

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

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 collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 22 pages numérotées de 1/22 à 22/22.

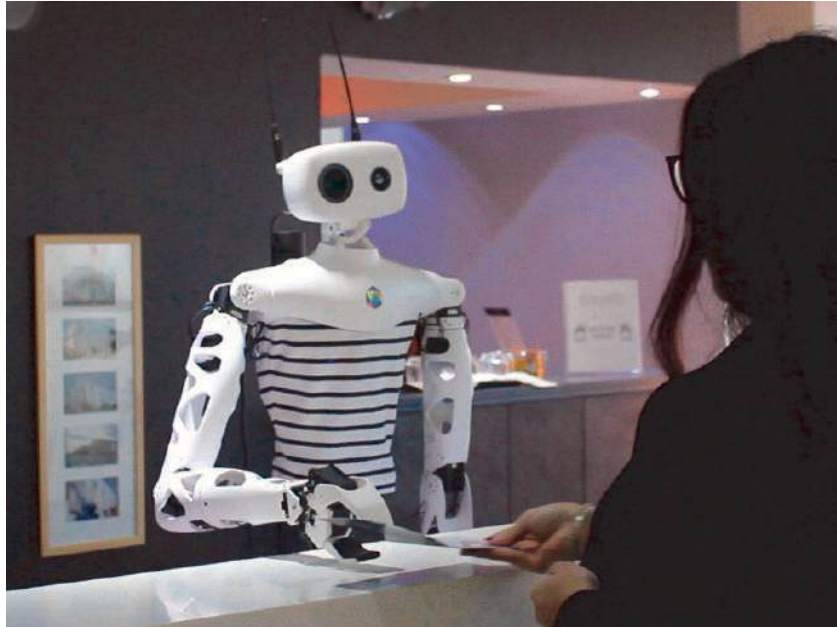
**Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.**

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 16 à 18) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Robot humanoïde



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 15
- Documents réponses pages 16 à 18

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 16 à 18) sont à rendre avec la copie.

Robot humanoïde

Les progrès scientifiques et techniques, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) permettent aux robots d'accomplir des tâches toujours plus complexes et variées. Leur utilisation se démocratise dans de nombreux secteurs : industrie, logistique et transport, agriculture, soin et santé, etc.

Le robot humanoïde Reachy développé par la société Pollen Robotics vise à faciliter la recherche et le développement autour de ce type de robots. Il s'agit d'une plateforme robotique humanoïde en sources ouvertes (logicielles et matérielles) qui permet la conception d'applications en rapport avec l'interaction humain / robot, la manipulation d'objets, l'IA, etc.

La figure 1 montre un cas d'utilisation type du robot humanoïde Reachy.

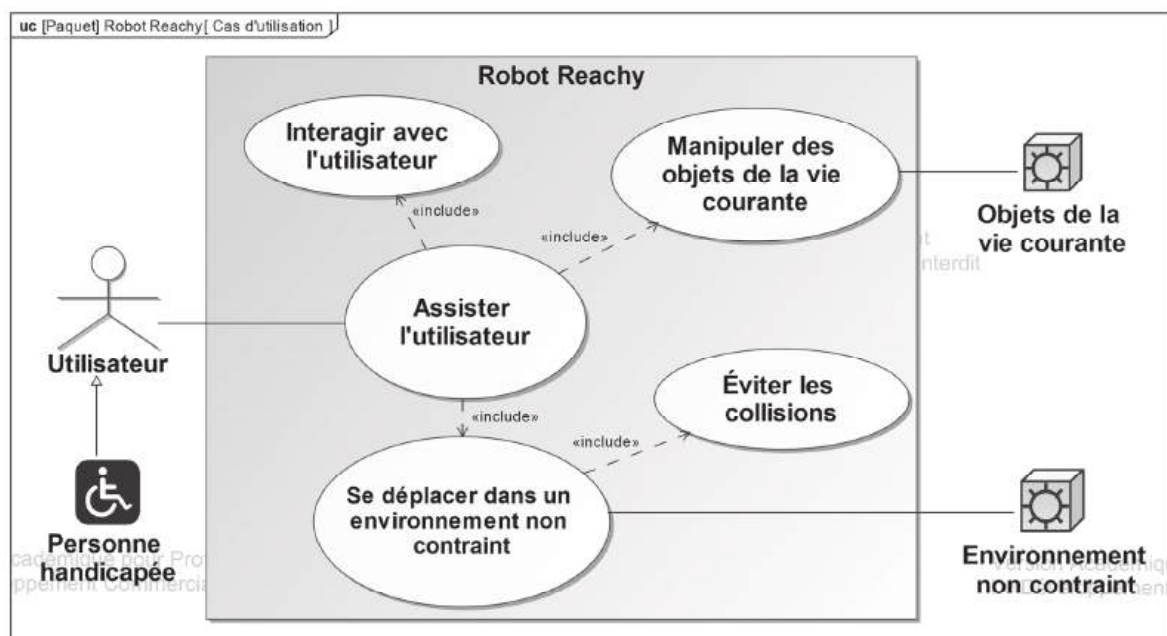


Figure 1 : cas d'utilisation « assister une personne handicapée »

Les concepteurs du robot humanoïde ont porté une attention particulière à son design pour le rendre expressif. Il est constitué d'un torse avec cou, d'une tête et de deux bras équipés de pinces (d'autres systèmes de préhensions sont possibles) comme l'illustre la figure 2.

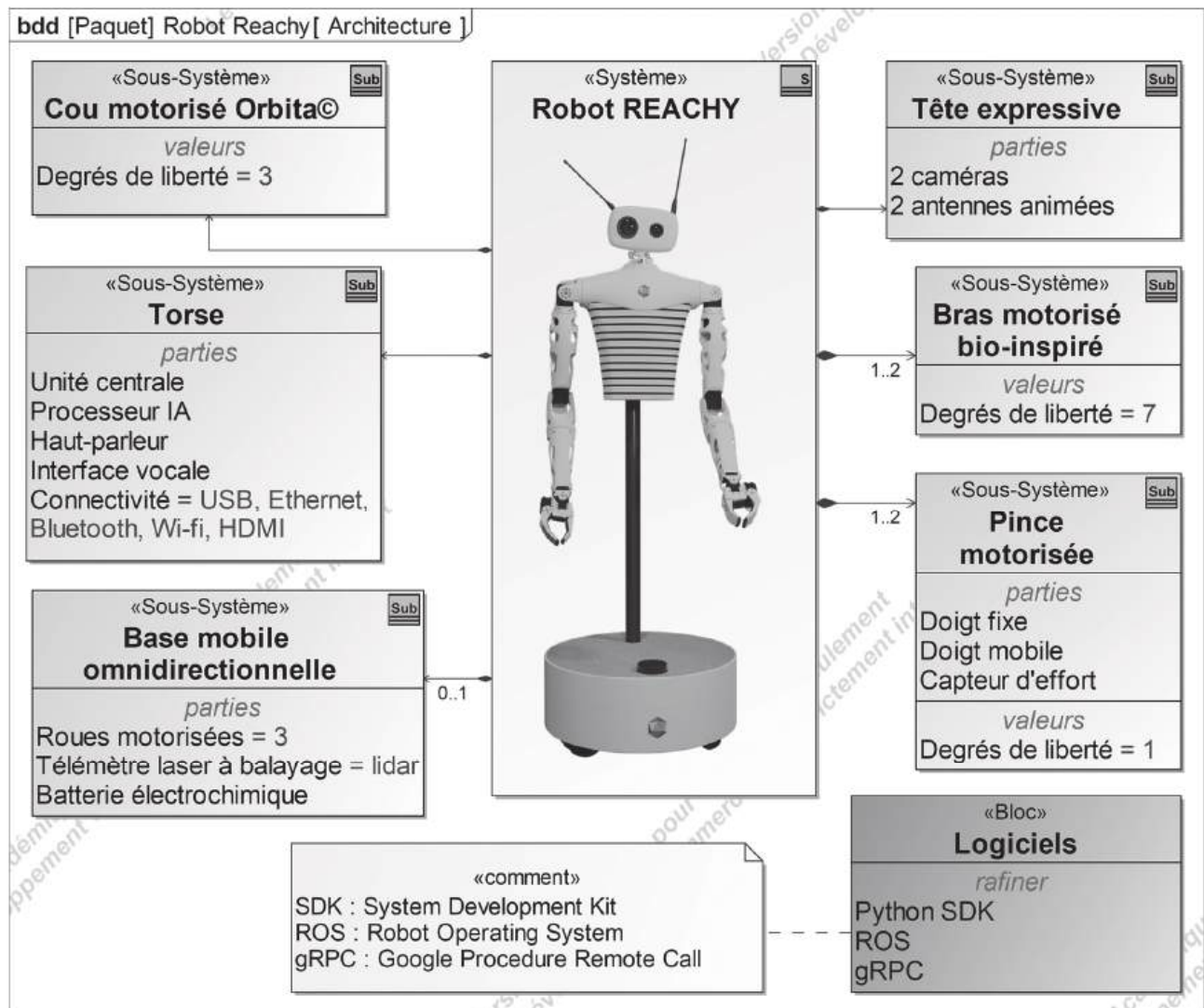


Figure 2 : diagramme de définition de blocs du robot humanoïde

La tête est orientable par le cou motorisé Orbita©. Ses mouvements évoquent ceux d'un humain. Les caméras peuvent par exemple servir à de la reconnaissance d'objet ou faciale, à du guidage, ou pour téléopérer le robot humanoïde en réalité virtuelle. Les antennes mobiles peuvent s'élever, s'abaisser ou s'agiter pour traduire un état émotionnel (joie, tristesse, excitation...).

Les bras et les pinces sont animés par des servomoteurs. Les mouvements réalisables et l'espace de travail couvert sont similaires à ceux d'un humain.

La base mobile omnidirectionnelle permet au robot humanoïde de se déplacer et de pivoter sur lui-même. Le télémètre laser à balayage (lidar) est exploitable pour de la localisation en temps réel.

Sous-partie 1

Valider la capacité à mouvoir la tête avec naturel

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que la solution technique utilisée pour mouvoir la tête du robot permet de réaliser des mouvements fluides, précis et sans oscillation.

Question 1.1 Après lecture des pages de présentation, **citer** trois fonctionnalités ou caractéristiques de la tête qui contribuent à l'interactivité du robot.

L'étude qui suit porte sur les exigences 1.1.2, 1.1.3 et 1.1.4 du diagramme de la figure 3. Elle s'appuie sur un mouvement de rotation de la tête autour de la verticale comme l'illustre la figure 4. Cette rotation est choisie ample et rapide en regard des capacités humaines afin de se placer dans des conditions défavorables.

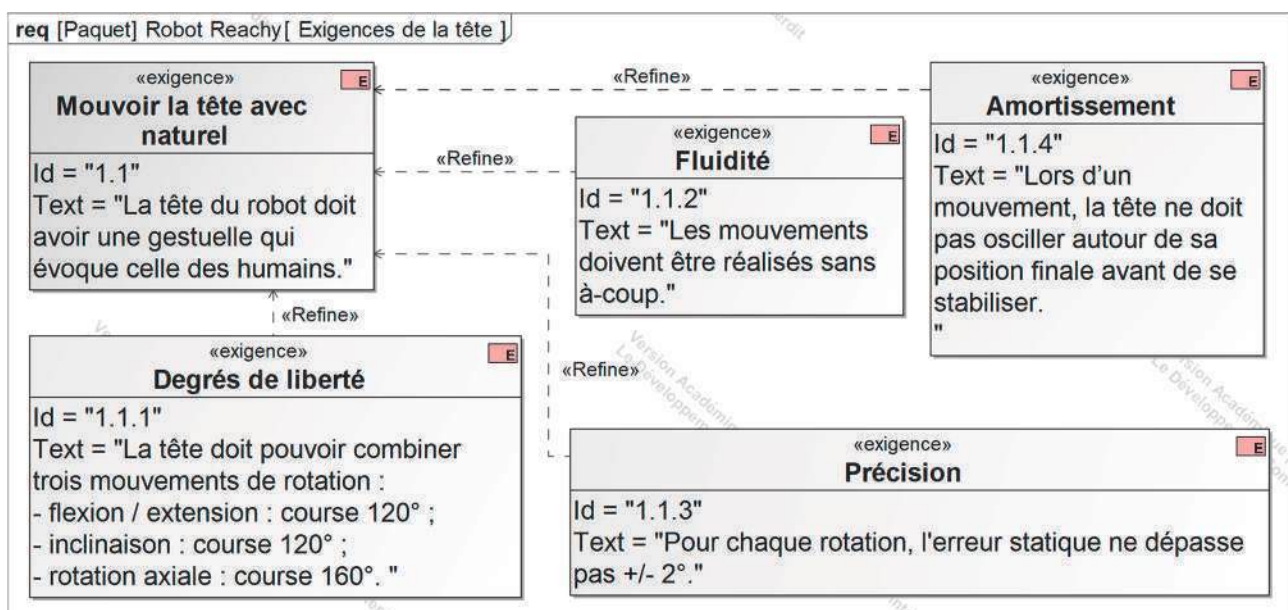


Figure 3 : diagramme partiel des exigences relatives aux mouvements de la tête

Hypothèses et données :

- le repère $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ est lié à la tête ;
- l'axe $(O, \vec{z})$ est vertical ;
- $\Delta t = 0,9$ s est la durée de la rotation ;
- $\Delta \varphi_{\text{tête}} = 160^\circ$ est la variation de la position angulaire de la tête $\varphi_{\text{tête}}$ autour de $(O, \vec{z})$ durant Δt ;
- $\omega_{\text{tête}} = \frac{d\varphi_{\text{tête}}}{dt}$ est la vitesse de rotation autour de $(O, \vec{z})$;
- $\ddot{\varphi}_{\text{tête}} = \dot{\omega}_{\text{tête}} = \frac{d\omega_{\text{tête}}}{dt}$ est l'accélération angulaire autour de $(O, \vec{z})$.

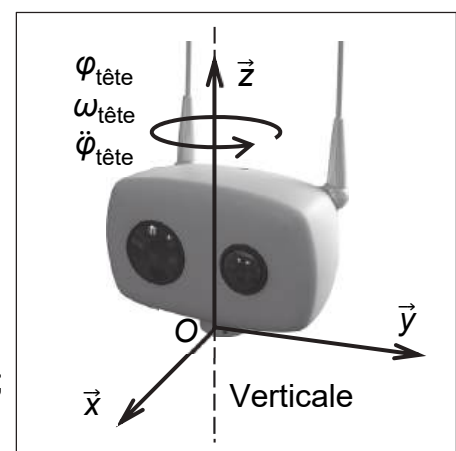


Figure 4 : rotation de la tête

Le document réponse DR1 propose deux lois de mouvements pour réaliser la rotation. L'accélération angulaire instantanée $\ddot{\varphi}_{\text{tête}}(t)$ doit évoluer sans discontinuité pour obtenir un mouvement fluide.

Question 1.2 Représenter l'évolution temporelle de $\ddot{\varphi}_{\text{tête}}(t)$ sur le document réponse DR1 pour la loi de mouvement ❶ en précisant les éléments de calculs sur la copie. Indiquer en le justifiant, pour chacune des lois de mouvements ❶ et ❷, si elle correspond à un mouvement fluide.

Le contrôle précis de l'orientation de la tête nécessite d'utiliser un asservissement de position dont le modèle multiphysique est détaillé sur la figure 5.

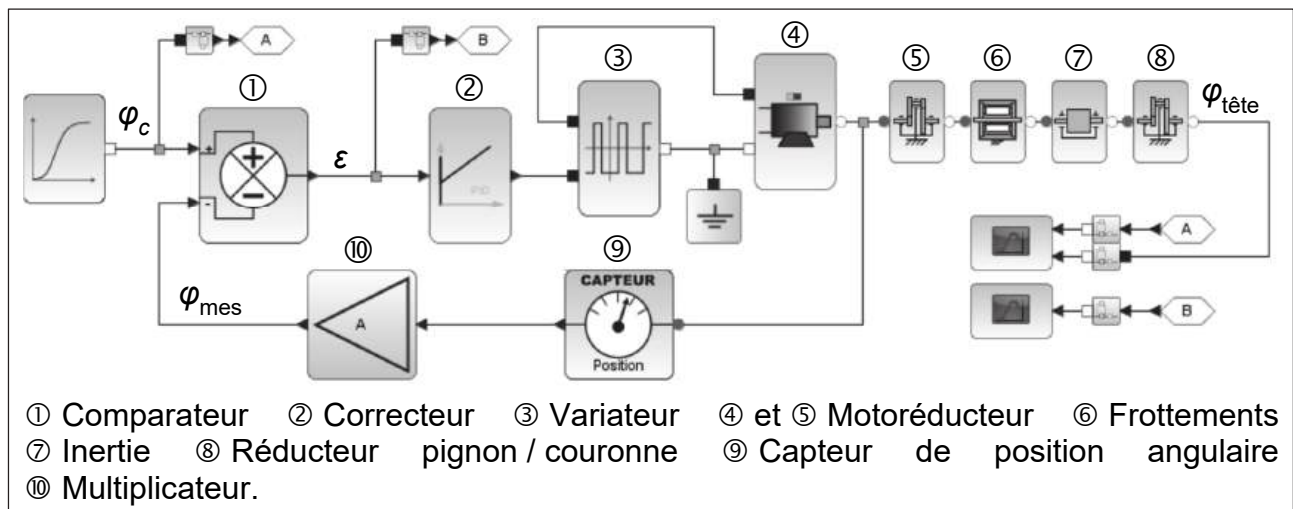


Figure 5 : modèle multiphysique de l'asservissement de position de la tête

Le modèle multiphysique a pu être paramétré à partir des spécifications techniques des constituants, sauf pour les paramètres représentatifs des frottements nommés k_f et C_{sec} .

Des relevés expérimentaux destinés à déterminer les valeurs de k_f et de C_{sec} ont permis de tracer la caractéristique de la figure 6.

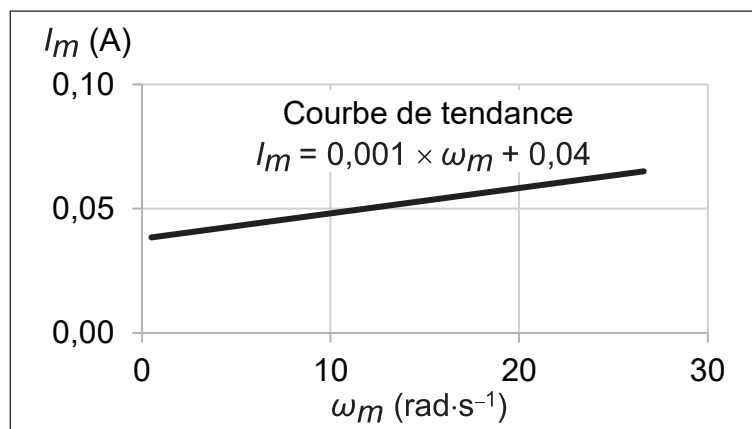


Figure 6 : courant I_m absorbé par le motoréducteur en fonction la vitesse de rotation de son arbre ω_m

Les mesures ont été effectuées en régime permanent et en l'absence de couple extérieur exercé sur la tête. Dans ces conditions, le théorème du moment dynamique appliqué à l'arbre du motoréducteur permet d'écrire $k \times I_m - k_f \times \omega_m - C_{\text{sec}} = 0$ avec :

- k constante de couple du motoréducteur ($k = 0,4 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$) ;
- k_f coefficient de frottements visqueux ramenés sur l'arbre du motoréducteur (en $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$) ;
- C_{sec} couple de frottements secs ramenés sur l'arbre du motoréducteur (en $\text{N}\cdot\text{m}$).

Question 1.3 Montrer que $k_f/k = 0,001 \text{ A}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$ et que $C_{\text{sec}}/k = 0,04 \text{ A}$ à partir de l'équation de la courbe de tendance de la figure 6. En déduire la valeur de k_f et la valeur de C_{sec} .

La consigne d'entrée de l'asservissement est l'angle φ_c et sa grandeur de sortie est la position angulaire de la tête $\varphi_{\text{tête}}$. La grandeur de retour φ_{mes} vérifie $\varphi_{\text{mes}} = \varphi_{\text{tête}}$. Trois réglages du correcteur ont été simulés pour une variation de consigne de 160° en $0,9 \text{ s}$. La figure 7 montre l'évolution temporelle de $\varphi_c(t)$ et de $\varphi_{\text{tête}}(t)$ ainsi que l'évolution correspondante de la sortie du comparateur $\varepsilon(t)$.

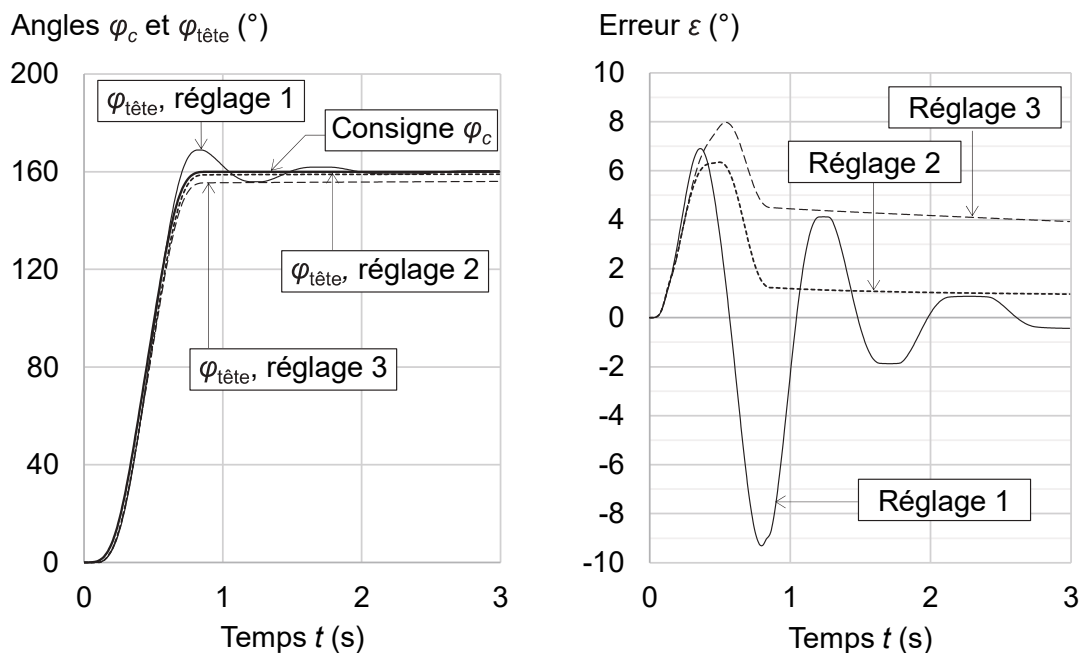


Figure 7 : réponse de l'asservissement à une variation de consigne

Question 1.4 Déterminer le ou les réglages du correcteur qui permettent de satisfaire les exigences 1.1.3 et 1.1.4 (figure 3). Justifier la réponse.

Question 1.5 Conclure sur la capacité de la solution technique utilisée à mouvoir la tête du robot conformément aux exigences 1.1.2, 1.1.3 et 1.1.4.

Sous-partie 2

Valider la capacité à saisir et maintenir des objets

L'objectif de cette sous-partie est de valider la capacité du préhenseur du robot humanoïde à saisir et maintenir un objet de la vie courante sans l'endommager.

L'extrémité du bras du robot est munie de la pince de préhension à deux doigts présentée figure 8.

Le support et le doigt fixe notés (0) sont en liaison complète. Le doigt mobile (2) avec secteur denté est entraîné par un pignon (1) à secteur denté fixé à l'arbre d'un servomoteur. Le corps du servomoteur et le support (0) sont en liaison complète.

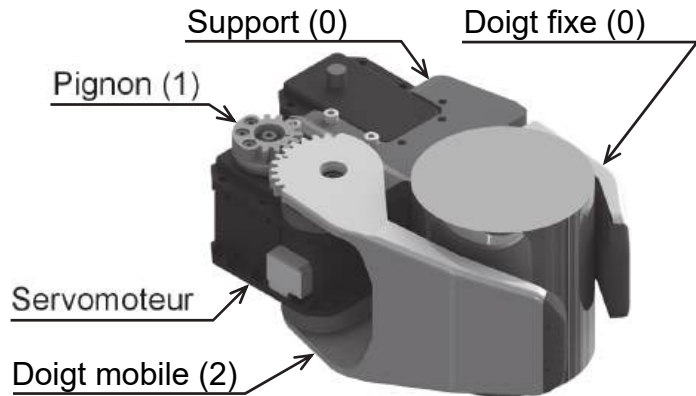


Figure 8 : pince en action de préhension d'un objet cylindrique de 55 mm de diamètre

La préhension de l'objet se déroule en quatre phases : ouverture de la pince par rotation du doigt mobile ; approche et encadrement de l'objet ; fermeture de la pince sur l'objet par rotation du doigt mobile ; maintien de l'objet.

Question 1.6 **Compléter** le diagramme de bloc interne de la chaîne de puissance de la pince sur le document DR2 avec les différentes formes de puissances et les différents flux et efforts mis en œuvre.

La figure 9 présente le diagramme partiel des exigences que la pince doit satisfaire.

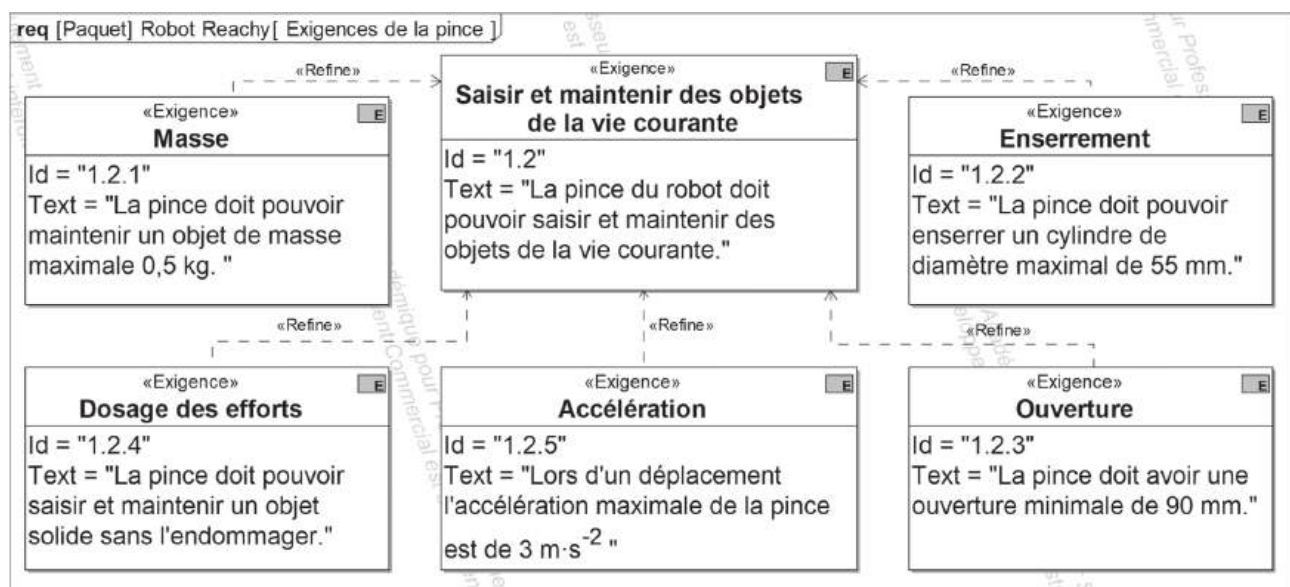


Figure 9 : diagramme partiel des exigences pour la pince

La capacité d'ouverture de la pince est étudiée à partir des éléments de la figure 10.

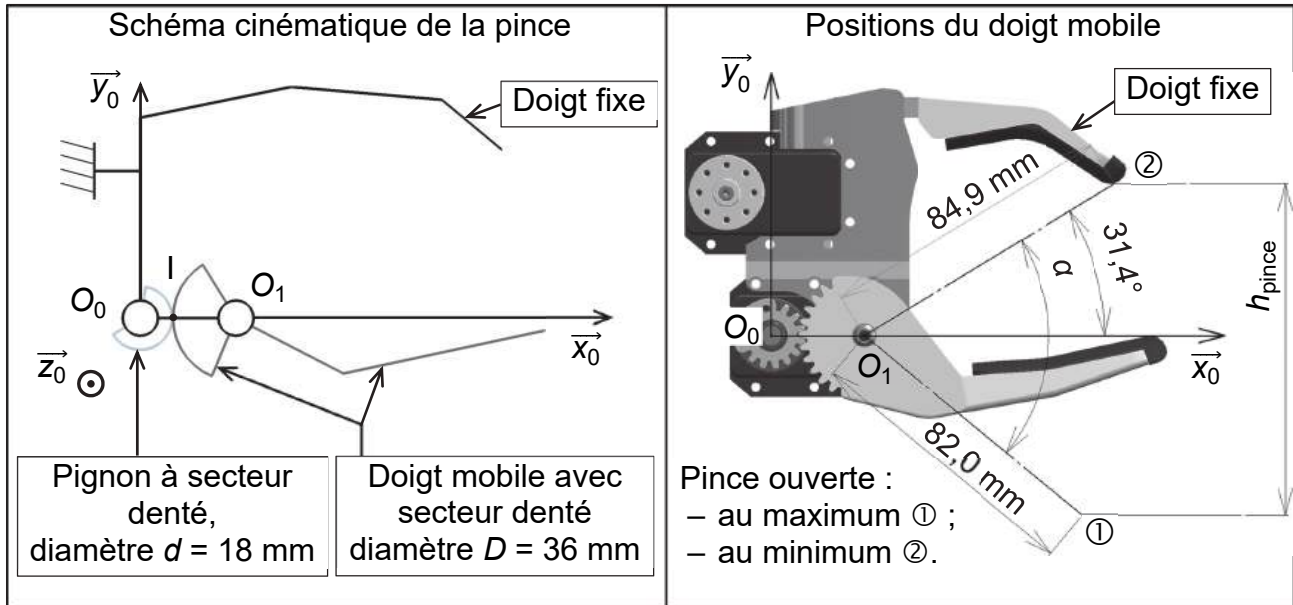


Figure 10 : schéma cinématique et dessin d'ensemble de la pince

Hypothèses et notations :

- le repère $(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est lié à la pince ;
- l'axe de rotation du doigt mobile est $(O_1, \vec{z}_0)$;
- l'axe de rotation de l'arbre du servomoteur est $(O_0, \vec{z}_0)$;
- l'arbre du servomoteur tourne de 142° pour déplacer le doigt de la position d'ouverture maximale ① à la position d'ouverture minimale ② (pince fermée).

Question 1.7 Montrer, à partir des indications de la figure 10, que le débattement angulaire vaut $\alpha = 71^\circ$ et que l'ouverture maximale de la pince vaut $h_{pince} = 96,5$ mm. **Conclure** quant à la satisfaction de l'exigence 1.2.3 de la figure 9 compte tenu de la valeur de h_{pince} .

La figure 11 montre la prise d'un objet type cylindrique. Le doigt mobile (2) est isolé en vue de déterminer l'intensité maximale de la force $\vec{A}_{(2 \rightarrow S)}$ qu'il peut exercer sur l'objet (S).

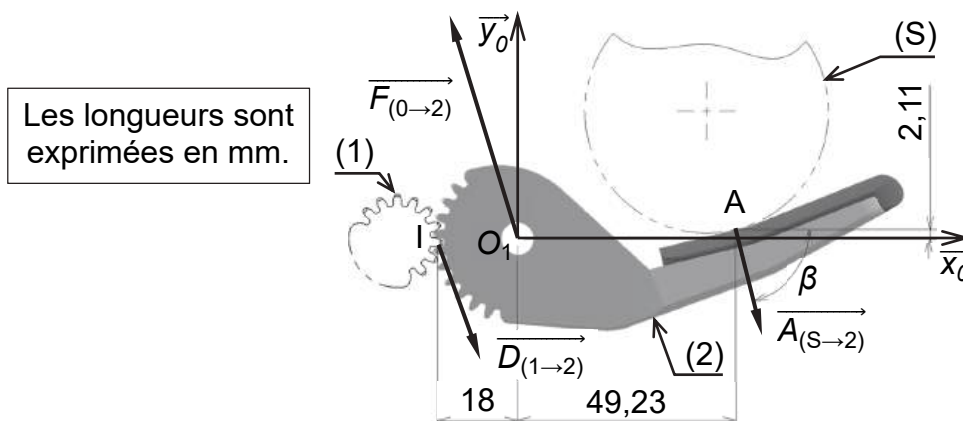


Figure 11 : bilan des actions mécaniques extérieures exercées sur le doigt mobile

Hypothèses et données :

- le problème est plan ;
- le doigt mobile (2) est considéré comme indéformable ;
- la masse du doigt mobile (2) est négligée ;
- dans la configuration où le couple est maximum, la force appliquée en I par le pignon (1) sur le doigt mobile (2) est $\overrightarrow{D_{(1 \rightarrow 2)}} = 14,8 \overrightarrow{x_0} - 40,7 \overrightarrow{y_0}$ (en N) ;
- l'action mécanique appliquée en O_1 par le support (0) sur le doigt mobile (2) est modélisée par une force $\overrightarrow{F_{(0 \rightarrow 2)}}$ au niveau de la liaison pivot d'axe $(O_1, \overrightarrow{z_0})$;
- l'action mécanique appliquée en A par l'objet (S) sur le doigt mobile (2) est modélisée par une force $\overrightarrow{A_{(S \rightarrow 2)}}$;
- l'angle entre $\overrightarrow{x_0}$ et $\overrightarrow{A_{(S \rightarrow 2)}}$ est $\beta = 76^\circ$.

Question 1.8 À l'aide de la figure 11, **déterminer** la norme de la force $\overrightarrow{A_{(S \rightarrow 2)}}$ exercée par l'objet (S) sur le doigt mobile (2) en appliquant le théorème du moment statique au point O_1 . En **déduire** que la norme de la force exercée par le doigt mobile (2) sur l'objet (S) vaut $\|\overrightarrow{A_{(2 \rightarrow S)}}\| = 15,2$ N.

Cette force de serrage est suffisante pour manipuler les objets typiquement saisis par ce type de pince. Dans certains cas, la force de serrage doit être limitée par logiciel pour maintenir l'objet sans l'endommager et éviter la surchauffe du servomoteur. Cette limitation utilise la valeur de la force mesurée au niveau du doigt fixe par la chaîne d'acquisition présentée à la figure 12.

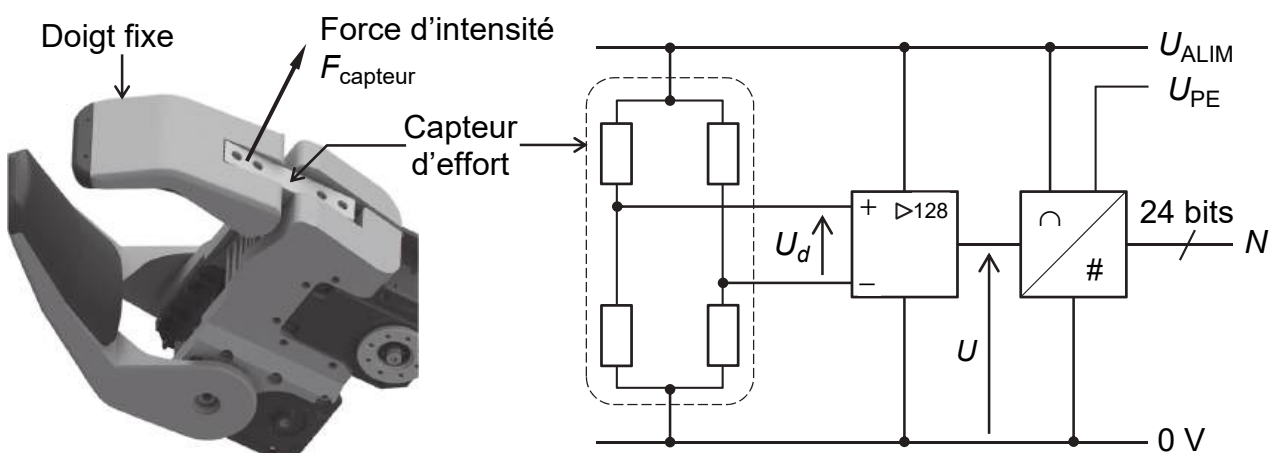


Figure 12 : chaîne d'acquisition de l'intensité de la force exercée au niveau du doigt fixe

Données :

- le capteur d'effort délivre la tension $U_d = k_{\text{capteur}} \times F_{\text{capteur}}$ proportionnelle à l'intensité F_{capteur} de la force exercée au niveau du doigt fixe avec $k_{\text{capteur}} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{N}^{-1}$;
- l'amplificateur différentiel délivre la tension $U = A_d \times U_d$ avec $A_d = 128$;

- le convertisseur analogique / numérique (CAN), de résolution 24 bits et de tension de pleine échelle $U_{PE} = 3 \text{ V}$, délivre le nombre N , résultat de la conversion ;
- la variation d'un quantum q de la tension d'entrée U du CAN provoque le changement d'une unité de son nombre de sortie N .

La technique envisagée pour limiter la force de serrage consiste à arrêter la fermeture de la pince dès que N dépasse une valeur de seuil $N_{\max}$.

Question 1.9 **Calculer** la valeur du quantum q du CAN en V. **Calculer** la valeur décimale du seuil $N_{\max}$ dans l'hypothèse d'une force F_{capteur} maximale fixée par logiciel à 5 N.

Question 1.10 **Valider** la capacité de la pince du robot humanoïde à saisir et maintenir un objet de la vie courante sans l'endommager.

Sous-partie 3

Valider la capacité de la base mobile à éviter les collisions

L'objectif de cette sous-partie est de valider la solution mise en œuvre en termes d'efficacité de la prévision d'une collision et d'efficacité de la réponse apportée.

Le robot humanoïde doit être en mesure de se déplacer sans percuter les obstacles qui se trouvent dans son environnement. La solution retenue pour anticiper une collision et réagir en conséquence exploite le télémètre laser à balayage (lidar) présenté sur la figure 13.

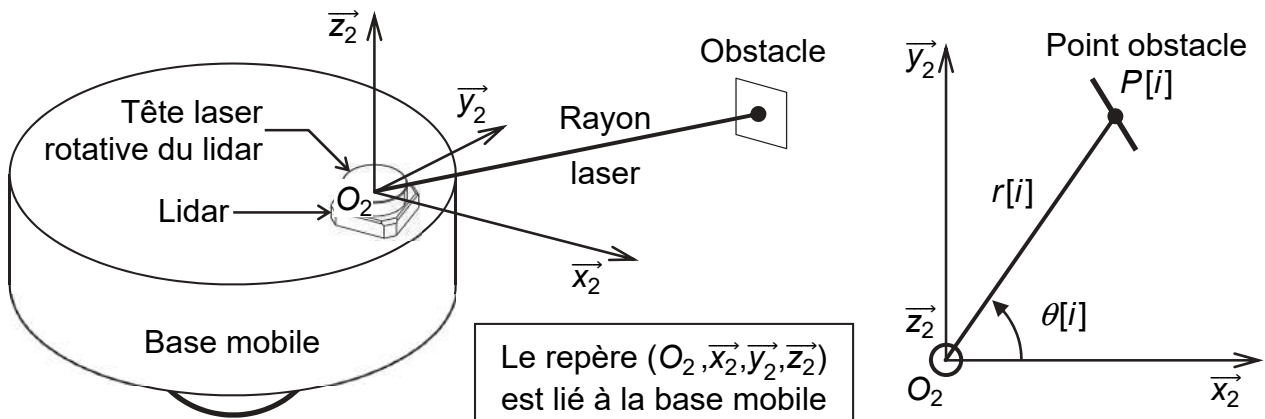


Figure 13: lidar embarqué par la base mobile

La tête laser du lidar tourne à vitesse constante autour de l'axe $(O_2, \vec{z}_2)$. Elle émet n impulsions lumineuses par tour, d'indices $i = 0$ à $i = n - 1$, régulièrement espacées dans le temps afin de balayer le plan $(O_2, \vec{x}_2, \vec{y}_2)$. Chaque impulsion permet au lidar de mesurer la longueur du rayon $r[i]$ entre le point O_2 et le point obstacle $P[i]$ éclairé par le faisceau à l'angle $\theta[i]$. La figure 14 montre une carte établie à partir d'un relevé lidar.

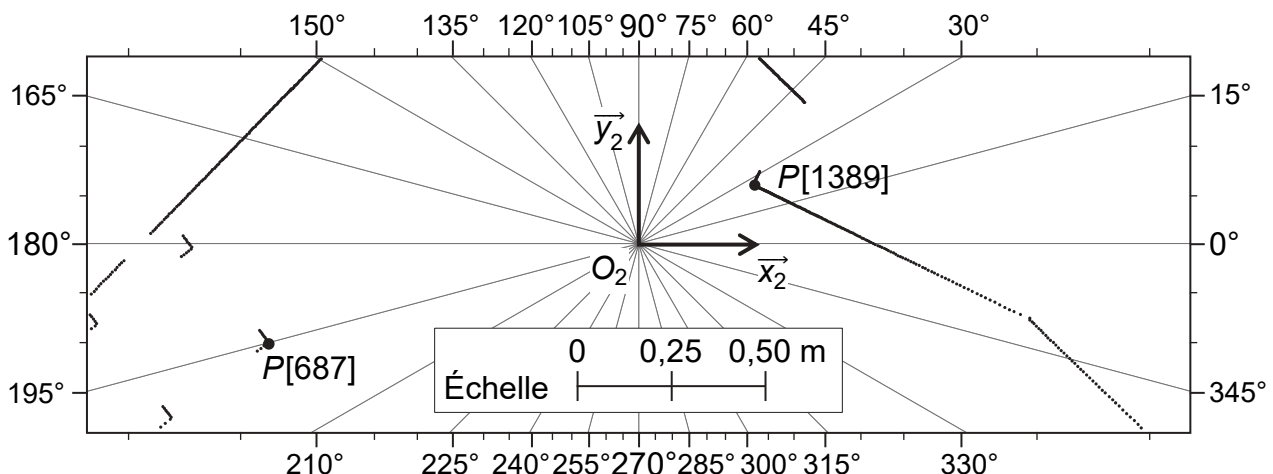


Figure 14: carte établie à partir d'un relevé lidar

Question 1.11 **Relever** la valeur de l'angle $\theta[687]$ en degré et la longueur du rayon $r[687]$ en mètre du point obstacle $P[687]$ sur la carte de la figure 14.

Le lidar transmet en permanence les coordonnées des points obstacles à l'unité de traitement de la base mobile avec une liaison série numérique. Le protocole employé est décrit à la figure 15.

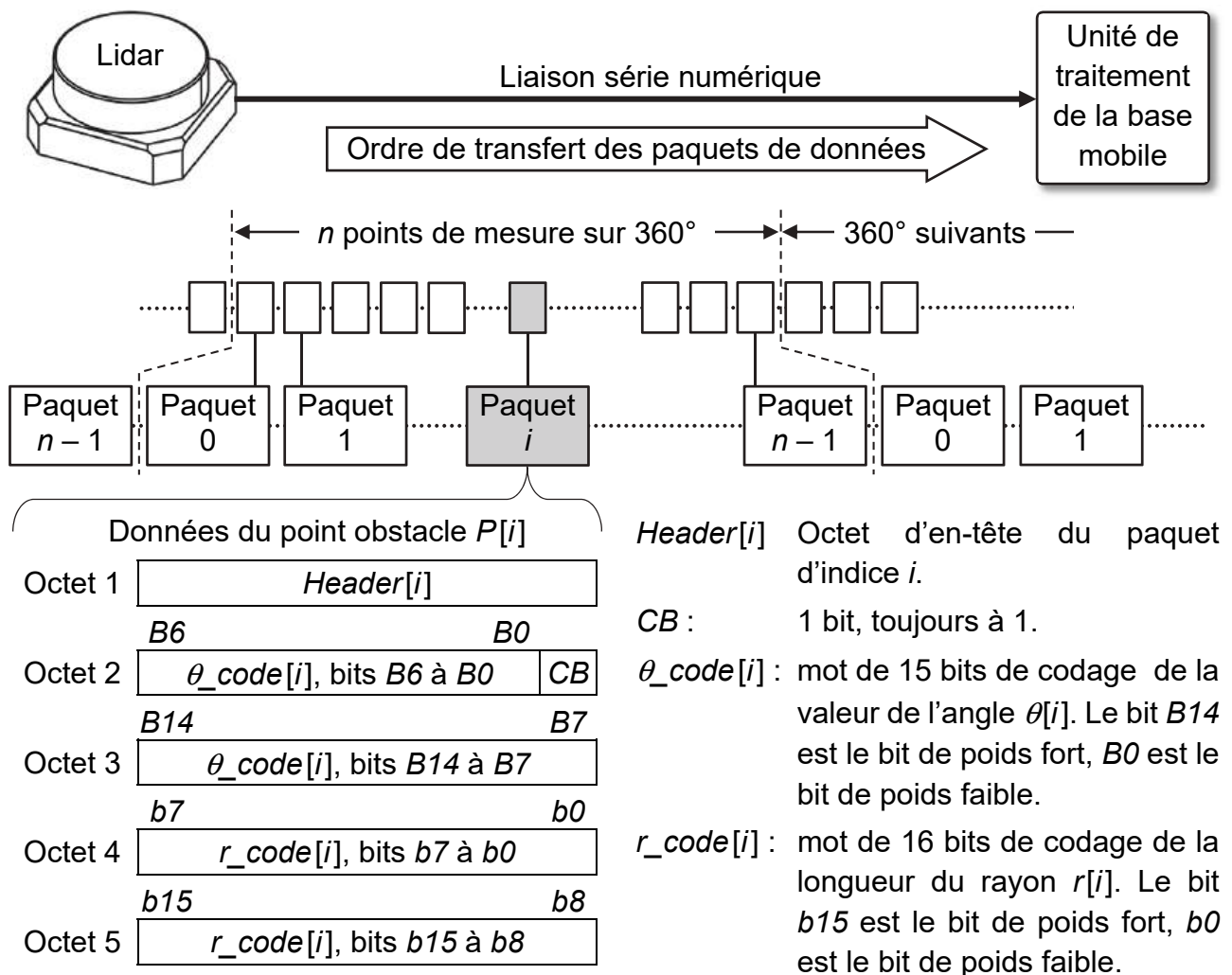


Figure 15: protocole de transmission des coordonnées des points obstacles

Le lidar émet un paquet de données immédiatement après chaque mesure. Les 5 octets qui composent ce paquet de données sont transmis successivement de l'octet 1 à l'octet 5. Chaque octet est inséré dans une trame RS-232 au format 8N1 comme l'illustre la figure 16.

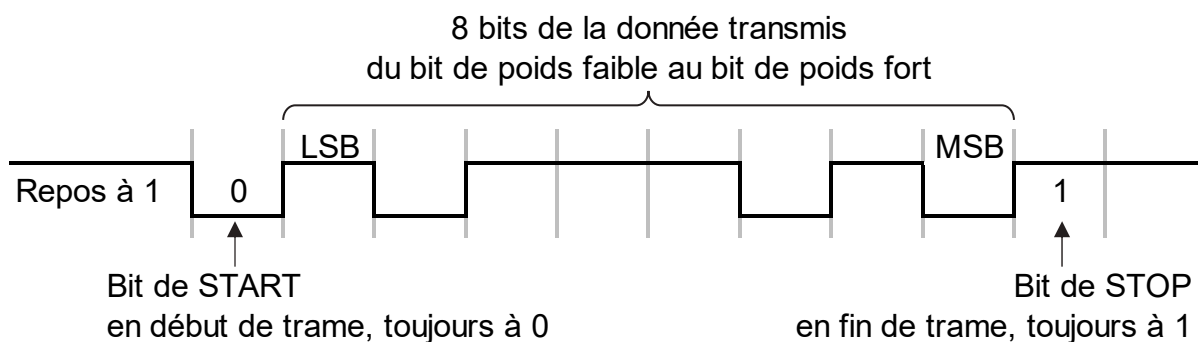


Figure 16: trame RS-232 au format 8N1

La figure 17 montre le chronogramme de l'émission du paquet de données du point $P[1389]$ représenté sur la carte de la figure 14.

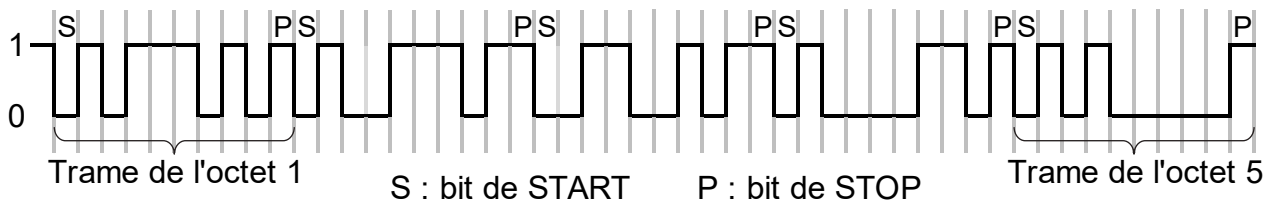


Figure 17 : émission du paquet de données d'indice $i = 1389$ (point $P[1389]$)

Les valeurs décimales de l'angle $\theta[i]$ et de la longueur $r[i]$ d'un point obstacle $P[i]$ sont calculées avec :

$$\theta[i] = 360 - \theta\_code[i] / 64 \quad (\text{donne un résultat en degré}) ;$$

$$r[i] = r\_code[i] / 4000 \quad (\text{donne un résultat en mètre}).$$

Question 1.12 Relever le code sur 15 bits du mot $\theta\_code[1389]$ et le code sur 16 bits du mot $r\_code[1389]$ dans les trames de la figure 17 compte tenu des indications des figures 15 et 16. **Calculer** la valeur décimale en degré de l'angle $\theta[1389]$ et la valeur décimale en mètre du rayon $r[1389]$.

Le lidar est utilisé à une résolution faible $R_{\text{lidar}} = 0,24^\circ$ et à une fréquence de rotation élevée $N_{\text{lidar}} = 600 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ afin d'être réactif et de pouvoir détecter des obstacles de petites dimensions comme par exemple un pied de chaise situé à plusieurs mètres.

Question 1.13 Calculer le nombre n de points de mesure pris par le lidar sur une zone balayée de 360° . **Calculer** l'intervalle de temps Δt qui sépare deux points de mesure consécutifs.

La liaison série numérique est utilisée à son débit maximum $D_{\text{liaison}} = 1 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question 1.14 Calculer la durée totale d'émission d'un paquet de données, premier bit de start et dernier bit de stop compris. **Justifier** que la valeur du débit est compatible avec la résolution et la fréquence de rotation choisies.

La base mobile peut simultanément se traduire suivant les directions $\vec{x}_2$, $\vec{y}_2$ et pivoter autour de l'axe $(O_3, \vec{z}_2)$ comme indiqué figure 18. Ces mouvements s'effectuent aux vitesses de consignes stockées respectivement dans les variables VT_x , VT_y et VR_z du logiciel exécuté par l'unité de traitement de la base mobile. La fonction d'anticollision de ce logiciel exploite les mesures fournies par le lidar pour adapter VT_x , VT_y et VR_z à la présence d'un obstacle. L'algorithme proposé comporte trois étapes :

- étape 1 : expression des mesures du lidar dans le repère $(O_3, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$. Pour tout point obstacle $P[i]$: calcul et stockage de $dist[i]$ dans la liste $dist$, calcul et stockage de $angle[i]$ dans la liste $angle$. L'indice i varie de 0 à $n - 1$ (n est le nombre de points de mesure pris par le lidar sur 360°) ;

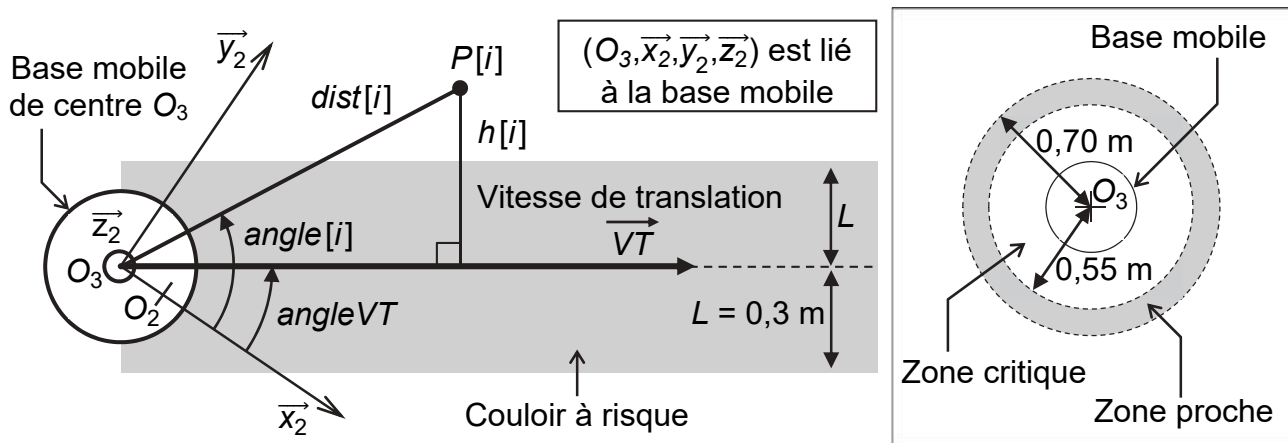


Figure 18: grandeurs employées par la fonction anticollision

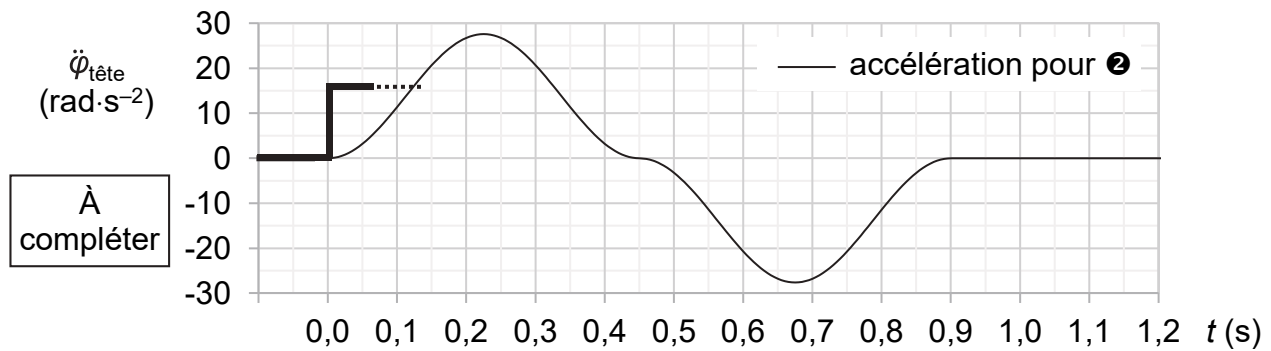
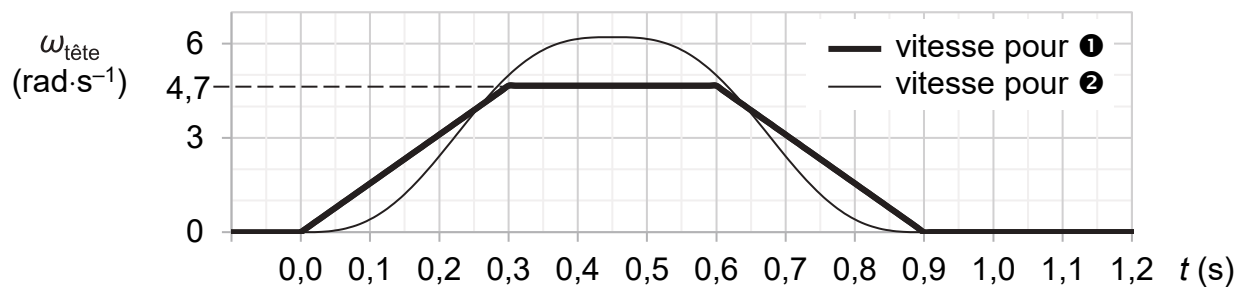
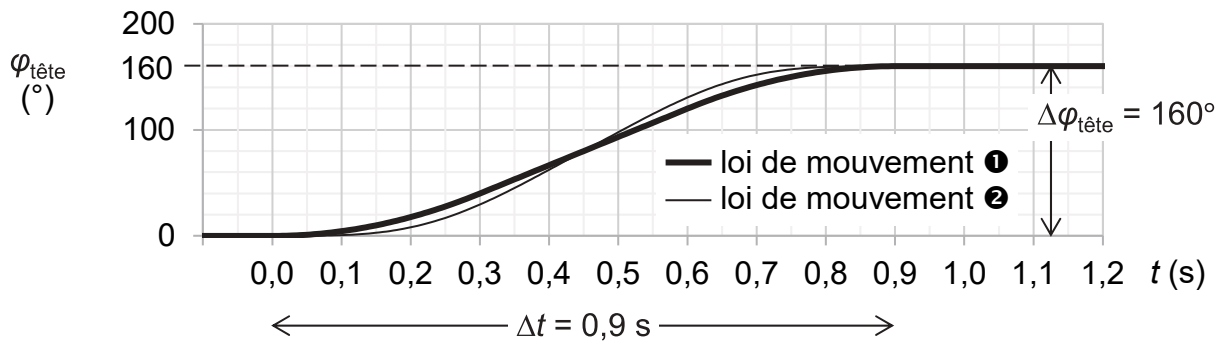
- étape 2 : réorganisation des listes *dist* et *angle*. Les couples *dist*[*i*] et *angle*[*i*] des points situés en zone critique sont déplacés aux premiers indices (indices 0 à *n_critiques* – 1), les points situés en zone proche viennent ensuite, les autres points sont ignorés ;
- étape 3 : détermination des consignes adaptées *VTxa*, *VTya* et *VRza*.

Question 1.15 **Compléter** les instructions en Python du document réponse DR3 pour coder l'étape 2 de l'algorithme. **Valider** les solutions matérielle et logicielle mises en œuvre pour éviter les collisions.

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

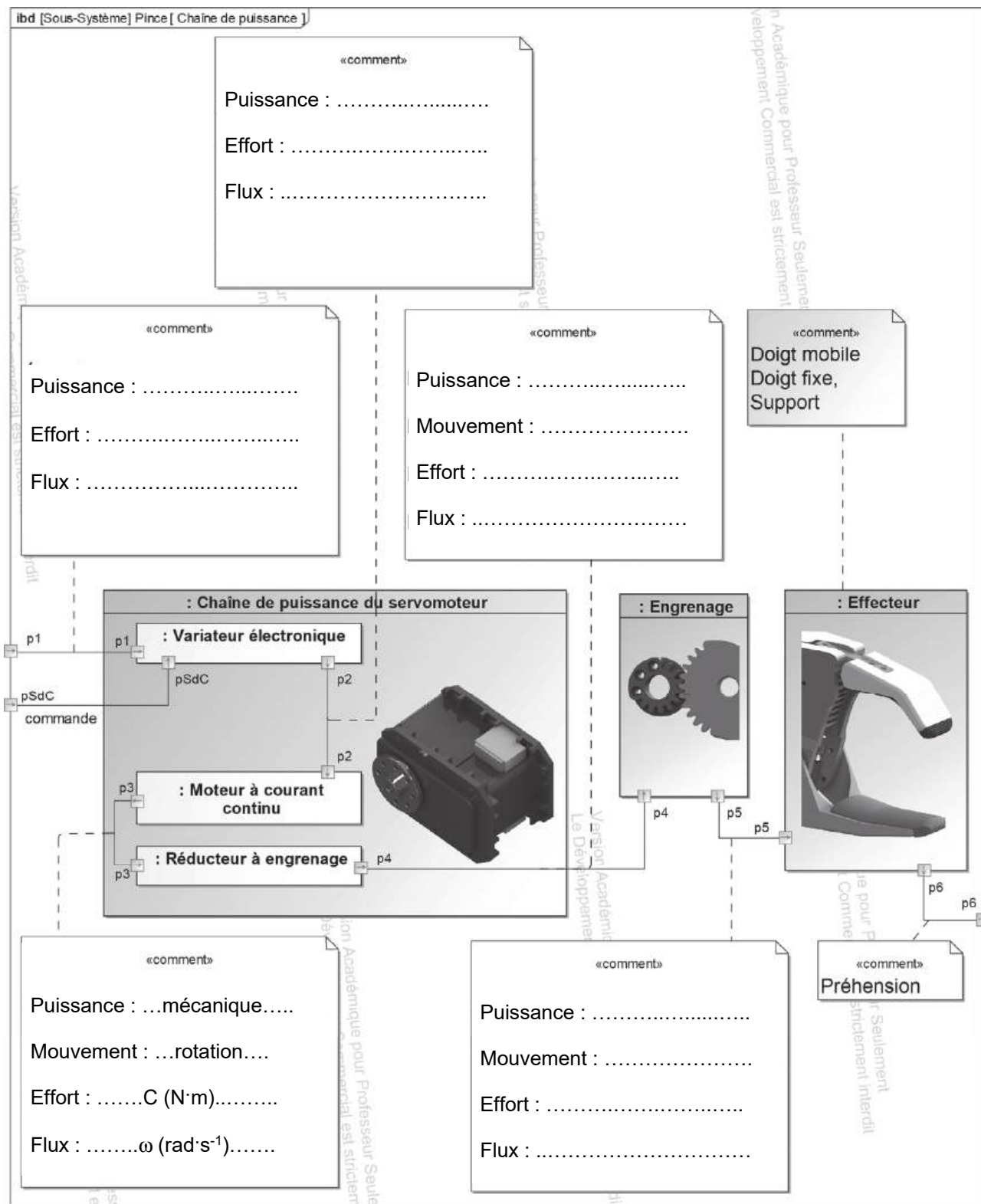
Question 1.2

Tracer l'accélération pour la loi ❶ sur le graphique marqué « à compléter ».



Question 1.6

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.).



Question 1.15

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.....)

```
# n est le nombre de points de mesure du lidar sur 360°.
# La zone critique est un disque de 0,55 m de rayon.
# La zone proche est un anneau de rayons 0,55 m et 0,70 m.
# dist_c = [] crée une liste vide nommée dist_c.
# dist_c.append(x) ajoute l'élément x à la fin dist_c.
# dist_c + dist_p ajoute la liste dist_p à la fin de dist_c.

i = 0 ; n_critiques = 0 ; n_proches = 0
dist_c = [] ; angle_c = [] ; dist_p = [] ; angle_p = []

while ..... < ..... :
    if dist[i] < ..... :
        dist_c.append(dist[i]) ; angle_c.append(angle[i])
        n_critiques = n_critiques + 1
    elif dist[i] < ..... :
        dist_p.append(dist[i]) ; angle_p.append(angle[i])
        n_proches = n_proches + 1
    i = i + 1
dist = dist_c + dist_p ; angle = angle_c + angle_p
```


Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Mouvement de la sonde TGO autour de Mars

Parmi les sondes actives autour de la planète Mars, on s'intéresse à celle de l'agence spatiale européenne : Trace Gas Orbiter (TGO).

Le 21 avril 2018, la sonde TGO a débuté la phase scientifique de sa mission qui a pour objectif d'étudier la présence et l'origine des gaz (comme le méthane) présents dans l'atmosphère martienne à l'état de traces.



Figure 1. Sonde Trace Gas Orbiter

L'objectif de cet exercice est de déterminer l'altitude h de la sonde TGO au-dessus du sol martien.

Données :

- constante gravitationnelle : $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse de Mars : $m_M = 6,4 \times 10^{23} \text{ kg}$;
- rayon moyen de Mars : $r_M = 3,4 \times 10^6 \text{ m}$;
- période de révolution de TGO en orbite circulaire autour de Mars : $T = 7,2 \times 10^3 \text{ s}$;
- le référentiel utilisé est nommé référentiel marsocentrique, il est constitué du centre de Mars et de trois étoiles lointaines dont les directions sont considérées comme fixes. Il est supposé galiléen.

Pour l'étude, on se place dans le repère de Frenet : base orthonormée $(\vec{u}_t, \vec{u}_n)$ associée à une origine qui coïncide avec le centre de masse de TGO et on suppose que la trajectoire de TGO, assimilée à son centre de masse, est circulaire.

Q1. Reproduire qualitativement le schéma ci-dessous et représenter la force gravitationnelle notée $\vec{F}_{M/TGO}$ exercée par Mars sur la sonde TGO, sans souci d'échelle.

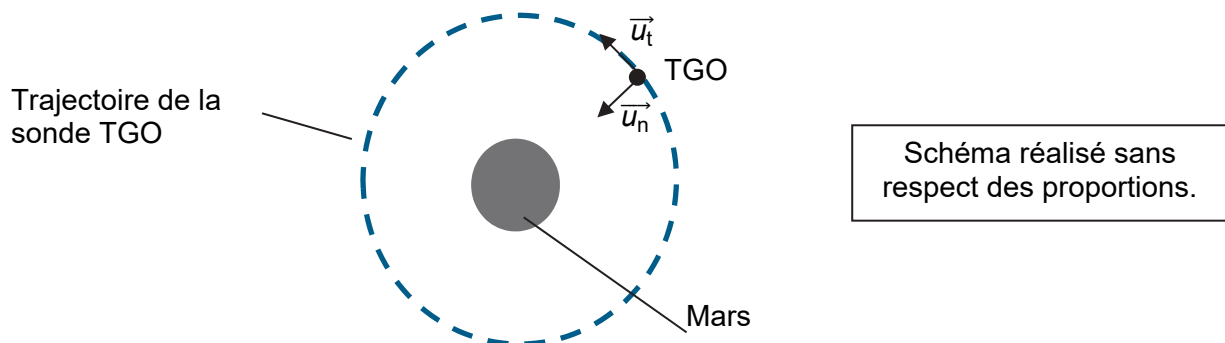


Figure 2. Schéma de la trajectoire de la sonde TGO

Q2. En utilisant la deuxième loi de Newton, montrer que l'expression du vecteur accélération du centre de masse $\vec{a}_{\text{TGO}}$ de la sonde TGO dans le repère de Frenet en fonction de G , m_M , r_M et h altitude de la sonde TGO par rapport à la surface de Mars est :

$$\vec{a}_{\text{TGO}} = G \frac{m_M}{(r_M + h)^2} \vec{u}_n$$

Q3. En déduire que le mouvement du centre de masse de la sonde TGO est uniforme dans le référentiel marsocentrique.

Q4. Montrer que l'expression v_{TGO} de la vitesse de la sonde en fonction de T , r_M et de l'altitude h de la sonde TGO par rapport à la surface est :

$$v_{\text{TGO}} = \frac{2 \pi (r_M + h)}{T}$$

On montre aussi que la vitesse de la sonde TGO a aussi pour expression :

$$v_{\text{TGO}} = \sqrt{\frac{G m_M}{r_M + h}}$$

Q5. Déterminer alors la valeur de l'altitude h de la sonde TGO par rapport à la surface.

EXERCICE B – Préparation d'un biberon

D'après les recommandations de l'assurance maladie, un biberon réchauffé doit être consommé dans la demi-heure qui suit car des germes s'y multiplient rapidement. À défaut d'un chauffe-biberon, on peut utiliser la technique du bain-marie qui consiste à placer le biberon dans un récipient contenant de l'eau chauffée. Il est cependant impératif de vérifier la température du liquide afin d'éviter tout risque de brûlures.



Figure 1. Photographie du biberon étudié

Le système étudié, de masse notée m , est constitué du biberon en polypropylène contenant un volume de lait $V = 240$ mL.

On assimile la capacité thermique massique moyenne du système à celle du lait.

On considère que la température $T(t)$ du système est homogène au cours du temps t , sa température initiale étant $T(t = 0 \text{ s}) = 50^\circ\text{C}$.

On laisse le système refroidir, ouvert, dans la cuisine considérée comme un thermostat à $T_{\text{ext}} = 22^\circ\text{C}$.

L'objectif de cet exercice est de déterminer si le biberon préparé peut être consommé en toute sécurité par le nourrisson après une certaine durée.

Données :

- capacité thermique massique du lait : $c = 3,8 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- masse volumique du lait (assimilable à celle de l'eau) : $\rho = 1,0 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- masse du biberon en polypropylène : $m_b = 37 \text{ g}$;
- température du lait préconisée pour un nourrisson : $T_f = 37^\circ\text{C}$;
- aire de la surface du système en contact avec l'extérieur : $S = 2,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2$;
- coefficient d'échange conducto-convectif du système en contact avec l'air : $h = 10 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q1 Citer et décrire les trois modes de transfert thermique.

Dans le cadre d'un modèle utilisant la loi de Newton, la température $T(t)$ du système vérifie l'équation différentielle suivante : $\frac{dT}{dt} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times (T - T_{\text{ext}})$.

Q2 Un temps caractéristique τ apparaît dans cette équation différentielle. Montrer que sa valeur est environ égale à $\tau = 4 \times 10^3$ s.

Q3. Vérifier que $T(t) = (T_i - T_{\text{ext}}) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + T_{\text{ext}}$ est solution de l'équation différentielle précédente.

Q4. Représenter graphiquement, sans souci d'échelle, l'allure de la courbe d'évolution de la température en fonction du temps. Positionner sur les axes la valeur initiale de la température et celle atteinte au bout d'une durée très grande devant le temps caractéristique τ . Positionner également le temps caractéristique τ en justifiant par construction graphique.

Q5. Justifier que le refroidissement est de plus en plus lent au cours du temps en utilisant la courbe précédente, l'expression de l'équation différentielle ou la loi de Newton.

Q6. Déterminer, dans le cadre du modèle utilisé, la durée nécessaire pour que le biberon puisse être consommé par le nourrisson.

La courbe ci-dessous présente le suivi expérimental de la température au cœur du biberon au cours du temps lors de son refroidissement.

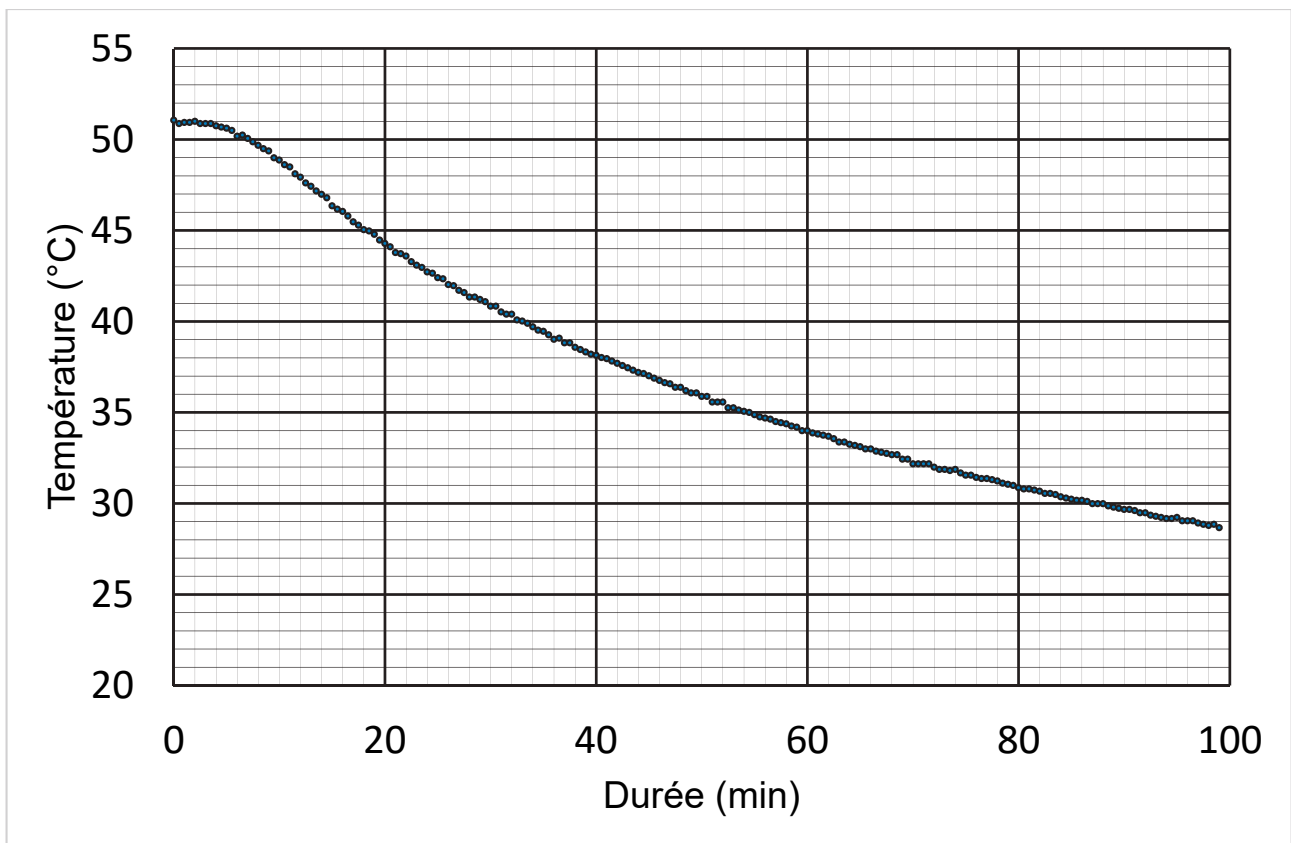


Figure 2. Évolution temporelle de la température mesurée au cœur du biberon

Q7. En utilisant les résultats expérimentaux, déterminer la valeur de la durée de refroidissement du biberon pour atteindre la température préconisée. Discuter la cohérence entre l'expérience et le modèle utilisé dans l'exercice. Commenter la valeur obtenue au regard des recommandations sanitaires.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mardi 17 juin 2025

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 collègue » 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.

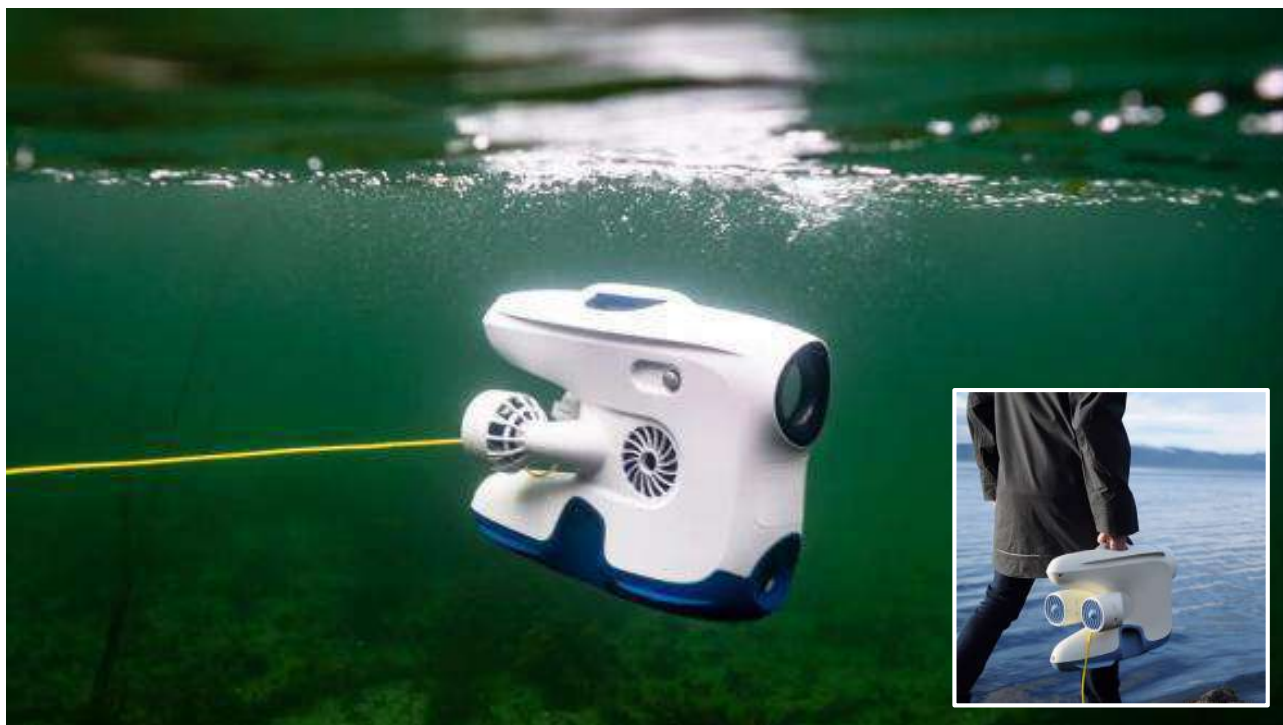
**Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.**

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

Drone de prises de vues sous-marines



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 12
- Documents réponses..... pages 13 à 15

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

Drone de prises de vues sous-marines

L'étude porte sur un drone submersible permettant de faire des prises de vues sous-marines en haute qualité jusqu'à une profondeur de 150 m, dans une plage de température de -5°C à $+35^{\circ}\text{C}$. Ce drone embarque une batterie qui lui confère une autonomie importante. Utilisé dans de nombreux domaines tels que l'aquaculture, la défense, les énergies offshore ou l'inspection de navires, il permet aux utilisateurs de rester à la surface de l'eau tout en réalisant des inspections sous-marines.

Le drone est relié par un câble extra-souple à un module de surface (figure 1). Ce câble transmet de manière bi-directionnelle les informations liées au contrôle du drone et à la prise de vue.

Un module de surface est intégré dans l'enrouleur du câble et est connectable, via une liaison WiFi, à un terminal mobile (Android ou iOS) sur lequel une application dédiée réalise l'interface homme-machine permettant :

- la transmission des images et la visualisation en temps-réel ;
- le pilotage du drone.

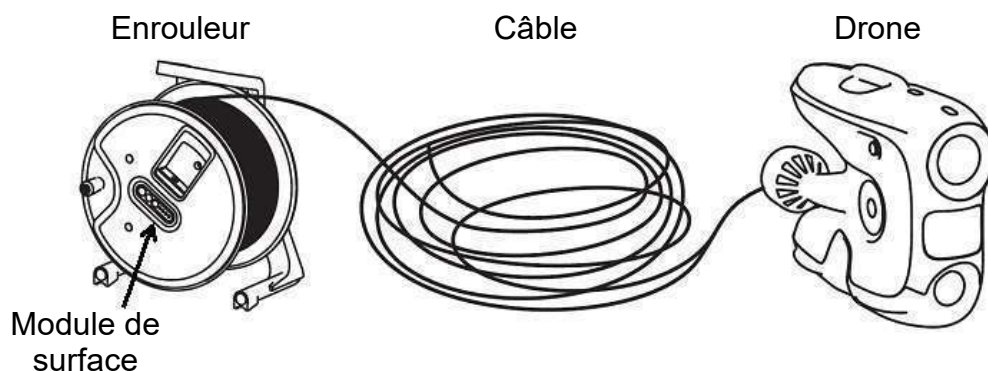


Figure 1 : connexion filaire entre le drone et le module de surface

Le pilotage du drone et sa stabilité sont réalisés au moyen de quatre propulseurs illustrés à la figure 2 :

- deux propulseurs assurent la poussée longitudinale (vers l'avant ou l'arrière) avec une répartition modulable entre la droite et la gauche ;
- un propulseur monté dans un carénage traversant assure la correction latérale vers la droite ou vers la gauche ;
- le propulseur vertical, monté également dans un carénage traversant, assure la propulsion vers le haut ou vers le bas.

Chaque propulseur est constitué d'une hélice montée en prise directe sur un moteur électrique asservi en vitesse.

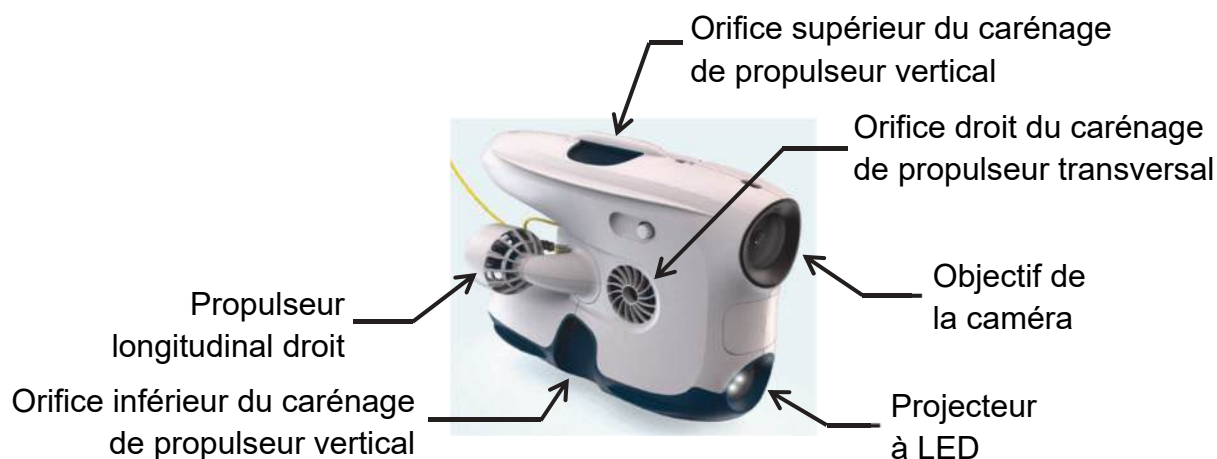


Figure 2 : constitution du drone (le propulseur longitudinal gauche et l'orifice gauche du carénage de propulseur transversal n'apparaissent pas sur cette vue)

Le diagramme partiel des exigences du drone sous-marin est représenté sur la figure 3.

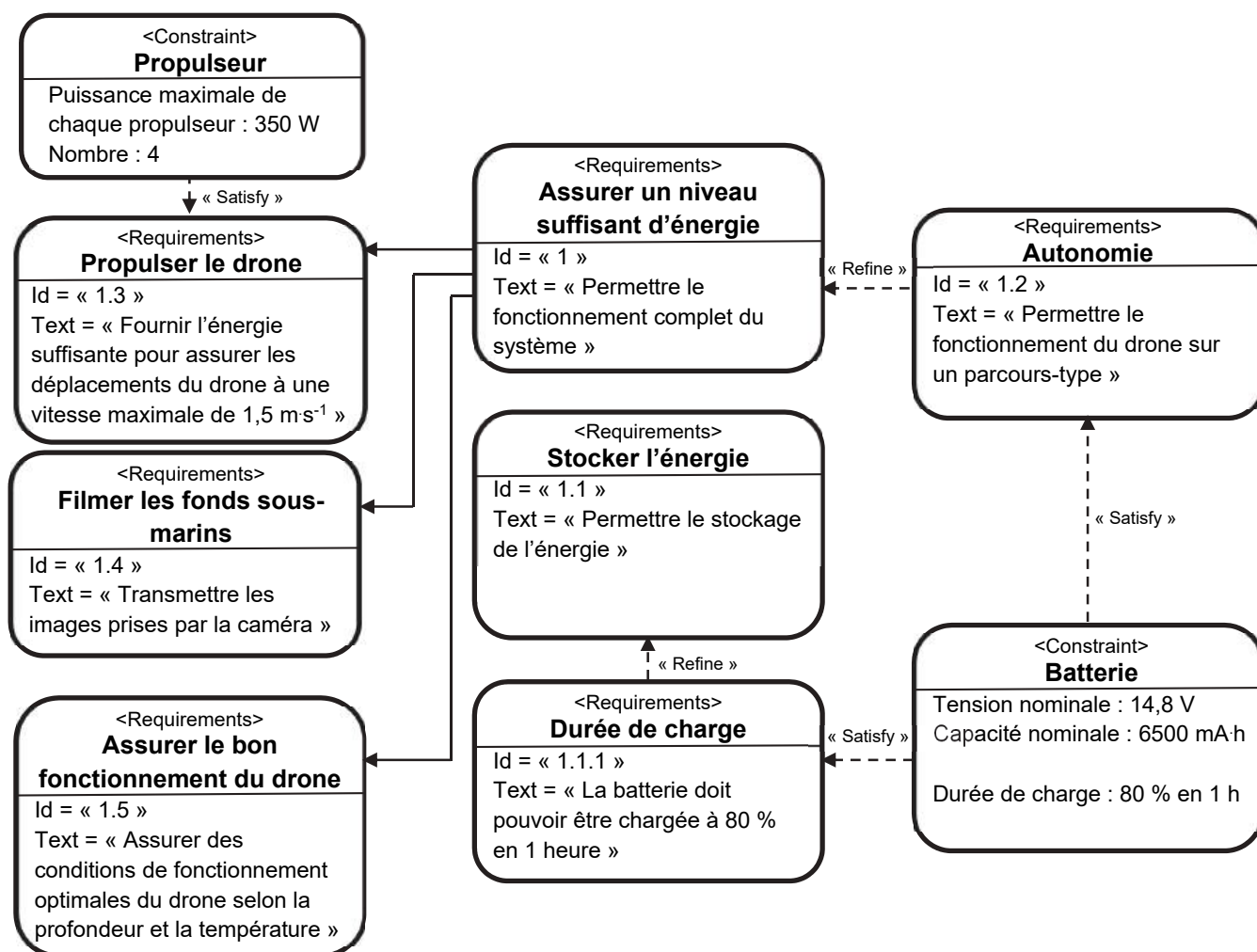


Figure 3 : diagramme partiel des exigences

Sous-partie 1

Optimisation de l'autonomie

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier le dimensionnement de la batterie et d'analyser les choix de conception permettant d'optimiser l'autonomie du drone.

Question 1.1 À l'aide de la figure 3, **montrer** que l'énergie stockée dans la batterie à pleine charge est d'environ 96 W·h.

Le projecteur à LED, positionné sur la face avant du drone, permet d'éclairer les fonds sous-marins avec une intensité lumineuse maximale de 3300 lm (le lumen, symbole lm, est l'unité de mesure de l'intensité lumineuse). La consommation de différents types de sources lumineuses est fournie figure 4.

Intensité lumineuse (lm)	LED	Ampoules halogènes	Tubes fluo et ampoules économiques	Lampes à vapeur de sodium
400-550	5 W	35 W	-	-
800-1100	10 W	80 W	20 W	-
1400-1800	15 W	120 W	30 W	-
2200-4400	30 W	200 W	60 W	80 W
4800-6600	60 W	400 W	120 W	100 W
7200-9900	90 W	550 W	180 W	150 W
9600-13200	120 W	750 W	240 W	200 W
12800-17600	150 W	900 W	300 W	250 W

Figure 4 : consommation de différents types de sources lumineuses

Afin d'assurer le fonctionnement du drone, celui-ci est pourvu de différents capteurs (profondeur, température, centrale inertielle). La caméra ainsi que ces capteurs entraînent une puissance consommée de 6 W.

Question 1.2 À l'aide de la figure 4, **déterminer** la puissance consommée par le projecteur à LED. À partir des données de la figure 3, **compléter** le tableau du document réponse DR1 en y indiquant la puissance consommée pour chacun des éléments.

DR1

La flottabilité caractérise la tendance d'un corps à flotter ou couler spontanément. Cette caractéristique dépend non seulement du poids de ce corps, mais également de la poussée d'Archimède qu'il subit lorsqu'il est immergé. Cette force, dirigée vers le haut, est d'autant plus importante que la teneur de l'eau en sel est élevée.

Le constructeur livre le drone (8,38 kg) avec deux masses additionnelles de 110 g (lest) qui permettent d'adapter sa flottabilité à la nature de l'eau dans laquelle il est utilisé. Il est conseillé d'utiliser ce lest selon les préconisations du tableau de la figure 5.

Eau douce (non salée)	Aucun lest
Eau saumâtre (moyennement salée)	1 masse additionnelle
Eau de mer (salée)	2 masses additionnelles

Figure 5 : préconisations d'utilisation du lest

Le diagramme de la figure 6 représente l'évolution de la poussée d'Archimède en fonction de la salinité (exprimée en grammes de sel pur par kilogramme d'eau salée), ainsi que le poids du drone selon qu'il est lesté ou pas avec les masses additionnelles.

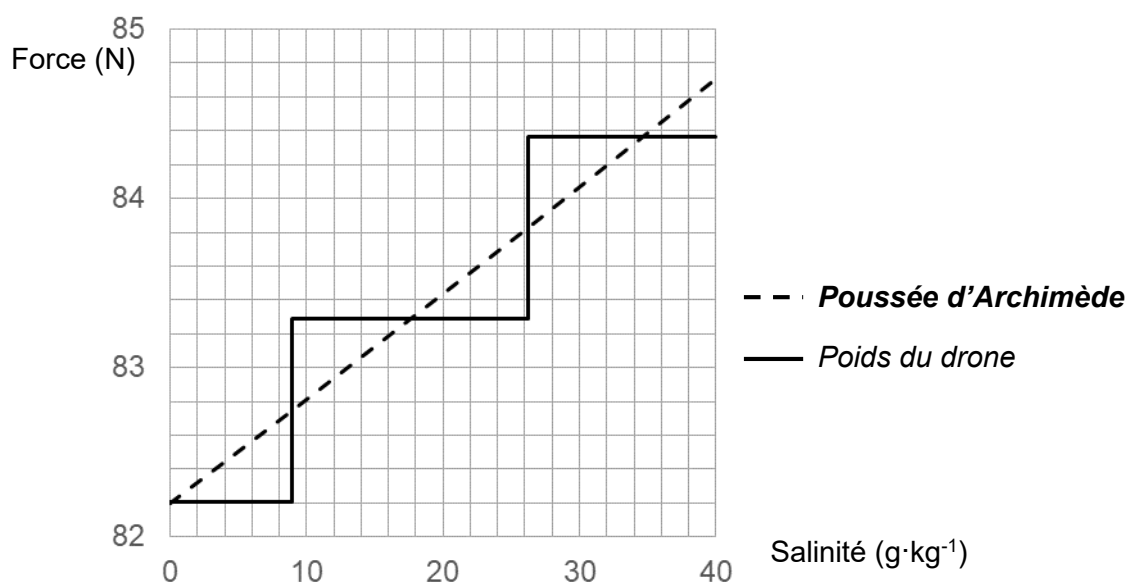


Figure 6 : flottabilité du drone en fonction des conditions d'utilisation

L'utilisateur est suffisamment expérimenté pour choisir, en fonction de l'eau dans laquelle il utilise le drone, la meilleure configuration possible : aucun lest, une masse additionnelle, ou deux.

Lorsque l'écart entre le poids du drone et la poussée d'Archimède reste inférieur à 0,8 N (environ 1 % du poids total), la flottabilité de l'engin est dite « neutre » : le drone n'a quasiment aucune tendance à remonter vers la surface ni à s'enfoncer vers le fond.

Question 1.3 À l'aide du diagramme de la figure 6, **estimer** l'écart maximal entre le poids du drone et la poussée d'Archimède pour une salinité comprise entre 0 et 40 g·kg⁻¹. **Vérifier** que la flottabilité est neutre.

Question 1.4 **Expliquer** pourquoi l'utilisation des masses additionnelles constitue une solution simple pour réduire la consommation du drone lorsqu'il doit se maintenir à une profondeur constante.

L'autonomie du drone est vérifiée sur un parcours-type :

- descente pendant 1 minute à la vitesse de 0,8 m·s⁻¹, avec le propulseur vertical à puissance maximale (350 W) ;
- exploration sous-marine à profondeur quasi-constante, d'une durée de 30 minutes, les deux propulseurs longitudinaux développant en moyenne dans cette phase 15 % de leur puissance maximale ;
- remontée pendant 1 minute à la vitesse de 0,8 m·s⁻¹, avec le propulseur vertical à puissance maximale (350 W).

Pendant ces trois phases, les différents autres éléments consomment 40 W.

