BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mardi 16 juin 2026

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**
Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h 30**
Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 19 pages numérotées de 1/19 à 19/19.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur	20 points
Partie 2 - Sciences physiques	20 points

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 13 à 15) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Catamaran électrique à foils

Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 3 à 15
- Documents réponses ..... pages 13 à 15

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 13 à 15) sont à rendre avec la copie.

Catamaran électrique à foils

Le catamaran électrique à foils est destiné à la navigation de plaisance sur des plans d'eau (rivière, lac et mer) soumis à des vagues de petites dimensions inférieures à 40 cm.

Ce catamaran étant destiné à la location et devant être pilotable par des personnes ne disposant pas du permis bateau, la puissance du moteur est limité à 6 chevaux-vapeur.

Un foil est une aile fixée sous la coque, qui a pour rôle de soulever le bateau. Quand le bateau accélère, le foil crée une force (la portance) qui soulève progressivement la coque au-dessus de l'eau : ce phénomène est appelé le déjaugeage. Grâce à ce déjaugeage, le bateau vole presque au-dessus de l'eau, ce qui réduit sa traînée et permet donc de diminuer sa consommation.

Les foils, en levant le catamaran au dessus des flots, permettent une vitesse de déplacement jusqu'à 15 nœuds procurant une sensation de vitesse satisfaisante. La propulsion électrique permet une navigation sans bruit.

Le catamaran est entièrement automatisé pour stabiliser la hauteur de vol et l'assiette.

Le catamaran est composé de plusieurs éléments (figure 1) permettant d'assurer notamment la flottaison, le vol, la stabilité et la direction.

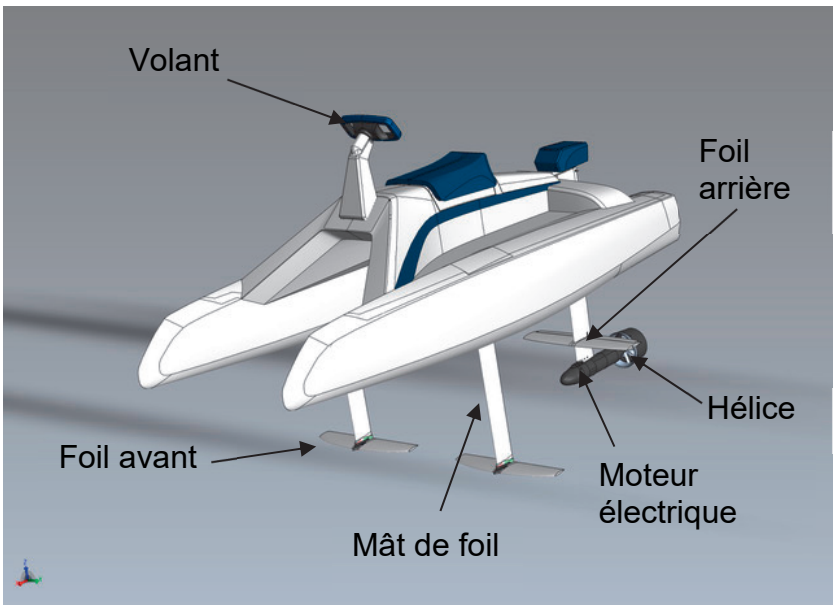


Figure 1 : constitution du catamaran

Le catamaran est propulsé par un moteur électrique couplé à une hélice.
L'alimentation en énergie du bateau est assurée par une batterie située sous le siège. Elle est extractible pour permettre sa recharge sur la terre ferme.

Le vol est assuré par trois foils, deux foils avant et un foil arrière.

Pour pouvoir piloter le bateau, l'utilisateur dispose d'un volant pour la direction et d'une gâchette pour la vitesse. La transmission des données se fait par une liaison sans fil. Seul le mât de foil arrière est orientable pour gérer le cap du bateau.

La stabilité du catamaran, aussi bien dans le maintien de la hauteur de vol que dans l'assiette horizontale, est gérée par la modification de la portance des foils avant et arrière (figure 2).

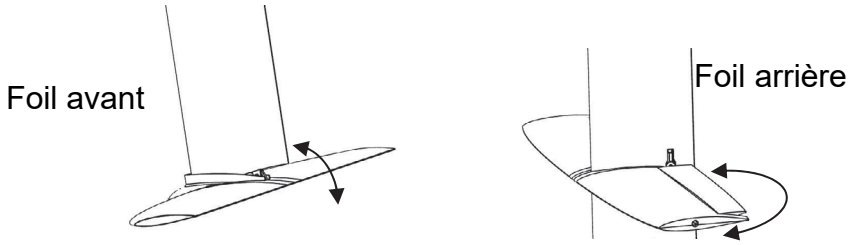


Figure 2 : modification de la portance des foils avant et arrière

Les deux foils avant peuvent basculer individuellement face au courant pour modifier le coefficient de portance. La modification de portance du foil arrière est réalisée par deux volets indépendants et orientables.

Le diagramme partiel des exigences (figure 3) permet de préciser certaines des capacités du catamaran.

