

# BACCALAURÉAT Général

## Enseignement de spécialité Sciences de l'Ingénieur

# CORRIGÉ

## PARTIE1-SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

EFOIL

<b>Sous-partie 1</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>	<b>Q5</b>	<b>Q6</b>	<b>Q7</b>	<b>Total</b>
	1	1	2	2	2	1,5	1,5	11
<b>Sous-partie 2</b>	<b>Q8</b>	<b>Q9</b>	<b>Q10</b>	<b>Q11</b>	<b>Q12</b>	<b>Q13</b>		<b>Total</b>
	2	1,5	1	2	1	1,5		9
<b>Sous-partie 3</b>	<b>Q14</b>	<b>Q15</b>	<b>Q16</b>	<b>Q17</b>	<b>Q18</b>	<b>Q19</b>		<b>Total</b>
	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		9

## Sous-partie 1 - obligatoire

### 1. Garantir une autonomie suffisante pour assurer le retour du pratiquant sur la berge

**Objectif** : Gérer l'énergie de la batterie afin de garantir le retour sur la berge du pratiquant en toute sécurité.

**Question 1** *Relever sur le diagramme des exigences (figure 6) la valeur de la vitesse de croisière de l'Efoil et l'autonomie de fonctionnement. Calculer dans ces conditions la distance maximale théorique que peut parcourir le produit.*

figure 6

Vitesse de croisière :  $V = 20 \text{ km.h}^{-1}$

Autonomie :  $t = 1 \text{ h}$

Calcul de la distance maximale théorique :  $d = V \times t = 20 \text{ km}$

**Question 2** *Le paramétrage du modèle nécessite de disposer d'informations. Relever dans le diagramme de définition des blocs la valeur de la puissance nominale du moteur ainsi que les valeurs des tensions minimale et maximale aux bornes de la batterie.*

figure 8

Puissance nominale du moteur :  $4 \text{ kW}$

Tension minimale de la batterie :  $38,4 \text{ V}$

Tension maximale de la batterie :  $50,4 \text{ V}$

**Question 3** *À partir de la description du scénario d'essai présenté dans la page précédente, tracer sur le document réponse DR1 le profil de vitesse imposé au contrôleur de vitesse du modèle multiphysique en limitant à la première minute. Justifier les tracés sur la copie.*

Voir DR1

figure 7

**Phase 1** : passage de  $0 \text{ km.h}^{-1}$  à  $7 \text{ km.h}^{-1}$  avec une accélération de  $0,2 \text{ m.s}^{-2}$

$$V_{\varphi 1} = 7 \text{ km.h}^{-1} \Rightarrow V_{\varphi 1} = 7 / 3,6 = 1,94 \text{ m.s}^{-1} \rightarrow t_{\varphi 1} = V_{\varphi 1} / a_i = 9,7 \text{ s}$$

**Phase 2** : vitesse constante de  $7 \text{ km.h}^{-1}$  soit  $1,94 \text{ m.s}^{-1}$  ;

$$t_{\varphi 2} = 8 \text{ s} ; t_{\varphi 1} + t_{\varphi 2} = 17,7 \text{ s}$$

**Phase 3** : passage de  $7 \text{ km.h}^{-1}$  à  $14,5 \text{ km.h}^{-1}$  avec une accélération de  $0,3 \text{ m.s}^{-2}$

$$\Delta V_3 = 14,5 \text{ km.h}^{-1} - 7 \text{ km.h}^{-1} = 7,5 \text{ km.h}^{-1} \Rightarrow \Delta V_3 = 7,5 / 3,6 = 2,08 \text{ m.s}^{-1}$$