Pour garantir une utilisation optimale de la batterie, le constructeur conseille de ne pas aller au-delà de 10 % de charge restante (batterie déchargée à 90 %).

Question 1.5 **Montrer** que l'énergie consommée par le drone durant ce parcours-type vaut environ 85 W·h. **Conclure** quant à la capacité du drone à réaliser le parcours-type, tout en respectant la préconisation du constructeur.

Sous-partie 2

Pilotage et contrôle des mouvements

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser la stabilité du drone en inclinaison et de valider ses performances dynamiques lorsqu'il navigue vers l'avant.

Dans l'ensemble de cette sous-partie, le drone est assimilé à un unique solide indéformable S , évoluant dans un fluide au repos (aucun mouvement de l'eau par rapport au référentiel terrestre). Le repère utilisé pour l'étude est défini par rapport à la géométrie du drone lorsque celui-ci se trouve en position verticale (figure 7) :

- direction $\vec{z}$ verticale, dirigée du bas vers le haut ;
- direction $\vec{x}$ horizontale, dirigée de l'arrière vers l'avant ;
- direction $\vec{y}$ horizontale, parallèle à l'axe du propulseur transversal.

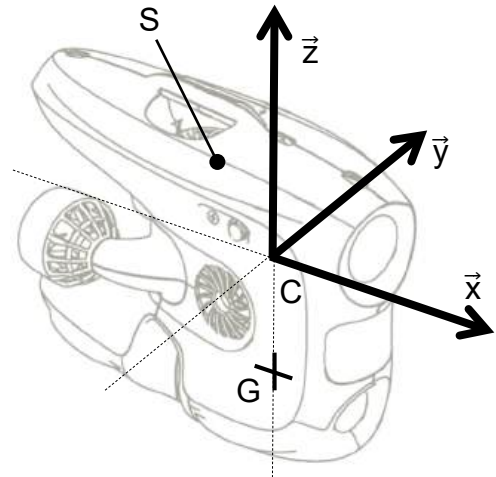


Figure 7 : repère de l'étude

Le comportement mécanique du drone sous l'eau est conditionné par :

- la position de son centre de gravité G (figure 7) et l'intensité du poids $\overrightarrow{P_{\text{pes} \rightarrow S}}$;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_{\text{eau} \rightarrow S}}$ (force verticale), dont le point d'application C se trouve au centre géométrique du volume occupé par le drone sous l'eau (figure 7) ;
- la poussée générée par chacun des propulseurs ;
- la résistance hydrodynamique de l'eau qui s'oppose aux mouvements dès que le drone se déplace sous l'eau.

Question 1.6 Afin de compenser le poids important de la batterie, une partie de la coque du drone est remplie d'une mousse polymère (moins dense que l'eau). Sans faire de calculs, **expliquer** comment doivent être disposées la mousse et la batterie à l'intérieur de la coque pour que le centre de gravité G du drone se trouve en dessous du point C .

Dans un premier temps, le comportement du drone est étudié lorsque les propulseurs sont tous à l'arrêt. La résistance hydrodynamique de l'eau est négligée (mouvements lents et de faible amplitude). Parmi les six degrés de liberté du drone, le « tangage » et le « roulis » désignent respectivement l'inclinaison autour de $\vec{y}$ et l'inclinaison autour de $\vec{x}$.

La position du centre de gravité G par rapport au centre géométrique C est définie par :
 $\overrightarrow{CG} = e_x \cdot \vec{x} + e_y \cdot \vec{y} - e_z \cdot \vec{z}$.

Question 1.7 En utilisant le théorème de la résultante statique, **établir** une relation entre les forces $\vec{P}_{\text{pes} \rightarrow S}$ et $\vec{P}_{\text{eau} \rightarrow S}$. En utilisant le théorème du moment statique **justifier** par le calcul que $e_x = e_y = 0$ et en **déduire** les conditions à respecter pour que le drone n'ait ni tangage ni roulis lorsque les propulseurs sont à l'arrêt.

Dans un second temps, les performances dynamiques du drone sont analysées lorsque celui-ci évolue à une profondeur constante, dans un mouvement de translation rectiligne vers l'avant (figure 8), avec les propulseurs longitudinaux exerçant une poussée identique :

- le contrôle est assuré par la poussée des deux propulseurs longitudinaux (gauche et droite) : $\vec{F}_{g \rightarrow S} = +T \cdot \vec{x}$ au point A et $\vec{F}_{d \rightarrow S} = +T \cdot \vec{x}$ au point B ;
- la résistance de l'eau est assimilable à une unique force horizontale de trainée $\vec{R}_{\text{eau} \rightarrow S} = -R \cdot \vec{x}$ au point C.

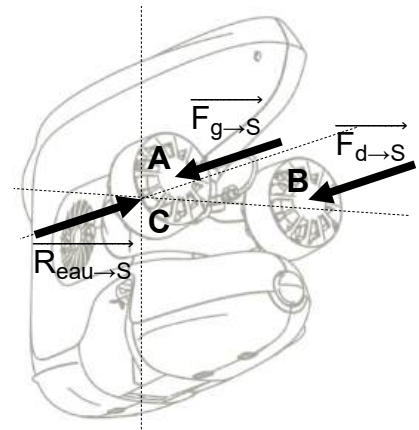


Figure 8 : modélisation des efforts de propulsion et de la trainée

Question 1.8 À l'aide du théorème de la résultante dynamique en projection sur $\vec{x}$, **établir** la relation entre la poussée T de chaque propulseur, la trainée R , l'accélération a et la masse m du drone dans le sens du mouvement.

L'intensité T de la poussée d'un propulseur dépend de la fréquence de rotation n de son hélice et de la vitesse linéaire V du drone. Afin de pouvoir intégrer un modèle fiable de propulseur dans une simulation multiphysique, l'un d'eux a été testé sur un banc d'essai qui enregistre sa poussée sur des séquences de 5 secondes, pour différentes valeurs de n et V (figure 9).

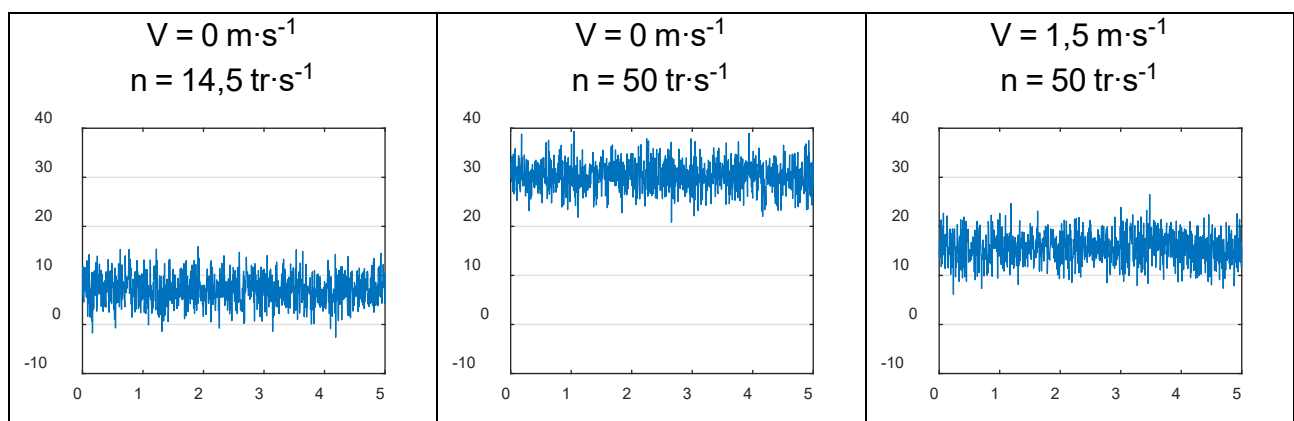


Figure 9 : poussée d'un propulseur (en N) au cours du temps (en s)

Question 1.9 Pour chaque configuration expérimentale présentée à la figure 9, **indiquer** la valeur moyenne de la poussée T mesurée durant l'essai. **Décrire** succinctement l'évolution de T en fonction de n et V .

Le modèle multiphysique utilisé pour simuler le comportement dynamique du drone est représenté sur le document réponse DR2.

Question 1.10 **Justifier** la présence du bloc « $\times 2$ » dans le modèle multiphysique. **Repasser** en couleur, sur le document réponse DR2, la connexion qui, dans ce modèle, permet de prendre en compte la vitesse du drone dans le calcul de la poussée.

Le modèle multiphysique est utilisé pour simuler le comportement dynamique du drone, initialement à l'arrêt, à partir de l'instant où les propulseurs longitudinaux sont actionnés, puis maintenus à une fréquence de rotation constante. La fiche de spécifications techniques du constructeur annonce :

- une consommation maximale de 350 W pour chaque propulseur ;
- une vitesse maximale de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pour le drone.

Les résultats de simulation sont représentés sur la figure 10.

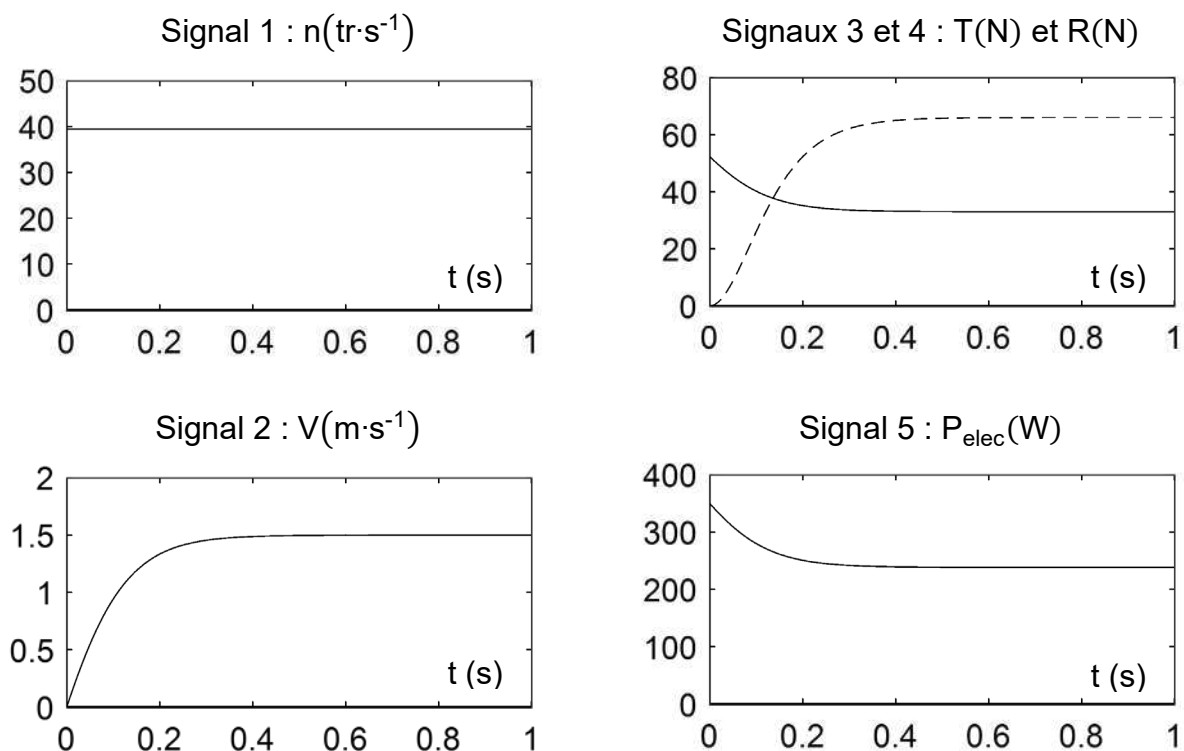


Figure 10 : résultats de la simulation multiphysique

Question 1.11 **Valider** les caractéristiques annoncées par le constructeur en utilisant les résultats de simulation présentés à la figure 10. **Justifier** l'évolution des signaux 2, 3 et 4 au cours du temps.

Sous-partie 3

Enregistrement des prises de vues sous-marines

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser la gestion de la durée d'enregistrement de la caméra et l'affichage de cette durée dans l'interface utilisateur.

Une image au format numérique est caractérisée par :

- sa définition avec
définition = nombre de pixels en hauteur x nombre de pixels en largeur ;
- sa taille avec
taille de l'image = définition x profondeur de couleur.

Le constructeur donne les caractéristiques de la caméra présentées figure 11.

Caméra	
Définition en mode Full HD	1920 × 1080
Définition en mode HD	1280 × 720
Profondeur de couleur	24 bits

Figure 11 : caractéristiques de la caméra du drone

Question 1.12 À l'aide des données de la figure 11, **montrer** par le calcul que la taille d'une image en full HD est d'environ 50 millions de bits.

La « profondeur de couleur » est un nombre de bits qui conditionne le nombre de couleurs distinctes que peut prendre chaque pixel dans l'image.

Question 1.13 Pour une profondeur de couleur de 24 bits, **indiquer** combien de bits sont disponibles pour coder l'intensité de chacune des trois couleurs de base (rouge, vert, bleu). En **déduire** le nombre de niveaux d'intensité qui peuvent être distingués pour chaque couleur de base.

Une vidéo est constituée d'images défilant suffisamment rapidement (30 images par seconde) pour que l'œil humain ne perçoive pas de saccades. Les fichiers sont enregistrés au format MP4, qui utilise un procédé mathématique complexe pour compresser la vidéo (taille finale divisée par 20), sans dégrader la qualité perçue.

Pour rappel : 1 Giga-octet (Go) = 1024 Mega-octets (Mo)
1 Mega-octet (Mo) = 1024 kilo-octets (ko)
1 kilo-octet (ko) = 1024 octets

Question 1.14 Dans le mode Full HD, **calculer** la taille en Giga-octets du fichier MP4 obtenu lors d'un parcours-type d'une durée de 30 minutes.

Pour la suite, la taille de la vidéo est de :

- 15,6 Go en mode Full HD ;
- 7 Go en mode HD.

Le module de surface permet d'exploiter (télécharger ou visualiser en direct) la vidéo prise par le drone sous-marin.

Question 1.15 Dans le mode Full HD, **calculer** le nombre de parcours-type de 30 minutes que l'on peut stocker sur la carte SD de 64 Go.

L'interface utilisateur affiche en temps réel la durée d'enregistrement possible en fonction de l'espace mémoire encore disponible sur la carte. Pour cela, la fonction `calcul_duree` est utilisée (voir figure 12). Elle a pour paramètres d'entrée la capacité de la carte, l'espace déjà occupé sur celle-ci et le mode d'acquisition (Full HD ou HD). Cette fonction renvoie comme valeur de sortie la durée restante.

<code>capacite_carte</code>	Capacité nominale de carte en Go
<code>taille_occupee</code>	Espace occupé sur la carte en Go
<code>mode_video</code>	Mode d'acquisition : 0 pour le mode HD 1 pour le mode Full HD
<code>duree_restante</code>	Durée restante en minutes

Figure 12 : paramètre de la fonction `calcul_duree`

Question 1.16 Sur le document réponse DR3, **compléter** le code Python de la fonction `calcul_duree`.
DR3

Document réponse DR1

Question 1.2

Éléments du drone	Puissance consommée
Caméra + capteurs	6 W
Projecteur à LED	
Propulseur longitudinal gauche	
Propulseur longitudinal droit	
Propulseur vertical	
Propulseur transversal	

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

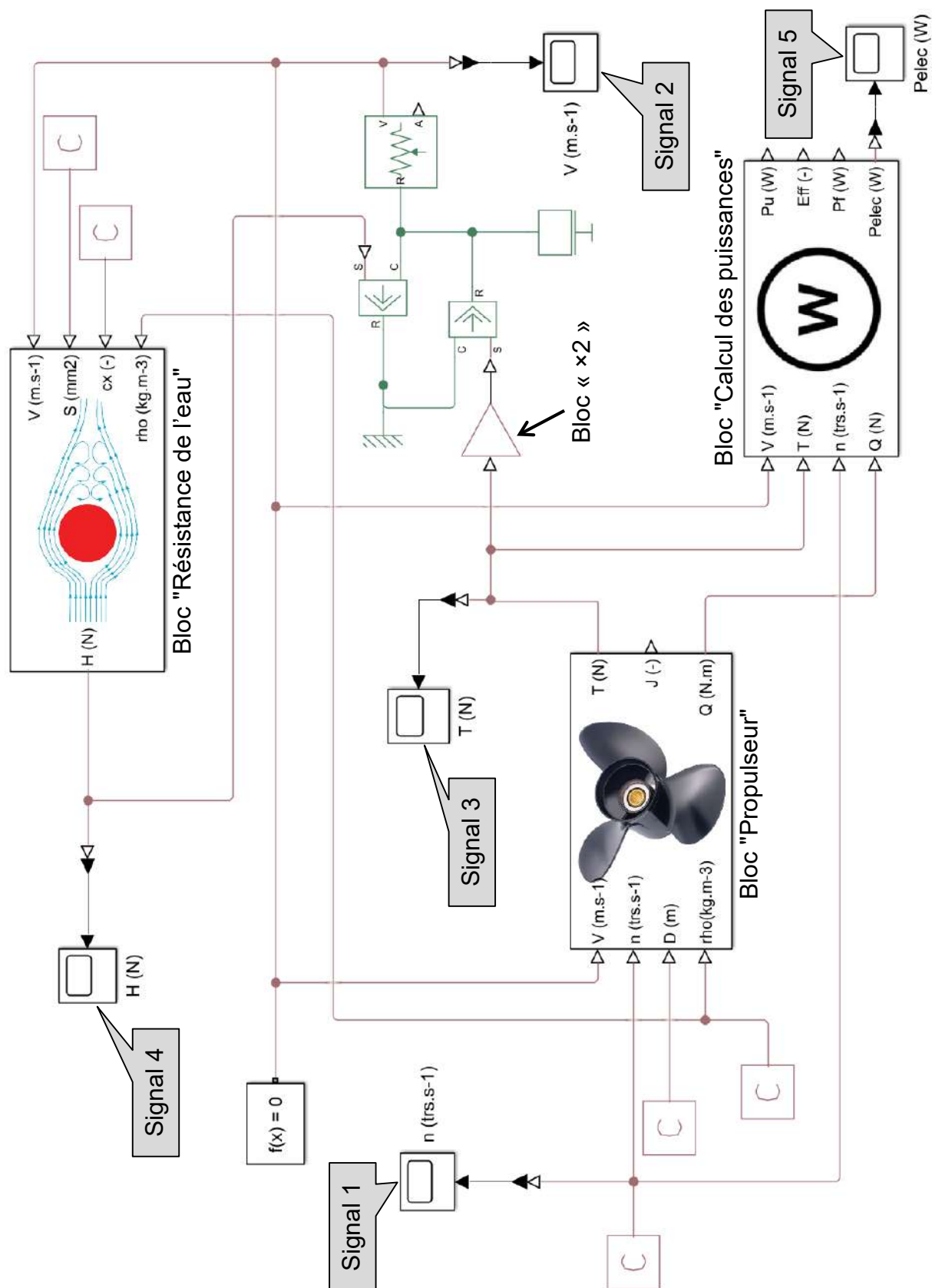
N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Question 1.10



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Question 1.16

```
def calcul_duree(capacite_carte,taille_occupee,mode_video):  
    # calcul de la duree restante sur la carte  
    taille_restante=  
    if mode_video==  
        debit=0.5214      # en Go par minute  
    else:  
        debit=0.2317      # en Go par minute  
    duree_restante=  
    return(duree_restante)
```


Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A - Un brin en matière synthétique

Les violonistes frottent habituellement leurs cordes à l'aide de brins en matière naturelle issus de la crinière de chevaux. De nouveaux brins en matière synthétique sont de plus en plus utilisés par les musiciens.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le diamètre du nouveau brin en matière synthétique à l'aide du phénomène de diffraction et de le comparer au diamètre d'un brin prélevé sur la crinière de chevaux.

Données :

- Longueur d'onde du laser : $\lambda = 6,5 \times 10^{-7} \text{ m}$ avec une incertitude-type $u(\lambda) = 0,1 \times 10^{-7} \text{ m}$;
- Distance entre le brin et l'écran $D = 1,7 \text{ m}$;
- Largeur de la tache centrale notée L , l'incertitude-type associée est $u(L) = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$.

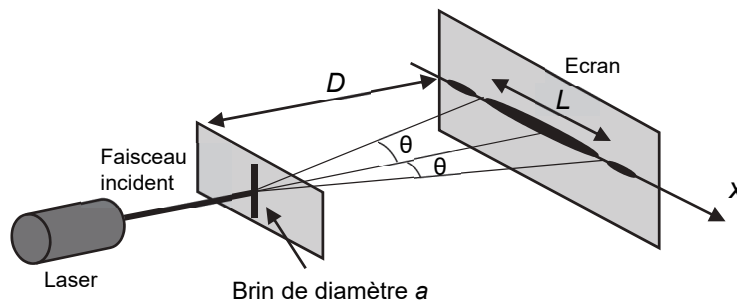


Figure 1. Schéma du montage de diffraction d'un faisceau laser par un brin

Le demi-angle caractéristique de diffraction θ , en radians, a pour expression : $\theta = \frac{\lambda}{a}$; θ étant petit, on peut considérer que la valeur de la tangente de θ est égale à θ : $\tan \theta = \theta$.

Q1. À l'aide de la figure 1, donner l'expression de θ en fonction de la distance D entre le brin et l'écran et de la largeur L de la tache centrale.

Q2. Montrer que le diamètre a du brin en matière synthétique a pour expression $a = \frac{2D\lambda}{L}$.

Une simulation permet d'obtenir la distribution de l'intensité lumineuse sur l'écran :

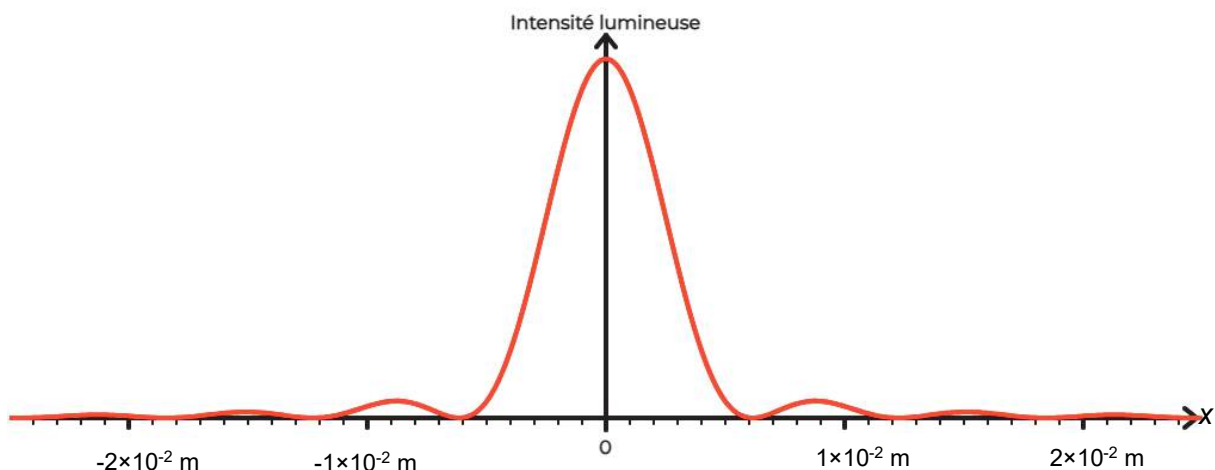


Figure 2. Distribution de l'intensité lumineuse pour le brin en matière synthétique

Q3. À l'aide de la figure 2, montrer que la valeur du diamètre a du brin en matière synthétique est environ égale à $1,8 \times 10^{-4}$ m.

Une bonne estimation de l'incertitude-type associée à a est donnée par la relation : $u(a) = a \frac{u(L)}{L}$

Q4. Calculer l'incertitude-type $u(a)$ associée au diamètre du brin en matière synthétique.

Q5. En tenant compte de l'incertitude-type, vérifier si le résultat du diamètre du brin en matière synthétique obtenu expérimentalement est en accord avec celui du brin issu de la crinière du cheval, qui vaut $1,7 \times 10^{-4}$ m.

EXERCICE B – Le destin funeste de la planète Kepler-1658b

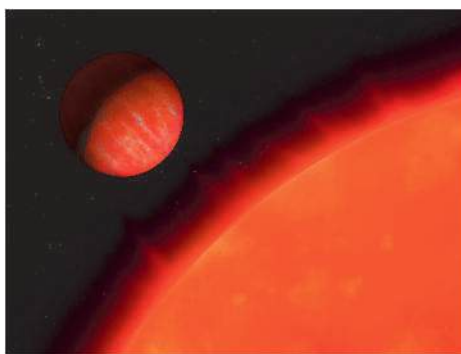


Figure 1. Vue d'artiste de la planète Kepler-1658b se rapprochant de son étoile Kepler-1658
(Science&Vie le 2 janvier 2023)

L'exoplanète Kepler-1658b est la toute première exoplanète observée par le télescope spatial Kepler. Elle se trouve sur une orbite très proche de son étoile (le rayon de l'orbite est estimé à 7,25 millions de kilomètres), ce qui fait que la température de la planète est très élevée. C'est la première fois que des astronomes découvrent une exoplanète comme Kepler-1658b et son destin tragique : elle va tellement s'approcher de son étoile (figure 1) qu'elle finira par s'y écraser, signant ainsi sa complète destruction.

D'après Science&Vie le 2 janvier 2023

Et si elle se rapproche toujours au même rythme de son étoile, elle entrera en collision avec celle-ci dans près de trois millions d'années.

D'après : <https://www.futura-sciences.com/>

L'objectif de l'exercice est de modéliser le mouvement de la planète Kepler-1658b tout d'abord au cours d'une révolution, puis sur une échelle de temps plus longue.

Données :

- masse de la planète Kepler-1658b : $m_P = 1,12 \times 10^{28}$ kg ;
- période de révolution de la planète Kepler-1658b autour de son étoile en 2023 : $T = 3,85$ jours ;
- masse de l'étoile Kepler-1658 : $m_E = 2,88 \times 10^{30}$ kg ;
- constante universelle de la gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ N·kg⁻²·m² ;
- on rappelle que pour une grandeur A : $\sqrt[3]{A} = A^{1/3}$.

La planète Kepler-1658b est assimilée à son centre de masse, P, dans le référentiel centré sur l'étoile Kepler-1658 et dont les axes pointent vers trois étoiles lointaines de directions à peu près constantes. On suppose ce référentiel galiléen au regard des durées et des distances mises en jeu. Dans un premier temps, on modélise la trajectoire de P par un cercle dont le rayon est noté r et dont le centre correspond au centre de masse de l'étoile, noté E.

Q1. Dans l'hypothèse d'un mouvement circulaire, schématiser la trajectoire de P autour de E sans souci d'échelle. Représenter le repère de Frenet associé à la planète en indiquant les vecteurs unitaires $(\vec{u}_t, \vec{u}_n)$ constituant la base de ce repère.

- Q2.** Déterminer, à l'aide de la deuxième loi de Newton, l'expression vectorielle de l'accélération de P, $\vec{a}_P$, en fonction de G , m_E , r et de la base de Frenet.
- Q3.** Dans cette hypothèse du mouvement circulaire, en déduire que le mouvement de P est uniforme et montrer que l'expression de la norme de son vecteur vitesse est :

$$v = \sqrt{\frac{G m_E}{r}}$$

On note T la période de révolution de P autour de E.

- Q4.** Montrer que l'expression du rayon de l'orbite de la planète représentée par le point P vérifie la relation :

$$r^3 = \frac{G m_E T^2}{4 \pi^2}$$

- Q5.** Déterminer la valeur de r et la comparer avec les données de l'article de *Science & Vie*.

Dans leur article paru en décembre 2022, une équipe d'astronomes a montré que la valeur de la période de révolution de la planète Kepler-1658b diminuait de 131 ms par année terrestre.

- Q6.** En admettant que cette diminution est invariante au cours du temps, vérifier qu'à chaque révolution, la période de révolution de la planète Kepler-1658b diminue de $\Delta T = 1,38$ ms.
- Q7.** Comparer cette diminution avec la période de révolution et justifier que la période T peut être considérée constante pour **un faible nombre de révolutions**.
- Q8.** Déterminer qualitativement, à l'aide de l'expression donnée à la question **Q4** qu'on supposera encore valide, si le rayon de l'orbite augmente ou diminue légèrement à chaque révolution.

Pour un grand nombre de révolutions, le mouvement de la planète Kepler-1658b est modélisé par une succession de trajectoires quasi circulaires dont le rayon varie à chaque révolution.

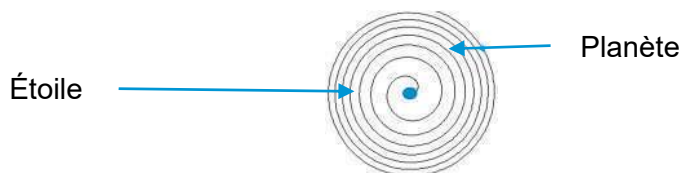


Figure 2. Représentation fictive de la trajectoire d'une planète qui « tomberait » sur son étoile

- Q9.** Le calcul de la période de révolution de la planète juste avant l'impact prévoit une valeur beaucoup plus faible (1 600 s) que celle de 2023 indiquée dans les données. En considérant que la période diminue de 131 ms par année terrestre, confirmer la prévision « si elle se rapproche toujours au même rythme, elle entrera en collision avec celle-ci dans près de trois millions d'années ».

Le candidat est invité à prendre des initiatives, et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mercredi 18 juin 2025

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 17 pages numérotées de 1/17 à 17/17.

**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 DR2 (pages 12 à 13) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Système de propulsion électrique pour fauteuil roulant



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 11
- Documents réponses..... pages 12 à 13

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 12 à 13) sont à rendre avec la copie.

Système de propulsion électrique pour fauteuil roulant

Une personne en situation de handicap, utilisant un fauteuil roulant manuel, peut difficilement effectuer de longs déplacements. Elle est limitée dans ses mouvements et a tendance à se fatiguer rapidement.

L'entreprise AAT commercialise un système de propulsion électrique se nommant Solo+. Il s'adapte sur une grande majorité des fauteuils roulants manuels.

La figure 1 présente les principaux constituants du système.

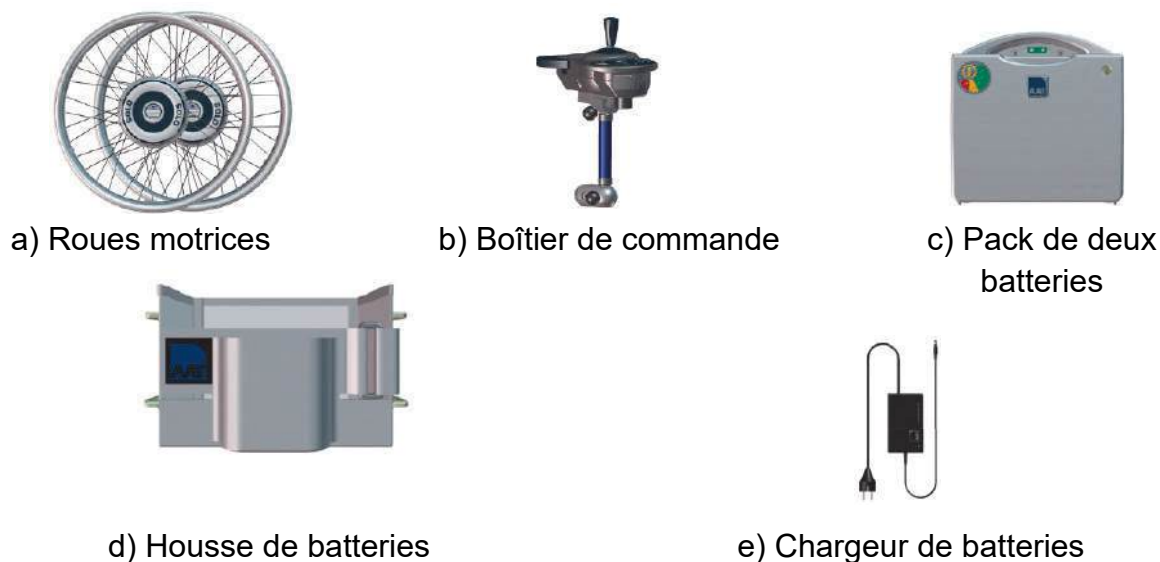


Figure 1 : éléments principaux composant le système de propulsion

Lorsque l'utilisateur ne fait que quelques petits déplacements, il peut garder son fauteuil d'origine et circuler manuellement. Par contre, pour de longs déplacements ou de fortes pentes, l'utilisateur peut modifier son fauteuil. Les deux roues d'origine sont remplacées par les deux roues motrices. Le boîtier de commande est fixé comme indiqué sur la figure 2.



Figure 2 : fauteuil roulant manuel avec accessoires

Le diagramme de définition des blocs de la figure 3 présente les caractéristiques des principaux constituants du système de propulsion.

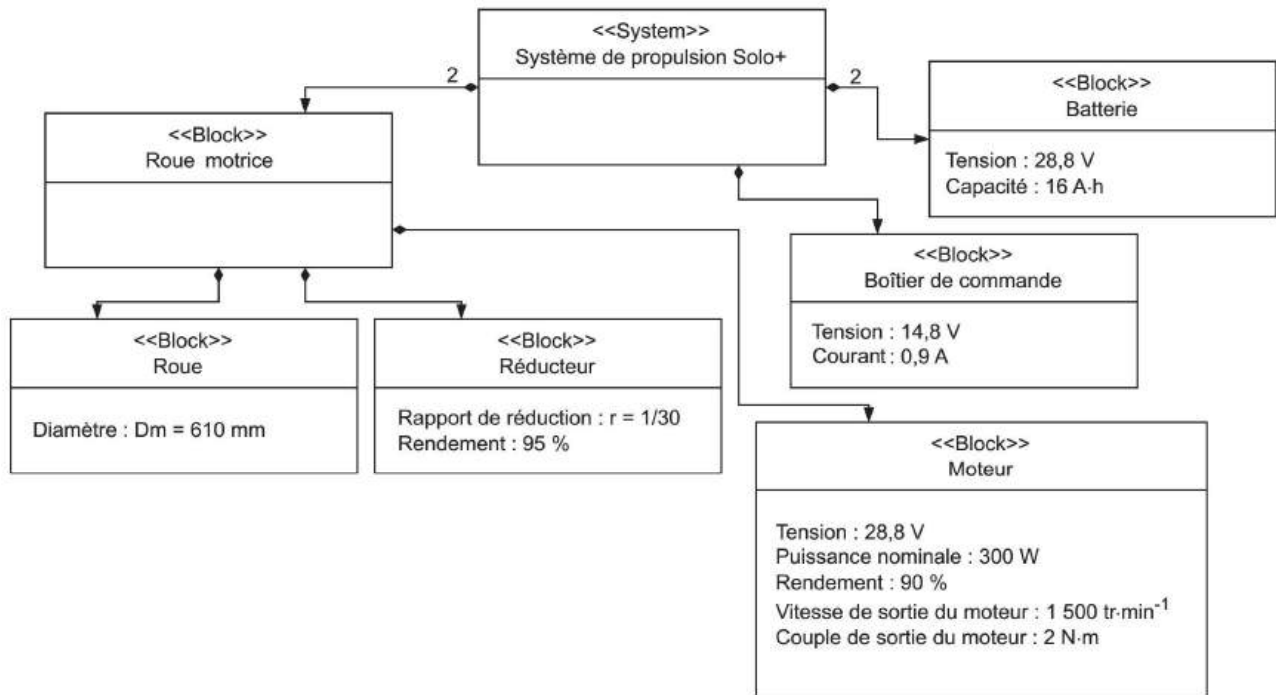


Figure 3 : diagramme de définition des blocs du système

Une fois le système mis en place, l'utilisateur peut actionner les roues motrices grâce au boîtier de commande. Le fauteuil offre la possibilité d'aller en marche avant ou en marche arrière. L'écran du boîtier de commande permet l'affichage :

- du niveau de charge de la batterie ;
- de la vitesse du fauteuil ;
- de l'activation du frein de parking ;
- de différents messages d'avertissement ou de défauts du système.

La figure 4 présente les exigences associées au système de propulsion.

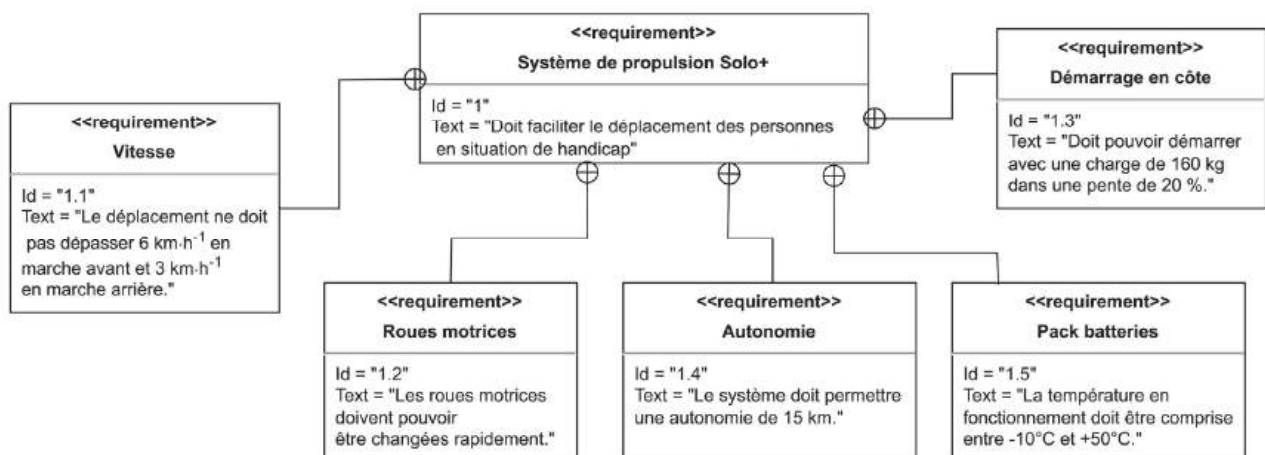


Figure 4 : diagramme des exigences du système

Sous-partie 1

Validation de l'autonomie du fauteuil

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier l'autonomie annoncée par le constructeur.

Afin de vérifier l'autonomie des deux batteries, l'étude est réalisée dans un cas général d'utilisation du fauteuil. La figure 5 représente le modèle multiphysique du système de propulsion installé sur un fauteuil roulant classique.

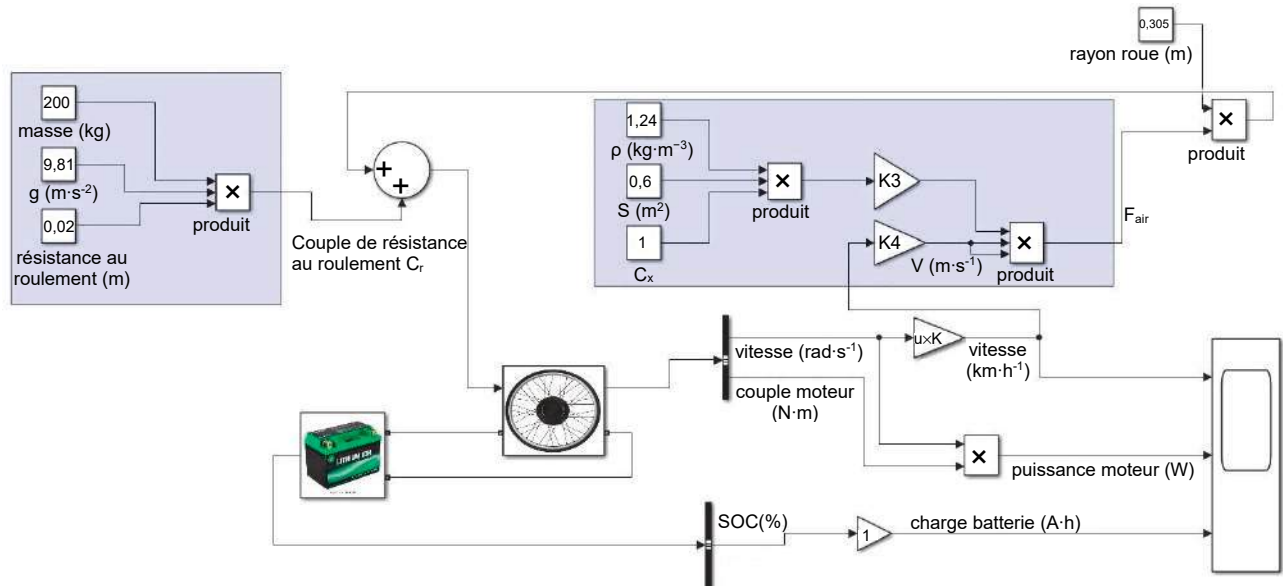


Figure 5 : modèle multiphysique du système de propulsion

Question 1.1 À partir de la figure 5, **donner** la relation définissant le couple de résistance au roulement C_r pris en compte dans le modèle. En **déduire** sa valeur numérique.

La résistance de l'air est modélisée par la force de traînée obtenue par la relation suivante :

$$F_{\text{air}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2$$

avec :

- ρ , la masse volumique de l'air en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- S , la surface résistante à l'air en m^2 ;
- C_x , le coefficient de pénétration dans l'air ;
- V , la vitesse du fauteuil roulant en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question 1.2 **Indiquer** la valeur des gains $K3$ et $K4$ du modèle multiphysique permettant le calcul de la force de traînée. **Justifier** la présence du bloc « rayon roue ».

La vitesse de déplacement du fauteuil varie entre des phases d'accélération, des phases à vitesse constante et des phases de décélération. Pour un cycle correspondant à un trajet-type d'une durée d'une minute, la vitesse de rotation des roues suit la courbe présentée en figure 6.

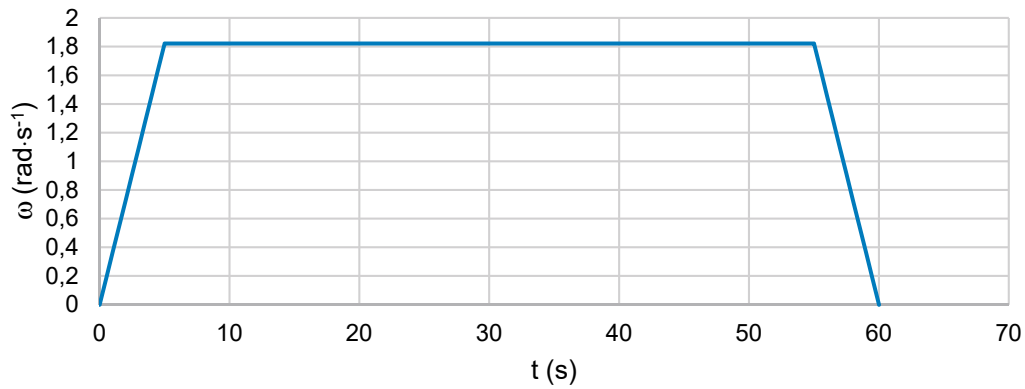


Figure 6 : courbe de la vitesse de rotation des roues en fonction du temps

Le relevé de la figure 7 représente la puissance en sortie d'un moteur en fonction du temps, en considérant la commande de vitesse de la figure 6.

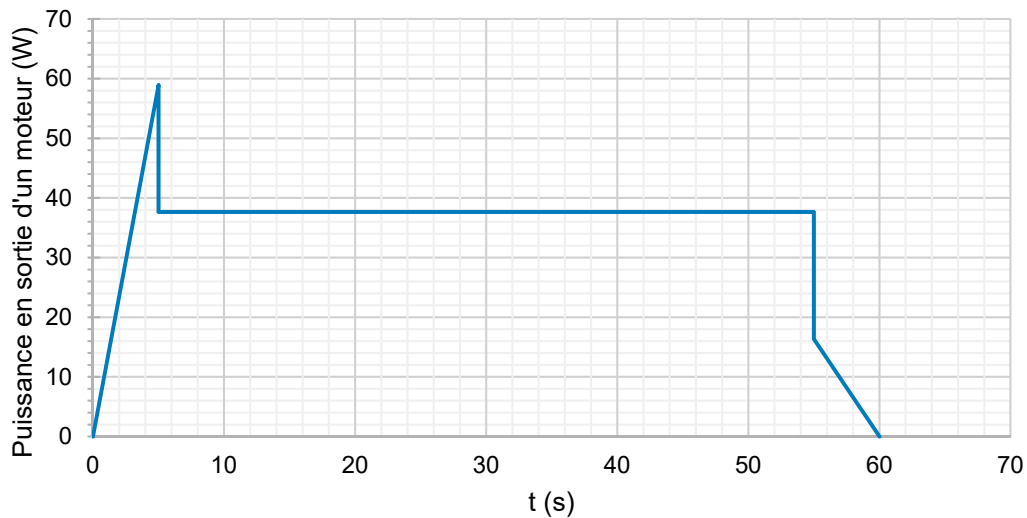


Figure 7 : courbe de la puissance en sortie d'un moteur en fonction du temps

Question 1.3 À l'aide du rendement du moteur donné figure 3 et de la figure 7, **calculer** la puissance maximale consommée par un moteur.

Question 1.4 À partir de l'aire située sous la courbe de la figure 7, **calculer** l'énergie délivrée (en J) par un moteur durant chaque phase. **Montrer** que l'énergie consommée par les deux moteurs durant ce cycle vaut 1,29 W·h.

Les données du constructeur indiquent que, pour une vitesse de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, le fauteuil doit pouvoir parcourir 15 km.

Dans ces conditions, la puissance consommée, liée à la résistance au roulement et à la traînée aérodynamique, est de 200 W pour l'ensemble des deux moteurs.

Question 1.5 **Calculer** la durée du trajet (en h) à vitesse constante. En **déduire** l'énergie (en W·h) consommée par les deux moteurs durant ce trajet.

Question 1.6 À l'aide du diagramme de définition des blocs de la figure 3, **indiquer** avec justification si l'énergie stockée dans les deux batteries est suffisante. **Conclure** sur le critère associée à l'exigence 1.4.

Sous-partie 2

Validation des motoréducteurs

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le système de propulsion est capable de transporter une personne de 160 kg sur une pente de 20 %.

Question 1.7
DR1 Sur le document réponse DR1 et à l'aide du diagramme de définition de blocs de la figure 3, **compléter** la chaîne de puissance du système de propulsion en indiquant les éléments qui assurent chaque fonction, ainsi que les grandeurs d'efforts et de flux en précisant leurs unités.

La figure 8 représente le modèle retenu pour l'étude des actions mécaniques. Elle fournit la position du centre de gravité G du fauteuil et les positions A et B des points de contact des roues avec le sol.

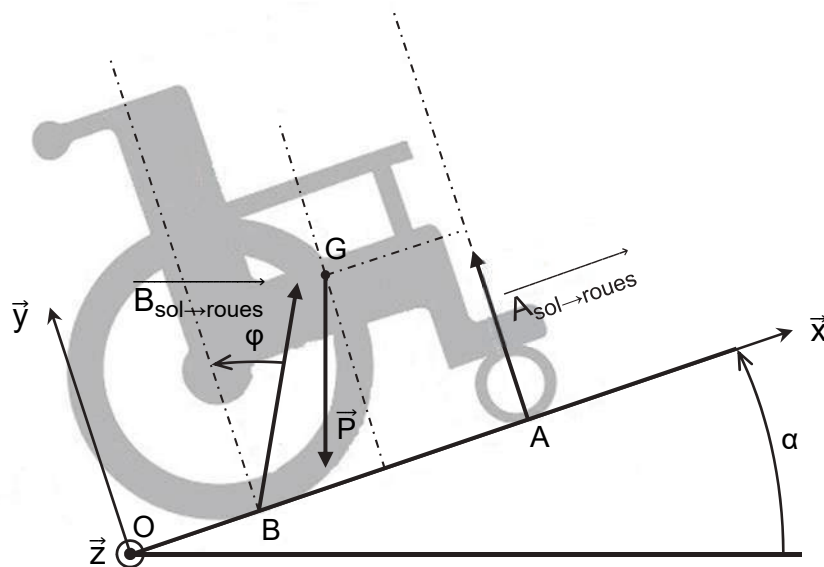


Figure 8 : modélisation des actions mécaniques extérieures exercées sur le fauteuil roulant

Hypothèses :

- le modèle présente une symétrie de géométrie et d'efforts suivant le plan $(O, \vec{x}, \vec{y})$;
- le repère $(O, \vec{x}, \vec{y})$ lié au sol est considéré galiléen ;
- les actions de l'air sur le fauteuil et la résistance au roulement sont négligées ;
- les liaisons en A et B sont des liaisons ponctuelles avec frottement ;
- l'angle α représente l'angle entre la pente et l'horizontale ;
- l'angle φ représente l'angle entre la perpendiculaire au sol et l'action $\vec{B}_{\text{sol} \rightarrow \text{roues}}$;
- l'étude se fait dans le cas d'un roulement sans glissement.

Notation : l'effort appliqué en un point quelconque D par l'extérieur sur un solide S est noté $\vec{D}_{\text{ext} \rightarrow \text{S}} = \begin{pmatrix} T_D \\ N_D \end{pmatrix}$.

Données :

- la masse totale de l'ensemble $S = \{\text{fauteuil} ; \text{personne} ; \text{système de propulsion}\}$ vaut $M = 200 \text{ kg}$;
- l'accélération de la pesanteur vaut $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Le mouvement du fauteuil est considéré comme un mouvement de translation à vitesse constante. L'étude est ainsi réalisée dans le cadre d'un problème statique.

Question 1.8 **Écrire** sous forme vectorielle les actions mécaniques extérieures $\vec{A}_{\text{sol} \rightarrow \text{roues}}$, $\vec{B}_{\text{sol} \rightarrow \text{roues}}$ et $\vec{P}$ appliquées sur le fauteuil roulant dans le repère $(O, \vec{x}, \vec{y})$, en utilisant la notation proposée.

La pente de 20 % correspond à un angle $\alpha = 11,31^\circ$ entre la route et l'horizontale.

Question 1.9 En appliquant le théorème de la résultante statique à l'ensemble S en projection sur $\vec{x}$, **déterminer** la relation entre T_B , M, g et α . **Montrer** que $T_B \approx 385 \text{ N}$.

Pour la suite, les valeurs nécessaires pour les calculs sont relevées dans le diagramme de définition des blocs de la figure 3.

Question 1.10 **Calculer** le couple en sortie d'un des deux moteurs en N·m, sachant que l'action tangentielle T_B correspond à l'action du sol s'exerçant sur les deux roues.

La vitesse du fauteuil est considérée à sa valeur maximale de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Question 1.11 **Calculer** la vitesse angulaire de la roue motrice en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$. En **déduire** la vitesse angulaire en sortie du moteur en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ puis en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Question 1.12 À l'aide des questions 1.10 et 1.11, **montrer** que la puissance nécessaire en sortie du moteur pour maintenir une vitesse de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ est d'environ 340 W. **Conclure** d'un point de vue puissance, couple et vitesse sur le choix du moteur vis-à-vis des exigences 1.1 et 1.3.

Sous-partie 3

Assurer la sécurité des utilisateurs

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que la température du pack de batteries ne dépasse pas les limites autorisées lors du fonctionnement du fauteuil.

Le boîtier de commande permet de donner des informations sur le fauteuil afin qu'il soit utilisé dans les meilleures conditions. La communication entre les différents éléments de sécurité est étudiée.

Question 1.13 DR2	Indiquer en complétant la chaîne d'information du document réponse DR2, le type d'information (analogique, logique ou numérique) fourni à la sortie du capteur de température et celui fourni au microprocesseur. En déduire le nom de l'élément permettant de convertir la grandeur électrique afin qu'elle puisse être traitée par le microprocesseur en l'indiquant sur le DR2.

Un des dispositifs de sécurité du système de commande est l'affichage d'un témoin d'alerte de la température du pack de batteries comme indiqué sur la figure 9. Il permet d'alerter sur les risques de détérioration de la batterie.



Figure 9 : affichage de la mise en garde température batteries sur le boîtier de commande

La transmission est effectuée par un bus I²C.

La liaison I²C est une communication de type maître-esclave synchrone : elle nécessite un signal d'horloge pour cadencer l'émission des données.

La liaison I²C utilise trois fils :

- SDA (Serial DAta line) pour le signal de données ;
- SCL (Serial CLock line) pour le signal d'horloge ;
- la masse.

La communication avec le boîtier de commande est schématisée sur la figure 10.

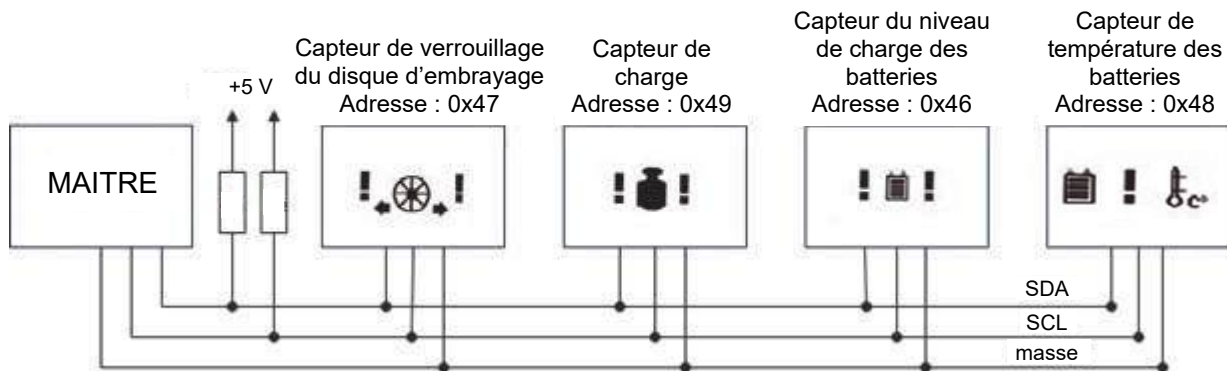


Figure 10 : schématisation de la communication avec le boîtier de commande

Lors de l'envoi d'un bit, le niveau logique de ce bit est placé sur le signal SDA. Le récepteur peut acquérir le bit lorsque le signal SCL est au niveau logique haut. Un exemple est donné en figure 11.

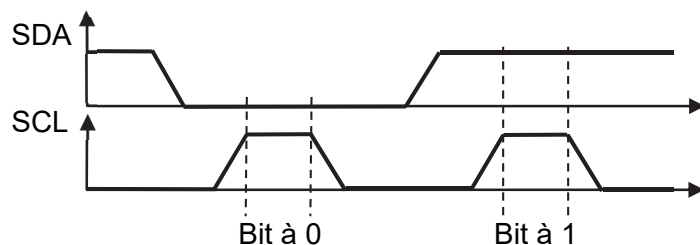


Figure 11 : exemple de signaux SDA et SCL

La trame I²C en figure 12 représente l'envoi d'un octet.

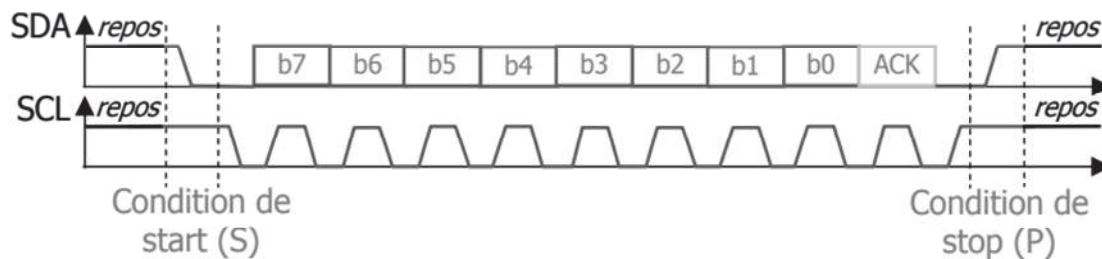


Figure 12 : trame I²C de l'envoi d'un octet

La trame I²C correspondant à une communication entre le maître et l'esclave est donnée sur la figure 13.

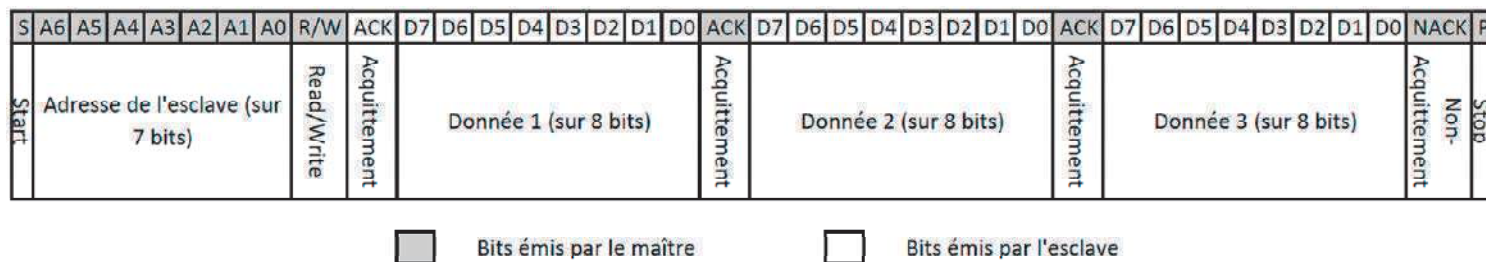


Figure 13 : trame I²C correspondant à une communication sur le bus

Les adresses de la liaison I²C sont sur 7 bits.

Question 1.14 **Calculer** le nombre d'esclaves qui peuvent être branchés sur le bus I²C utilisé. **Conclure** sur la compatibilité avec le système étudié.

Un relevé de la trame I²C est représenté à la figure 14.

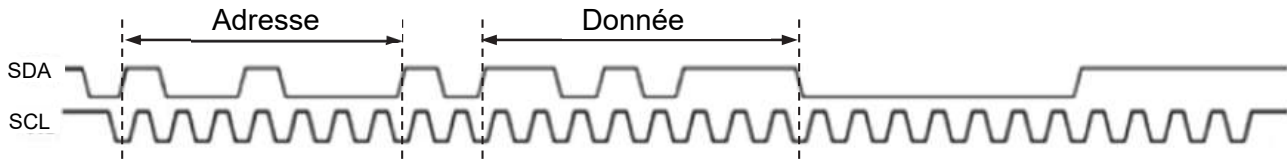


Figure 14 : trame I²C relevée sur le système

Question 1.15 À l'aide de la trame donnée figure 14, **relever** l'adresse en binaire du capteur interrogé par le maître. **Convertir** sa valeur en hexadécimal et **identifier**, à partir de la figure 10, le capteur correspondant.

Les caractéristiques du capteur de température sont les suivantes :

- la valeur numérique de sortie est codée sur 8 bits ;
- la plage de mesure s'étend de - 40°C à 85°C ;
- la valeur numérique N délivrée par le capteur s'écrit $(N)_{10} = \left\lfloor \frac{\theta}{r} + 82 \right\rfloor$ avec :
 - $\lfloor x \rfloor$ la partie entière de x ;
 - θ la température en °C ;
 - r la résolution du capteur en °C.

Question 1.16 **Montrer** que la résolution r du capteur est de 0,488°C.

La valeur de la température mesurée est relevée en binaire sur la trame de la figure 14. Elle vaut $(N)_2 = 11010111$.

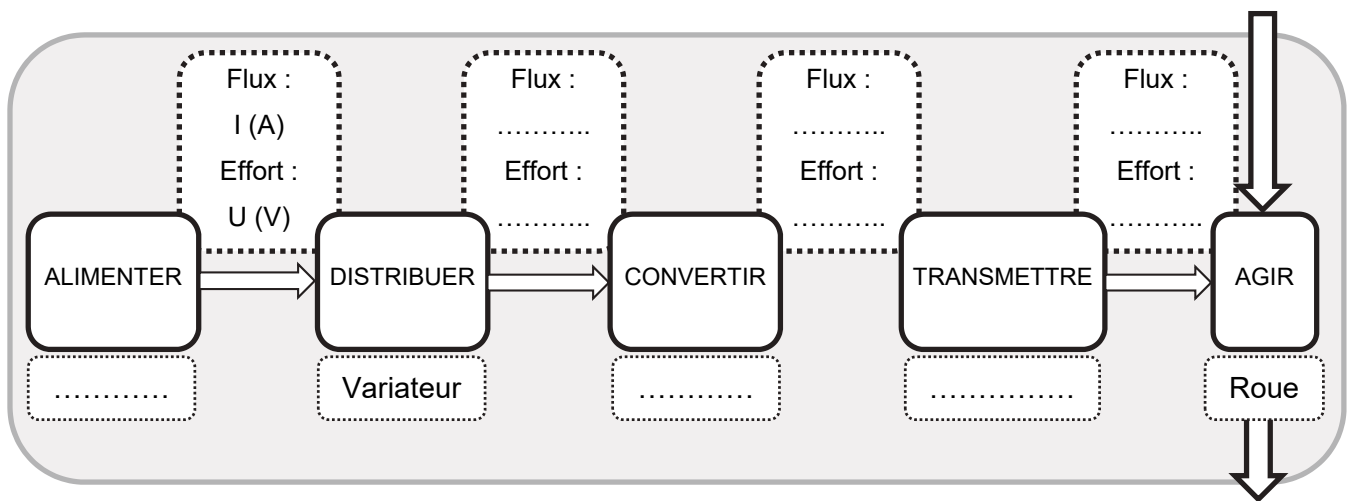
Question 1.17 **Convertir** N en décimal puis **calculer** la valeur de la température mesurée. **Analyser** cette valeur au regard de l'exigence de sécurité 1.5 de la figure 3.

Afin de respecter l'exigence de sécurité 1.5, un message de défaut doit être affiché lorsque la température de la batterie est inférieure à -10°C ou supérieure à 50°C.

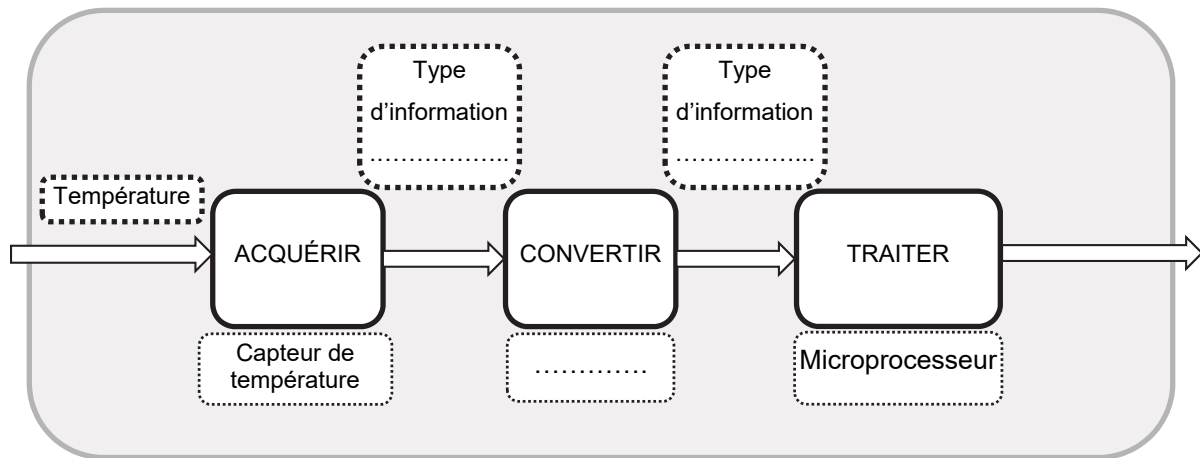
Question 1.18 **Déterminer** $N_{\min}$ et $N_{\max}$, les deux grandeurs numériques en décimal correspondant à ces deux températures seuils. Sur le document réponse DR2, **compléter** la fonction qui permet d'afficher le défaut batterie.

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Question 1.7



Questions 1.13



Question 1.18

```
# message d'alerte
# la variable temp contient la valeur de la température codée
# entre 0 et 255
def alerte_bat() : # permet d'envoyer un message d'alerte.
    if _ _ _ _ _ : # À compléter
        print ( « Défaut batterie »)
    else :
        print (« Pas de défaut batterie »)
return
```

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Ariane 6 : un déluge d'eau pour se protéger du bruit

Le 9 juillet 2024, la fusée Ariane 6 a décollé avec succès depuis le Centre spatial guyanais de Kourou.

Au moment du décollage, 800 000 litres d'eau sont déversés sur le pas de tir (au pied de la fusée) en quelques dizaines de secondes, c'est ce que l'on appelle le déluge.



Figure 1. D'après une vidéo du CNES :
Le système de déluge de la zone de lancement d'Ariane 6

En plus de l'atténuation des effets thermiques du décollage, l'objectif principal du déluge est de faire comme un mur d'eau qui absorbe en partie l'onde acoustique produite par le décollage et atténue le niveau sonore qui aurait pu atteindre, sinon, 180 dB.



Figure 2. Niveaux d'intensité sonores et dangers pour l'oreille, d'après <https://www.inrs.fr>

Données :

- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Relation entre le niveau d'intensité sonore L en décibels (dB) et l'intensité sonore I :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

- L'atténuation $A_{d_1 d_2}$ lorsqu'on passe d'une distance d_1 à une distance d_2 de la source sonore s'exprime par les relations :

$$A_{d_1 d_2} = L_2 - L_1 = 20 \log \left(\frac{d_2}{d_1} \right)$$

- L'atténuation est comptée toujours positive dans cet exercice.

Un observateur se place dans un premier temps à une distance $d_1 = 1,0 \text{ m}$ du pas de tir. Sans déluge d'eau, le niveau d'intensité sonore perçu à la distance $d_1 = 1,0 \text{ m}$ vaut $L_{1,\text{sans}} = 180 \text{ dB}$. Avec le déluge, l'intensité sonore vaut $I_{1,\text{avec}} = 0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q1. Montrer que le niveau d'intensité sonore $L_{1,\text{avec}}$ du son produit au décollage à la distance $d_1 = 1,0 \text{ m}$ après son passage à travers le mur d'eau vaut $L_{1,\text{avec}} = 110 \text{ dB}$.

Q2. En exploitant la figure 2, indiquer si cet observateur encourt un risque auditif au moment du décollage en présence du déluge d'eau.

Q3. Calculer l'atténuation $A_{\text{avec}} = L_{1,\text{sans}} - L_{1,\text{avec}}$ en décibels qui a alors lieu grâce au déluge d'eau.

L'observateur se trouve désormais à une distance d_2 du pas de tir.

Q4. En l'absence du déluge d'eau, estimer la valeur de la distance d_2 de sorte que le niveau sonore ne dépasse pas $L_{2,\text{sans}} = 95 \text{ dB}$.

Les fusées Ariane sont lancées depuis Kourou, en Guyane française. Le site d'observation est situé à Carapa à 18 km du pas de tir.

Q5. Commenter l'intérêt acoustique du déluge d'eau pour un observateur situé à Carapa.

EXERCICE B – Position de l'ISS en temps réel

La station spatiale internationale (ISS) est en orbite quasi circulaire autour de la Terre. Elle abrite un équipage d'astronautes qui se consacrent à la recherche scientifique dans un environnement spatial.

Il est possible de suivre la position de la station ISS en temps réel sur le site Astropleiades :

<http://www.astropleiades.fr/pages/multimedia/ou-se-trouve-l-iss.html>

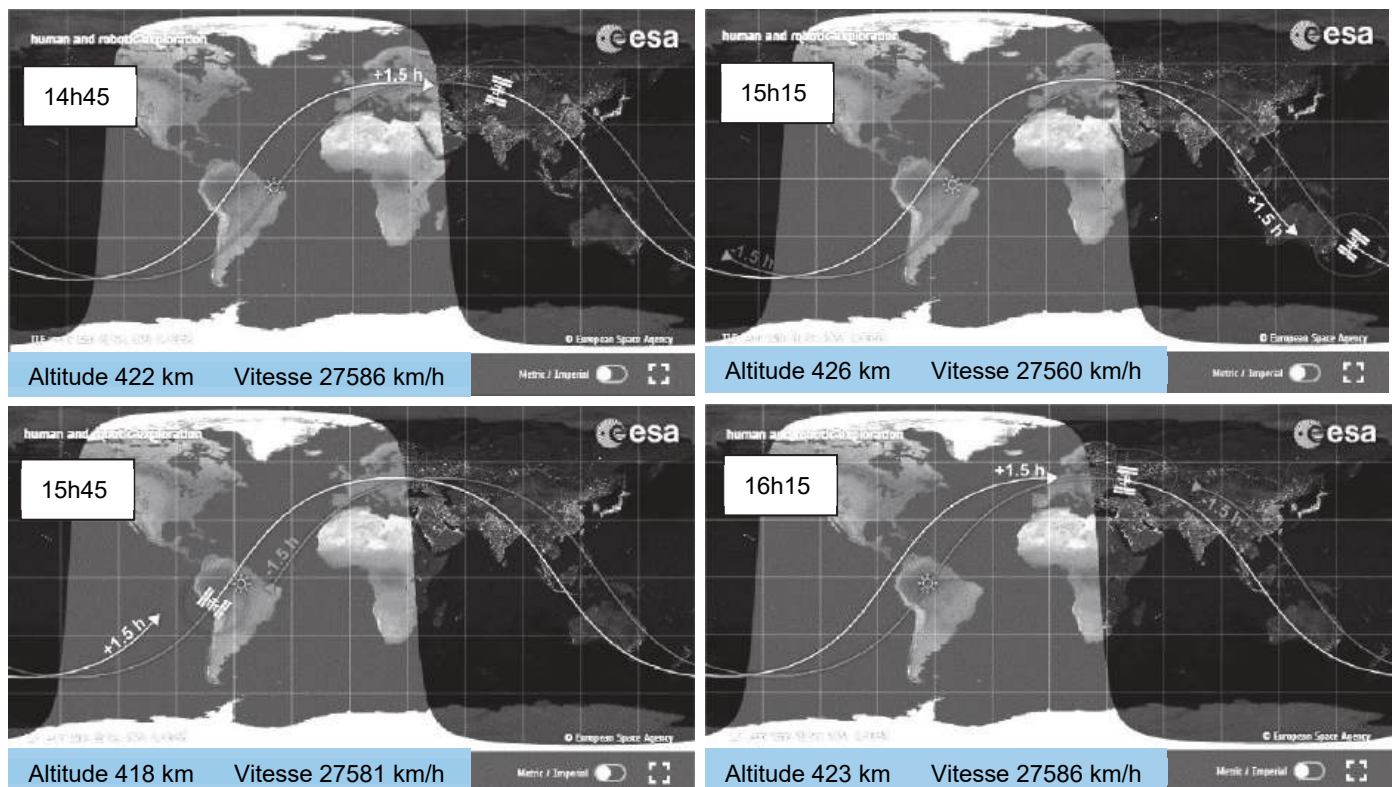


Figure 1. Captures d'écran relevées toutes les 30 min le 28/09/2022 entre 14h45 et 16h15

Le site fournit une modélisation de la trajectoire de l'ISS dans le référentiel terrestre au cours du temps. Il donne aussi des mesures effectives de l'altitude h de l'ISS par rapport au sol et de sa vitesse v dans le référentiel géocentrique à un instant donné.

Le site affiche aussi la trajectoire lors du précédent passage et celle du futur passage.

On peut observer sur cette carte la modélisation du jour (zone éclairée) et de la nuit (zone sombre) des différentes parties du globe terrestre à la date d'observation.

L'objectif de cet exercice est de vérifier le nombre total (arrondi à l'entier le plus proche) de levers et de couchers de Soleil auquel les astronautes assistent chaque jour à partir des données fournies par le site Astropleiades.

Données :

- rayon de la Terre : $R_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$.

On choisit de modéliser le mouvement du satellite par le mouvement circulaire uniforme de son centre de masse S sous l'action de la seule force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre dans le référentiel géocentrique supposé galiléen au regard des distances et des durées mises en jeu.

- Q1.** Réaliser un schéma simple, sans souci des proportions mises en jeu, de la situation et y faire figurer la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par la Terre sur le point S, le rayon R_T de la Terre, l'altitude h à laquelle évolue la station ISS et les vecteurs unitaires $\vec{u}_n$ et $\vec{u}_t$ de la base de Frenet placée en S.
- Q2.** En appliquant la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de S.
- Q3.** Représenter, sans souci des proportions, le vecteur accélération $\vec{a}$ sur le schéma réalisé à la question Q1, après avoir précisé sa direction et son sens.
- Q4.** Montrer que l'expression de la valeur v de la vitesse de l'ISS évoluant autour de la Terre à l'altitude h s'écrit :

$$v = \sqrt{\frac{G M_T}{R_T + h}}$$

- Q5.** Dédurre, en exploitant la relation précédente, l'expression de la masse M_T de la Terre en fonction de v , R_T , G et h .
- Q6.** Relever les valeurs d'altitude et de vitesse sur la capture d'écran réalisée à 15h15 de la figure 1 puis effectuer le calcul de la masse de la Terre M_T en supposant que la vitesse et l'altitude sont à peu près constantes.
- Q7.** Calculer la durée d'une révolution de l'ISS. Justifier la cohérence du résultat avec la figure 1.
- Q8.** Les astronautes, à bord de l'ISS, assistent à environ 16 levers et couchers de Soleil par jour. Vérifier cette affirmation par un calcul simple.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **3 h 30**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h 30** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 24 pages numérotées de 1/24 à 24/24.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR2 (pages 18 à 19) sont à rendre avec la copie.

Rééducation robotisée LOKOMAT

Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 17
- Documents réponses..... pages 18 à 19

**Le sujet comporte trois sous-parties indépendantes qui
peuvent être traitées dans un ordre différent.**

**Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 18 à 19) sont à rendre avec la
copie.**

Mise en situation

Le Lokomat est un système complexe, utilisé en milieu hospitalier, permettant aux patients qui ont subi des troubles neurologiques d'inciter les articulations et les parties de la jambe à reprendre les sensations de la marche, sans l'assistance d'un personnel médical et avec un effort variable de la part du patient lui-même.

Pour améliorer ces techniques et réduire la charge physique contraignante des thérapeutes, il a été développé une « orthèse de marche forcée » (appareil orthopédique) à la fin des années 1990, au centre paraplégique universitaire hospitalier de Zürich. Ce dispositif est maintenant connu sous le nom de Lokomat.

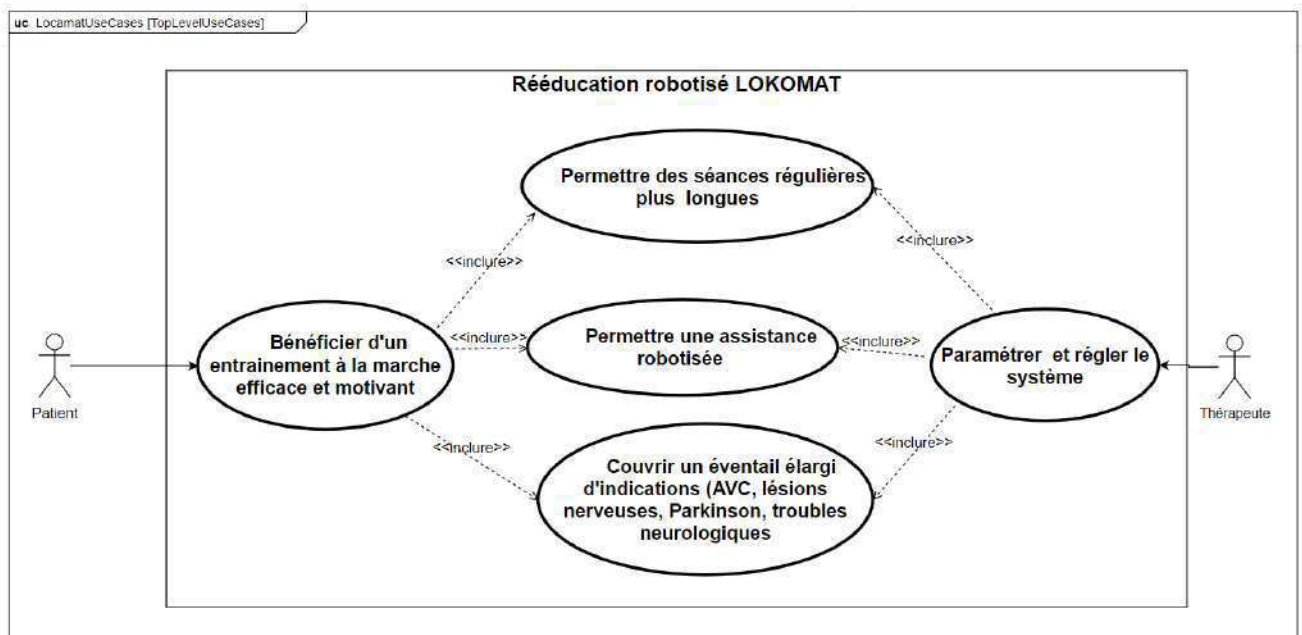


Figure 1 : Diagramme des cas d'utilisation

Le Lokomat est constitué d'une orthèse de marche robotisée et motorisée qui guide les jambes du patient sur un tapis roulant. Il est accompagné d'un système de compensation du poids du corps du patient et d'un écran de contrôle qui permet de mesurer l'activité du patient et d'ajuster le niveau d'assistance à la marche pour chaque jambe.

La description technique du Lokomat et les performances attendues sont décrites par les figures 2 et 3.

La problématique générale abordée dans ce sujet est la suivante :

En quoi cet appareil de rééducation robotisée améliore-t-il les techniques de rééducation traditionnelle ?

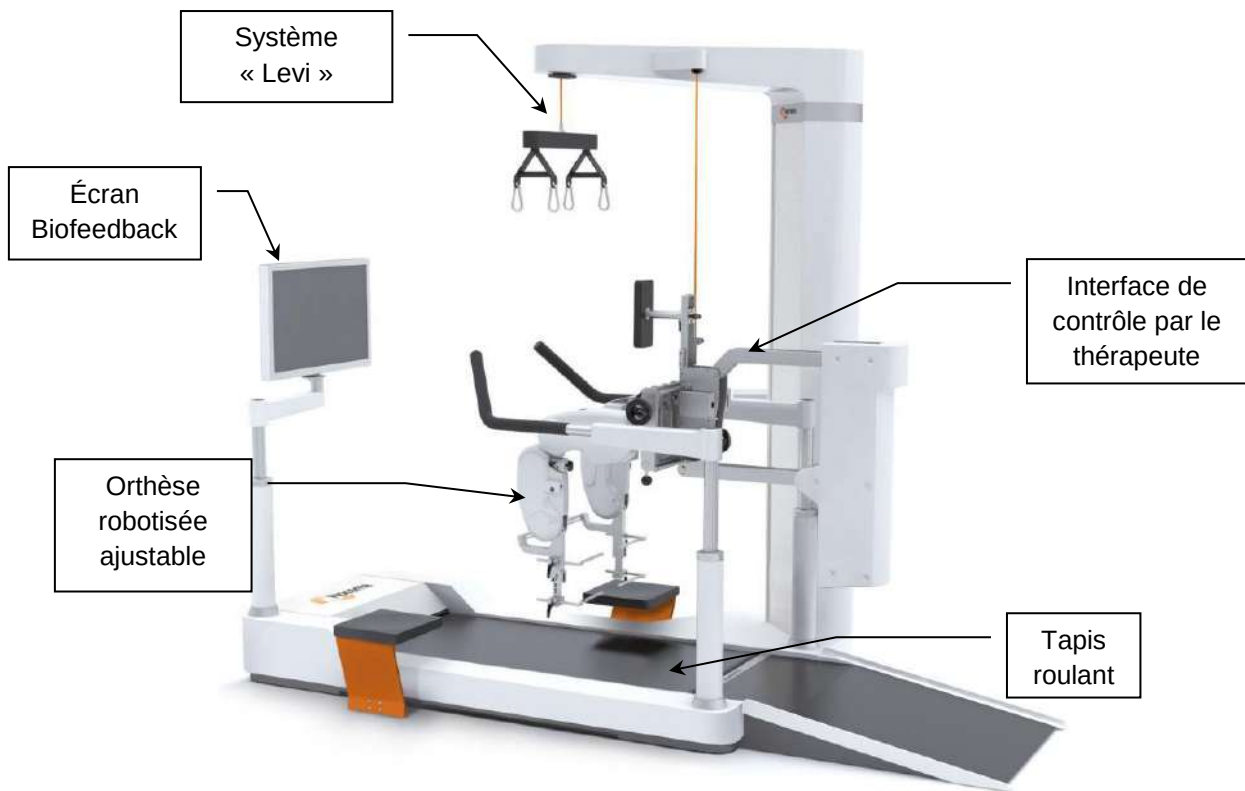


Figure 2 : Système de rééducation Lokomat

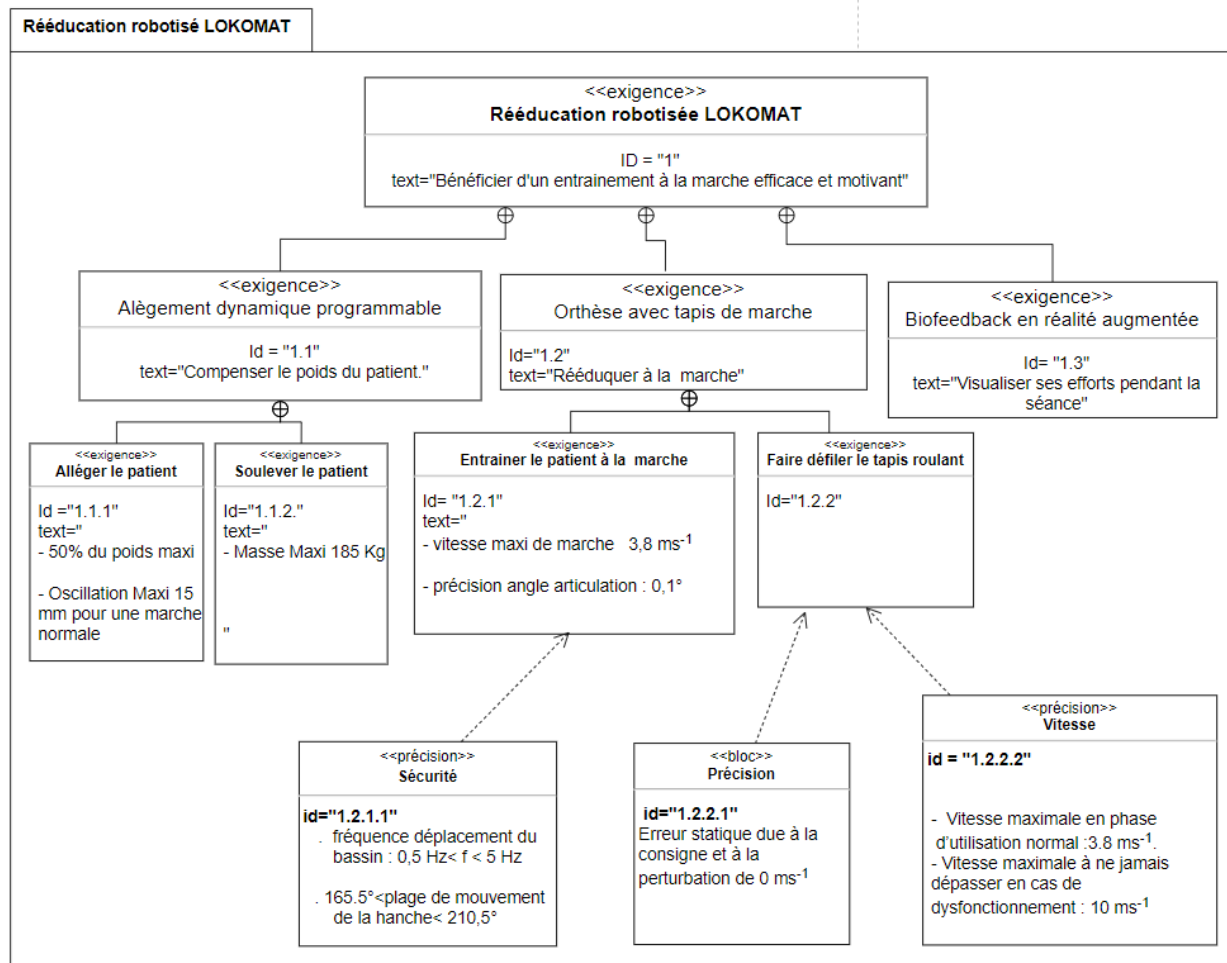


Figure 3 : Diagramme partiel des exigences

Sous-partie 1 : Étude du confort du patient durant l'activité physique de marche

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser les solutions mises en œuvre pour assurer la compensation dynamique du poids du patient et sa stabilité optimale.

Étude statique du système Levi du Lokomat à l'arrêt :

Afin de faciliter la rééducation du patient, le Lokomat a la capacité de le soulager en le déchargeant d'une partie de son poids propre grâce au système de suspension « Levi » (figure 4).

Une fois le patient installé dans l'orthèse grâce à un vérin électrique, le praticien a la possibilité de régler le délestage à l'aide d'une télécommande. Ce délestage consiste à utiliser un ressort précontraint qui permet de compenser une partie du poids du patient. En fonction de l'importance de ce délestage, le patient ne ressent plus qu'une partie de son poids propre pendant l'exercice. Ainsi, le praticien peut prévoir des entraînements réguliers pendant plusieurs semaines durant lesquels le système « Levi » est de moins en moins sollicité (poids de délestage de plus en plus faible), jusqu'à ce que le patient retrouve toute sa mobilité en supportant son propre poids.

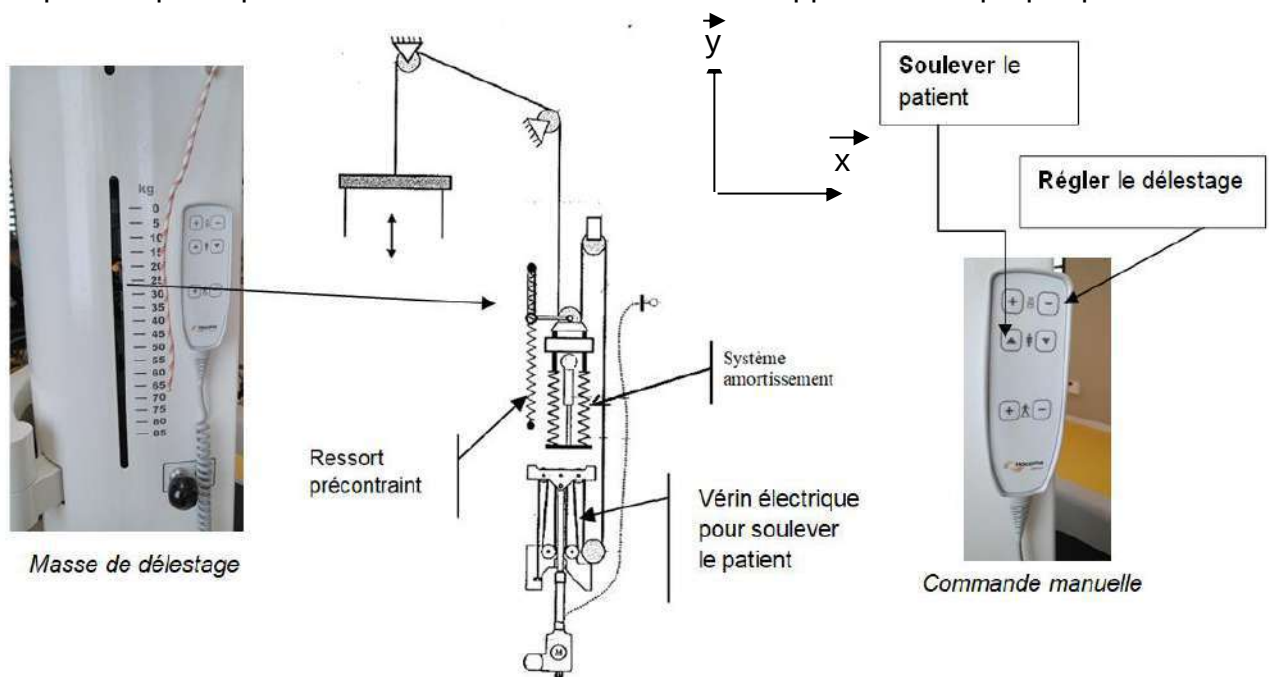


Figure 4 : Le système « Levi »

Pour la suite du sujet, on notera :

- P_d le poids de délestage ;
- P le poids propre du patient ;
- P_a le poids apparent du patient (ressenti après délestage).

La relation entre ces trois grandeurs est la suivante :

$$\vec{P}_a = \|\vec{P}\| \cdot \vec{y} - \|\vec{P}_d\| \cdot \vec{y} = (\|\vec{P}\| - \|\vec{P}_d\|) \cdot \vec{y}$$

L'accélération de la pesanteur est égale à $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question 1	À l'aide du diagramme des exigences figure 3, calculer le poids maximal P_{d_max} que le système peut délester.
Figure 3	Déduire la plage de valeurs que peut prendre le poids apparent P_a selon les valeurs maximale et minimale de délestage du patient le plus lourd (P_{amin} et P_{amax} sont notés comme les deux poids <i>extremums</i>).

Le schéma de la figure 5 est une première modélisation très simplifiée du système de compensation. Le système est réduit à un ensemble (ressort – masse ponctuelle). On négligera dans un premier temps l'amortissement du système « Levi ».

- La situation (a) correspond au système « Levi » non chargé, c'est-à-dire sans patient.
- La situation (b) correspond au système « Levi » à l'arrêt, supportant un patient avec la compensation réalisée grâce au ressort précontraint. Pour cette configuration, la masse ponctuelle est soumise à l'action du câble et du ressort, une fois le délestage réglé. Le tout est en équilibre.
- La situation (c) correspond à la modélisation dynamique du patient en activité autour de la position d'équilibre y_0 .

On a d'autre part l'action du ressort qui s'exprime comme suit en fonction du paramétrage proposé : $\vec{F}_{rappel} = -k \cdot (y_0 - l_0) \cdot \vec{y}$ (avec k la raideur du ressort).

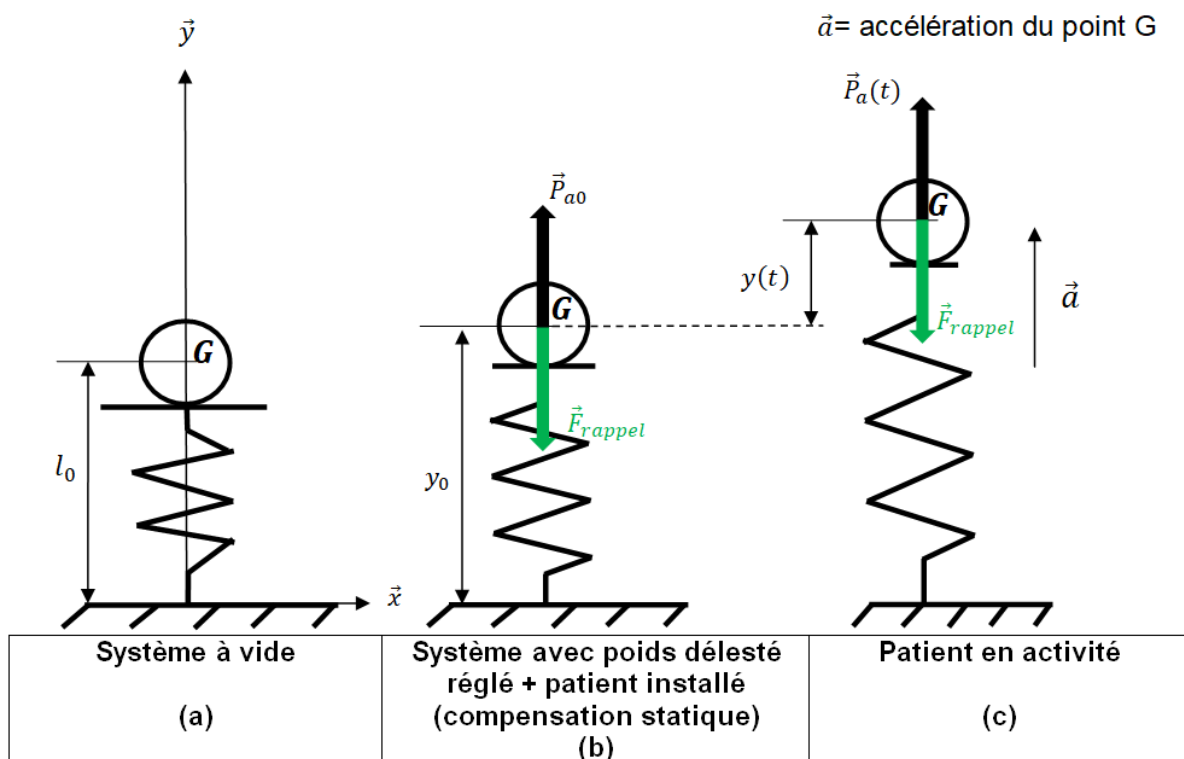


Figure 5 : Modèle masse-ressort équivalent à la dynamique de l'ensemble

Question 2	En isolant la masse ponctuelle dans la configuration (b), et en appliquant le théorème de la résultante du principe fondamental de la statique, déterminer l'allongement $\Delta y = y_0 - l_0$ du ressort en fonction de k , $\ \vec{P}\|$ et $\|\vec{P}_d\|$.
Figure 5	Calculer la valeur numérique du plus grand allongement Δy_{max} que peut subir le ressort ($k = 348 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$).