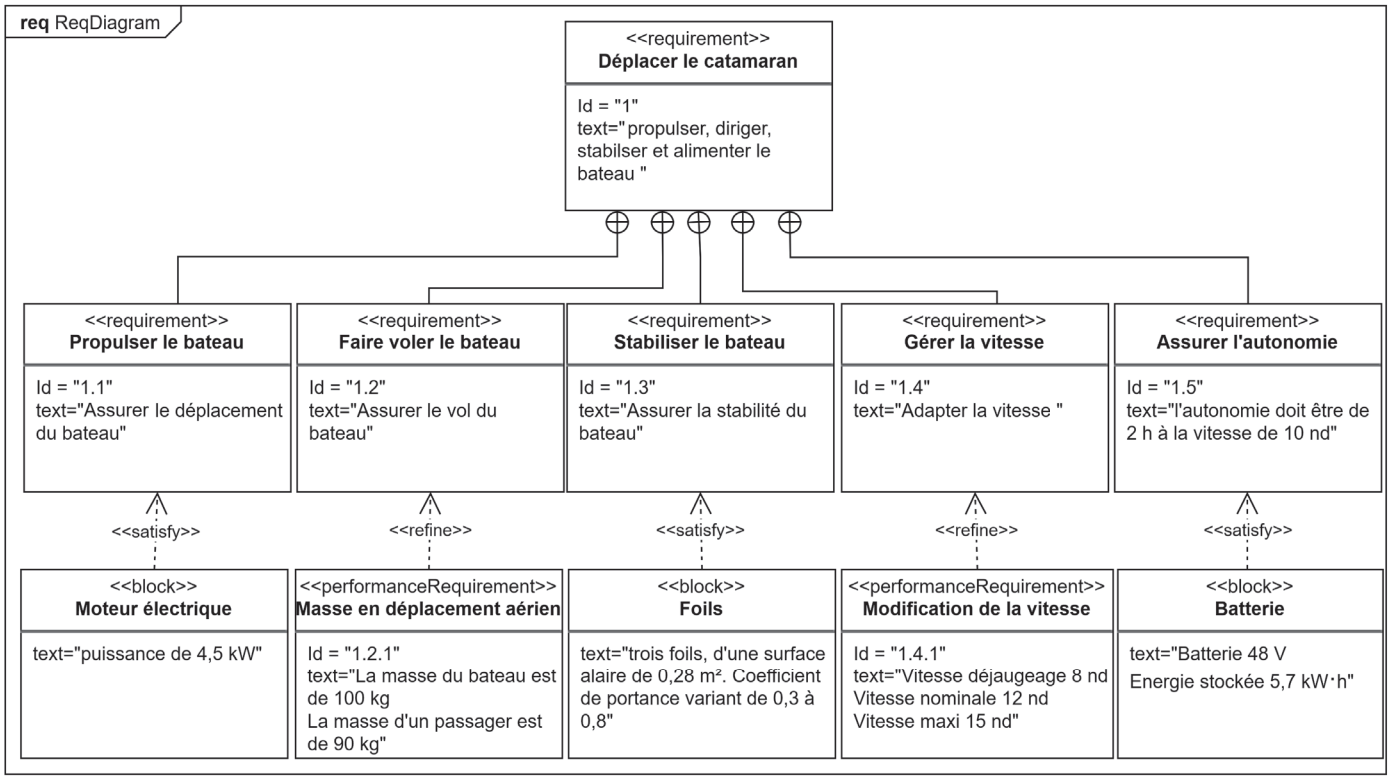


Figure 3 : diagramme partiel des exigences

Sous-partie 1

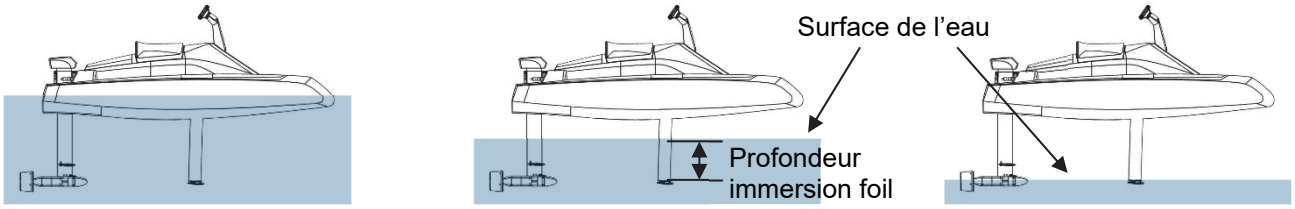
Capacité de vol du catamaran et stabilité

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier les capacités de vol du catamaran et sa stabilité.

Dans cette première partie, l'étude du vol du catamaran est étudiée, que ce soit pour le déjaugeage ou pour la stabilité du vol. Le déjaugeage est un changement de régime de l'avancement d'un objet dans l'eau, d'un régime archimédien (l'objet flotte par poussée d'Archimède) à un régime dynamique où sa vitesse lui permet d'être porté par ses foils.

Question 1.1 À partir de la figure 3, **relever** la vitesse minimale de déjaugeage annoncée par le constructeur en $m \cdot s^{-1}$ et la masse totale en kg de l'embarcation avec son pilote.
Pour rappel, le nœud est une unité de vitesse utilisée pour les bateaux : 1 nd = 1,852 $km \cdot h^{-1}$.

Les phases de navigation (figure 4) sont au nombre de trois. La première phase concerne le catamaran à l'arrêt ou à faible vitesse. La coque est dans l'eau et la flottaison est principalement assurée par la poussée d'Archimède. La deuxième phase est caractérisée par une vitesse du bateau suffisamment grande pour que les foils le soulèvent. C'est la phase normale de navigation : la coque étant hors de l'eau, la force de traînée de celle-ci devient très faible, et permet une navigation avec une consommation d'énergie minimale. La troisième phase correspond à un fonctionnement dégradé. Le foil se situe à la surface de l'eau et fournit une force de portance instable : elle existe quand le foil est dans l'eau, elle s'annule quand le foil est dans l'air.



Phase 1 Phase 2 Phase 3

Figure 4 : phases de navigation

Le profil des foils en déplacement dans un courant d'eau crée deux actions mécaniques (figure 5) : une force de traînée qui freine le déplacement de l'embarcation et une force de portance qui la soulève. Les forces de traînée et de portance sont définies par les relations

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot S \cdot C_x \cdot V^2 \quad \text{et} \quad F_z = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot S \cdot C_z \cdot V^2 \quad \text{avec :}$$

- Fx et Fz, forces de traînée et de portance (N) ;
- γ, masse volumique de l'eau (kg·m-3) ;
- S, surface alaire du foil (m²) ;
- Cx et Cz, coefficients de traînée et de portance ;
- V, vitesse relative du fluide par rapport au catamaran ($m \cdot s^{-1}$).

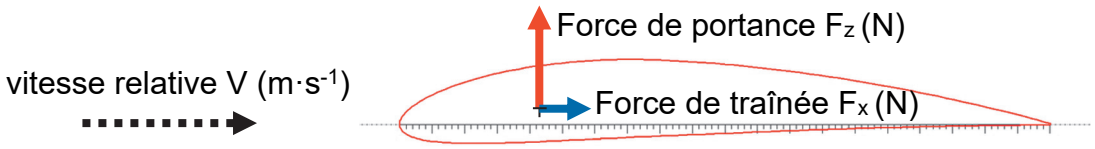


Figure 5 : force de traînée et de portance sur un foil

Une étude est menée pour valider le déjaugeage du catamaran. Le schéma du document réponse DR1 représente le catamaran avec son pilote, dans la phase 2, coque complètement sortie de l'eau.

Hypothèses :

- le repère $(O,\vec{x},\vec{y},\vec{z})$ est considéré galiléen ;
- l'étude est menée dans le cas d'un problème plan $(O,\vec{z},\vec{x})$;
- l'ensemble E = {bateau + pilote} se déplace à vitesse constante de 8 nœuds ;
- l'effet de l'air est considéré négligeable comparé aux autres efforts ;
- le point G est le centre de gravité de l'ensemble E ;
- la masse du bateau est $m_B = 100$ kg, celle du pilote $m_P = 90$ kg, l'accélération de la pesanteur $g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$;
- le point C est le centre de poussée de l'hélice, où s'applique la force $\overrightarrow{F_{eau \rightarrow bateau}} = \left\|\overrightarrow{F_{eau \rightarrow bateau}}\right\| \cdot \vec{x}$ avec $\left\|\overrightarrow{F_{eau \rightarrow bateau}}\right\| = 1\,200$ N ;
- la surface alaire d'un foil avant S_{avant} est de 0,08 m², son coefficient de portance C_Z de 0,8 ;
- la surface alaire du foil arrière $S_{arrière}$ est de 0,12 m², son coefficient de portance C_Z de 0,8.