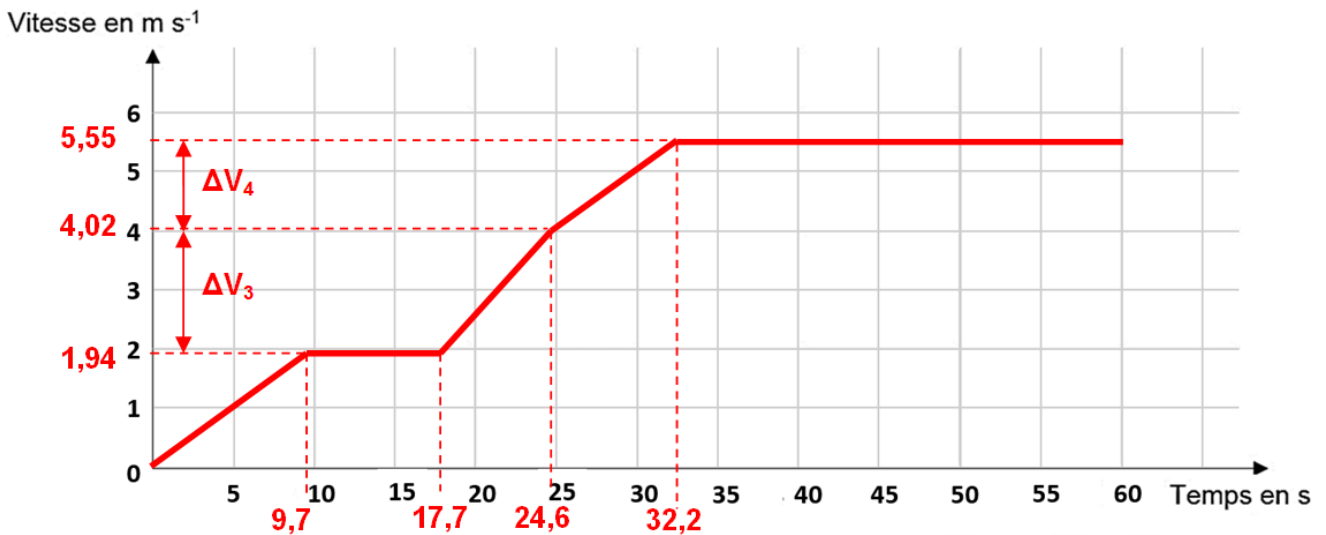
$$t_{\varphi 3} = \Delta V_3 / a_d = 6,9 \text{ s} ; t_{\varphi 1} + t_{\varphi 2} + t_{\varphi 3} = 24,6 \text{ s}$$

**Phase 4** : passage de  $14,5 \text{ km.h}^{-1}$  à  $20 \text{ km.h}^{-1}$  avec une accélération de  $0,2 \text{ m.s}^{-2}$

$$\Delta V_4 = 20 \text{ km.h}^{-1} - 14,5 \text{ km.h}^{-1} = 5,5 \text{ km.h}^{-1} \Rightarrow \Delta V_4 = 5,5 / 3,6 = 1,53 \text{ m.s}^{-1}$$

$$t_{\varphi 4} = \Delta V_4 / a_v = 7,6 \text{ s} ; t_{\varphi 1} + t_{\varphi 2} + t_{\varphi 3} + t_{\varphi 4} = 32,2 \text{ s}$$

**Phase 5** : vitesse constante de  $20 \text{ km.h}^{-1}$  soit  $5,56 \text{ m.s}^{-1}$



**Question 4** *Calculer la puissance maximale disponible sur l'axe moteur en mode dégradé puis relever sur le graphe la vitesse maximale correspondante à ce mode dégradé.*