Étude dynamique du système Levi du Lokomat lors d'un entrainement :

Lorsqu'un humain se déplace, les membres de son corps subissent des mouvements verticaux (bassin, hanche, cheville, ...) durant la marche. Ces mouvements évoluent en amplitude en fonction de la vitesse de marche et de la morphologie du patient. L'enjeu du Lokomat est de limiter ces mouvements verticaux pour éviter des traumatismes.

Lors d'une étude expérimentale qui s'intéressait à la marche d'une personne quelconque dans la rue, les différentes positions verticales du bassin pour plusieurs vitesses de marche ont été relevées figure 6. La position initiale (origine dans le graphique) correspondait à la position du centre du bassin lorsque la personne était debout, immobile. La foulée moyenne était de 1,25 m.

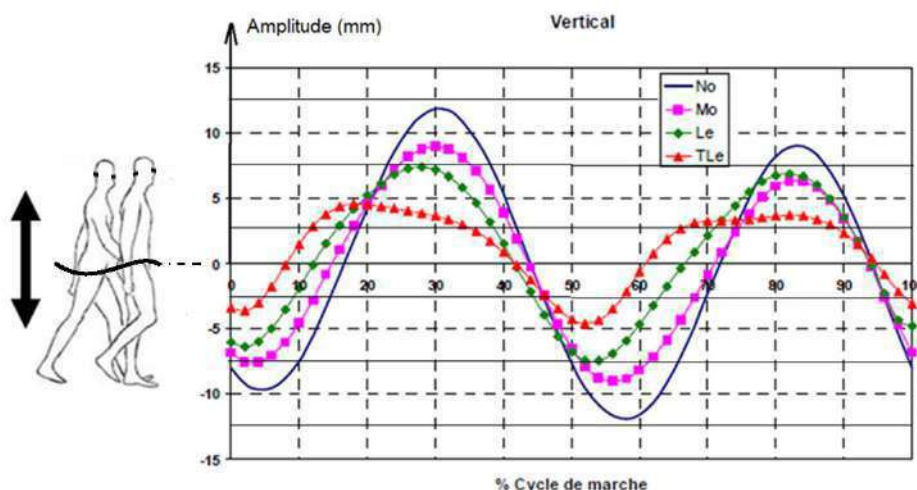


Figure 6 : Déplacement du bassin

No : marche normale $1,36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Période déplacement du bassin
 $T_{No} = 1,08 \text{ s}$

Mo : marche modérée $1,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Période déplacement du bassin
 $T_{Mo} = 0,83 \text{ s}$

Le : marche lente $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Période déplacement du bassin
 $T_{Le} = 0,64 \text{ s}$

TLe : marche très lente : $0,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Période déplacement du bassin
 $T_{TLe} = 0,36 \text{ s}$

Un cycle de marche pour un membre est défini comme la durée du contact du membre, jusqu'à la prochaine apparition du même événement sur le même membre (contact du pied droit au prochain contact du même pied).

La relation suivante est donnée : pulsation (en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) $\omega = 2\cdot\pi\cdot f$ avec f la fréquence en hertz.

Question 3	Calculer pour chaque vitesse de marche No, Mo, Le, et TLe, la fréquence et la pulsation du déplacement du bassin.
Figure 6	

Afin de pouvoir corriger le déplacement vertical du patient sur le Lokomat, il est nécessaire de définir un modèle de simulation. L'étude se limitera à la marche normale No où l'oscillation est de type sinusoïdal. Dans une première approche, le modèle dynamique représenté par le schéma de la figure 5 situation (c) est considéré, auquel a été ajouté un bloc amortisseur. Le modèle conçu à l'aide d'un logiciel de simulation est détaillé figure 7. L'amortissement du système « Levi » étant faible, le coefficient d'amortissement sera faible.

La fonction $y(t)$ correspond à l'amplitude de déplacement vertical du bassin du patient en fonction du temps à partir de la position d'équilibre y_0 .

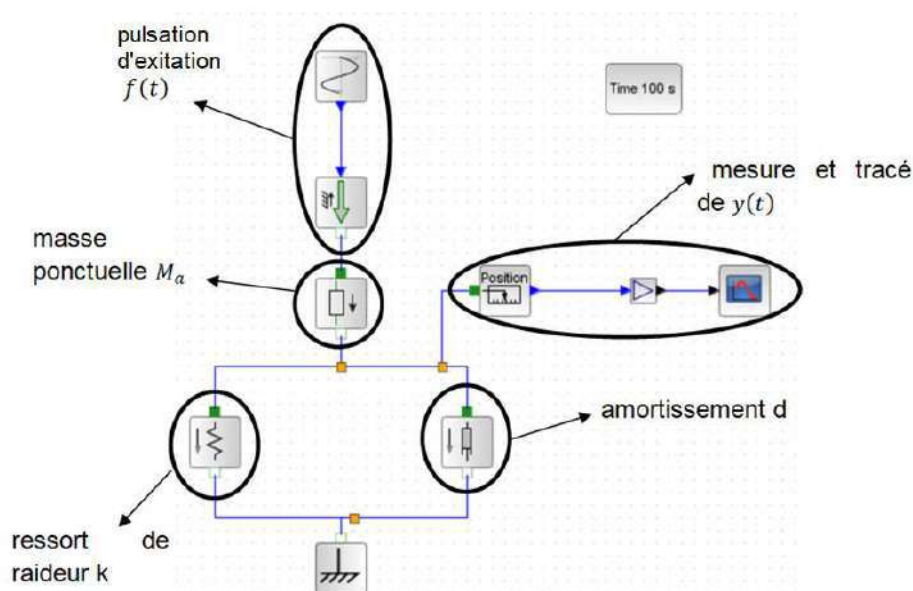


Figure 7 : Modèle de simulation

Une première simulation a été réalisée en utilisant une pulsation d'excitation de fréquence 1 Hz correspondant à la foulée de la marche No.

La raideur du ressort est toujours de $k = 348 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$. Le tracé de l'évolution du paramètre $y(t)$ en fonction du temps est donné figure 8.

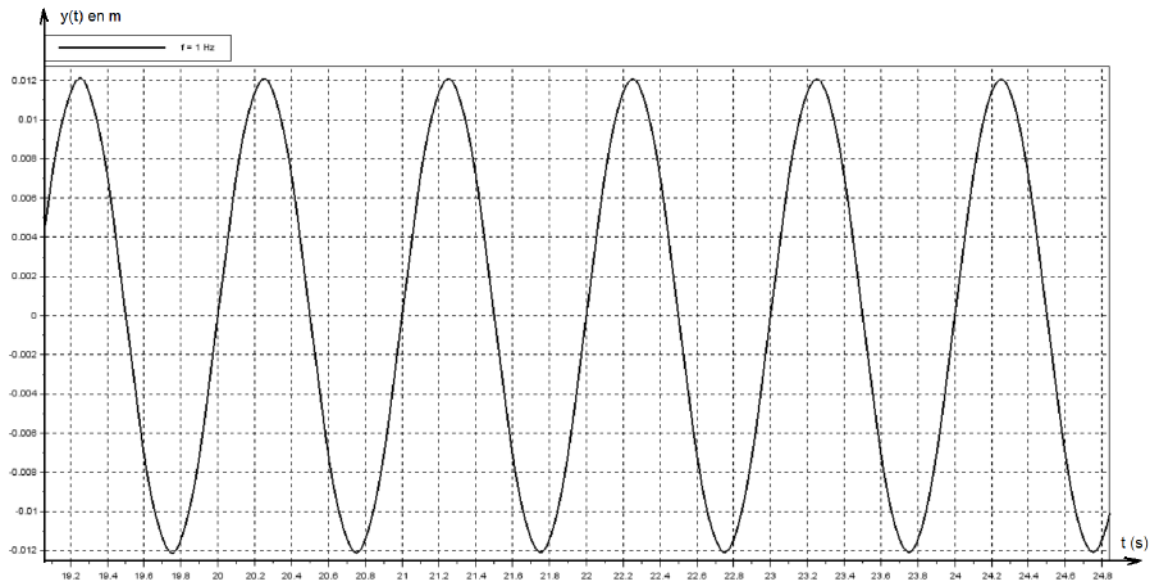


Figure 8 : Évolution de $y(t)$

Question 4	Commenter les écarts d'amplitude entre le relevé de simulation donné figure 8 et les relevés du déplacement du bassin donnés figure 6 centrés sur la marche normale No.
Figure 6	
Figure 8	

Question 5	Estimer l'écart le plus important entre les deux relevés sur l'ensemble du cycle de marche. En déduire l'écart maximal relatif en pourcentage. Celui-ci doit être inférieur à 10 %. Conclure sur la validité du modèle.
Figure 6	
Figure 8	

Sous-partie 2 : Synchronisation de l'orthèse et du tapis roulant

L'objectif de cette partie est d'étudier l'entraînement ciblé à différentes vitesses afin d'améliorer la rééducation fonctionnelle du patient.

Le Lokomat permet au patient une multitude d'exercices physiques en autonomie. Les courses des entraînements sont réglables par le personnel médical en fonction de la progression du patient. La synchronisation des mouvements entre le tapis roulant et l'orthèse doit être parfaite afin que le patient ne ressente pas deux rythmes différents au même moment.

L'une des contraintes de conception prépondérante concerne la capacité du tapis à respecter la consigne de vitesse imposée par le programme, indépendamment des perturbations qu'il peut subir : par exemple au moment du contact avec l'orthèse susceptible de freiner le tapis.

Cette sous-partie s'intéresse à la régulation que doit assurer le tapis.



Figure 9 : Tapis roulant et orthèse

Asservissement du tapis roulant :

Le schéma bloc modélisant l'ensemble du tapis roulant est donné figure 10. Il s'agit d'un asservissement de vitesse. La vitesse linéaire du tapis est la grandeur physique de sortie régulée. La consigne d'entrée est une consigne de vitesse. La perturbation liée à l'action du patient caractérise le(s) contact(s) du (des) pied(s) avec le tapis lors d'une foulée.

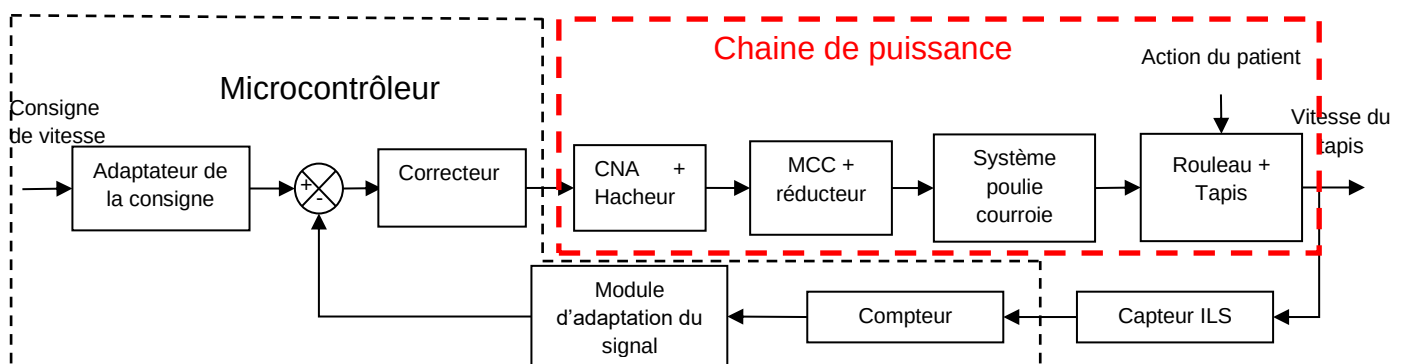


Figure 10 : Schéma bloc modélisant le tapis roulant

Question 6	Compléter la chaîne de puissance dans le document réponse DR1 en indiquant les grandeurs de flux et d'effort (nom de la grandeur et unité).
Figure 10 DR1	

La vitesse effective du tapis est notée $v(t)$, la vitesse de consigne du tapis $v_c(t)$, et la différence entre la consigne de vitesse (grandeur d'entrée) et la vitesse effective du tapis (grandeur de sortie) est notée $\varepsilon(t)$:

$$\varepsilon(t) = v(t) - v_c(t)$$

Une simulation du tapis roulant a été réalisée grâce à un logiciel de simulation multi-physique à partir du schéma bloc précédent donné figure 10.

Dans un premier temps, aucune perturbation n'est prise en compte. La valeur de la vitesse de consigne V_c de $3,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, correspond à la vitesse maximale que peut délivrer le tapis.

Un correcteur de type proportionnel est utilisé. Trois valeurs de gain ont été considérées pour ce correcteur ($K = 3$, $K = 5$ et $K = 7$). Les réponses temporelles de ce modèle pour ces trois valeurs de gain du correcteur sont superposées dans le tracé figure 11.

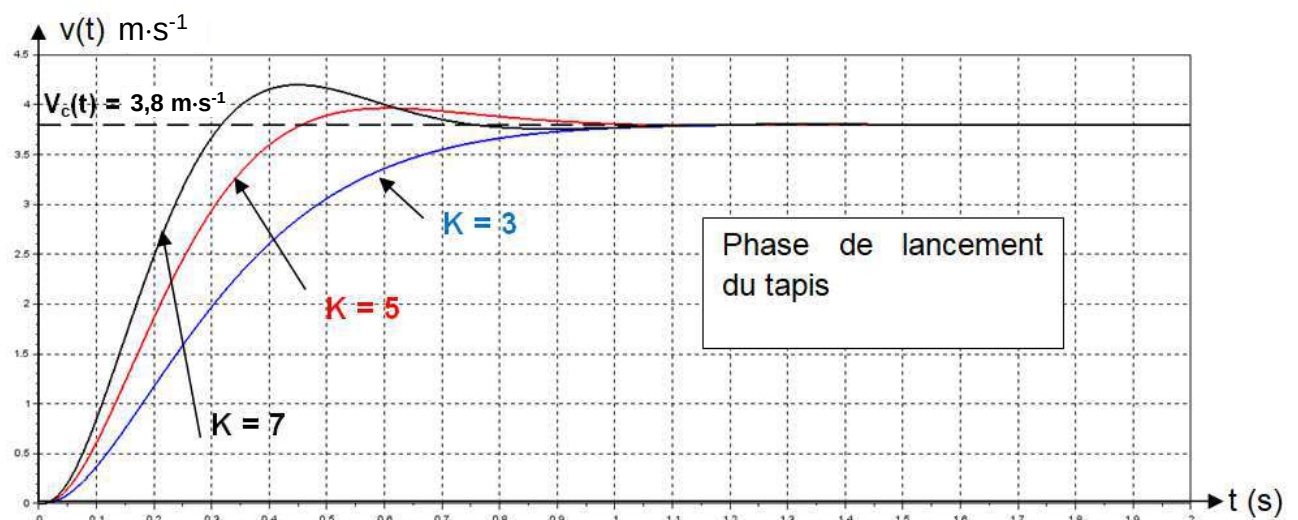


Figure 11 : Simulation avec le correcteur de type proportionnel

Question 7	En prenant appui sur les réponses temporelles obtenues en simulation, et pour les trois valeurs du gain du correcteur, donner la valeur de l'erreur statique notée $\varepsilon_{\text{lanc}}$ dans la phase de lancement du tapis. L'exigence du cahier des charges Id 1.2.2.1 est-elle respectée ?
Figure 11	

Dans un second temps, la perturbation liée à l'action du patient est prise en compte. Après 3 secondes, le premier contact avec le pied du patient commence et dure 3 secondes. Pendant cette durée de contact, la commande fait en sorte que la vitesse avant perturbation soit conservée, soit $3,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Toute différence entre cette vitesse avant perturbation et la vitesse atteinte en régime permanent correspond à l'erreur statique due à la perturbation ; elle est notée $\varepsilon_{m.\text{cont}}$.

Les réponses temporelles du tapis pour les trois valeurs précédentes de gain du correcteur sont tracées sur le document DR1.

Question 8	Sur le document réponse DR1, tracer par une flèche à double sens l'erreur statique due à la perturbation pour chacun des trois gains du correcteur. Sur le tableau joint, donner la valeur de chacune de ces trois erreurs statiques.
DR1	

Question 9	Commenter l'évolution de cette erreur statique due à la perturbation en fonction du gain du correcteur. Préciser si l'exigence id 1.2.2.1 du diagramme des exigences situé figure 3 est respectée avec ces trois valeurs.
Figure 3	

On utilise cette fois-ci un correcteur proportionnel intégral, nommé par la suite PI. Pour les mêmes valeurs de gain, les réponses temporelles sont données sur la figure 12 :

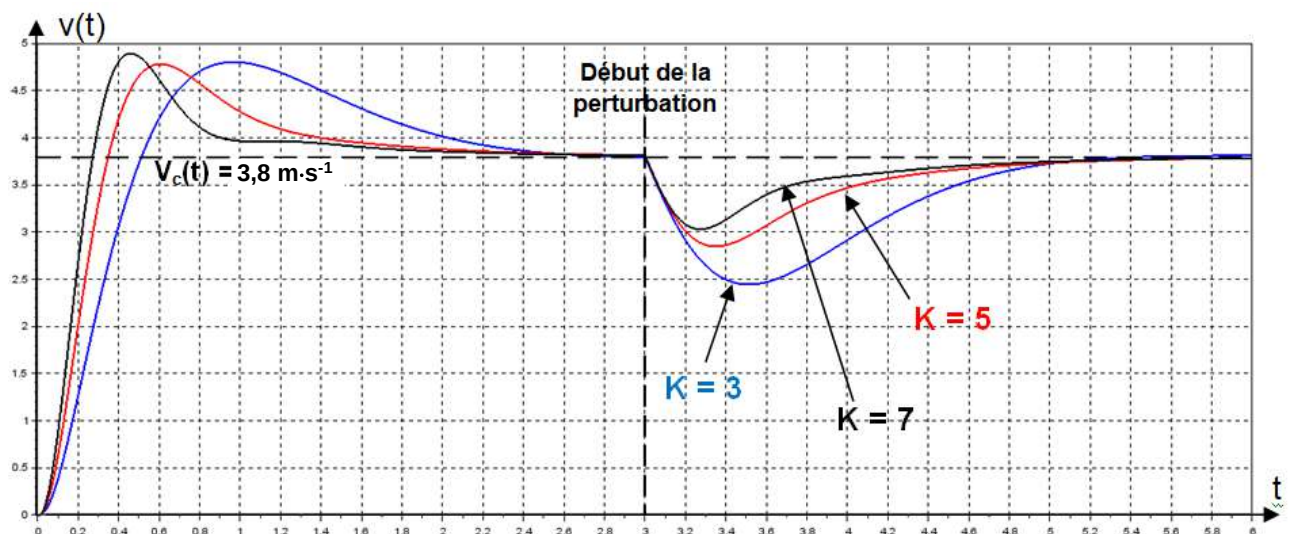


Figure 12 : Comportement du tapis avec un correcteur PI

Question 10	Donner les nouvelles valeurs de l'erreur statique due à la perturbation. Préciser si les exigences de précision avec ce type de correcteur sont respectées.
Figure 12	

Sous-partie 3 : Étude des réglages de l'exosquelette en fonction de la mobilité du patient

L'objectif de cette partie est de vérifier que le Lokomat est capable de s'adapter à la mobilité du patient en respectant les amplitudes de ses mouvements.

Avant le début de la thérapie, le kinésithérapeute évalue l'amplitude des mouvements du patient à l'aide d'un instrument appelé goniomètre. Celui-ci mesure l'amplitude maximale d'une articulation.



Figure 13 : Photo d'illustration d'une mesure de mobilité

Le praticien initialise ensuite le Lokomat en enregistrant les deux *extremums* (amplitude maximale et amplitude minimale). Ces *extremums* seront appelés « butées logicielles » dans la suite du sujet, et seront utilisés pour la programmation des mouvements de l'orthèse.

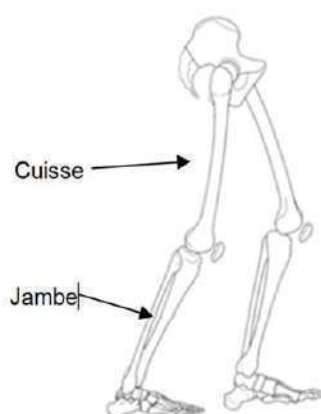


Figure 14 : Squelette humain

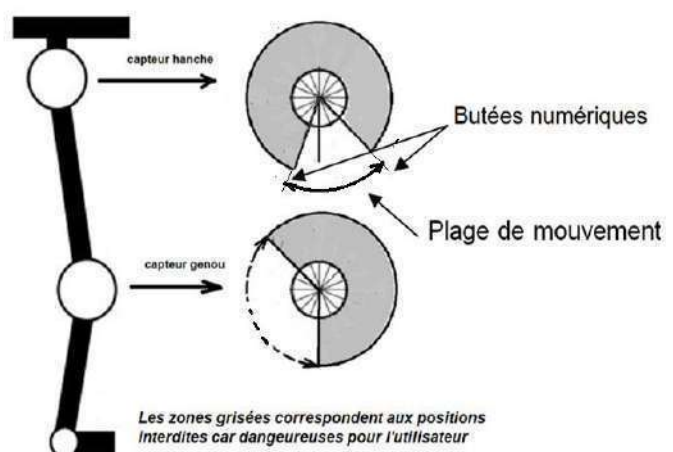


Figure 15 : Schéma simplifié de l'orthèse

Afin de contrôler les amplitudes de mouvement du patient, chaque articulation de l'orthèse est équipée d'un capteur angulaire analogique résistif.



Figure 16 : Orthèse

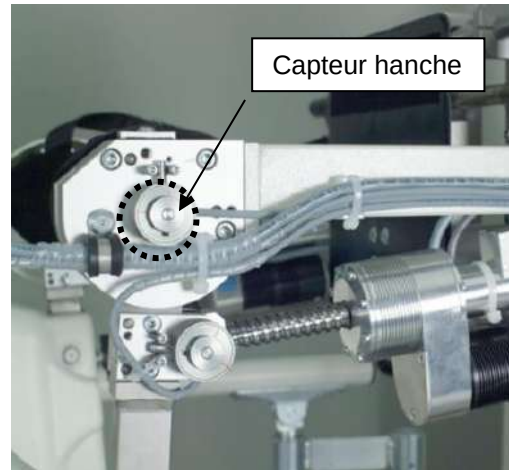


Figure 17 : Capteur angulaire

On considère par la suite que l'amplitude de mouvement de la hanche mesurée par le praticien est de **44°** et que la butée logicielle minimale mesurée par le capteur est de **166°**.

Les capteurs utilisés ici ne peuvent pas réaliser des mesures sur un tour complet. Les limites physiques du capteur sont représentées sur la figure 18, la plage d'angle mesurable est comprise entre 0° et 354°.

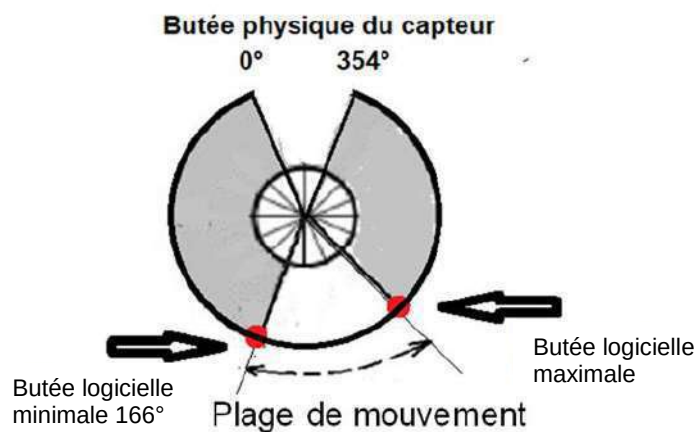


Figure 18 : Articulation de la hanche

Le capteur d'angle analogique est de type résistif et peut être modélisé par une résistance R_{ca} dont la valeur varie en fonction de l'angle mesuré.

De manière expérimentale, l'évolution de la tension de sortie en fonction de l'angle a été relevée sur la figure 19.

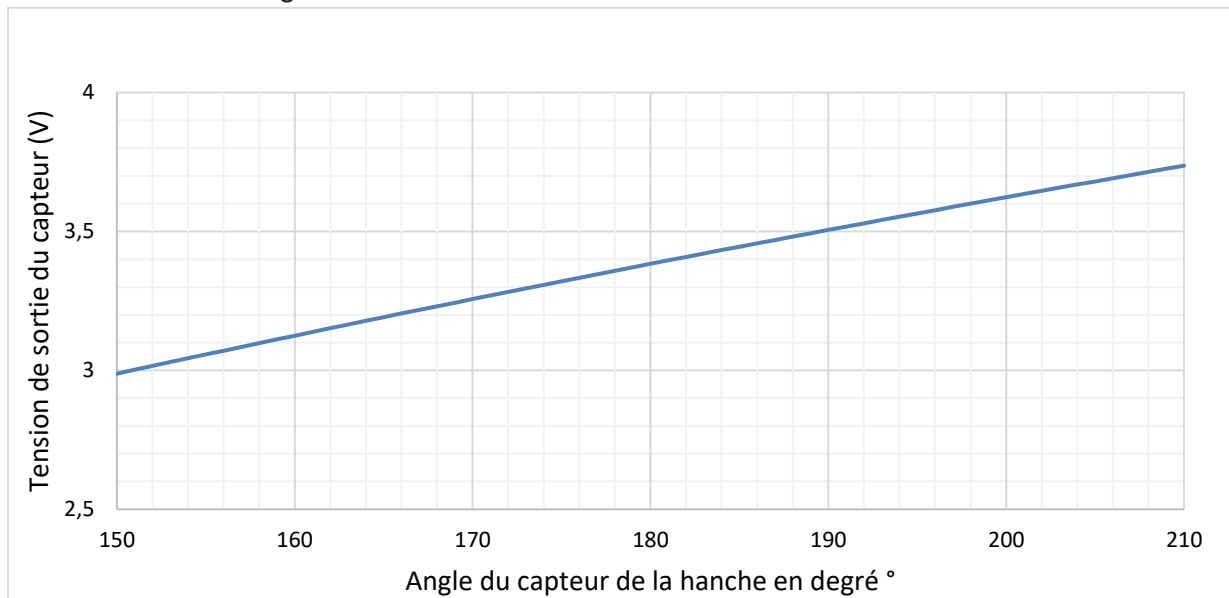


Figure 19 : Relevé expérimental de la tension de sortie capteur en fonction de l'angle

Question 11	Calculer la valeur de la butée logicielle maximale « butemax » qui permet de respecter la plage de mouvement du patient et en déduire à l'aide de la figure 19 les valeurs de la tension de sortie de la butée logicielle maximale et minimale.
Figure 19	

Un convertisseur analogique numérique avec une tension de référence de 5 V permet de renvoyer à l'unité de commande l'image des valeurs d'angle de chaque articulation issue des capteurs.

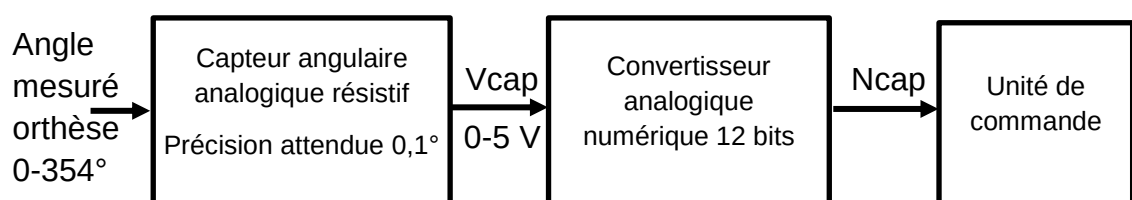


Figure 20 : Chaîne informationnelle de mesure de l'angle de l'orthèse

Question 12	Vérifier que la résolution du convertisseur analogique numérique (en nombre de bits) est appropriée pour obtenir la précision du capteur souhaitée (exigence id 1.2.1) dans le diagramme des exigences figure 3.
Figure 3	
Question 13	Calculer les deux valeurs numériques des butées logicielles qui seront affectées dans le programme.

Surveillance du dépassement des butées numériques :

Lors de la séance de rééducation, l'orthèse motorisée assiste le patient. Un algorithme permet de surveiller que les butées logicielles ne sont pas dépassées afin d'éviter de blesser le patient. Pour cela, on définit un dépassement maximal admissible de 1° par rapport aux deux butées logicielles extrêmes. Si ces valeurs sont dépassées, le système se met en défaut et coupe l'alimentation de la motorisation de l'orthèse.

Quelles que soient les valeurs à la question 13, on prendra $\text{butemin} = 2624$ et $\text{butemax} = 2964$.

La valeur numérique de la marge de sécurité de $0,5^\circ$ est : 11.

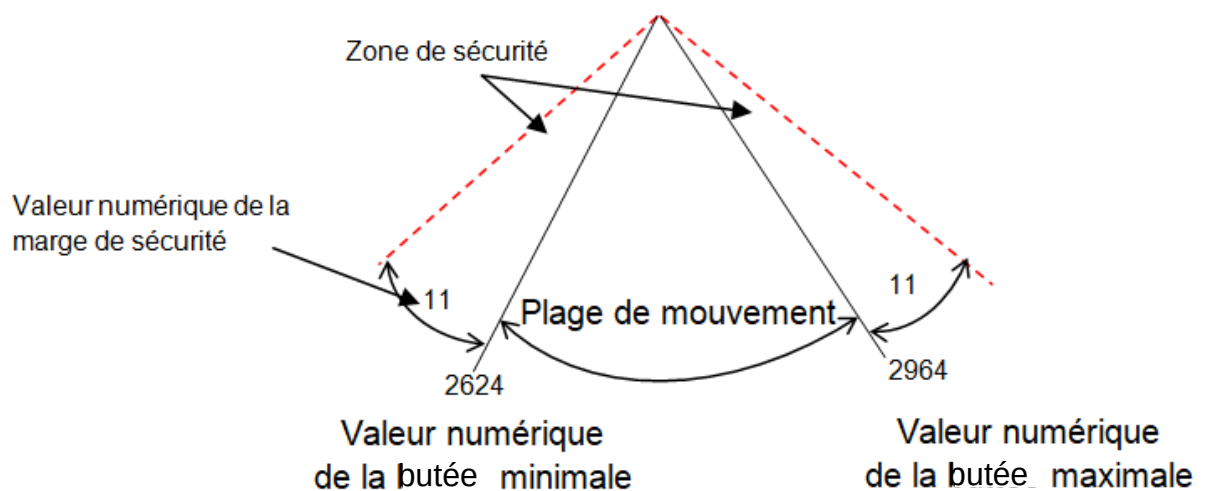


Figure 21 : Valeur numérique des butées de la hanche et des dépassements admissibles

Après l'enregistrement des butées logicielles par le praticien en début de séance, l'orthèse se met en mouvement en effectuant successivement des déplacements horaires et des déplacements antihoraires.

Le fonctionnement de l'orthèse en mode marche se fait grâce à un programme. Les variables et les fonctions déclarées dans ce programme sont les suivantes :

- Les variables **butemin** et **butemax** correspondent aux butées logicielles.
- Les fonctions **Mv_hd_hor()** et **Mv_hd_antihor()** permettent d'assurer le déplacement de la hanche droite.

- Les variables **C_mot_hor** ou **C_mot_antihor** commandent lorsqu'elles sont actives l'alimentation des moteurs respectivement dans le sens horaire et antihoraire.
- La variable **anglehd** renvoie la valeur lue par le capteur angulaire de la hanche droite en décimal.

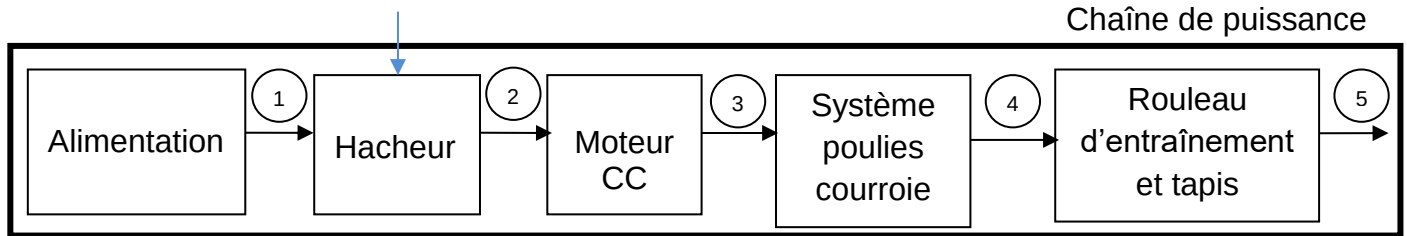
Les déclarations des variables listées sont faites en dehors de l'extrait du programme fourni.

Question 14	Compléter le programme python du DR2 afin de respecter la marge de sécurité de l'amplitude de mouvement.
DR2	

Question 15	Conclure sur le respect de l'exigence id = 1.2.1.1 donnée dans le diagramme des exigences partiel figure 3.
Figure 3	

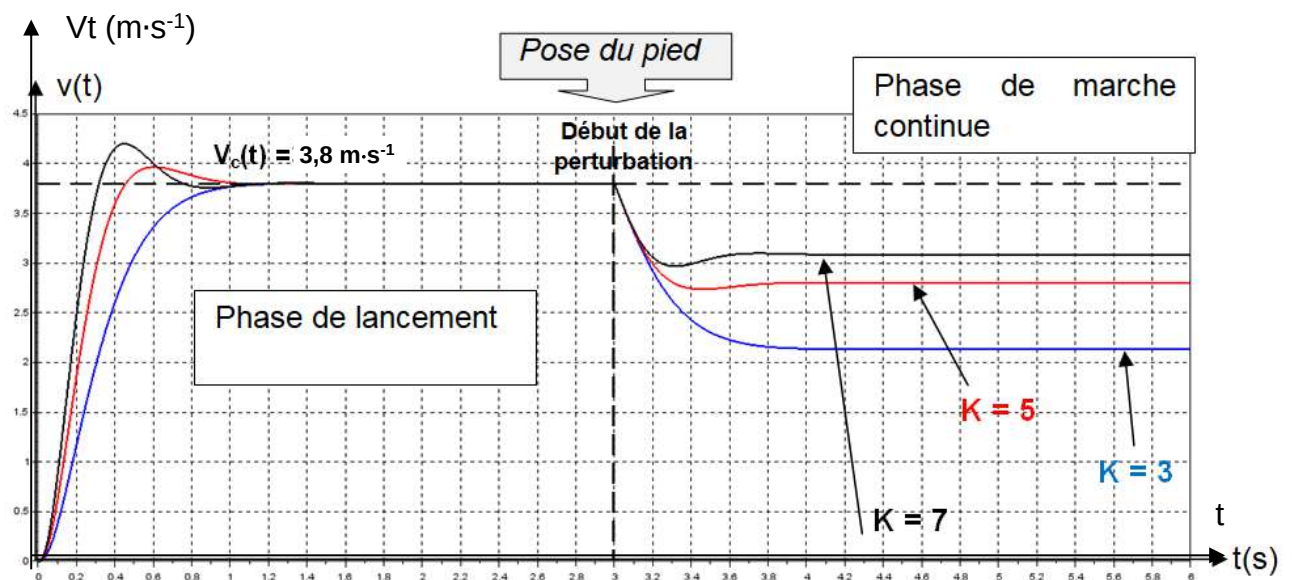
Documents réponses DR1

Question 6



N°	Grandeur de flux	Unité	Grandeur d'effort	Unité
1				
2				
3				
4				
5				

Question 8



Gain du correcteur K	Valeur de l'écart statique due à la perturbation $e_{m.cont.}$
$K = 3$	
$K = 5$	
$K = 7$	

Question 14

```
##Algorithme de surveillance des butées numériques

#Déclaration des valeurs numériques des butées
butemin=2624
butemax=2964
#La variable anglehd renvoie la valeur numérique du capteur angulaire
#de la hanche droite

# Marge de sécurité de 0,5°
Mg_secu=11

def Mv_hd_hor():
    #Déplacement orthèse sens horaire
    while anglehd>butemin:
        C_mot_hor=True

        #Surveillance du dépassement de la butée
        if anglehd:.....] #Condition à compléter
            C_mot_hor=False
            défaut=1
        C_mot_hor=False

def Mv_hd_antihor():
    #Déplacement orthèse sens anti-horaire
    while anglehd<butemax:
        C_mot_antihor=True

        #Surveillance du dépassement de la butée
        if anglehd:.....] #Condition à compléter
            C_mot_antihor=False
            défaut=1
        C_mot_antihor=False
```

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A : LA PHYSIQUE AU SERVICE DE L'AÉROGOMMAGE

L'aérogommage consiste à projeter, grâce à de l'air sous pression, une poudre abrasive pour éliminer la peinture ou les salissures présentes sur la surface d'un matériau.

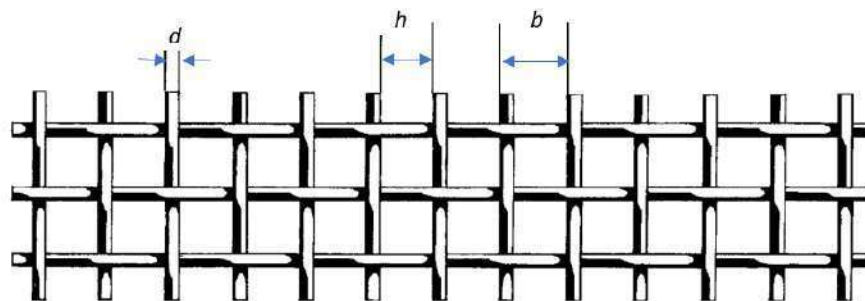
Une fois l'opération terminée, la poudre utilisée est recyclée en la faisant passer à travers un tamis qui retient les déchets.



Figure 1 : Nettoyage d'une surface par aérogommage

Source : <https://igcs.be/nettoyage-par-aerogommage/>

Un tamis est un réseau plus ou moins serré de fils caractérisé par l'espace intermaille noté h (figure 2). Pour simplifier, on suppose que toutes les particules solides considérées dans cet exercice sont sphériques. Celles qui peuvent passer au travers de la maille ont donc un diamètre inférieur à h .



d : diamètre d'un fil

h : espace intermaille

b : distance entre deux fils parallèles $b = d + h$

Figure 2 : Schéma de la maille d'un tamis

L'objectif de cet exercice est de déterminer la valeur de l'espace intermaille h d'un tamis disponible au laboratoire pour savoir s'il peut être utilisé. On réalise pour cela le dispositif expérimental présenté dans la figure 3.

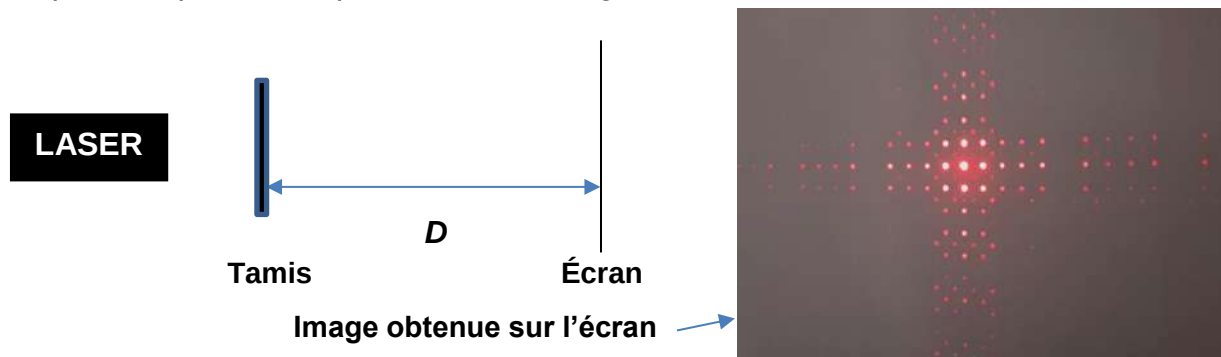


Figure 3 : Dispositif expérimental utilisé

Données :

- diode laser de longueur d'onde $\lambda = 650 \text{ nm}$;
- diamètre des fils du tamis testé : $d = 0,20 \text{ mm}$;
- l'expression de l'interfrange i (distance entre deux points brillants voisins) est donnée par la relation :

$$i = \frac{\lambda D}{b}$$

1. Nommer le phénomène mis en évidence sur l'écran (figure 3) et préciser à quoi correspondent les zones sombres et brillantes.

On réalise une première expérience avec le tamis du laboratoire en plaçant l'écran à une distance $D = 35 \text{ cm}$ du tamis. La figure obtenue est alors trop petite pour pouvoir mesurer l'interfrange i .

2. Proposer, en la justifiant, une modification du dispositif expérimental permettant d'obtenir une figure plus grande, sans changer le matériel utilisé.

On refait l'expérience pour une distance $D = 2,10 \text{ m}$. Les résultats obtenus après analyse par un logiciel de traitement d'image sont donnés dans la figure 4.

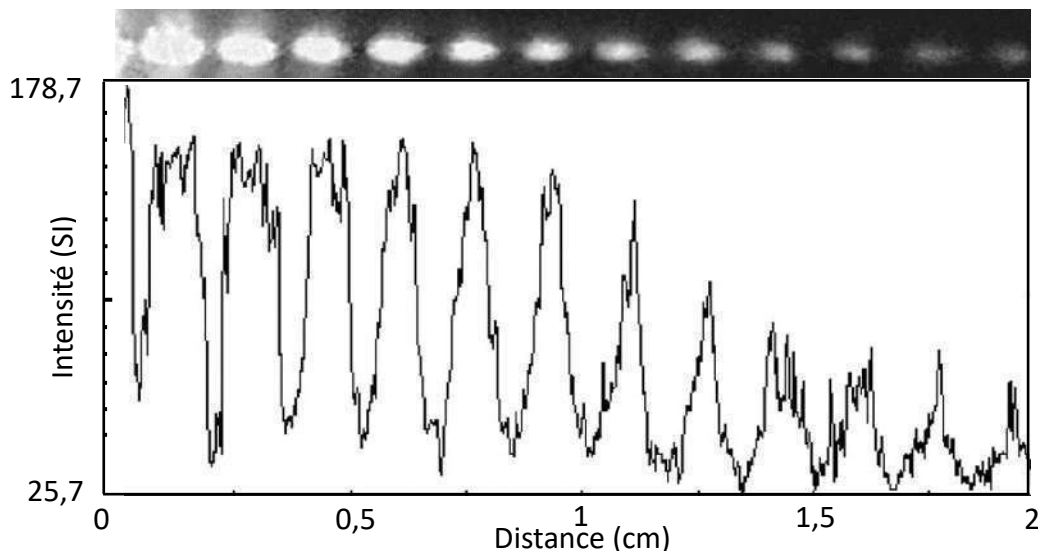


Figure 4 : Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

3. À l'aide de la figure 4, montrer que l'interfrange vaut environ $i = 1,6 \text{ mm}$ en détaillant la méthode employée.
4. Déduire la valeur de b , puis la valeur de h à l'aide des données et de la question 3.

Pour nettoyer une surface dure, on utilise une poudre formée de grains de diamètre $500 \mu\text{m}$. On suppose que le diamètre des déchets est d'au moins 1 mm .

5. Indiquer si ce tamis peut être utilisé pour le recyclage de cette poudre.

EXERCICE B : UN BON LIQUIDE DE REFROIDISSEMENT

Pour refroidir un moteur de voiture thermique, on utilise un liquide de refroidissement composé d'un mélange d'eau et d'éthylène glycol (éthane-1,2-diol), ce dernier jouant le rôle d'antigel.

Dans cet exercice, on justifiera le choix d'un mélange commercial eau – éthylène glycol (respectivement 40 % - 60 % en volume) à l'aide de ses propriétés thermiques.

Dans un premier temps, il est nécessaire de valider un protocole de mesure de la capacité thermique massique d'un liquide.

1^{re} partie : validation du protocole de mesure.

On met en œuvre le protocole du document 2 avec de l'eau afin de valider la méthode de mesure de la capacité thermique massique d'un liquide.



Document 1 : Montage

Protocole :

- placer une masse m de liquide dans un calorimètre ;
- introduire la résistance chauffante dans le liquide ;
- introduire un thermomètre dans le liquide et mesurer la température initiale T_i du système ;
- alimenter la résistance chauffante en déclenchant le chronomètre à l'instant $t = 0$ s ;
- relever la température T du liquide toutes les minutes tout en veillant à ce que l'intensité du courant I reste constante.

Document 2 : Protocole pour déterminer la capacité thermique massique d'un liquide

Données :

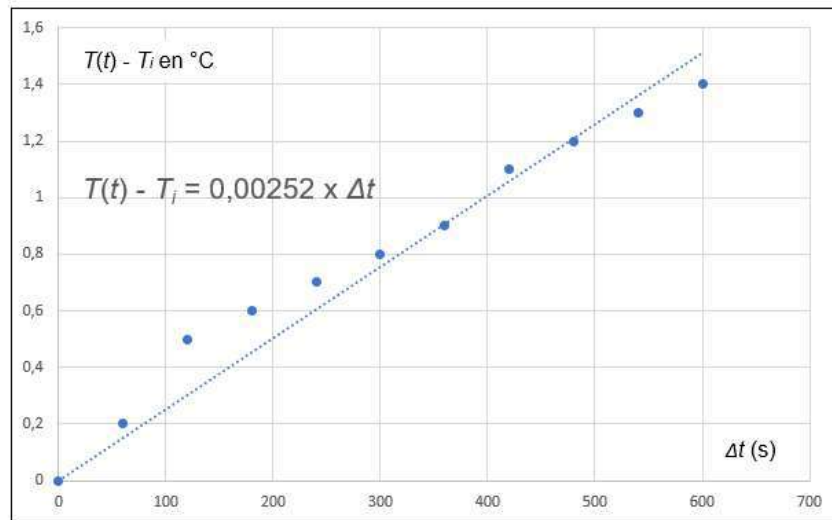
- L'énergie électrique $W_{elec}(J)$ transférée par une résistance chauffante pendant la durée $\Delta t(s)$: $W_{elec} = E\Delta t$, avec E la tension en Volt entre les bornes du récepteur et I l'intensité du courant en Ampère qui le traverse ;
- On rappelle l'expression de la variation de l'énergie interne U d'un système incompressible de masse m :

$$\Delta U = mc\Delta T ;$$

- $m = (550 \pm 1)$ g de liquide ;
- $E = (5,73 \pm 0,01)$ V ;
- $I = (0,97 \pm 0,01)$ A ;
- La valeur de référence pour la capacité thermique massique de l'eau est :

$$c_{ref} = 4\,181 \text{ J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

- Le graphique ci-dessous représente les résultats expérimentaux :



Document 3 : Variation de la température en fonction du temps pour un liquide constitué d'eau pure

Hypothèses :

- La capacité thermique du calorimètre est négligée devant la capacité thermique des liquides introduits.
- On néglige tout phénomène de rayonnement.
- Les échanges thermiques n'ont lieu qu'entre le liquide et la résistance chauffante.
- La résistance convertit intégralement l'énergie électrique W_{elec} qu'elle reçoit en transfert thermique Q , tel que $W_{elec} = Q$.
- Le liquide est un fluide incompressible.

- Nommer les deux modes de transfert thermiques intervenant dans le calorimètre.
- Déduire du premier principe de la thermodynamique appliqué à ce liquide la relation :

$$mc_{eau}(T(t) - T_i) = EI\Delta t$$

- Montrer que la courbe du document 3 est en accord approximatif avec l'expression :

$$T(t) - T_i = k_{eau}\Delta t$$

- Exprimer k_{eau} en fonction de m , c_{eau} , E et I à l'aide des questions précédentes.

Données :

- La modélisation indiquée sur la courbe du document 3 fournit la valeur de la constante k_{eau} . Son incertitude-type associée est : $u(k_{eau}) = 1,8 \times 10^{-4}$ SI.

- L'incertitude sur la capacité thermique massique c_{eau} se calcule avec :

$$u(c_{eau}) = c_{eau} \sqrt{\left(\frac{u(k_{eau})}{k_{eau}}\right)^2 + \left(\frac{u(E)}{E}\right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I}\right)^2}$$

- Pour comparer le résultat d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} on utilise le quotient $\frac{|m_{mes} - m_{ref}|}{u(m)}$, avec $u(m)$ incertitude-type associée au résultat. Une mesure est validée quand ce quotient est inférieur à 2.
5. Calculer la valeur expérimentale de c_{eau} et son incertitude-type associée. Conclure quant à la validité du protocole de mesure.

2^e partie : justification du choix du liquide de refroidissement.

Le liquide de refroidissement doit demeurer liquide aux températures extérieures d'utilisation. Il doit également absorber l'énergie thermique du moteur et la transférer au radiateur pour être évacuée vers l'extérieur. Il est ainsi d'autant plus efficace que sa capacité à stocker de l'énergie thermique lors d'une certaine variation de température est importante.

En utilisant le protocole précédent, on a déterminé la capacité thermique massique du mélange. Le résultat est présenté dans le tableau ci-dessous ainsi que les données relatives à l'eau et à l'éthylène glycol.

	Éthylène glycol pur	Mélange eau 40 % - éthylène glycol 60 %	Eau pure
Capacité thermique massique ($J \cdot ^\circ C^{-1} \cdot kg^{-1}$)	2400	3100	4180
Température de solidification ($^\circ C$)	-13	-37	0

6. Discuter l'intérêt d'utiliser le mélange eau-éthylène glycol par rapport aux deux liquides purs pour refroidir un moteur.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mardi 9 septembre 2025

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 collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

**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 11 à 13) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Robot d'assistance à la mobilité



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 10
- Documents réponses..... pages 11 à 13

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 11 à 13) sont à rendre avec la copie.

Robot d'assistance à la mobilité

Il est parfois difficile pour une personne souffrant d'un handicap moteur ou victime d'un accident de se déplacer à l'intérieur de son habitat. Les fauteuils roulants classiques sont généralement encombrants et ne passent pas forcément partout.

Une société a conçu un système qui permet de transformer une chaise quelconque en un fauteuil roulant d'intérieur : le robot d'assistance à la mobilité. Ce système présente trois avantages par rapport à un fauteuil roulant classique (figure 1) : il permet de choisir une chaise confortable, il est beaucoup plus fin et peut donc passer partout ou presque et il permet de se lever plus facilement. De plus, ce robot d'assistance propose une autonomie accrue par rapport au fauteuil roulant classique motorisé.

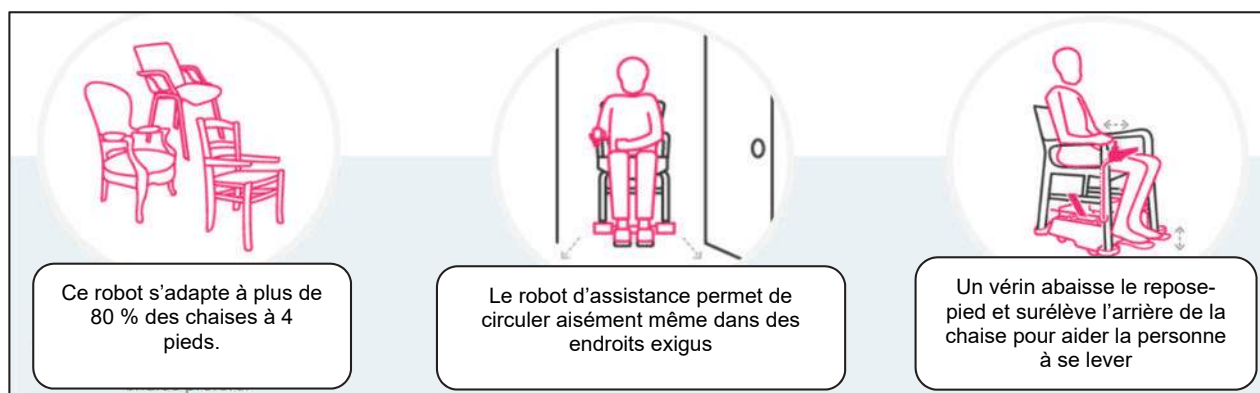


Figure 1 : avantages du robot d'assistance à la mobilité

Ce système comporte une plateforme motorisée qui vient épouser les pieds de la chaise choisie en se clipsant dans les réceptacles prévus à cet effet. Il est doté d'un moteur central et d'un mât sur lequel est montée une télécommande pour que l'utilisateur puisse se déplacer en toute autonomie (figure 2).

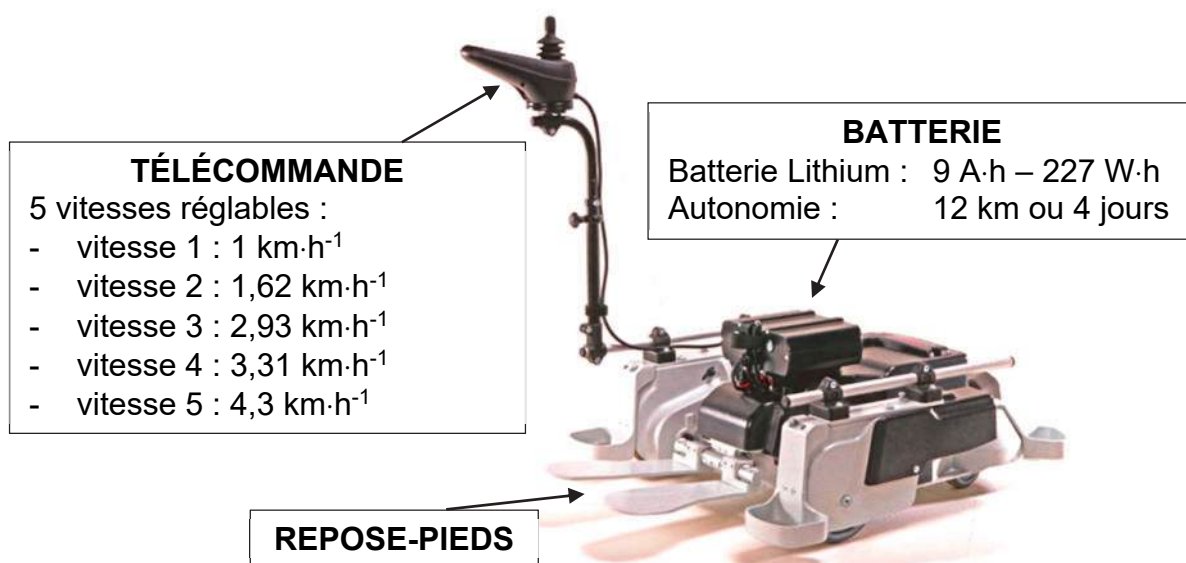


Figure 2 : caractéristiques techniques du robot

Sous-partie 1

Validation du dispositif d'aide à la verticalisation

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier le respect de l'exigence de l'aide à la verticalisation.

La figure 3 illustre le diagramme partiel des exigences associé à la contrainte « Aide à la verticalisation ».

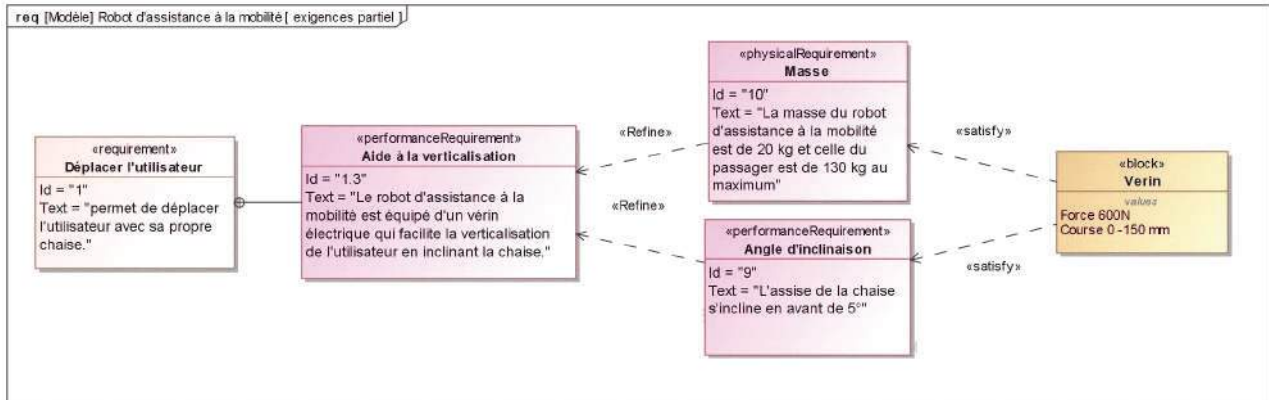


Figure 3 : diagramme partiel des exigences lié à la contrainte « Aide à la verticalisation »

Question 1.1 Après lecture de la présentation du système, **donner** des arguments montrant que le robot d'assistance est un produit modulable et pratique.

Pour aider la personne à se lever sans trop d'efforts, les concepteurs du robot d'assistance ont utilisé un vérin électrique qui agit sur l'inclinaison du repose-pieds et qui surélève également l'arrière de l'assise (figure 4).

L'utilisateur incline la chaise à l'arrêt, en agissant sur la télécommande. Cette action commande alors un vérin électrique qui abaisse la roulette arrière (figure 5).



Figure 4 : fauteuil en position relevée (vue arrière)

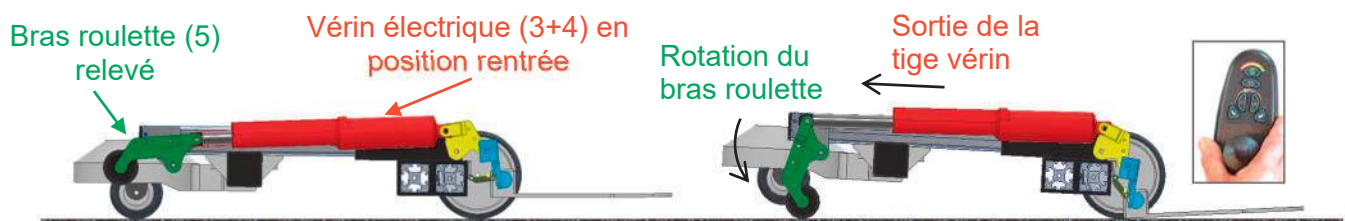


Figure 5 : aide à la verticalisation dans les deux positions extrêmes

Pour valider la solution de l'aide à la verticalisation retenue, il est nécessaire d'étudier les trajectoires des différents centres de liaison du système pour connaître la course du vérin électrique entre les deux positions extrêmes (figure 6). En effet, la course du vérin doit être suffisante pour soulever les roues arrières et amener le fauteuil à une certaine inclinaison.

Les repères des différents ensembles cinématiques sont définis sur le document réponse DR1.

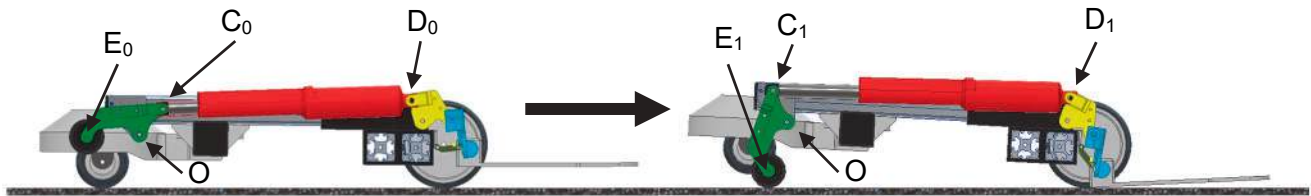


Figure 6 : positions extrêmes de l'aide à la verticalisation

Question 1.2 **Définir** la nature du mouvement du bras roulette (5) par rapport au châssis (1). **Définir** alors la nature de la trajectoire du point C, $T_{C \in 5/1}$. Sur le document réponse DR1, **représenter** cette trajectoire sur la figure correspondante à la position finale.

Question 1.3 Le point C_1 représente l'extrémité de la tige du vérin (4) en position finale (sortie). Sur le document réponse DR1, **tracer** le point C_1 à partir du point E_1 .

Question 1.4 Sur le document réponse DR1, **tracer** le segment $[C_1D_1]$ matérialisant le vérin en position sortie. **Relever** les longueurs des segments $[C_0D_0]$ (représentant le vérin en position initiale) et $[C_1D_1]$. En **déduire** leurs valeurs réelles en tenant compte de l'échelle.

Question 1.5 **Indiquer** alors le déplacement du vérin électrique nécessaire au débattement angulaire du bras roulette (5) entre les positions extrêmes.
Conclure sur la capacité du vérin à répondre à l'exigence de l'aide à la verticalisation lors du transfert de la personne sur le robot d'assistance à la mobilité.

Sous-partie 2

Validation du réglage de la vitesse de déplacement

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le robot d'assistance atteint les vitesses annoncées par le constructeur.

Le robot d'assistance est équipé de deux boutons qui donnent la possibilité de choisir parmi 5 niveaux de réglage de vitesse (figure 7).

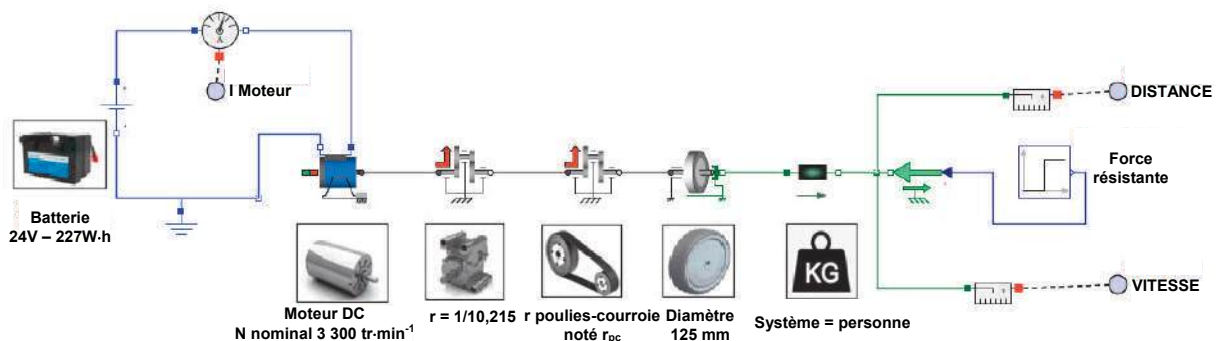


Figure 7 : télécommande du robot

Question 1.6 À l'aide de la figure 2, **indiquer** la vitesse de déplacement maximale du robot d'assistance en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 1.7 Sur le document réponse DR2, **compléter** le diagramme partiel de blocs internes en indiquant la nature et l'unité des grandeurs de flux et d'effort.

Un modèle multiphysique du robot d'assistance a été établi afin de pouvoir vérifier les vitesses de déplacement (figure 8).

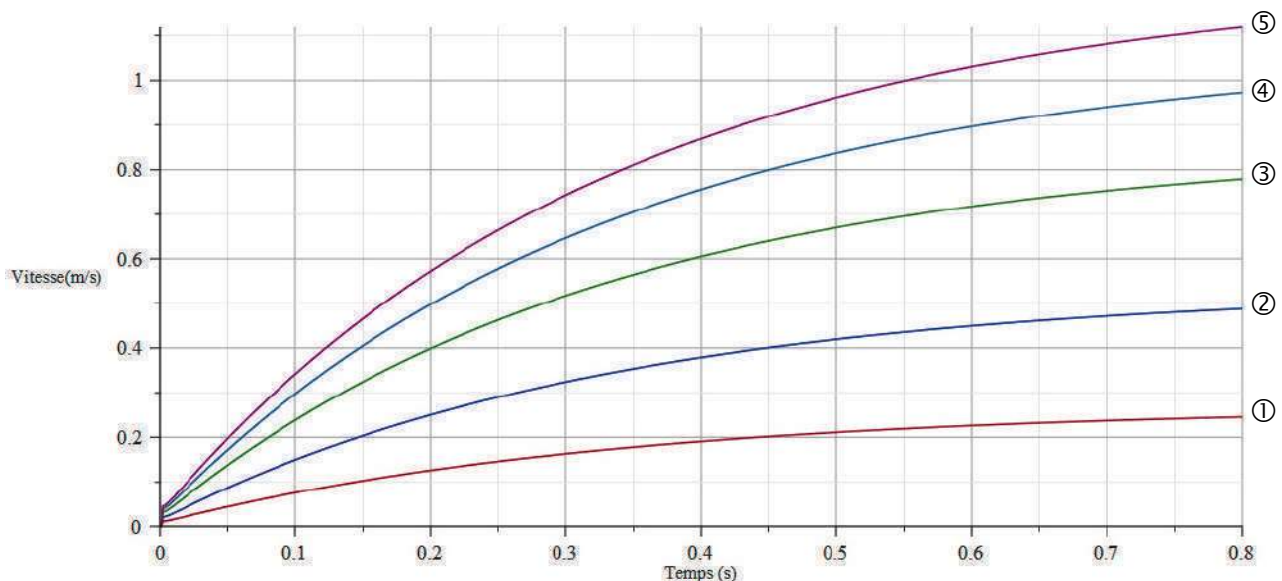


Constituant	Caractéristiques
Moteur DC	$N_{\text{nominale}} = 3\,300 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$
Réducteur	$r = 1 / 10,215$
Réducteur poulies-courroie	Poulie motrice Z1 = 40 dents Poulie réceptrice Z2 = 72 dents
Roue	Diamètre = 125 mm

Figure 8 : modèle multiphysique du robot d'assistance et caractéristiques des constituants

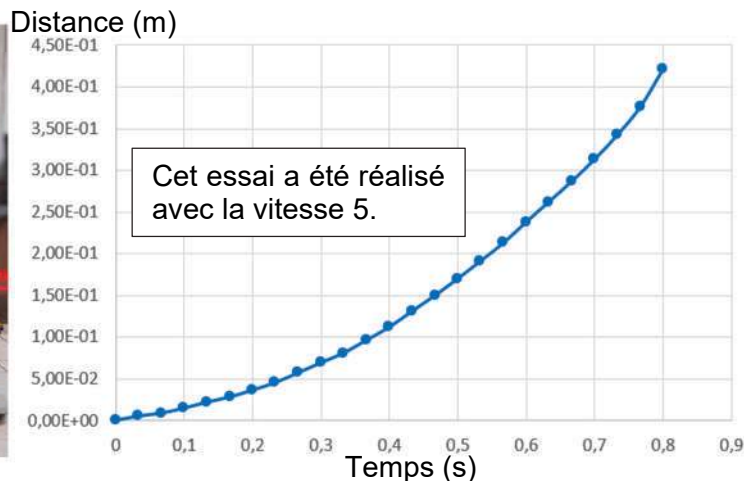
Question 1.8 À l'aide des données de la figure 8, **calculer** le rapport de réduction r_{pc} du réducteur poulies-courroie. En considérant que le moteur fonctionne à vitesse nominale, **montrer** que la vitesse de déplacement du robot d'assistance est de $1,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Une simulation, à partir du modèle multiphysique, a permis d'obtenir les vitesses de déplacement du robot d'assistance (figure 9).



Question 1.9 **Relever** sur la figure 9 la vitesse issue du modèle multiphysique V_{sim} à $t = 0,8$ s pour le réglage en vitesse 5.

Le concepteur du robot d'assistance a réalisé un pointage réel à l'aide d'un logiciel d'acquisition et de traitement vidéo lors de l'homologation du système (figure 10).



t	x
0	0,00E+00
0,033	5,22E-03
0,067	8,72E-03
0,1	1,48E-02
0,133	2,18E-02
0,167	2,82E-02
0,2	3,64E-02
0,233	4,54E-02
0,267	5,73E-02
0,3	6,93E-02
0,333	8,09E-02
0,367	9,66E-02
0,4	0,112
0,433	0,131
0,467	0,15
0,5	0,17
0,533	0,191
0,567	0,213
0,6	0,238
0,633	0,262
0,667	0,287
0,7	0,313
0,733	0,342
0,767	0,376
0,8	0,421

Figure 10 : distance (m) parcourue par le robot en fonction du temps (s)

Question 1.10 **Déterminer** la distance parcourue entre 0,7 s et 0,8 s à l'aide de la figure 10. En supposant que la vitesse est quasiment stabilisée sur cet intervalle, **calculer** alors la vitesse atteinte $V_{\text{réelle}}$.

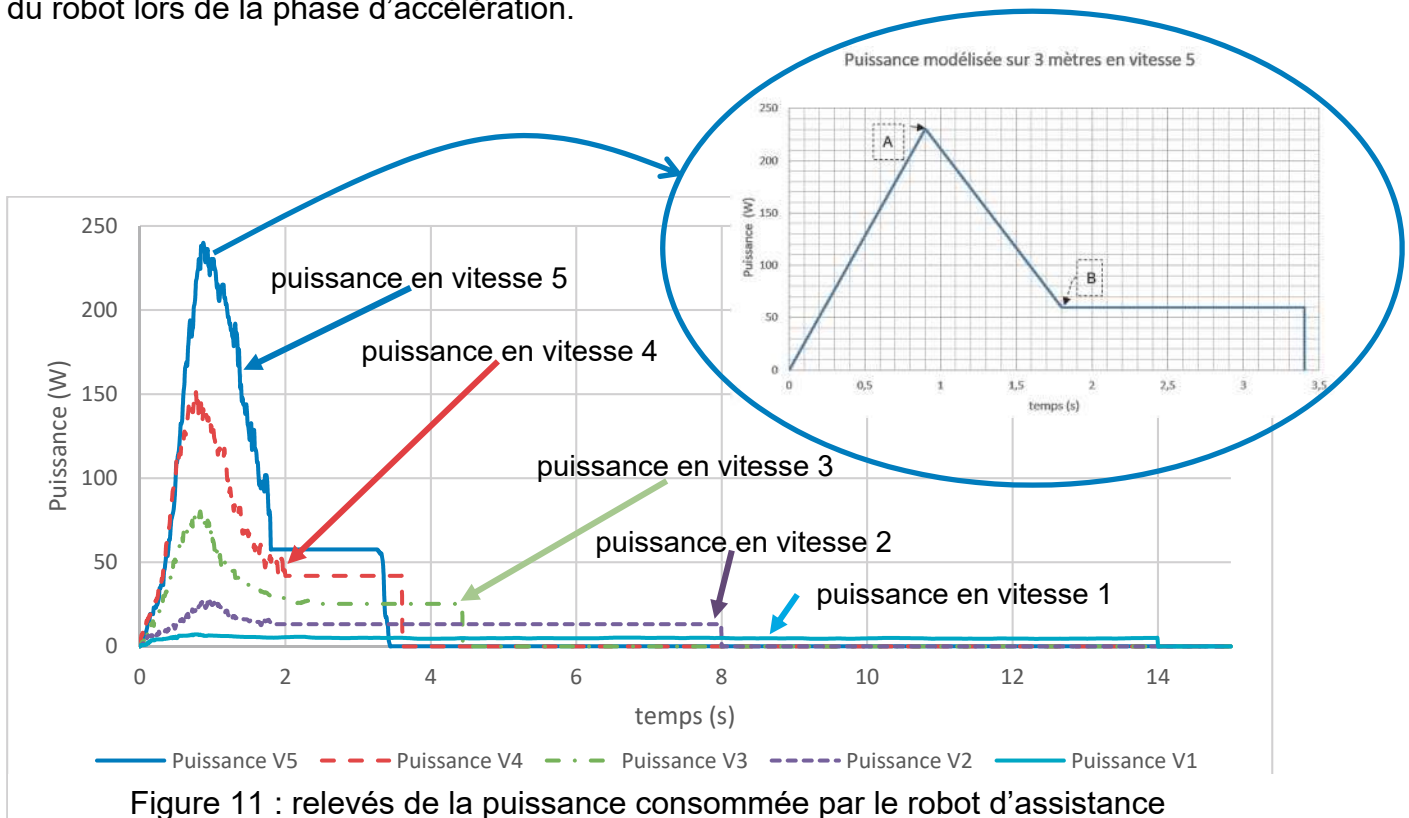
Question 1.11 **Calculer** l'écart relatif entre la vitesse $V_{\text{réelle}}$ et la vitesse V_{sim} par rapport à $V_{\text{réelle}}$. **Conclure** quant à l'utilisation du modèle pour déterminer les 4 autres vitesses.

Sous-partie 3

Validation et affichage de l'autonomie

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que l'autonomie indiquée par le constructeur est correcte et d'élaborer une solution programmée permettant d'indiquer à l'utilisateur qu'une recharge est nécessaire.

Une étude a montré que lors d'un déplacement à l'intérieur d'une maison, l'utilisateur du robot d'assistance à la mobilité parcourt en moyenne des tronçons d'une distance de 3 m. La figure 11 représente des relevés de puissance consommée par le robot sur une distance de 3 m. Il existe au démarrage un pic de puissance qui correspond à la mise en mouvement du robot lors de la phase d'accélération.



Il est rappelé que l'énergie peut être obtenue en calculant la surface présente sous la courbe représentant la puissance en fonction du temps.

La suite de l'étude porte sur le déplacement en vitesse la plus élevée (correspondant à la vitesse 5). Afin de faciliter la détermination de l'énergie consommée par le robot, la courbe de la puissance a été modélisée par des segments de droite (figure 11).

Question 1.12 **Relever** sur la figure 11 les valeurs de puissance et de temps correspondant aux deux points repérés A et B. **Montrer** que le robot d'assistance consomme une énergie de 0,092 W·h pour parcourir une distance de 3 m en vitesse 5.

Le robot d'assistance à la mobilité est alimenté par une batterie lithium de capacité 227 W.h.

Question 1.13 **Calculer** la distance que peut parcourir le robot d'assistance, à cette vitesse, à partir de l'énergie consommée sur une distance de 3 m. **Conclure** sur les conditions d'utilisation retenues par le constructeur dans sa présentation de l'autonomie.

La tension aux bornes de la batterie étant représentative de l'énergie encore disponible, sa mesure permet d'indiquer à l'utilisateur son état de charge.

La batterie du robot d'assistance à la mobilité est constituée de six cellules élémentaires branchées en série.

Question 1.14 Lorsqu'une cellule élémentaire ne contient plus que 10 % de son énergie, la tension à ses bornes est de 3,5 V. **Déterminer** la tension $U_{\text{Batterie}10\%}$ aux bornes de la batterie lorsqu'elle ne contient plus que 10 % de son énergie.

L'acquisition de la tension est faite par l'intermédiaire d'une structure à pont diviseur de tension et d'un convertisseur analogique numérique présent dans le microcontrôleur de la carte Raspberry (figure 12).

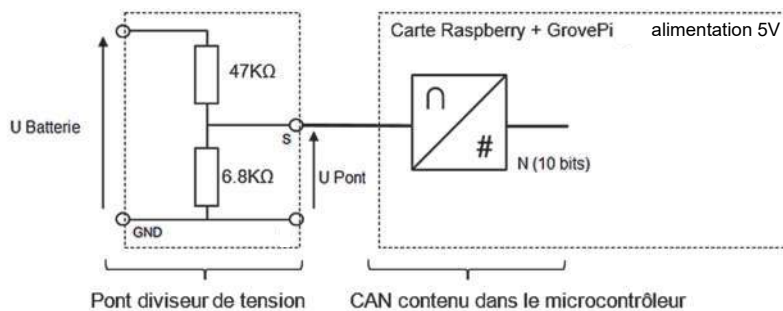


Figure 12 : chaîne d'acquisition de la tension batterie

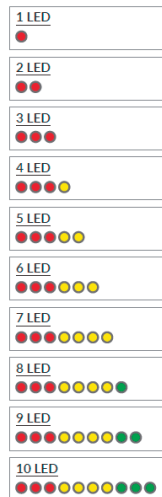
Question 1.15 **Justifier** la présence de la structure à pont diviseur de tension. **Montrer** que la tension $U_{\text{Pont}10\%}$ vaut 2,65 V pour la tension d'entrée $U_{\text{Batterie}10\%}$, en supposant le courant d'entrée du CAN comme négligeable.

Le convertisseur analogique numérique a une résolution de 10 bits et une tension pleine échelle $V_{\text{PE}} = 5 \text{ V}$.

Question 1.16 **Calculer** la valeur du quantum en V. **Déterminer** le nombre $N_{10\%}$ en sortie du convertisseur analogique numérique correspondant à la conversion de la tension $U_{\text{Pont}10\%}$.

Afin d'informer l'utilisateur sur l'état de charge de la batterie du robot d'assistance à la mobilité, la télécommande indique l'énergie restante grâce à une barre de 10 leds par pas de 10 % (figure 13). Si l'énergie contenue dans la batterie passe sous le seuil de 10 % de l'énergie totale de la batterie, alors la led rouge la plus à gauche de la barre se met à clignoter.

Bargraphe 10 LEDS



Énergie batterie inférieure à 10% LED rouge clignotante avec une fréquence de 1 Hz

50% < Énergie batterie ≤ 60%

Énergie batterie > 90%

Figure 13 : affichage du taux de charge de la batterie sur la télécommande

Un programme permet d'acquérir et d'afficher l'énergie présente dans la batterie du robot d'assistance. Son algorithme est fourni sur la figure 14.

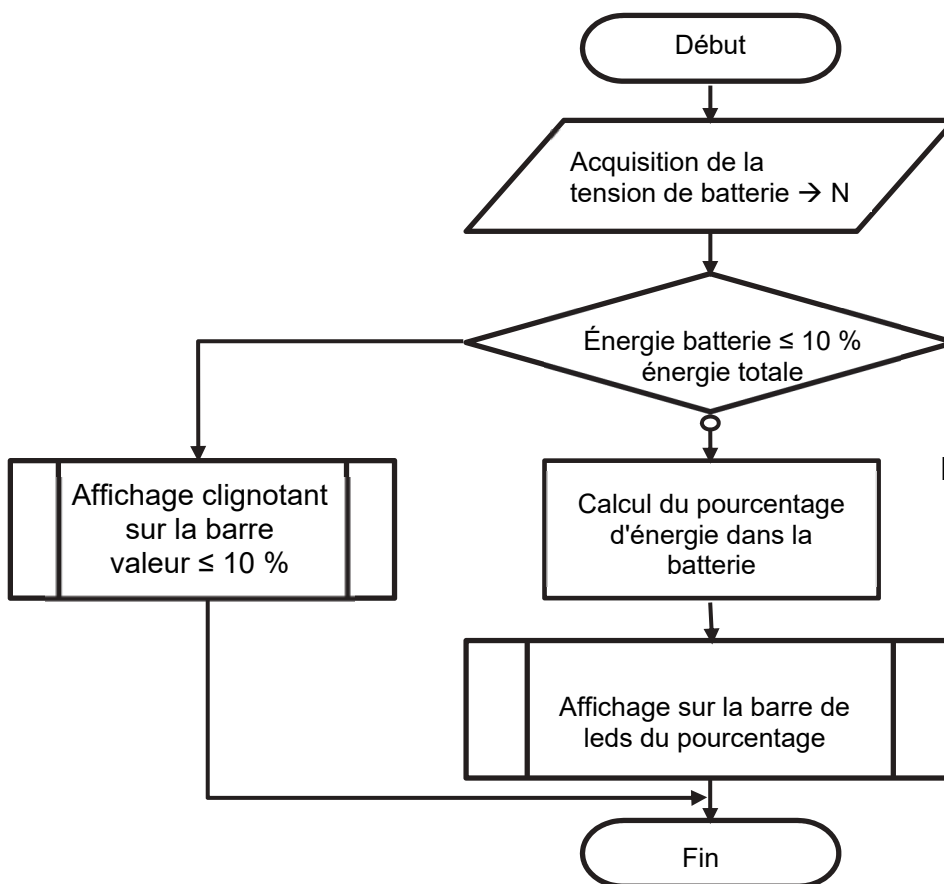


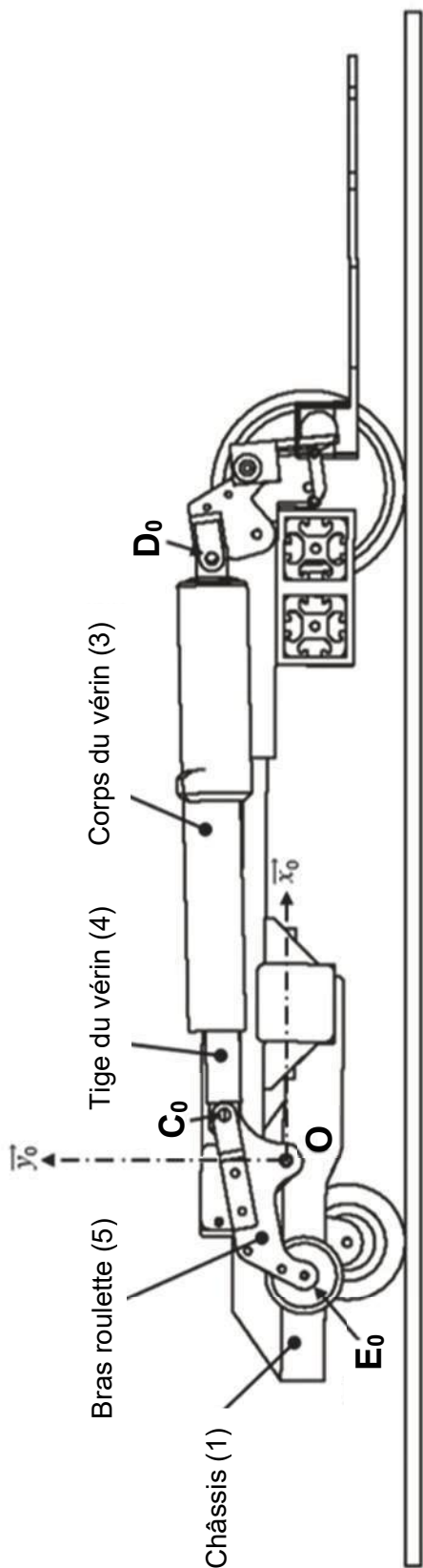
Figure 14 : algorithme du programme d'acquisition et d'affichage de l'énergie

Question 1.17
DR3

Compléter les lignes 13, 14, 16 et 30 de l'extrait du programme en langage Python sur le document réponse DR3, en vous aidant de l'algorithme fourni en figure 14.

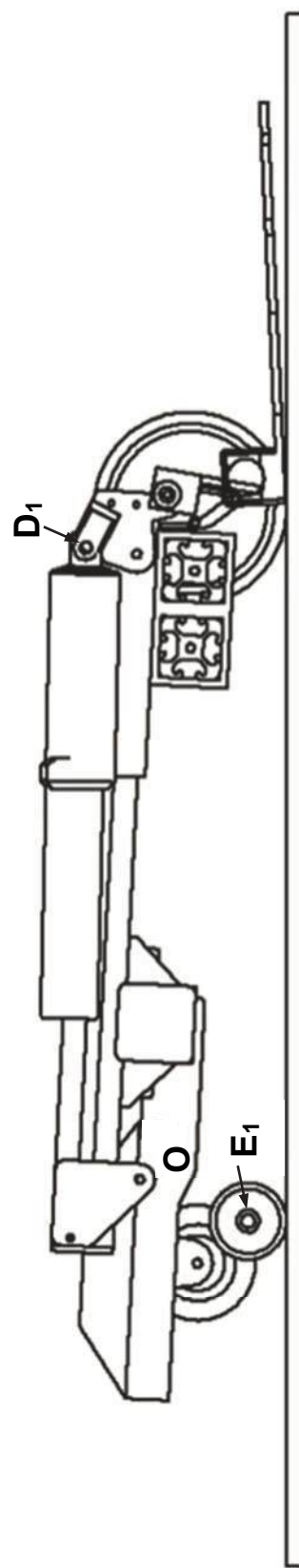
Conclure sur l'intérêt d'avoir un indicateur de taux de charge précis compte tenu de l'autonomie réelle du robot d'assistance comparativement à l'autonomie annoncée.

Questions 1.2 à 1.4



Système en position initiale

Échelle du dessin : 1 : 5



Système en position finale (Bras 5 non représenté)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

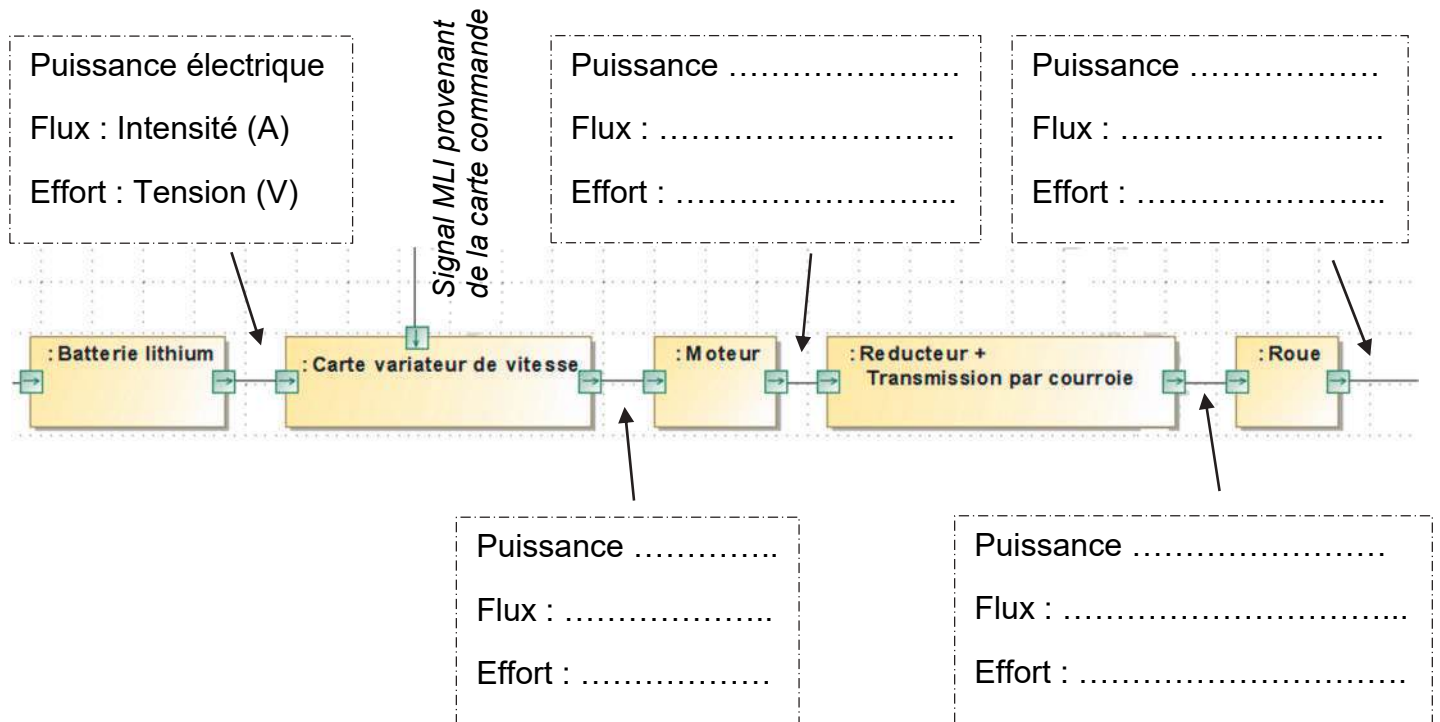
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Né(e) le :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Question 1.7



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Document réponse DR3

Question 1.17

Les fonctions à utiliser pour compléter le programme sont :

<code>grovepi.ledBar_setLed(pin,led,state)</code>	Allume (state=1) ou éteint (state=0) la led spécifiée (1 à 10) du bargraphe connecté à la broche (pin)
<code>time.sleep(t)</code>	Permet d'attendre un délai de durée t exprimée en seconde
<code>SOC_Alerte_10()</code>	Permet de faire clignoter avec une fréquence de 1Hz la led rouge la plus à gauche du bargraphe

```
1 import time
2 import grovepi
3 # Entrée analogique A2 connectée à UPont
4 UPont = 2
5 # Bargraph indicateur du taux de charge batterie connecté à la broche D5
6 ledbar = 5

7 grovepi.pinMode(ledbar,"OUTPUT")
8 # Config. de l'orientation du Bargraph (0 = rouge vers vert, 1 = vert vers rouge)
9 grovepi.ledBar_init(ledbar, 0)

10 def SOC_Alerte_10():
11 # Clignotement de la Led Rouge à gauche du Bargraphe à une fréquence de 1Hz
12 # ledbar_setLed(pin,led,state),led: which led (1-10), state: off or on (0,1)
13 grovepi.ledBar_setLed(.....)
14 time.sleep(.....)
15 grovepi.ledBar_setLed(ledbar, 1, 0)
16 time.sleep(.....)

17 def SOC_Batterie():
18 # Calcul du taux de charge batterie et retourne un entier correspondant au level
19 # à afficher sur le Bargraph
20 # cette fonction est cachée pour plus de lisibilité

21 while 1:
22 # Affichage sur Bargraph de l'énergie dans la batterie
23 N=grovepi.analogRead(UPont)
24 if N > 542:
25     SOC = Calc_SOC_Batterie(N)
26     grovepi.ledBar_setLevel(ledbar, SOC)
27 else :
28 # Appel de la fonction qui permet de faire clignoter la Led Rouge
29 # à gauche du Bargraphe à une fréquence de 1Hz
30     .....
31 # Suite du programme
```

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Transition énergétique

Un propriétaire réalise un logement parallélépipédique et installe vingt panneaux photovoltaïques sur le toit pour en assurer l'alimentation électrique.

Données :

- les panneaux photovoltaïques ont une surface de $S = 2,0 \text{ m}^2$ chacun et leur rendement énergétique est de 20 % : $r = \frac{P_{\text{électrique fournie}}}{P_{\text{lumineuse reçue}}$;
- sur une année, l'énergie surfacique moyenne du rayonnement solaire au niveau du sol est $E_{\text{sol}} = 1,3 \text{ MWh} \cdot \text{m}^{-2}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- constante de Planck : $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
- pour un photon d'énergie E et de longueur d'onde λ : $E = \frac{h c}{\lambda}$.



Figure 1. Panneaux photovoltaïques sur un toit plat

Pour que l'effet photovoltaïque se manifeste dans le matériau semi-conducteur utilisé dans ces panneaux, un photon incident doit avoir une énergie de valeur supérieure ou égale à $E_{\text{min}} = 1,8 \times 10^{-19} \text{ J}$.