Question 1.2 DR1	**Tracer** sur le document réponse DR1 les directions et les sens des actions mécaniques s'appliquant sur l'ensemble E, en les nommant. À partir du théorème de la résultante dynamique en projection sur $\vec{z}$, **montrer** que la vitesse de déjaugeage est donnée par la relation $V_{déj} = \sqrt{\frac{(m_B+m_P)\cdot g}{\gamma \cdot C_Z \cdot \left(S_{avant}+\frac{1}{2}\cdot S_{arrière}\right)}}$. **Calculer** $V_{déj}$ et **conclure** sur la vitesse de déjaugeage annoncée.

En réalité, l'étude du déjaugeage du catamaran est plus complexe. Plusieurs étapes se succèdent avant stabilisation du catamaran. Lors de l'accélération de l'embarcation, la portance des foils augmente progressivement sans provoquer la sortie de la coque de l'eau. Lorsque le bateau a acquis une vitesse suffisante, la portance ayant augmenté, le déjaugeage s'opère et la profondeur d'immersion du foil diminue. La dernière étape consiste à stabiliser le vol. En effet, pour un confort optimal de navigation, la profondeur d'immersion du foil (figure 4) doit se situer à 300 mm sous la surface libre de l'eau pour éviter les perturbations liées aux vaguelettes et au clapot. Le foil ne doit pas se situer en surface sous peine d'être soumis à des chocs successifs dans les vagues, rendant le vol inconfortable.

Un modèle multi-physique (figure 6) a été conçu. Il permet de simuler le décollage et le début de stabilisation du vol. Il intègre la vitesse de déplacement, le poids, la poussée d'Archimède et la force résultant de la portance des foils. Pour régler la hauteur de vol, un asservissement

sur l'orientation des foils est mis en place. La variation d'orientation permet d'augmenter ou diminuer le coefficient de portance.

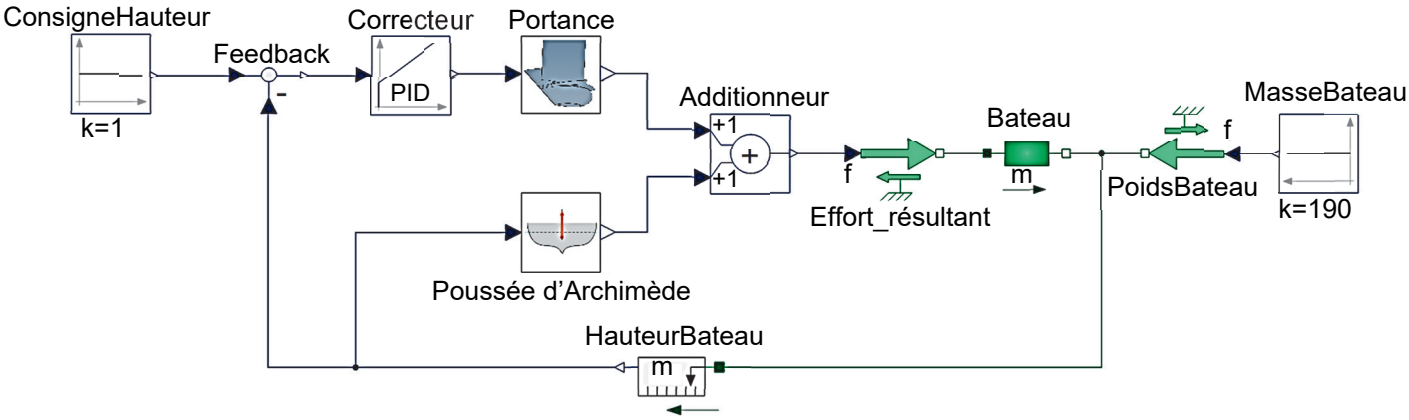


Figure 6 : modèle multi-physique du déjaugeage

La figure 7 fournit la réponse du système pour trois correcteurs différents.

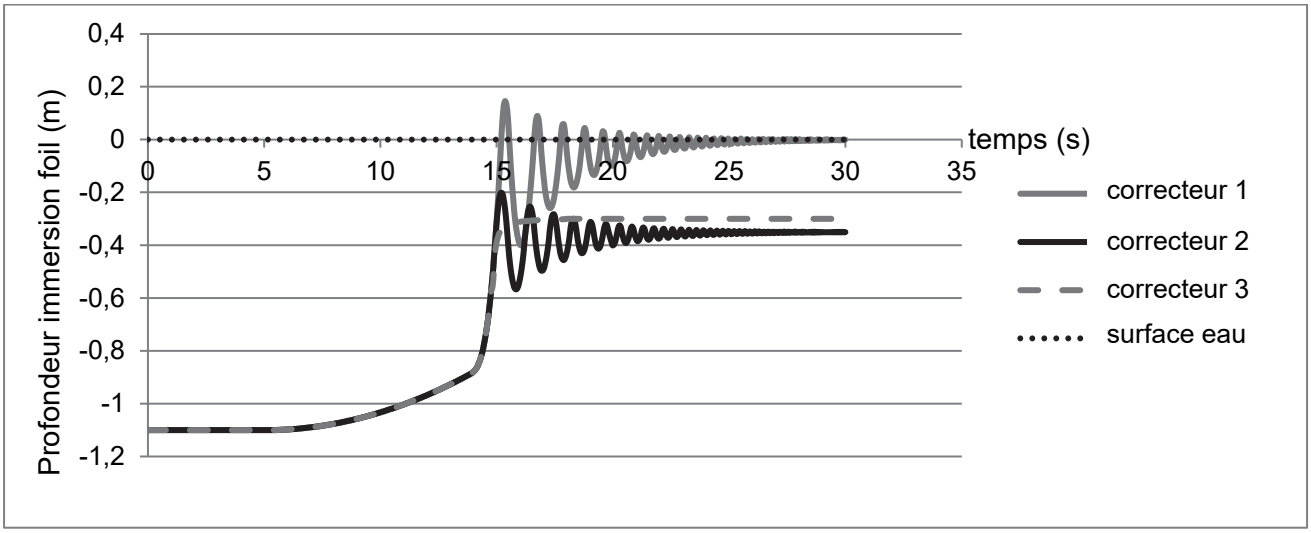


Figure 7 : profondeur d'immersion du foil avant lors d'un déjaugeage

Question 1.3	**Déterminer** le meilleur choix de correcteur pour le déjaugeage et la stabilisation du vol. **Justifier** ce choix.

L'orientation des volets du foil arrière ou l'orientation des foils avant, permettent de stabiliser également l'horizontalité. La variation de portance en « + » correspond à une augmentation de la portance, la variation en « – » à une diminution.

Question 1.4 DR1	**Compléter** sur le DR1, par des signes « + » et « – », le sens de basculement du catamaran et la variation de profondeur d'immersion en fonction de l'orientation des foils.

Question 1.5	**Conclure** sur les capacités de vol et de stabilisation du catamaran.

Sous-partie 2

Autonomie du bateau

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier l'exigence d'autonomie de l'embarcation ainsi que le programme d'alerte du niveau de charge de la batterie.

Question 1.6 **Extraire** du diagramme des exigences (figure 3) l'autonomie attendue à la vitesse de 10 nœuds ainsi que l'énergie stockée dans la batterie.