$P_{\max} = 4000 \times 30 / 100 = 1200 \text{ W}$

La lecture sur le graphe donne une vitesse :  $V_{\max} = 3,3 \text{ m.s}^{-1}$

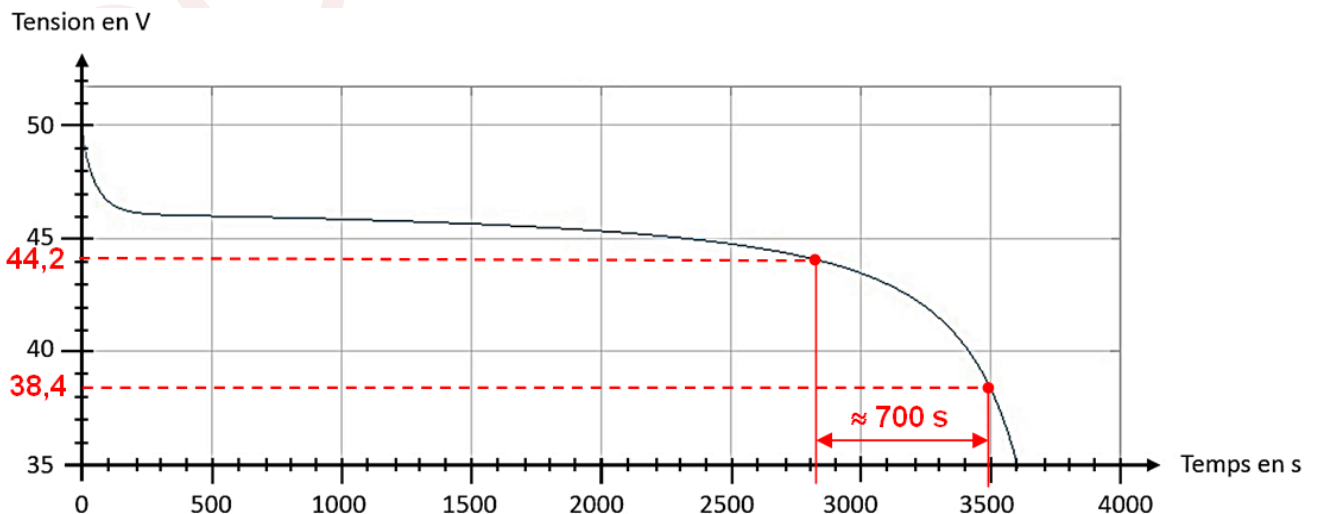
Nota : La réponse sera jugée satisfaisante si  $3,2 \leq V_{\max} \leq 3,4 \text{ m.s}^{-1}$

**Question 5** *Tracer sur le document réponse DR1 les valeurs des tensions  $U_{\min}$  et  $U_s$ . En raisonnant uniquement en mode dégradé, déterminer la distance que peut parcourir le pratiquant sur son Efoil avant l'arrêt complet de son embarcation.*

$U_{\min} = 38,4 \text{ V}$  donc  $U_s = 38,4 \times 1,15 = 44,16 \text{ V} \approx 44,2 \text{ V}$

Durée de fonctionnement en mode dégradé  $\approx 700 \text{ s}$  (lecture graphique).

Distance franchissable :  $3,3 \times 700 \approx 2310 \text{ m}$  (le résultat peut varier selon la vitesse relevée à la question 4 et selon l'estimation graphique de la durée).



**Question 6**

figures 6 et 10

**Relever** sur la figure 10 l'information de la distance réellement parcourue par le pratiquant en mode dégradé entre les points A et B. **Calculer** les écarts relatifs en pourcentage de ce résultat par rapport à la simulation et au cahier des charges; exigence «*ld='40'*» du diagramme des exigences.

La distance réellement parcourue par le pratiquant en mode dégradé est **2,76 km**.

Écart du résultat par rapport à la simulation :  $2,76 - 2,31 = 0,45$  km

$$0,45 / 2,31 = \mathbf{19,5\%}$$

Ce résultat peut varier notablement en fonction de la distance calculée à la question 5.

Écart du résultat par rapport au cahier des charges :  $2,76 - 2 = 0,76$  km

$$0,76 / 2 = \mathbf{38\%}$$

**Question 7**

figures 6 et 10

**Analyser** les écarts calculés à la question 6. **Conclure** sur la capacité du système à répondre à l'exigence «*ld='40'*».

Les écarts calculés à la question 6 s'expliquent par la présence du vent de 6 nœuds secteur ouest / nord-ouest mais également des petites vagues de 10 cm venant de l'ouest. Ces phénomènes naturels ont eu tendance à améliorer les performances du produit. Il faudra nécessairement faire plus d'essais pour vérifier que le pratiquant peut parcourir au moins 2 km en mode dégradé.