- Q1.** Calculer la longueur d'onde λ associée à cette valeur d'énergie.
- Q2.** Situer cette longueur d'onde dans le spectre des ondes électromagnétiques par rapport à celles définissant le domaine visible.
- Q3.** Déterminer si les photons associés aux ondes électromagnétiques constituant le spectre visible auront une énergie suffisante pour permettre cet effet photovoltaïque.
- Q4.** Exprimer la valeur de l'énergie lumineuse moyenne reçue par un panneau photovoltaïque en un an et montrer qu'elle vaut environ 2,6 MWh.
- Q5.** Exprimer puis donner la valeur de l'énergie électrique fournie par les vingt panneaux en un an.

EXERCICE B – Les satellites artificiels : Météosat

Les satellites artificiels de la Terre sont dédiés à l'observation, aux télécommunications ou à la recherche. Les satellites Météosat forment une constellation de cinq satellites météorologiques. Leurs mouvements sont synchronisés sur celui de la Terre : ils observent donc constamment la même zone de la surface terrestre. Pour cela ils sont situés sur une orbite circulaire particulière, qualifiée de géostationnaire. Ils sont aujourd'hui remplacés par les satellites Météosat Seconde Génération (MSG).



<https://earth.esa.int/>

Données :

- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- rayon moyen de la Terre : $R_T = 6\,370 \text{ km}$;
- constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'étude est conduite dans le référentiel géocentrique : son origine coïncide avec le centre de la Terre et ses axes pointent vers des étoiles lointaines ; il est supposé galiléen.

Q1. Représenter sur un schéma sans considération d'échelle, le centre de la Terre représenté par un point T, un satellite Météosat numéroté i représenté par un point S_i et le repère de Frenet.

Q2. Exprimer le vecteur force $\vec{F}_{T/S_i}$ modélisant l'attraction exercée par la Terre sur le satellite S_i de masse m_i , situé à l'altitude h_i dans ce repère en fonction de m_i , h_i , M_T , R_T , G et d'un vecteur unitaire du repère de Frenet.

Q3. À partir de la deuxième loi de Newton, établir l'expression de la valeur de la vitesse v_i du satellite en fonction de R_T , G , M_T et h_i .

Q4. Établir que la période de révolution du satellite S_i autour de la Terre a pour expression :

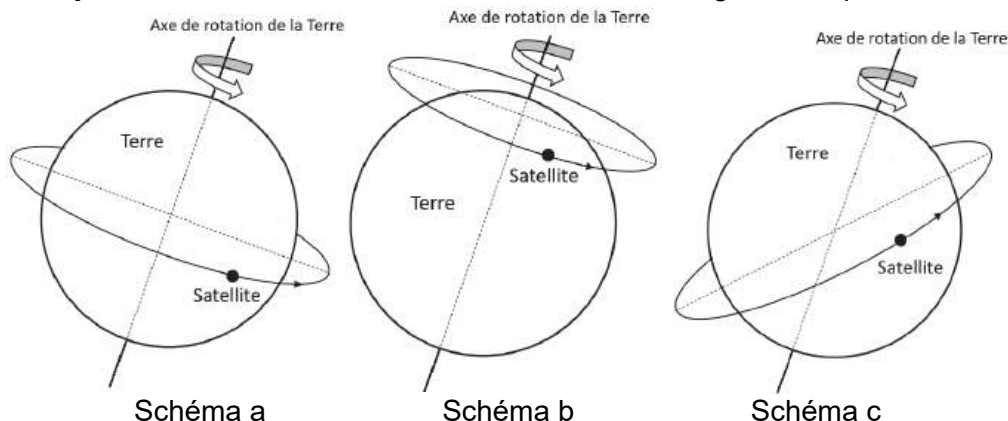
$$T_{Si} = 2\pi \times \sqrt{\frac{(R_T + h_i)^3}{G \times M_T}}$$

Q5. Après avoir rappelé la définition d'un satellite géostationnaire, déterminer la valeur de l'altitude h_g d'un satellite géostationnaire S_g .

Q6. En déduire la durée de transmission entre la surface de la Terre et le satellite d'un signal électromagnétique se propageant à la célérité de la lumière dans le vide.

Q7. Lister un avantage et un inconvénient des satellites géostationnaires par rapport à des satellites circulant sur des orbites plus basses.

Q8. Après avoir commenté leur échelle, choisir parmi les schémas de la page suivante celui qui représente la trajectoire d'un satellite Météosat dans le référentiel géocentrique. Justifier la réponse.



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h 30**- Coefficient : **8**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 20 pages numérotées de 1/20 à 20/20 .

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR2 (pages 15 à 16) sont à rendre avec la copie

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot Reachy



- Sujet pages 1 à 14
- Documents réponses pages 15 à 16

Le sujet comporte deux parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 15 à 16) seront à rendre agrafés aux copies.

Mise en situation

Reachy est un robot humanoïde programmable. Son design attractif et ses bras très mobiles en font une plateforme robotique particulièrement adaptée pour interagir avec les humains et pour manipuler les objets (figure 1).

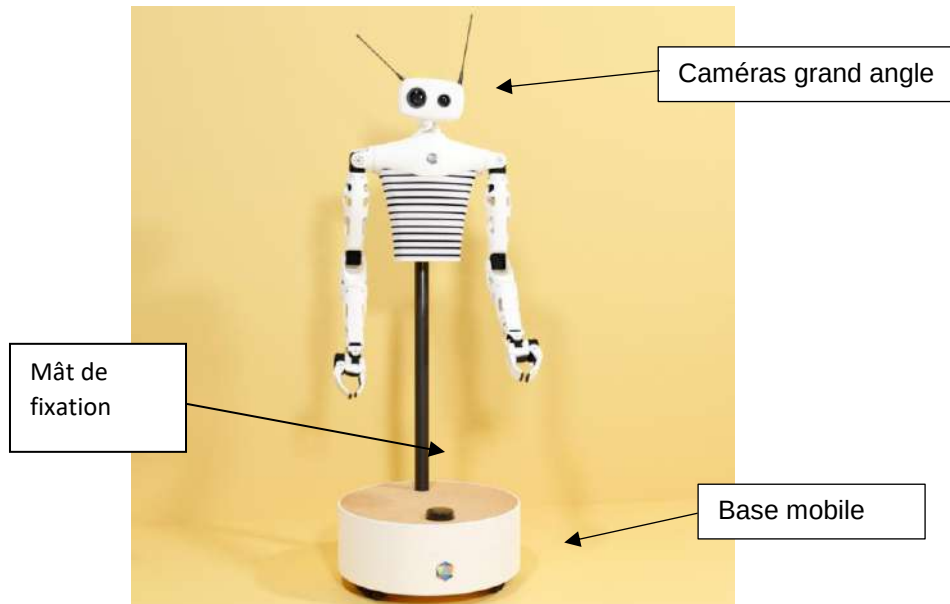


Figure 1 : description de Reachy

Reachy peut fonctionner en toute autonomie pour accomplir des tâches précises ou bien être téléopérable ce qui est sa qualité première. L'utilisateur peut par l'intermédiaire d'un dispositif de réalité virtuelle (VR), interagir à distance dans l'environnement de Reachy.

Pour cela, le robot est équipé de deux caméras grand-angle à haute résolution motorisées permettant à l'utilisateur d'avoir une vision en immersion très précise de l'environnement dans lequel se trouve le robot. La tête et les bras sont dirigés à distance grâce à des manettes individuelles. La tête et les antennes sont animées de manière très fluide conférant à Reachy une aptitude à imiter et communiquer les émotions humaines, et créer de l'empathie avec les humains.

La problématique de l'étude est la suivante :

Comment assister l'être humain dans son quotidien ?

Pour répondre à cette problématique, le sujet est décomposé en trois problèmes techniques :

- Comment fournir assez d'énergie pour limiter les recharges ?
- Comment maintenir l'équilibre du robot lorsqu'il porte un objet ?
- Comment saisir les objets du quotidien sans les écraser ?

Le diagramme partiel des exigences de Reachy est donné figure 2.

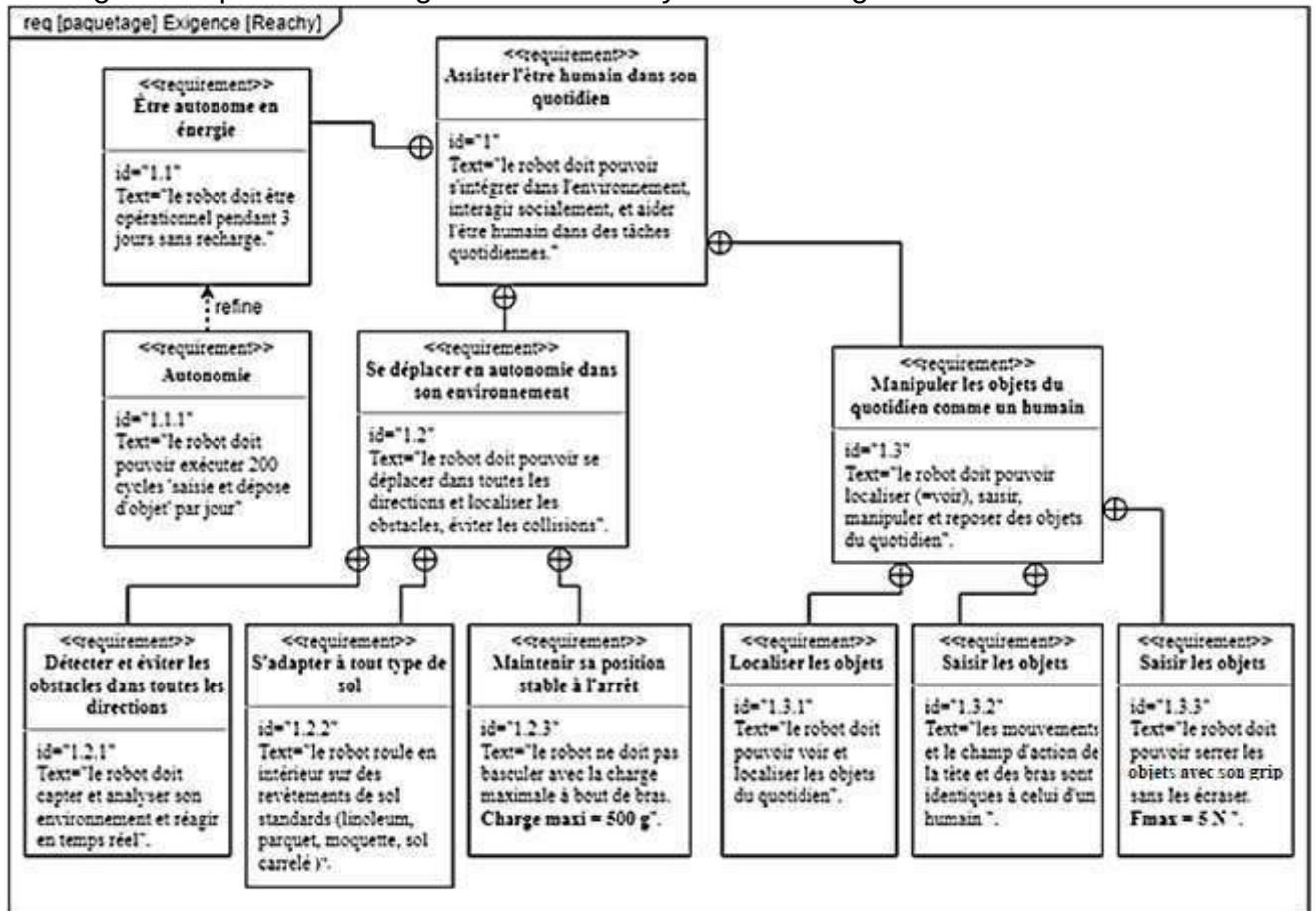


Figure 2 : diagramme partiel des exigences de Reachy

La figure 3 représente le diagramme de définition de blocs.

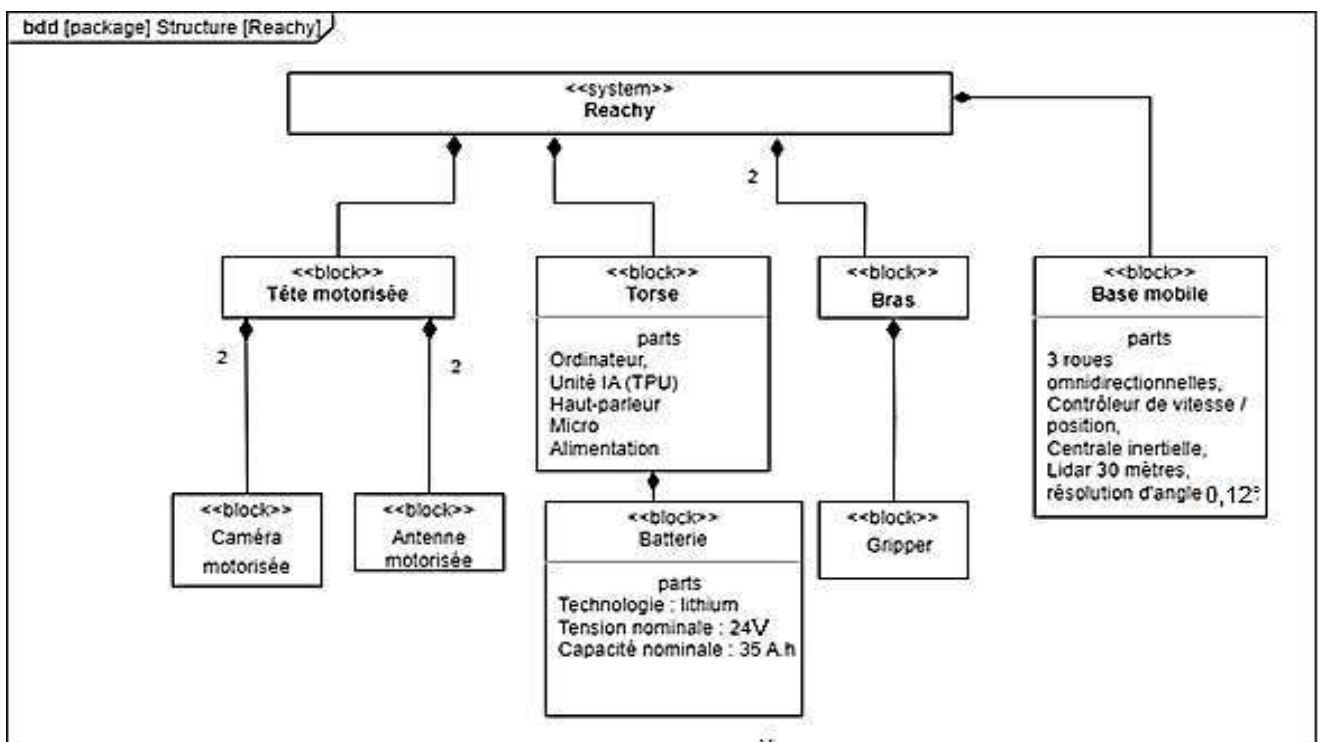


Figure 3 : diagramme de définition de blocs

Sous-partie 1 : comment fournir assez d'énergie pour limiter les recharges ?

L'objectif de cette sous-partie est de déterminer l'autonomie du robot.

En fonction du lieu d'utilisation, l'accès à une prise de recharge n'est pas possible tous les jours. Le tableau 1 décrit les différentes situations.

Lieux	Temps entre recharge
Hôpital	1 mois
Ehpad (maison de retraite)	Journalier
Bureau	2 jours
Maison	Journalier

Tableau 1 : accès à une prise de courant en fonction du lieu

Question 1.	À partir du Tableau 1 et du diagramme des exigences figure 2, citer les différents lieux d'utilisations possibles de Reachy.
Figure 2	
Tableau 1	

Question 2.	À l'aide de la figure 3, identifier les blocs permettant à Reachy de se déplacer de manière autonome dans son environnement.
Figure 3	

Le robot est amené tout au long de la journée à manœuvrer et déplacer de petits objets.

L'opération la plus coûteuse énergétiquement dans les usages les plus fréquents est celle qui consiste à saisir un objet, le soulever pour le déposer quelques centimètres plus loin.

Afin de valider le dimensionnement de la batterie, une mesure de la puissance instantanée consommée a été relevée lors d'une manœuvre de prise, déplacement et dépose d'un objet de charge maximale (voir figure 4). Elle est représentative du cas le plus défavorable.

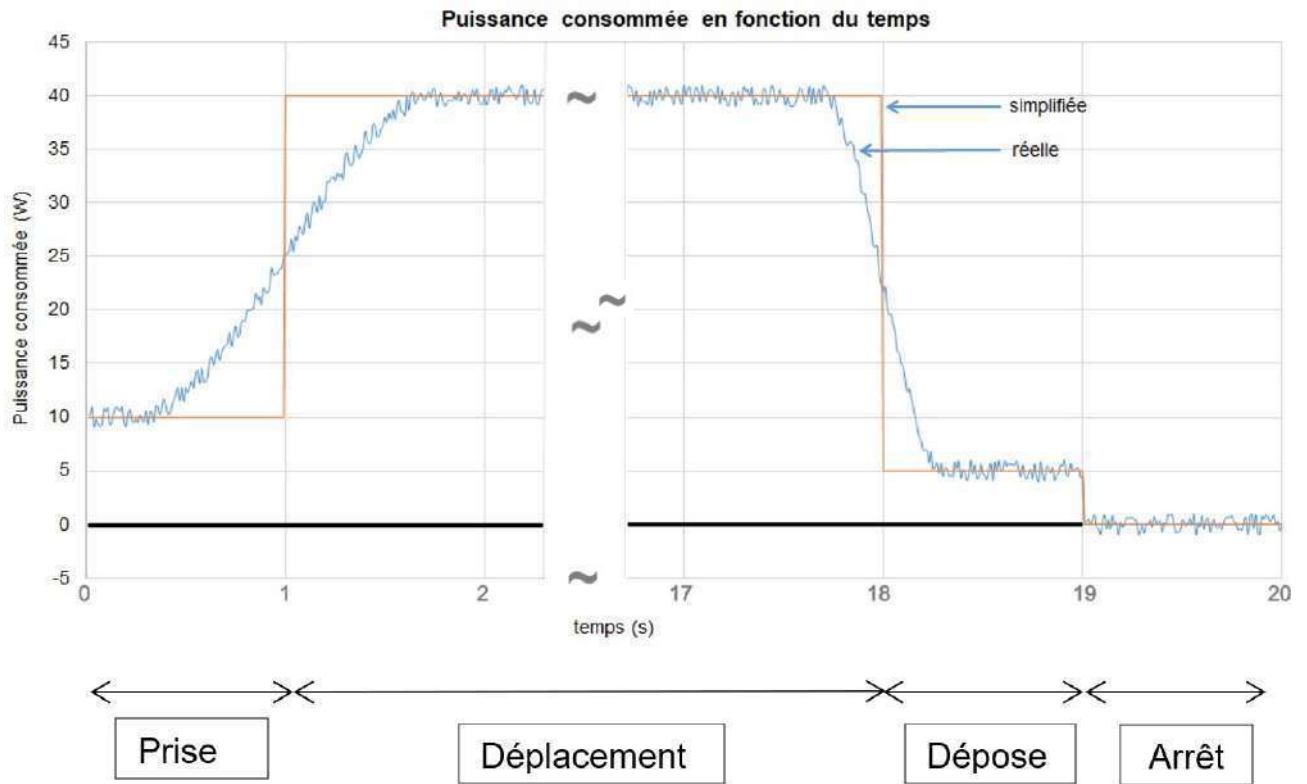


Figure 4 : courbe de la puissance consommée pour un cycle prise-déplacement-repose d'un objet

Les temps de prise et dépose sont constants dans l'utilisation de Reachy. Le temps de déplacement dépend de la distance parcourue.

Pour vérifier l'exigence 1.1.1, le cas le plus défavorable est considéré.

Question 3.	Calculer l'énergie consommée pour un cycle de prise, déplacement et dépose d'objet sur la courbe simplifiée. Montrer que la consommation moyenne journalière vis-à-vis de l'exigence 1.1.1 est de 139 kJ.
Figure 4	
Figure 2	

Question 4.	En négligeant toute autre consommation que celle de la question 3, calculer le nombre de jours d'utilisation sans recharge de Reachy. Conclure sur le respect de l'exigence 1.1.
Figure 2	
Figure 3	

Sous-partie 2 : comment maintenir l'équilibre du robot lorsqu'il porte un objet ?

L'objectif de cette sous-partie est de valider la capacité du robot à porter des charges à bout de bras.

L'ensemble du robot repose sur une base mobile avec trois roues lui permettant ainsi de tourner autour d'un axe fixe (figure 5).

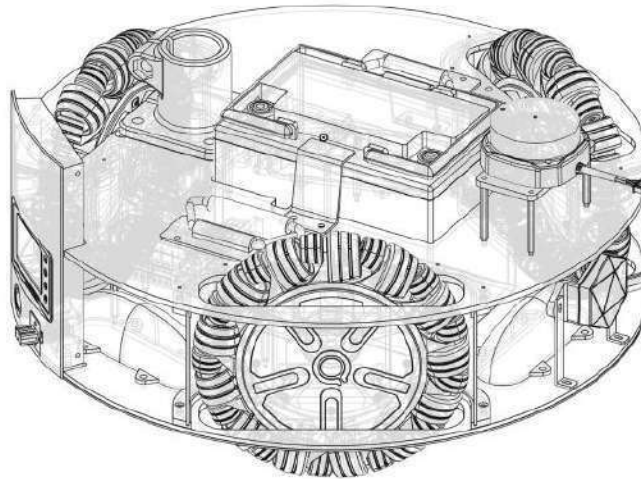


Figure 5 : Base mobile à 3 roues

Afin de valider les exigences 1.2.2 et 1.2.3, il est important de valider les deux composantes suivantes :

- le choix architectural de la position du mât de fixation ;
- la capacité de robot à se déplacer dans le cas le plus défavorable.

Lors de la conception du robot, plusieurs possibilités pour l'emplacement du mât de fixation étaient possibles. Trois solutions représentées en figure 6 et 7 ont été retenues.

En fonction de sa position, le risque de basculement sera plus ou moins élevé.

La figure 6 représente trois positions possibles de la base mobile.

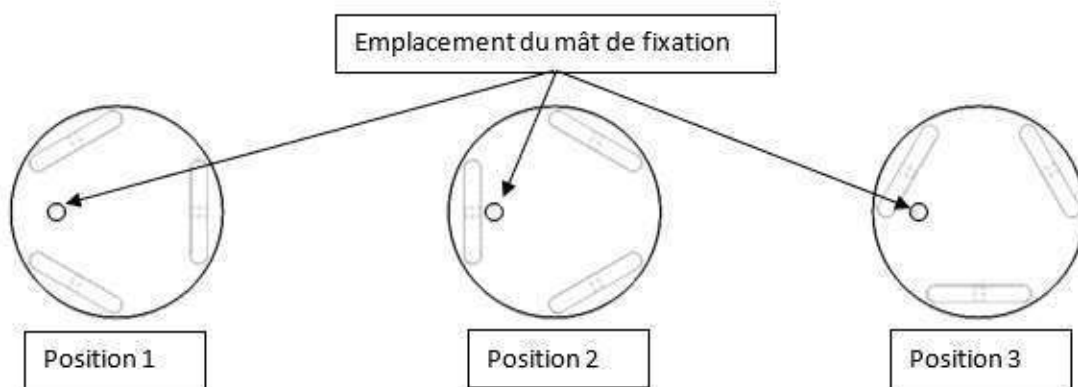


Figure 6 : les trois positions de la base mobile en vue de dessus

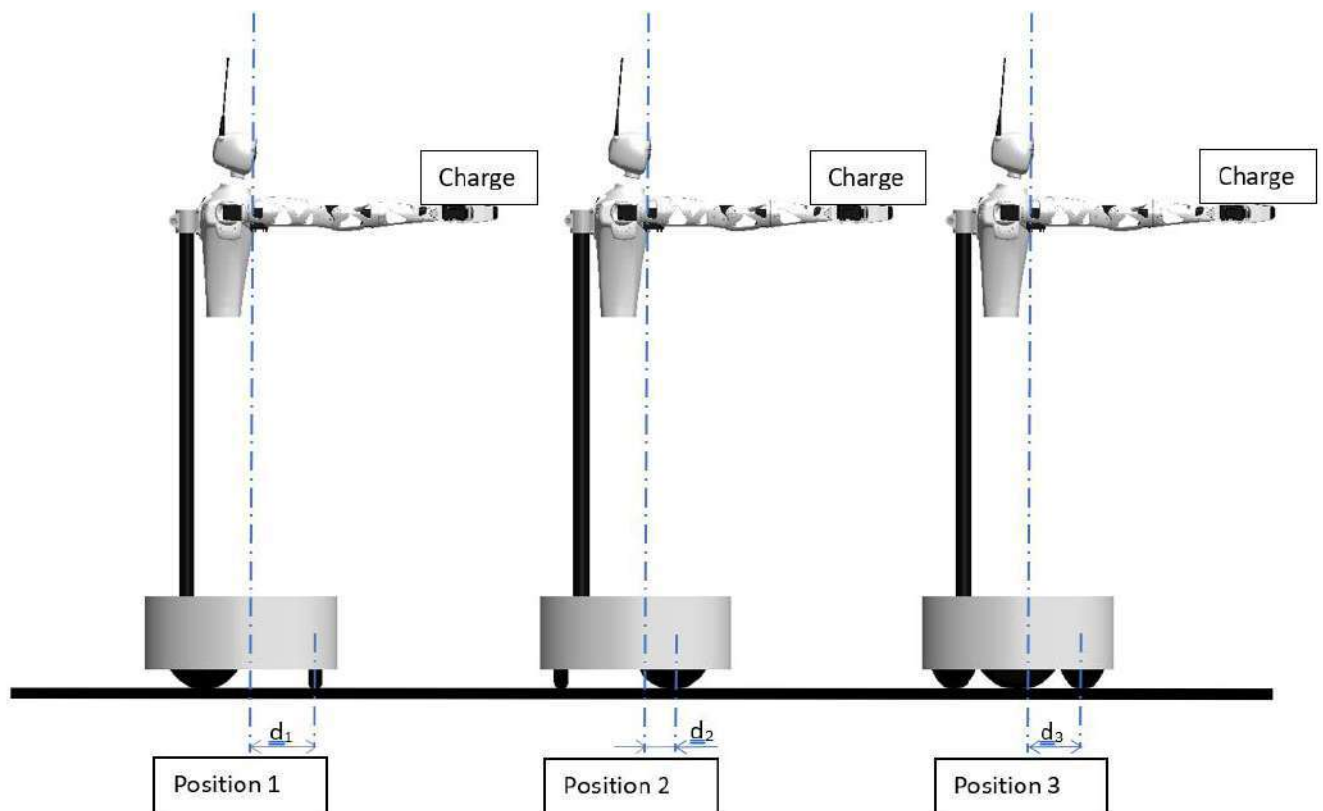


Figure 7 : les trois positions de la base mobile en vue de coté

Les distances d_1 , d_2 et d_3 représentent la distance entre le centre gravité du robot et le point d'appui lors du basculement vers l'avant tel que $d_1 > d_3 > d_2$.

Lorsque le robot porte une charge à bout de bras, il risque de basculer vers l'avant.

Question 5.	Déterminer le cas le plus favorable pour éviter le basculement en justifiant la réponse.
Figure 6 Figure 7	

Afin de vérifier la capacité du robot Reachy à être utilisé dans tous les environnements possibles, il est maintenant nécessaire de valider sa stabilité dans les conditions les plus défavorables. D'après la norme PMR (Personne à Mobilité Réduite), la pente maximale autorisée est de 12 %.

L'objectif est de vérifier que le robot ne bascule pas et ne glisse pas à l'arrêt dans une descente.

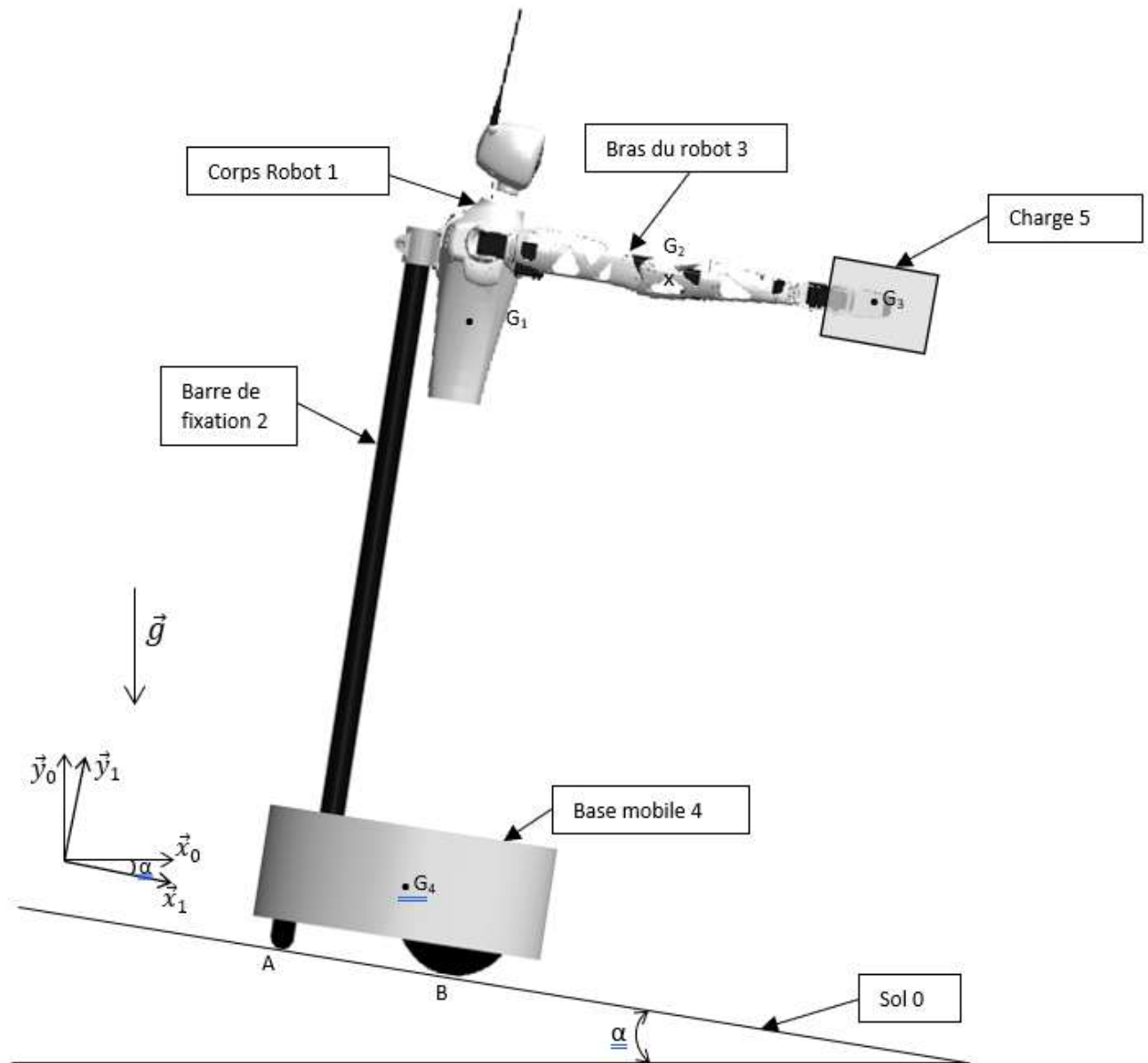


Figure 8 : Reachy avec la charge

Pour la suite de l'étude, comme illustré sur la figure 8, l'ensemble isolé est noté $\{S\} = \{\text{corps robot 1} + \text{barre de fixation 2} + \text{bras du robot 3} + \text{base mobile 4} + \text{charge à déplacer 5}\}$.

Les hypothèses retenues pour l'étude sont :

- le modèle présente une symétrie de géométrie et d'effort suivant le plan $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$;
- le robot est supposé immobile lors de l'étude ;
- les frottements s'exercent uniquement sur les roues de devant et modélisés au seul point B.

Les données de l'étude sont les suivantes :

- $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, le repère orthonormé direct lié au référentiel galiléen ;

- $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, le repère orthonormé direct incliné ;
- $m_{\text{corps}} = 3,425 \text{ kg}$, la masse totale de l'ensemble {corps robot 1 + barre de fixation 2} ;
- $m_{\text{bras}} = 1,670 \text{ kg}$, la masse d'un bras {3} ;
- m_{charge} , la masse maximale transportable définie dans le diagramme des exigences ; $m_{\text{base mobile}} = 25 \text{ kg}$, la masse de la base mobile {4} ;
- Le poids de l'ensemble {corps robot 1 + barre de fixation 2} tel que

$$\{P_1\} = \begin{pmatrix} 4 \text{ N} & 0 \\ -33,4 \text{ N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(G_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} ;$$
- Le poids des 2 bras {3} tel que

$$\{P_2\} = \begin{pmatrix} 3,9 \text{ N} & 0 \\ -32,5 \text{ N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(G_2, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} ;$$
- Le poids de la charge {5} tel que

$$\{P_3\} = \begin{pmatrix} 0,58 \text{ N} & 0 \\ -4,86 \text{ N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(G_3, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} ;$$
- Le poids de la base mobile {4} tel que

$$\{P_4\} = \begin{pmatrix} 29,2 \text{ N} & 0 \\ -243,3 \text{ N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(G_4, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} ;$$
- $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, l'accélération de pesanteur projetée sur $\vec{y}_0$;
- G_1 , le centre de masse de l'ensemble {corps robot 1 + barre de fixation 2} ;
- G_2 , le centre de masse des bras {3} ;
- G_3 , le centre de masse de la charge à déplacer {5} ;
- G_4 , le centre de masse de la base mobile {4} ;
- $\alpha = 6,84^\circ$, correspondant à la pente de la rampe de 12 % ;
- A et B, les points de contact des roues de la base mobile {4} avec le sol {0} ;
- L'action de contact du sol {0} sur la roue de la base mobile {4} au point A tel que : $\{A_{0 \rightarrow 4}\} =$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} ;$$
- L'action de contact du sol {0} sur la roue de la base mobile {4} au point B tel que : $\{B_{0 \rightarrow 4}\} =$

$$\begin{pmatrix} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(B, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)} .$$

Question 6.	Justifier avec le calcul détaillé les composantes du torseur $\{P_2\}$ dans le repère $(G_2, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$.
Figure 8 DR1	Tracer sur le DR1 les projections dans la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ des efforts $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3, \vec{P}_4$.

Question 7.	En appliquant le théorème du moment statique sur l'ensemble $\{S\}$, en projection sur $\vec{z}$, au point B, et les dimensions données dans le DR1, montrer que l'action $Y_A = 5,5 \text{ N}$.
Figure 8 DR1	Conclure sur le basculement du robot.

Le théorème de la résultante statique sur l'ensemble $\{S\}$ permet ensuite de déterminer les actions X_B et Y_B et de calculer le rapport $\left| \frac{X_B}{Y_B} \right|$ qui est égal à 0,12.

Les lois de Coulomb permettent de savoir s'il y a adhérence ou glissement en un point de contact avec frottement. On note T l'action tangentielle en ce point de contact, N l'action normale et f le coefficient de frottement entre les deux matériaux. Une des lois mentionne qu'il n'y a pas glissement lorsque $|T| \leq f \cdot |N|$

La valeur du coefficient de frottement dépend des deux matériaux en présence et de leurs états de surface (tableau 2). Le robot Reachy interagit avec différents sols, ce qui amène à prendre en compte différents coefficients de frottement.

Type de rampe	Sec	Mouillé
Sol carrelé	$f = 0,8$	$f = 0,4$
Linoleum (sol en PVC)	$f = 0,7$	$f = 0,3$
Parquet	$f = 0,6$	$f = 0,2$

Tableau 2 : coefficient de frottement statique (f) des roues en caoutchouc en fonction du matériau de la rampe

Question 8.	À partir du tableau 2 et de la loi de Coulomb, déterminer la valeur de f la plus défavorable. Conclure , dans le cas le plus défavorable, si le robot risque de glisser et sur la capacité de Reachy à transporter des objets de façon sécurisée et valider les exigences 1.2.2 et 1.2.3.
Tableau 2	

Sous-partie 3 : comment saisir les objets du quotidien sans les écraser ?

L'objectif de cette sous-partie est de s'assurer que le robot est capable de saisir un objet sans l'écraser.

Le gripper (figure 9) est actionné par un seul servomoteur Dynamixel MX-281AT capable de fournir un couple de 2,5 N.m. Afin de limiter les efforts exercés sur les objets, le gripper est pourvu d'un capteur d'effort dont la valeur maximale est de 7,8 N.

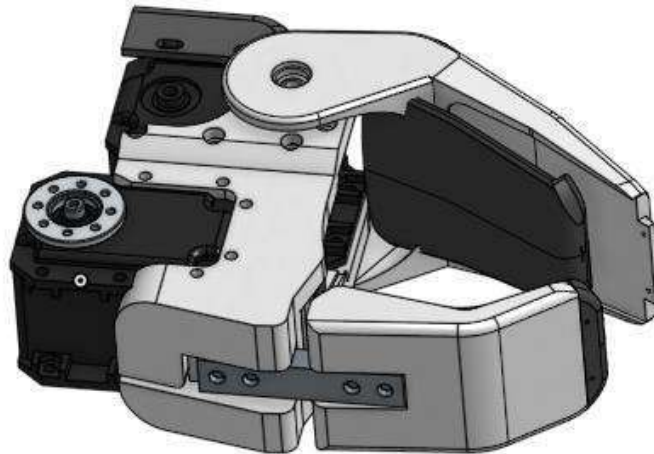


Figure 9 : pince gripper

Afin de vérifier l'exigence 1.3.3, une modélisation multiphysique, présentée figure 10, de la pince a été réalisée et permet de modéliser le comportement dynamique. Une loi d'asservissement de la pince permet, en fonction de l'effort mesuré par le capteur et du déplacement de l'ensemble {pince + Objet saisi} de limiter l'effort appliqué à un objet saisi et ainsi de limiter la déformation.

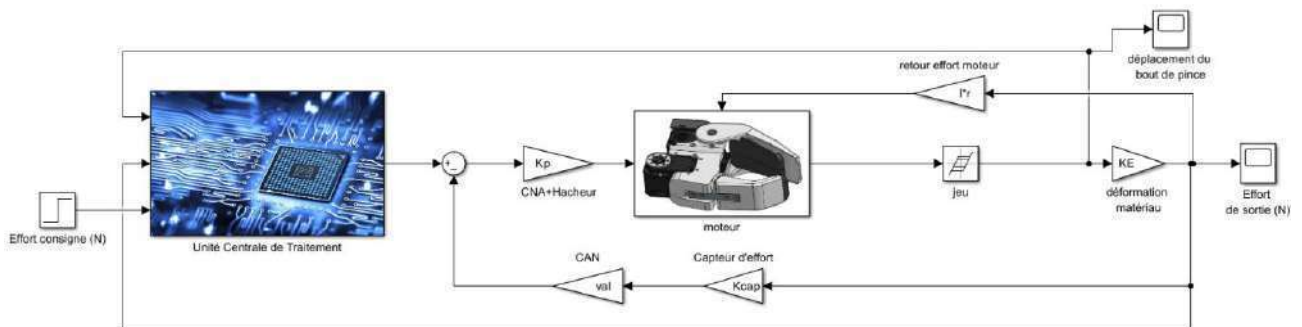


Figure 10 : modèle de simulation multiphysique de la pince

Pour vérifier que la pince ne détériore pas l'objet saisi dans des cas limite, deux cas sont étudiés : saisie d'un récipient en verre et saisie d'un récipient en plastique. Le paramètre permettant de modéliser différents matériaux dans la modélisation multiphysique est le gain noté KE qui représente un coefficient de raideur équivalente de l'ensemble {pince + Objet saisi}. Pour cette étude le verre est considéré comme indéformable, seule la pince se déforme lors de la prise .

Deux simulations ont été réalisées, l'une avec $KE = 500 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ et l'autre avec $KE = 3000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$.

La figure 11 représente d'une part la déformation en mm de l'ensemble {pince + Objet saisi} en bout de pince et d'autre part l'effort en bout de pince (en Newton).

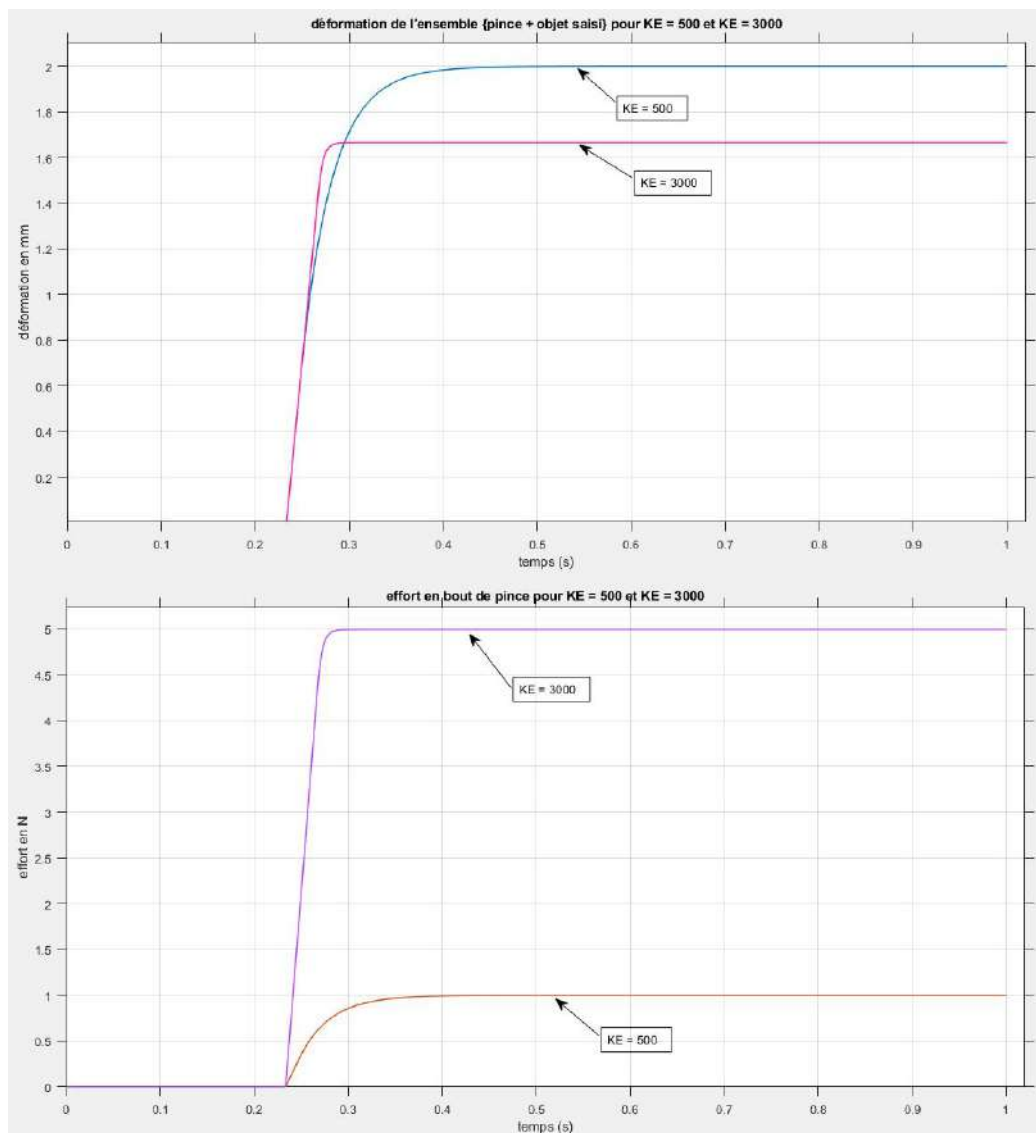


Figure 11 : déplacement et effort en bout de pince dans les cas $KE = 500 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ et $KE = 3000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$

Question 9.	Déterminer quelle valeur de KE correspond à la saisie du plastique.
Figure 11	Justifier la valeur maximale de l'effort en fonction du matériau.

Après avoir étudié différents matériaux, il est nécessaire de vérifier l'effort limite dans le gripper. Un capteur est situé dans une des pinces pour mesurer cet effort qui ne doit pas dépasser $F_{\max} = 5 \text{ N}$. Le traitement de cette acquisition est ensuite effectué afin de communiquer avec le microcontrôleur. Celui-ci est réalisé par un CAN (convertisseur analogique numérique) 24 bits dont la valeur pleine échelle est obtenue pour un effort de $F_{\text{pleine échelle}} = 7,8 \text{ N}$.

Pour la suite de l'étude, la valeur renvoyée par le CAN est considérée comme étant 0xA41A42.

Question 10.	Montrer que la valeur de l'effort renvoyée par le CAN correspond à F_{max} .

La fonction détecter_effort_maximum(valeur_effort) est le sous-programme qui permet de gérer l'effort maximum. Elle prend comme argument la valeur de l'effort, pour la comparer à la valeur de l'effort maximal écrite en hexadécimal. Elle renvoie un booléen (true ou false) pour indiquer au programme principal d'arrêter l'action de préhension.

Question 11.	Compléter sur le DR2 le code de la fonction « détecter_effort_maximum (valeur_effort) ».
DR2	

Dans le programme, une fonction permet d'éliminer le bruit de mesure et d'améliorer la précision de la mesure. Un filtre moyennneur à fenêtre glissante est utilisé. La moyenne est faite sur les 100 dernières valeurs acquises.

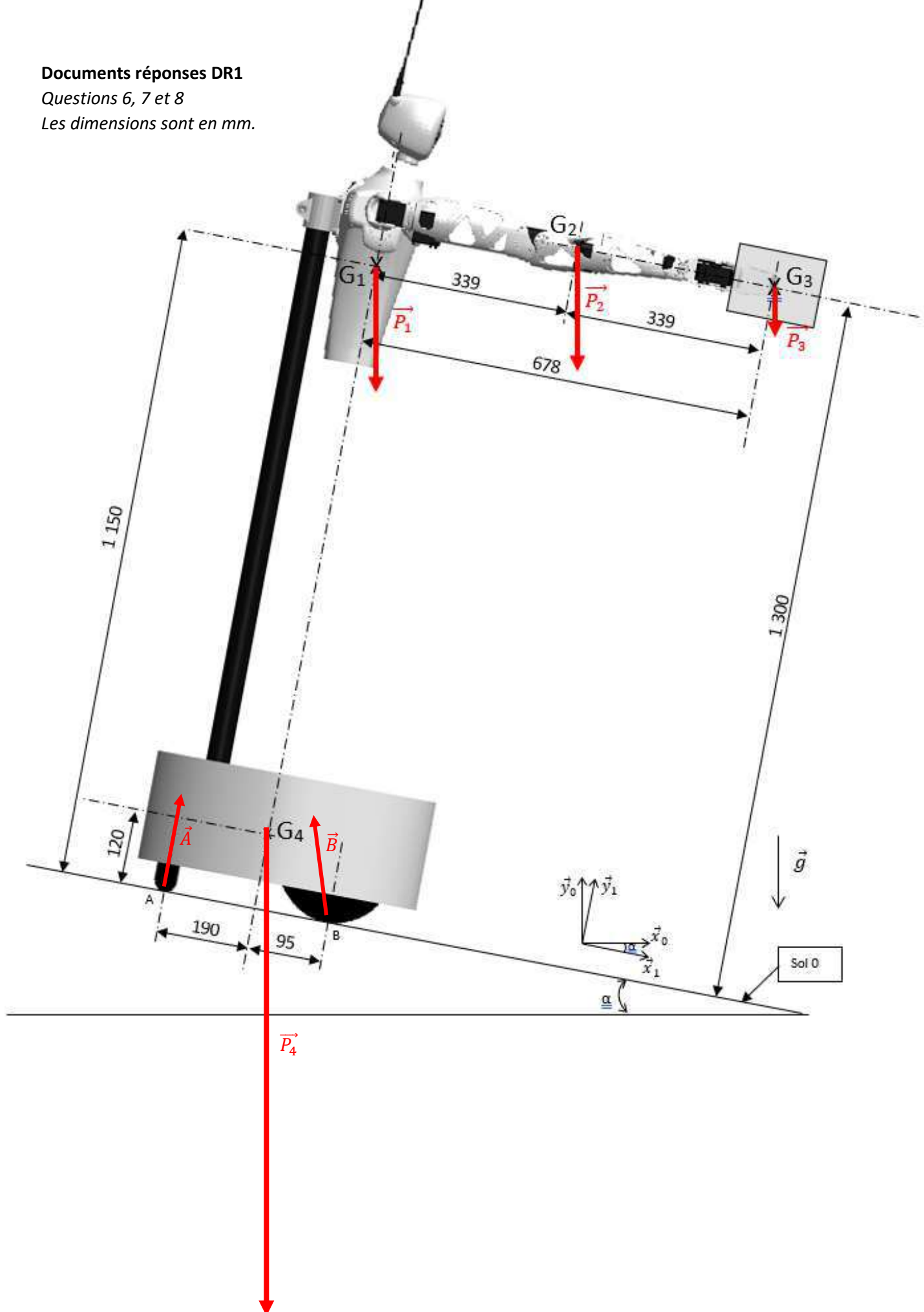
Question 12.	Compléter sur le document réponse DR2, le code de la fonction « calculer_moyenne_glissante (tab_valeur) ».
DR2	

Question 13.	Conclure sur la capacité de Reachy à valider l'exigence 1.3.3 du diagramme des exigences.
Figure 2	

Documents réponses DR1

Questions 6, 7 et 8

Les dimensions sont en mm.



Question 11

```
def détecter_effort_maximum (valeur effort) :  
    """  
    entrée : entier image de la valeur de l'effort  
    sortie : booléen, True si la valeur de l'effort atteint  
            ou dépasse la valeur maximale absolue  
    """  
  
    if ..... :  
        # écrire la valeur de comparaison en hexadécimal  
  
        return .....  
  
    else :  
  
        return .....
```

Question 12

```
def calculer_moyenne_glissante (tab_valeur) :  
    """  
    Calcule la valeur moyenne des 100 échantillons  
    contenus dans le tableau fourni en arguments  
  
    entrées : tab_valeur, tableau d'entiers  
    sortie : résultat du calcul de la valeur moyenne du tableau d'entrée  
    """  
  
    somme = .....# initialisation de la valeur de la somme  
  
    for i in range(.....): # parcours des 100 valeurs du tableau  
  
        somme = .....  
  
    # les lignes suivantes permettent de calculer la moyenne  
    # et de la renvoyer en sortie de fonction  
  
    .....  
  
    .....
```

Partie 2 : Sciences Physiques

Exercice A : Les ondes lumineuses

Indiquer, sur la copie, le numéro de la question suivi de la lettre correspondant à la bonne réponse. Il n'y a qu'une bonne réponse par question et il n'est pas nécessaire de la justifier.

1. La diffraction consiste en :
 - a) un étalement des directions d'une onde lorsqu'elle rencontre un obstacle ou une ouverture de petite dimension ;
 - b) la superposition de deux ondes cohérentes ;
 - c) le changement de direction du rayon lumineux lorsqu'il change de milieu ;
 - d) l'absorption d'une onde par un milieu.
2. Une onde lumineuse de longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$ est diffractée par une fente de très grande longueur. Le premier minimum de diffraction est observé avec un angle $\theta = 0,1 \text{ rad}$ par rapport à l'axe central. Calculer la largeur de cette fente :
 - a) 50 nm ;
 - b) $5,0 \text{ mm}$;
 - c) $2,0 \times 10^5 \text{ m}$;
 - d) $5,0 \mu\text{m}$.
3. Dans une zone où deux ondes interfèrent de manière constructive :
 - a) l'onde résultante a une amplitude plus faible qu'une seule onde ;
 - b) l'onde résultante a une amplitude plus élevée qu'une seule onde ;
 - c) l'onde résultante est déviée ;
 - d) l'onde résultante est absorbée.
4. Pour obtenir des interférences lumineuses :
 - a) les ondes doivent provenir de sources incohérentes ;
 - b) les ondes doivent avoir des fréquences différentes ;
 - c) les ondes doivent provenir de sources cohérentes ;
 - d) les ondes doivent avoir des amplitudes identiques.
5. Dans l'expérience des fentes d'Young, l'interfrange i varie en fonction de la distance D entre l'écran et les fentes d'Young de la façon suivante :
 - a) l'interfrange i diminue quand la distance D augmente ;
 - b) l'interfrange i augmente quand la distance D augmente ;
 - c) l'interfrange i est indépendant de la distance D ;
 - d) l'interfrange i varie de façon non linéaire avec la distance D .
6. La relation entre l'interfrange i , la longueur d'onde λ , la distance D entre les fentes et l'écran, et l'écart b entre les fentes dans le dispositif d'Young est donnée par l'une des formules suivantes. En raisonnant sur les unités, indiquer celle qui est correcte.
 - a) $i = \lambda D b$;
 - b) $i = \frac{\lambda D}{b}$;
 - c) $i = \frac{\lambda D}{b^2}$;
 - d) $i = \frac{b}{D\lambda}$.

Exercice B : Entraînement des spationautes

Les spationautes doivent subir un entraînement intense afin de se préparer aux conditions extrêmes qu'ils subiront lors de leurs missions. L'objet de l'exercice est d'étudier comment on peut reproduire deux situations extrêmes : l'impesanteur et l'hypergravité.

Partie 1 : Impesanteur lors des vols dits « 0 g » à bord de l'airbus A310 ZÉRO-G

L'impesanteur qui accompagnera le spationaute tout au long de sa mission à bord de l'ISS (*International Space Station*) peut être atteinte pour quelques secondes dans des vols paraboliques.

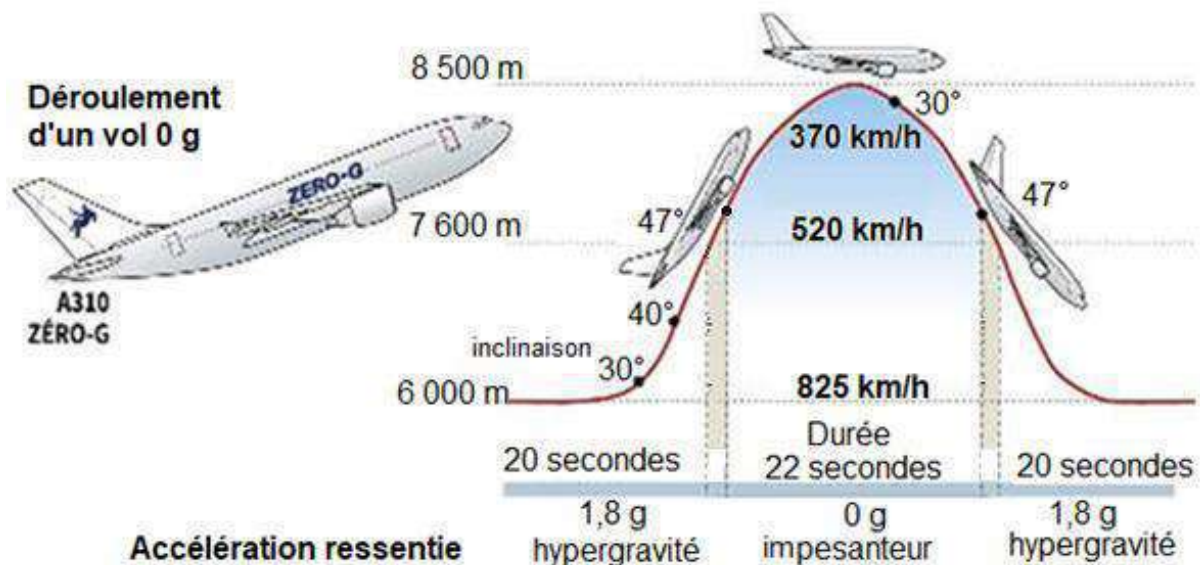


Figure 1 : Vol parabolique d'après Novespace / CNES

Alors que l'avion est en pleine ascension, trois pilotes vont agir simultanément sur leurs commandes respectives afin de placer l'appareil sur sa trajectoire balistique. Cette phase s'appelle « l'injection ». L'appareil décrit ensuite une parabole, son mouvement peut être alors assimilé à une chute libre pendant une durée de 22 s. Il en est de même pour les passagers et les instruments placés à bord.

D'après la plaquette « Les vols paraboliques » disponible sur jeunes.cnes.fr

Données

- Intensité de la pesanteur $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Altitude du début et de la fin de la parabole : $h_0 = 7,8 \text{ km}$
- Altitude maximale atteinte lors de la parabole : $h_{\text{max}} = 8,5 \text{ km}$
- Angle entre la vitesse de l'airbus A310 en début de parabole $\vec{v}_0$ et l'horizontale : $\beta = 47^\circ$
- Norme de cette vitesse par rapport au sol : $v_0 = 520 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

1. Préciser dans quelle condition un objet est en chute libre.

Pour la suite de l'exercice, le début de la parabole sera considéré comme l'origine des dates. L'avion sera assimilé à un point matériel. L'étude sera réalisée dans le référentiel terrestre supposé galiléen. L'altitude 0 correspond au niveau de la mer.

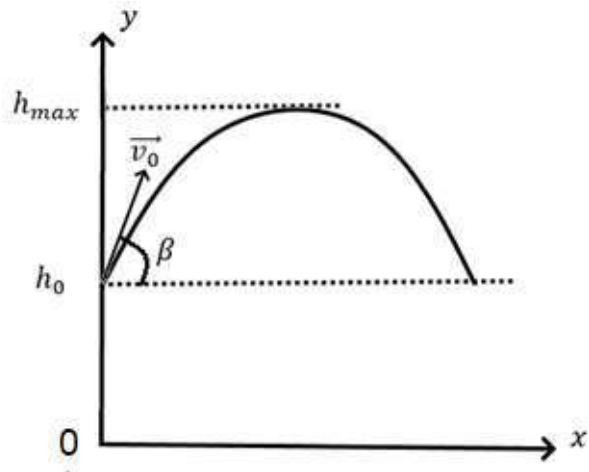


Figure 2 : trajectoire de l'airbus ZÉRO-G dans le référentiel d'étude

2. Montrer, en appliquant la deuxième loi de Newton, que les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ de l'airbus ZÉRO-G lors de phase parabolique sont :

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos \beta \\ v_y(t) = -g t + v_0 \sin \beta \end{cases}$$

3. Déterminer l'expression de t_s , date pour laquelle l'altitude est maximale lors du vol parabolique en fonction de v_0 , β et g .

4. Calculer la valeur de t_s et la comparer à la durée de la phase parabolique.

Partie 2 : Centrifugeuse 20 g de la Nasa

Les centrifugeuses permettent d'accéder à des accélérations très grandes par rapport à l'intensité de la pesanteur telles que les spationautes pourront rencontrer lors des phases de décollage ou de retour sur Terre.



Figure 3 : Centrifugeuse 20 g d'après : NASA / Dominic Hart

Données :

- Distance entre l'axe de rotation et le spationaute assimilé à son centre de masse : $R = 8,84 \text{ m}$
- Vitesse de rotation maximale : 50 tours par minute

5. Donner l'expression des composantes du vecteur accélération du spationaute dans la base de Frenet.

Par la suite, le mouvement du spationaute dans la cabine sera supposé circulaire uniforme, sa vitesse sera notée v . D'autre part, on ne tiendra pas compte de la force gravitationnelle.

6. Déterminer la vitesse de rotation en tours par minute qui permet d'atteindre une accélération égale à $10 g$ pour le spationaute.

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

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

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 21 pages numérotées de 1/21 à 21/21.

**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 15 à 17) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Transport par boucle urbaine



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 14
- Documents réponses..... pages 15 à 17

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 15 à 17) sont à rendre avec la copie.

Transport par boucle urbaine

Urbanloop est un nouveau concept de déplacement en milieu urbain actuellement développé par une entreprise de Nancy (région Grand Est).

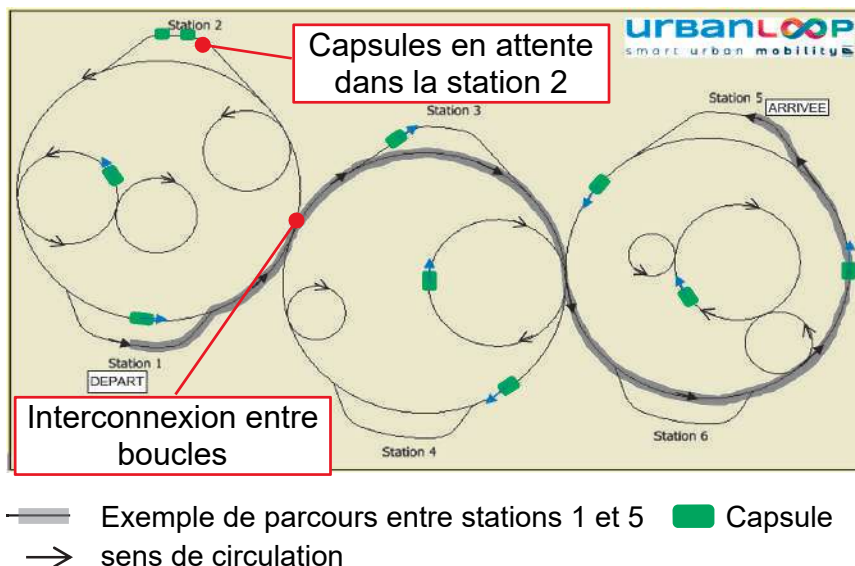
Ce système de transport est conçu pour répondre aux trois objectifs sociétaux suivants :

- concurrencer efficacement l'utilisation de la voiture en ville ;
- minimiser la consommation d'énergie, l'impact sur l'environnement ;
- garantir un haut niveau d'accessibilité et de sécurité.

L'innovation majeure de ce moyen de transport réside dans le déplacement autonome de passagers dans des capsules équipées de deux places assises (figure 1). Ces capsules transportent les passagers de façon entièrement automatique après la sélection de la destination sur leurs téléphones portables.



Figure 1 : vue d'une capsule seule et capsules se trouvant à une interconnexion



Le concept est basé sur un réseau de voies uniques formé de boucles interconnectées sur lesquelles circulent les capsules entièrement autonomes (figure 2). Le sens de circulation au sein d'une boucle reste toujours le même quels que soient les lieux de départ et d'arrivée.

Figure 2 : vue globale des voies et des boucles avec parcours entre deux stations

Les capsules sont propulsées par deux « moteurs-roues » électriques alimentés par un rail en basse tension (72 V).

Sous-partie 1

Validation du système de changement de voie afin d'assurer la sécurité des passagers

L'objectif de cette sous-partie est de valider la chaîne de puissance du dispositif de changement de voie.

En effet, lorsque la capsule veut changer de voie, le dispositif de changement de voie doit se mettre en place et l'ordre de descente des roulettes de guidage escamotable doit être émis à une certaine distance d'une interconnexion. Cela permet aussi d'arrêter éventuellement la capsule avant une intersection si une défaillance au niveau du dispositif est constatée. La validation consistera donc à vérifier que la somme de la distance parcourue pendant la descente du dispositif de changement de voie et de la distance d'arrêt de la capsule n'excède pas 100 m.

Les capsules sont guidées par deux rails en « L ». La partie verticale du rail sert à les diriger dans les virages ou dans un aiguillage. La figure 3 permet de visualiser le système de guidage.



Figure 3 : vue du système de guidage sur le rail

Le changement de voie, à une interconnexion, s'effectue grâce à un mécanisme positionné à proximité de chaque roue. Celui-ci permet à des roulettes escamotables de descendre du côté vers lequel doit se diriger la capsule. Une visualisation du mécanisme de changement de voie et des positions basse et haute de la roulette de guidage amovible est proposée sur la figure 4.

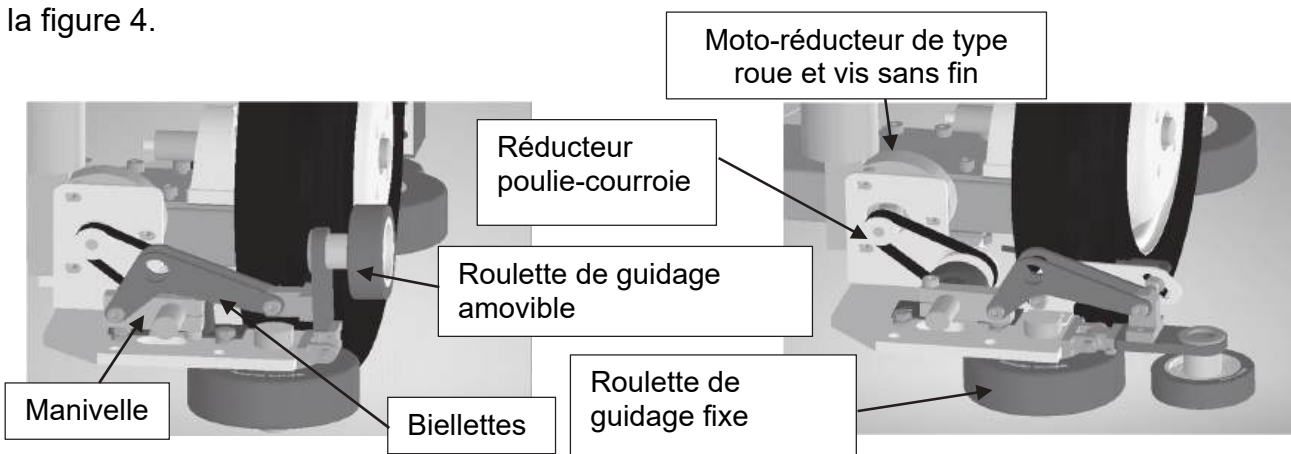


Figure 4 :

système de guidage en position haute (vue de gauche) et en position basse (vue de droite)

Question 1.1 À l'aide des figures 3 et 4, **compléter** sur le document réponse DR1 la chaîne de puissance du système de guidage, en renseignant les rectangles vides avec les éléments qui remplissent les différentes fonctions ainsi qu'avec les grandeurs d'efforts et de flux et leurs unités.

DR1

Le schéma cinématique du système de changement de voie en position haute est représenté figure 5.

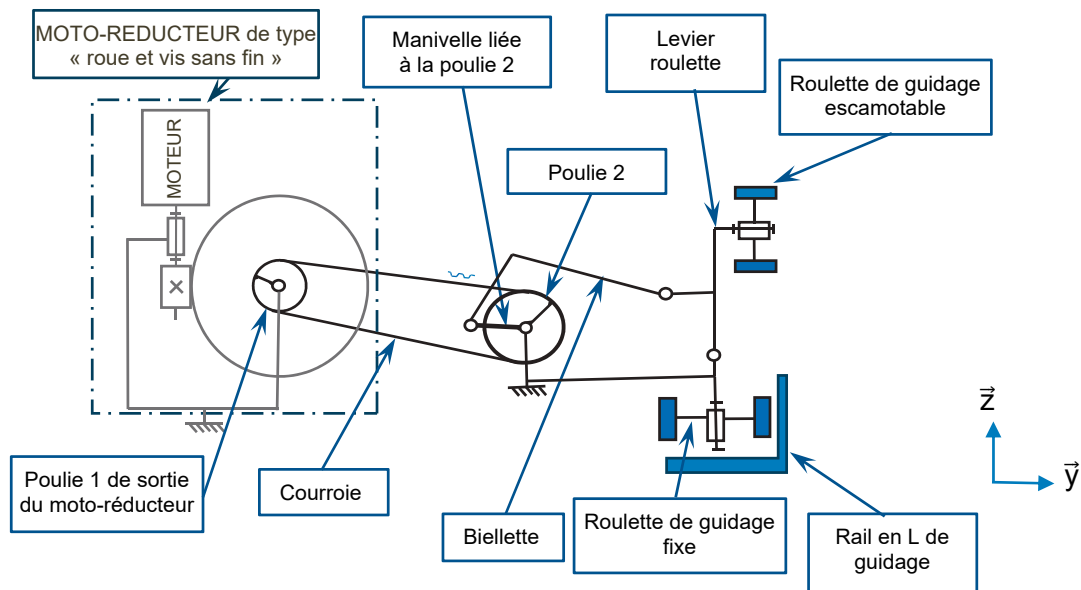


Figure 5 : schéma cinématique du mécanisme de guidage

Les caractéristiques techniques du moto-réducteur sont :

- tension nominale 12 V ;
- vitesse nominale N_1 en sortie du moto-réducteur 40 tr·min⁻¹.

La poulie 1 comporte $Z_1 = 15$ dents et la poulie 2 comporte $Z_2 = 28$ dents.

Hypothèse : lors de la rotation du motoréducteur, les phases d'accélération et de décélération sont négligées et la vitesse de rotation est considérée comme constante.

Question 1.2 À l'aide de la figure 5, **compléter** sur le document réponse DR1 le schéma cinématique en position basse du mécanisme de changement de voie.
DR1 **Identifier** un élément de la chaîne de puissance permettant d'obtenir un mécanisme irréversible.

Question 1.3 À partir des caractéristiques des poulies, **calculer** le rapport de réduction du réducteur poulie-courroie $r = \frac{N_2}{N_1}$, puis en **déduire** la vitesse de rotation N_2 de la poulie 2.

La manivelle qui est liée à la poulie 2 effectue une rotation de 180° pour positionner la roulette de guidage en position basse.

Afin d'assurer la sécurité des passagers, si 1,5 s après avoir reçu l'ordre de descente des roulettes de guidage, la position basse de la roulette n'a toujours pas été détectée alors un arrêt d'urgence est automatiquement déclenché.

Question 1.4 **Vérifier** par le calcul que le temps de descente t_d de cette roulette est inférieur à la valeur limite pour garantir la sécurité des passagers.
Calculer la distance d_1 parcourue par la capsule pendant 1,5 s si la capsule roule à la vitesse maximale de $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Si le dispositif de changement de voie ne se trouve pas en position basse 1,5 s après avoir reçu l'ordre de descente, il est impératif de vérifier que la capsule pourra s'arrêter avant l'intersection.

Hypothèses :

- la voie est considérée comme un plan horizontal. La capsule pourra être considérée comme un système possédant un plan de symétrie longitudinal ;
- l'étude est menée dans un plan $(O, \vec{z}, \vec{x})$ considéré comme plan de symétrie géométrique et pour les actions mécaniques ;
- le repère $R(O, \vec{z}, \vec{x})$ lié à la voie repérée 12 est supposé galiléen ;
- la capsule repérée 11 est considérée comme un unique solide indéformable de centre de masse G et de masse totale m . Elle est animée par rapport au repère R d'un mouvement de translation rectiligne uniforme jusqu'au début de la phase de freinage objet de l'étude ;
- la décélération est considérée comme constante ;
- seules les roues arrières sont freinées et le contact entre les pneumatiques et les rails de la voie 12 est considéré comme ponctuel de normale $\vec{z}$ avec adhérence en A ;
- la masse m_c de la capsule est de 300 kg ;
- la masse m_p de deux passagers est de 160 kg ;
- la vitesse maximale V_{maxi} est de $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- l'accélération de pesanteur terrestre g est de $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

La figure 6 illustre la modélisation des actions mécaniques extérieures appliquées sur la capsule lors du freinage, ainsi que sa décélération. Les roues de la capsule sont constituées d'un pneumatique monté sur jante.

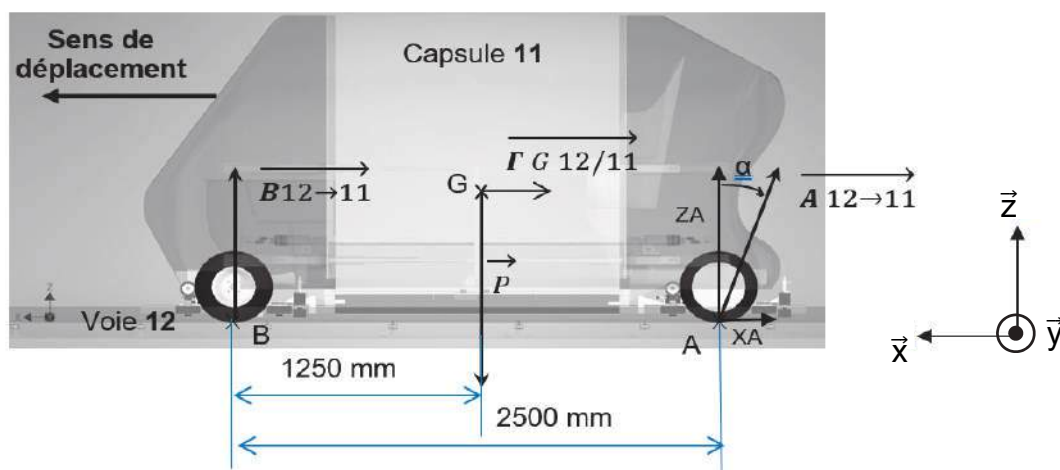


Figure 6 : modélisation des actions mécaniques extérieures appliquées sur la capsule

La capsule 11 est isolée. Le véhicule est soumis à trois actions mécaniques extérieures représentées sur la figure 6 :

- action mécanique à distance de la pesanteur sur 11 exprimée au centre de gravité G

du véhicule : $\{T_{\text{pes} \rightarrow 11}\} =_G \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -4600 & 0 \end{Bmatrix}_R$, dont la résultante est représentée par $\vec{P}$;

- action mécanique de contact de la voie 12 sur la roue arrière au point A :

$\{T_{12 \rightarrow 11}^A\} =_A \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ 0 & 0 \\ 2300 & 0 \end{Bmatrix}_R$, dont la résultante est représentée par $\vec{A}_{12 \rightarrow 11}$;

- action mécanique de contact de la voie 12 sur la roue avant au point B :

$\{T_{12 \rightarrow 11}^B\} =_B \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 2300 & 0 \end{Bmatrix}_R$, dont la résultante est représentée par $\vec{B}_{12 \rightarrow 11}$.

Question 1.5 Déterminer X_A à partir de l'équation algébrique du théorème de la résultante dynamique en projection sur $\vec{x}$ appliqué à la capsule avec deux passagers, dans le cas d'un arrêt d'urgence et pour une décélération a_G .
Donner la valeur numérique de X_A pour la décélération maximale admissible $a_G = -2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Les valeurs des facteurs de frottement en fonction des matériaux en contact sont données dans le tableau figure 6.

Nature des matériaux en contact	Valeurs indicatives de f ($f = \tan \phi$)	
	À sec	Lubrifié
Acier sur acier	0,15	0,09
Acier sur bronze	0,1	0,09
Pneu sur route	0,6	0,4 sur sol humide
Pneu sur acier	0,5	0,4 sur sol humide

Figure 6 : valeurs indicatives du facteur de frottement pour différents couples de matériaux

La valeur absolue de X_A est prise par la suite égale à 920 N.

Question 1.6 Calculer $|\tan \alpha|$ en fonction des valeurs de Z_A et de X_A .

Conclure sur la possibilité de l'arrêt de la capsule pour cette décélération de $-2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ d'après le facteur de frottement réel roues/rails en acier défini dans le tableau de la figure 6.

La distance d_1 parcourue pendant le temps de descente (estimé à 1,5 s) de la roulette de guidage est prise égale à 25 m.

Question 1.7 Calculer la distance d_2 parcourue par la capsule pendant la phase de décélération si le temps d'arrêt est de 8,33 s, si l'accélération est égale à $-2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ et si la capsule roule à sa vitesse maximale.

Conclure si la distance parcourue $d_t = d_1 + d_2$ entre le moment où l'ordre de descente de la roulette de guidage a été donné et le moment où la capsule est arrêtée, respecte bien la distance de moins de 100 m imposée dans le cahier des charges.

Sous-partie 2

Modélisation et optimisation de la consommation énergétique de la capsule

L'objectif de cette sous-partie est de reprendre la démarche d'ingénierie qui a permis de battre le record du monde de la plus faible consommation énergétique au kilomètre pour un véhicule autonome sur rail.

La consommation visée devait être inférieure à 50 W·h par kilomètre pour une vitesse constante de 60 km·h⁻¹.

Dans un premier temps, une simulation multiphysique a été réalisée afin de valider les choix technologiques.

Pour assurer la propulsion de la capsule, le choix s'est porté sur deux « moteurs-roues » (figure 7) positionnés sur l'essieu arrière. Le « moteur-roue » intègre un moteur de type brushless ainsi qu'une transmission mécanique et une jante équipée d'un pneu gonflable.

Dans un souci de simplification, la modélisation multiphysique de la motorisation de la capsule (figure 7) et les deux chaînes de puissance ont été regroupées en une seule comme présenté sur la figure 8.



Figure 7 : moteur-roue

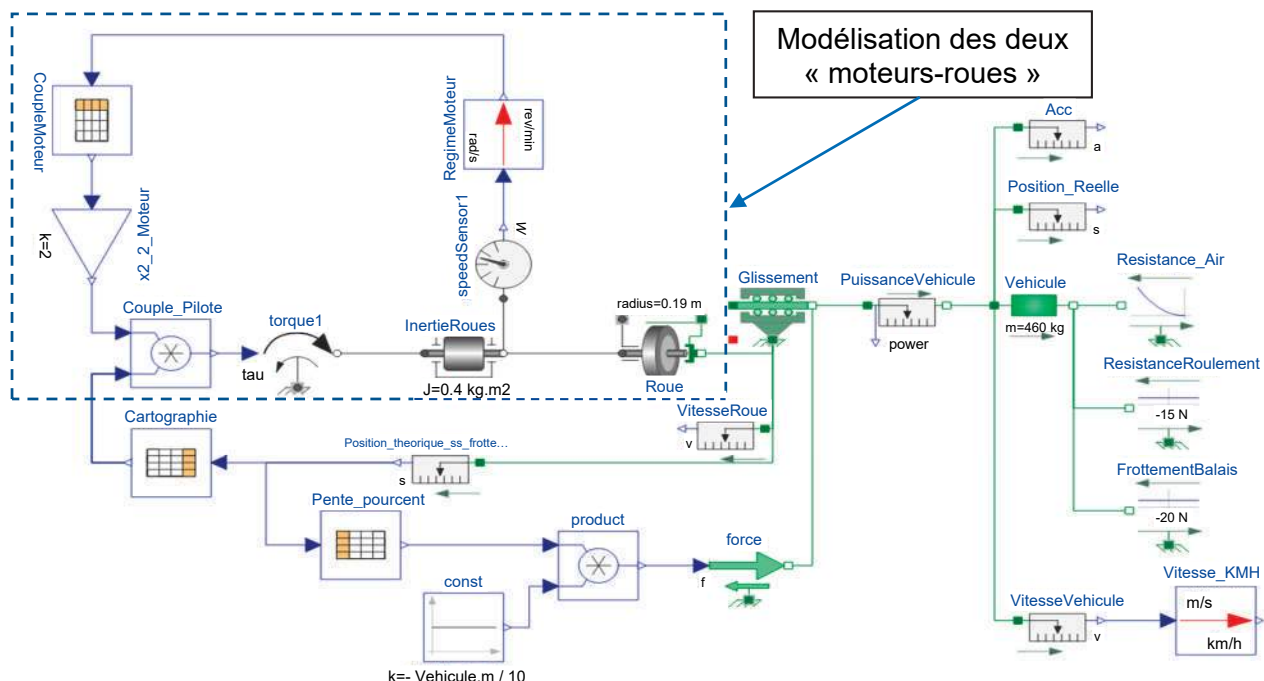


Figure 8 : modélisation multiphysique du système de motorisation de la capsule

Question 1.8 À l'aide de la modélisation multiphysique de la figure 8, **compléter** le diagramme ibd sur le document réponse DR2 en indiquant dans les rectangles en pointillé la nature des puissances et en renseignant le nom des composants dans les trois blocs vides avec les termes suivants : roue, moteur et capteur tachymétrique.

DR2

Les courbes proposées figures 9 et 10 ont été obtenues à partir du modèle multiphysique. Elles représentent la variation de la vitesse et de la puissance en fonction du temps sur sol horizontal et sur 1 km de parcours lorsque la vitesse devient constante.

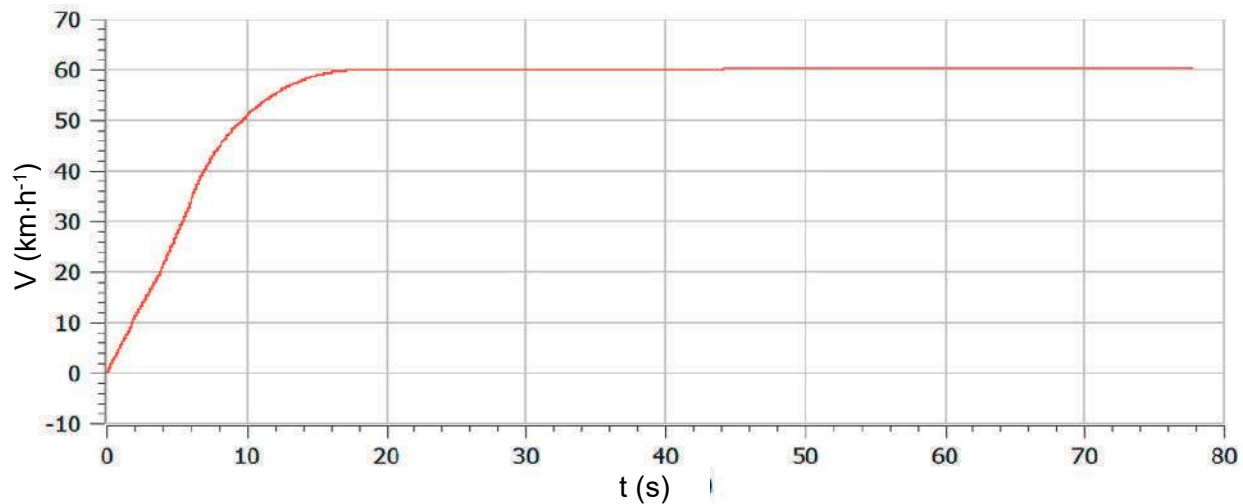


Figure 9 : résultat de la simulation multiphysique représentant la vitesse en fonction du

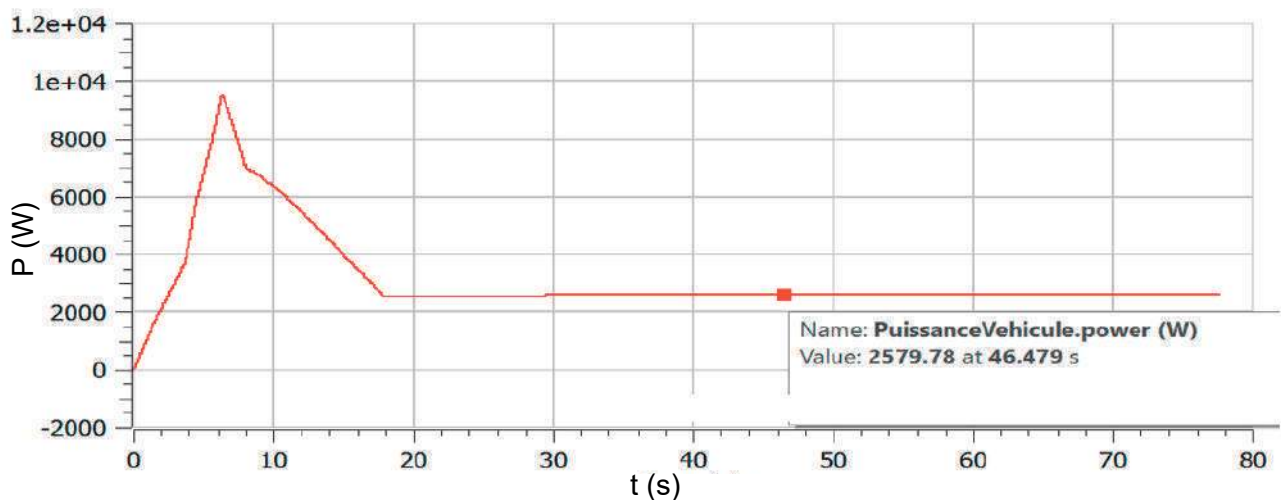


Figure 10 : résultat de la simulation multiphysique représentant la puissance mécanique développée pour mettre en mouvement la capsule

Question 1.9 À partir des résultats issus de la simulation multiphysique, figures 9 et 10, **relever** l'instant t à partir duquel la vitesse devient constante, ainsi que la puissance mécanique P_m à cet instant. En **déduire** la puissance absorbée P_a en considérant un rendement global de 0,92.

La valeur de la puissance absorbée pour la suite de l'étude est égale à 2 800 W.

Question 1.10 **Calculer** le temps t_{1km} mis par la capsule pour parcourir le parcours type en vitesse constante et l'énergie consommée W_{csim} en W.h lors de son déplacement pendant ce kilomètre.

Comparer les résultats précédents avec l'exigence de consommation énergétique du record.

Après avoir validé les choix technologiques grâce au modèle multiphysique, la tentative de record a pu se dérouler dans les conditions suivantes sur la piste d'essai :

- sol horizontal ;
- température extérieure de 20°C ;
- vitesse du vent négligeable ;
- distance de 1 km à vitesse constante ;
- tension d'alimentation moteur $U = 72$ V.

Un capteur mesure le courant consommé par la motorisation de la capsule. Les résultats de l'expérimentation sont donnés figure 11.

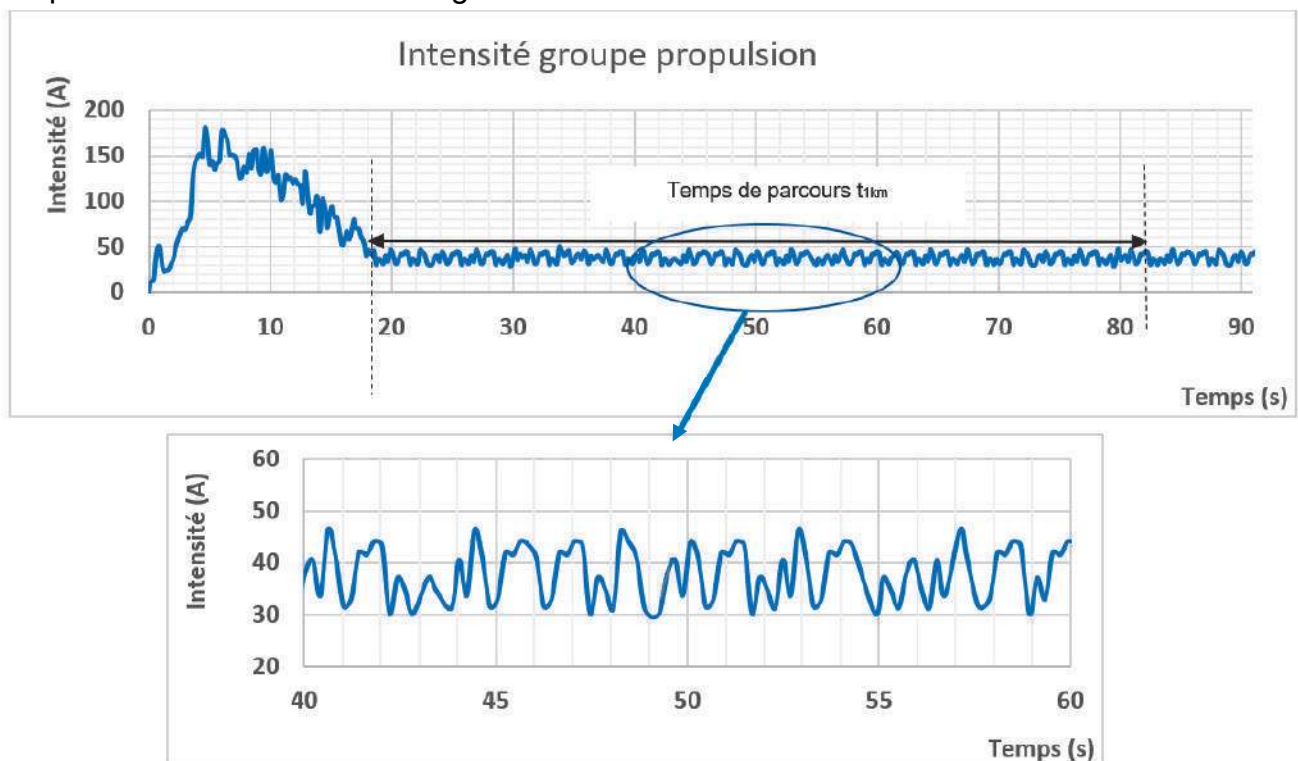


Figure 11 : intensité absorbée par le groupe motopropulseur en fonction du temps

Question 1.11 À partir des résultats de l'expérimentation figure 11, **relever** graphiquement la valeur moyenne de l'intensité I_{moy} consommée pendant le temps de parcours du kilomètre par le groupe motopropulseur de la capsule.

Calculer alors l'énergie consommée W_{cexp} en W.h par la capsule lors du parcours type d'un kilomètre.

Question 1.12 **Comparer** les valeurs expérimentales et les résultats obtenus par simulation.

Question 1.13 **Conclure** au regard de l'objectif visé en ce qui concerne la consommation énergétique.

Sous-partie 3

Géolocalisation d'une capsule

L'objectif de cette sous-partie est de localiser les capsules à l'aide de leurs coordonnées géographiques et de valider les performances de vitesse d'une capsule sur un trajet.

Pour définir une position sur la Terre, les coordonnées géographiques sont le plus souvent utilisées : la latitude, la longitude et l'altitude. Trois notations sont possibles pour la latitude et la longitude :

- Degré Minute Seconde (DMS) ;
- Degré Minute (DM) ;
- Degré décimal (DD).

Les récepteurs « GPS » fournissent la localisation sous une forme normalisée facilement décodable, par exemple selon le protocole NMEA-0183 (National Marine Electronics Association).

Chaque trame commence par le caractère \$ et se compose de plusieurs éléments séparés par des virgules.

Voici un exemple de trame :

```
$GPGGA,064036.289,48.365375,N,007.9373,E,1,04,3.2,200.2,M,50.5,M,,0000*0E
```

Les deux premiers caractères dans la trame après le caractère \$ correspondent à l'identifiant du récepteur : ici GP pour Global Positioning System.

Les trois caractères suivants correspondent à l'identifiant de la trame : GGA pour GPS Fix. Ici il s'agit du système européen de positionnement GALILEO.

Éléments de la trame GGA :

- GPGGA : type de la trame ;
- 064036.289 : heure d'envoi de la trame, ici 06 h 40 min 36,289 s (UTC) ;
- 48.365375, N : latitude Nord, ici 48,365375 ° (en DD, degrés décimaux) ;
- 007.409373, E : longitude Est, ici 7,409373 ° (en DD degrés décimaux) ;
- 1 : type de positionnement (1 pour le positionnement GPS) ;
- 04 : nombre de satellites utilisés ;
- 3.2 : précision horizontale ;
- 200.2, M : altitude, mètre. Ici 200,2 m ;
- 50.5, M : écart par rapport au géoïde (surface de référence), mètre. Ici 50,5 m ;
- 0000 : Champ vide ;
- *0E : Checksum (contrôle).

Le système de positionnement de la capsule envoie au système centrale la trame NMEA 83 suivante :

```
$GPGGA,134435.205,48.689839,N,006.174564,E,1,05,1.9,212.5,M,48.6,M,,0000*56
```

Question 1.14 A l'aide de la trame GPS, **compléter** le tableau du document réponse DR3 avec les informations suivantes :

DR3

- l'heure d'envoi de la trame en hh : mm : ss,sss ;
- la latitude exprimées en degrés décimaux, ainsi que l'altitude en mètre ;
- le nombre de satellites utilisés pour localiser la capsule.

Pour une utilisation plus aisée sur les applications de types « Géoportail » ou « Google Map street view », il est préférable de rentrer les coordonnées géographiques en format degrés ; minutes ; secondes. Il est rappelé que :

- 1° correspond à 60 ' ;
- 1' correspond à 60 ''.