Un essai en condition réelle a permis de mesurer la consommation du moteur en fonction de la vitesse (figure 8).

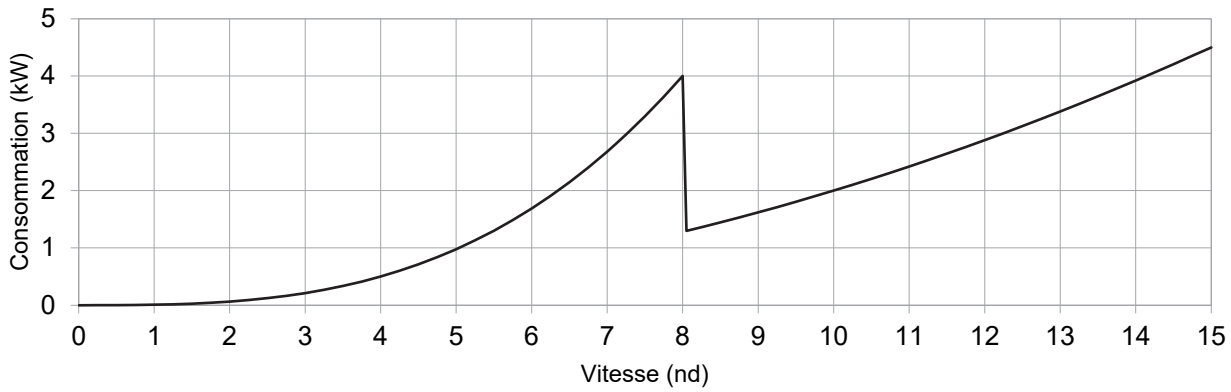


Figure 8 : relevé de la consommation du moteur

Question 1.7 **Expliquer** le décrochage de la consommation sur la courbe de la figure 8 à la vitesse de 8 nœuds. **Relever** sur la courbe la consommation du moteur à la vitesse de 10 nœuds.

Afin d'optimiser la durée de vie de la batterie, il est préconisé de limiter la décharge à 80 % de sa capacité nominale de charge (profondeur de décharge).

Question 1.8 En tenant compte de la profondeur de décharge et en négligeant la consommation pendant la phase de déjaugeage, **calculer** l'autonomie en heures de l'embarcation à la vitesse de 10 nœuds. **Conclure** par rapport à l'exigence du constructeur.

Pour informer l'usager du niveau de charge de la batterie, le système mesure sa tension à l'aide de la chaîne d'acquisition illustrée à la figure 9.

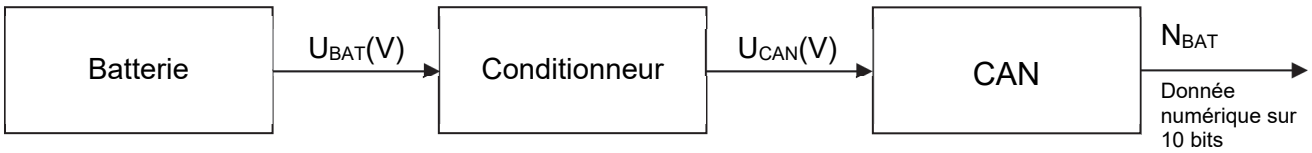


Figure 9 : chaine d'acquisition de la tension batterie

La caractéristique de la tension de sortie de la batterie en fonction de la charge est représentée figure 10. Le conditionneur permet d'adapter la tension batterie à la tension de référence de 5 V du convertisseur analogique numérique (CAN). Il est réalisé à l'aide d'un pont diviseur de tension comme illustré figure 11.

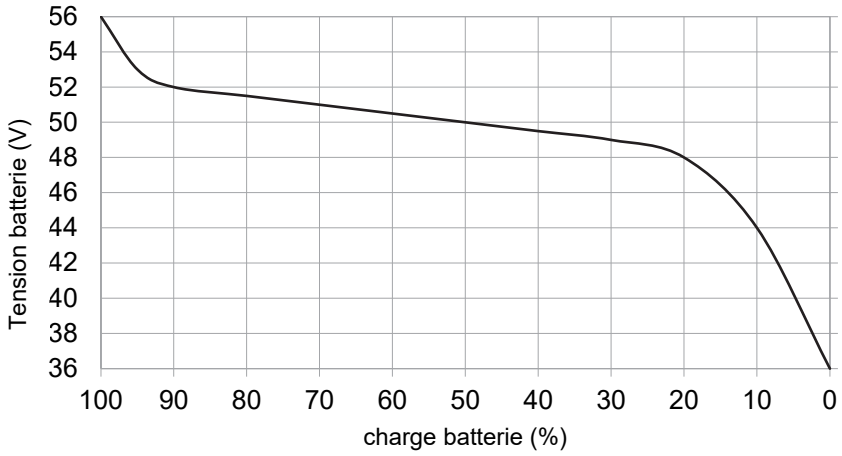


Figure 10 : caractéristique de la batterie

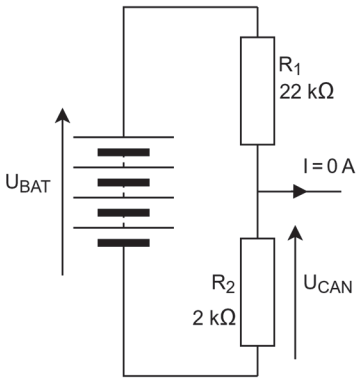


Figure 11 : pont diviseur de tension du conditionneur

Question 1.9	À l'aide du schéma électrique (figure 11), **montrer** que $U_{CAN} = 0{,}083 \cdot U_{BAT}$, puis **justifier** à l'aide de la caractéristique de la batterie (figure 10) que le choix de R_1 et R_2 permet à U_{CAN} de ne pas dépasser la tension d'alimentation du CAN.

Le convertisseur analogique numérique (CAN) convertit la tension U_{CAN} en une valeur numérique N_{BAT}.

Pour éviter un arrêt de l'embarcation en pleine mer, il est nécessaire d'alerter l'utilisateur lorsque la batterie atteint 50 % de charge puis quand elle atteint 30 %.

Question 1.10 DR2	**Déterminer** la valeur du quantum q en Volt (V) du convertisseur analogique numérique (CAN). **Compléter** le tableau du document réponse DR2 à l'aide de la caractéristique de la batterie (figure 10).

Question 1.11 DR2	**Compléter** le programme Python sur le document réponse DR2 permettant d'alerter l'utilisateur pour ces deux seuils. **Conclure** sur la capacité du système à alerter l'utilisateur.

Sous-partie 3

Contrôle de la direction

L'objectif de cette sous-partie est de valider la chaine d'acquisition de l'angle du volant ainsi que la transmission sans fil de cette mesure.

Le poste de pilotage permet à l'utilisateur de choisir sa vitesse, sa direction et de visualiser différentes informations sur un écran, notamment le niveau de batterie et la vitesse. Le diagramme partiel des exigences de la partie pilotage est présenté figure 12.