## Sous-partie 2 – choix 1

### 2. Permettre au pratiquant de maintenir son équilibre

**Objectifs:** Permettre au pratiquant de maintenir son équilibre sur sa planche :

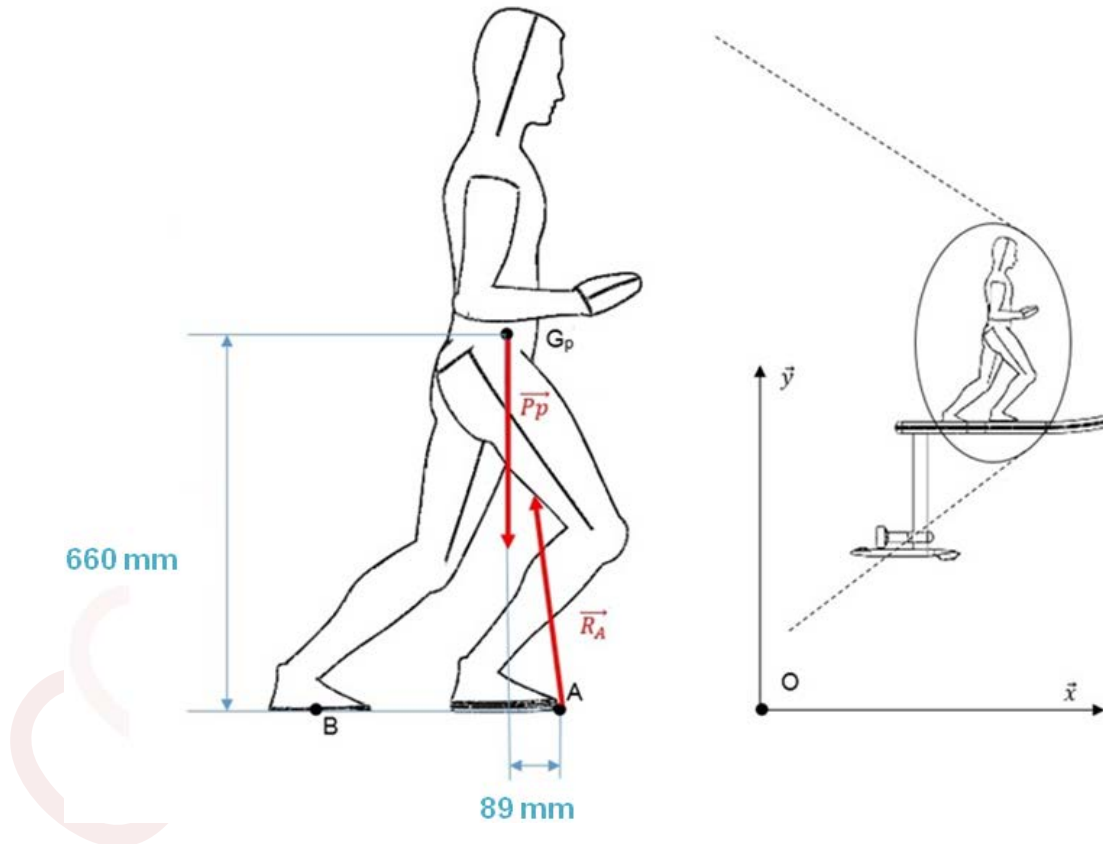
- lors du passage en mode dégradé,
- avec l'implantation future d'un système automatique de contrôle d'altitude de la planche.