Par exemple la valeur 74,4024601° correspond à 74° 24' 8,85636''.

Question 1.15 **Compléter** sur le document réponse DR3 la partie de l'algorithme permettant la conversion de coordonnée exprimée en DD (degrés décimaux) en DMS (degrés, minutes, secondes).

DR3

Question 1.16 **Compléter** sur le document réponse DR3 la partie du programme « conversion coordonnées » pour la partie « conversion de coordonnée de latitude ».

DR3

Un voyageur arrivant en gare de NANCY, désire se rendre au stade Marcel PICOT. Le tableau de la figure 12 donne quelques coordonnées géographiques sur des adresses particulières.

LIEUX	ADRESSE	LATITUDE (en DD)	LONGITUDE en (DD)
Gare SNCF	3 pl THIERS	48.689839	6.174564
Stade Marcel PICOT	90 bd jean JAURES	48.695099	6.209697
Place STANISLAS	Pl Stanislas	48.693536	6.183255
CHU Brabois	1 rue du Morvan	48.64851	6.145472
Zénith Nancy	Rue du Zénith	48.710135	6.139351
Zone activité Porte sud	6 all des tilleuls	48.645616	6.187455

Figure 12 : coordonnées d'adresses particulières

Question 1.17 À l'aide du tableau de coordonnées figure 12, **relever** les coordonnées de la station de départ et de la station d'arrivée. **Exprimer** les résultats sous la forme DMS pour la latitude.

Le relevé des trames enregistrées par le système central de gestions de position des capsules est le suivant :

Trame départ :

\$GPGGA,134435.205, 48.689839,N, 006.174564,E,1,04,1.9,217.45,M,48.6,M,,0000*56

Trame arrivée :

\$GPGGA,135048.628,48.695099,N,006.209697,E,1,05,1.9,201.07,M,48.6,M,,0000*56

Question 1.18 **Relever** l'heure d'envoi de la trame de départ et celle de la trame d'arrivée puis **calculer** le temps de trajet du voyageur.

La figure 13 donne le tracé du parcours emprunté par la capsule du voyageur.

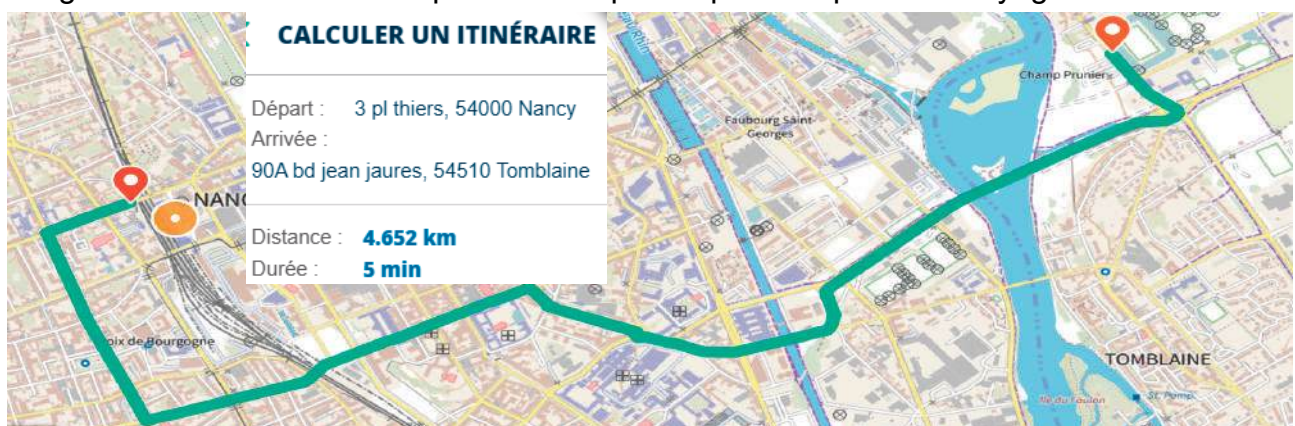
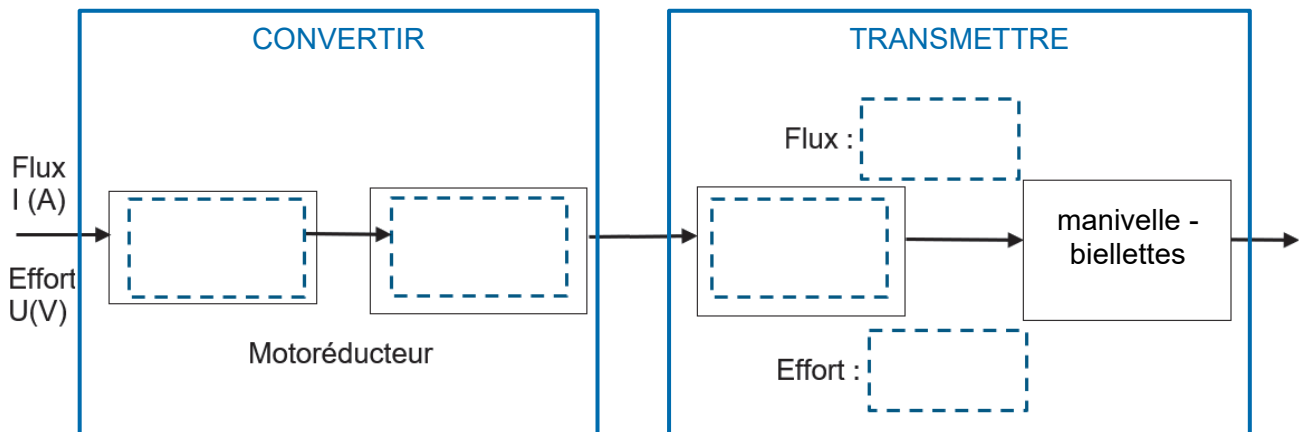


Figure 13 : parcours emprunté par la capsule

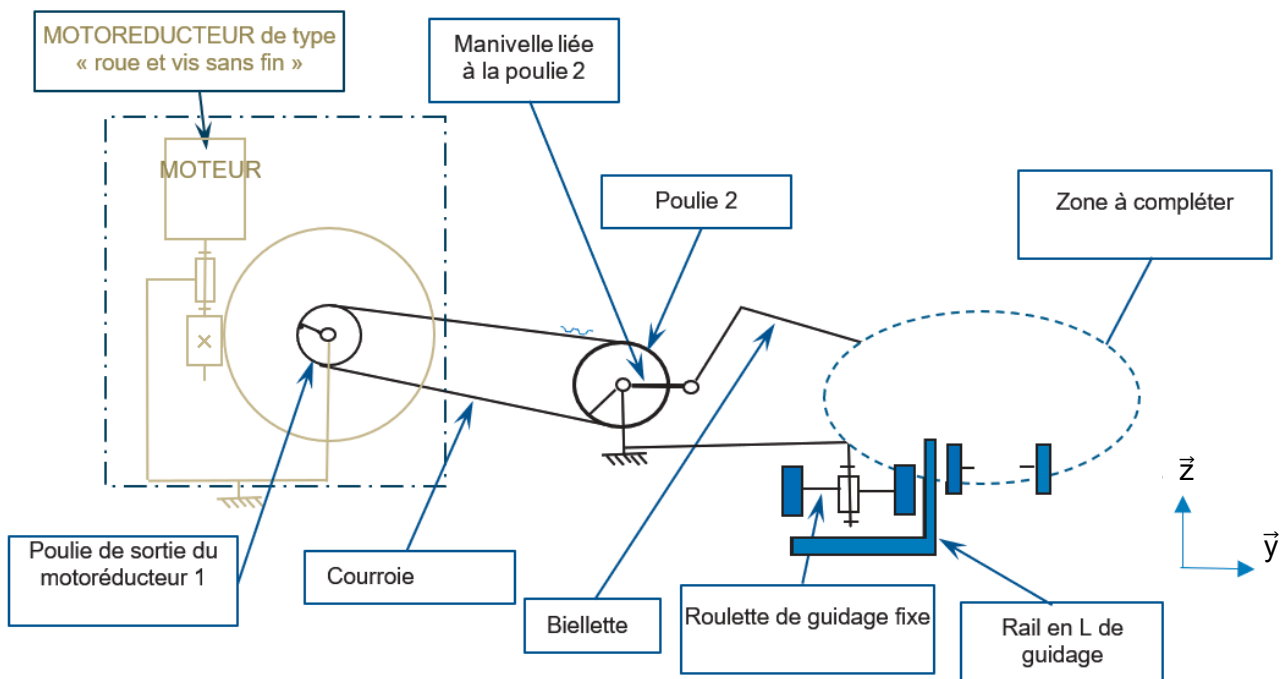
Question 1.19 À partir de la figure 13 et des indications du trajet données par Géoportail, **calculer** la vitesse moyenne de la capsule pour ce trajet.

Conclure par rapport à la vitesse constante de $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ imposée par le cahier des charges.

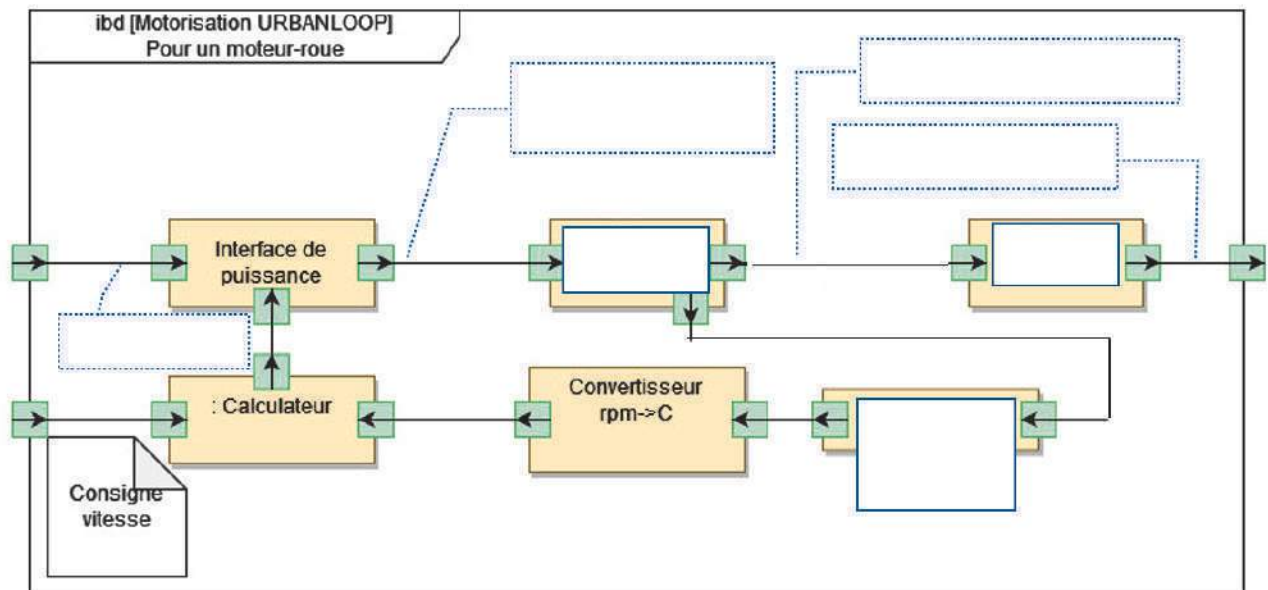
Question 1.1



Question 1.2



Question 1.8



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

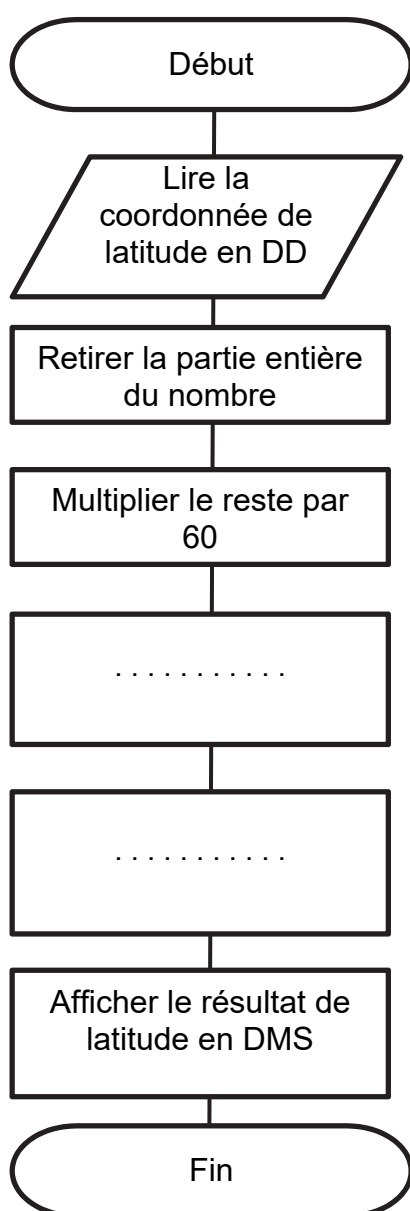
Né(e) le :



Question 1.14

Heure d'envoi	
Latitude	
Longitude	
Altitude	
Nombre de satellites	

Question 1.15



Question 1.16

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.).

Extrait de programme de conversion

```

Lat = input("Indiquer la coordonnée de
latitude en DD ")
Long = input("Indiquer la coordonnée de
longitude en DD ")

# conversion de coordonnée de latitude
degresdeclat = float(Lat)
degres = int(degresdeclat)
templat = (degresdeclat - degres) * 60

minutes = . . . . .

secondes = . . . . .

print ("Latitude = " , degres,"° ",
minutes,"' ", secondes,"'' ")
  
```


Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Acoustique d'une salle de spectacle (10 points)

L'étude de l'acoustique d'une salle de spectacle nécessite notamment de prendre en compte les différents phénomènes liés à la propagation des ondes sonores : interférences, diffraction, atténuation.

Données :

- fréquences f audibles par l'oreille humaine : $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$;
- vitesse de propagation dans l'air d'une onde sonore ou ultrasonore $v = 343 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à 20°C ;
- largeur de la porte de l'auditorium : $a = 1,0 \text{ m}$.

Une salle de concert est généralement un espace clos.

Cependant, si sa porte est ouverte, le concert peut être entendu par une personne située à l'extérieur, même lorsque l'orchestre reste hors de sa vue.

En se plaçant devant la porte, cette personne peut entendre toute la gamme des sons. Cependant, si elle se place sur le côté, elle entend surtout les sons graves, et très peu les sons aigus.

Dans les questions suivantes on s'intéresse au phénomène de diffraction des ondes sonores.

On peut modéliser la situation décrite dans le document par le schéma suivant :

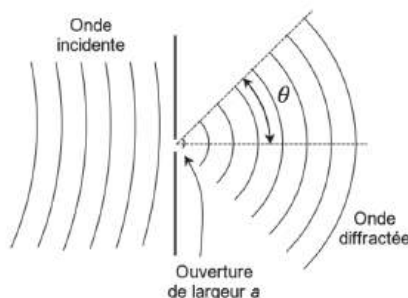


Figure 1. Diffraction d'une onde sonore par une ouverture de largeur a

On rappelle que l'expression de l'angle d'ouverture θ associé au phénomène de diffraction en fonction de la largeur de l'ouverture, notée a , et de la longueur d'onde λ de la source est : $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$.

Q1. Montrer que l'expression de l'angle d'ouverture θ en fonction de la largeur de l'ouverture a , de la fréquence f de l'onde émise par la source et de la vitesse de propagation v de l'onde est : $\theta = \arcsin\left(\frac{v}{f \times a}\right)$.

Deux ondes sonores sont produites par un orchestre. Elles sont caractérisées par deux fréquences typiques : $f_1 = 440 \text{ Hz}$ et $f_2 = 4 \times f_1 = 1\,760 \text{ Hz}$.

Q2. Calculer les valeurs de θ_1 et θ_2 correspondant respectivement aux valeurs de fréquences f_1 et f_2 .

Q3. Schématiser de façon cohérente la situation, en représentant les angles d'ouverture correspondants θ_1 et θ_2 après passage du son par l'ouverture. Commenter la phrase : « *Cependant, si elle se place sur le côté, elle entend surtout les sons graves, et très peu les sons aigus* ».

Dans les questions suivantes, on s'intéresse au phénomène d'interférences susceptible d'intervenir à la suite des réflexions d'une onde sonore dans une salle de spectacle. On transpose l'étude dans le domaine des ondes ultrasonores.

On utilise le dispositif ci-dessous dans lequel les deux émetteurs d'ultrasons sont reliés à un même générateur (figure 2).

La distance latérale entre les deux émetteurs E1 et E2 a pour valeur $e = 15 \text{ cm}$. La distance commune entre les émetteurs et l'axe (Ox) sur lequel se déplace le récepteur a pour valeur $D = 50 \text{ cm}$.

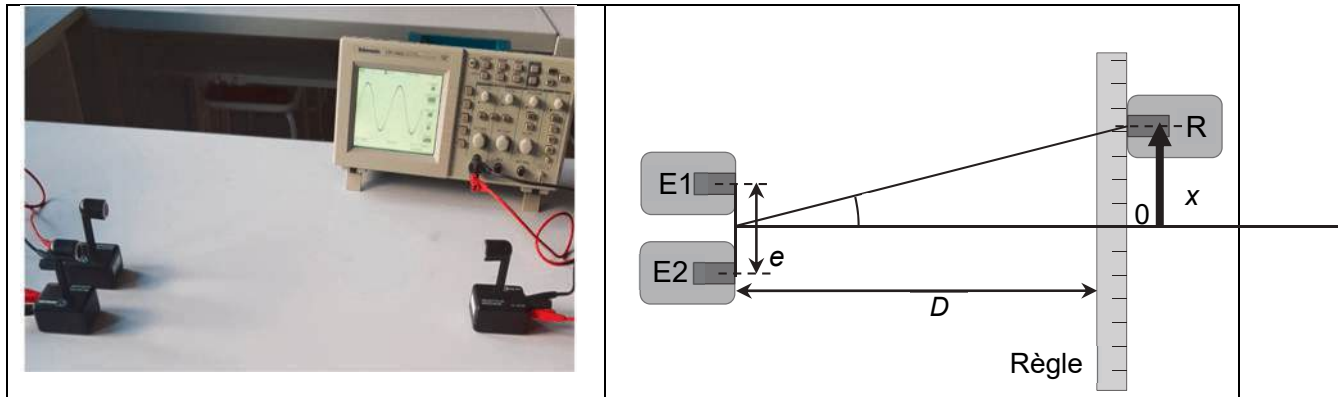


Figure 2. Dispositif expérimental d'étude des interférences d'ondes ultrasonores

On relève l'amplitude de la tension délivrée par le récepteur en fonction de la position du récepteur repérée par son abscisse x et on repère la position des *maxima* d'amplitude (figure 3).

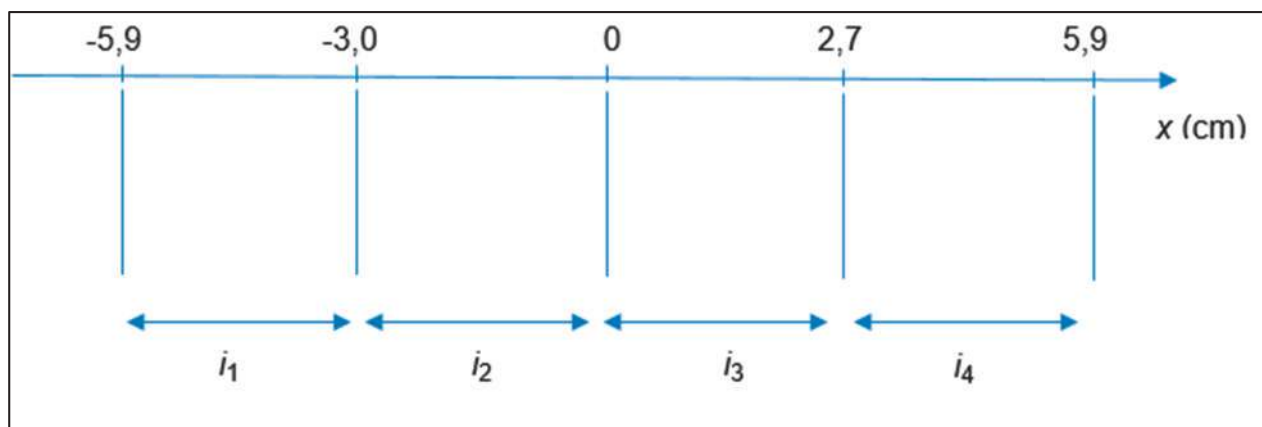


Figure 3. Position expérimentale des *maxima* d'amplitude ; définition des interfranges i_1 à i_4

Q4. Relever les valeurs des interfranges mesurées expérimentalement et calculer leur moyenne i .

On admet que la différence des distances entre chaque émetteur et le récepteur est :

$$E_2R - E_1R = \frac{e \cdot x}{D}$$

Q5. Établir la condition d'interférences constructives portant sur x ; on pourra utiliser la notation n pour l'entier relatif qui pourrait être utile.

On admet que la distance entre deux *maxima* d'amplitude consécutifs (interfrange) s'écrit $i = \frac{\lambda \cdot D}{e}$ avec λ la longueur d'onde des deux ondes incidentes.

Q6. Déduire la valeur de la fréquence des signaux délivrés par les émetteurs ; commenter.

EXERCICE B – Vol du drone Ingenuity sur Mars (10 points)

Le rover Perseverance actuellement en mission sur la planète Mars a embarqué avec lui un autre robot : Ingenuity, un petit drone destiné à voler sur Mars. Les missions d'Ingenuity sont multiples : reconnaissance optique du terrain, étude des communications dans l'atmosphère ténue de Mars et surtout le premier test de vol motorisé sur une autre planète.



Figure 1. Ingenuity (Crédit image : NASA/JPL-Caltech, vue d'artiste)

Données :

- masse du drone : $m = 1,8 \text{ kg}$;
- valeur de l'accélération de la pesanteur terrestre : $g_{\text{Terre}} = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- valeur de l'accélération de la pesanteur sur Mars : $g_{\text{Mars}} = 3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Lors de ses missions, la valeur de la vitesse maximale atteinte par Ingenuity est $v_0 = 6,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et l'altitude maximale atteinte reste inférieure à 15 m.

La phase la plus délicate du vol du drone est sa fin, le choc avec le sol. La solution retenue pour éviter de détériorer le drone est d'arrêter la propulsion à un mètre au-dessus du sol et de laisser le drone atteindre le sol en chute libre. On considère, le sol de Mars étant sablonneux, que le drone s'arrête brutalement quand il touche le sol, aussi bien dans son mouvement vertical qu'horizontal. Le train d'atterrissage a été conçu pour supporter une certaine vitesse maximale à l'arrivée sur le sol sans détruire l'engin.

Le but de l'exercice est d'étudier le mouvement du centre de masse du drone en chute libre, lors de la dernière phase du vol à partir d'un mètre au-dessus du sol et de déterminer la valeur de la vitesse atteinte lors de l'impact avec le sol, puis de comparer ce mouvement avec celui qui serait réalisé sur Terre dans les mêmes conditions.

On associe au référentiel de la planète Mars un repère d'espace $(O, \vec{i}, \vec{j})$, schématisé sur la figure 2 ci-après.

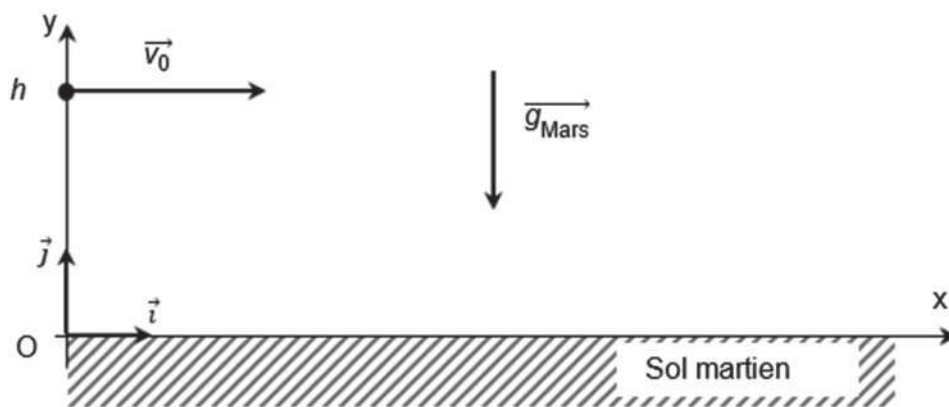


Figure 2. Repère d'espace et conditions initiales du mouvement étudié

On considère que la vitesse du drone au moment de l'arrêt de la propulsion est horizontale et de valeur $v_0 = 6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; le drone se trouve à cet instant à une altitude notée h .

- Q1.** Rappeler la définition du modèle de la chute libre.
- Q2.** Prévoir sans calcul, lors d'une chute libre sans vitesse initiale et pour une même hauteur initiale, laquelle des situations (sur Terre ou sur Mars) serait la plus contraignante du point de vue de la solidité du train d'atterrissage.
- Q3.** Après avoir effectué un bilan des forces appliquées au drone dans le cadre du modèle de la chute libre, donner l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du drone ainsi que les coordonnées de ce vecteur dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ de la figure 2.

La vitesse du drone au moment de l'arrêt de la propulsion, choisi comme origine des temps $t = 0$, est horizontale et de valeur $v_0 = 6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; le drone se trouve à cet instant à une altitude notée $h = 1,0 \text{ m}$.

- Q4.** Dédurre de la question 3 les coordonnées du vecteur vitesse dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ au cours du temps. Qualifier le mouvement horizontal du drone avant impact et en déduire la valeur de la vitesse horizontale du drone lorsqu'il touche le sol.

Les équations horaires du mouvement lors de la chute ont pour expression :

$$x(t) = v_0 \times t \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} \times g_{\text{Mars}} \times t^2 + h$$

- Q5.** Exprimer la date t_{impact} à laquelle le drone touche le sol en fonction de h et g_{Mars} .
- Q6.** Calculer la valeur de la position horizontale de l'impact du drone sur le sol martien x_{impact} . Calculer la valeur de cette position si l'expérience se faisait dans les mêmes conditions sur Terre.
- Q7.** Tracer sans souci d'échelle sur un schéma identique à celui de la figure 2, l'allure de la trajectoire du drone entre l'instant $t = 0$ et l'instant où il touche le sol sur Mars. Tracer sur le même schéma l'allure de la trajectoire du même drone, dans les mêmes conditions initiales, si cette chute s'effectuait sur Terre. On distinguera clairement les deux courbes (légendes, couleurs, etc).
- Q8.** Vérifier que la valeur de la vitesse du drone, lorsqu'il touche le sol de la Terre, est d'environ $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. En déduire la valeur de son énergie cinétique E_C .
- Q9.** Prévoir si un drone capable de résister à un choc avec cette valeur de E_C sur Terre, pourra subir sans dommage un choc dans les mêmes conditions initiales sur Mars.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 25 pages numérotées de 1/25 à 25/25.

**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 DR5 (pages 16 à 20) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Dérailleur électronique de vélo de course



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 15
- Documents réponses..... pages 16 à 20

Les documents réponses DR1 à DR5 (pages 16 à 20) sont à rendre avec la copie.

Dérailleur électronique de vélo de course

Le dérailleur électronique Shimano Dura Ace Di2 permet d'effectuer automatiquement les changements de vitesses. Il s'adresse à des cyclistes amateurs ou professionnels utilisant un vélo de course.

Par rapport à un dérailleur mécanique classique, ce dérailleur permet de changer de rapport de transmission avec une très faible énergie, dans un temps réduit, avec peu de risques de saut de chaîne et plus facilement dans des conditions climatiques extrêmes (quand le cycliste a les doigts ankylosés par le froid par exemple).

Ce système pluri-technologique (figure 1) se compose de :

- deux commandes de guidon pour les changements de vitesses avant et arrière ;
- d'une unité de contrôle centrale (UCC) ;
- d'une batterie ;
- d'un dérailleur avant de deux plateaux et d'une unité de contrôle locale (UCL-DAV) ;
- d'un dérailleur arrière de dix pignons et d'une unité de contrôle locale (UCL-DAR).

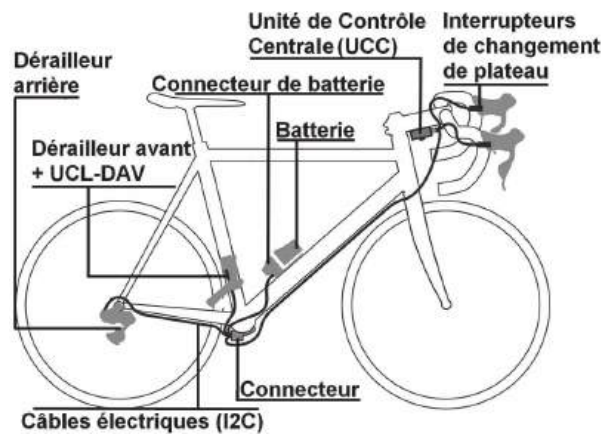


Figure 1 : implantation des éléments du dérailleur sur un vélo de course

Les unités de contrôle donnent à l'ensemble une certaine « intelligence » afin d'éviter des phénomènes de frottements trop importants dans certaines associations plateau/pignon.

L'étude porte sur le dérailleur avant (DAV) dont les principaux éléments sont mis en situation sur la figure 2 et dont les exigences principales sont présentées sur la figure 3.

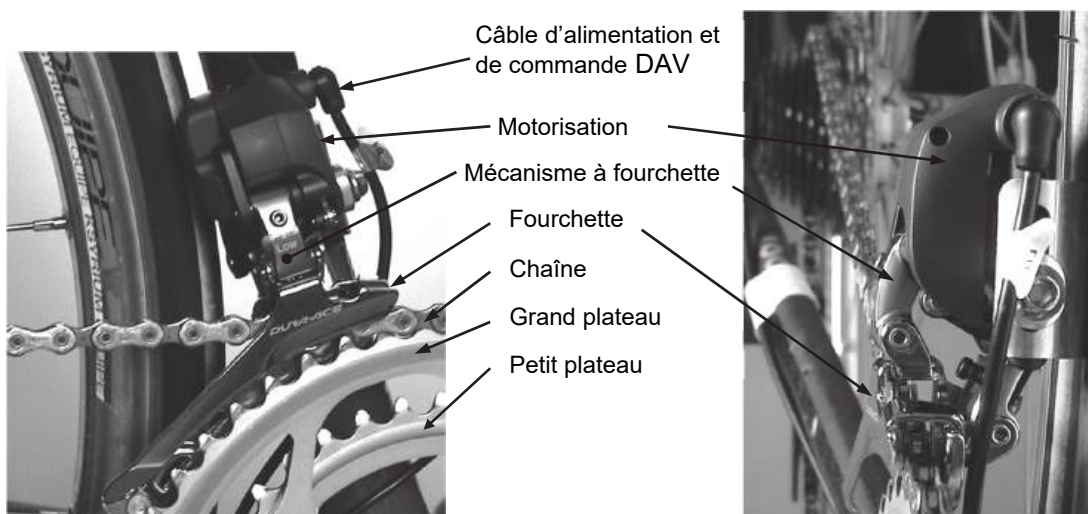


Figure 2 : principaux éléments du dérailleur avant (DAV)

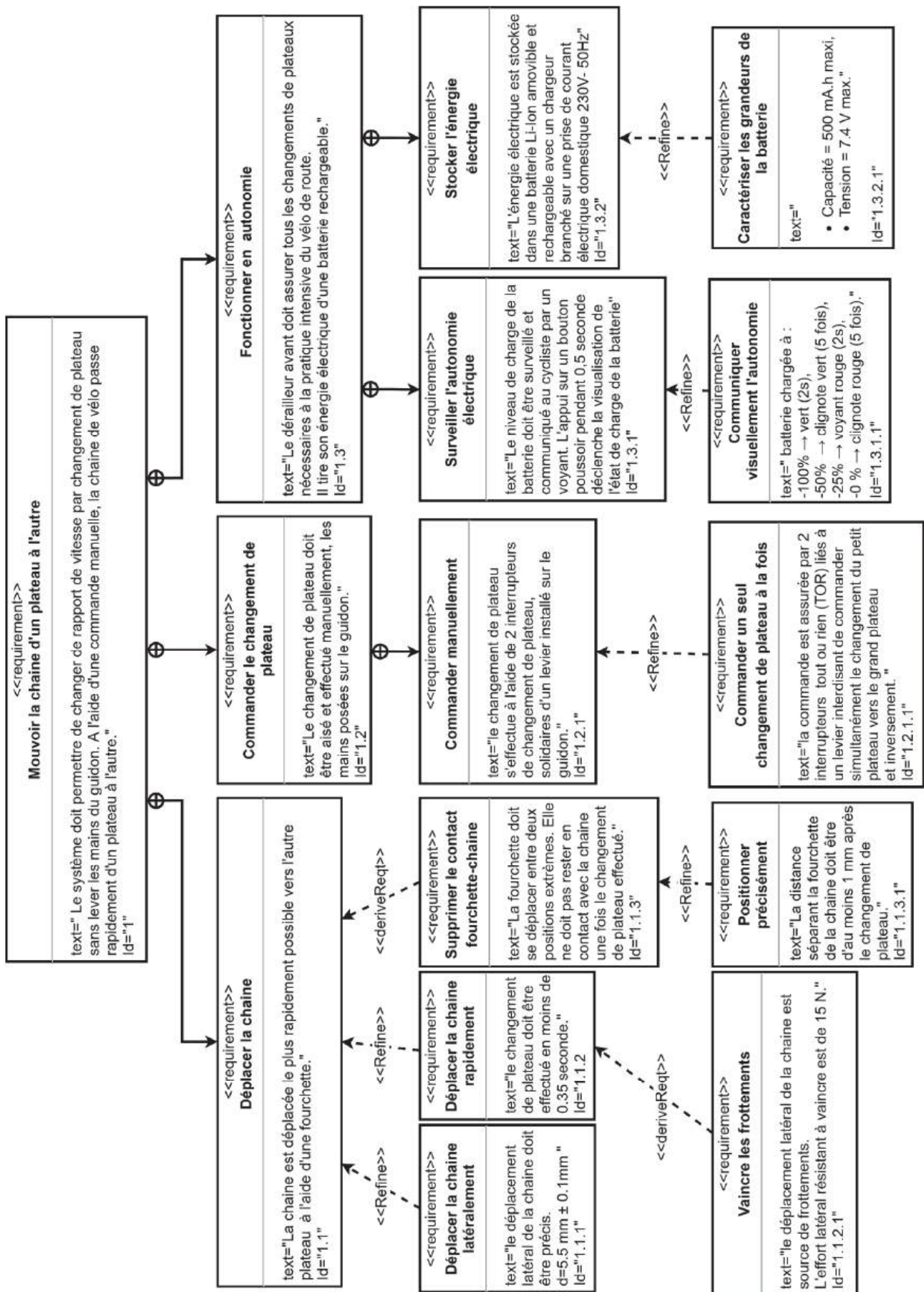


Figure 3 : diagramme des exigences partiel du sous-système dérailleur avant

Sous-partie 1

Permettre le déplacement de la chaîne entre deux plateaux

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que la chaîne de puissance composée d'un motoréducteur et d'un mécanisme à fourchette est capable de déplacer la chaîne rapidement durant un changement de plateau.

Le dérailleur électronique avant doit permettre le déplacement de la chaîne du petit au grand plateau et inversement. Pour obtenir ce déplacement d représenté sur la figure 4, la fourchette du dérailleur doit exercer un effort $\vec{F}$ sur la chaîne perpendiculaire à celle-ci.

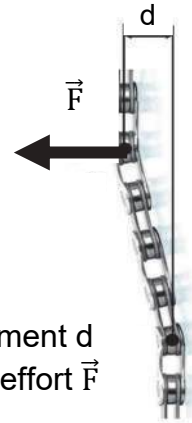


Figure 4 : déplacement d de la chaîne lié à l'effort $\vec{F}$

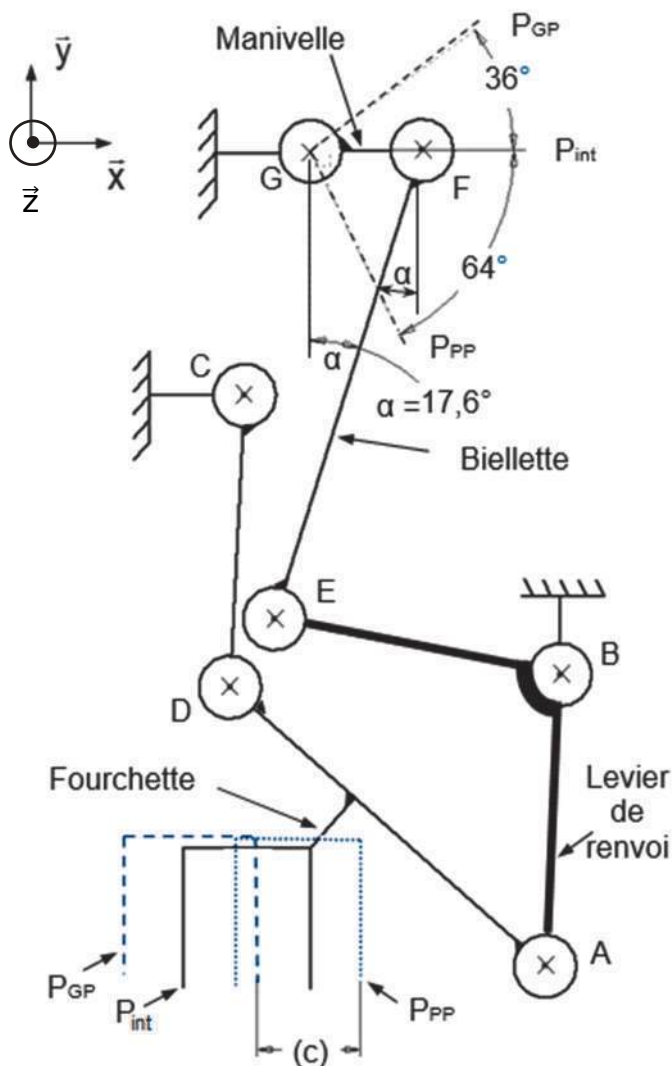


Figure 5 : schéma cinématique du mécanisme à fourchette en position intermédiaire

Le schéma cinématique du mécanisme à fourchette est donné figure 5 en position intermédiaire. Les liaisons en A, B, C, D, E, F et G sont des pivots d'axe de direction $\vec{z}$.

Ce mécanisme fonctionne sur le principe d'un parallélogramme (ABCD) déformable qui permet d'obtenir le déplacement attendu de la fourchette.

Le mécanisme est actionné via le levier de renvoi [EBA], une bielle [EF] et une manivelle [GF].

La manivelle [GF] est liée complètement à l'arbre de sortie, d'axe $(G, \vec{z})$, du motoréducteur (non représenté).

Pour la manœuvre de la fourchette, le couple est maximal dans la position intermédiaire P_{int} lors du déplacement de P_{PP} à P_{GP} .

- : position petit plateau P_{PP}
- : position intermédiaire P_{int}
- : position grand plateau P_{GP}

Les positions de la fourchette ne sont pas à la même hauteur du fait de son mouvement de translation circulaire par rapport au bâti.

Une photo du dérailleur avant ainsi que deux schémas cinématiques plans incomplets sont représentés sur le document DR1, en position petit plateau et en position grand plateau.

Question 1.1 Sur la photo du DR1, **repérer** les points A, C, E, F et G des centres des liaisons pivots dans les carrés prévus à cet effet. Sur les deux schémas cinématiques, **dessiner** la biellette par un segment de droite [EF].

Les formes existantes imposées du mécanisme à fourchette et les contraintes d'encombrement très restrictives entraînent un

risque de collision de la biellette [EF] avec les formes du guidage en rotation d'axe $(C, \vec{z})$ du levier [CD] au niveau du carter (figure 6). Cette forme est

représentée par un cercle de diamètre 12 mm sur les deux schémas cinématiques du DR1.

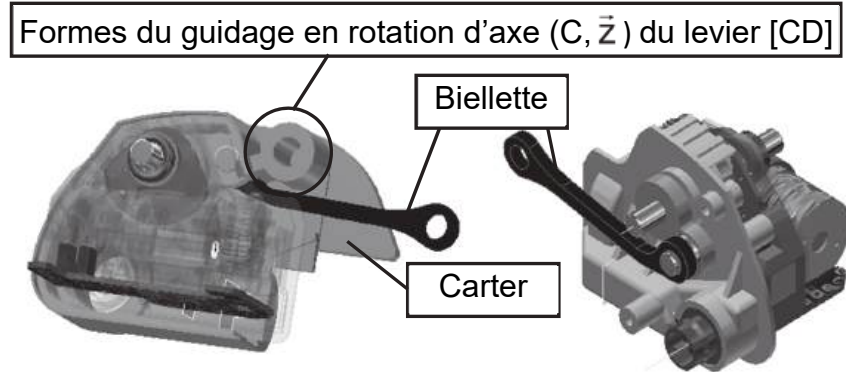


Figure 6 : risque de collision entre la biellette [EF] et le corps du mécanisme

Question 1.2 **Indiquer** si le risque de collision du segment de droite [EF] avec les formes du guidage en rotation d'axe $(C, \vec{z})$ du levier [CD] existe. En analysant la photo du DR1, **expliquer** comment le concepteur du dérailleur a résolu ce risque de collision.

Question 1.3 **Compléter** le schéma cinématique 2 - position grand plateau en plaçant précisément les points A et D (les dimensions des pièces nécessaires aux constructions graphiques seront relevées sur le schéma cinématique 1 - position petit plateau). **Tracer**, sur le document réponse DR1, la course horizontale c de la fourchette (représentée figure 5) et **donner** sa valeur.

Pour la suite, on considère une course de la fourchette c de 11 mm entre les positions grand et petit plateaux.

La largeur de la partie intérieure de la fourchette est de 11 mm. L'épaisseur de la chaîne de 5,5 mm est représentée figure 8. Dans cette position la chaîne est en contact avec la fourchette.

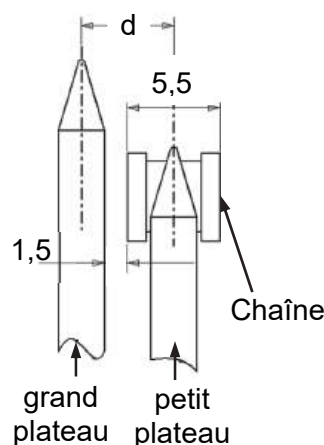


Figure 7 : détail de la chaîne et des plateaux

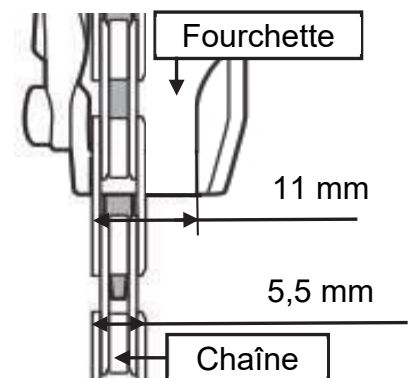


Figure 8 : dimension intérieure de la fourchette en position petit plateau

Question 1.4 Calculer le déplacement d de la chaîne, obtenu durant la course c de la fourchette, de la position petit plateau vers la position grand plateau (figures 7 et 8). Justifier que l'exigence de déplacement latéral de la chaîne (figure 3) est satisfaite.

La fourchette doit appliquer un effort supposé constant de 15 N sur la chaîne afin d'obtenir le déplacement de celle-ci lors d'un changement de plateau (exigence 1.1.2.1). Dans la position représentée sur la figure 5, les résultats expérimentaux ont permis de déterminer l'effort nécessaire à exercer par la biellette sur la manivelle au point F. Cet effort est modélisé par un glisseur tel que $\|\vec{F}_{biellette \rightarrow manivelle}\| = 27 \text{ N}$.

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- les liaisons mécaniques sont supposées parfaites ;
- le poids des pièces est négligeable devant les autres actions mécaniques ;
- les effets dynamiques étant négligés, la résolution statique est retenue ;
- la longueur de la manivelle [GF] est de 7,1 mm.

Question 1.5 Montrer que la droite (EF) est le support de la force exercée par la biellette sur la manivelle au point F. Vérifier par calcul que le couple maximal nécessaire C_s en sortie du réducteur (point G) doit être de 183 N·mm pour satisfaire l'exigence 1.1.2.1.

La puissance du moteur du dérailleur avant est transmise à l'arbre d'entrée du mécanisme de fourchette (point G) au moyen d'un réducteur composé de trois étages de réduction (un engrenage parallèle entre l'arbre moteur 0 et l'arbre 1, un second entre l'arbre 1 et l'arbre 2, et enfin, un engrenage roue et vis sans fin entre l'arbre 2 et l'arbre de sortie 3), comme indiqué figure 9.

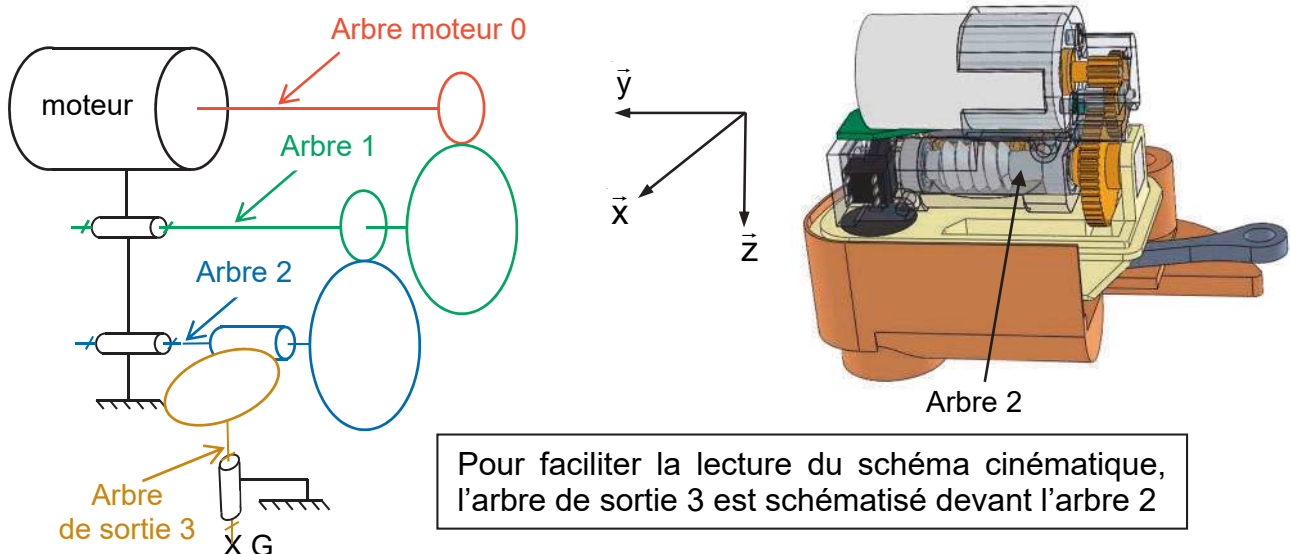


Figure 9 : réducteur de vitesse du moteur du DAV

Les caractéristiques principales du motoréducteur sont données sur la figure 10.

Le rapport de transmission du $i^{\text{ème}}$ étage de réduction est noté r_i et son rendement est noté η_i .

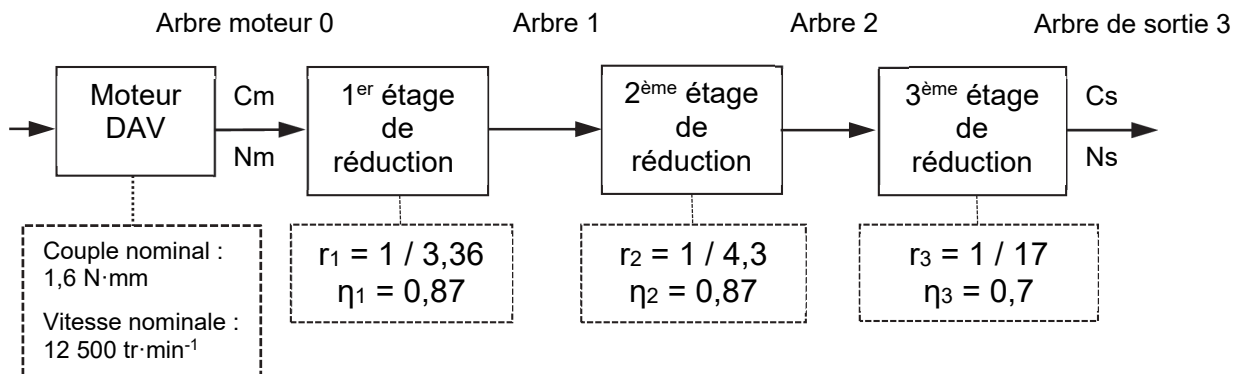


Figure 10 : caractéristiques principales du motoréducteur

Le couple maximal C_s à exercer en sortie du motoréducteur (point G) est de 183 N·mm.

Question 1.6 **Calculer**, dans ces conditions, le couple C_m nécessaire à fournir par le moteur.
Conclure sur la capacité du moteur à délivrer un couple suffisant pour assurer le changement de plateau.

Le mouvement de rotation au point G de la manivelle par rapport au boîtier est supposé être réalisé à vitesse uniforme. L'angle de rotation de la manivelle, à la sortie du réducteur, pour passer du petit plateau au grand plateau est indiqué sur la figure 5.

Question 1.7 **Montrer** que la vitesse de rotation à la sortie du moteur doit être de 11 700 tr·min⁻¹ afin de respecter l'exigence Id 1.1.2 de la figure 3.
Conclure sur la capacité du motoréducteur à permettre le déplacement de la chaîne entre deux plateaux.

Sous-partie 2

Contrôler le déplacement précis de la fourchette

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier la capacité de la chaîne d'acquisition et de traitement à contrôler le déplacement précis de la fourchette à la suite d'une action sur le levier de changement de plateau.

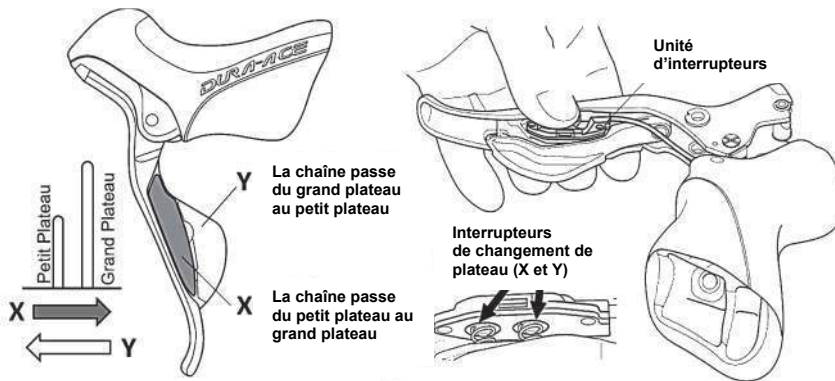


Figure 11 : fonctionnement des interrupteurs de changement de plateau

Le dérailleur effectue le passage de la chaîne du petit plateau vers le grand plateau et inversement à l'aide de deux leviers situés sur le guidon et solidaires de la poignée de frein avant gauche. La figure 11 indique comment l'action mécanique des doigts sur les leviers X ou Y agit sur la chaîne.

L'unité de contrôle locale du dérailleur avant (UCL DAV) reçoit une image de la position atteinte par la fourchette au moyen d'un capteur angulaire solidaire de l'arbre de sortie du réducteur comme indiqué sur la figure 12.

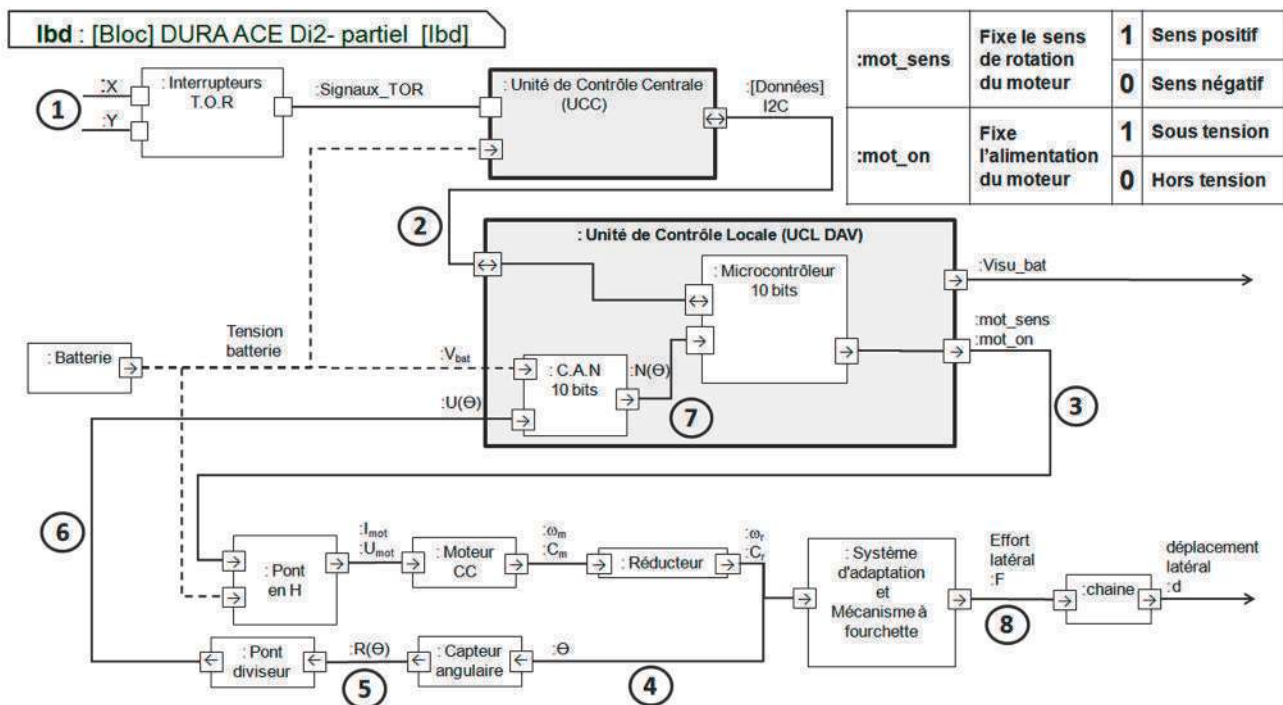


Figure 12 : diagramme de blocs internes du dérailleur avant

Question 1.8 **Compléter** le tableau du document réponse DR2 pour les repères 3, 4, 6, 7 en donnant la nature des flux d'information (analogique, numérique, logique) et leur unité.

Le capteur angulaire est constitué d'une piste résistive sur laquelle se déplace un curseur, solidaire de l'arbre de sortie du réducteur G. Ce capteur se comporte comme une résistance variable notée $R(\theta)$ dont la valeur évolue linéairement avec la position angulaire θ du curseur. La figure 13 illustre, pour les deux positions extrêmes de la fourchette, les positions correspondantes du curseur.

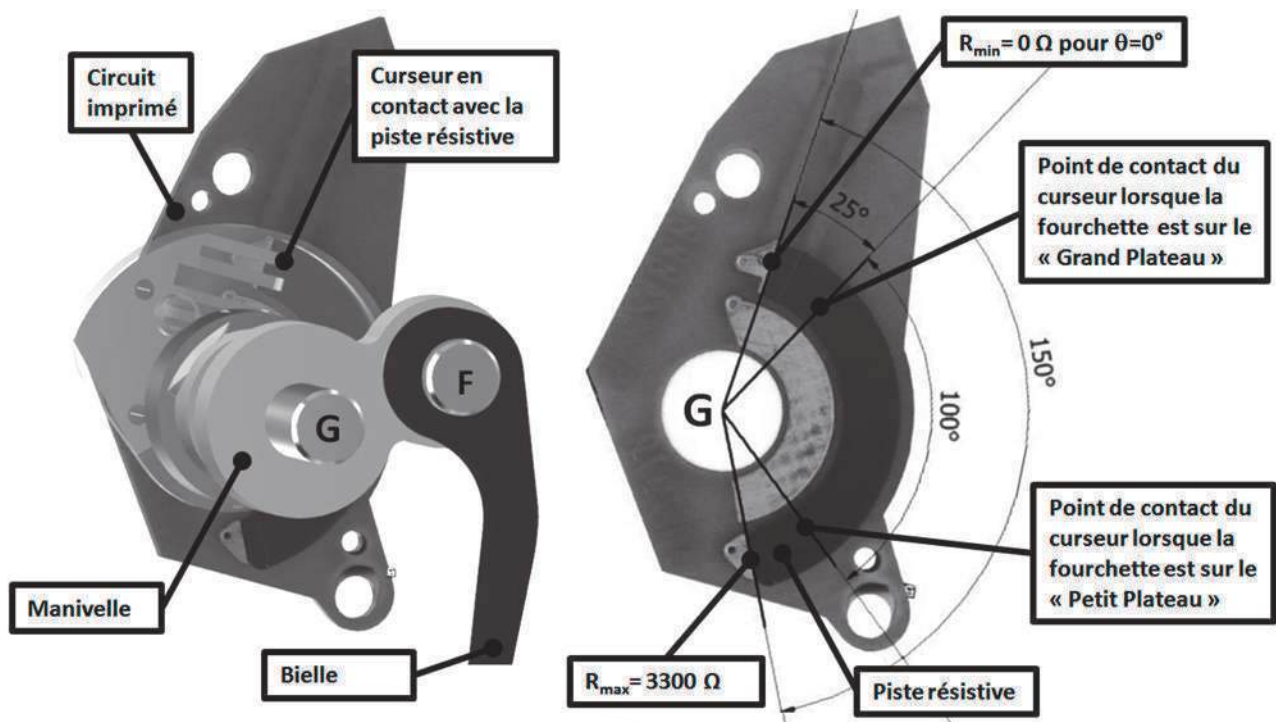


Figure 13 : Vue partielle du capteur angulaire

Question 1.9 **Montrer** que la résistance fournie par le capteur peut se mettre sous la forme : $R(\theta) = 22 \cdot \theta$, où l'angle θ est exprimé en degré.

Le capteur angulaire est associé à une résistance fixe dans un montage alimenté sous $V_{\text{alim}} = 3,3 \text{ V}$. Il permet de délivrer une tension image de l'angle θ traduisant la position angulaire de la manivelle. Le montage correspondant est représenté figure 14.

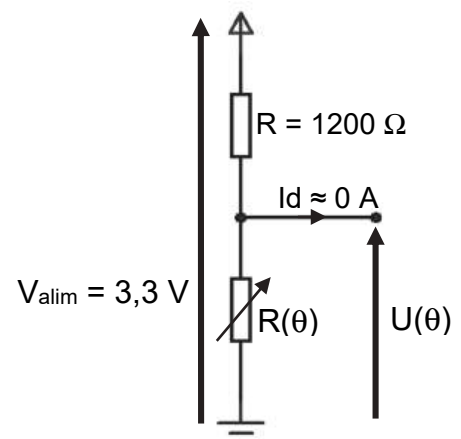


Figure 14 : montage du capteur angulaire dans un pont diviseur de tension

Question 1.10 **Montrer** que l'expression littérale de $U(\theta)$ peut se mettre sous la forme :

$$U(\theta) = \frac{72,6 \cdot \theta}{22 \cdot \theta + 1200}$$

Calculer $U(\theta)$ pour les deux positions extrêmes de la fourchette, notées U_{PP} et U_{GP} (valeurs arrondies à 10^{-3} V près).

La tension $U(\theta)$ est portée sur l'une des entrées du convertisseur analogique numérique (CAN) de l'UCL-DAV (figure 12). Ce convertisseur a pour tension de référence $V_{ref} = 3,3$ V.

Question 1.11 **Montrer** que le quantum q de ce convertisseur est de 3,223 mV.
En **déduire** la valeur numérique convertie $N(\theta)_{10}$, pour les deux positions extrêmes de la fourchette, notées N_{PP} et N_{GP} .

On considère que le déplacement de la fourchette est proportionnel à l'angle θ . Le déplacement de 11 mm pour une rotation de 100° représente pour le CAN 391 incréments.

Question 1.12 **Déterminer** en μm la précision p de déplacement de la fourchette pour une variation d'un incrément du convertisseur. **Expliquer** en quoi le convertisseur analogique numérique permet de satisfaire l'exigence de précision du déplacement de la fourchette.

Un programme traite les informations provenant du levier de changement de plateau et du capteur angulaire afin de piloter le moteur déplaçant la fourchette. L'algorithme de commande du moteur réalisant le passage de la position petit plateau vers la position grand plateau est donné sur le document DR3.

Question 1.13 **Compléter** l'algorithme correspondant à la commande de passage de la position grand plateau vers la position petit plateau.

DR3

Des essais ont révélé que le programme associé à l'algorithme précédent laisse la fourchette en contact avec la chaîne lors du passage de la position petit plateau vers la position grand plateau et inversement. Pour remédier à ce problème, la fourchette doit se déplacer dans le sens inverse de 2,5 mm après un changement de plateau, soit de 89 incréments du convertisseur analogique numérique dans un sens ou dans l'autre. Le programme incomplet de la commande de passage du petit plateau vers le grand plateau est donné sur le DR4.

Question 1.14 **Compléter** le programme écrit en Python permettant d'assurer un positionnement automatique de la fourchette à 2,5 mm de la chaîne lors d'un changement de plateau.

DR4

Expliquer sur votre copie en quoi le programme associé aux composants de la chaîne d'information et de puissance permet de répondre à l'exigence de contrôle du déplacement de la fourchette à la suite d'une action sur le levier de changement de plateau.

Sous-partie 3

Assurer l'autonomie du dérailleur

L'objectif de cette sous-partie est d'estimer la consommation énergétique d'un changement de plateau et de déterminer l'autonomie du dérailleur afin de valider le choix de la batterie aux vues des exigences attendues.

Afin d'obtenir la courbe prévisionnelle de l'intensité du courant consommé par le moteur du dérailleur avant, un modèle multi-physique a été créé au moyen d'un logiciel de simulation (figure 15).

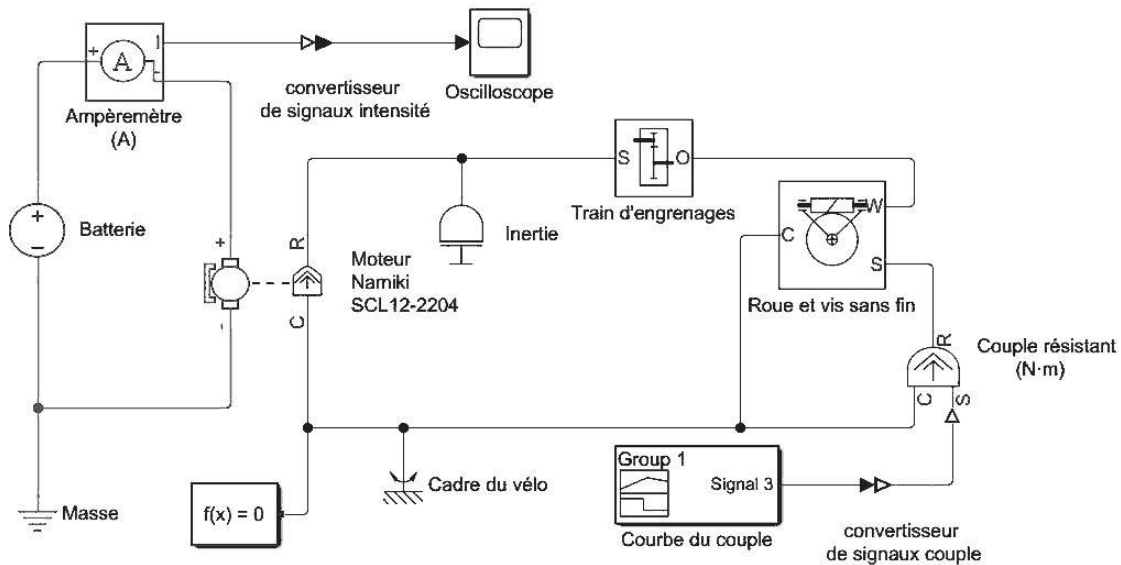


Figure 15 : modèle multi-physique du dérailleur avant

Pour la première simulation qui dure 0,35 s, le couple résistant est considéré constant. Il correspond aux frottements internes et à l'effort engendré par le mécanisme à fourchette sur la chaîne lors d'un déplacement de celle-ci. Les résultats de la simulation sont donnés figure 16.

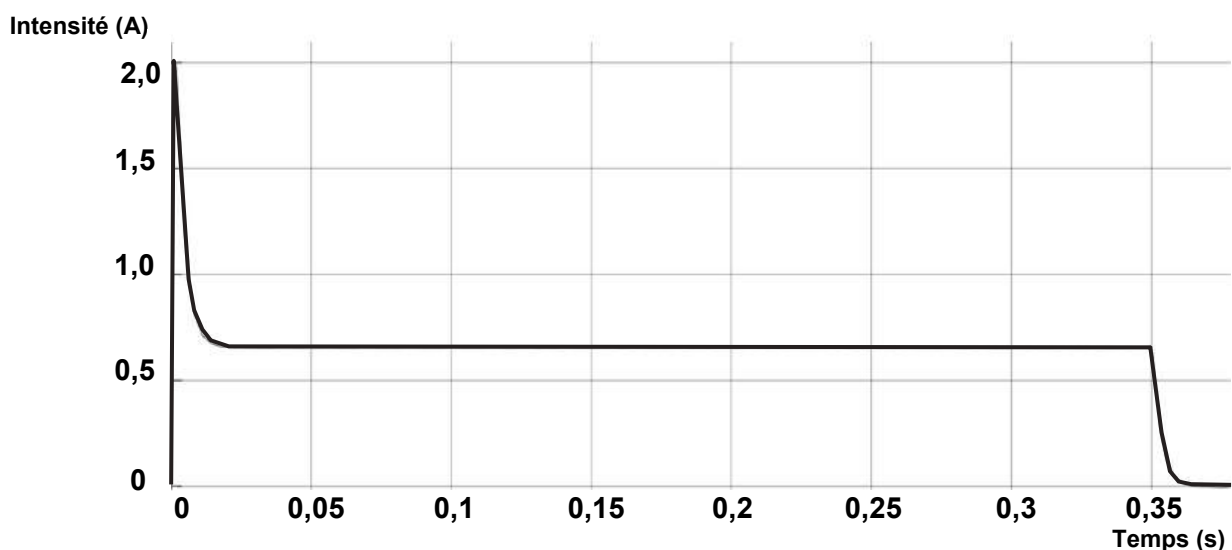


Figure 16 : intensité absorbée par le moteur, obtenue à partir de la simulation multiphysique lors du changement de plateau du dérailleur avant

La courbe figure 16, issue du modèle, s'écarte trop de la réalité. En effet, dans cette première simulation la fourchette est supposée entrainer la chaîne tout au long de son déplacement, alors que dans la réalité, il y a une première phase au cours de laquelle le mécanisme rattrape le jeu existant initialement entre la fourchette et la chaîne.

Le document réponse DR5 fournit un nouveau résultat de simulation de l'intensité absorbée par le moteur prenant en compte ce rattrapage de jeu.

Question 1.15 **Compléter** les quatre cases vides du DR5.

DR5

Indiquer le paramètre modifié lors de la seconde simulation.

La courbe de l'intensité en fonction du temps est donnée figure 17. Dans le but de simplifier les calculs de la consommation d'électricité lors d'un changement de plateau, une approximation du courant consommé est tracée en traits forts.

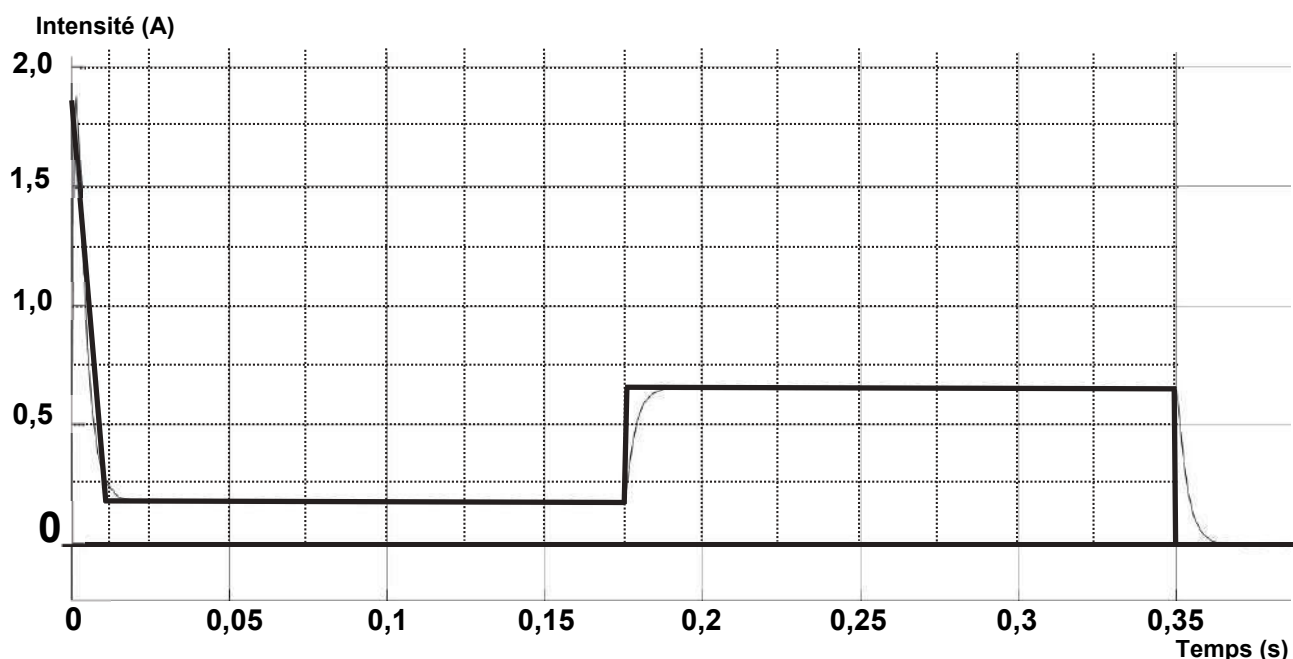


Figure 17 : approximation de la courbe de l'intensité durant un changement de plateau

La quantité d'électricité Q en mA·h consommée par le moteur est obtenue en calculant l'aire sous la courbe de l'intensité absorbée par le moteur.

Question 1.16 Sans développer les calculs, **indiquer** la démarche détaillée permettant de déterminer, à partir de la figure 17, la quantité d'électricité $Q_{\text{simulée}}$ en mA·h consommée par le moteur du dérailleur avant, lors d'un changement de plateau.

Une mesure de l'intensité du courant consommé par le moteur du dérailleur avant, lors d'un changement de plateau, est visible sur l'écran de l'oscilloscope, figure 18.

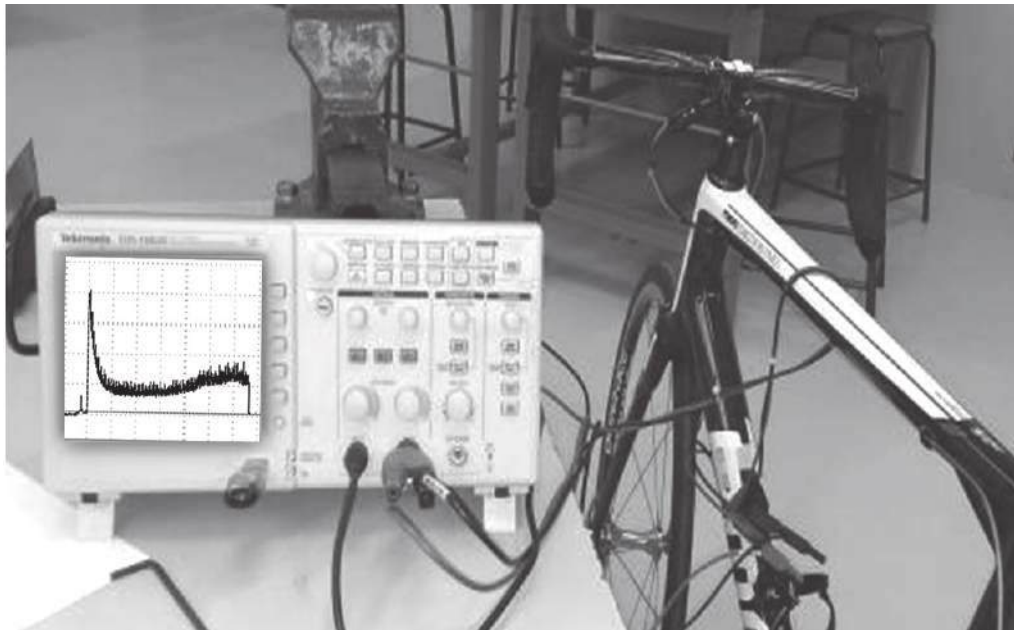


Figure 18 : mesure d'intensité lors d'un changement de plateau

Une approximation de la courbe de consommation réelle du courant en fonction du temps, lors d'un changement de plateau, est donnée à la figure 19.

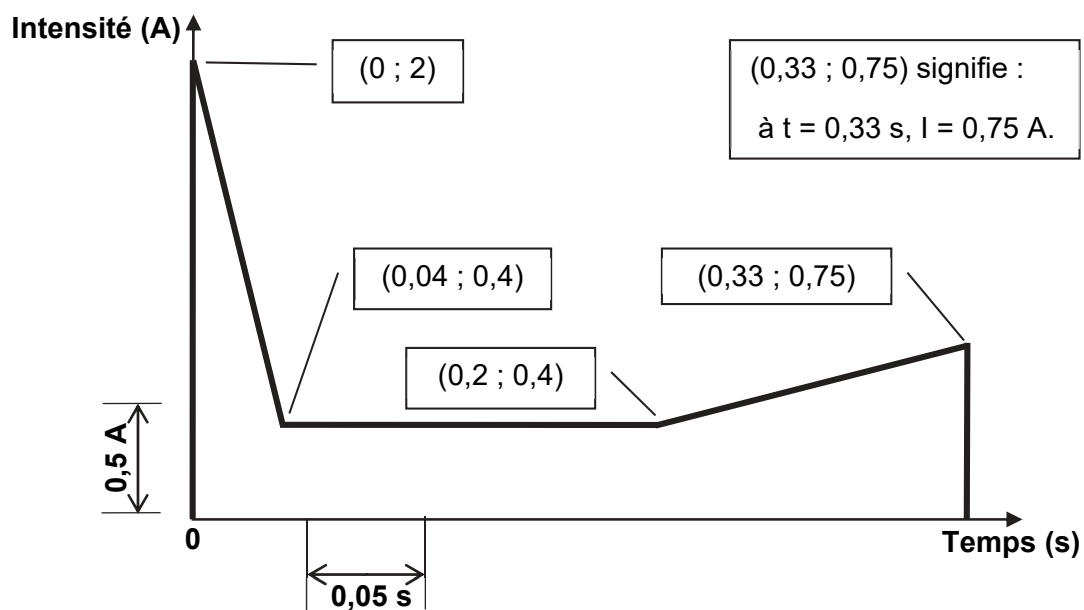


Figure 19 : approximation de la courbe de consommation réelle du courant fourni par la batterie, lors d'un changement de plateau

Question 1.17 À partir de la figure 19, **calculer** la quantité d'électricité $Q_{\text{mesurée}}$ en $\text{mA}\cdot\text{h}$ consommée par le moteur du dérailleur avant, lors d'un changement de plateau.

Après calcul, l'exploitation de la courbe de l'intensité tracée sur la figure 17, permet de déterminer $Q_{\text{simulée}} = 0,045\text{ mA}\cdot\text{h}$.

Question 1.18 **Calculer** l'écart relatif de quantité d'électricité consommée entre la simulation multi-physique et le système réel, lors d'un changement de plateau. **Conclure** sur la validité du modèle sachant que le bureau d'études valide le modèle multiphysique si l'écart relatif maximum est de 20 %.

Question 1.19 **Analyser** les écarts entre la courbe simulée approximée figure 17 et la courbe du relevé réel approximé figure 19, lors d'un changement de plateau. **Proposer** une modification qui pourrait être apportée sur le modèle pour le rapprocher du comportement réel.

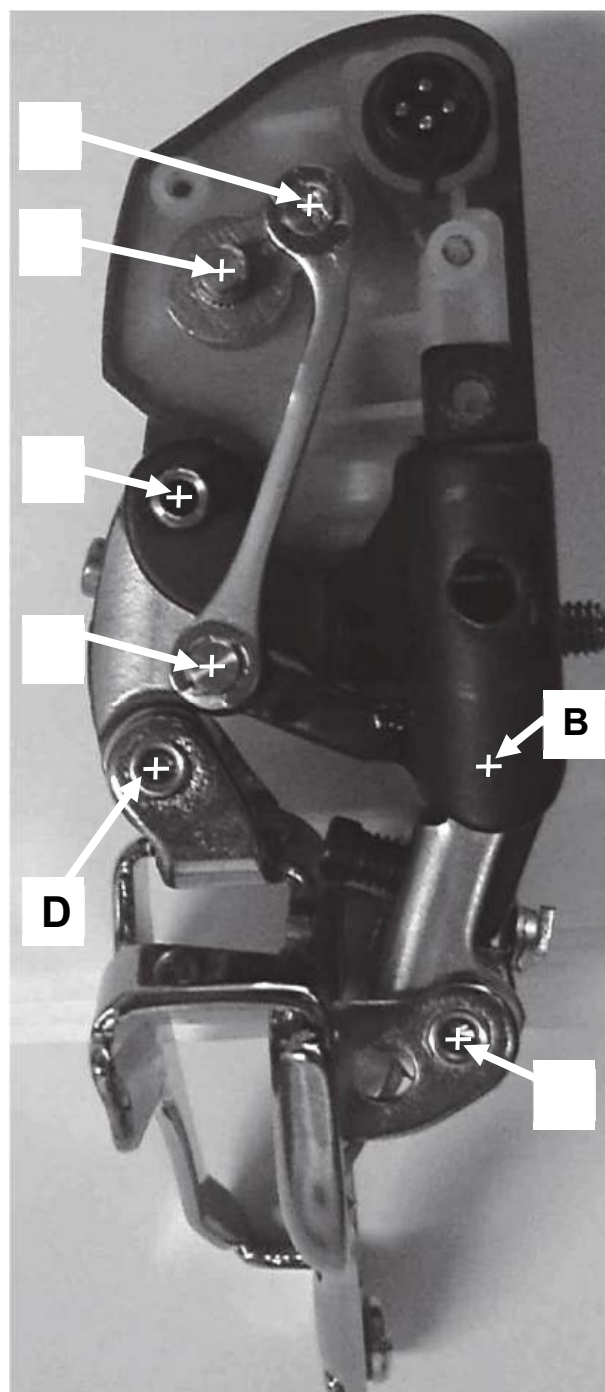
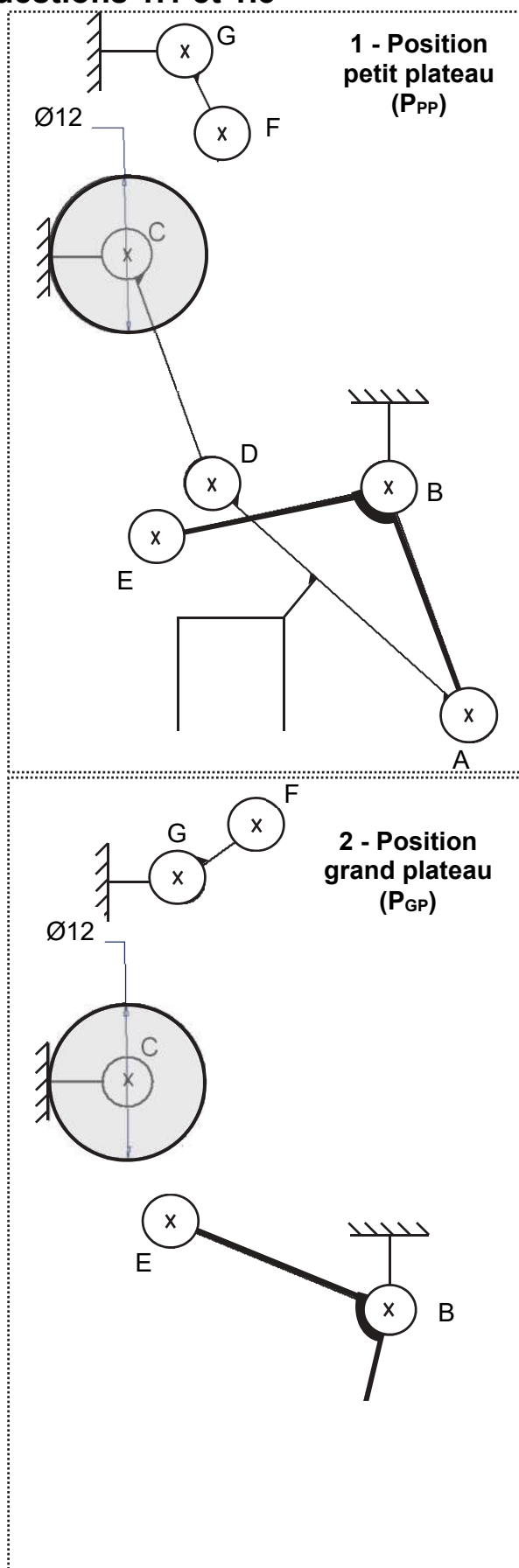
Le cycliste souhaite réaliser, sans recharge intermédiaire, 150 km par jour durant une semaine. On envisage, pour une journée, 50 changements de plateau (retenir une consommation de 0,05 mA·h pour un changement de plateau) et 2 changements de pignons arrière par km. Le moteur du dérailleur arrière, pour un changement de pignon, consomme la même quantité d'électricité que le moteur du dérailleur avant.

La consommation des autres composants pendant une journée est estimée à 20 mA·h.

Question 1.20 **Calculer** la quantité d'électricité en mA·h consommée par le dérailleur durant la semaine d'utilisation et **vérifier** si la batterie satisfait la performance exigée (figure 3).

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Questions 1.1 et 1.3



Échelle 2:1 pour les schémas
cinématiques et la photo

EF = 31,1 mm

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Question 1.8

Repère	Nom du Flux	Nature du flux	Unité
2	:Données I2C	Numérique	
3	:mot_sens		
	:mot_on		
4	: θ		
5	: $R(\theta)$	Analogique	Ohm
6	: $U(\theta)$		
7	: $N(\theta)$		

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

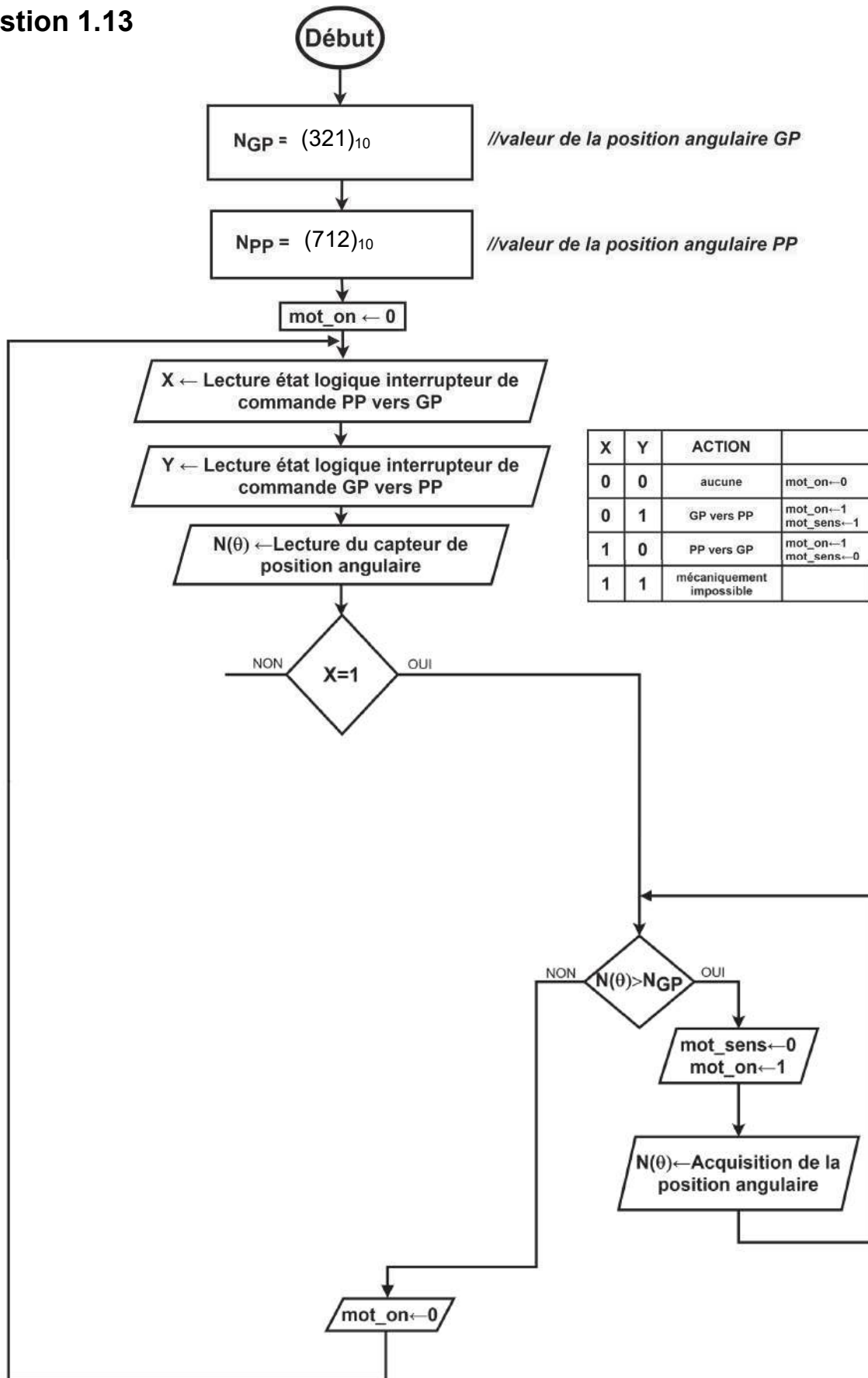
N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Question 1.13



Question 1.14

Les zones à compléter sont identifiées par des pointillés (.....)

```
#Programme de contrôle et de commande de déplacement de la fourchette
from machine import ADC, Pin      #importation des modules ADC, Pin du module machine

# Affectation des broches du microcontrôleur
inter_X = Pin(25, Pin.IN)          #Objet inter_X relié à la broche 25 - entrée logique.
inter_Y = Pin(26, Pin.IN)          #Objet inter_Y relié à la broche 26 - entrée logique.
mot_on = Pin(16, Pin.OUT)          #Objet mot_on relié à la broche 16 - sortie logique.
mot_sens = Pin(17, Pin.OUT)        #Crée un objet mot_sens relié à la broche 17 - sortie
                                   #logique.

can = ADC(Pin(34))                 #Crée un objet ADC (CAN) sur la broche 34 - entrée
                                   #analogique.

can.atten(ADC.ATTN_11DB)           #Règle la pleine échelle du CAN à 3.3V.
ADC.width(ADC.WIDTH_10BIT)         #Change la résolution du convertisseur à 10 bits.
# Initialisation des constantes et variables

NGP = 321                         #Fixe la valeur de la position angulaire du grand
                                   #plateau.
NPP = 712                         #Fixe la valeur de la position angulaire du petit
                                   #plateau.
mot_on = 0                         #Mise hors tension du moteur.

# Boucle principale infinie, tant que le dérailleur est sous tension
while True:
    X=inter_X.value()              #Lecture de l'état logique de l'interrupteur X.
    Y=inter_Y.value()              #Lecture de l'état logique de l'interrupteur Y.
    N(θ)= can.read()               #Acquisition de la position angulaire et conversion
                                   #analogique-numérique.

    if X==1:                        #Test de l'action mécanique des doigts sur le levier X.
        while N(θ) > NGP:           #Contrôle de la position angulaire de la manivelle.
            mot_sens.value(0)      #Fixe le sens de rotation du moteur pour un déplacement
                                   #du petit plateau vers le grand plateau.
            mot_on.value(1)        #Mise sous tension du moteur.
            N(θ)=can.read()

            while N(θ) .....:      #Fixe le sens de rotation du moteur pour un déplacement
            mot_sens.value(.....) #de la fourchette de 2,5 mm, de la position grand
                                   #plateau vers la position petit plateau.

            mot_on.value(1)
            N(θ)=can.read()

        elif Y==1:                 #Test de l'action mécanique des doigts sur le levier Y.
            while N(θ) < NPP:
                mot_sens.value(1)
                mot_on.value(1)
                N(θ)=can.read()

                while N(θ) .....:  #Fixe le sens de rotation du moteur pour un déplacement
                mot_sens.value(.....) #de la fourchette de 2,5 mm, de la position petit
                                   #plateau vers la position grand plateau.

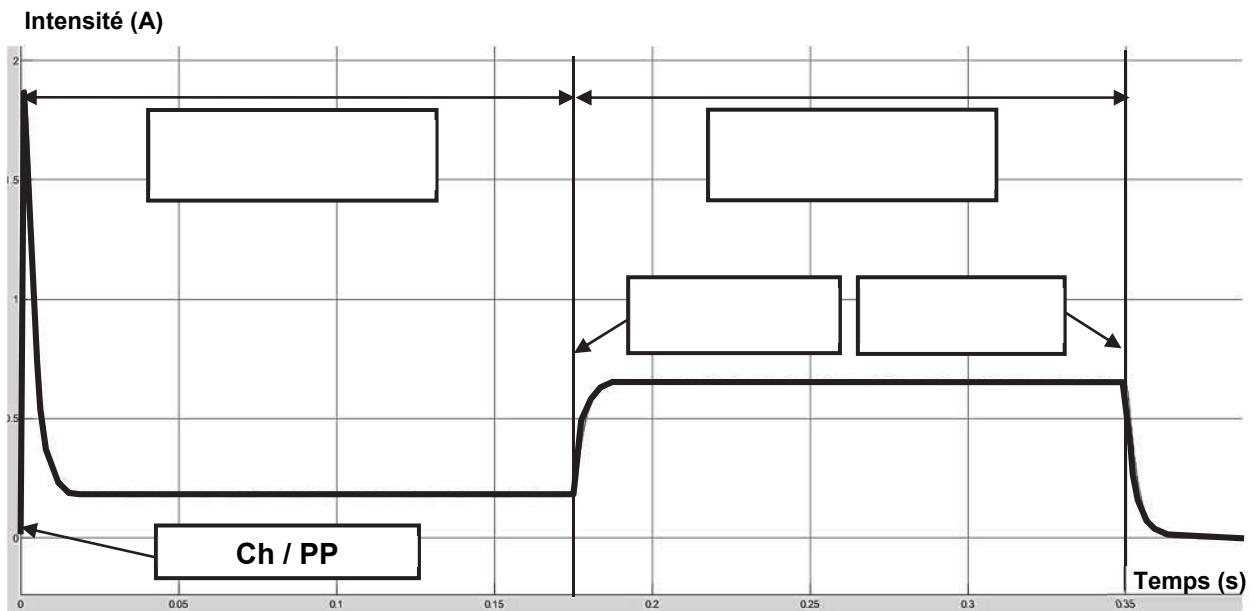
                mot_on.value(1)
                N(θ)=can.read()
            else :
                mot_on.value(0)
```


Question 1.15

Instants et phases	Codes à utiliser
Chaîne sur petit plateau	Ch / PP
Chaîne sur grand plateau	Ch / GP
Déplacement de la fourchette et de la chaîne	(F + Ch) →
Contact de la fourchette avec la chaîne	F • Ch
Déplacement de la fourchette seule	F →

Tableau des instants et phases lors d'un changement de plateau

Compléter les cases vides avec les codes donnés dans le tableau.