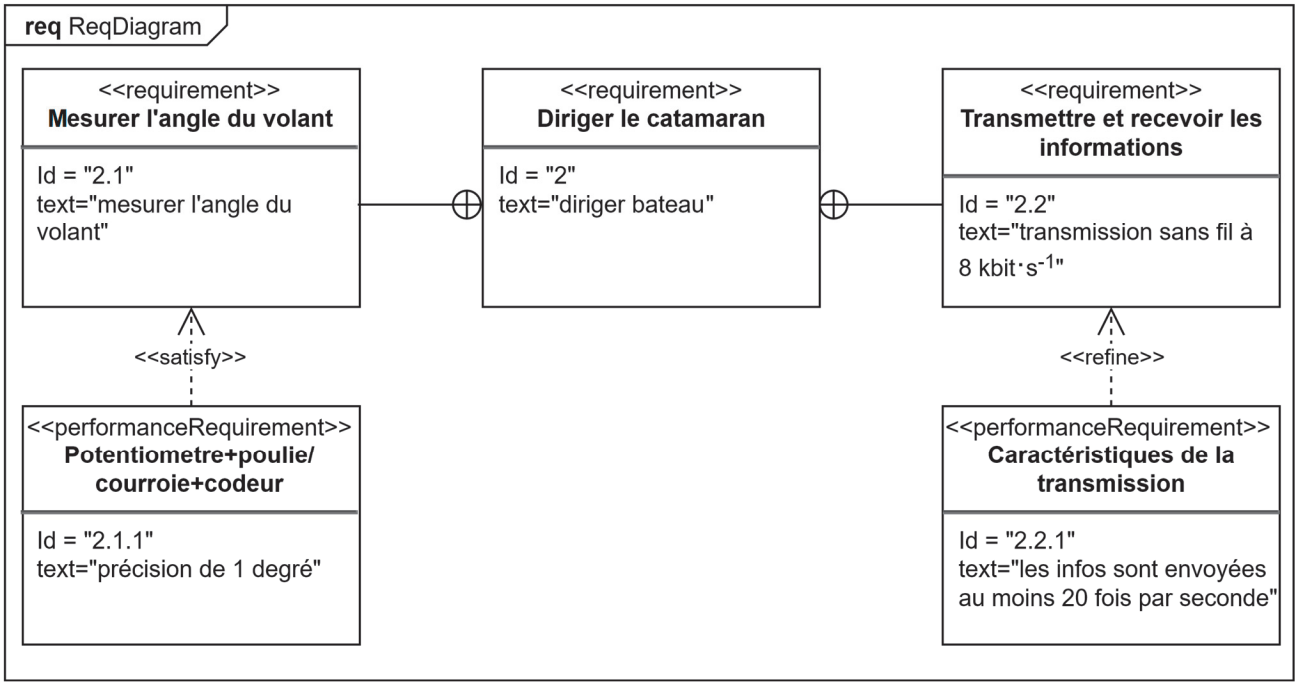


Figure 12 : diagramme partiel des exigences du pilotage

Le volant, manœuvré par le pilote, entraîne un système poulies-courroie. La poulie réceptrice est reliée à un codeur incrémental qui génère 100 impulsions par tour. Ces impulsions sont comptées par un microcontrôleur, qui fournit une information de direction sous la forme d'un entier codé sur 8 bits, image de la position du volant. Cette information est ensuite transmise via une liaison sans fil à l'unité arrière. Celle-ci contrôle un vérin qui oriente le moteur électrique, permettant ainsi de diriger le bateau. La figure 13 illustre cette chaine d'acquisition de l'angle volant.

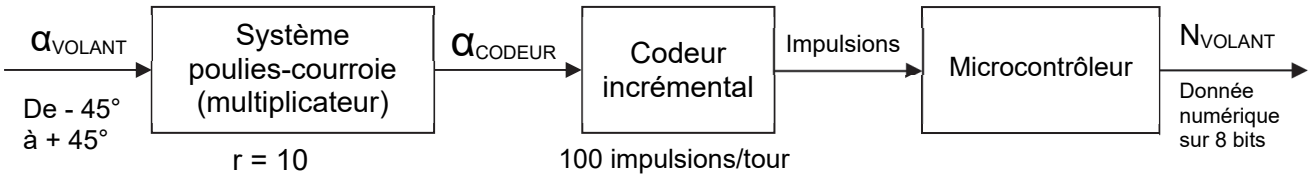


Figure 13 : chaine d'acquisition de l'angle volant

Question 1.12	À l'aide de la figure 13, **montrer** que le nombre d'impulsions retourné par le codeur incrémental est de 250 lorsque le volant tourne de - 45° à + 45°. **Justifier** alors le choix d'un compteur 8 bits.

Question 1.13	**Extraire** du diagramme des exigences (figure 12) la précision souhaitée de la mesure de l'angle du volant puis **vérifier** l'aptitude du système à atteindre cette précision.

Pour compter les impulsions, il est nécessaire de connaître le sens de rotation du volant. Ce sens permet de déterminer s'il faut incrémenter ou décrémenter le compteur d'impulsions N_{VOLANT}. Pour cela, le codeur incrémental fournit deux trains d'impulsions décalées d'un quart de période (figures 14 et 15).

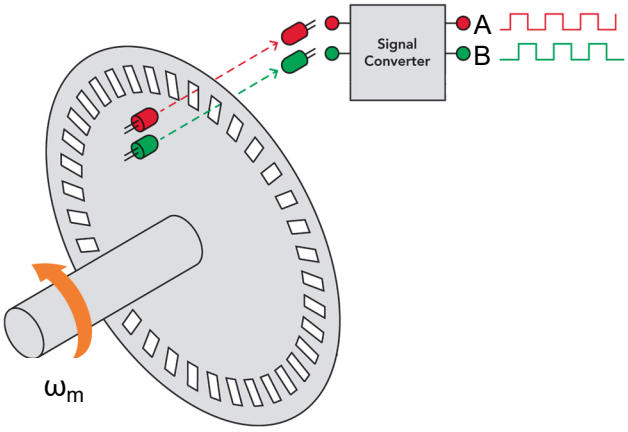


Figure 14 : codeur incrémental

Le codeur incrémental est composé d'un disque et de deux capteurs optiques A et B. Le disque dispose de parties pleines et de parties ajourées.

Lorsque le disque tourne les capteurs A et B fournissent des signaux carrés décalés d'un quart de période qui permettent de connaitre précisément la position du disque et donc du volant.

Le comptage ou décomptage se fait sur le front montant de A.

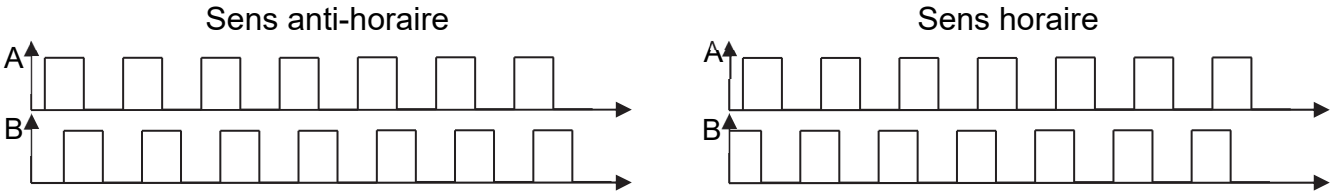


Figure 15 : signaux issus des capteurs A et B pour les deux sens de rotation

Le comptage se fait lorsque le volant tourne dans le sens anti-horaire et le décomptage dans le sens horaire.