#### 2.1. Passage en mode dégradé

##### Question 8

Voir DR1

*Tracer sur DR1 les directions et les sens des actions mécaniques exercées sur le pratiquant. **Exprimer** le principe fondamental de la dynamique au point  $G_p$ . **Ecrire** les équations scalaires littérales de la résultante dynamique en projection sur l'axe  $\vec{x}$  et l'axe  $\vec{y}$ , puis celle du moment dynamique autour de l'axe  $\vec{z}$  exprimée au point  $G_p$ .*



#### Expression du PFD au point $G_p$ :

Théorème de la résultante dynamique :  $\sum \overrightarrow{F_{(ext \rightarrow s)}} = m_p \cdot \vec{a}$

Application de résultante dynamique :  $\overrightarrow{P_{g \rightarrow P}} + \overrightarrow{R_{planche \rightarrow P}} = m_p \cdot \vec{a}$

Projection de la résultante sur l'axe  $\vec{x}$  :  $X_A = m_p \cdot a_x$

Projection de la résultante sur l'axe  $\vec{y}$  :  $Y_A - P_p = 0$

Théorème du moment dynamique :  $\sum \overrightarrow{M_{G_p}(ext \rightarrow s)} = \vec{0}$

Application du moment dynamique :  $\overrightarrow{M_{G_p(P \rightarrow P)}} + \overrightarrow{M_{G_p(R_{planche} \rightarrow P)}} = \vec{0}$

Projection de la résultante sur l'axe  $\vec{z}$  :  $0,66 \cdot X_A + 0,089 \cdot Y_A = 0$

**Question 9** *Exprimer  $Y_A$  en fonction de  $m_p$  et  $g$ . En déduire la valeur de la décélération linéaire  $a_x$  critique pour l'équilibre.*

Expression de  $Y_A$  :  $Y_A - P_p = 0 \Leftrightarrow Y_A = m_p \cdot g \approx 736 \text{ N}$

Expression de  $X_A$  :  $0,66 \cdot X_A + 0,089 \cdot Y_A = 0 \Leftrightarrow X_A \approx -99 \text{ N}$

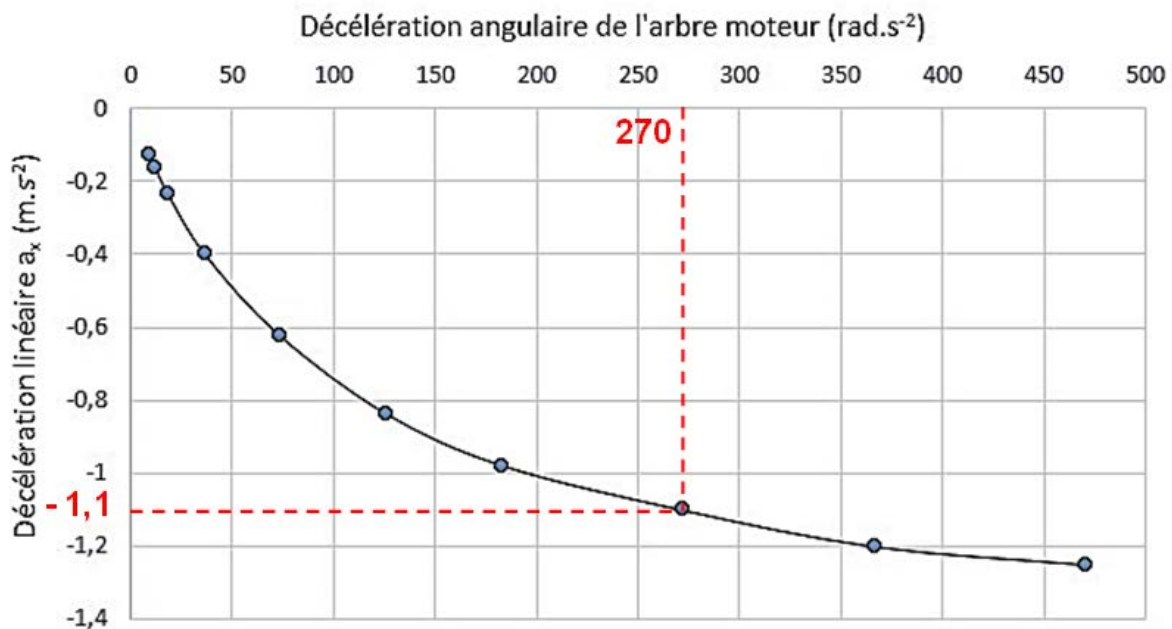
Calcul de l'accélération critique :  $X_A = m_p \cdot a_x \Leftrightarrow a_x = \frac{X_A}{m_p} \approx -1,32 \text{ m.s}^{-2}$