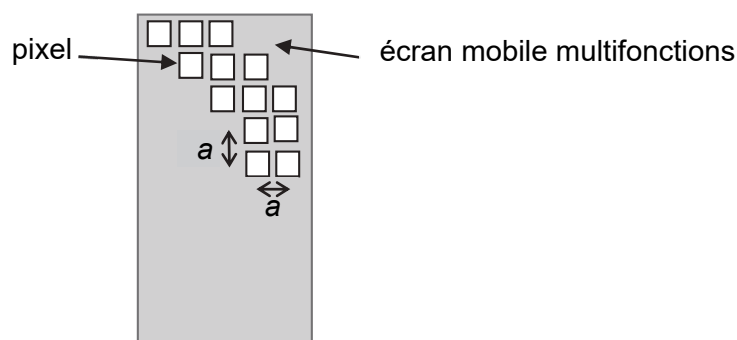
Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Résolution d'un écran de smartphone (10 points)

Plusieurs constructeurs se partagent le marché des téléphones mobiles multifonctions (smartphones). Les écrans constituent un argument important dans le choix d'un appareil. Lors d'une séance expérimentale au lycée, on souhaite comparer la qualité de l'écran de deux modèles (type S et type I) en s'intéressant à leurs résolutions.

Données :

- les écrans de ces téléphones mobiles sont constitués de pixels carrés dont les centres sont distants d'une longueur a .



- la résolution est le nombre de pixels par pouce (ou ppp) ;
- un pouce est égal à 2,54 centimètres ;
- résolutions des téléphones mobiles étudiés : type S : 438 ppp et type I : 326 ppp ;
- longueur d'onde du laser : $\lambda = 650 \text{ nm}$.

L'objectif de cet exercice est d'étudier expérimentalement la résolution d'un téléphone mobile de type S et de la comparer avec celle d'un autre téléphone mobile de type I.

Lorsque les pixels sont éclairés par un faisceau laser, ils se comportent, par réflexion, comme des sources ponctuelles cohérentes. Le dispositif expérimental ci-dessous (figure 1) permet d'observer les figures d'interférences à sources multiples obtenues sur un écran d'observation (figure 2) lorsqu'on envoie un faisceau laser sur l'écran du mobile.

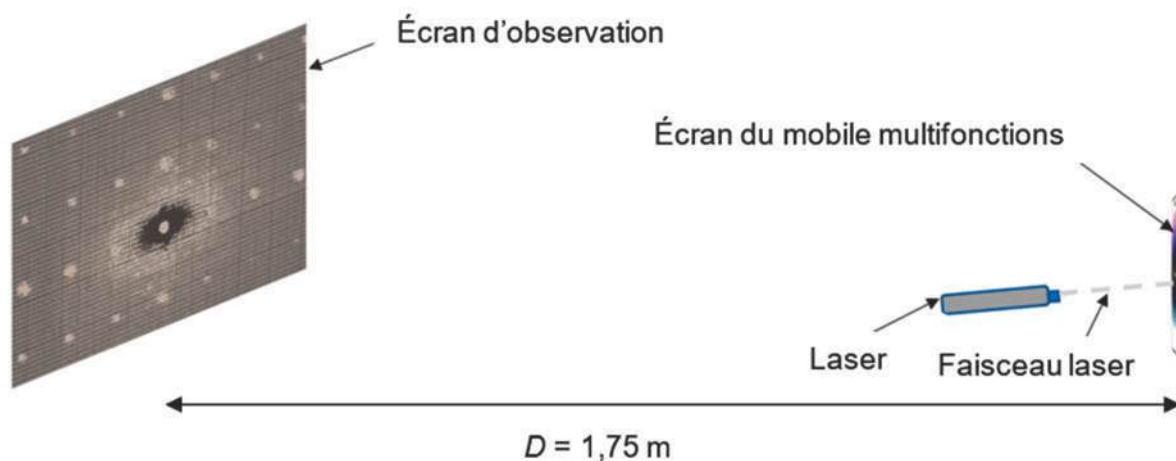


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental

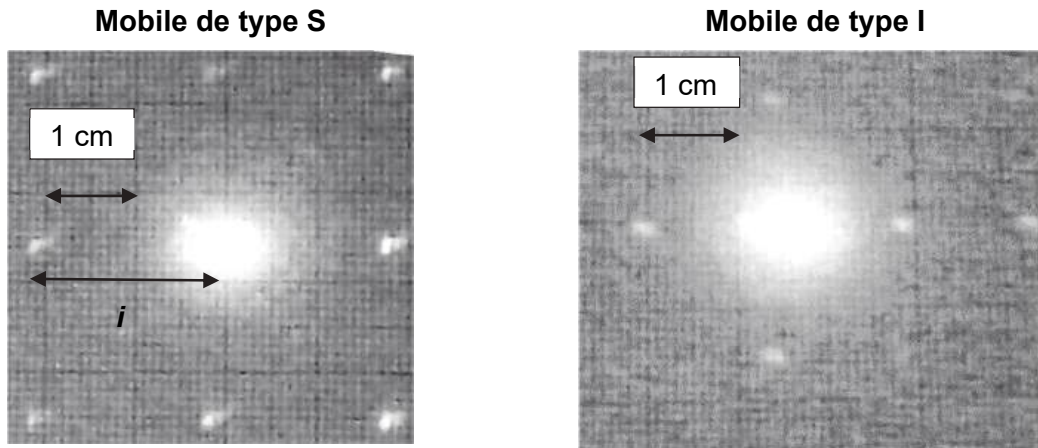


Figure 2. Figure d'interférences obtenue pour chacun des téléphones mobiles multifonctions

- Q1.** Préciser le caractère de la lumière mis en évidence par de telles figures.
- Q2.** Qualifier le type d'interférences correspondant aux points lumineux.
- Q3.** La distance i entre deux points lumineux voisins sur l'écran d'observation (figure 2) correspond à l'interfrange. Par analyse des unités, éliminer deux relations parmi les quatre ci-dessous :
- a) $i = a \cdot \lambda \cdot D$ b) $i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$ c) $i = \frac{a \cdot D}{\lambda}$ d) $i = \frac{a}{\lambda \cdot D}$
- Q4.** Parmi les deux relations restantes de la question Q3, on cherche à identifier la relation correcte. En utilisant la figure 2, décrire l'évolution de la distance a entre deux pixels lorsque la résolution augmente. Sans calcul, montrer alors que la relation à retenir est : $i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$
- Q5.** Mesurer le plus précisément possible, à partir de la figure 2, la valeur de la distance i entre deux points lumineux consécutifs pour le mobile de type S.
- Q6.** En déduire la valeur de la distance a . Évaluer la résolution du téléphone mobile de type S en nombre de pixels par pouce (ppp). Commenter.

De manière plus générale, il existe deux catégories d'écran :

- Retina lorsque les pixels ne sont pas visibles à distance usuelle d'utilisation fixée à $d = 30$ cm ;
- non-Retina lorsque, dans les mêmes conditions, les pixels sont visibles (figure 3).

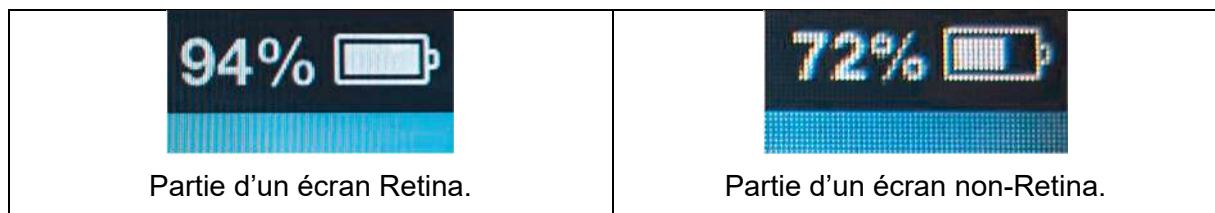
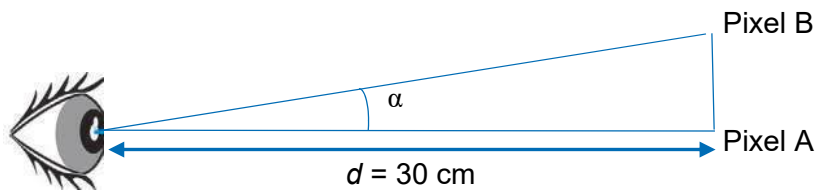


Figure 3. Les deux catégories d'écran du téléphone

Le pouvoir séparateur de l'œil correspond au plus petit angle α , noté $\alpha_{\min}$, permettant de distinguer des pixels A et B très proches. On admet usuellement que $\alpha_{\min} = 3,0 \times 10^{-4}$ rad.



On se place dans l'approximation des petits angles : $\tan \alpha \approx \alpha$, α s'exprimant en radians.

Q7. En utilisant la résolution donnée pour le mobile de type I, déterminer la catégorie d'écran de ce téléphone mobile. Commenter.

EXERCICE B – La Tour de la Terreur (10 points)

Surplombant un célèbre parc d'attraction du haut de ses treize étages, *La Tour de la Terreur* entraîne une cabine avec ses passagers dans une chute vertigineuse de plusieurs dizaines de mètres.

L'objet de cette étude est de d'étudier certaines caractéristiques du fonctionnement de l'attraction.



Figure 1. Tour de la Terreur

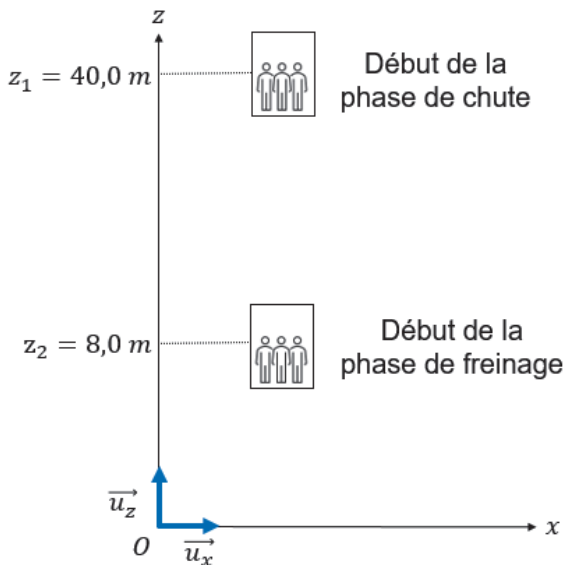


Figure 2. Schéma de la situation

Le système étudié est l'ensemble {cabine + passagers}, de masse m ; le centre de masse M du système, d'altitude z , est situé à près de 1 m au-dessus du bas de la cabine.

Figure 2 : après une phase ascendante durant laquelle le centre de masse de la cabine monte jusqu'à 40,0 m au-dessus du sol, le mouvement de la cabine se décompose en deux phases :

- une première phase qu'on modélise par une chute libre de 40,0 m à 8,0 m, d'une durée d'environ deux secondes ;
- une deuxième phase de freinage pour stopper la cabine, d'une durée d'environ une seconde.

Données :

- la vitesse v de la cabine est nulle au début de la première phase ;
- vitesse maximale mesurée de la cabine : $v_{\max} = 63 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;
- masse de la cabine avec une vingtaine de passagers : $m = 8,5 \times 10^3 \text{ kg}$;
- intensité de la pesanteur $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- dangerosité de l'accélération sur le corps humain (figure 3).

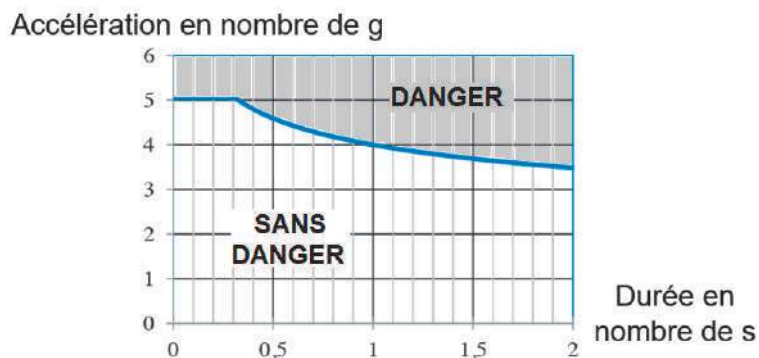


Figure 3. Modèle représentant l'accélération (en nombre de g) pouvant être supportée sans danger par un être humain pour une durée donnée

Le nombre de g représente une valeur d'accélération multiple de g . Par exemple, une accélération de $4g$ vaut $4 \times 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} = 39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. On peut lire sur la figure 3 qu'elle est dangereuse lorsqu'elle est subie pendant une durée supérieure à 1 s.

- Q1.** Rappeler l'hypothèse principale du modèle de la chute libre.
- Q2.** Rappeler, pour le système étudié, les expressions de l'énergie cinétique E_c , de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} , supposée nulle en $z = 0$, et de l'énergie mécanique E_m .
- Q3.** Par une approche énergétique, montrer que dans ce modèle de la chute libre, à la fin de la première phase, la cabine devrait avoir une vitesse de $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Q4.** Compte-tenu de la valeur de la vitesse maximale mesurée de la cabine, interroger la pertinence du modèle de la chute libre pour l'étude de la première phase du mouvement de la cabine.

Dans les questions suivantes on s'intéresse à la deuxième phase du mouvement : le freinage de la cabine. Durant cette phase, un système constitué de six freins à tambour exerce sur la cabine, par l'intermédiaire d'un câble, une force de freinage $\vec{F}$ que l'on suppose constante, de valeur $F = 2,7 \times 10^5 \text{ N}$. Les forces de frottements de l'air sont supposées négligeables ici devant cette force de freinage.

- Q5.** Représenter sur un schéma les deux forces qui s'exercent sur la cabine lors de la phase de freinage. Si une des deux forces a une norme plus grande que l'autre, la représenter par une flèche de longueur plus grande, sans pour autant respecter d'échelle.
- Q6.** Déterminer l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de la cabine sur les directions (Ox) et (Oz) en fonction de F , g et m et des vecteurs unitaires $\vec{u}_x$ et $\vec{u}_z$ définis sur la figure 2.

La valeur de l'accélération subie par la cabine et ses passagers durant la phase de freinage est environ $a = 22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, soit $a = 2,2g$.

- Q7.** Discuter de la dangerosité de cette attraction sur le corps humain étant donné l'accélération subie et la durée approximative de la phase de freinage.

Lors de la deuxième phase, la position du centre de masse de la cabine vérifie la loi horaire suivante :

$$z(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 - v_{\max} \cdot t + z_2$$

avec $a = 22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $v_{\max} = 18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $z_2 = 8,0 \text{ m}$. L'origine des temps est prise au début de la deuxième phase.

- Q8.** Montrer que la cabine s'arrête au bout de 0,8 s environ.

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

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mercredi 19 juin 2024

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 24 pages numérotées de 1/24 à 24/24.

**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 17 à 19) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Siège de relevage



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 16
- Documents réponses.....pages 17 à 19

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 17 à 19) sont à rendre avec la copie.

Siège de relevage

450 000 personnes chutent chaque année en France. Ce sont principalement des seniors qui ne peuvent pas se relever seuls. Le siège de relevage est un appareil en kit transportable qui permet à une seule personne de relever un patient en toute sécurité. Ce dispositif facilite les manipulations de l'aidant ou du soignant pour relever une personne à terre en diminuant ainsi l'apparition des troubles musculo-squelettiques.

Le kit décrit sur la figure 1 se compose de deux sacs contenant pour l'un l'assise et pour l'autre les quatre pieds et les deux parties du dossier. Les divers éléments se clipsent les uns aux autres. L'assise se place au niveau du bassin de la personne à relever. Le dossier composé de deux parties distinctes, se glisse directement sous le dos de la personne, de chaque côté. Une ceinture de sécurité permet de maintenir le patient dans le dispositif en toute sécurité. Les quatre pieds, dont deux motorisés, sont ensuite clipsés.

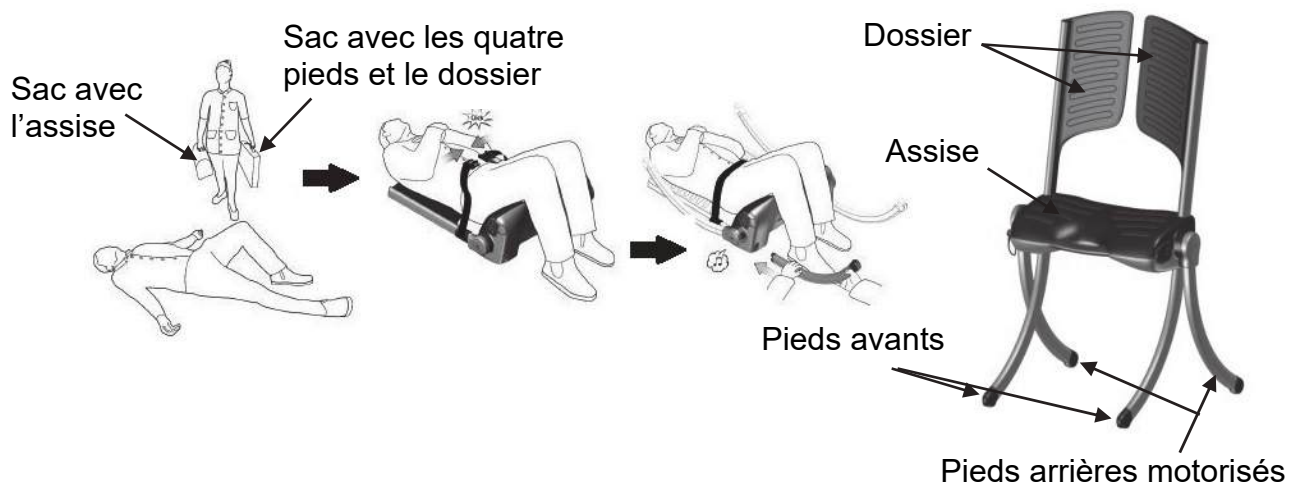


Figure 1 : assemblage du siège de relevage

Le siège de relevage peut être activé dès qu'il est correctement assemblé et ne peut fonctionner que si les éléments sont parfaitement clipsés (figure 2). Le levage s'effectue électriquement. Il est commandé sur le siège ou à l'aide d'une télécommande. Il dure une trentaine de secondes environ. La batterie intégrée lui permet d'être autonome et facilite l'intervention en tout lieu.

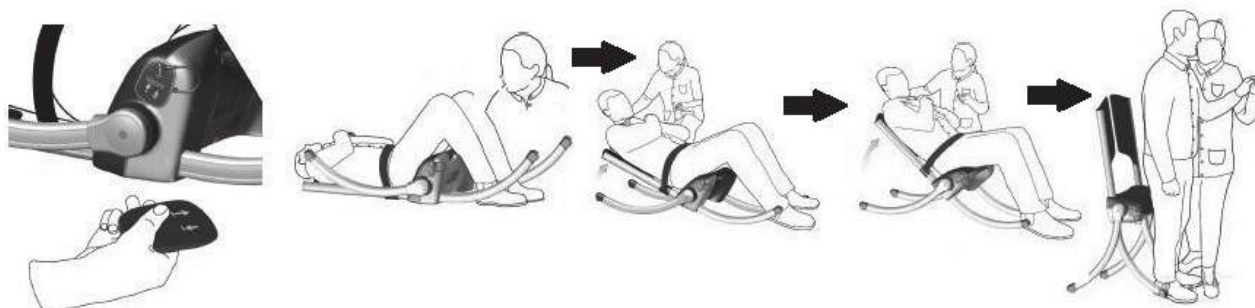


Figure 2 : mise en fonctionnement jusqu'au relevage complet de la personne

Sur le côté gauche de l'assise (figure 3), se trouvent un bouton Marche/Arrêt, un bouton d'arrêt d'urgence, deux boutons déclenchant la montée et la descente du siège, ainsi que deux indicateurs (niveau de charge batterie et état de service). À chaque axe d'articulation des pieds arrière est disposé un voyant attestant du montage correct des éléments du système. La télécommande est rangée du côté droit de l'assise.

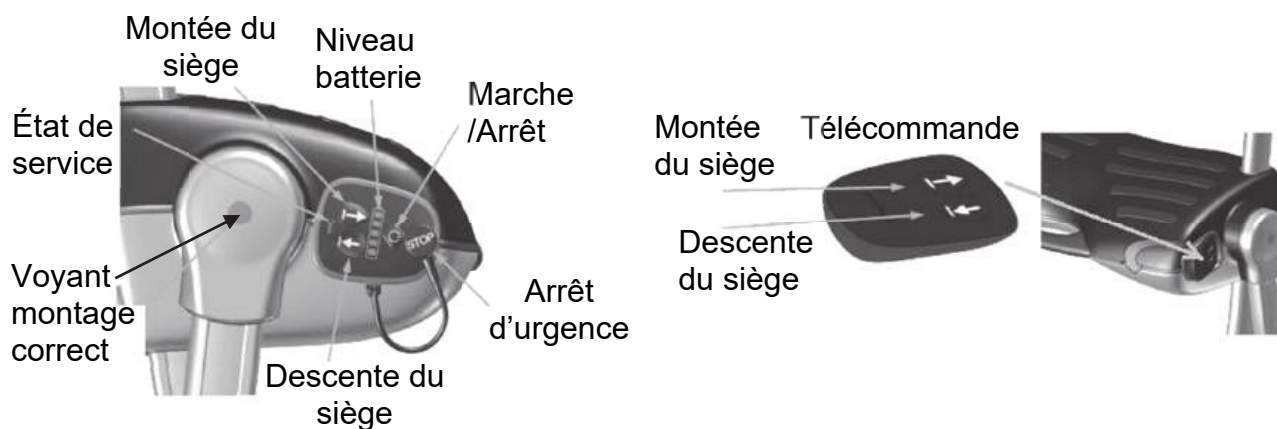


Figure 3 : interface de dialogue avec l'utilisateur

La figure 4 présente les performances attendues du siège de relevage.

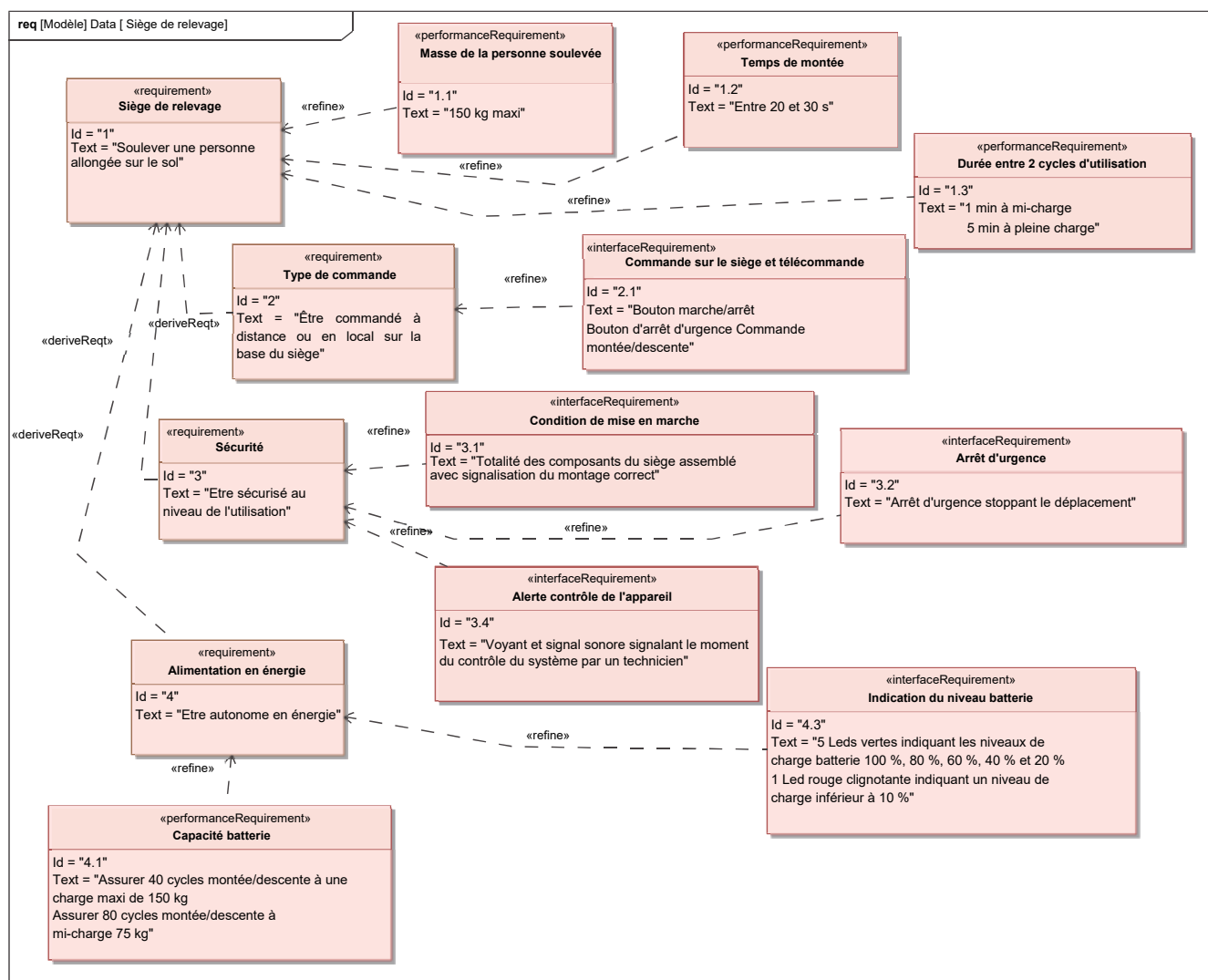


Figure 4 : diagramme des exigences du siège de relevage

Sous-partie 1

Capacité de levage du siège à sa charge maximale

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que la chaîne de puissance du siège de relevage est capable d'assurer le relevage d'une personne à la capacité de charge maximale du siège.

Dans un premier temps, une étude statique permet la recherche du couple à exercer sur l'ensemble des pieds arrières du siège de relevage pour assurer le relevage de la personne.

Question 1.1 À partir du diagramme des exigences figure 4, **identifier** l'exigence en relation avec la masse de la personne à lever et **préciser** la valeur de la masse maximale de l'individu pouvant être relevé.

Le siège de relevage est représenté dans la position de départ au sol et en position finale relevée sur la figure 5. Le passage d'une position à l'autre est obtenu grâce à l'application d'un couple sur les pieds motorisés de direction $\vec{z}$. Ce couple exercé par la transmission de puissance située à l'intérieur de l'assise provoque la rotation des deux pieds arrières motorisés autour de l'axe $(O, \vec{z})$ dans le sens trigonométrique générant le relevage du siège. Les pieds avant et les dossiers sont eux solidaires de l'assise et forment un seul bloc d'un point de vue cinématique.

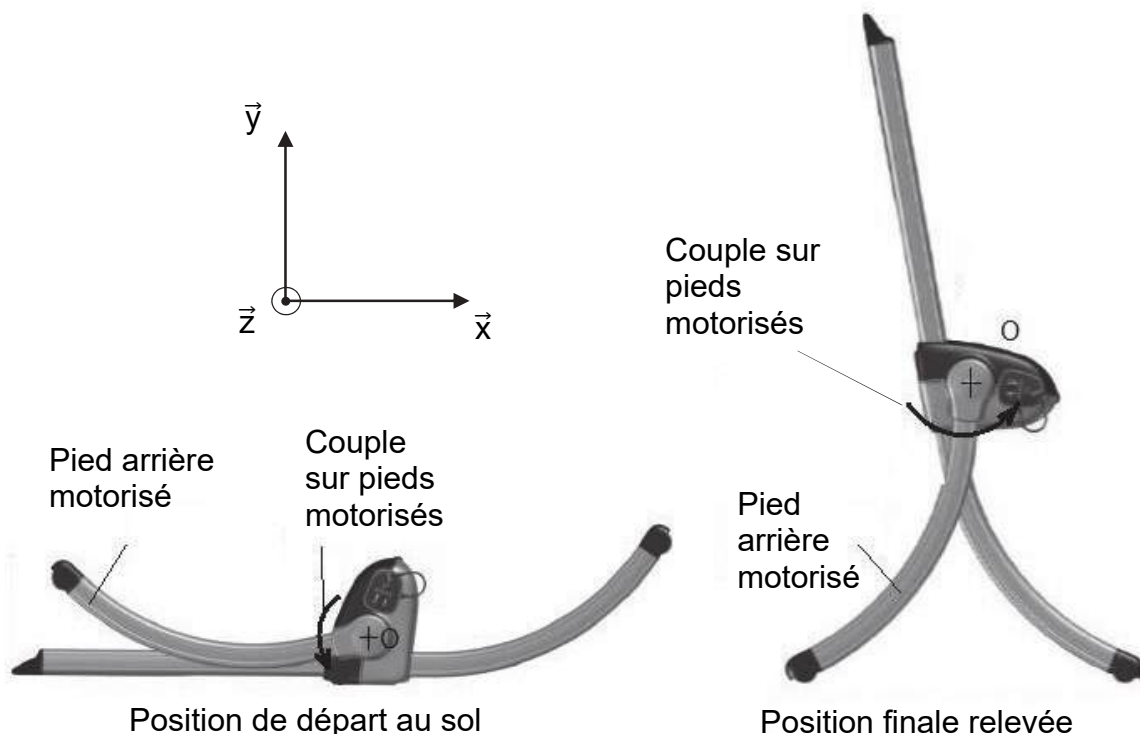


Figure 5 : représentation des positions extrêmes du siège de relevage

Hypothèses et données :

- la montée du siège étant lente, les effets dynamiques sont négligés ;
- le modèle proposé pour l'étude sur le document réponse DR1 présente une symétrie de géométrie et d'efforts suivant le plan $(O, \vec{x}, \vec{y})$;
- les liaisons sont supposées parfaites ;
- la masse de la personne à relever est M = masse maximale ;
- l'accélération de la pesanteur est arrondie à $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- la masse des composants du siège de relevage est négligée devant celle de la personne à relever ;
- la position du siège représentée sur le document réponse DR1 est la plus défavorable pour la recherche du couple à exercer sur les pieds arrières motorisés pour relever la personne ;
- l'ensemble formé par l'assise, les pieds avant et les dossiers est noté 1 ;
- l'ensemble formé par les deux pieds arrières motorisés est noté 2 ;
- le sol est noté 0.

Dans la première étude, l'ensemble formé par $S = \{1, 2, \text{personne à relever}\}$ est isolé.

Les actions mécaniques appliquées sur l'ensemble S sont représentées par les torseurs suivants :

- l'action de la pesanteur due au poids de la personne à relever de masse M appliquée en G

$$\{T(\vec{P})\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -P & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

- l'action du sol 0 sur les pieds arrières motorisés 2 appliquée en A

$$\{T(\overrightarrow{A_{0 \rightarrow 2}})\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

- l'action du sol 0 sur les pieds avant 1 appliquée en B

$$\{T(\overrightarrow{B_{0 \rightarrow 1}})\}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

Question 1.2 **Compléter** le document réponse DR1 en indiquant aux différents points, la direction et le sens des différentes actions mécaniques extérieures qui s'appliquent à l'ensemble S .

Question 1.3 En appliquant le principe fondamental de la statique à l'ensemble S , **écrire** les équations issues du théorème de la résultante statique sur $\vec{y}$ et du théorème du moment statique au point A sur $\vec{z}$.

Question 1.4 À l'aide des équations de la question 1.3, **montrer** que $Y_A = 853 \text{ N}$ et $Y_B = 647 \text{ N}$.
DR1

Représenter alors sur le dessin des pieds arrières motorisés sur le document réponse DR1, l'action mécanique $\vec{A}_{0 \rightarrow 2}$, en respectant l'échelle indiquée.

Question 1.5 À l'aide du théorème du moment statique au point O appliqué à l'ensemble 2 en projection sur $\vec{Z}$, **calculer** la valeur du couple à exercer sur cet ensemble 2 noté C_{pm} permettant le relevage de la personne.

La valeur de C_{pm} déterminée à la question 1.5 correspond à la valeur maximale obtenue au cours du relevage de la personne de masse maximale.

Chaque pied motorisé est entraîné par une chaîne de puissance comportant chacune un moteur. Chaque chaîne doit donc générer en sortie un couple $C_{pm1} = \frac{C_{pm}}{2}$ afin de relever la personne de 150 kg. Pour la suite, $C_{pm1} = 172 \text{ N}\cdot\text{m}$. La chaîne de puissance est décrite par les figures 6 et 7.

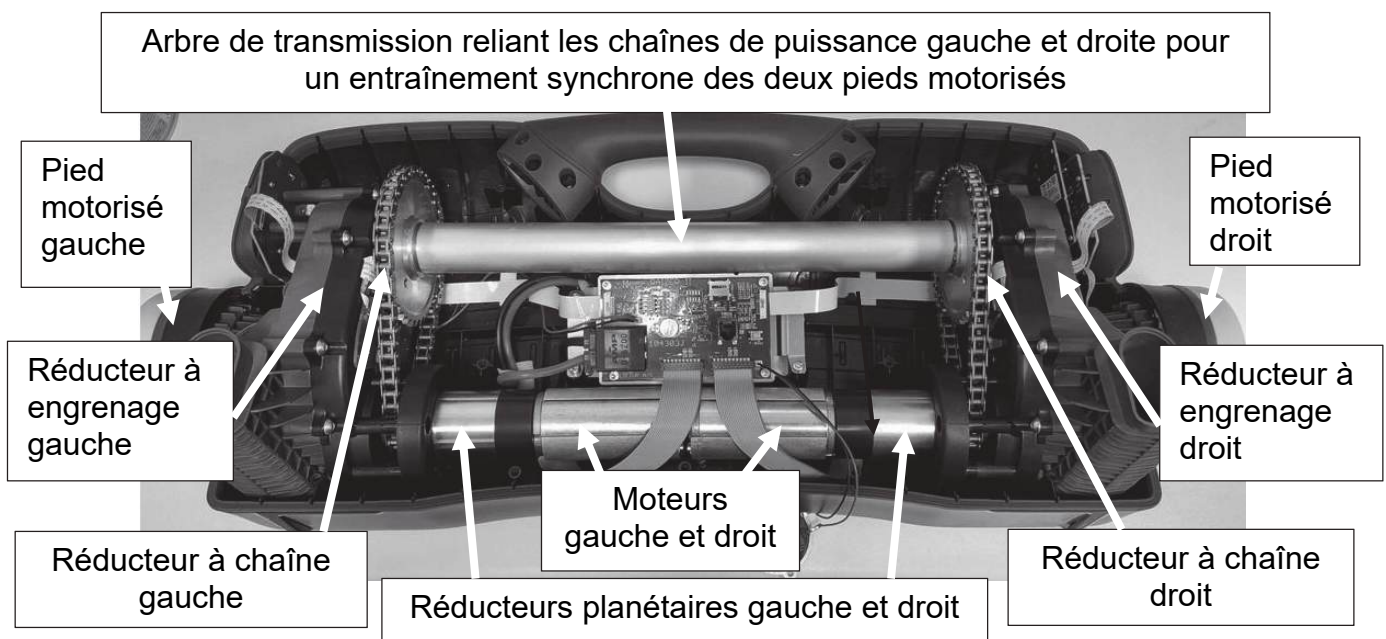


Figure 6 : chaînes de puissance côtés gauche et droit à l'intérieur de l'assise

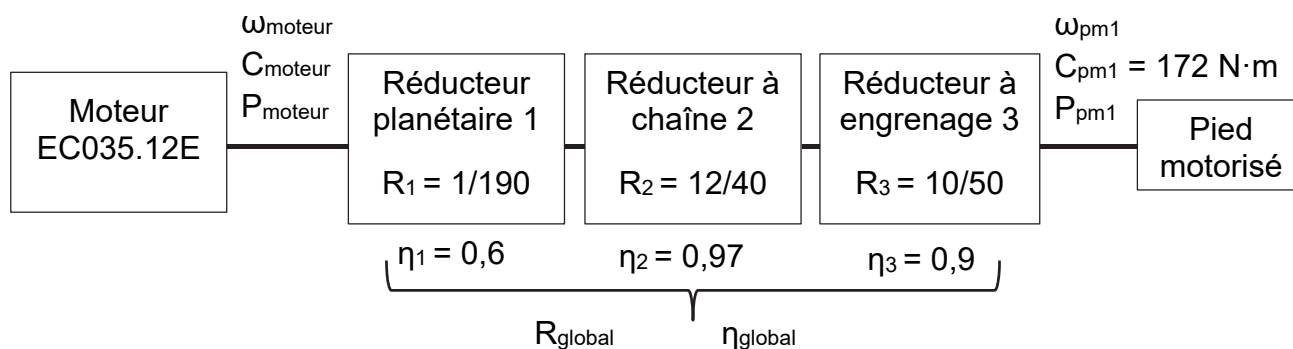


Figure 7 : caractéristiques de chaque chaîne de puissance

Question 1.6 **Exprimer** C_{moteur} en fonction de C_{pm1} , η_{global} et R_{global} . **Calculer** la valeur du couple moteur C_{moteur} nécessaire pour relever la personne de 150 kg.

Un extrait de la fiche technique du moteur est donné figure 8.

Référence moteur	Couple nominal du moteur	Vitesse nominale du moteur	Tension d'alimentation	Intensité nominale absorbée
EC035.12E	0,11 N·m	3 500 tr·min ⁻¹	12 V	5,2 A

Figure 8 : caractéristiques du moteur

Question 1.7 En prenant $C_{\text{moteur}} = 0,104 \text{ N·m}$ et à l'aide des données de la figure 8, **conclure** sur la capacité du moteur à relever une personne de 150 kg.

Sous-partie 2

Analyse de l'autonomie de la batterie pour une utilisation à mi-charge

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier le nombre de cycles montée/descente pouvant être effectués avec la batterie pour une utilisation à mi-charge (levée d'une personne de 75 kg).

La chaîne de puissance pour un pied motorisé, permettant de relever une personne au sol comporte une batterie, un hacheur (pont en H), un moteur à courant continu et trois réducteurs de vitesse (figure 9).

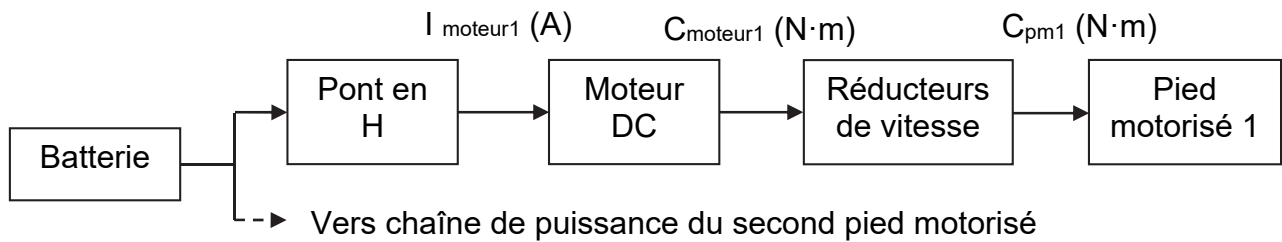


Figure 9 : chaîne de puissance pour un pied motorisé

Une simulation a permis d'obtenir la courbe du couple pour un pied motorisé C_{pm1} lors d'une montée pour une charge de 75 kg (figure 10).

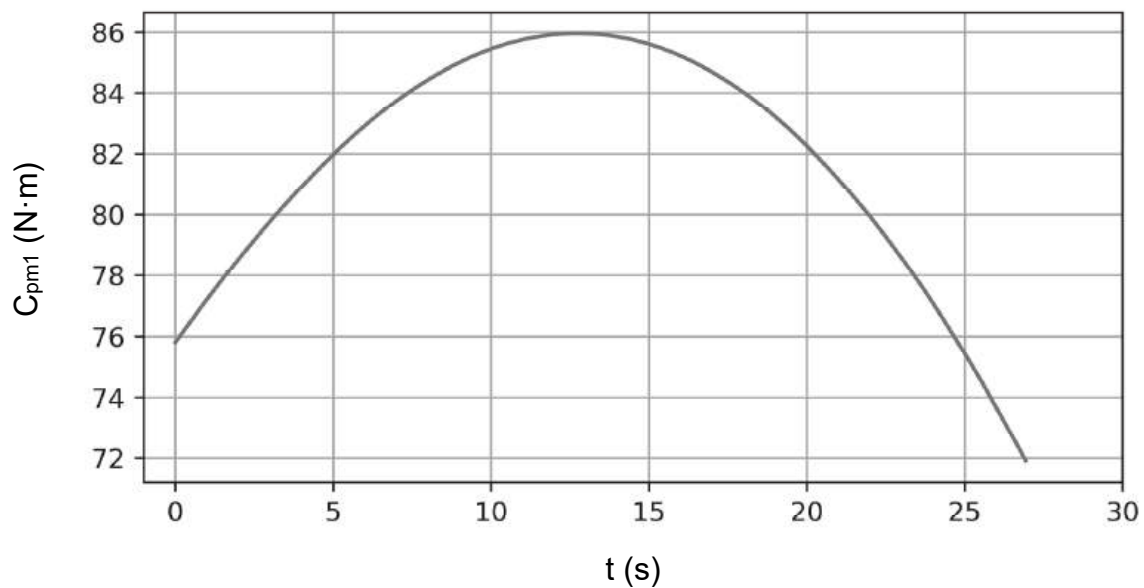


Figure 10 : couple pour un pied motorisé pour la montée d'une charge de 75 kg

Cette courbe permet de définir le couple résistant qui est utilisé dans le modèle multiphysique de la figure 11.

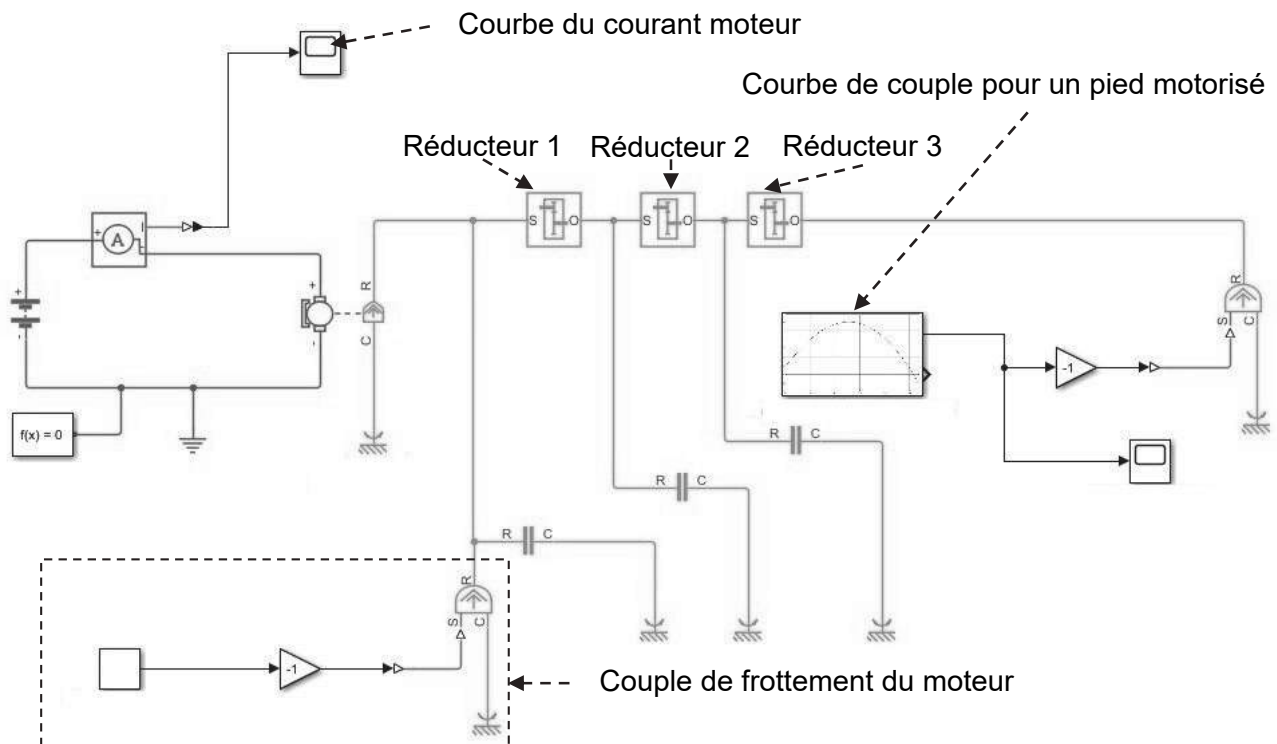


Figure 11 : modèle multiphysique pour un pied motorisé

Afin d'obtenir la courbe du courant moteur, il est nécessaire de paramétrer ce modèle.

Données :

- réducteur planétaire 1 : $R_1 = 1/190$ et $\eta_1 = 60 \%$;
- réducteur à chaîne 2 : $R_2 = 12/40$ et $\eta_2 = 97 \%$;
- réducteur à engrenage 3 : $R_3 = 10/50$ et $\eta_3 = 90 \%$;
- couple de frottement du moteur : $C_{\text{frottement moteur}} = 6 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$;
- constante de couple $K_c = 0,021 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$;
- tension batterie $U_{\text{batt}} = 12 \text{ V}$, capacité de charge $Q_{\text{batt}} = 5 \text{ A} \cdot \text{h}$.

Question 1.8 **Relever** sur la figure 10 la valeur maximale du couple C_{pm1} atteinte lors de la montée pour une charge de 75 kg. **Placer** sur le modèle multiphysique du document réponse DR2, les paramètres suivants ainsi que leurs valeurs : R_1 , η_1 , R_2 , η_2 , R_3 , η_3 , $C_{\text{frottement moteur}}$, K_c , U_{batt} et Q_{batt} .

Le modèle multiphysique a permis d'obtenir la courbe du courant moteur simulé lors de la montée d'une charge de 75 kg représentée par la figure 12.

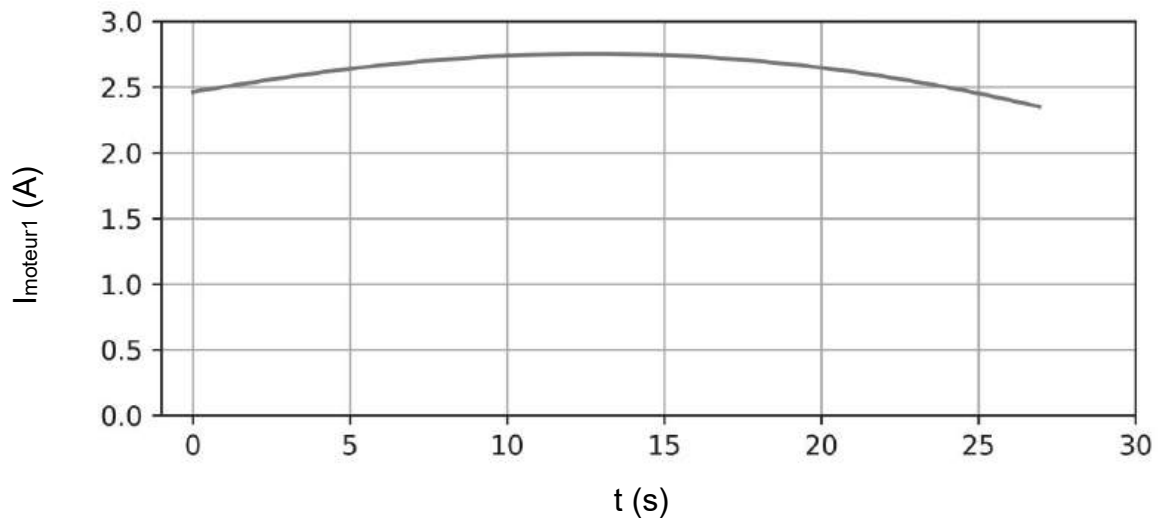


Figure 12 : courant consommé par un moteur pour la montée d'une charge de 75 kg

Question 1.9 **Relever** sur la figure 12 la valeur maximale du courant moteur ($I_{\text{moteur1 simulé}}$) atteinte pendant la montée ainsi que la durée totale du mouvement ($t_{\text{montée simulé}}$).

Des mesures en situation réelle ont permis d'obtenir les courbes du courant délivré par la batterie I_{batterie} lors d'une montée pour une charge de 75 kg puis en descente sans charge (figure 13).

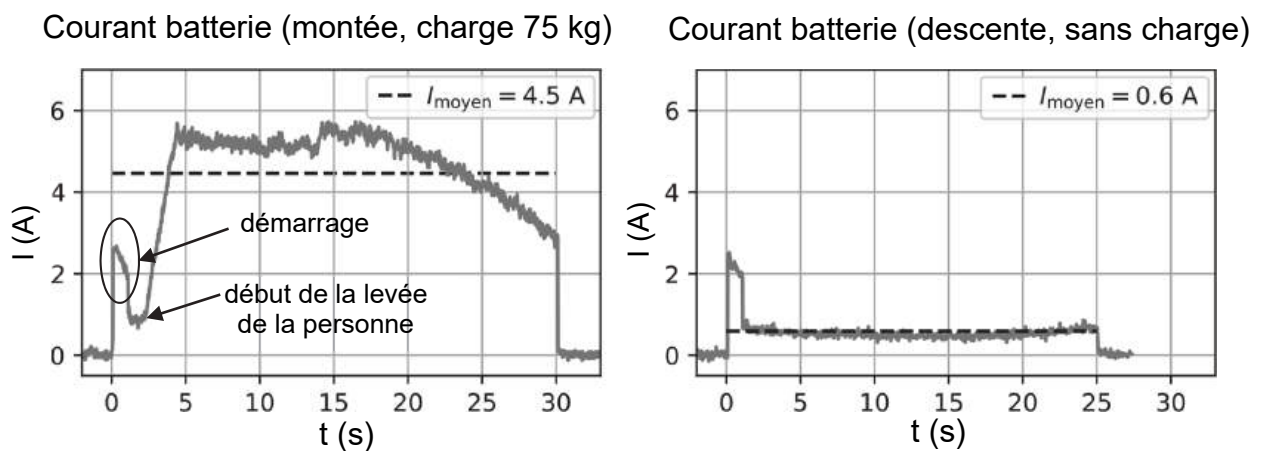


Figure 13 : courbes du courant délivré par la batterie en montée (charge 75 kg) puis en descente (sans charge) alimentant les deux moteurs

Le siège de relevage est équipé de deux ensembles motoréducteurs qui entraînent chacun un pied motorisé (le courant absorbé par la carte de commande est négligé).

Question 1.10 **Relever** sur la figure 13 la valeur maximale du courant délivré par la batterie (I_{batterie}) atteinte lors de la phase de montée pour une charge de 75 kg. En **déduire** la valeur maximale du courant absorbé par un moteur ($I_{\text{moteur1 réel}}$).

La courbe du courant moteur lors d'une montée pour une charge de 75 kg sur la figure 13 peut être décomposée ainsi :

1. une pointe de courant due au démarrage des deux moteurs ;
2. un courant constant et faible lors de la rotation des pieds motorisés avant qu'ils ne viennent en contact avec le sol ;
3. une augmentation du courant dès le début de la levée de la personne.

Question 1.11 **Relever** sur la figure 13 la durée de la phase de la levée de la personne pour une charge de 75 kg ($t_{\text{montée réel}}$). En évaluant les écarts relatifs entre les valeurs du courant moteur ($I_{\text{moteur1 simulé}}$) et ($I_{\text{moteur1 réel}}$) puis entre les valeurs de temps de montée ($t_{\text{montée simulé}}$) et ($t_{\text{montée réel}}$), **conclure** sur la validité du modèle multiphysique de la figure 11.

Question 1.12 À partir de la figure 13, **déterminer** le temps total de fonctionnement (t_{total} en s) correspondant à un cycle de montée/descente pour une utilisation à mi-charge (75 kg).

À partir du temps entre deux utilisations indiqué par Id « 1.3 » sur la figure 4, **conclure** sur la capacité du siège de relevage à répondre à cette exigence.

La quantité d'électricité Q_{totale} en A·h consommée durant un cycle (montée à mi-charge de 75 kg et descente sans charge) peut être déterminée à partir des valeurs des courants moyens et des durées totales de fonctionnement de la figure 13.

Question 1.13 **Calculer** les quantités d'électricité $Q_{\text{montée}}$ et Q_{descente} , en A·s puis en A·h. **Montrer** que la quantité d'électricité pour un cycle est $Q_{\text{totale}} = 0,042 \text{ A·h}$.

La quantité d'électricité stockée dans la batterie du siège de relevage chargée à 100 % est $Q_{\text{batterie}} = 5 \text{ A·h}$. Le fonctionnement du siège de relevage est assuré pour une utilisation jusqu'à 90 % de sa capacité (90 % de Q_{batterie}) notée $Q_{\text{disponible}}$.

Question 1.14 **Calculer** à partir de la quantité d'électricité $Q_{\text{disponible}}$ en A·h, le nombre de cycles possibles de montée/descente pour une utilisation à mi-charge (75 kg).

À partir de la valeur du nombre de cycles possibles, **conclure** sur la capacité du siège de relevage à répondre à l'exigence des critères indiqués par l'Id « 4.1 » de la figure 4.

Sous-partie 3

Analyse de l'affichage de l'état de charge de la batterie et des conditions de montée

L'objectif de cette sous-partie est de valider l'algorithme de gestion de l'affichage du niveau de charge de la batterie et d'établir les conditions de montée du siège de relevage.

Le siège de relevage dispose d'un indicateur du niveau de charge de la batterie composé de cinq leds vertes et d'une led rouge (figure 14).



Figure 14 : indicateur du niveau de charge de la batterie

La notice d'utilisation du siège de relevage indique que si la led rouge de l'indicateur clignote, la batterie doit être rechargée.

Le niveau de charge de la batterie du siège de relevage est contrôlé en surveillant la tension U_{batt} qui diminue au cours de sa décharge.

Le principe de cette surveillance (figure 15) comporte une adaptation de la tension réalisée par un pont diviseur de tension associé au convertisseur analogique numérique (CAN) du microcontrôleur qui gère l'indicateur à leds.

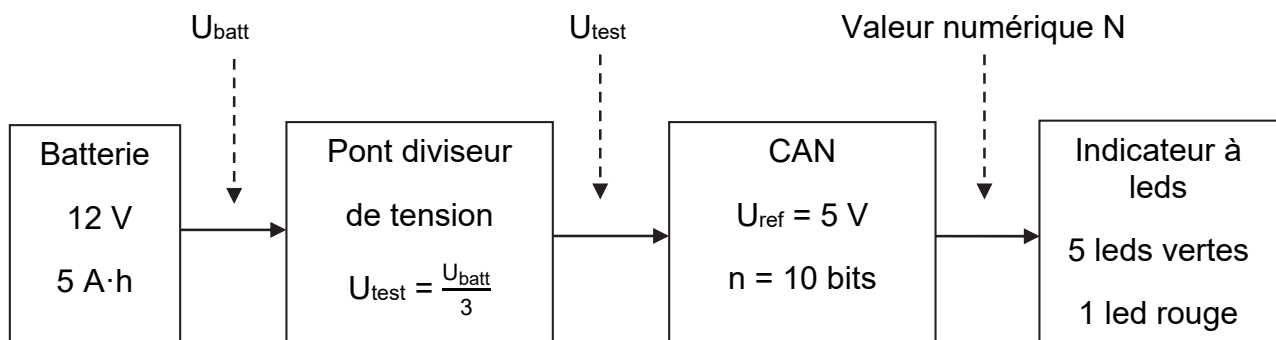


Figure 15 : principe de la surveillance du niveau de charge de la batterie

La figure 16 indique, pour la batterie du siège de relevage, les valeurs de la tension U_{batt} en fonction du pourcentage de charge.

% de charge	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
U_{batt} en V	12,73	12,62	12,50	12,37	12,24	12,10	11,96	11,81	11,66	11,51

Figure 16 : tension U_{batt} en V en fonction de l'état de charge en %

Le pont diviseur de tension est composé de deux résistances R_1 et R_2 (figure 17).

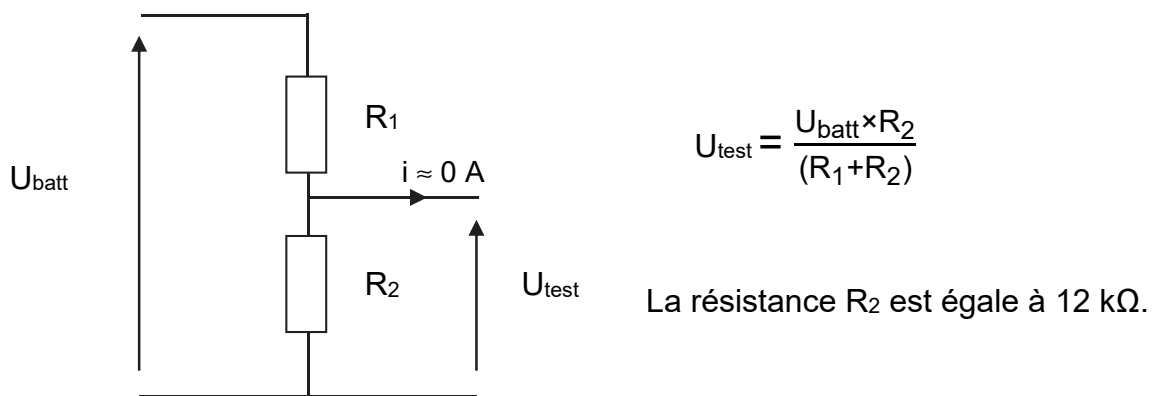


Figure 17 : pont diviseur de tension

Question 1.15 **Déterminer** la valeur de la résistance R_1 pour que $U_{test} = \frac{U_{batt}}{3}$.
 DR3 **Calculer** les valeurs de U_{test} à indiquer dans la 3^{ème} colonne du document réponse DR3.

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

Le quantum q est défini par la relation : $q = \frac{U_{ref}}{2^n}$.

Question 1.16 **Calculer** la valeur du quantum q en V.

Question 1.17 **Calculer** les valeurs décimales $N_{calculé}$ à indiquer dans la 4^{ème} colonne du document réponse DR3.
 DR3 **Indiquer** dans la 5^{ème} colonne les valeurs entières de N.

La gestion des leds est assurée par un scénario qui répond à la description suivante.

Si le niveau de charge est supérieur à 80 % de la capacité totale de la batterie, les cinq leds vertes sont allumées. Au fur et à mesure que le niveau de charge diminue, les leds vertes s'éteignent, depuis la led verte 5 située en haut de l'indicateur jusqu'à la led verte 1 située en bas :

- niveau de charge supérieur à 60 %, quatre leds vertes allumées ;
- niveau de charge supérieur à 40 %, trois leds vertes allumées ;
- niveau de charge supérieur à 20 %, deux leds vertes allumées ;
- niveau de charge supérieur à 10 %, une led verte allumée.

Lorsque le niveau de charge devient inférieur ou égal à 10 %, les leds vertes sont éteintes et la led rouge clignote avec une période d'une seconde, la batterie doit être rechargée.

La première partie de l'algorithme en langage Python est présentée et expliquée ci-dessous.

```
led_refs = [led_rouge, led_verte1, led_verte2, led_verte3,
            led_verte4, led_verte5]

def controle_leds(liste_etats):
    for led_ref, etat in zip(led_refs, liste_etats):
        led_ref.write_digital(etat)

controle_leds([0,0,0,0,0,0]) # initialisation
```

La fonction `controle_leds(liste_etats)` permet d'affecter à l'ensemble des leds des états logiques 0 (éteinte) ou 1 (allumée) selon la liste à six éléments définie par `liste_etats`.

Ainsi l'instruction `controle_leds([0,0,0,0,0,0])` éteint l'ensemble des leds.

L'ordre des leds est fixé par l'instruction : `led_refs = [led_rouge, led_verte1, led_verte2, led_verte3, led_verte4, led_verte5]`.

Ainsi pour un niveau de charge supérieur à 20 % `controle_leds([0,1,1,0,0,0])` allume la `led_verte1` et `led_verte2` et éteint toutes les autres.

Question 1.18 **Compléter** sur l'algorithme de gestion de l'indicateur de niveau de charge de la batterie du document réponse DR3, les éléments manquant dans les zones identifiées par des pointillés pour que celui-ci réponde au scénario.

Le tableau de la figure 18 donne des exemples de traduction d'opérations logiques en langage Python.

opérations logiques	a et b	a ou b	non a	a et (c ou d)
Syntaxe en Python	a and b	a or b	not a	a and (c or d)

Figure 18 : Syntaxe d'opérations logiques en langage Python

Le siège de relevage n'autorise le fonctionnement qu'après la vérification du bon assemblage des quatre pieds et des deux demi-dossiers. La présence de chaque élément est détectée par un capteur dont l'état est associé à une variable binaire.

Par exemple, si le pied avant droit est présent, la variable `pied_avant_droit` est vraie, sinon elle est fausse. Il en est de même pour les autres éléments associés aux variables : `pied_avant_gauche`, `pied_arriere_gauche`, `pied_arriere_droit`, `dossier_gauche` et `dossier_droit`.

La variable `montage_correct` est associée au bon assemblage, elle répond à l'équation logique en langage Python :

```
montage_correct = pied_avant_gauche and pied_avant_droit and
pied_arriere_gauche and pied_arriere_droit and dossier_gauche and
dossier_droit
```

La montée du siège de relevage, associée à la variable `montee`, est obtenue lorsque la totalité des conditions suivantes est vérifiée :

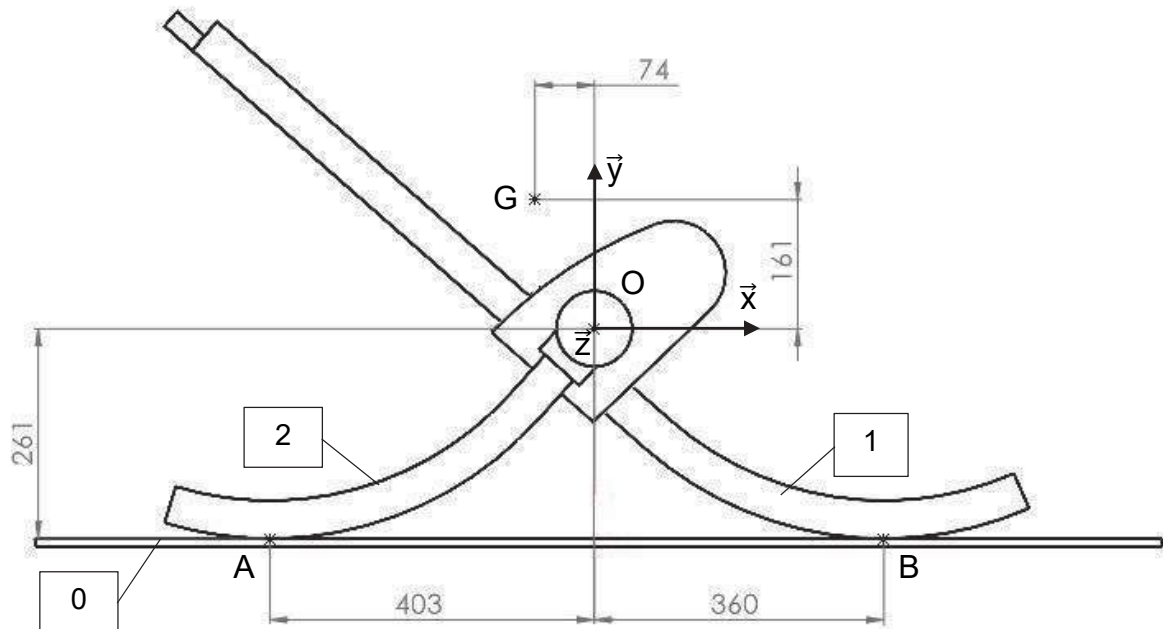
- le montage est correct, la variable `montage_correct` est vraie ;
- le cordon d'arrêt d'urgence est présent, la variable `cordon_urgence` est vraie ;
- la position haute est non atteinte, la variable `position_haute` est fausse ;
- la commande montée siège est appuyée, la variable `cde_montee_siege` est vraie, ou la commande montée télécommande est appuyée, la variable `cde_montee_telecommande` est vraie.

Question 1.19 En utilisant la syntaxe de la figure 18, **écrire** en langage Python l'équation logique des conditions de montée du siège de relevage `montee`.

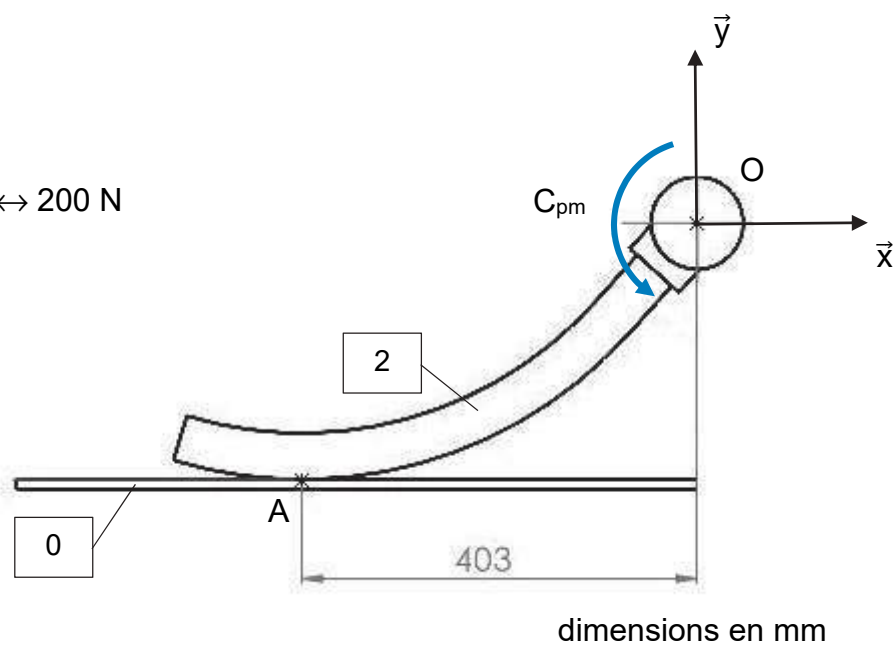
Question 1.20 Au regard des réponses des questions 1.15 à 1.19, **conclure** sur la capacité du siège de relevage à répondre aux exigences des critères indiquées par les Id « 3.1 », Id « 3.2 » et Id « 4.3 » de la figure 4.

Question 1.2

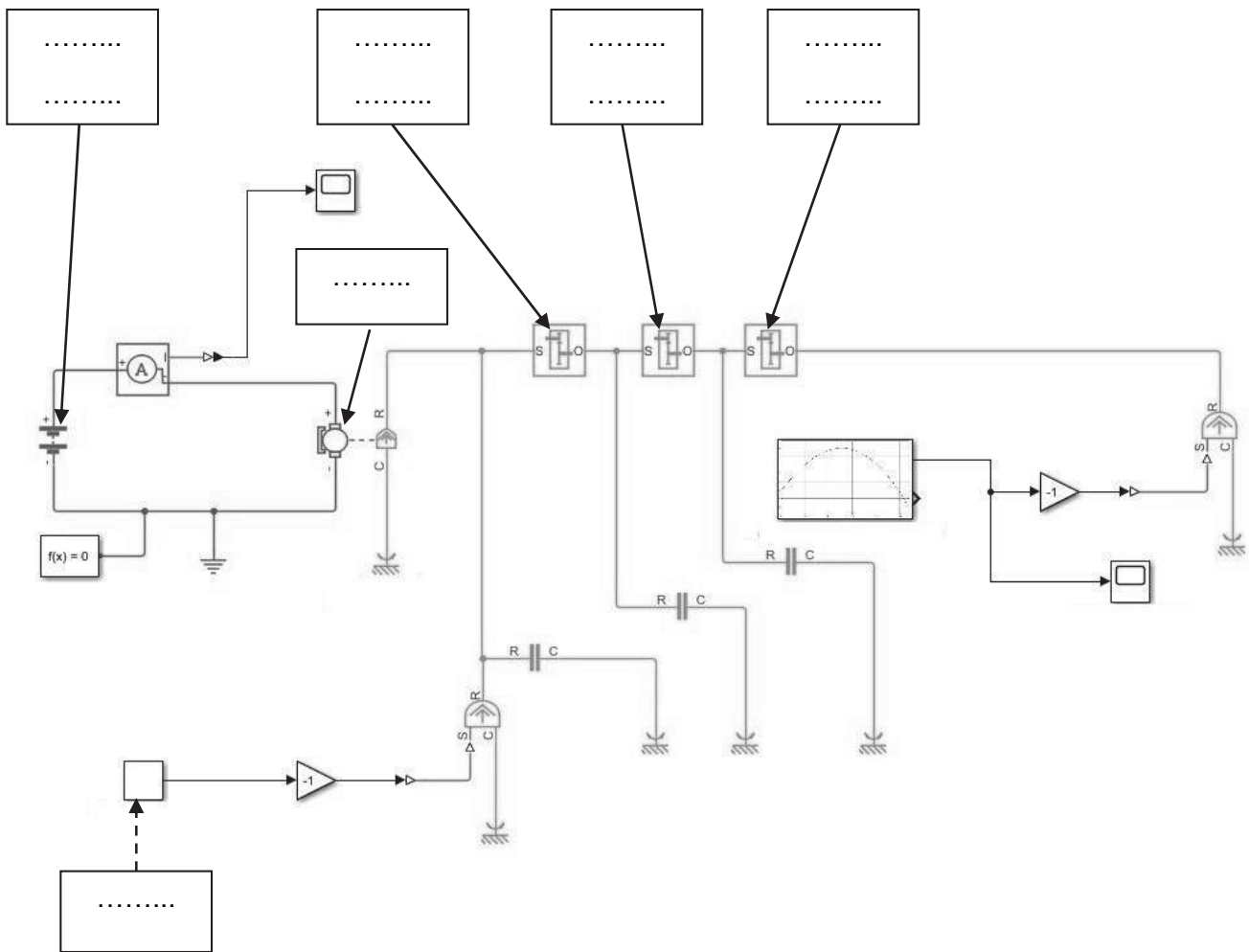
dimensions en mm



Question 1.4

Échelle : 1 cm $\leftrightarrow$ 200 N

Question 1.8 :



Questions 1.15 et 1.17

Pourcentage de charge	U_{batt} (V)	U_{test} (V)	$N_{calculé}$	N (valeurs arrondies à l'entier inférieur le plus proche)
80 %	12,50	4,16	851,9	851
60 %	12,24			
40 %	11,96	3,98	815,1	815
20 %	11,66			
10 %	11,51	3,83	784,3	784

Question 1.18

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.....)

```
while True :
    valeur = U_test_batt.read_analog()
    if valeur > 851 : #état charge batterie supérieur à 80 %
        controle_leds([0,1,1,1,1,1])
    elif valeur > 835 : #état charge batterie supérieur à 60 %
        controle_leds([.....])
    elif valeur > 815 : #état charge batterie supérieur à 40 %
        controle_leds([0,1,1,1,0,0])
    elif valeur > 795 : #état charge batterie supérieur à 20 %
        controle_leds([.....])
    elif valeur > 784 : #état charge batterie supérieur à 10 %
        controle_leds([0,1,0,0,0,0])
    else : #état charge batterie inférieur à 10 %
        controle_leds([1,0,0,0,0,0])
        sleep(500) #temporisation 500 ms
        controle_leds([0,0,0,0,0,0])
        sleep(.....)
```


Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Galaxie d'Andromède (10 points)

Notre galaxie, la Voie lactée, est membre d'un groupe d'une cinquantaine de galaxies appelé Groupe local et dont la taille atteint dix millions d'années-lumière. Ce groupe est dominé par deux galaxies spirales massives : la Voie lactée et la galaxie d'Andromède (qui contient 2 à 5 fois plus d'étoiles que la Voie lactée) séparées d'environ 2,5 millions d'années-lumière.

Dans le bulletin n° 58 de l'observatoire de Lowell (USA) de 1913, l'analyse des spectres de la lumière émise par Andromède amène Vesto Slipher à conclure que cette galaxie se rapproche de la Voie lactée à une vitesse radiale d'environ $300 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

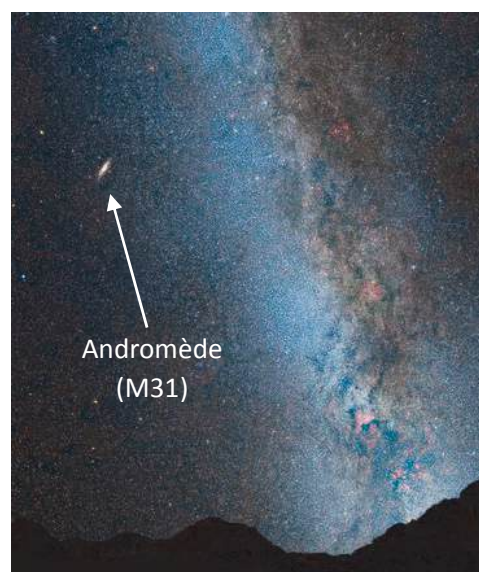


Figure 1. Galaxie d'Andromède vue depuis le sol. Source : NASA, ESA, STScI

Données :

- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

La mesure par analyse du décalage de fréquence (effet Doppler) indique que la galaxie d'Andromède se rapproche de la Voie lactée. On se base pour effectuer cette mesure sur plusieurs raies spectrales, mais plus particulièrement sur la raie H_α caractéristique de l'atome d'hydrogène de longueur d'onde dans le vide égale à $\lambda_0 = 656,3 \text{ nm}$ dans le référentiel de l'atome.

Q1. Décrire qualitativement ce qu'est l'effet Doppler.

On se limite dans cet exercice à une configuration à une dimension dans le cas d'un observateur considéré fixe et situé dans la Voie lactée et d'un émetteur mobile, la galaxie d'Andromède. Dans cette configuration, la vitesse d'Andromède est uniquement radiale.

Q2. Montrer que dans le cas où la source d'une onde lumineuse de fréquence $f_{\text{émise}}$ se rapproche d'un récepteur fixe à une vitesse v , la fréquence $f_{\text{reçue}}$ de l'onde de célérité c mesurée par le récepteur s'écrit sous la forme suivante :

$$f_{\text{reçue}} = \frac{f_{\text{émise}}}{1 - \frac{v}{c}}$$

Q3. Une approximation mathématique classique est $\frac{1}{1-x} \approx 1 + x$ pour $|x|$ très petit devant 1. Vérifier qu'elle convient pour $x = \frac{v}{c}$ dans le cas de la vitesse d'Andromède.

Q4. Montrer que, dans ce cas, on peut écrire l'expression du décalage Doppler $\delta f = f_{\text{reçue}} - f_{\text{émise}}$ sous la forme suivante :

$$\delta f \approx f_{\text{émise}} \times \frac{v}{c}$$

- Q5.** Calculer le décalage Doppler δf dans le cas de la mesure de Vesto Slipher en 1913 pour la raie H_α de l'hydrogène.
- Q6.** En déduire la valeur de la longueur d'onde λ mesurée sur Terre pour cette raie. Comparer avec λ_0 .

Vesto Slipher poursuit sa campagne de mesures et publie en 1917 un article montrant que sur 25 galaxies qui nous environnent, 21 s'éloignent de nous. Ces observations sont à l'origine de la découverte de l'expansion de l'Univers : les galaxies s'éloignent souvent les unes des autres.

- Q7.** Indiquer le signe du décalage Doppler dans le cas d'une source émettrice qui s'éloigne d'un observateur fixe. Justifier alors qualitativement l'appellation « décalage vers le rouge » utilisée par les astrophysiciens dans le cadre de l'expansion de l'Univers.



Figure 2. Vesto Melvin Slipher
1905

Crédit : AIP Emilio Segrè Visual Archives

EXERCICE B – Le curling (10 points)

Le curling est un sport de précision apparu au XVI^e siècle en Écosse et pratiqué sur la glace avec de lourdes pierres en granite poli. Il se joue sur une piste de glace horizontale sur laquelle est dessinée une cible, appelée la « maison » (figure 1). Le but est de placer les pierres le plus près possible du centre de la cible.

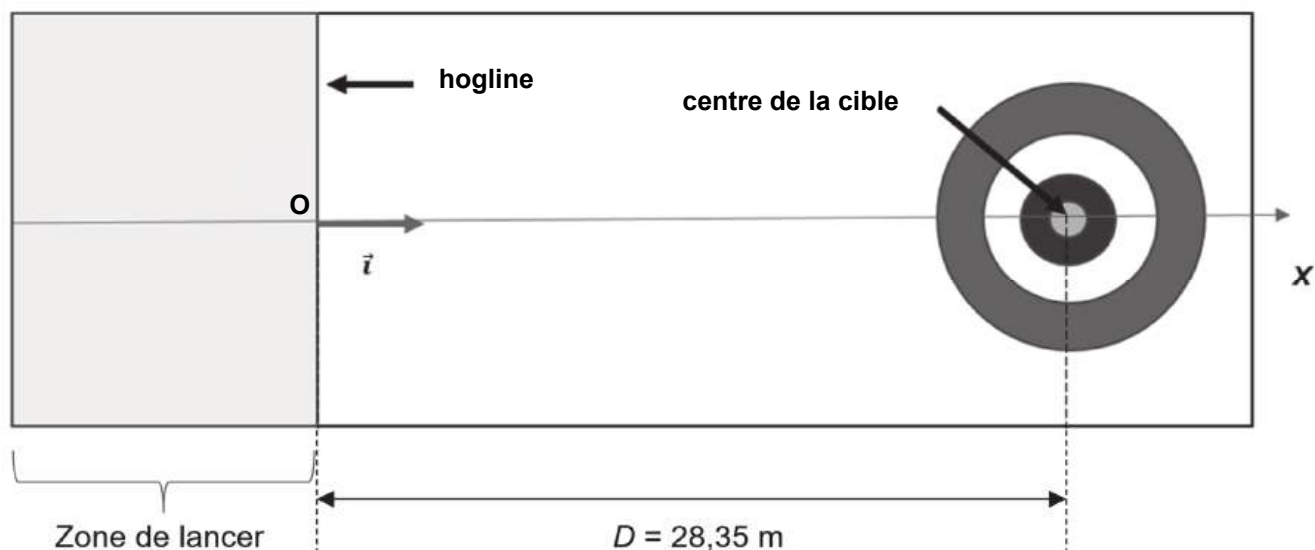


Figure 1. Le schéma de la piste en vue de dessus (échelle non respectée)

La pierre est poussée par un joueur (figure 2) dans la zone de lancer et doit être lâchée avant la « hogline » (au point O) pour ne plus être touchée ensuite, sinon elle est immédiatement retirée du jeu. Une fois la pierre lâchée, les joueurs peuvent balayer la piste devant la pierre (figure 3) ce qui a pour conséquence de réduire les frottements.



Figure 2. Phase de lancer. (F. Seguin/L'Équipe)



Figure 3. Deux joueurs balaient la glace devant la pierre qui glisse. © KARL-JOSEF HILDENBRAND / DPA / dpa Picture-Alliance/AFP

Données :

- masse d'une pierre : $m = 20 \text{ kg}$;
- on note $\mu = 0,020$ le coefficient de frottement entre la glace et la pierre. La force de frottement $\vec{f}$ a pour norme $f = \mu \cdot R_n$, $\vec{R}_n$ étant la réaction verticale de la piste sur la pierre et R_n sa norme ;
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Dans tout l'exercice, on néglige les frottements de l'air et on suppose que la trajectoire de la pierre est rectiligne suivant l'axe (Ox).

La pierre est initialement immobile. Le joueur pousse la pierre jusqu'à la date $t_1 = 2,0 \text{ s}$ en exerçant une force horizontale dans le sens des x croissants ; la norme de cette force est supposée constante, sa valeur est estimée à $F = 35 \text{ N}$. Après cette phase de lancer, la pierre est lâchée au point O de la hogline, origine du repère d'espace.

Q1. Pendant la phase de lancer, effectuer le bilan des quatre forces appliquées au système {pierre}. Calculer la valeur de la norme de chacune d'elles sachant que les deux forces verticales se compensent.

Q2. Reproduire sommairement le schéma ci-dessous de la pierre sur la piste horizontale et y représenter ces forces sans souci d'échelle.

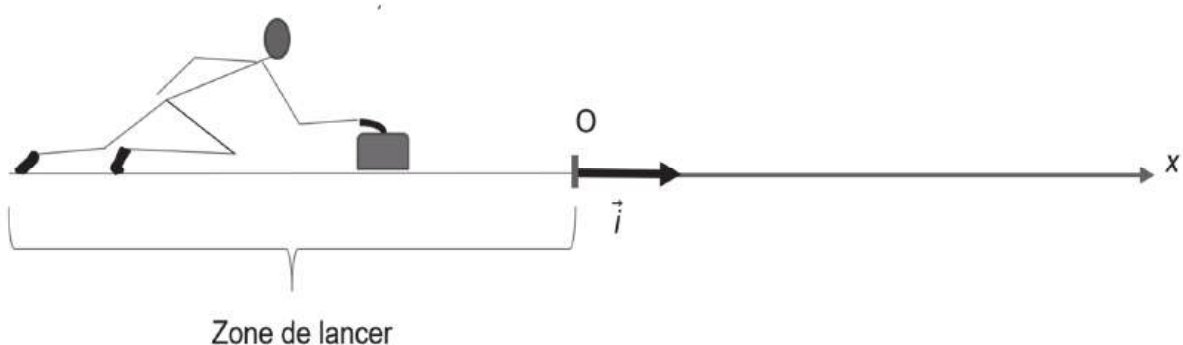


Figure 4. Phase de lancer

Q3. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'expression vectorielle de l'accélération de la pierre est : $\vec{a} = \frac{F - f}{m} \vec{i}$. En déduire la nature du mouvement de la pierre durant cette phase.

Q4. En déduire que la valeur de la vitesse de la pierre en O est $V_0 = \frac{F - \mu mg}{m} \times t_1$ et calculer sa valeur.

Dans les questions **Q5** et **Q6**, on considère que les joueurs ne balaisent pas la glace et que le frottement ne change pas.

Q5. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, établir que $d = \frac{v_0^2}{2\mu g}$ avec d , la distance par rapport à l'origine O du repère à laquelle s'immobilise la pierre. Déterminer la valeur de d .

Dans le cadre de ce modèle, on simule l'évolution de la valeur de la vitesse v de la pierre en fonction de sa position x (sans balayage de la piste). On obtient le graphe suivant, les mesures se faisant à intervalles de temps constants :

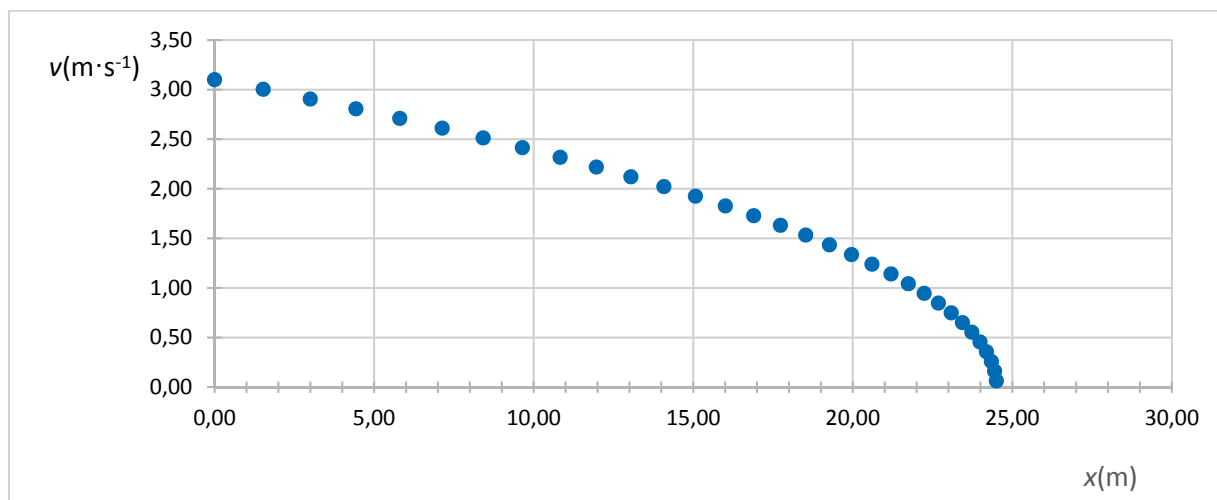


Figure 5. Simulation de l'évolution de la valeur de la vitesse v de la pierre en fonction de sa position x (sans balayage)

Q6. Montrer que le résultat obtenu à la question **Q5** est cohérent avec la courbe de la figure 5. Justifier la nécessité de balayer devant la pierre.

En pratique, les joueurs balaient certaines parties de la piste. Pour rendre compte de cela, on adapte le modèle et on obtient le graphe ci-dessous.

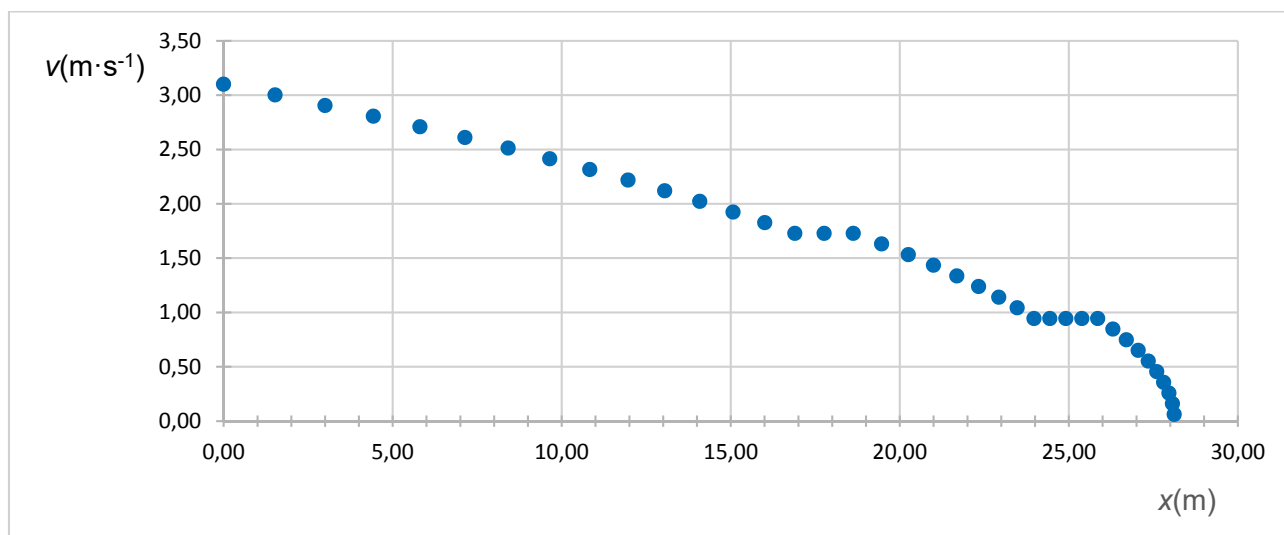


Figure 6. Simulation de l'évolution de la valeur de la vitesse v de la pierre en fonction de sa position x (avec balayage)

Q7. Estimer les positions des zones de la piste où les joueurs ont balayé devant la pierre. En déduire si le balayage a ou non permis aux joueurs d'atteindre leur objectif.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Jeudi 20 juin 2024

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 20 pages numérotées de 1/20 à 20/20.

**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 DR2 (pages 15 à 16) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Attelle de rééducation d'épaule



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 14
- Documents réponses..... pages 15 à 16

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 15 à 16) sont à rendre avec la copie.

Attelle de rééducation d'épaule

Mise en situation

L'appareil « Kinetec Centura™ » est exploité par des professionnels de la kinésithérapie afin de permettre à des patients de bénéficier d'une rééducation rapide grâce à une thérapie intitulée « mobilisation passive continue ». L'attelle motorisée au niveau de l'épaule et du coude (figure 1), permet une récupération rapide d'une bonne amplitude des mouvements liés aux articulations sollicitées. Lors de ces mouvements, le patient ne fournit aucun effort ni pour les réaliser ni pour s'y opposer.

Le système de rééducation est modulable : il est constitué d'une chaise et de différents accessoires, et peut servir pour la rééducation de l'épaule gauche ou de l'épaule droite.

Les mouvements sont animés par deux blocs-moteurs M1 et M2 (figure 1) qui peuvent fonctionner seuls ou de façon synchronisée.

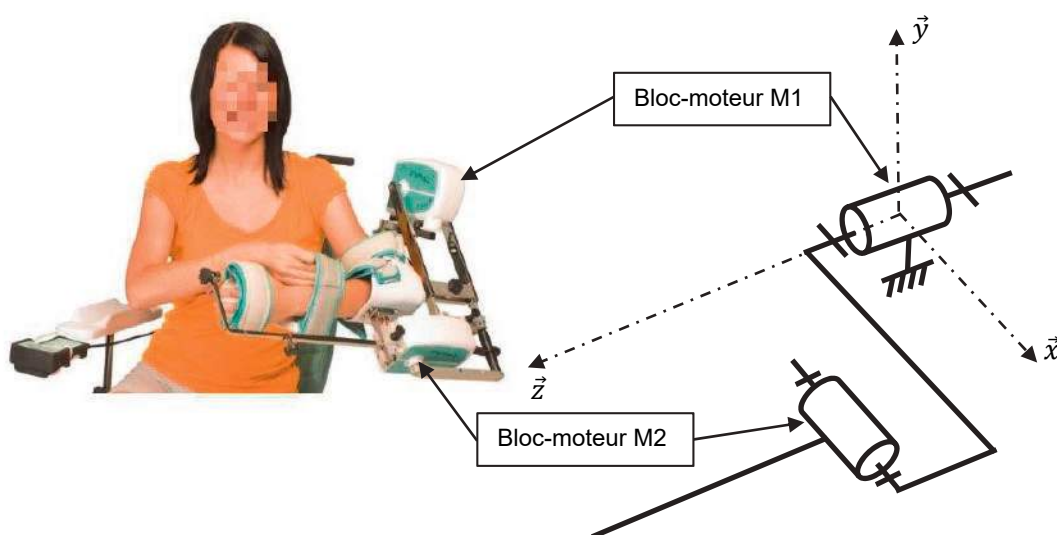


Figure 1 : appareil de mobilisation articulaire passive de l'épaule et sa représentation cinématique

À l'aide d'une télécommande (figure 2), le kinésithérapeute sélectionne un programme de rééducation avec des mouvements pré-programmés.

Cette télécommande est équipée d'un port USB qui permet l'enregistrement de données sur une clé USB, facilitant le suivi des progrès de chaque patient.



Figure 2 : télécommande avec port USB

Sous-partie 1

Aptitude à la mise en mouvement du bras du patient

L'objectif de cette sous-partie est de valider la motorisation au niveau de l'épaule dans le cas d'une personne à forte corpulence.

Dans le cadre de l'exercice de rééducation le plus usuel, l'avant-bras du patient se trouve à 90° par rapport à son bras. L'objectif est de vérifier le dimensionnement du moteur d'épaule M1 pour un mouvement de l'épaule avec un patient de forte corpulence.

On note S0 le bâti lié à la chaise et S1 le sous-ensemble mis en mouvement par le bloc-moteur M1 autour de l'axe $(O, \vec{Z})$. La rotation de l'arbre de sortie de M1 se fait à vitesse faible et constante. Le moteur M2 étant à l'arrêt, il n'est pas étudié et donc non représenté.

La détermination du couple en sortie du bloc-moteur M1 (C_{MR1}) se fait dans la position d'équilibre la plus défavorable comme représentée sur les figures 3 et 4.