Question 1.14 DR3	Sachant que le comptage/décomptage se fait sur le front montant de A, **indiquer** sur la copie à l'aide des chronogrammes figure 15, la valeur de B lors d'un comptage (sens anti-horaire) et lors d'un décomptage (sens horaire). **Compléter** alors le programme Python sur le DR3.

Le chronogramme du DR3 représente une capture partielle faite à l'oscilloscope de la transmission de l'angle du volant entre le poste de pilotage et la propulsion (située à l'arrière du bateau).

Cette transmission sans fil utilise la modulation FSK. Dans cette modulation, une fréquence élevée correspond à un niveau logique haut (1) et une fréquence plus faible correspond à un niveau logique bas (0). Le bit de poids faible est transmis en premier.

De plus, afin de vérifier que la transmission s'est effectuée correctement, l'émetteur ajoute à la suite de la donnée un bit de parité de manière à ce que le nombre de bits à 1 transmis soit toujours pair.

Question 1.15 DR3	**Compléter** le tableau du DR3 en indiquant les niveaux logiques de la donnée lors de la transmission. En **déduire** la valeur transmise en binaire puis en hexadécimal ainsi que la valeur du bit de parité.

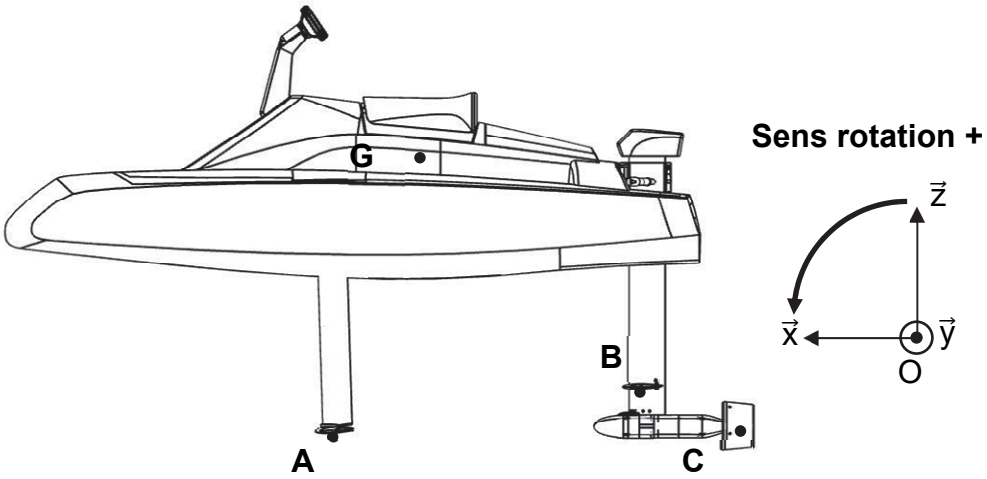
En plus de la direction, le poste de pilotage transmet la vitesse souhaitée à la chaine de propulsion. En retour, les informations de vitesse du moteur et du niveau de charge de la batterie sont transmises. Chacune de ces informations est codée sur 9 bits (8 bits de données + 1 bit de parité), à une vitesse de transmission de 8 $kbit \cdot s^{-1}$. Lors de l'envoi, une pause de 10 ms est effectuée entre deux informations successives. La transmission des informations se fait en continu.

Question 1.16	**Calculer** la durée totale de transmission d'une salve de ces quatre informations, et **montrer** que la fréquence est de 22,5 transmissions par seconde.

Question 1.17	**Extraire** du diagramme des exigences (figure 12) la fréquence de transmission désirée puis **conclure** sur la capacité du système à transmettre les informations à la partie propulsion du bateau.

Document réponse DR1

Question 1.2



Question 1.4

Variation de portance foil arrière	Variation de portance foils avant	Variation de profondeur d'immersion	Sens de basculement
-	-	-	
-	+		
+	-		
+	+		

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Document réponse DR2

Question 1.10

Charge de la batterie	Tension batterie U_{BAT}	Tension entrée CAN U_{CAN}	Valeur sortie du CAN N_{CAN}
100 %	**56 V**	**4,66 V**	**953**
50 %			
30 %			

Question 1.11

```
def testBatterie :
    """
    Informe l'utilisateur que la charge batterie passe
    sous les seuils de 50 % puis 30 %
    Valeurs globales :
       N30: valeur en sortie du CAN pour 30 % de charge
       N50: valeur en sortie du CAN pour 50 % de charge
    """
    Ncan=can.read() #acquisition de tension batterie
    if Ncan <= ...... :
        afficherMessage("Charge inférieure à 30 %")
    elif ............. :
        afficherMessage(".......................")
    else:
        afficherMessage("Batterie suffisamment chargée")
```

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

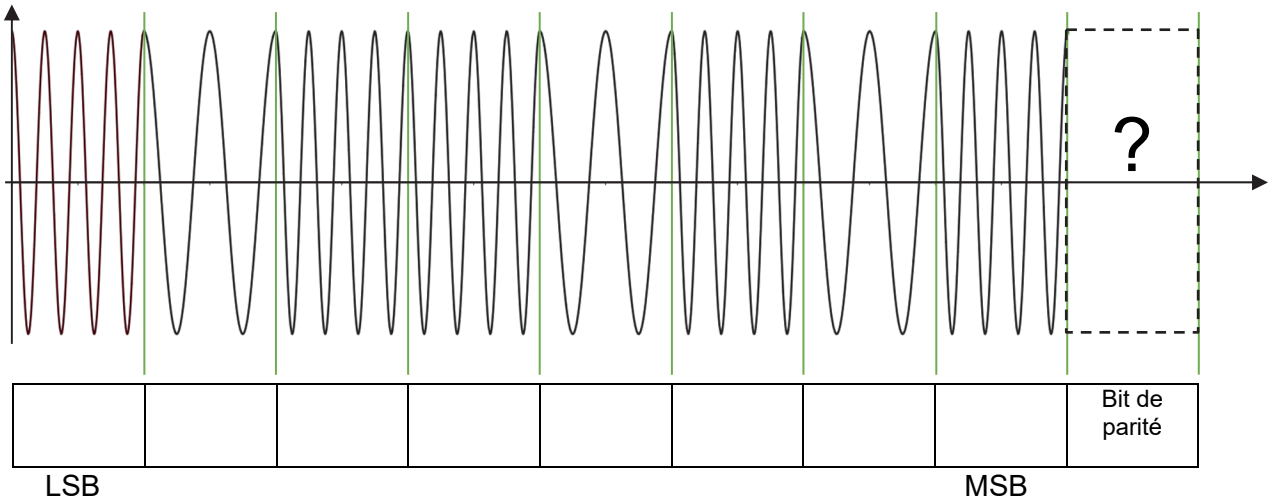
1.2

Document réponse DR3

Question 1.14

```
def comptage_decomptage(int N):
     #fonction qui renvoie N après comptage ou décomptage
    B=pinB.value() #lecture de la valeur du capteur B
    if B==0:
        N=.........
    else:
        N=.........
    return .........
```

Question 1.15



Valeur de la donnée en binaire :

Valeur en hexadécimal :

Valeur du bit de parité :

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Mouvement sur un plan incliné

Des records de vitesse (figure 1) sont établis avec des engins non motorisés (luge, vélo, skis) dévalant un plan incliné.