**Question 10** *Relever sur la figure 11 la décélération angulaire critique (en  $\text{rad.s}^{-2}$ ) de l'arbre moteur pour s'assurer du maintien de l'équilibre du pratiquant lors du passage en mode dégradé.*

figure 11

La décélération angulaire critique de l'arbre moteur pour s'assurer de maintenir l'équilibre du pratiquant lors du passage en mode dégradé est d'environ **270  $\text{rad.s}^{-2}$** .

**Décélération linéaire  $a_x$  en fonction de la décélération angulaire de l'arbre moteur.**

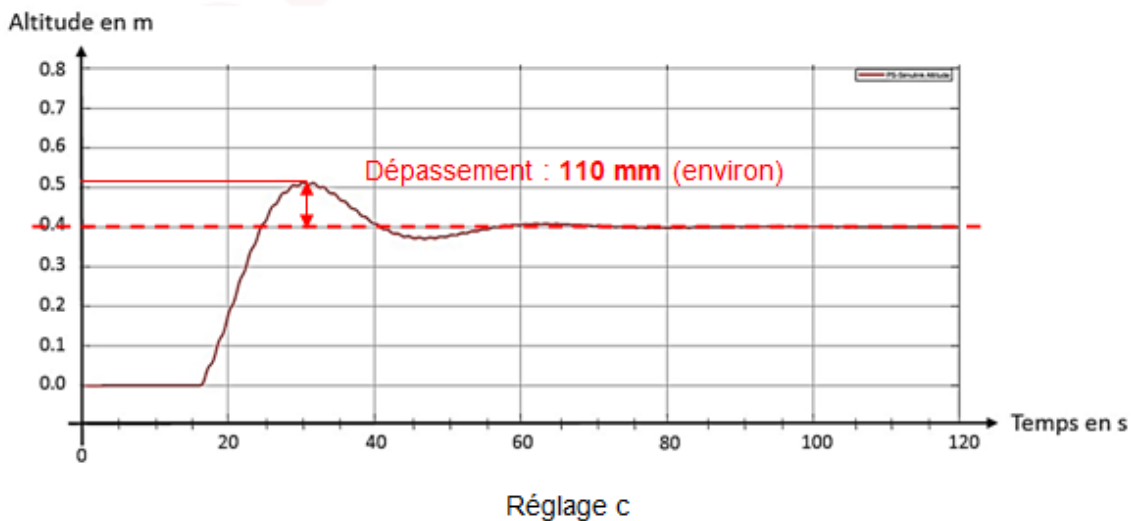
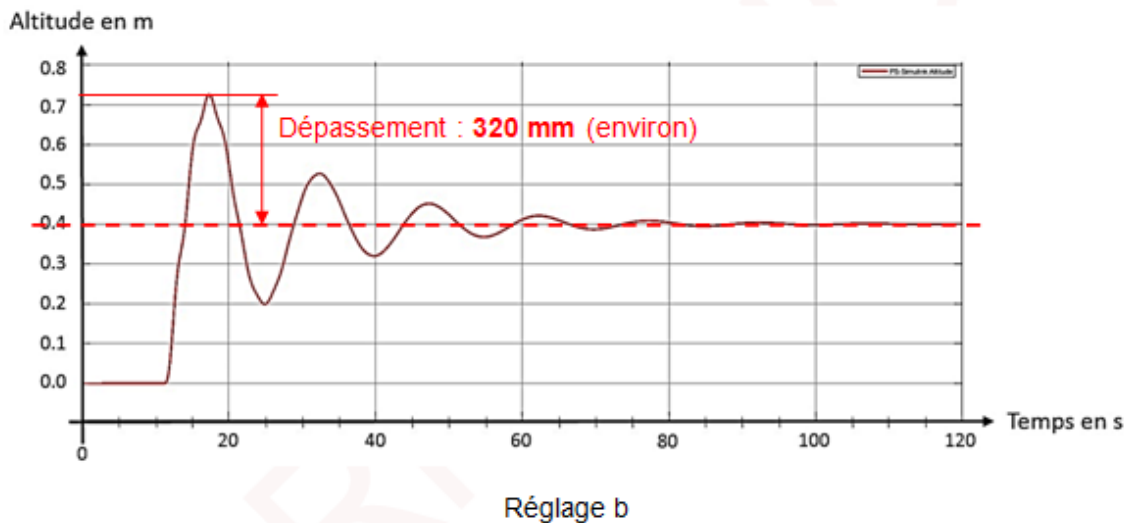
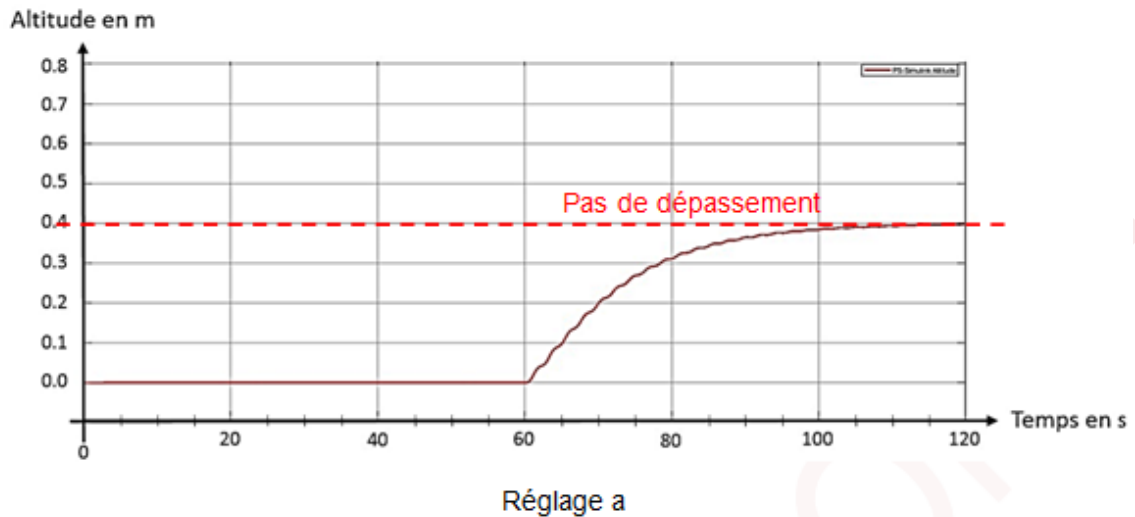