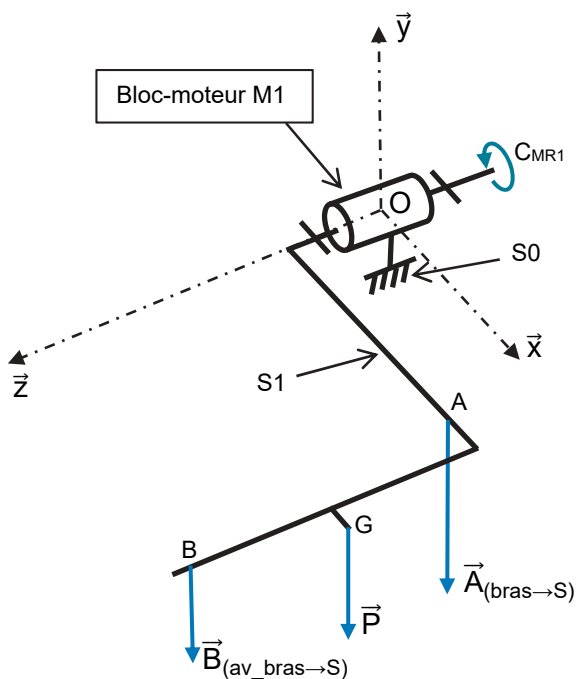
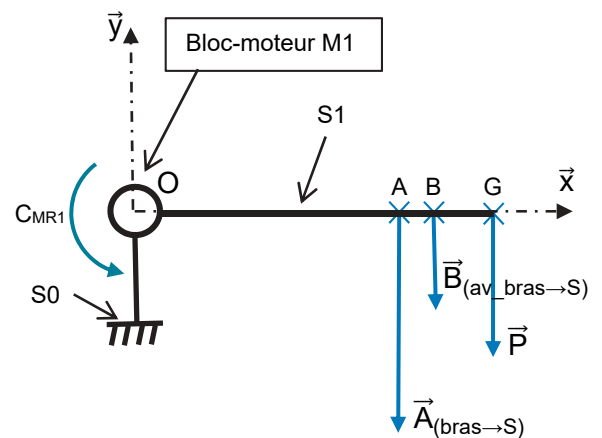


Figure 3 : modélisation des actions mécaniques extérieures au sous-ensemble S1



Distances projetées sur $\vec{X}$:

OA = 400 mm

OB = 410 mm

OG = 435 mm

Figure 4 : modélisation des actions mécaniques extérieures au sous-ensemble S1 dans le plan $(O, \vec{X}, \vec{Y})$

Hypothèses et données :

- le repère $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié à la chaise est fixe ;
- le poids de S1 est noté P ;
- la masse de S1 vaut $m = 3,1 \text{ kg}$;
- le centre de gravité de S1 est situé en G ;
- l'accélération de la pesanteur est arrondie à $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- la résultante de l'action mécanique du bras du patient sur le bras articulé est notée $\overrightarrow{A(\text{bras} \rightarrow \text{S1})}$, avec $\|\overrightarrow{A(\text{bras} \rightarrow \text{S1})}\| = 40 \text{ N}$;
- la résultante de l'action mécanique de l'avant-bras du patient sur l'avant-bras articulé est notée $\overrightarrow{B(\text{av\_bras} \rightarrow \text{S1})}$, avec $\|\overrightarrow{B(\text{av\_bras} \rightarrow \text{S1})}\| = 20 \text{ N}$;
- C_{MR1} modélise le couple en sortie du bloc-moteur M1 noté $\vec{C}_{MR1} = C_{MR1} \cdot \vec{z}$.

Question 1.1 À l'aide de la figure 3, **préciser** le nom de la liaison, son axe et la nature du mouvement de S1 par rapport à S0.

Question 1.2 À l'aide de la figure 4, en appliquant le théorème du moment statique au point O en projection sur $\vec{z}$ appliqué à S1, **montrer** que le couple C_{MR1} est égal à $37,7 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Un protocole expérimental sur l'attelle a été effectué avec un cas de chargement équivalent à celui utilisé pour la modélisation. L'objectif est à présent de comparer les résultats de l'expérimentation à ceux obtenus par la modélisation.

Les résultats correspondent à un mouvement de rotation de l'axe $(O, \vec{z})$ à vitesse lente, le bras partant du bas avec un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à la verticale, jusqu'à atteindre une position haute définie par $\alpha = 150^\circ$ (figure 5).

Le protocole expérimental a permis d'établir la courbe du couple en sortie du bloc-moteur M1 en fonction de la position angulaire de l'ensemble S1 (figure 6).

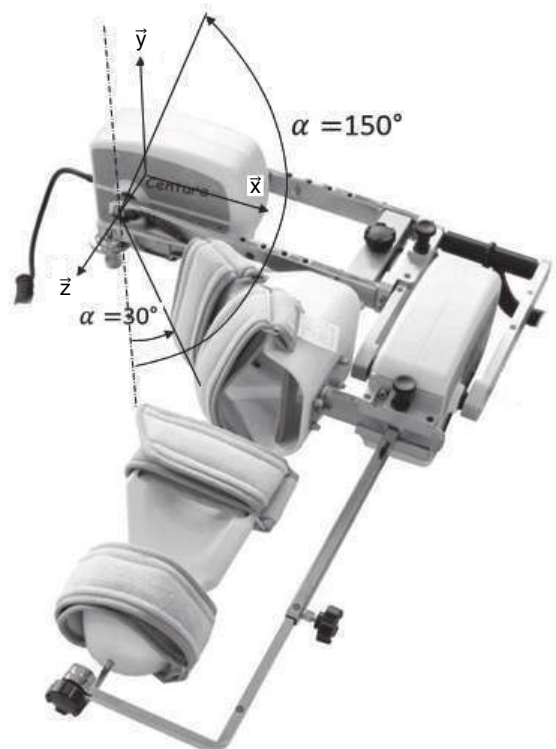


Figure 5 : paramètres angulaires pour les relevés expérimentaux

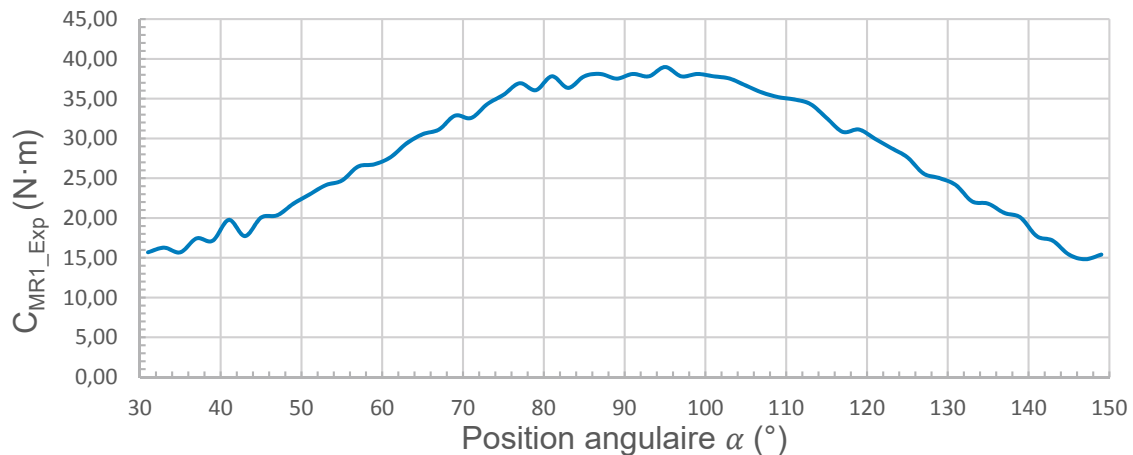


Figure 6 : courbe expérimentale du couple en sortie du bloc-moteur M1 en fonction de α

Question 1.3 Relever le couple maximal C_{MR1_Exp} et la position angulaire correspondante α_{CMR1_Max} .

Question 1.4 Calculer l'écart relatif en pourcentage entre le résultat expérimental C_{MR1_Exp} et le résultat issu de la modélisation C_{MR1} (Question 1.2). Le modèle est considéré comme valide pour un écart inférieur à 5 %. **Conclure** quant à la validité du modèle et **identifier** l'origine possible des écarts.

Pour vérifier si le moteur est capable d'assurer le mouvement, il faut déterminer les grandeurs d'effort et de flux en amont du réducteur.

L'équipement doit s'adapter à un patient de forte corpulence et quelle que soit la position de l'avant-bras. Le couple maximal retenu en sortie du réducteur du moteur M1 pour l'ensemble des exercices de rééducation est $C_{MR1} = 44 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Les relevés expérimentaux ont été effectués pour une vitesse angulaire du bras articulé de $175^\circ\cdot\text{min}^{-1}$. Les caractéristiques du moteur et du réducteur sont indiquées sur la figure 7.

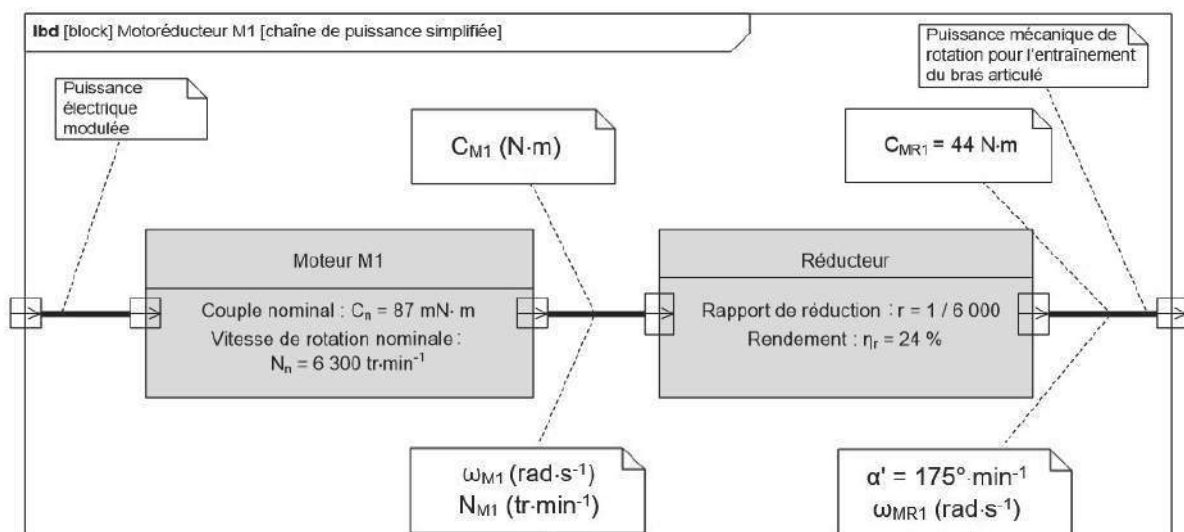


Figure 7 : chaîne de puissance du bloc-moteur M1

Question 1.5 **Calculer** la vitesse angulaire en sortie du réducteur ω_{MR1} en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.
Montrer que la vitesse de rotation N_{M1} est égale à $2\,916\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Question 1.6 **Montrer** que le couple moteur C_{M1} est égal à $30,6\cdot 10^{-3}\text{ N}\cdot\text{m}$.

Question 1.7 **Comparer** les résultats obtenus (C_{M1} et N_{M1}) aux caractéristiques nominales du moteur données sur la figure 7. **Conclure** quant à la pertinence du choix du moteur.

Sous-partie 2

Correction de vitesse angulaire

L'objectif de cette sous-partie est de valider la solution retenue par le constructeur pour effectuer les exercices à la vitesse spécifiée, dans le cas d'un patient avec une forte corpulence.

Un patient effectue un exercice de flexion extension bras tendu avec une consigne de vitesse angulaire de $175^{\circ} \cdot \text{min}^{-1}$.

L'action de son bras induit sur l'attelle un couple résistant variable, dont la valeur maximale est de 42 N.m.

Le mouvement a une amplitude de 140° (figure 8), la position initiale étant de 20° par rapport à la verticale, le bras baissé.

Afin d'étudier les possibilités permettant d'obtenir la vitesse souhaitée, des modèles multi-physiques sont exploités.

Une modélisation du fonctionnement en boucle ouverte (figure 9) est réalisée afin d'analyser les performances susceptibles d'être obtenues.

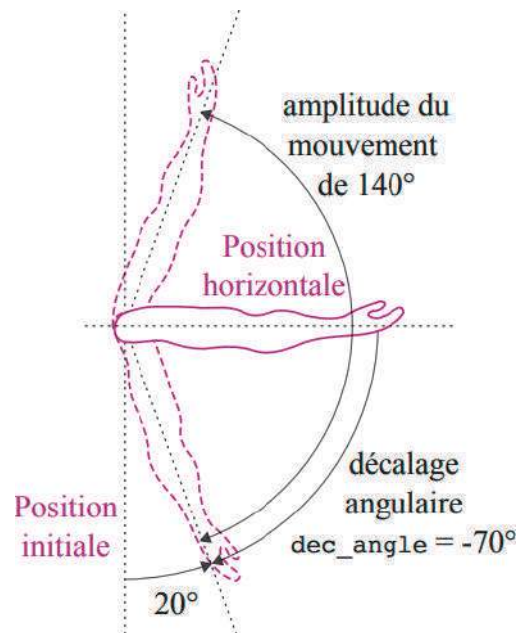


Figure 8 : paramètres angulaires du mouvement étudié

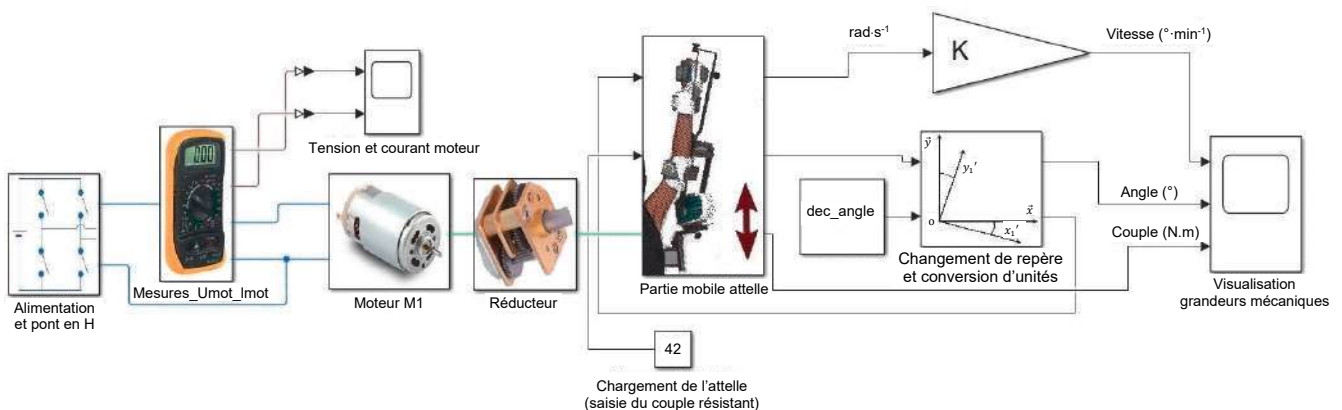


Figure 9 : modèle multi-physique en boucle ouverte

Le bloc « Partie mobile attelle » renvoie une valeur d'angle nulle à l'instant initial ($t = 0$). Or cette position correspond à une position horizontale du bras. Pour l'exercice simulé, il faut par conséquent imposer un décalage angulaire dec_angle de -70° dans le modèle pour atteindre la position initiale de la simulation. Ce décalage angulaire correspond à la valeur indiquée en entrée du bloc « Changement de repère et conversion d'unité » du modèle multi-physique de la figure 9.

Le capteur de vitesse sur le modèle multi-physique possède une sortie de vitesse angulaire en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$. La visualisation de cette grandeur doit être effectuée en $^{\circ}\cdot\text{min}^{-1}$.

Question 1.8 Afin de paramétrer le modèle multi-physique de la figure 9, **calculer** la valeur de dec_angle en radians ainsi que le coefficient de conversion K permettant d'obtenir la vitesse angulaire dans l'unité souhaitée.

Les résultats de la simulation figure 10 issus du modèle multiphysique donnent la variation de la position angulaire, du couple résistant et de la vitesse en fonction du temps, pour un mouvement simulé de 20° à 160° .

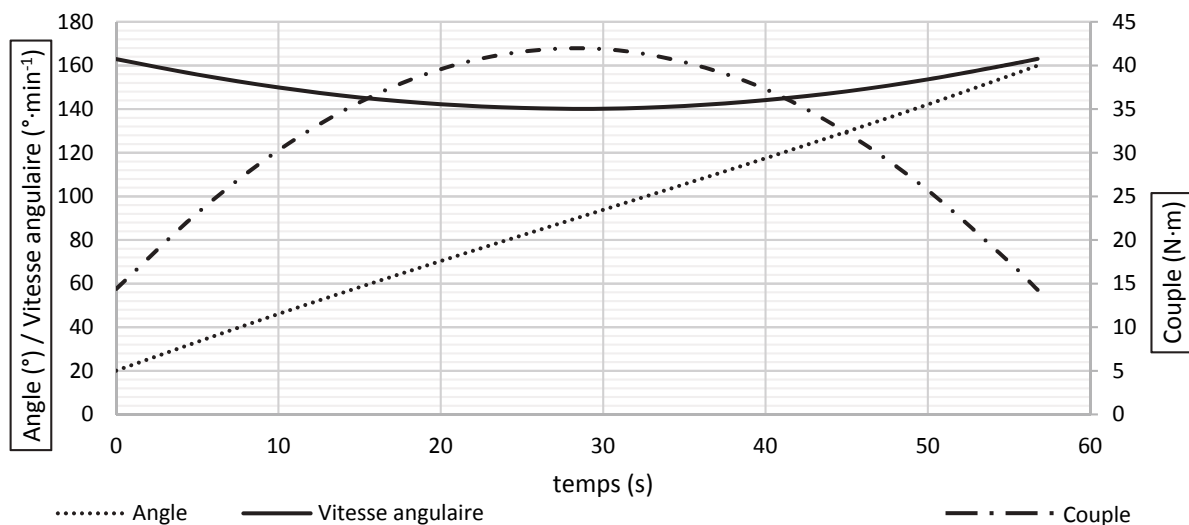


Figure 10 : résultats de la simulation pour une tension d'alimentation constante de 6,2 V

Question 1.9 **Calculer** en pourcentage, la chute de vitesse angulaire maximale par rapport à la consigne de vitesse de $175^{\circ}\cdot\text{min}^{-1}$. Le constructeur annonce le respect de la vitesse avec une tolérance de $\pm 5\%$. **Proposer** une solution en cas de non-respect de l'exigence sur la vitesse angulaire.

Le constructeur souhaite contrôler la vitesse. Il utilise pour cela une méthode dite de régulation avec compensation statique. Cette méthode permet d'augmenter la tension du moteur proportionnellement au courant consommé. En effet, lorsque le couple résistant appliqué sur l'arbre moteur augmente, le courant consommé augmente également et entraîne une diminution de la vitesse.

La compensation de tension U_{compens} est obtenue en mesurant la tension U_R aux bornes d'une résistance de faible valeur insérée dans le circuit d'alimentation du moteur. Cette tension U_R , proportionnelle au couple moteur, est amplifiée puis ajoutée à la tension de consigne U_v .

Question 1.10 Sur le document réponse DR1, **compléter** le Bloc A en indiquant les signes permettant de modéliser la régulation de compensation statique.

DR1

La variation de tension est effectuée par une commande de type modulation de largeur d'impulsions (MLI) définie figure 11. Le modulateur est alimenté en 12 V.

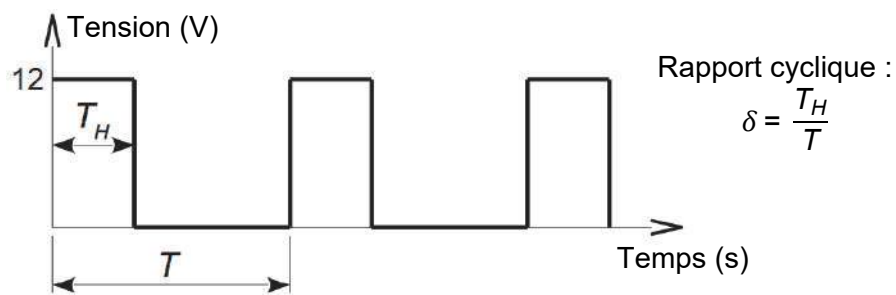


Figure 11 : commande de type MLI

Pour le chargement étudié, pour un angle de 90° , l'algorithme de correction renvoie une valeur moyenne de la tension corrigée nécessaire aux bornes du moteur $U_{\text{corr\_mot}} = 6,9 \text{ V}$.

Question 1.11 Déterminer le rapport cyclique δ_{90} du signal MLI permettant d'obtenir la correction de la vitesse angulaire du bras d'épaule dans ces conditions.

Les résultats de simulation issus du modèle avec régulation sont donnés sur la figure 12.

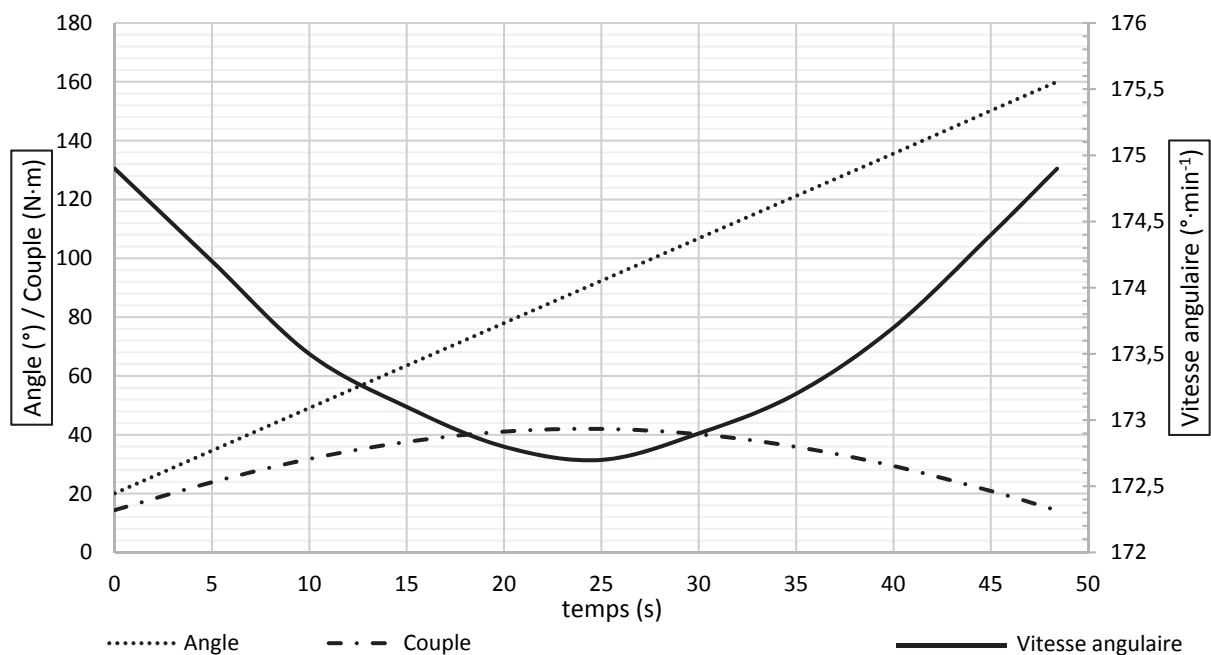


Figure 12 : résultats de simulation avec correction

Question 1.12 Calculer, en pourcentage, la chute de vitesse angulaire maximale par rapport à la vitesse à vide de $175^\circ \cdot \text{min}^{-1}$.

Question 1.13 Conclure sur le respect de l'exigence de la vitesse angulaire obtenue par régulation avec compensation statique.

Sous-partie 3

Gestion et suivi des mouvements

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier la capacité à assurer la gestion et le suivi des mouvements.

Cette sous-partie prend appui sur un exercice de « flexion/extension » (figure 13).

Un des principaux paramètres qui permet d'apprécier l'apport de la thérapie avec la mobilisation passive continue est la progression de l'amplitude angulaire des mouvements chez un patient au fil des séances.

Avant le démarrage d'un exercice, il convient donc de personnaliser pour chaque mouvement le seuil angulaire limite à l'aide de la télécommande (figure 2), en fonction du programme lié à la pathologie du patient, mais aussi des résultats obtenus lors des dernières séances, grâce aux enregistrements effectués sur une clé USB personnalisée.

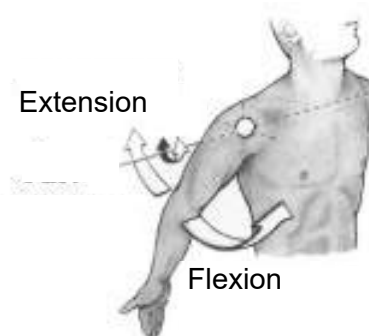


Figure 13 : mouvement de flexion/extension

Pour le mouvement de « flexion/extension », le réglage d'usine est de 30° pour la limite inférieure et de 100° pour la limite supérieure. À la première sélection d'un programme pour un patient, ces valeurs limites sont retenues par défaut. L'appareil étant à l'arrêt (affichage STOP sur l'écran de la télécommande), une action sur une touche spécifique permet de rentrer dans le mode d'ajustement de l'angle limite inférieur. Le changement de cet angle est effectué par des impulsions sur une touche + pour l'incrémentation ou par une touche - pour la décrémentation, par pas de 1°.

La figure 14 indique les valeurs limites des réglages possibles en fonction des différents exercices.

	Abduction	Flexion/Extension	Rotation	Abduction + Rotation		Abduction horizontale*
• Limite Inférieure	20° à 155°	20° à 175°	-60° à 85° externe	20° à 155°	-30° à 85° externe	-30° à 105°
• Limite supérieure	25° à 160°	25° à 180°	-55° à 90° externe	25° à 160°	-25° à 90° externe	-25° à 110°

Figure 14 : valeurs possibles pour les limites inférieures et les limites supérieures

L'algorithme pour définir la valeur limite angulaire inférieure active est proposé sur le document réponse DR2.

Question 1.14 À l'aide de la figure 14, **compléter** la valeur de la constante
DR2 « L_BASSE » (limite basse autorisée en flexion/extension) dans
l'algorithme du document réponse DR2, ligne 8.

Les variables utilisées par la fonction « `defLimiteAngInf()` » sont définies dans le tableau de la figure 15.

variables globales	<code>limiteInfActive</code>	variable de type entier, contenant la valeur de la limite inférieure en extension (valeur de 30 ° si pas de valeur enregistrée sur la clé USB)
	<code>limiteSupActive</code>	variable de type entier, contenant la valeur de la limite supérieure en flexion (valeur de 100 ° si pas de valeur enregistrée sur la clé USB)
variables locales	<code>clav</code>	variable de type entier, contenant la valeur courante de la dernière touche active du clavier de la télécommande, initialisée à zéro
	<code>limiteInf</code>	variable de type entier, contenant la valeur de la limite inférieure en extension en cours de modification, initialisée par la valeur de la limite inférieure en extension lors de l'appel de la fonction

Figure 15 : variables utilisées par la fonction « `defLimiteAngInf()` »

Une fonction « `acqClavier()` » permet la lecture des touches du clavier de la télécommande.

Question 1.15 **Compléter** la ligne 15 en précisant la fonction à appeler pour obtenir la valeur courante de la dernière touche du clavier dans la variable `clav`.
DR2

Question 1.16 **Compléter** l'algorithme, ligne 20, afin de décrémenter la variable « `limiteInf` » à chaque impulsion sur la touche -.
DR2

L'arbre de sortie du bloc-moteur M1 est lié mécaniquement à un capteur potentiométrique rotatif qui permet d'obtenir une image de la position angulaire. L'information en sortie du dispositif de mesure est une tension comprise entre 0 et 5 V pour un angle évoluant de 0 à 200° (figure 16). Cette information est numérisée par un convertisseur analogique-numérique 10 bits (CAN). La chaîne d'acquisition de la position angulaire est donnée sur la figure 17.

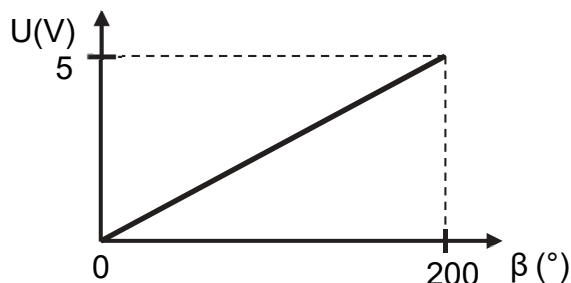


Figure 16 : loi entrée-sortie du capteur de position angulaire

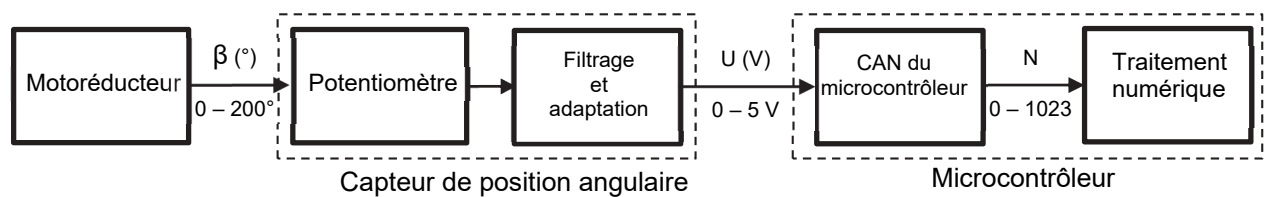


Figure 17 : chaîne d'acquisition de la position angulaire

Question 1.17 À partir de la grandeur physique d'entrée du CAN indiquée sur la figure 17, **montrer** que la valeur du pas de résolution analogique q (ou quantum) du convertisseur analogique-numérique est de $4,88 \cdot 10^{-3}$ V.

Calculer les valeurs des tensions U_{20° et U_{180° à l'aide de la figure 16 puis les valeurs décimales $N_{20^\circ(10)}$ et $N_{180^\circ(10)}$, représentant les valeurs en sortie du CAN pour les positions angulaires limites de l'exercice de flexion/extension programmé.

Les informations numériques liées à l'exercice de rééducation sont centralisées au niveau d'une carte de traitement intégrée à la télécommande. À la fin de chaque exercice, les principales informations sont transférées sur une clé USB propre à chaque patient. Le fichier enregistré sur la clé USB est au format CSV (Comma Separated Values).

L'objectif est de s'assurer que l'enregistrement des données sur la clé USB est suffisamment rapide pour ne pas pouvoir être interrompu en fin d'exercice de rééducation par un retrait trop rapide de la clé. Pour cela, il convient d'estimer le volume des données stockées ainsi que le temps de transfert.

Hypothèses retenues pour une prescription moyenne :

- la ligne de description des champs est composée de 152 caractères, elle est enregistrée en une seule fois lors de la création du fichier de suivi ;
- chaque enregistrement est composé d'au maximum 64 caractères (séparateurs inclus) ;
- chaque caractère est codé sur 1 octet ;
- la rééducation est prescrite pour une durée d'un mois (30 jours), à raison de 4 exercices par jour.

Question 1.18 **Calculer** le nombre d'octets enregistrés sur la clé USB pour la durée prescrite. En **déduire** si la clé de 2 Go fournie par le constructeur présente une limite de capacité, même en cas de prescription plus longue que celle indiquée dans l'hypothèse.

Le microcontrôleur de la télécommande communique avec la clé USB par une liaison série UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). La structure d'une trame d'une liaison série UART est donnée sur la figure 18.

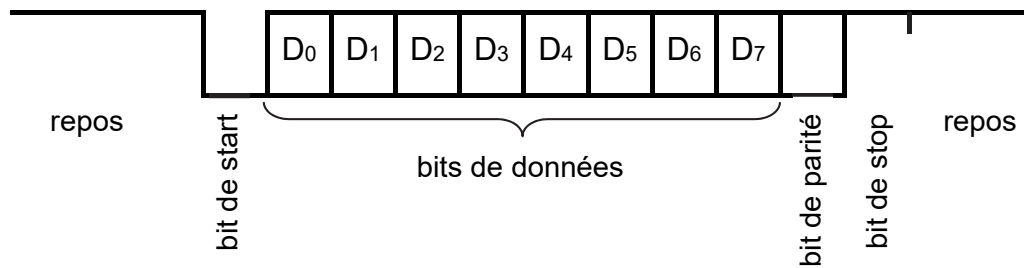


Figure 18 : structure d'une trame d'une liaison série UART

Paramètres de la communication de la liaison série exploitée :

- 1 bit de start ;
- 8 bits de donnée ;
- 1 bit de parité avec une parité paire ;
- 1 bit de stop ;
- vitesse de transmission de $9\,600 \text{ bit}\cdot\text{s}^{-1}$.

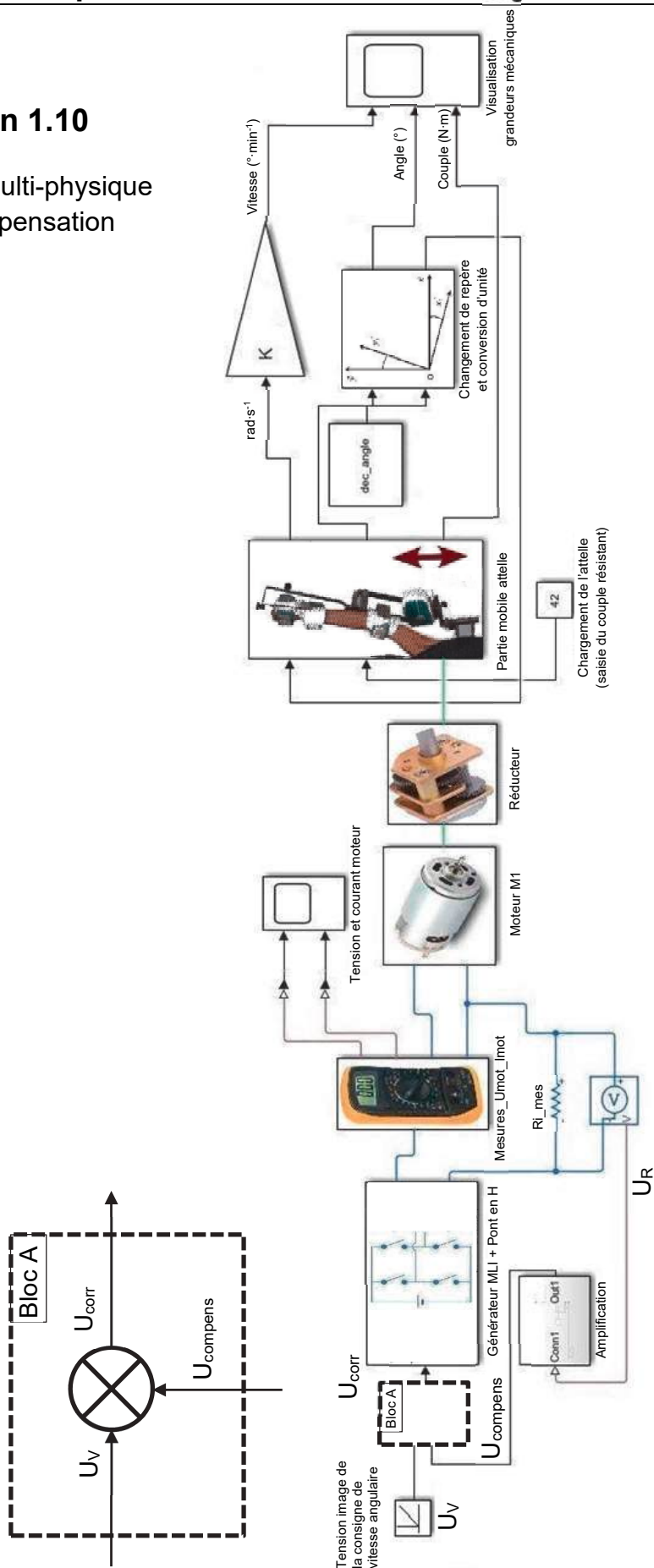
Hypothèse : la transmission se fait sans temps de latence entre chaque caractère, les temps de repos ne sont donc pas à prendre en compte dans la durée de la transmission.

Question 1.19 **Montrer** que le temps nécessaire au transfert de 64 octets correspondant à un enregistrement en fin d'exercice est de 73 ms. En **déduire** si ce temps est significatif par rapport au temps nécessaire pour retirer la clé USB.

Question 1.20 **Conclure** sur la possibilité qu'offre l'attelle de rééducation à assurer le suivi d'un patient sur le long terme.

Question 1.10

Modèle multi-physique
avec compensation



Questions 1.14, 1.15 et 1.16

Les zones à compléter sont identifiées par des pointillés (.....)

```
1 Fonction defLimiteAngInf()
2
3 //Définition des constantes
4     KDEC = 45          // code de la touche -
5     KINC = 43          // code de la touche +
6     KOK = 6            // code de la touche OK
7     NUL = 0
8     L_BASSE = ..... // valeur limite basse autorisée en extension
9
10 //Définition des variables locales
11     clav = NUL
12     limiteInf = limiteInfActive
13
14 DEBUT
15     clav ← .....
16     Tant Que (clav = KDEC OU clav = KINC OU clav = KOK)
17         Faire
18             Si clav = KDEC
19                 Alors
20                     limiteInf ← .....
21                     Si limiteInf < L_BASSE
22                         Alors
23                             limiteInf ← L_BASSE
24                     Fin Si
25                     Afficher la valeur de limiteInf
26                     Attendre (500 ms)
27             Sinon Si clav = KINC
28                 Alors
29                     limiteInf = limiteInf + 1
30                     Si limiteInf > limiteSupActive-5
31                         Alors
32                             limiteInf ← limiteSupActive-5
33                     Fin Si
34                     Afficher la valeur de limiteInf
35                     Attendre (500 ms)
36             Sinon Si clav = KOK
37                 Alors
38                     limiteInfActive ← limiteInf
39                     Sortir
40             Fin Si
41             clav ← acqClavier()
42     Fin Tant Que
43 FIN Fonction
```


Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Les accélérateurs de particules au service de la médecine (10 points)

La protonthérapie : des particules pour soigner

Les protons peuvent être utilisés pour traiter des tumeurs de manière très localisée, sans endommager les tissus sains adjacents. Pour ce faire, il faut contrôler très précisément la direction et l'énergie cinétique des protons. Dans ce cas, les protons traversent le corps sans libérer d'énergie, s'arrêtent à la position voulue où ils détruisent les cellules cancéreuses en libérant leur énergie.

Pour conférer aux protons la direction et l'énergie voulue, on peut utiliser des accélérateurs linéaires de particules où des particules chargées sont placées dans un champ électrique uniforme.

D'après l'Institut Curie « Protonthérapie : un lieu de haute technologie »

Un proton arrive au point O à l'instant $t = 0$ s avec une vitesse considérée comme nulle et est accéléré jusqu'à acquérir en A l'énergie cinétique voulue E_c .

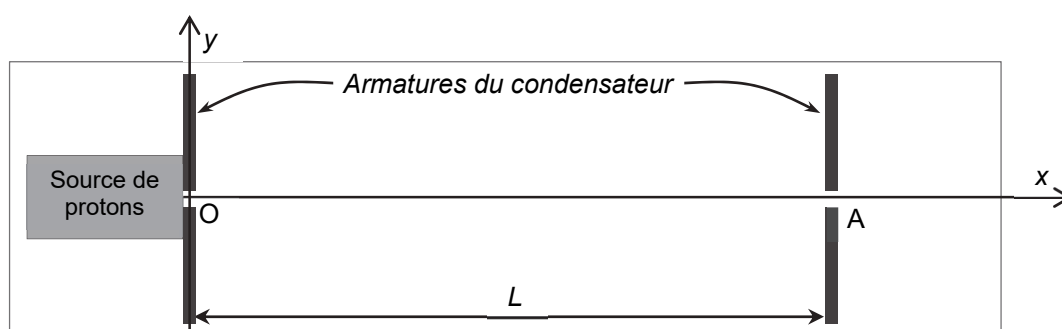


Figure 1. Schéma du dispositif modélisant l'accélérateur linéaire

Données :

- masse d'un proton : $m = 1,7 \times 10^{-27}$ kg ;
- charge électrique d'un proton : $q = 1,6 \times 10^{-19}$ C ;
- distance entre les deux armatures : $L = OA = 1,0$ m ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8$ m·s⁻¹ ;
- la norme E du vecteur champ électrique $\vec{E}$ créé entre les deux armatures (plaques conductrices) d'un condensateur distantes de L et soumises à une tension U est :

$$E = \frac{U}{L}$$

Les deux armatures portent des charges de signes opposés ;

- accélération de la pesanteur terrestre : $g = 9,8$ m·s⁻² ;
- énergie cinétique d'un proton utilisé en protonthérapie (au point A) : $E_c(A) = 6,4 \times 10^{-12}$ J.

Dans cet exercice, on cherche à déterminer la valeur de E à appliquer dans l'accélérateur pour obtenir l'énergie voulue.

On formule l'hypothèse que le poids d'un proton est négligeable devant la force électrique subie par le proton.

- Q1.** Donner l'expression de la valeur F_e de la norme de la force électrique $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur le proton dans l'accélérateur en fonction du champ E et de la charge q .
- Q2.** Reproduire sommairement le schéma de la figure 1 sur la copie et y représenter le vecteur force électrique $\vec{F}_e$ et le vecteur champ électrique $\vec{E}$ en un point quelconque de la zone entre les deux armatures.
- Q3.** Préciser, en justifiant la réponse, les signes des charges portées par chacune des armatures à l'origine du champ électrique $\vec{E}$.
- Q4.** Donner l'expression du travail de la force électrique exercée sur le proton lors de son trajet de longueur L dans l'accélérateur en fonction de q , E et L .
- Q5.** À l'aide du théorème de l'énergie cinétique, en déduire l'expression de la norme du champ électrique E à appliquer dans l'accélérateur afin d'obtenir l'énergie cinétique voulue au point A. Calculer la valeur de E .
- Q6.** Déterminer la valeur de la norme F_e de la force électrique subie par le proton et la comparer au poids du proton. Commenter l'hypothèse faite au début de l'exercice.
- Q7.** Dans ce modèle, calculer la valeur de la vitesse d'un proton d'énergie cinétique $E_c(A)$. Commenter.

EXERCICE B – Chargeur solaire (10 points)

De nouveaux fabricants développent des solutions solaires portables pour répondre à la demande croissante de recharge de téléphone mobile. Le panneau photovoltaïque (figure 1) en est une illustration. Il s'agit d'un panneau solaire en silicium monocristallin réputé pour son rendement (ou efficacité) élevé, soit 22,4 % annoncé par le constructeur et défini dans des conditions normées d'éclairage.



Figure 1. Panneau photovoltaïque

On se propose de vérifier les performances de ce panneau photovoltaïque.

Par une journée ensoleillée, on réalise l'expérience de charge d'un téléphone mobile (figure 2 et figure 3). On mesure la tension U aux bornes du téléphone mobile et le courant I traversant le circuit : $U = 4,8 \text{ V}$ et $I = 0,84 \text{ A}$.

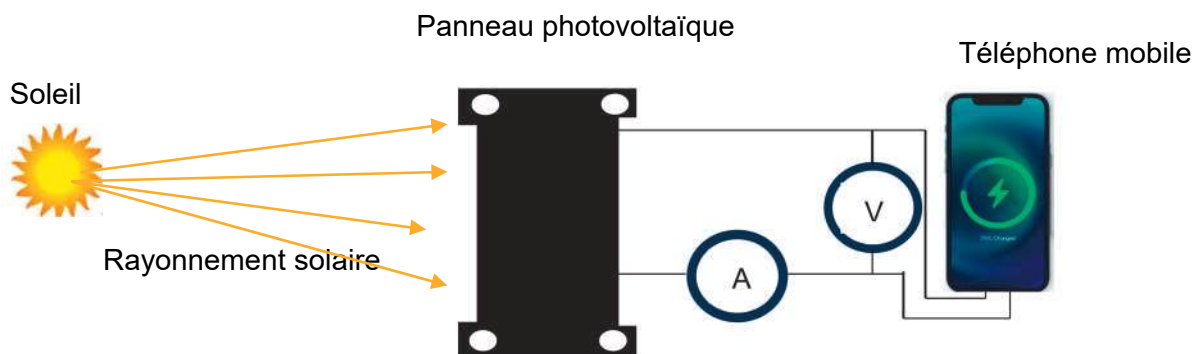


Figure 2. Schéma de l'expérience de charge du téléphone mobile à l'aide du panneau solaire. Un chronomètre permet de suivre l'évolution de la charge de la batterie au cours du temps

ALIMENTATION	
Batterie amovible	Non
Capacité de la batterie	3227 mAh
Recharge sans-fil	Oui

Figure 3. Extrait de la fiche technique du téléphone mobile

Données :

- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- le travail d'extraction nécessaire pour qu'un photon puisse extraire un électron est :

$$\Delta E = h \times f_s = 1,12 \text{ eV}$$

où f_s est la fréquence minimale du photon ;

- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;

- Q1.** Décrire en quelques lignes le phénomène qui intervient dans la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique lors du fonctionnement du panneau photovoltaïque.
- Q2.** Calculer la fréquence seuil f_s et la longueur d'onde associée λ_s d'un photon pour extraire un électron.
- Q3.** Montrer alors que le rayonnement solaire convient pour le fonctionnement de ce panneau photovoltaïque.

Le tableau ci-dessous indique l'évolution, à intervalle de temps régulier $\Delta t = 2,0 \text{ min}$, du pourcentage de charge de la batterie de 50 % à 60 % dans l'expérience décrite en figure 2 :

Temps	0	Δt	$2 \times \Delta t$	$3 \times \Delta t$	$4 \times \Delta t$	$5 \times \Delta t$
Charge de la batterie	50 %	52 %	54 %	56 %	58 %	60 %

- Q4.** Estimer, en explicitant la démarche utilisée, la valeur de la durée nécessaire pour une charge complète à partir d'une batterie totalement déchargée.

Le relation entre la charge électrique transférée Q et la durée du transfert Δt_{charge} , pour une intensité électrique I , est donnée par la relation : $Q = I \times \Delta t_{\text{charge}}$.

- Q5.** Comparer le résultat avec les données de la fiche technique du téléphone mobile (figure 3).

Durant l'expérience, le flux lumineux Φ mesuré avec un solarimètre est de $570 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

- Q6.** Déterminer la valeur de $P_{\text{reçue}}$, la puissance lumineuse reçue par le panneau.

- Q7.** À l'aide des mesures réalisées durant l'expérience (figure 2), déterminer la valeur de P_{utile} , la puissance utile fournie par le panneau.

- Q8.** En déduire η , le rendement du panneau photovoltaïque. Comparer avec l'indication donnée par le fabricant.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

MERCREDI 11 SEPTEMBRE 2024

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 18 pages numérotées de 1/18 à 18/18.

**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 DR2 (pages 13 à 14) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Robot logistique intelligent



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 12
- Documents réponses..... pages 13 à 14

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 13 et 14) sont à rendre avec la copie.

Robot logistique intelligent

Le robot Bobby (figure 1) est un robot logistique intelligent, autonome et piloté en WiFi. Il soulève et transporte des étagères de produits, de leur emplacement de stockage vers des stations de préparation de commandes.

Le pilotage des robots est optimisé et permet :

- une centralisation du pilotage d'une flotte de robots ;
- une optimisation des trajets des robots grâce à des algorithmes dédiés ;
- une répartition de leurs missions en temps réel.



Figure 1 : robot Bobby

Les robots s'orientent dans l'entrepôt grâce à un lecteur optique et à une bande de guidage collée au sol (figure 2). Sans ancrage au sol, la bande de guidage est facile à poser et à remplacer donnant ainsi une grande flexibilité au système. Les extensions et déménagements dans l'entrepôt deviennent faciles et rapides : il suffit de décoller et recoller des bandes de guidage dans les zones appropriées.

Un cycle type de déplacement d'un robot peut se résumer en cinq étapes :

1. le robot soulève l'étagère ;
2. le robot se déplace jusqu'à la station de préparation ;
3. le robot stationne quelques secondes face à la station de préparation ;
4. le robot ramène l'étagère à son emplacement de départ ;
5. le robot dépose l'étagère.

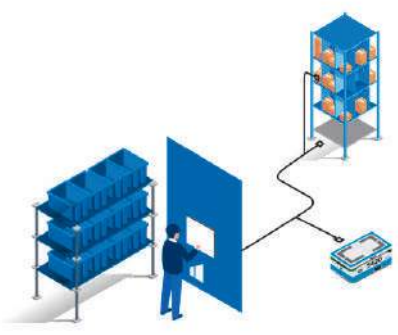
En cas d'inactivité prolongée ou d'un niveau critique de décharge de la batterie, le robot se déplace jusqu'à la station de recharge et s'y connecte automatiquement. L'algorithme de charge intelligent adapte la mise en charge en fonction des missions. La capacité de rechargement autonome sur borne dédiée garantit une continuité de la chaîne logistique 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.



a) vue d'un entrepôt



b) flotte de robots



c) poste de préparation avec opérateur

Figure 2 :

Sous-partie 1

Autonomie du robot lors d'un parcours

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier les exigences d'autonomie indiquées par le constructeur lors de l'utilisation du robot sur un parcours dans l'entrepôt.

L'entrepôt comporte 8 stations de préparation de colis, chacune occupée par un opérateur. La flotte de l'entrepôt de logistique étudié est de 40 robots.

Les robots communiquent directement, via une liaison sans fil WiFi, avec le système Scallog qui centralise le pilotage des robots et optimise le déplacement de la flotte.

L'activité de préparation pour chaque opérateur génère, en moyenne, 100 km de déplacements cumulés dans une journée.

Dans l'entrepôt étudié, un robot effectue en moyenne 180 cycles par jour.

Question 1.1 **Déterminer** la distance cumulée totale parcourue par l'ensemble de la flotte de robots en une journée. **Montrer** que la distance moyenne parcourue par un robot lors d'un cycle type de déplacement est de 111 m.

La vitesse moyenne de déplacement d'un robot avec chargement est $V_{\text{moy}} = 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 1.2 **Calculer** la durée moyenne, en seconde, de déplacement dans un cycle type.

Le diagramme de définition de blocs du robot est donné en figure 3. Le robot est équipé de deux roues motrices et de roues folles à l'avant et l'arrière qui lui permettent de pivoter à 90° sur la bande de guidage quadrillant le sol.

Les mouvements du robot sont contrôlés par deux motoréducteurs constitués d'un moteur à courant continu, d'un réducteur et d'un codeur.

La suite de l'étude est menée dans les conditions suivantes : le robot déplace l'étagère avec une vitesse $V_{\text{moy}} = 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et les moteurs de déplacement fonctionnent à 25 % de leur puissance nominale.

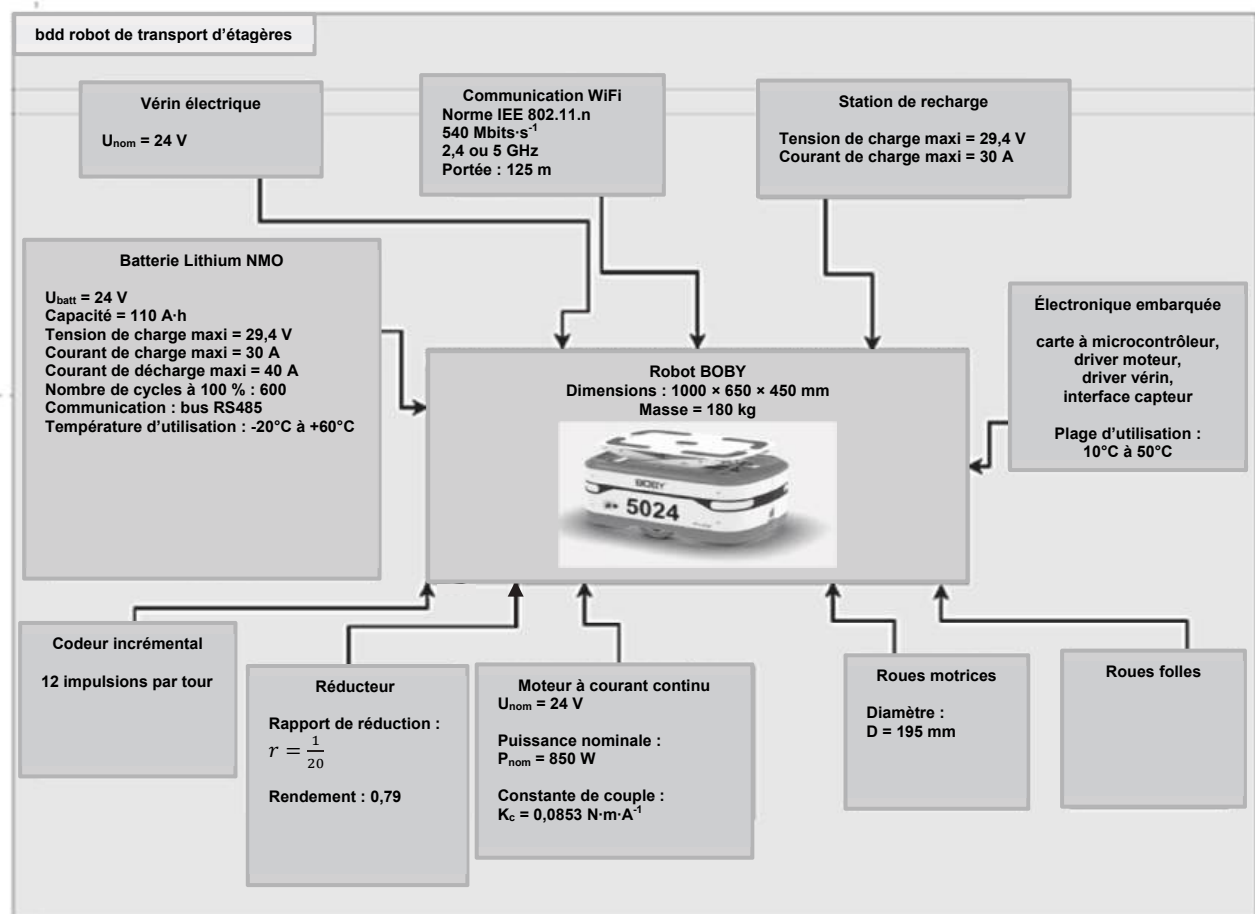


Figure 3 : diagramme de définition de blocs

Question 1.3 À l'aide du diagramme de définition de blocs figure 3, **calculer** la vitesse de rotation d'une roue motrice notée ω_{roue} (en rad·s⁻¹), puis la vitesse de rotation du moteur notée ω_m (en rad·s⁻¹).

Montrer que le couple en sortie du moteur C_m vaut 0,86 N·m. En **déduire** le courant absorbé par le moteur I_m .

Pendant un cycle type de 90 s, les moteurs de déplacement sont alimentés sous tension nominale et consomment un courant de 10 A.

Question 1.4 À partir du diagramme figure 3, **déterminer** la puissance électrique consommée par chaque moteur de déplacement. En **déduire** la quantité totale d'énergie électrique en W·h consommée par les deux moteurs de déplacement lors d'un cycle type.

Le robot soulève les étagères à l'aide d'un vérin électrique constitué d'un motoréducteur et d'un système vis-écrou irréversible. Le montage du vérin dans le système d'élévation de la charge est réalisé de manière à ce que le déplacement de la tige du vérin soit identique au déplacement de la plateforme de levage. L'effort exercé par le vérin est alors identique au poids supporté par la plateforme.

La figure 4 représente l'intensité du courant consommé par le vérin électrique pour soulever l'étagère à des vitesses de sortie de tige différentes (trois vitesses possibles).

Le vérin est alimenté en 24 V. Ce vérin permet de soulever l'étagère à une hauteur de 100 mm. L'accélération de la pesanteur est notée $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

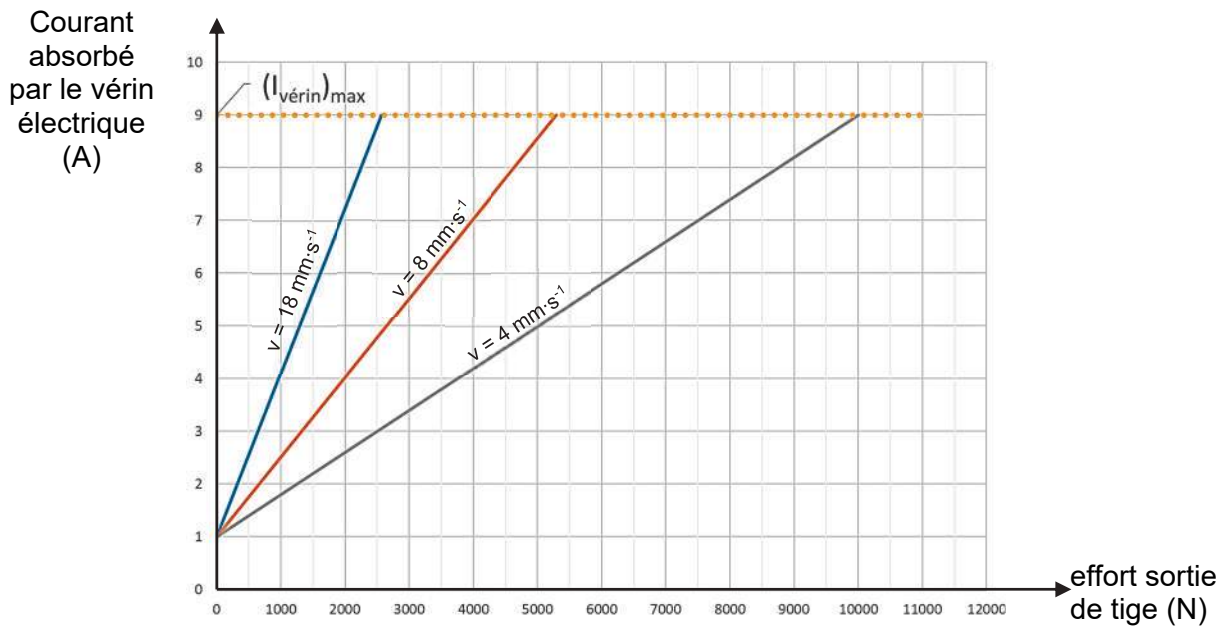


Figure 4 : courant absorbé par le vérin électrique en fonction de l'effort de sortie de la tige pour différentes vitesses de sortie de tige

Lorsque le robot est à l'arrêt, le vérin soulève l'étagère. Lorsque le robot reprend son déplacement, le vérin n'a plus besoin d'être alimenté pour maintenir l'étagère en position haute, grâce à son irréversibilité.

Question 1.5 À l'aide de la figure 4, pour une étagère de masse 600 kg, **relever** la vitesse de sortie possible du vérin $v_{\text{vérin}}$ en $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ et le courant consommé $I_{\text{vérin}}$ en A. En **déduire** le temps mis pour soulever l'étagère de 100 mm. **Calculer** l'énergie électrique nécessaire en W·h pour soulever une étagère (un cycle).

Pour la suite de l'étude, les consommations des moteurs de chaque roue, du vérin électrique et de l'électronique embarquée sont prises en compte. Quels que soient les résultats trouvés précédemment, les consommations pour un cycle sont :

- $E_m = 6 \text{ W}\cdot\text{h}$ pour un des deux moteurs de déplacement ;
- $E_{vm} = 1 \text{ W}\cdot\text{h}$ pour le vérin électrique de levage à la montée ;
- $E_{vd} = 0,5 \text{ W}\cdot\text{h}$ pour le vérin électrique de levage à la descente ;
- $E_{em} = 0,5 \text{ W}\cdot\text{h}$ pour l'électronique embarquée.

Question 1.6 **Déterminer** la quantité d'énergie électrique en W·h globale consommée par le robot lors d'un cycle type complet.

Question 1.7 À l'aide du diagramme figure 3, **calculer** le nombre de cycles que peut effectuer un robot avec une charge complète de sa batterie.

Conclure sur la capacité du robot à effectuer le nombre de cycles nécessaires à la productivité demandée pour l'entrepôt étudié.

Sous-partie 2

Vérification d'une performance

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le robot chargé peut se déplacer à la vitesse exigée par le constructeur.

La figure 5 permet une visualisation de la vitesse de déplacement du robot, après chargement d'une étagère avec la charge maximale admissible, jusqu'à la zone de préparation de colis.

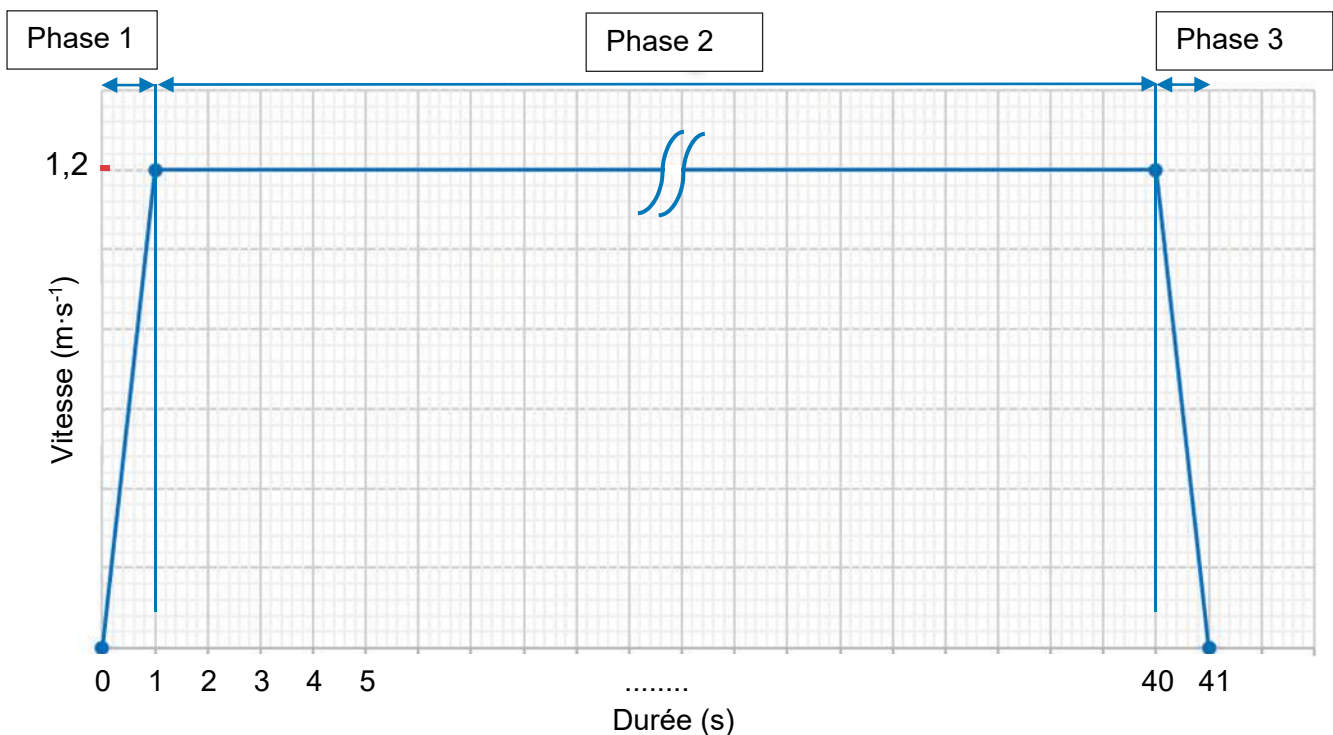


Figure 5 : évolution de la vitesse du chariot en fonction du temps pendant le trajet, étagère chargée

Question 1.8 À l'aide de la figure 5, **préciser** la nature du mouvement pour chacune des phases 1 à 3. **Montrer** que la distance parcourue pendant la durée du trajet étudié est de 48 m.

La figure 6 montre la modélisation plane du robot chargé dans le plan $(\vec{x}, \vec{y})$ lors du déplacement en phase 1. Le centre de gravité du robot est noté G. Le centre de gravité de l'étagère est noté P. Les points P et G sont alignés verticalement.

En phase d'accélération, les roues avant folles sont délestées. L'action du sol sur les roues avant est donc supposée nulle.

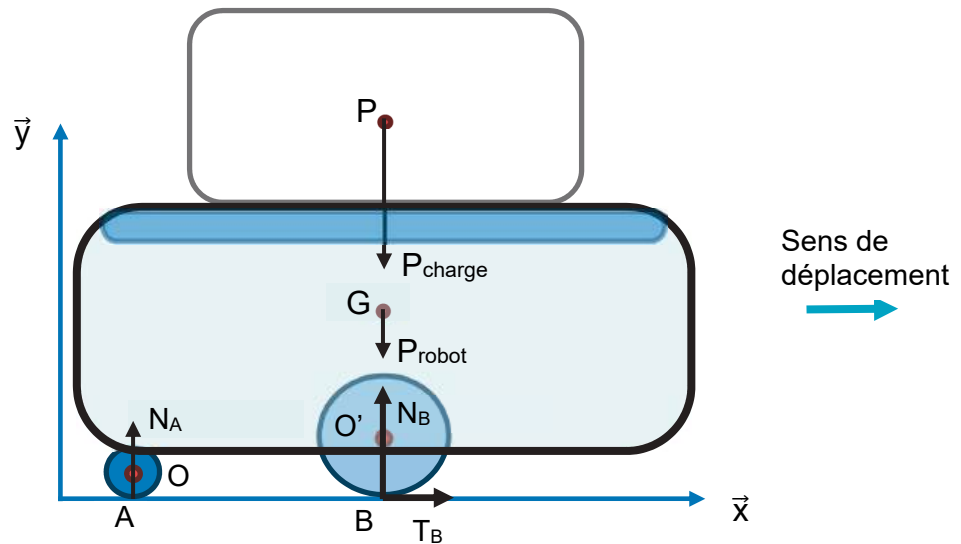


Figure 6 : modélisation plane du robot et des actions mécaniques

Question 1.9 **Préciser** la nature des liaisons en A et B entre le sol et les roues du robot dans l'hypothèse d'un modèle plan, ainsi que leurs caractéristiques géométriques.

Dans le référentiel terrestre, considéré comme galiléen, le robot est en phase 1 (figure 5). Départ immobile, le robot appelé S est mis en mouvement chargé d'une étagère ayant une masse égale à la charge maximale admissible. Le robot se déplace en ligne droite. Il est alors soumis à plusieurs actions mécaniques extérieures :

- en G, le poids du robot : $\vec{P}_{\text{robot}} = -M_{\text{robot}} \cdot g \cdot \vec{y}$ avec M_{robot} la masse du robot ;
- en P, le poids de l'étagère transportée : $\vec{P}_{\text{charge}} = -M_{\text{charge}} \cdot g \cdot \vec{y}$ avec M_{charge} la masse de l'étagère ;
- en A, l'action du sol sur les deux roues folles arrière : $\vec{A}_{\text{sol} \rightarrow \text{S}} = N_A \cdot \vec{y}$;
- en B, l'action du sol sur les deux roues motrices : $\vec{B}_{\text{sol} \rightarrow \text{S}} = N_B \cdot \vec{y} + T_B \cdot \vec{x}$.

Les effets de l'air sur le robot, ainsi que la résistance au roulement, sont négligés.

Pour la suite de l'étude, l'accélération du robot suivant la direction $\vec{x}$ est notée $a_x = 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ et la masse du robot vaut $M_{\text{robot}} = 180 \text{ kg}$. L'analyse se fait dans le cas de la charge limite admissible soit $M_{\text{charge}} = 600 \text{ kg}$.

Question 1.10 Après avoir isolé l'ensemble {robot + étagère}, **identifier** l'équation issue du principe fondamental de la dynamique permettant d'obtenir T_B . **Donner** l'expression littérale de T_B en fonction de M_{charge} , M_{robot} et a_x , puis **réaliser** l'application numérique.

La figure 7 représente une roue motrice du robot. Comme le robot possède deux roues motrices, chacune d'elles est soumise à un effort correspondant à la moitié de T_B .

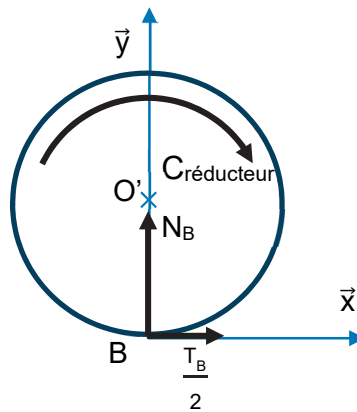


Figure 7 : actions mécaniques extérieures s'exerçant sur la roue isolée

Le rayon de la roue est noté $R = 97,5 \text{ mm}$. Le théorème du moment dynamique appliqué en O' permet d'obtenir la relation suivante : $C_{\text{réducteur}} = R \cdot \frac{T_B}{2}$. La figure 8 illustre une partie de la chaîne de puissance reliant un moteur de déplacement à la roue. L'effort tangentiel vaut $T_B = 936 \text{ N}$. Pour une vitesse de déplacement du robot $V = 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, la fréquence de rotation du moteur est de $\omega_m = 246 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

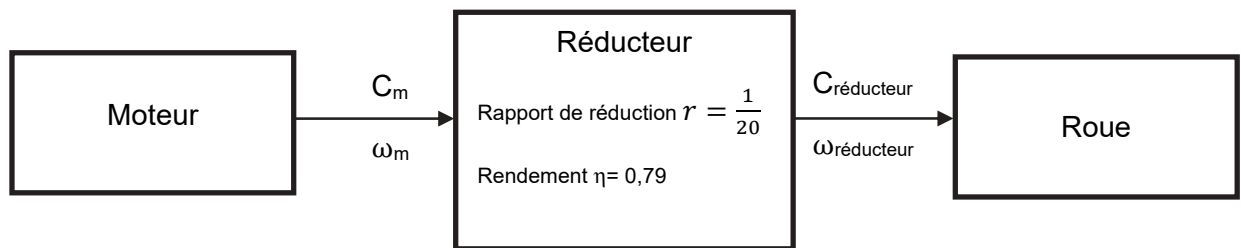


Figure 8 : chaîne de puissance partielle

Question 1.11 À l'aide de la figure 8, **calculer** le couple $C_{\text{réducteur}}$ puis le couple moteur C_m permettant d'obtenir l'accélération souhaitée.

Question 1.12 En **déduire** la puissance mécanique fournie par le moteur pour une vitesse de déplacement de $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en fin de phase d'accélération.

Le moteur à courant continu retenu a une puissance nominale de 850 W .

Question 1.13 **Conclure** sur la capacité du moteur à assurer le profil de vitesse souhaité.

Sous-partie 3

Système de commande

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser les informations de fonctionnement du robot et de valider les exigences sur la gestion de la trajectoire et sur la surveillance de la température de la batterie.

Le robot est autonome dans ses déplacements. Il doit donc être capable de détecter des obstacles, de rester à distance d'un autre robot, d'envoyer sa position dans l'entrepôt et de communiquer l'état de charge de sa batterie, ainsi que sa température.

La surveillance de la température de la batterie est une question de sécurité. Elle est réalisée pendant le transport d'étagère et lors d'une recharge car il y a un risque d'incendie ou d'explosion au vu de la technologie de la batterie. La chaîne d'acquisition de la température est donnée figure 9.

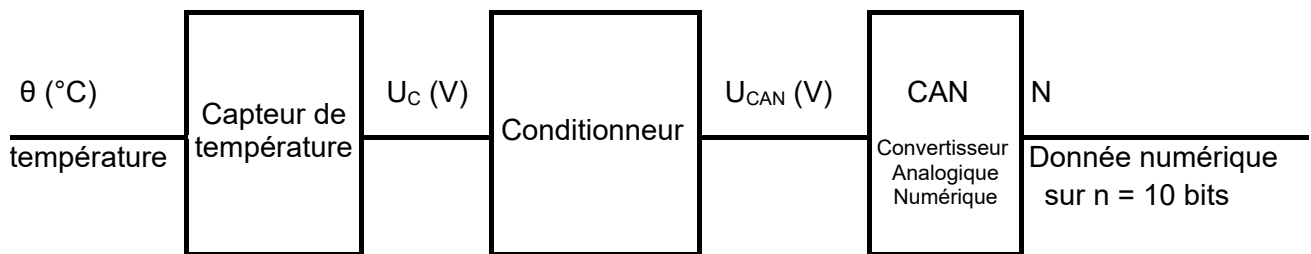


Figure 9 : chaîne d'acquisition de la température

La caractéristique du capteur de température est donnée sur la figure 10.

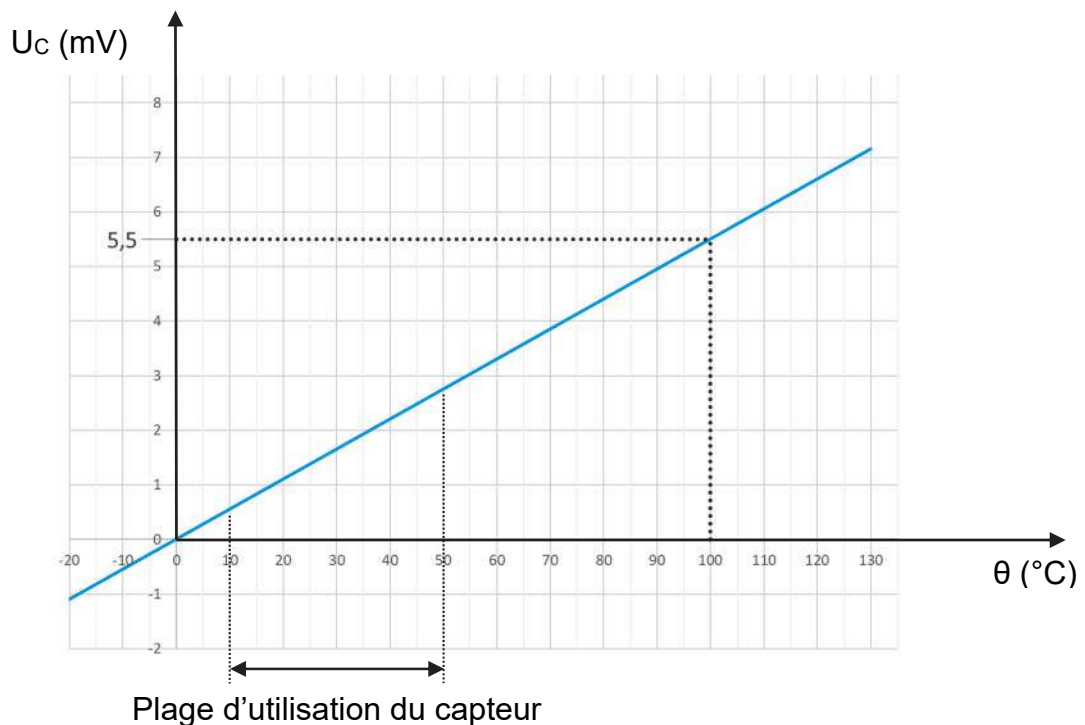


Figure 10 : caractéristique tension-température $U_C = f(\theta)$

Question 1.14 À l'aide de la figure 9, **identifier** la nature de l'information (analogique, logique ou numérique) délivrée par le capteur. À l'aide de la figure 10, **calculer** la sensibilité thermique S_θ du capteur en $\text{mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ et les tensions de sortie du capteur U_{cmin} et U_{cmax} correspondant aux valeurs extrémales de la température à contrôler.

Le conditionneur permet d'adapter la tension U_C aux caractéristiques du convertisseur analogique numérique (CAN) choisi. Ce conditionneur a pour relation $U_{\text{CAN}} = U_0 + A_V \times U_C$ où U_0 est la tension constante de décalage et A_V un coefficient constant.

La tension U_{CAN} doit être comprise en 0 V et 5 V pour un fonctionnement du capteur dans sa plage d'utilisation de 10°C à 50°C .

Question 1.15 **Montrer** que l'équation de U_{CAN} en fonction de U_C peut s'écrire :

$$U_{\text{CAN}} = 2273 \cdot U_C - 1,25.$$

Le CAN a une tension pleine échelle de 5 V, codée en sortie sur 10 bits.

Question 1.16 **Calculer** le quantum q du convertisseur en mV.

Question 1.17 Sur le document réponse DR1, **compléter** le tableau « acquérir DR1 température ».

Question 1.18 À l'aide de la figure 10, **calculer** la résolution de la chaîne d'acquisition $R_\theta = \frac{\Delta\theta}{2^n}$ en $^\circ\text{C}$. **Conclure** sur la capacité du système à détecter une variation de température suffisamment précise dans un souci de sécurité.

Le robot est équipé de deux capteurs optiques pour détecter la bande de guidage noire et de capteurs à ultrasons pour détecter les obstacles. Si le robot ne détecte plus la bande de guidage, il s'arrête et émet un signal sonore à l'aide d'un buzzer.

Différents éléments sont connectés au microcontrôleur.

Les capteurs optiques sont connectés sur le port B :

- le capteur optique gauche sur la broche RB1 (RB1 = 1 si bande détectée, RB1 = 0 sinon) ;
- le capteur optique droit sur la broche B0.

Le buzzer est connecté sur la broche RB4 :

- RB4 = 1 (le buzzer sonne) ;
- RB4 = 0 (le buzzer ne sonne pas).

La commande de chaque moteur est connectée au port C (la figure 11 décrit le fonctionnement des moteurs de déplacement).

	Marche avant	Marche arrière	Robot à l'arrêt
Moteur droit	RC2 = 0 RC3 = 1	RC2 = 1 RC3 = 0	RC2 = 0 RC3 = 0
Moteur gauche	RC0 = 0 RC1 = 1	RC0 = 1 RC1 = 0	RC0 = 0 RC1 = 0

Figure 11 : tableau de fonctionnement des moteurs de déplacement

Les quatre cas possibles de détection de la bande de guidage sont décrits sur la figure 12.

Cas 1	Les deux capteurs optiques détectent la bande de guidage.
Cas 2	Le capteur optique gauche détecte la bande de guidage, le capteur optique droit détecte le sol blanc.
Cas 3	Le capteur optique droit détecte la bande de guidage, le capteur optique gauche détecte le sol blanc.
Cas 4	Les deux capteurs optiques détectent le sol blanc.

Figure 12 : table de détection

Question 1.19 **Compléter** sur le document DR1 les commandes des moteurs en fonction des états des 2 capteurs optiques pour les quatre cas de la figure 12.

DR1

Question 1.20 **Compléter** l'algorithme sur le document DR2 répondant au comportement attendu pour le suivi de la bande de guidage.

DR2

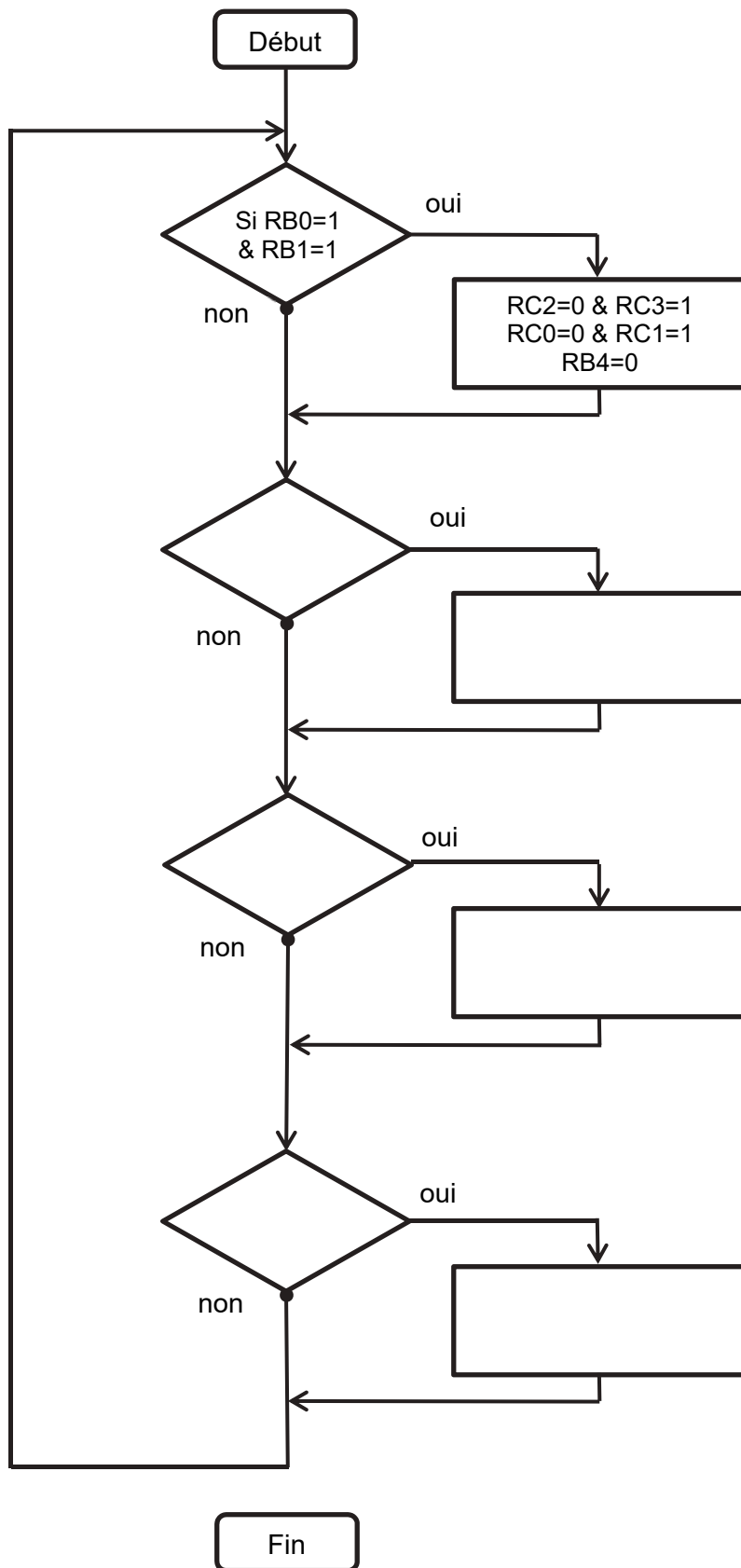
Question 1.17 – Tableau « Acquérir Température »

θ (°C)	U_C (mV)	U_{CAN} (mV)	N (décimal)	N (binaire)	N (hexadécimal)
10	0,55	0	0	00 0000 0000	0
30					
50	2,75	5	1023	11 1111 1111	3FF

Question 1.19

	Capteur Optique droit RB0	Capteur Optique gauche RB1	Moteur droit RC2 et RC3		Moteur gauche RC0 et RC1		Buzzer RB4
Cas 1							
Cas 2							
Cas 3							
Cas4							

Question 1.20



Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Le jeu du palet (10 points)

C'est dans l'ouest de la France que le jeu du palet en fonte connaît un essor important. Ce jeu se pratique sur une plaque en plomb (et, parfois, sur une plaque en bois). Les joueurs se situent à une distance réglementaire de la plaque avec des palets en mains. La partie commence par le lancer du palet « maître » puis les joueurs lancent tour à tour leurs palets. Le but du jeu est d'être le premier, en individuel ou en équipe, à faire 11 points en plaçant ses palets le plus près du « maître ». On compte un point par palet placé plus près du « maître » que celui de l'adversaire. Pour qu'un palet soit compté comme valable, il ne doit pas toucher le sol avant d'arriver sur la plaque et doit rester sur celle-ci.



Image extraite du règlement du palet sur plomb de la FNSMR

D'après le site le-palet.com

Les objectifs de cet exercice sont de réaliser une étude énergétique du lancer du palet à partir des courbes expérimentales puis grâce à l'équation de la trajectoire du palet, de déterminer si le point a été marqué dans le cas d'un tir réel.

Données :

- masse d'un palet : $m = 100 \text{ g}$;
- accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

L'acquisition du lancer d'un palet a été réalisée à l'aide d'un smartphone (figure 1) puis exploitée avec un logiciel de traitement d'images.

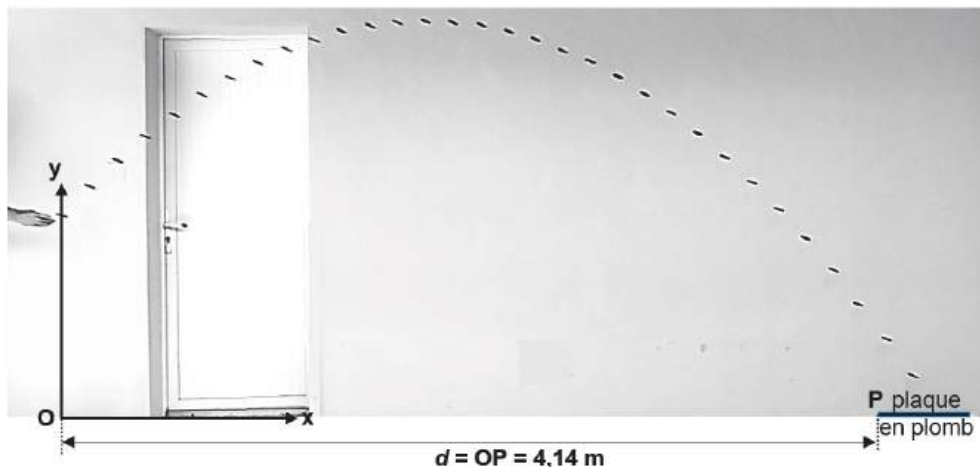


Figure 1. Chronophotographie du lancer du palet étudié

Le mouvement a lieu dans un plan noté (Oxy). Dans le repère qui a pour origine le point O, les coordonnées x et y du centre de masse M du palet sont recueillies et traitées avec un logiciel dédié. Les positions mesurées au cours du temps permettent de déterminer les évolutions temporelles des énergies cinétique E_c , potentielle de pesanteur E_{pp} et mécanique E_m du palet (figure 2).

L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est choisie ainsi : $E_{pp} = 0 \text{ J}$ pour $y = 0 \text{ m}$. La courbe 3 est modélisée par une droite. On note v la norme du vecteur vitesse.

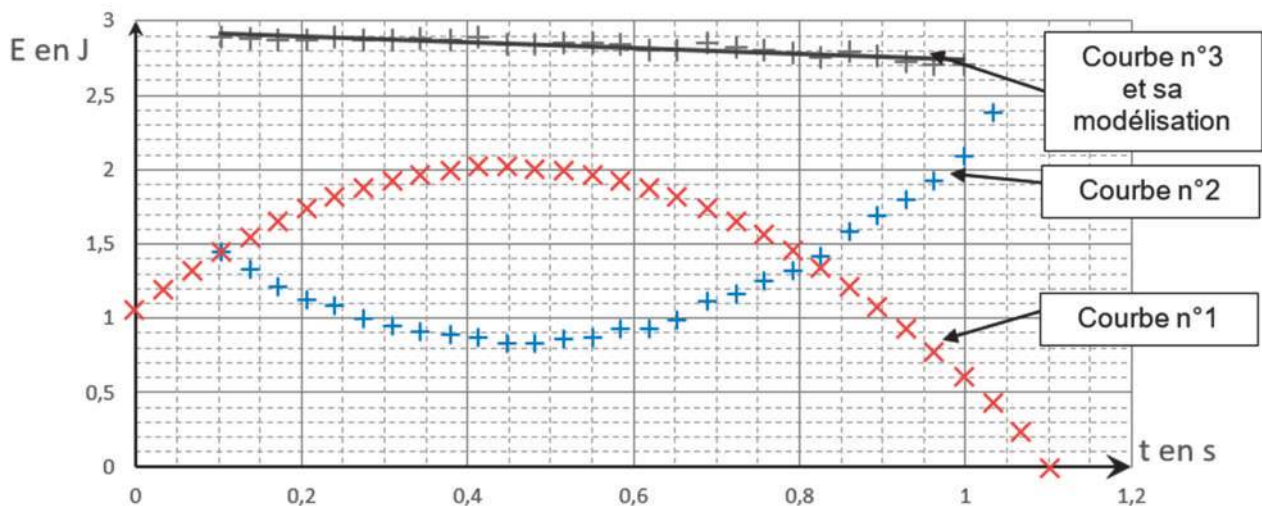


Figure 2. Évolution temporelle des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique du palet déterminées expérimentalement

Q1. Donner, en fonction des données du problème, les expressions des énergies cinétique E_c , potentielle de pesanteur E_{pp} et mécanique E_m de M.

Q2. Identifier chaque courbe du graphique de la figure 2. Justifier.

On modélise l'évolution temporelle de l'énergie mécanique E_m de M. On obtient l'équation horaire suivante : $E_m(t) = \alpha \cdot t + \beta$ avec $\alpha = -0,189 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\beta = 2,93 \text{ J}$.

Q3. Interpréter le sens de variation de l'énergie mécanique au cours du temps.

Q4. Montrer qu'au point d'impact $E_c = E_m$.

Q5. Estimer, en explicitant la démarche suivie, la valeur de norme de la vitesse du palet juste avant qu'il touche la plaque en plomb.

On admet que le palet s'immobilise au point d'impact, sans rebond. L'équation de la trajectoire de M est obtenue par une modélisation effectuée à l'aide du logiciel utilisé pour l'acquisition du mouvement :

$$y(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \text{ avec } a = -0,295 \text{ m}^{-1}, b = 1,06 \text{ et } c = 1,10 \text{ m}$$

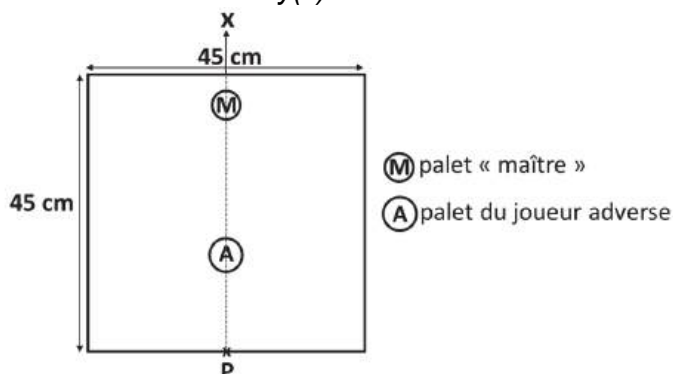


Figure 3. Schéma de la plaque en plomb donnant la position approximative du palet « maître » et celle du palet de l'équipe adverse en vue de dessus ; P est le point de la plaque le plus près du joueur

Q6. Le palet « maître » et le palet du joueur de l'équipe adverse sont positionnés comme indiqué sur la figure 3. Déterminer, en utilisant l'équation issue de la modélisation précédente, si le palet étudié permet de remporter un point.

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

EXERCICE B – Micro-usinage par interférences laser (10 points)

L'apparition de glace est problématique en aéronautique notamment car celle-ci augmente les frottements de l'air sur l'avion. Cet exercice propose d'étudier un nouveau procédé testé par la société Airbus qui permet d'obtenir des surfaces offrant une faible adhérence à la glace, laissant ainsi naturellement tomber la glace accumulée sur les surfaces de vol.

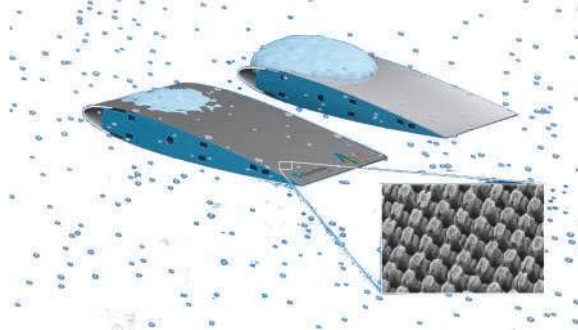


Figure 1. Comparaison de l'accumulation de glace entre une surface de référence et une surface micro-usinée par interférences laser (d'après <https://optics.org/news/11/1/97>)

Analyse du principe de la création directe de motifs par interférences de deux faisceaux

Pour étudier le principe de la création de motifs par interférences, on commence par se ramener au cas simplifié d'un faisceau laser divisé en deux à l'aide d'un système optique séparatif (non représenté ci-après). Un dispositif à base de miroirs (également non représenté) permet de diriger ces faisceaux sur l'échantillon métallique à usiner, en formant un angle θ avec la normale à la surface (figure 2). Lorsqu'une impulsion du faisceau laser atteint un point de la surface, elle sublime par effet thermique une partie de l'échantillon laissant ainsi un creux.