Figure 1. Ski de vitesse

Pour les modéliser, on étudie le mouvement d'un mobile sur un plan incliné formant un angle $\theta = 30°$ avec l'horizontale. On s'intéresse au mouvement du centre de masse M du mobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen, au regard des durées mises en jeu. Le mouvement est rectiligne selon l'axe (Ox) du repère (O, $\vec{i}, \vec{j}$). À l'instant $t = 0$, le mobile part du point O avec une vitesse nulle. On choisit de ne pas prendre en compte les éventuels frottements et on néglige l'épaisseur du mobile.

Données :

- masse du mobile : $m = 0{,}275$ kg ;
- norme de l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre : $g = 9{,}80$ m·s^{-2} ;

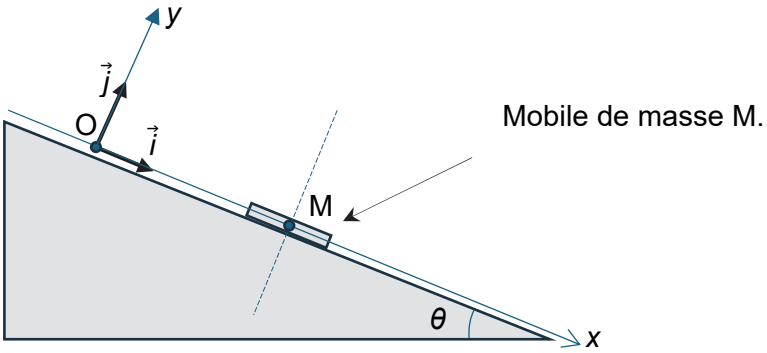


Figure 2. Schéma de l'expérience

Q1. Reproduire le schéma sur la copie et y représenter, sans souci d'échelle et des proportions, le poids $\vec{P}$ et la réaction normale $\vec{R}$ du plan incliné (soigner néanmoins la direction et l'orientation des deux vecteurs).

Q2. Écrire la deuxième loi de Newton.

Une modélisation permet d'obtenir les lois horaires de l'accélération, de la vitesse et de la position de M dans le repère Oxy, qui s'écrivent :

$$a_x = 4{,}92 \text{ m·s}^{-2} \qquad a_y = 0 \text{ m·s}^{-2}$$

$$v_x(t) = a_x\, t \qquad v_y(t) = 0$$

$$x(t) = \frac{1}{2} a_x\, t^2 \qquad y(t) = 0$$

Q3. En exploitant cette modélisation, justifier que la résultante des forces est dirigée selon Ox.

Q4. Calculer la valeur de la position x à l'instant t = 0,3 s à l'aide de la modélisation.

Ci-dessous figurent les enregistrements expérimentaux des mesures de la position et de la vitesse de M en fonction du temps.

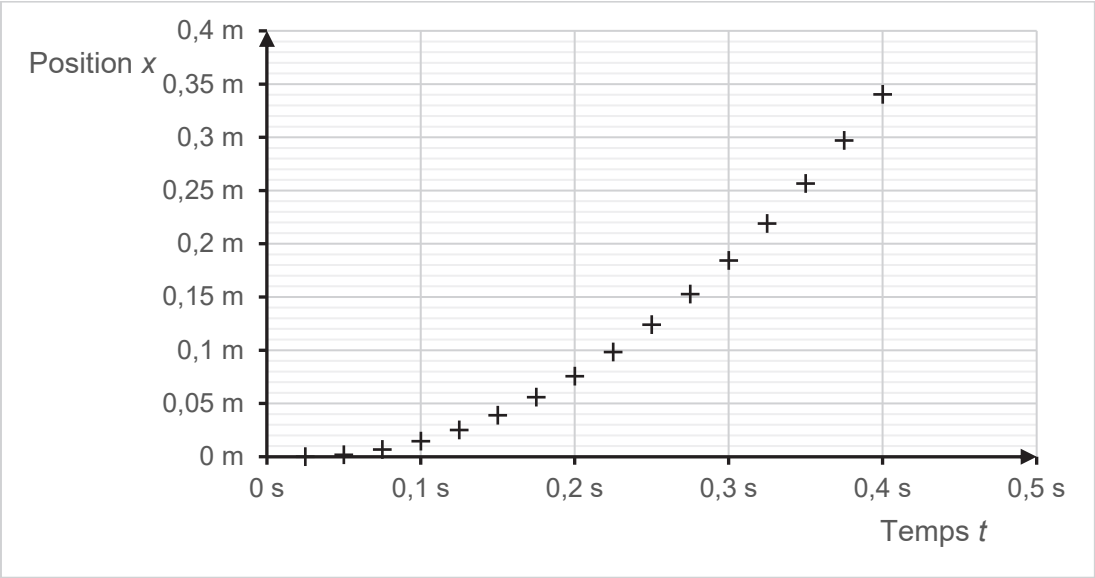


Figure 3a. Représentation graphique de la position mesurée de M en fonction du temps.

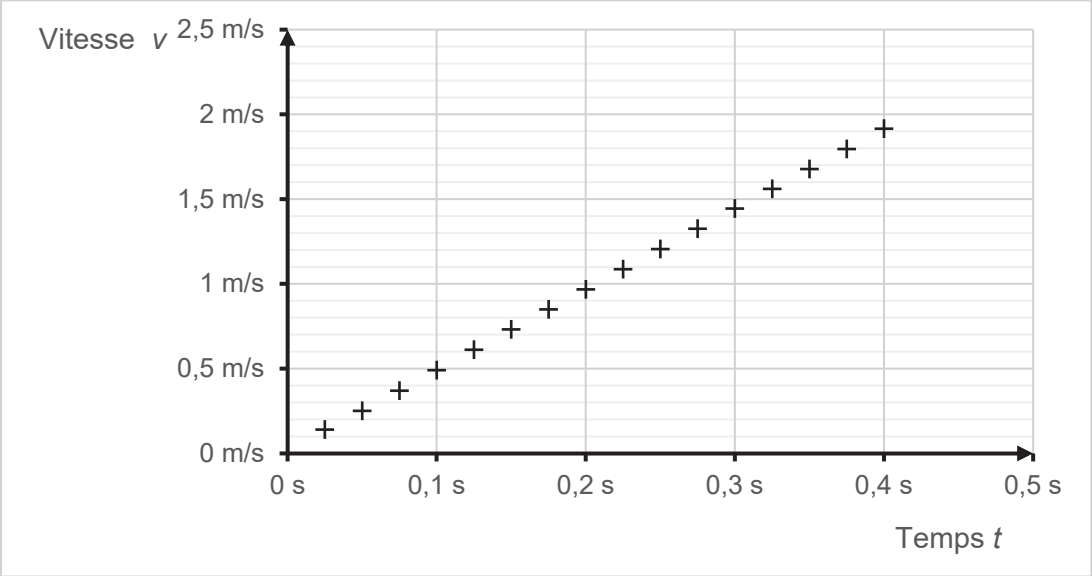


Figure 3b. Représentation graphique de la vitesse mesurée de M en fonction du temps.