Nota : La réponse sera jugée satisfaisante si elle est comprise entre 265 et 280  $\text{rad.s}^{-2}$ .

## 2.2. Utilisation d'un système automatique de contrôle d'altitude de la planche

**Question 11** Déterminer graphiquement pour chaque réglage, la valeur (en mm) du premier dépassement. Justifier les résultats en faisant apparaître les constructions graphiques sur DR2.

Voir DR2



**Question 12**

Voir DR2  
figure 13

**Calculer** le dépassement maximal admissible (en mm) pour assurer la propulsion du produit. Parmi les courbes théoriques proposées, **identifier** celle qui n'est pas compatible avec le système réel. **Justifier** la réponse.

**Calcul du dépassement maximal admissible :**

L'hélice a un diamètre de 150 mm donc un rayon de 75 mm et doit être maintenue 40 mm sous la surface de l'eau. La distance minimale entre l'axe moteur et la surface de l'eau est donc de 115 mm.

La distance entre l'axe moteur et le dessous de la planche est de 685 mm.

L'altitude maximale de la planche est de  $685 - 115 = 570$  mm.

Avec une consigne de 400 mm, le dépassement ne doit pas excéder  $570 - 400 = 170$  mm.

La valeur du dépassement maximale admissible est de **170 mm**.

**Question 13**

Voir DR2  
figure 13

Parmi les courbes théoriques proposées, **identifier** celle qui n'est pas compatible avec le système réel. **Justifier** la réponse.

**Pour le choix du paramétrage :**

Le réglage (b) conduit à un dépassement maximal théorique de 320 mm > 170 mm.

Ceci n'est pas compatible avec le système réel.

Seuls les réglages (a) et (c) sont possibles.



## Sous-partie 3 – choix 2

### 3. Sécuriser la pratique lors du passage en mode dégradé

**Objectif** : Gérer la commande de la propulsion pour sécuriser la pratique lors du passage en mode dégradé

**Question 14** *Déterminer la condition (notée « Condition ? » sur la figure 15) portant sur la tension  $U_{bat}$  qui permet d'activer le mode dégradé.*

figure 15

La tension seuil aux bornes de la batterie (notée  $U_s$ ) lors du passage en mode dégradé vaut  $U_s = 1,15 \times U_{min}$ . La condition peut être  $U_{bat} > U_s$  ou  $U_{bat} \geq U_s$ .

**Question 15** *Déterminer la valeur de la tension  $U_{can}$  lorsque  $U_{bat} = U_s$ . Vérifier que celle-ci est compatible avec les entrées analogiques de la carte de commande.*

figure 16

D'après la formule du pont diviseur de tension :  $U_{can} = \frac{R_1}{R_1+R_2} U_{bat}$

Pour  $U_{bat} = U_s = 1,15 \cdot 38,4 = 44,16$  V, on obtient  $U_{can} = 4,015$  V

Cette tension est compatible avec les entrées analogiques de la carte de commande puisqu'elle est comprise entre 0 et 5 V.

**Question 16** *Calculer le quantum du convertisseur analogique - numérique puis déterminer la valeur décimale  $N_s$  correspondant à la tension  $U_{can}$  lorsque  $U_{bat} = U_s$ . Traduire la condition de la question 13 avec ce résultat.*

figure 16

Calcul du quantum :  $q = \frac{U_{pe}}{2^n} \approx 19,53$  mV

Il n'est pas précisé si la quantification est centrée ou par défaut.

On pourra arrondir par excès ou par défaut la valeur décimale  $N_s = U_s / q$ .

On jugera la réponse satisfaisante si  $N_s = 204$  ou  $N_s = 205$ .

La « condition ? » se traduit par  $N > N_s$  ou  $N \geq N_s$  avec  $N_s = 204$  ou  $205$ .

**Question 17** *Justifier la valeur de décrémentation située à la ligne 8 du programme, compte tenu de la temporisation de 10 ms et de la décélération angulaire critique.*

figure 17

1 s correspond à 100 périodes de 10 ms donc il suffit de diviser  $2600 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  par le nombre de périodes et on obtient 26. Il faut donc décrémentation de 26 à chaque passage dans la boucle pour limiter la décélération à la valeur désirée.

**Question 18**

figure 17

**Proposer** une alternative en langage python du sous-programme figure 17 en recopiant uniquement la ou les lignes nécessaires aux modifications.

Il faut diminuer la décrémentation et mettre « - 24 » à la place de « - 26 » à la ligne 8 :

```
while NR > 1500:  
    NR = NR - 24  
    Time.sleep(10) #temporisation 10 ms
```

**Question 19**

**Conclure** en expliquant de quelles façons le système de commande gère la sécurité du pratiquant.

Le système de commande est capable de détecter la tension de seuil de la batterie, ce qui permet de basculer en mode dégradé si nécessaire.

Le système de commande gère également la décélération lors du passage en mode dégradé pour ne pas perturber l'équilibre du pratiquant. Il suffit de modifier un paramètre du programme pour adapter la valeur de la décélération.