'arrière vers l'avant pour déplacer le centre de gravité de l'AUV et lui donner un angle d'assiette négatif.