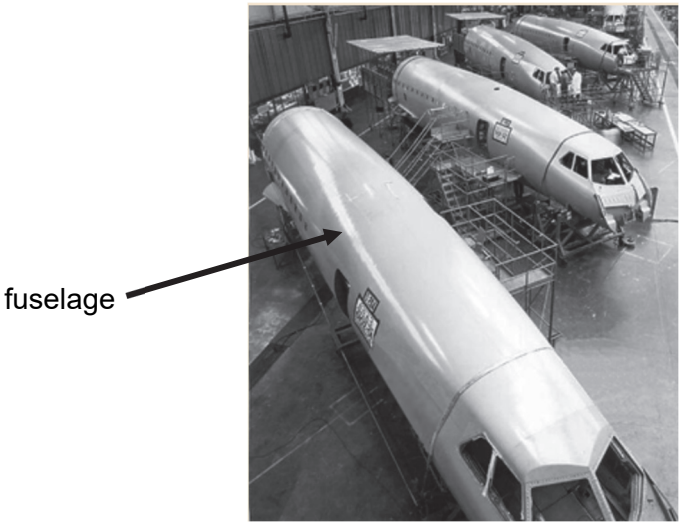
Q5. Déterminer graphiquement la position du mobile à l'instant t = 0,3 s. Commenter l'écart obtenu avec le résultat de la question Q4.

Q6. À l'aide de la figure 3b, déterminer graphiquement la valeur de l'accélération.

Q7. Indiquer si la valeur obtenue est exactement la même que celle prédite par la modélisation. Si non, proposer une explication.

EXERCICE B – Bilan thermique d'un avion en altitude de croisière

Le fuselage est la carcasse qui constitue le corps d'un avion. Il est constitué d'un assemblage de divers matériaux (aluminium, titane, composites, isolants thermiques).



On choisit de modéliser ce fuselage par un cylindre creux de rayon intérieur *r*, d'épaisseur *e* petite devant *r*, et de longueur *L,* constitué d'un unique matériau homogène de conductivité thermique λ.

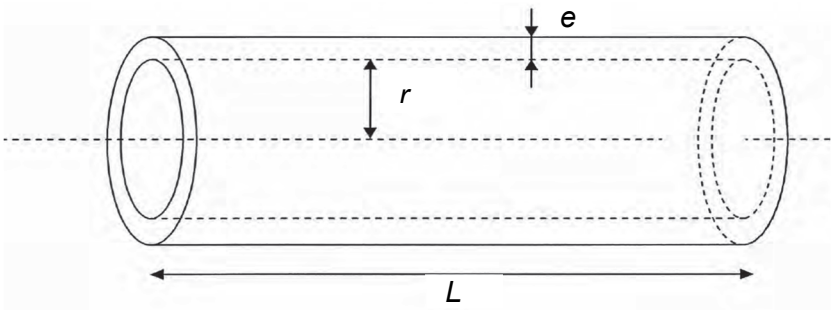


Figure 1. Modélisation du fuselage d'un avion sans souci des proportions

Dans l'avion, on suppose que l'habitacle situé à l'intérieur du fuselage (air, passagers, sièges, etc.), de capacité thermique globale *C*, est à la température T_{int} et que la température de la paroi interne du fuselage est aussi égale à T_{int}.

L'objectif de l'étude est de déterminer, en régime permanent, le flux thermique traversant le fuselage entre l'intérieur et l'extérieur, pour un avion volant à l'altitude de croisière de dix kilomètres, puis d'explorer certaines implications sur le dispositif de CVC (chauffage, ventilation et climatisation). On néglige les transferts thermiques aux deux extrémités du fuselage.

Données pour un Airbus A340 :

- longueur du fuselage : L = 60 m ;
- rayon intérieur du fuselage : r = 2,8 m ;
- volume d'air contenu dans le fuselage : $V = 1{,}4 \times 10^3$ m^3;
- épaisseur du fuselage : e = 0,30 m ;
- conductivité thermique du fuselage : $\lambda = 0{,}030$ W·m^{-1}·K^{-1} ;
- température de la surface interne du fuselage : T_{int} = 20 °C ;
- température de la surface externe du fuselage : T_{ext} = − 53 °C ;
- capacité thermique de l'habitacle : $C = 1{,}9 \times 10^6$ J·K^{-1} ;
- capacité thermique massique de l'air : $c_{air} = 1{,}0 \times 10^3$ J·kg^{-1}·K^{-1} ;
- masse volumique de l'air : ρ_{air} = 1,3 kg·m^{-3} dans la gamme de températures envisagées ;
- résistance thermique R_{th} d'une paroi cylindrique de rayon intérieur r, d'épaisseur e faible devant r, de longueur L et de conductivité thermique λ :

$$R_{th} = \frac{e}{2\pi \lambda r L} .$$

On s'intéresse dans un premier temps à la conduction thermique au sein de l'épaisseur du fuselage.

Q1. Indiquer dans quel sens s'effectue le transfert thermique par conduction entre l'intérieur et l'extérieur du fuselage. Justifier.

Q2. Montrer que l'expression du flux thermique de conduction Φ_{cond} est :

$$\Phi_{cond} = (T_{int} - T_{ext}) \frac{2\pi \lambda r L}{e}$$

Q3. Vérifier que la valeur de Φ_{cond} est d'environ 7,7 kW.

Q4. Déterminer l'expression de la capacité thermique C_{air} de l'air de l'habitacle en fonction de c_{air}, ρ_{air} et V. Calculer sa valeur et la comparer avec la donnée C.

De plus, on suppose que tous les passagers, assis et calmes, fournissent ensemble à l'air de l'habitacle une puissance thermique P_{pass} = 14 kW.

Q5. En régime permanent et donc à température constante, montrer que le premier principe de la thermodynamique appliqué au système {air de l'habitacle} conduit à la relation $P_{CVC} = \Phi_{cond} - P_{pass}$, avec P_{CVC} la puissance apportée à l'air de l'habitacle par le dispositif de CVC.

Q6. Calculer la valeur de P_{CVC}. En déduire si le dispositif de CVC permettant de maintenir constante la température intérieure doit fournir une puissance thermique à l'air situé dans l'habitacle (chauffage) ou en recevoir (climatisation).

Q7. Le dispositif de CVC tombe en panne. En supposant que le flux thermique de conduction reste à peu près constant, calculer la température $T_{déf}$ qu'atteindrait l'air situé à l'intérieur de l'habitacle, une heure après la défaillance du dispositif de CVC. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.