Le faisceau émis par la source laser est de longueur d'onde $\lambda = 527 \text{ nm}$.

Lors de cet usinage, on souhaite obtenir des motifs régulièrement espacés d'une distance (interfrange) de valeur $i = 6,9 \mu\text{m}$, valeur pour laquelle la glace adhère le moins. Pour cela on ajuste la position des miroirs qui contrôlent la valeur de l'angle θ des deux faisceaux par rapport à la normale à la surface.

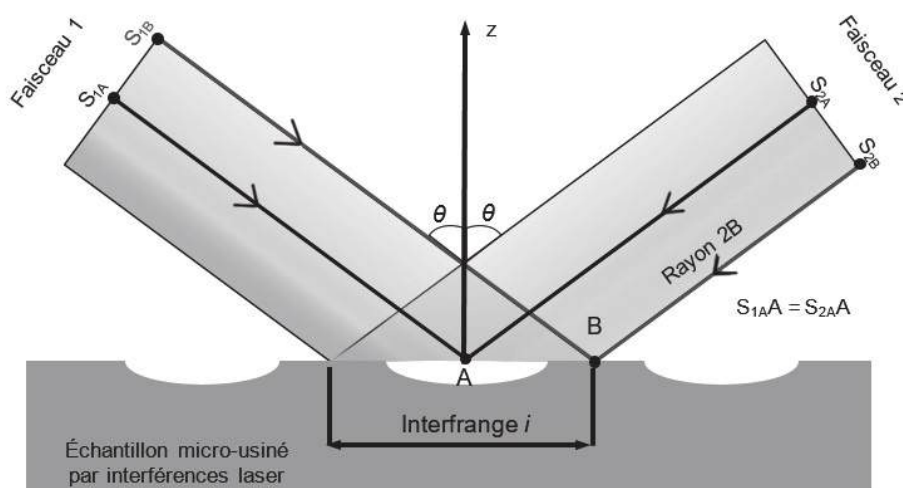


Figure 2. Schéma de principe de la création d'un motif par interférences de deux faisceaux

Q1. Rappeler les conditions d'interférences constructives et destructives entre deux ondes de longueur d'onde λ .

Les ondes issues des points S_{1A} et S_{2A} , supposées en phase en ces deux points, interfèrent au point A.

Q2. À l'aide de la figure 2, justifier que ces deux ondes interfèrent constructivement au point A.

On s'intéresse désormais au point B de l'échantillon.

Q3. En analysant la surface de l'échantillon micro-usiné au point B (figure 2), justifier que les ondes issues des points S_{1B} et S_{2B} , supposées en phase en ces deux points, interfèrent de manière destructive au point B.

Après le micro-usinage, on observe au microscope électronique la surface de l'échantillon.

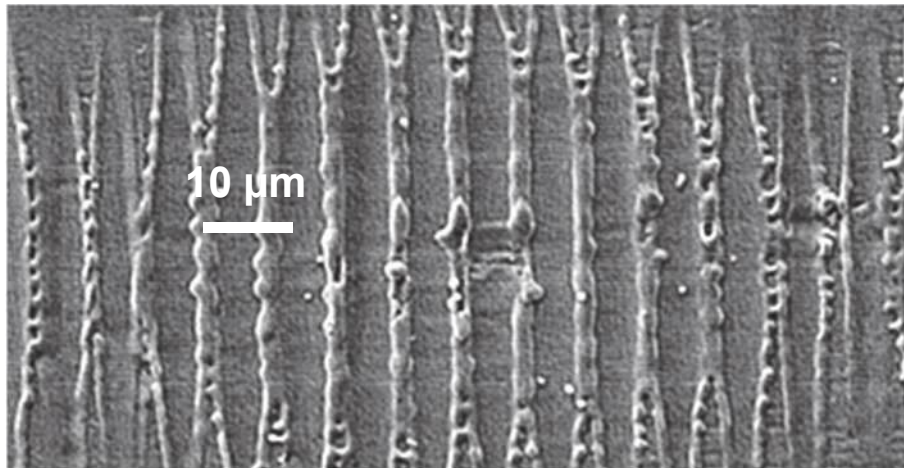


Figure 3. Observation au microscope électronique de la surface micro-usinée par interférences utilisant deux faisceaux (d'après <https://doi.org/10.1002/adem.202001414>)

Q4. Proposer une définition de l'interfrange i puis expliquer comment il est possible d'exploiter la figure 3 pour le mesurer. Déterminer sa valeur numérique et la comparer à la valeur attendue.

Q5. Sachant que pour ce dispositif l'interfrange vérifie la relation $i = \frac{\lambda}{2 \times \sin \theta}$, déduire la valeur de l'angle θ entre les faisceaux incidents et la normale à l'échantillon.

Dans la réalité, la lumière provenant du laser est divisée en trois faisceaux comme indiqué sur la figure 4. La surface micro-usinée ainsi obtenue est donnée figure 5.

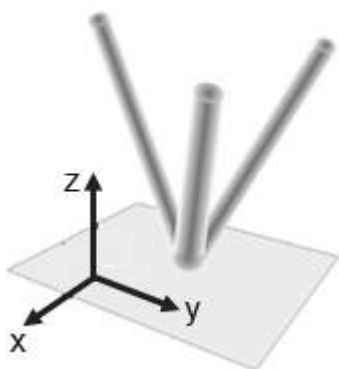


Figure 4. Principe de la création de motifs par usinage par interférences laser

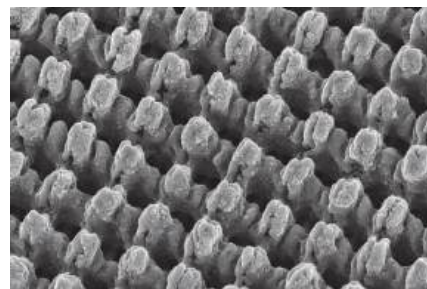


Figure 5. Observation au microscope électronique de la surface micro-usinée (d'après <https://optics.org/news/11/1/97>)

Q6. Identifier la principale différence observée entre la surface micro-usinée avec deux lasers (figure 3) et la surface micro-usinée avec trois lasers (figure 5).

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 23 pages numérotées de 1/23 à 23/23.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR4 (pages 17 à 19) sont à rendre avec la copie

Partie 2 : le document réponses (page 23) est à rendre avec la copie

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot piscine Zodiac RV 5600



Constitution du sujet

- Sujet pages 2 à 16
- Documents réponses..... pages 17 à 19

Les documents réponses DR1 à DR4 (pages 17 à 19) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : sciences de l'ingénieur

Mise en situation

Le robot RV 5600 de l'entreprise ZODIAC, (voir figure 1), fait partie d'une gamme de robot nettoyeur de piscine télécommandable à distance et à aspiration cyclonique. Les impuretés sont aspirées par un puissant tourbillon et stockées dans le filtre du robot.



Figure 1 : RV 5600

Les figures 2 et 3 spécifient les missions et les cas d'utilisation du système.

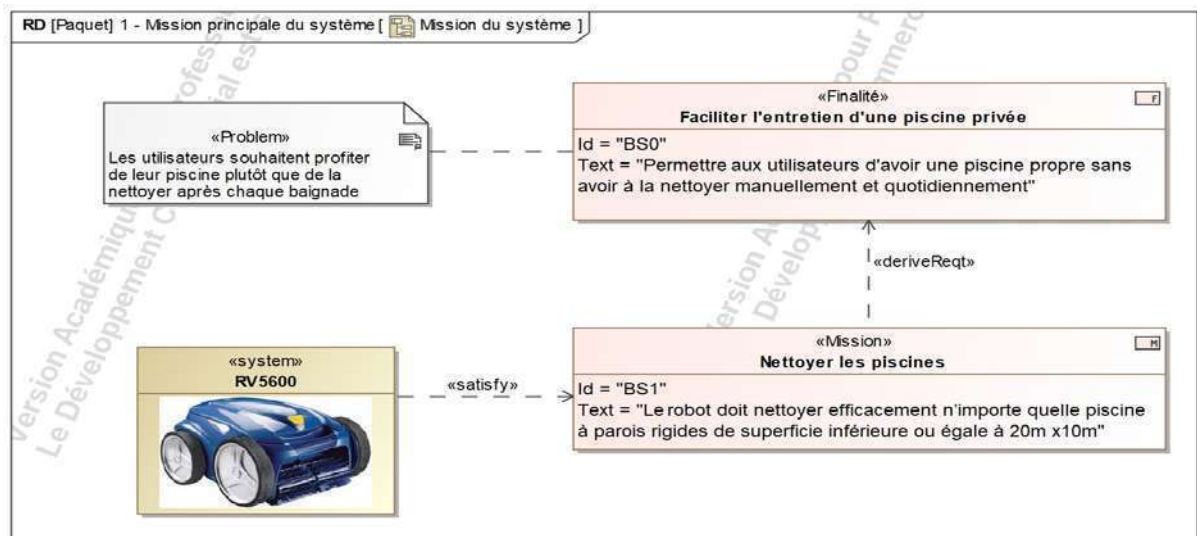


Figure 2 : missions du système

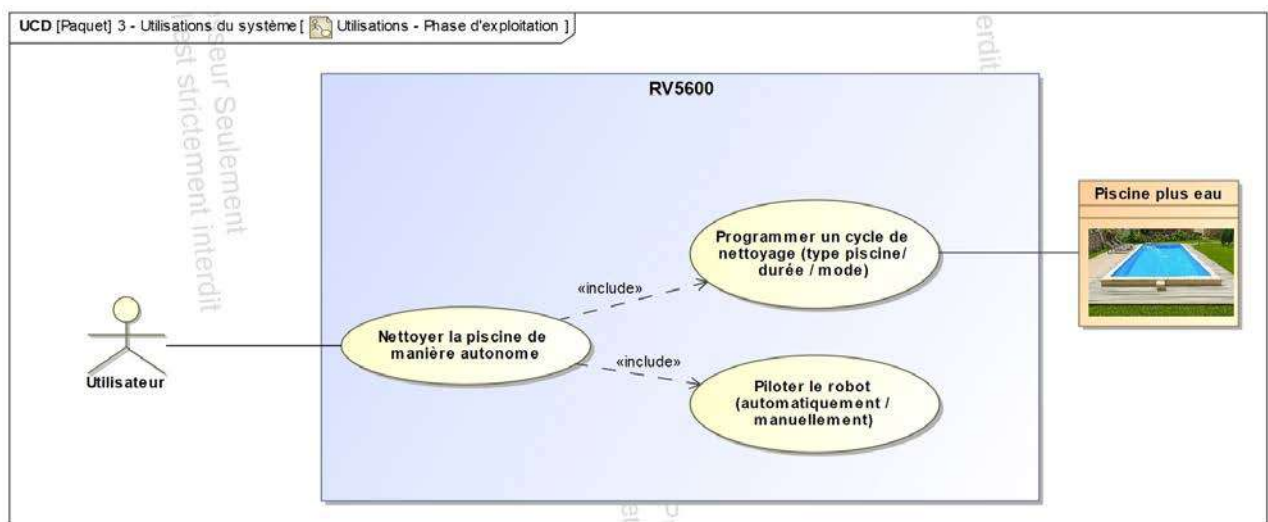


Figure 3 : diagramme des cas d'utilisation

La problématique abordée dans ce sujet est la suivante : comment le robot piscine RV 5600 nettoie-t-il efficacement toutes les piscines à parois verticales rigides de superficie inférieure ou égale à 20m x 10m ?

Sous-partie 1 : informer l'utilisateur

L'objectif est de valider les solutions d'information et de commande du robot.

Le diagramme partiel d'exigences figure 4 permet de vérifier certaines exigences de cette sous-partie.

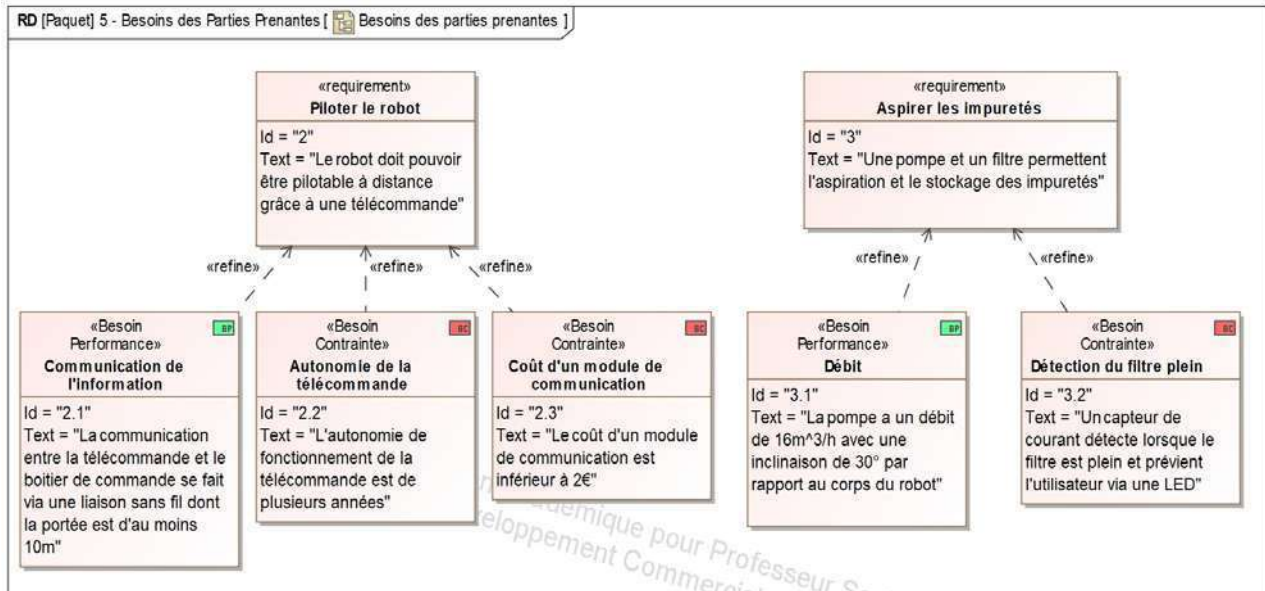


Figure 4 : diagramme partiel des exigences relatif au pilotage du robot et à l'aspiration des impuretés

Lors d'un cycle de nettoyage, le robot aspire des impuretés pouvant, avec le temps, colmater le filtre.

Cela conduit à une augmentation significative du courant consommé par le moteur électrique de la pompe.

Pour garantir l'efficacité du système d'aspiration, lorsque le courant moteur pompe atteint un certain seuil, un voyant lumineux émis par une LED (figure 5) avertit l'utilisateur sur la nécessité de procéder au nettoyage ou au remplacement du filtre.



Figure 5 : boîtier de commande avec la LED filtre plein

Les relevés de la figure 6 montrent l'évolution du courant du moteur pompe et le changement d'état de la LED.

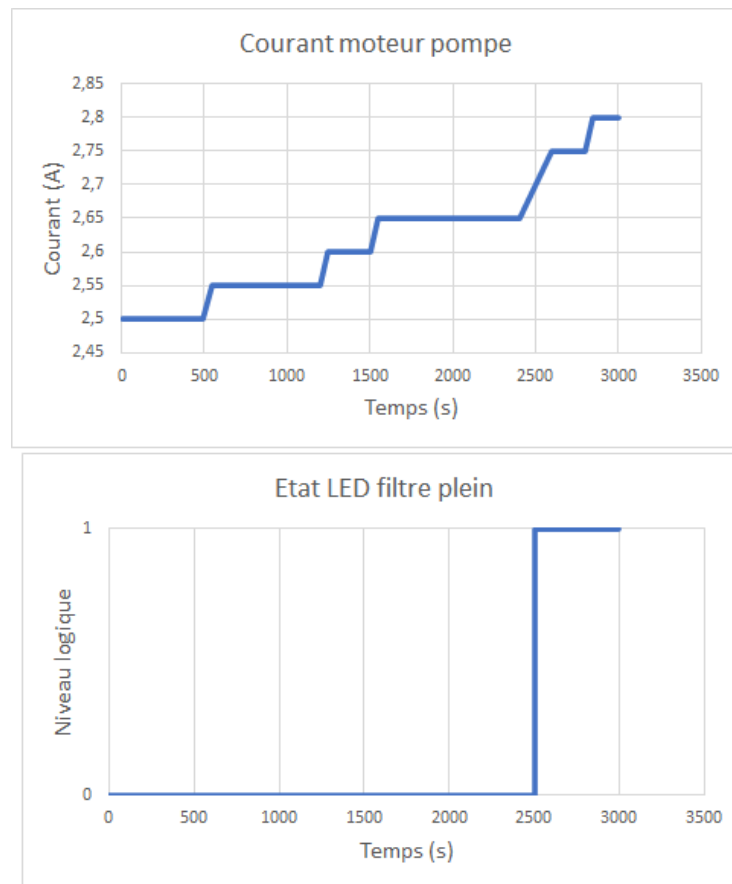


Figure 6 : mesure du courant moteur pompe et état de la LED filtre plein lors d'un nettoyage d'une piscine

Question 1.	Relever sur la figure 6 la valeur du seuil de courant I_{seuil} correspondant à la valeur du courant $I_{\text{moteur\_pompe}}$, lorsque le filtre est plein.
Figure 6	

Le boîtier de commande est équipé d'une carte électronique (figure 7). Le courant moteur $I_{\text{moteur\_pompe}}$ est mesuré via une résistance R_{shunt} . La tension correspondante U_e est numérisée sur 10 bits par le CAN de la carte électronique avec une tension de référence (pleine échelle) de 3 V.

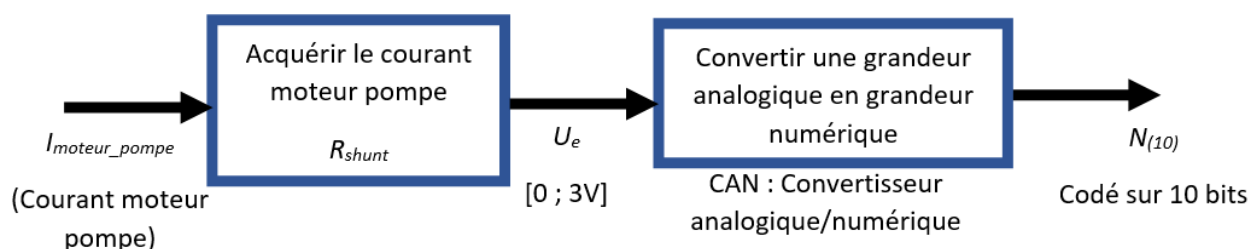


Figure 7 : chaîne d'acquisition simplifiée du courant moteur pompe

La figure 8 présente la relation entre l'évolution de tension U_e en fonction de l'intensité moteur $I_{\text{moteur\_pompe}}$.

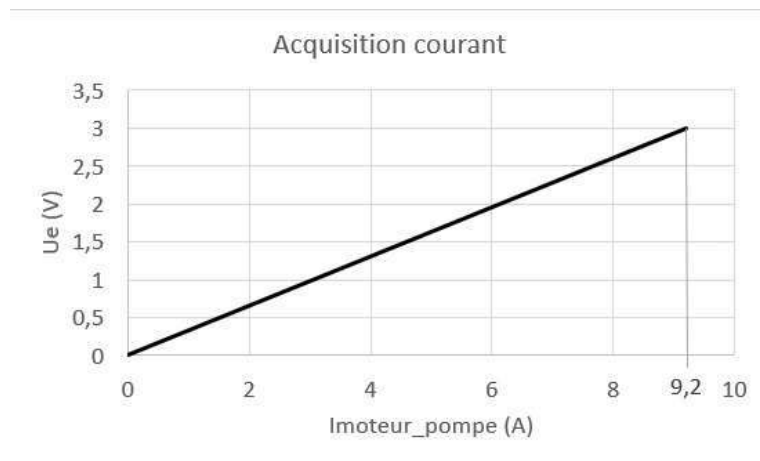


Figure 8 : courbe d'acquisition du courant moteur pompe

Question 2.	Déterminer à partir de la figure 8, la relation entre U_e et $I_{\text{moteur\_pompe}}$. En déduire la valeur de R_{shunt} .
Figure 8	

Question 3.	Déterminer la relation entre $N_{(10)}$ (valeur décimale de la grandeur numérique en sortie du CAN) et U_e . En déduire la relation entre $N_{(10)}$ et $I_{\text{moteur\_pompe}}$.
Figure 8	Montrer que $N_{\text{seuil}(10)} = \frac{0,326}{2,93 \times 10^{-3}} \cdot I_{\text{moteur\_pompe}}$.

Le principe de la détection « filtre plein » est décrit ci-dessous. Lors du lancement d'un cycle de nettoyage, le moteur pompe ainsi que les deux motoréducteurs de traction sont activés.

Toutes les 5 secondes, le courant moteur de la pompe est mesuré par la carte électronique. Si la valeur numérique est supérieure ou égale à la valeur $N_{\text{seuil}(10)}$, le voyant lumineux (LED) avertit l'utilisateur. Le mode paroi est alors désactivé car la force d'aspiration devient insuffisante pour plaquer le robot contre la paroi.

Question 4.	Compléter sur le document réponse DR1, le diagramme d'états qui avertit visuellement l'utilisateur et désactive le mode paroi lorsque le filtre est plein.
DR1	

Le robot est piloté à distance via une télécommande Kinetic et ramené en bord de piscine afin de nettoyer le filtre. Cette télécommande est équipée d'un accéléromètre dont l'inclinaison permet de diriger le robot.

La communication, entre la télécommande et le boîtier de commande, s'effectue à l'aide d'une liaison sans fil de type Zigbee transmettant les ordres souhaités au boîtier de commande (figure 9). Ce dernier communique alors les ordres au robot via la liaison filaire (Bus LIN).

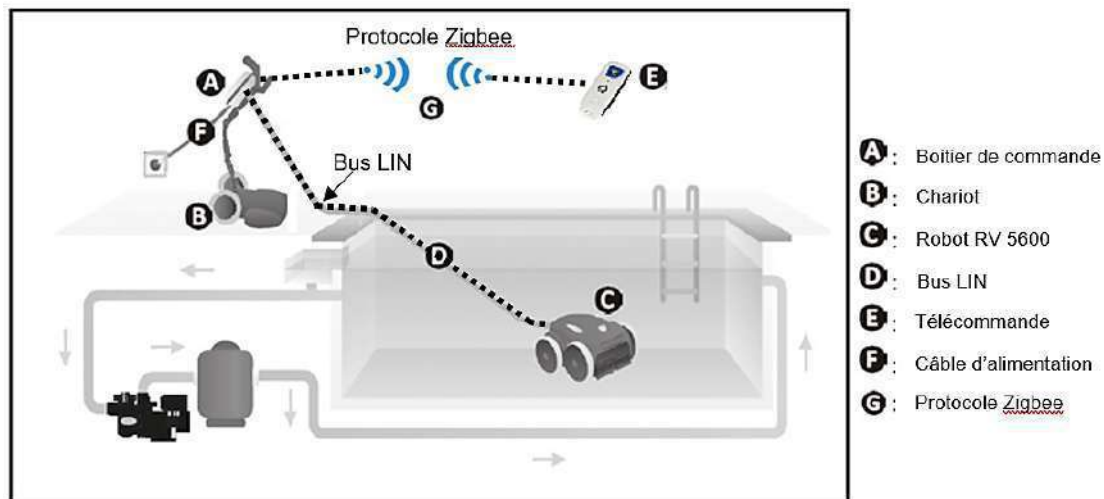


Figure 9 : schéma de principe du pilotage

Le tableau 1 présente les performances de quatre protocoles utilisés couramment.

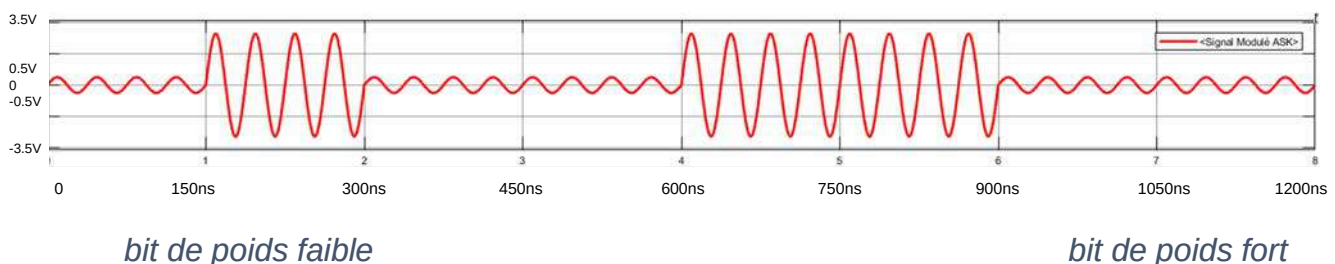
Caractéristique	Zigbee	Bluetooth Low Energy	Bluetooth	WIFI
IEEE	802.15.4		802.15.1 (BT 1.x)	802.11 a/b/g/n/ac
Besoin mémoire	4-32 ko		250 ko+	1 Mo+
Autonomie avec pile	Années	Années	Mois	Jours
Nombre de nœuds	65000+	Illimité	255	256+
Vitesse de transfert	20-250 kb/s	1 Mb/s	1-3 Mb/s	11-54-108-320-1000Mb/s
Portée (environ)	12 m	10m	10m	10m (802,11a) >300m (802,11b)
Coût (estimé)	1 €	4 €	4 €	5 €

Tableau 1 : tableau comparatif de trois protocoles par rapport à Zigbee

Question 5.	Justifier , au regard des données techniques et des exigences, le choix de ce type de liaison sans fil de type zigbee.
Tableau 1 et figure 4	

Lors de l'envoi d'un message de la télécommande vers le robot, une trame a été capturée par expérimentation. L'octet correspondant aux données (DATA) a été isolé et représenté figure 10. L'envoi d'un bit se fait sur un intervalle de temps de 150 ns.

Le niveau logique haut (1) correspond au signal sinusoïdal de plus forte amplitude et le niveau logique bas (0) correspond au signal sinusoïdal de plus faible amplitude.



Le robot est équipé de deux motoréducteurs identiques. Un motoréducteur transmet la puissance aux roues avant et arrière sur le flanc gauche et l'autre motoréducteur, aux roues avant et arrière sur le flanc droit.

Ordre télécommande	Données associées en Hexadécimal (0x1A signifie 1A en hexadécimal)	Caractéristiques de fonctionnement
Marche avant	0x32	Moteurs gauche et droit en sens horaire à 80 % de la vitesse maximale
Marche arrière	0x33	Moteurs gauche et droit en sens anti-horaire à 60 % de la vitesse maximale
Tourner à gauche	0x34	Moteur gauche à l'arrêt et moteur droit en sens horaire à 50 % de la vitesse maximale
Tourner à droite	0x35	Moteur gauche en sens horaire à 50 % de la vitesse maximale et moteur droit à l'arrêt

Tableau 2 : tableau de correspondance commande Zigbee

Exemple de lecture des données :

Les instructions Python associées aux commandes des moteurs sont

RV5600.Left_traction_motor (XX,YY) et *RV5600.Right_traction_motor (XX,YY)* avec les deux arguments suivants :

- XX correspond au pourcentage de la vitesse maximale de rotation des roues ;
- YY correspond au sens de rotation des roues
 - 1 , rotation dans le sens horaire ;
 - 1, rotation dans le sens anti-horaire ;
 - 0 , roues à l'arrêt.

Question 6.	À partir de l'extrait de trame figure 10 et du tableau 2 de correspondance, déterminer quelle commande a été envoyée au robot depuis la télécommande.
Figure 10 et tableau 2	

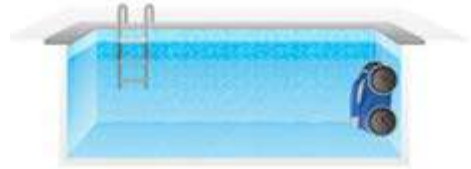
Question 7.	Proposer sur le DR2 les commentaires des lignes 18 à 21 du code Python. Compléter ensuite le script Python des lignes 22 à 26, permettant de commander le robot en marche avant à partir de la télécommande Kinétic.
DR2	

Question 8.	Conclure sur le DR3 quant au respect des exigences concernant la détection filtre plein et le pilotage du robot via la télécommande.
Figure 4 et DR3	

Sous-partie 2 : garantir le déplacement du robot sur une paroi verticale

L'objectif est de s'assurer que la chaîne de puissance permet un déplacement sur une paroi verticale.

Le déplacement du robot sur une paroi verticale d'une piscine est le cas le plus contraignant pour la motorisation.



La figure 11 définit les exigences partielles relatives aux déplacements du robot.

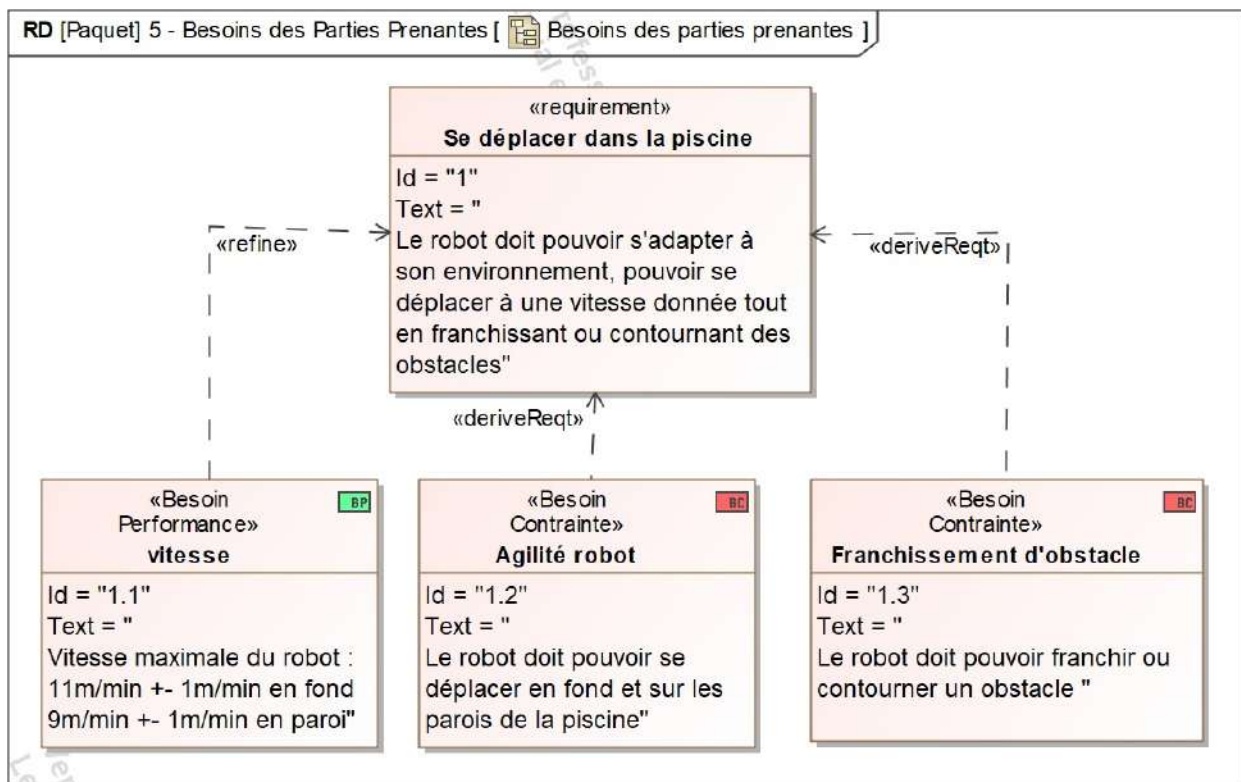


Figure 11 : diagramme partiel des exigences relatif au déplacement du robot

Le robot RV 5600 possède quatre roues motrices entraînées par deux motoréducteurs identiques. Un motoréducteur transmet la puissance aux roues avant et arrière sur le flanc gauche et l'autre motoréducteur, aux roues avant et arrière sur le flanc droit. La chaîne de puissance correspondant au diagramme de bloc interne du motoréducteur droit est présentée sur le document réponse DR4. La tension et le courant du motoréducteur est noté U_{motd} et I_{motd} .

Question 9.	Compléter le document réponse DR4 en indiquant les différentes grandeurs de flux et d'efforts avec leurs unités.
DR4	

Afin de dimensionner le couple en sortie du motoréducteur, une étude dynamique doit être réalisée. Les hypothèses simplificatrices de modélisation sont les suivantes :

- le robot se déplace à vitesse constante le long de la paroi ;
- le modèle proposé pour le robot (figure 12) présente une symétrie de géométrie et d'efforts suivant le plan médian ($G, \vec{x}, \vec{z}$) lors du déplacement du robot sur une paroi verticale de la piscine ;
- les efforts au niveau des deux roues avant seront modélisés dans le plan médian au niveau du point A, les efforts au niveau des deux roues arrière seront modélisés dans le plan médian au niveau du point B ;
- les roues roulent sans glisser sur la paroi verticale ;
- les actions de résistance au roulement sont négligées ;
- la masse du système isolé (ensemble constitué des 4 roues, du châssis et des motorisations droite et gauche), $M_r = 10,1 \text{ kg}$;
- l'accélération de la pesanteur, $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- les actions mécaniques extérieures appliquées sur le système isolé sont
 - $\vec{F}_{m1}$, action de contact de la paroi sur le robot appliqué au point A avec $F_{m1} = \|\vec{F}_{m1}\|$,
 - $\vec{F}_{m2}$, action de contact de la paroi sur le robot appliquée au point B avec $F_{m2} = \|\vec{F}_{m2}\|$,
 - $\vec{P}$, action de la pesanteur sur le robot appliquée au centre de gravité G,
 - $\vec{F}_{ej}$, action de l'éjection de l'eau appliquée au point C : $F_{ej} = \|\vec{F}_{ej}\| = 20 \text{ N}$,
 - $\vec{F}_{arch}$, action de la poussée d'Archimède appliquée au point G : $F_{arch} = \|\vec{F}_{arch}\| = 90 \text{ N}$,
 - $\vec{F}_{dep}$, action due à la dépression appliquée au point G : $F_{dep} = \|\vec{F}_{dep}\| = 31 \text{ N}$,
 - $\vec{F}_{brosse}$, action du mur due aux frottements des brosses appliquée au point B
 $F_{brosse} = \|\vec{F}_{brosse}\| = 20 \text{ N}$,
 - $\vec{F}_{trainée}$, action due à la résistance à l'avancement appliquée au point G
 $F_{trainée} = \|\vec{F}_{trainée}\| = 7 \text{ N}$.

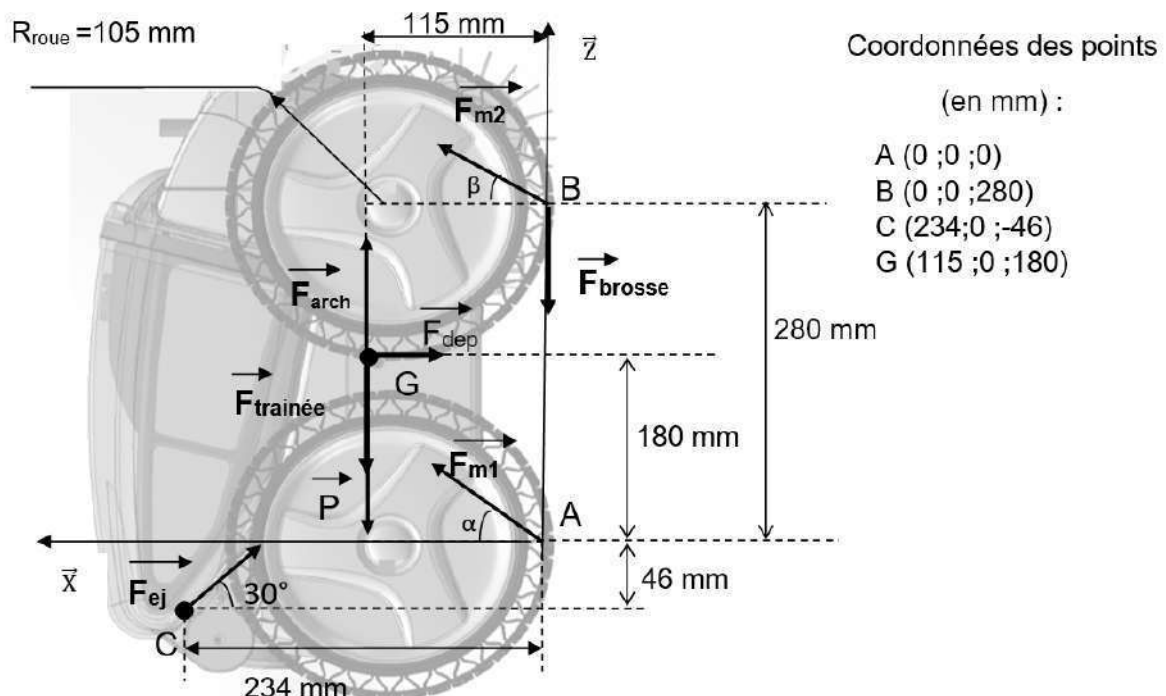


Figure 12 : modélisation des actions mécaniques extérieures exercées sur le robot dans le plan ($A, \vec{x}, \vec{z}$)

Question 10.	Montrer , en appliquant le théorème de la résultante dynamique, les équations scalaires suivantes :
Figure 12	Équation 1 sur Z : $F_{m1} \cdot \sin \alpha + F_{m2} \cdot \sin \beta - M_r \cdot g - F_{\text{traînée}} + F_{ej} \cdot \sin(30^\circ) + F_{\text{arch}} - F_{\text{brosse}} = 0$ Équation 2 sur X : $F_{m1} \cdot \cos \alpha + F_{m2} \cdot \cos \beta - F_{ej} \cdot \cos(30^\circ) - F_{\text{dep}} = 0$

Question 11.	Montrer , en appliquant le théorème du moment dynamique au point B, l'équation scalaire suivante :
Figure 12	Équation 3 sur Y : $115 \cdot M_r \cdot g + 100 \cdot F_{\text{dep}} + 115 \cdot F_{\text{traînée}} - 115 \cdot F_{\text{arch}} - 280 \cdot F_{m1} \cdot \cos \alpha + 326 \cdot F_{ej} \cdot \cos(30^\circ) - 234 \cdot F_{ej} \cdot \sin(30^\circ) = 0$

L'étude est menée à la limite du glissement au niveau de la roue arrière dans le cas le plus défavorable (paroi sale, algues), avec $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 25^\circ$ pour un coefficient de frottement $f = 0,57$.

Les projections sur l'axe $\vec{z}$ des actions $\vec{F}_{m1}$ et $\vec{F}_{m2}$ correspondent aux actions tangentielles en A et B au niveau du contact des roues avec la paroi. Elles sont notées respectivement F_{m1z} et F_{m2z} .

Les trois équations obtenues permettent de déterminer les actions tangentielles au niveau du contact des roues avec la paroi dans le cas limite. Ainsi les valeurs des actions tangentielles sont égales à $F_{m1z} = 17 \text{ N}$ et $F_{m2z} = 9 \text{ N}$ pour les deux motorisations droite et gauche.

La chaîne de puissance du flanc droit est représentée en figure 13 :

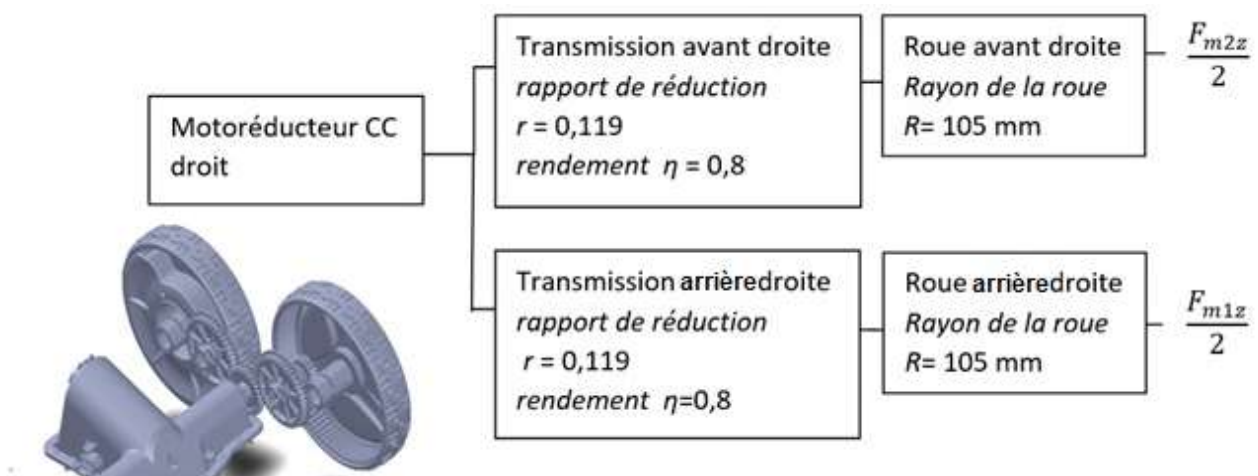


Figure 13 : chaîne partielle de puissance du flanc droit

Question 12.	Vérifier que le couple C_m en sortie du motoréducteur droit a une valeur proche de $0,2 \text{ N}\cdot\text{m}$.
Figure 13	

Un modèle multiphysique, présenté en figure 14, est élaboré pour simuler le comportement du robot. Afin de valider ce modèle, les résultats issus de l'expérimentation sont comparés avec ceux issus du modèle.

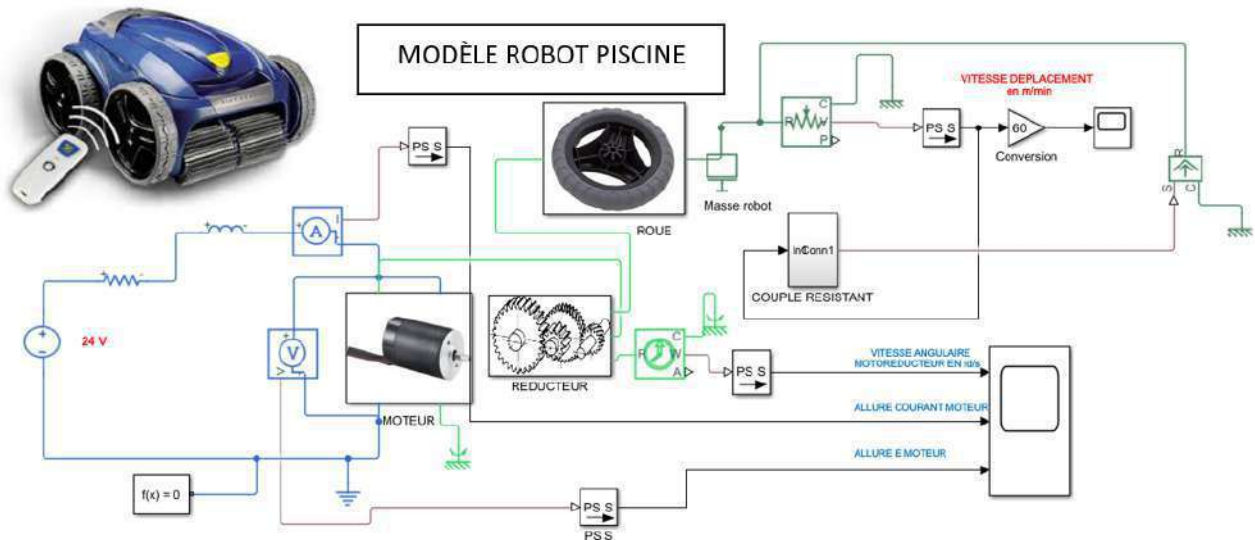


Figure 14 : modèle multiphysique de la chaîne de puissance

Des mesures expérimentales en piscine ont permis de relever le courant consommé par un motoréducteur. Ces mesures ont été réalisées lors de la montée du robot sur une paroi verticale à vitesse constante dans les mêmes conditions que l'étude précédente. Les courbes du courant absorbé issues du modèle multiphysique et de l'expérimentation sont fournies figure 15. Les caractéristiques du motoréducteur sont données figure 16.

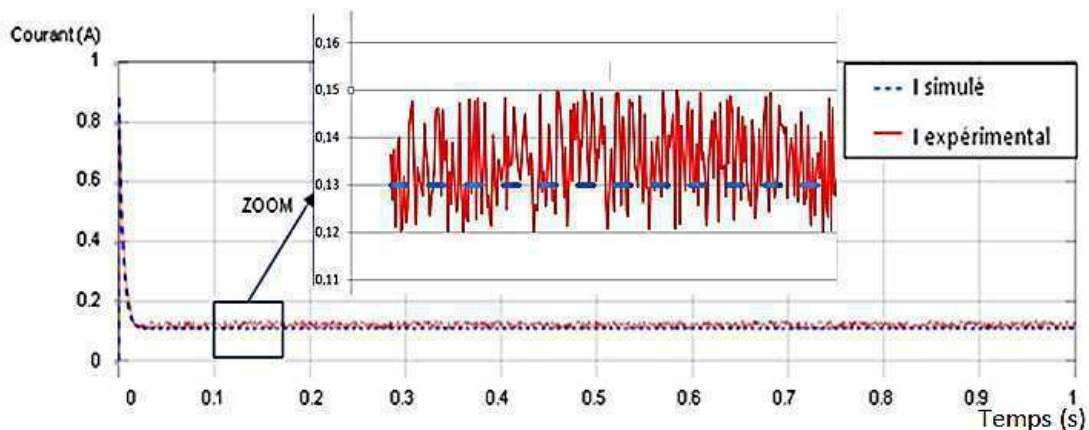


Figure 15 : courbes des courants expérimentaux et simulés pour un motoréducteur

Données techniques motoréducteur :

R_m (induit) = $26.8 \, \Omega$	$K_c = 1,55 \, \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$	$K_e = 1,55 \, \text{V}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$
Conditions nominales :	$N_m = 112 \, \text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$	$C_m = 220 \, \text{mN}\cdot\text{m}$
	$P_u = 2,6 \, \text{W}$	
	$U_{\text{nominal}} = 24 \, \text{V}$	

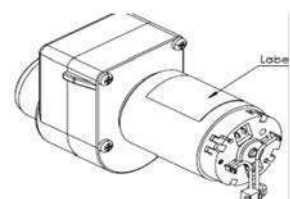


Figure 16 : caractéristiques du motoréducteur

Question 13.	Relever sur la figure 15 les valeurs du courant consommé en régime permanent dans les cas de l'expérimentation (valeur moyenne de $I_{\text{expérimental}}$) et du modèle multiphysique ($I_{\text{simulé}}$). Le modèle est considéré valide si l'écart relatif entre ces deux valeurs est inférieur à 10 %. Conclure.
Figure 15	

Question 14	Retrouver la valeur du couple moteur C_{m_simu} à partir de la courbe simulée et comparer à la valeur C_m déterminée précédemment.
Figure 15 et 16	
Question 12 et 13	

La courbe de vitesse angulaire de l'arbre de sortie du motoréducteur issue du modèle multiphysique est représentée figure 17.

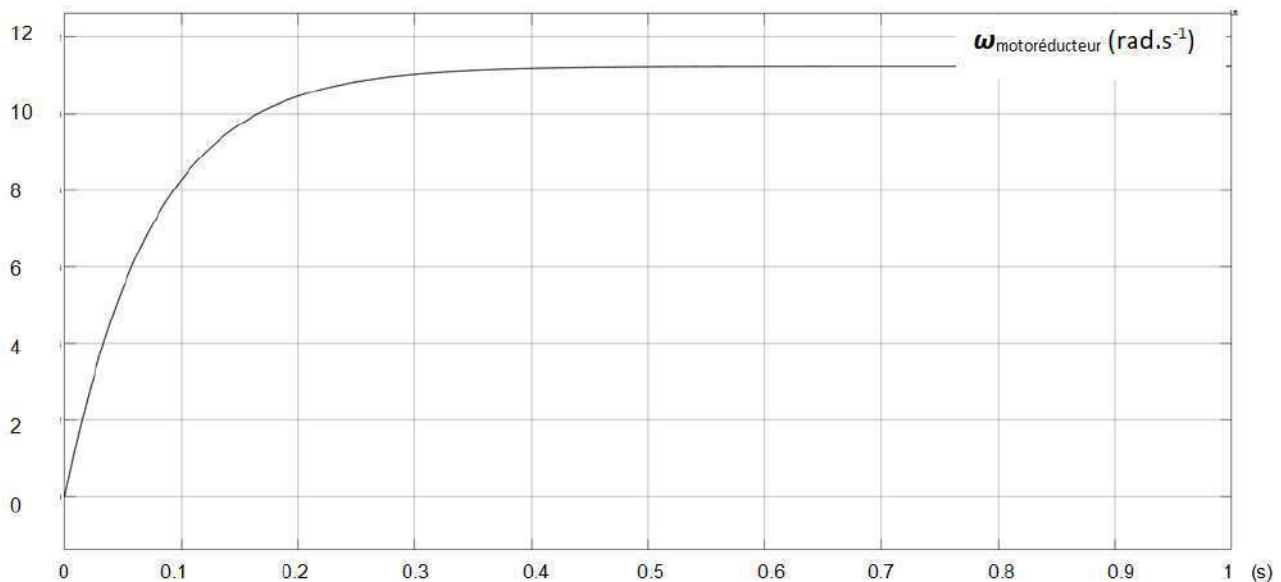


Figure 17 : relevé de la vitesse angulaire de l'arbre de sortie du motoréducteur

Question.15	À partir des figures de 17 et 13, déterminer la vitesse de déplacement V_{robot} du robot en $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ en régime établi. Conclure quant au respect de l'exigence 1.1, figure 11.
Figures 11, 13 et 17	

Sous-partie 3 : assurer l'autonomie énergétique du robot

L'objectif est de valider la performance d'autonomie énergétique exigée du robot.

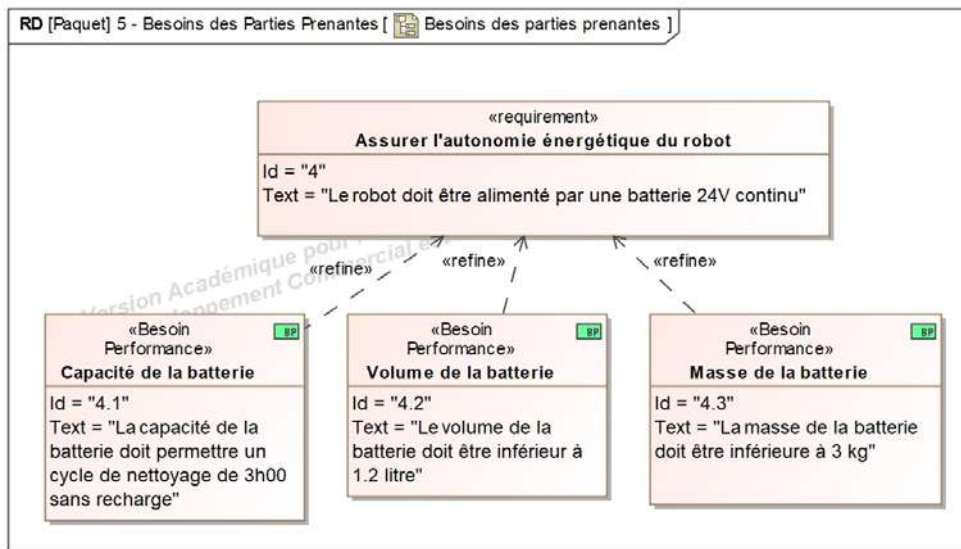


Figure 18 : diagramme partiel des exigences relatif à l'autonomie énergétique du robot

Un essai dans une piscine sur un parcours type constitué de 6 phases, d'une durée totale de 2 minutes est défini ci-dessous :

- Phase 1 : 0 à 40 s fond de la piscine marche avant ;
- Phase 2 : 40 à 50 s montée paroi ;
- Phase 3 : 50 à 60 s descente paroi ;
- Phase 4 : 60 à 64 s fond de la piscine marche arrière ;
- Phase 5 : 64 à 68 s fond de la piscine rotation droite 90° ;
- Phase 6 : 68 à 120 s fond de la piscine marche avant.

Une représentation simplifiée de la puissance électrique consommée par les moteurs du robot, lors de cet essai, est donnée figure 19.

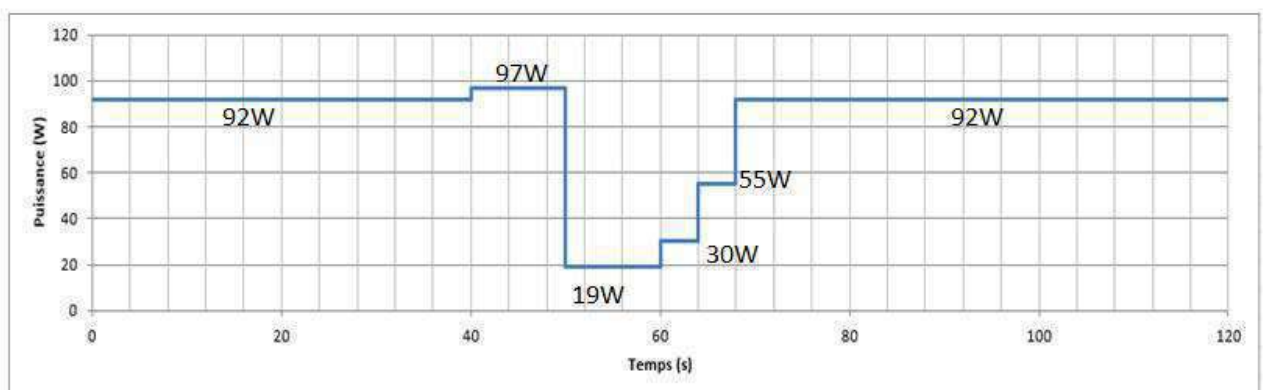


Figure 19 : relevé des puissances électriques consommées par les motorisations du robot lors des différentes phases

Question 16	À partir de la figure 19, calculer l'énergie électrique W_{moteurs} consommée en Joule puis en W.h (rappel $1\text{J} = 1\text{ W.s}$) par les moteurs de propulsion et de pompe sur un parcours type.
Figure 19	

Sur un parcours type de 2 minutes, les composants électroniques consomment un courant moyen de 0,5 A sous une tension d'alimentation de 5 V.

Question 17	Calculer l'énergie électrique $W_{\text{électronique}}$ consommée en Joule puis en W.h par les composants électroniques sur un parcours type. En déduire l'énergie électrique W_{cycle} consommée pour un cycle.

Un cycle de nettoyage est constitué d'une succession de parcours types.

Le robot est alimenté par une batterie de tension nominale $U_{\text{batterie}} = 24\text{ V}$.

Afin d'optimiser la durée de vie de la batterie, il est préconisé de ne pas décharger la batterie au-delà de 80 % (profondeur de décharge) de sa capacité nominale de charge.

Question 18	Déterminer l'énergie minimale W_{batterie} de la batterie en W.h satisfaisant l'exigence 4.1 (figure 18). En tenant compte de la profondeur de décharge de la batterie, en déduire sa capacité minimale Q_{batterie} en A.h.
Figure 18	

Le constructeur a choisi la technologie Lithium-ion pour sa durée de vie élevée (> 500 cycles) ainsi que sa grande énergie massique et volumique.

Les caractéristiques d'un module lithium-ion sont présentées dans le tableau 3.

Énergie massique ($\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Énergie volumique ($\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{L}^{-1}$)	Durée de vie : nombre de cycles (charge / décharge)	Profondeur de décharge (DOD)	Tension nominale d'un module	Capacité nominale d'un module
120	300	800	80 %	3,6 V	3,4 A.h

Tableau 3 : caractéristiques d'un module de batterie lithium-ion

Les règles d'association de modules de batteries sont rappelées sur la figure 20.

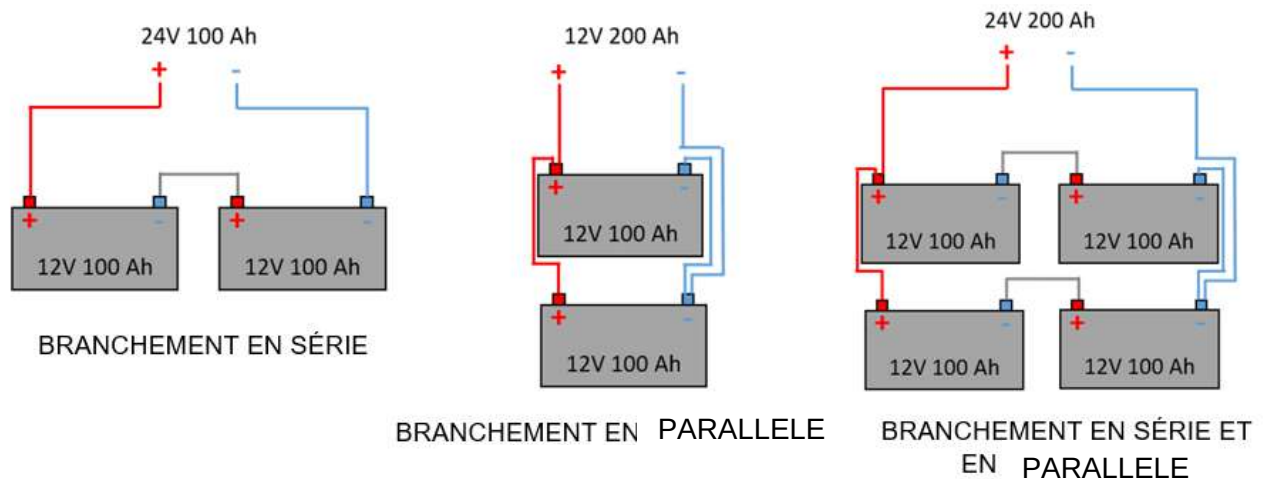


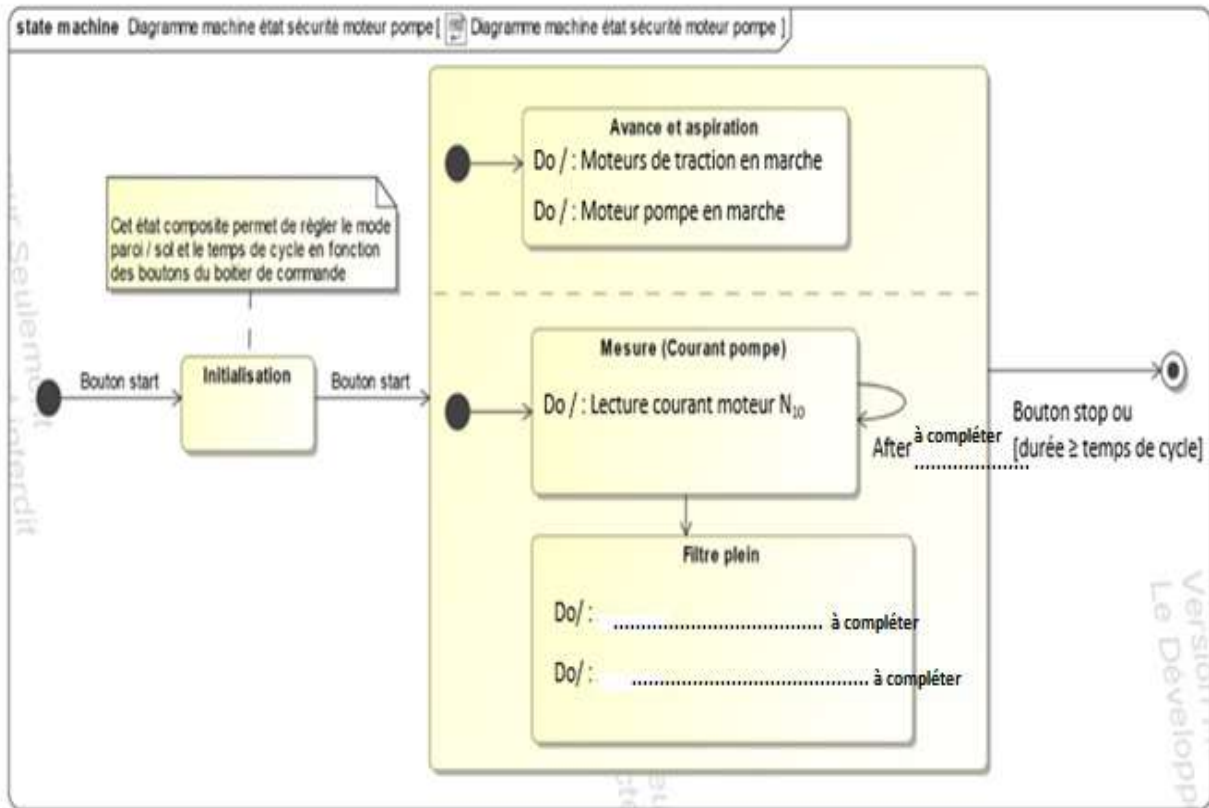
Figure 20 : associations possibles de modules de batteries (exemple donné pour un module 12 V et 100 A·h)

Quelle que soit la valeur trouvée à la question 18, la capacité minimale de la batterie est prise égale à $Q_{\text{minimal\_batterie}} = 13,5 \text{ A}\cdot\text{h}$ avec une tension nominale $U_{\text{batterie}} = 24 \text{ V}$.

Question 19	Proposer une association de modules permettant de réaliser la batterie souhaitée. Déterminer le nombre nécessaire de modules. Montrer qu'il est possible de stocker 343 W·h dans cette batterie
Tableau 3 Figure 20	
Question 20	À partir du tableau 3, déterminer la masse en kg et le volume en litres de cette batterie. Conclure quant au respect des exigences 4.2 et 4.3 données dans le diagramme de la figure 18.
Tableau 3 Figure 18	

Document réponse DR1

Question 4 :

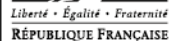


(en majuscules)

[illegible]

RENOM :
(en majuscules)

[illegible][illegible]



Né(e) le :

Document réponse DR2

Question 7 :

```
1  import zigbee                                # Importation de la librairie Zigbee
2  From RV5600 import*                          # Importation de la librairie RV5600
3
4  """ Initialisation """
5  RV5600.pump_motor (0,0)                      # Arrêt du moteur pompe
6  RV5600.Left_traction_motor (0,0)            # Arrêt du moteur traction gauche
7  RV5600.Right_traction_motor (0,0)           # Arrêt du moteur traction droit
8  RV5600.State_LED = 0                        # Désactivation de la led
9  RV5600.Wall_mode = 0                        # Désactivation du mode paroi
10
11 # Instantiate a Zigbee device object.
12 device = ZigBeeDevice("COM1", 9600)
13 device.open()
14
15 # Read data.
16 xbee_msg = device.read_expl_data()            # Stocke dans xbee_msg les données lues
17                                              # via la liaison Zigbee
18 if xbee_msg == 0x33 :                        #..... à compléter
19     RV5600.Left_traction_motor (60,-1)       #..... à compléter
20
21     RV5600.Right_traction_motor (60,-1)      #..... à compléter
22 elif xbee_msg == .....                      # à compléter
23
24     RV5600.Left_traction_motor .....        # à compléter
25
26     RV5600.Right_traction_motor .....        # à compléter
27
28 elif xbee_msg == 0x35 :
29     RV5600.Left_traction_motor (50,1)        # Activation du moteur gauche avec une PWM
30     .....                                     # à 50% et rotation marche avant
31     RV5600.Right_traction_motor (0,0)        # Arrêt du moteur droit
32 elif xbee_msg == 0x34 :
33     RV5600.Left_traction_motor (0,0)
34     RV5600.Right_traction_motor (50,1)
```

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

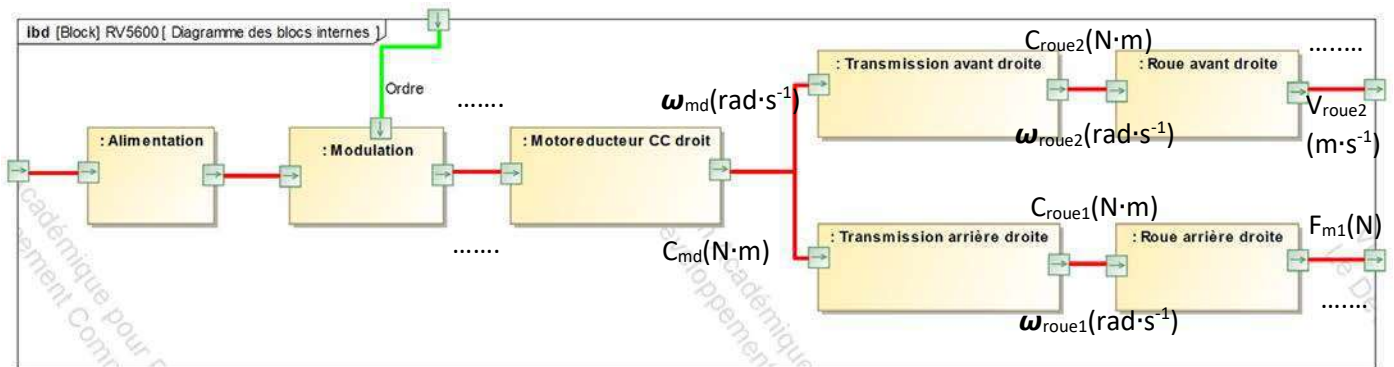
Document réponse DR3

Question 8 :

Exigences	Valeur et/ou niveau attendus	Valeur et/ou solutions trouvées	Validité	Justification
Portée communication				
Autonomie avec pile				
Coût module				
Détection filtre plein				

Document réponse : DR4

Question 9 :

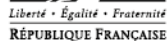


(en majuscules)

[illegible]

RENOM :
(en majuscules)

[illegible][illegible]



Né(e) le :

		/			/				

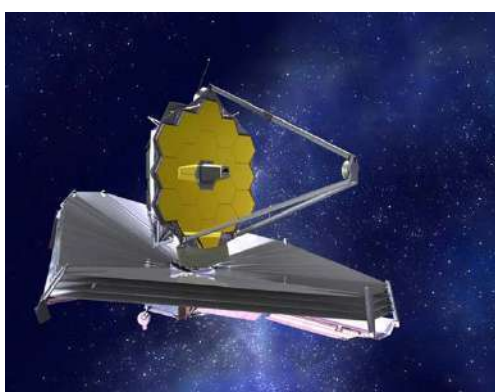
Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Mouvement du télescope James-Webb dans un champ de gravitation

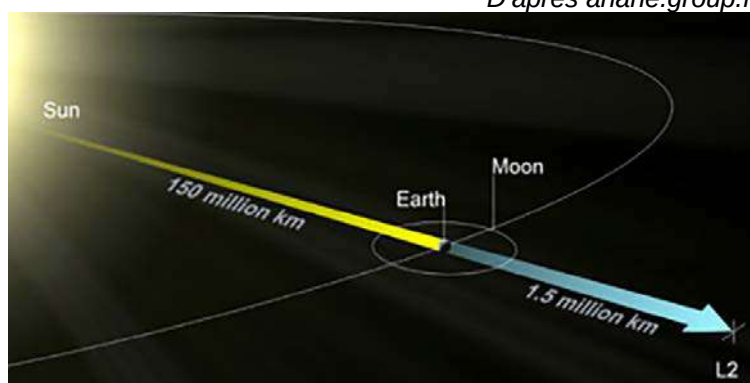
Le télescope spatial James-Webb, lancé par Ariane 5 le 25 décembre 2021, stationne au point de Lagrange L_2 pour effectuer sa mission d'observation de l'espace lointain. L_2 est situé à environ 1,5 million de km de la Terre, soit à 1 % seulement de la distance Soleil-Terre. C'est un bon emplacement pour un observatoire de l'espace lointain comme l'est James-Webb.

L_2 est l'un des cinq points remarquables du système Soleil-Terre. Tout objet de faible masse qui s'y trouve garde sa position relative par rapport à la Terre et au Soleil en dehors de toute perturbation. Cet alignement assure au télescope de demeurer dans l'ombre portée de la Terre et donc à l'abri du rayonnement thermique du Soleil.

D'après ariane.group.fr



Télescope James-Webb



Position du point L_2 par rapport à la Terre et au Soleil

Données :

Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$

Masse du Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$

Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$

Masse de James-Webb : $m = 6 \times 10^3 \text{ kg}$

Distance moyenne Soleil James-Webb : $D = 1,51 \times 10^{11} \text{ m}$

Distance moyenne Terre James-Webb : $d = 1,50 \times 10^9 \text{ m}$

Durée d'une année terrestre : 365,24 jours

On étudie le système {télescope James-Webb}, représenté par le point J, dans le référentiel héliocentrique supposé galiléen. Il subit simultanément l'interaction gravitationnelle du Soleil et celle de la Terre. Son mouvement est considéré ici comme circulaire, comme l'est celui de la Terre.

1. Positionner, sans souci d'échelle, sur le schéma du **DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE**, la base de Frenet au point L_2 ainsi que les forces gravitationnelles exercées par le Soleil S sur J, $\vec{F}_{S/J}$, et par la Terre T sur J, $\vec{F}_{T/J}$

2. À partir de la deuxième loi de Newton, montrer que dans l'approximation d'une trajectoire circulaire, le mouvement de J est uniforme.

3. Montrer que l'expression de la valeur de la vitesse v de J dans le référentiel héliocentrique

est : $v = \sqrt{D \times G \times \left(\frac{M_T}{d^2} + \frac{M_S}{D^2} \right)}$.

La valeur v de la vitesse du télescope est d'environ $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ (proche de celle de la Terre).

4. Établir l'expression de la période de révolution T du télescope spatial James-Webb en fonction de D et v .

5. Calculer la période de révolution T du télescope, exprimée en jours. Conclure en commentant « l'alignement » du télescope.

EXERCICE B – Évolution de la température dans une bouteille isotherme

« Une bouteille isotherme est bien utile en milieu froid, en montagne par exemple. Cela permet de se réchauffer, de conserver de l'eau chaude pour un repas ultérieur. . Le matin par exemple, il peut être inutile de rallumer le réchaud, si la veille, on a fait chauffer l'eau pour le lendemain". ».

D'après <https://www.expemag.com/article/hydratation/test-thermos>

On modélise l'évolution de la température à l'intérieur d'une bouteille isotherme en fonction du temps, sachant qu'on verse de l'eau à 92°C dans la bouteille isotherme, puis qu'on place la bouteille dans une pièce de température constante à $T_{ext} = 12^\circ\text{C}$. On mesure au cours du temps avec une sonde thermométrique la température de l'eau sans ouvrir la bouteille.

1. Citer les trois modes de transfert thermique.

2. Indiquer le mode du transfert thermique à travers la paroi de la bouteille et son sens.

On suppose que l'équation différentielle suivante modélise l'évolution de la température $T(t)$ de l'eau à l'intérieur de la bouteille isotherme en fonction du temps :

$$\frac{dT(t)}{dt} = \frac{1}{\tau} (T_{ext} - T(t))$$

3. Déterminer la dimension de la constante τ en la justifiant.

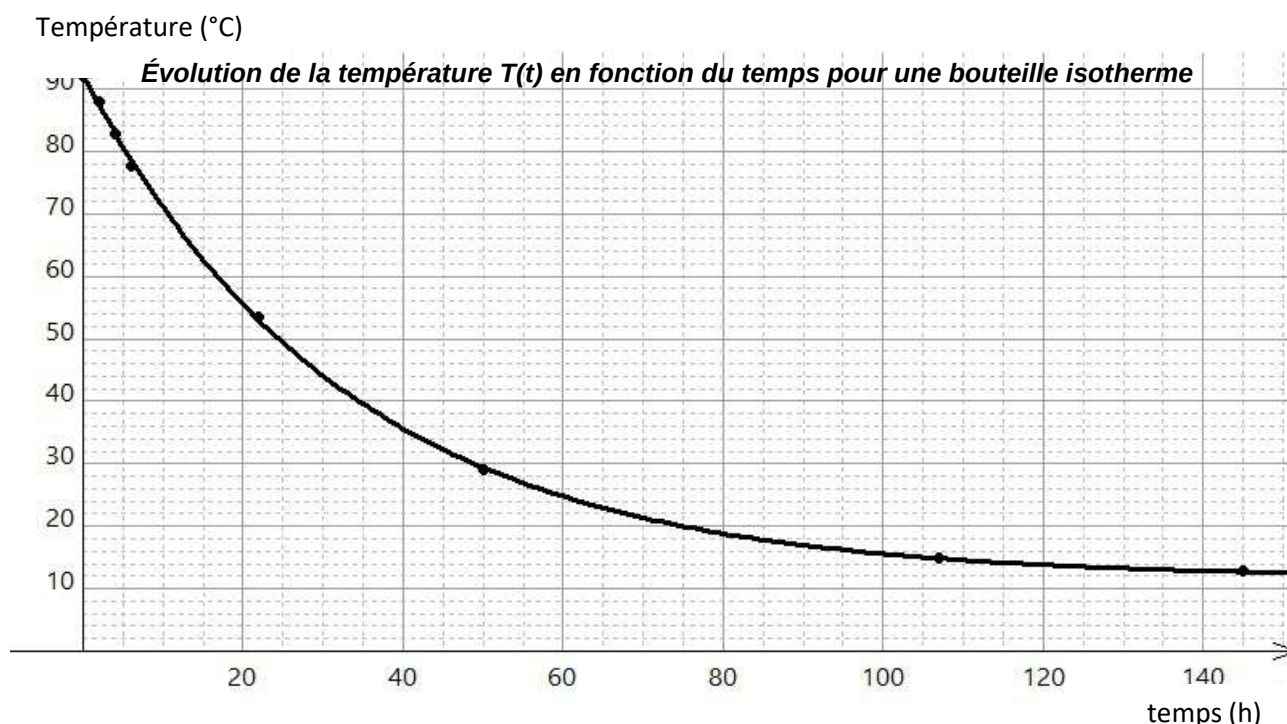
La température de l'eau en fonction du temps, solution de cette équation différentielle, est de la forme :

$$T(t) = A \times e^{-\frac{t}{\tau}} + B \quad \text{avec } A, B \text{ et } \tau \text{ des constantes.}$$

L'origine du temps $t = 0$ est choisie au moment où l'eau à la température $T_{ini} = 92^\circ\text{C}$ est versée.

4. Établir les expressions de A et de B en fonction de la température initiale T_{ini} et de la température extérieure T_{ext} , puis calculer A et B .

La modélisation de l'évolution de la température $T(t)$ de l'eau en fonction du temps dans la bouteille isotherme est représentée ci-dessous :



5. Positionner T_{ini} , T_{ext} sur le graphique représenté dans le **DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

6. Montrer, par une méthode graphique, que la valeur de τ est d'environ 35 heures.

7. Lors d'une randonnée en montagne, une bouteille isotherme différente est utilisée. Elle est caractérisée par une valeur de τ égale à 51,2 heures. De l'eau à haute température est versée dans la bouteille le soir à 21 h. La loi $T(t) = A \times e^{-\frac{t}{\tau}} + B$ reste ici valable mais les nouvelles conditions de température donnent ici $A = 78$ °C et $B = 10$ °C. Sachant que pour faire infuser un thé, la température de l'eau doit être supérieure à 70°C, calculer jusqu'à quelle heure le lendemain matin, il est possible de faire infuser un thé au petit déjeuner. Conclure.

Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

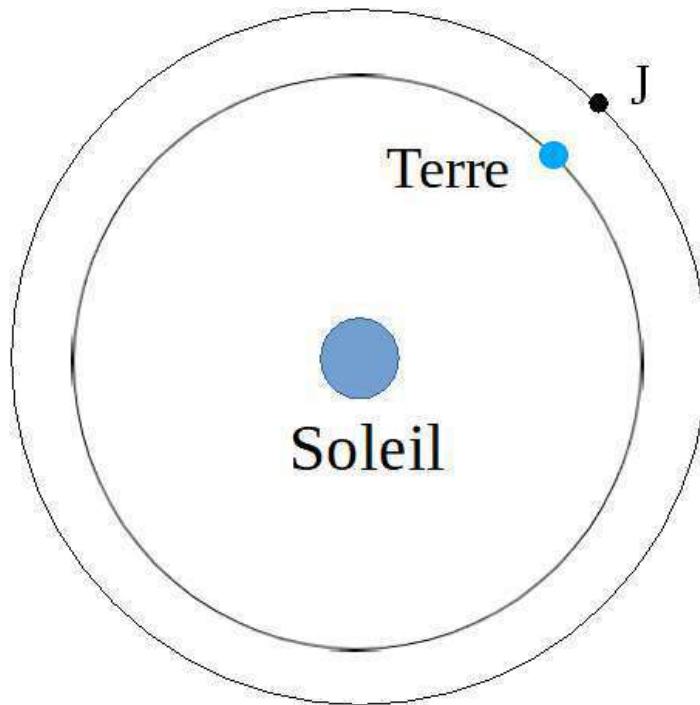
Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE A – Mouvement du télescope James-Webb dans un champ de gravitation

Question 1.

Schéma de l'orbite de la Terre et de J (en L_2) autour du Soleil (l'échelle n'est pas respectée).

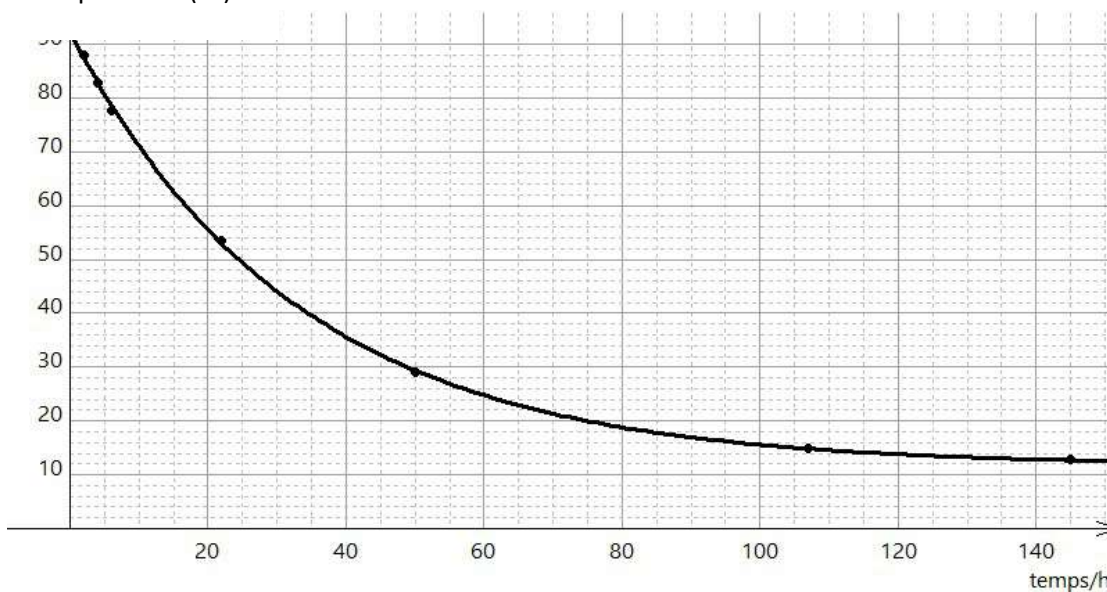


EXERCICE B – Évolution de la température dans une bouteille isotherme

Question 5.

Évolution de la température $T(t)$ en fonction du temps pour une bouteille isotherme.

Température (°C)



1.2

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

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 20 pages numérotées de 1/20 à 20/20.

**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 14 à 15) sont à rendre avec la copie.

PARTIE 1- SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Vélo à assistance électrique



Constitution du sujet

- sujet pages 3 à 13
- documents réponses..... pages 14 à 15

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 14 à 15) sont à rendre avec la copie.

Vélo à assistance électrique

L'étude porte sur un vélo à assistance électrique (VAE). Le vélo à assistance électrique est un véhicule hybride qui associe l'énergie du cycliste à celle d'un moteur électrique. L'assistance électrique se met en route seulement lorsque le cycliste pédale et elle se coupe à l'arrêt du pédalage. De même, l'assistance se coupe automatiquement dès qu'il atteint la vitesse de croisière de $25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Le modèle de VAE étudié (figure 1) possède les caractéristiques suivantes :

- masse : 20 kg ;
- diamètre roue arrière avec le pneu : 27,5" soit 69,85 cm ;
- couple moteur maximum : 42 N·m ;
- puissance maximale moteur : 250 W ;
- longueur de la manivelle du pédalier : 17,5 cm.



Figure 1 : VAE étudié

Par ailleurs, ce modèle de VAE possède trois modes d'assistance décrits en figure 2.

Mode	% d'apport d'assistance électrique	Pour 100 W de puissance musculaire appliquée, la roue arrière fournira
Mode 1	+ 0 %	100 W
Mode 2	+ 60 %	160 W
Mode 3	+ 150 %	250 W

Figure 2 : différents modes d'assistance du VAE

Le diagramme SysML de blocs internes du VAE étudié est présenté en figure 3.

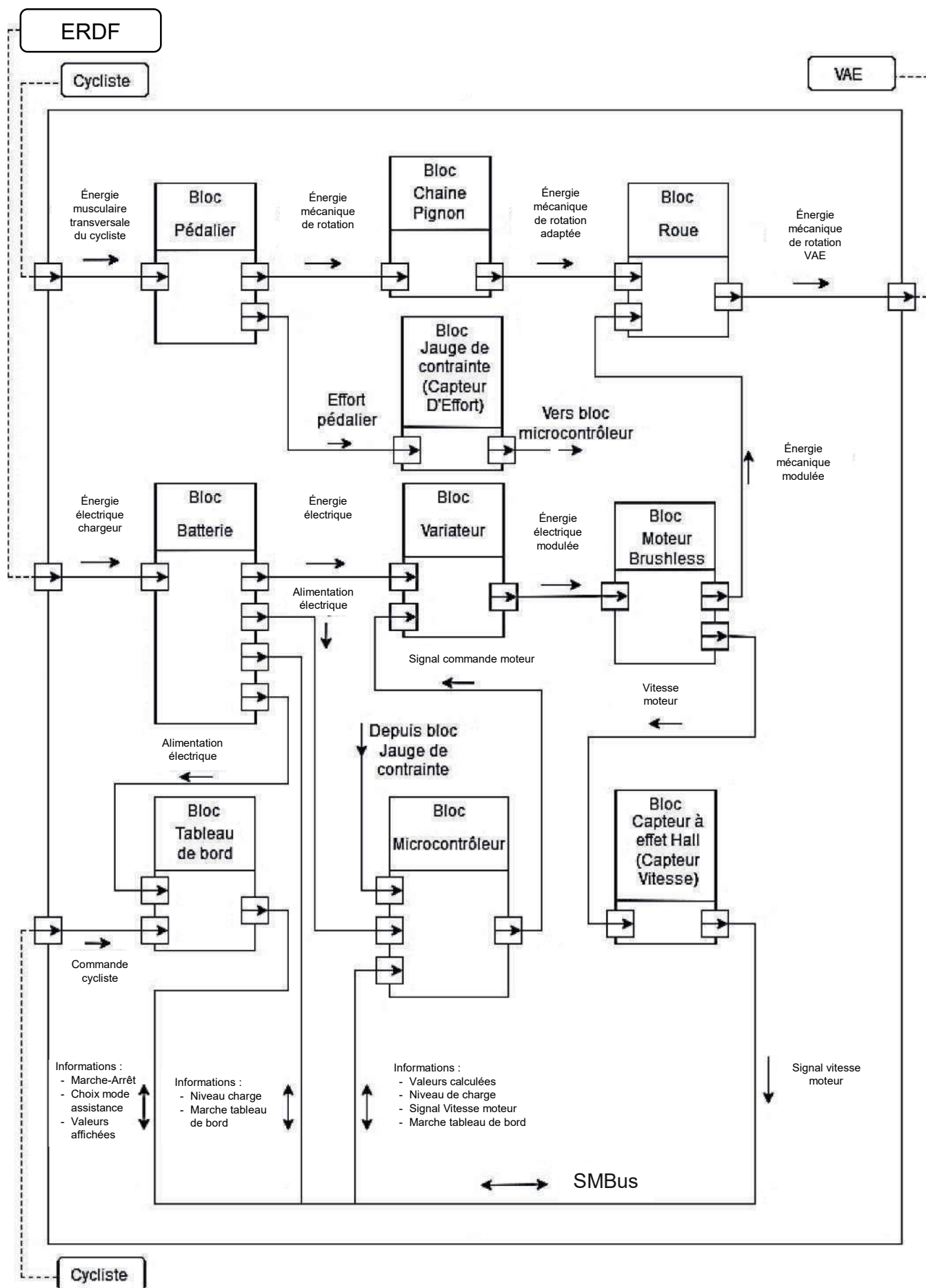


Figure 3 : diagramme SysML de blocs internes

Sous-partie 1

Étude comparative des performances

L'objectif de cette sous-partie est d'étudier les différences de performances entre le vélo avec ou sans assistance électrique.

Question 1.1 À l'aide de la figure 3, **compléter** le document réponse DR1 en indiquant le nom des quatre blocs manquants sur le schéma fonctionnel de la chaîne de puissance de l'assistance électrique du VAE.

Question 1.2 À l'aide de la description du fonctionnement du système et de la figure 3, **expliquer** à quoi servent les blocs « Jauge de contrainte » et « Capteur à effet hall ».

La figure 4 présente les différents niveaux de puissance requis (cycliste et moteur) pour gravir une pente de 4 % et la puissance que peuvent fournir indépendamment le cycliste et le moteur d'assistance.

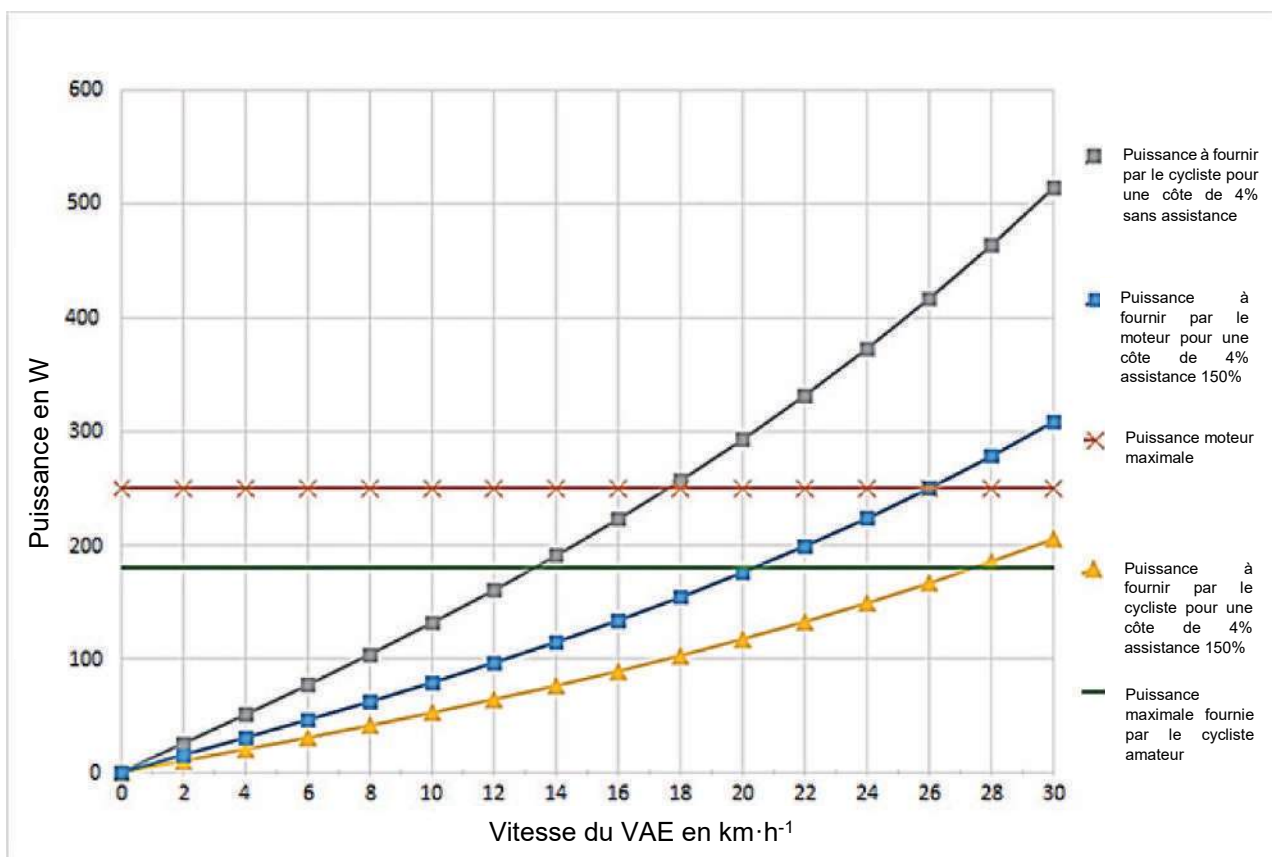


Figure 4 : puissances nécessaires au déplacement de VAE en fonction de la vitesse du VAE pour une pente à 4 %

Question 1.3 À l'aide de la figure 4 et sachant que la puissance que peut fournir le cycliste ne peut excéder 180 W, **déterminer** les deux vitesses que le VAE peut atteindre (avec et sans assistance) lors de la montée d'une côte de 4 %.

On note $\omega_{\text{pédalier}}$ la vitesse angulaire du pédalier et ω_{roueAR} la vitesse angulaire de la roue arrière. Le rapport de transmission entre le pédalier et la roue arrière vaut : $\frac{\omega_{\text{roueAR}}}{\omega_{\text{pédalier}}} = \frac{12}{5}$.

Question 1.4 À l'aide des caractéristique du VAE, **montrer** que la valeur de $\omega_{\text{pédalier}}$ est $5,3 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ pour une vitesse de déplacement du VAE de $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

On considère que la puissance nécessaire pour gravir une pente de 4 % à une vitesse de $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ est de 223 W et que le rendement de la transmission entre le pédalier et la roue arrière est de 100 %.

Question 1.5 **Déterminer** le couple minimum $C_{\text{pédalier}}$ à fournir au niveau du pédalier pour gravir une pente de 4 % à $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

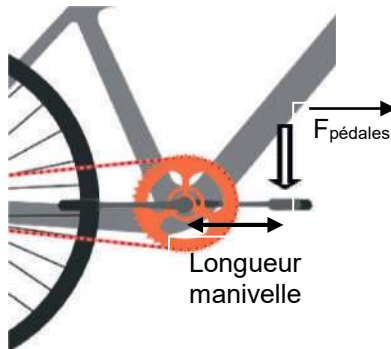


Figure 5 : schéma d'application de l'effort sur la pédale

Question 1.6 À partir des caractéristiques du VAE et du schéma figure 5, **déterminer** la force $\vec{F}_{\text{pédales}}$ que doit exercer le cycliste sur les pédales pour obtenir un couple $C_{\text{pédalier}}$ de $42 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Le bloc « jauge de contrainte » de la figure 3 est utilisé comme capteur de couple au niveau du pédalier ; il retourne un signal analogique qui représente l'image du couple.

La carte électronique centrale du VAE traite les informations numériques issues des différents capteurs. Un convertisseur analogique-numérique (CAN) assure la conversion des signaux analogiques variant de 0 à 5 V en informations numériques.

Le graphique figure 6 représente la caractéristique du capteur de couple, l'équation définissant la tension de sortie en fonction du couple est : $\text{Tension}_{\text{Couple}} = a \times \text{Couple} + b$.

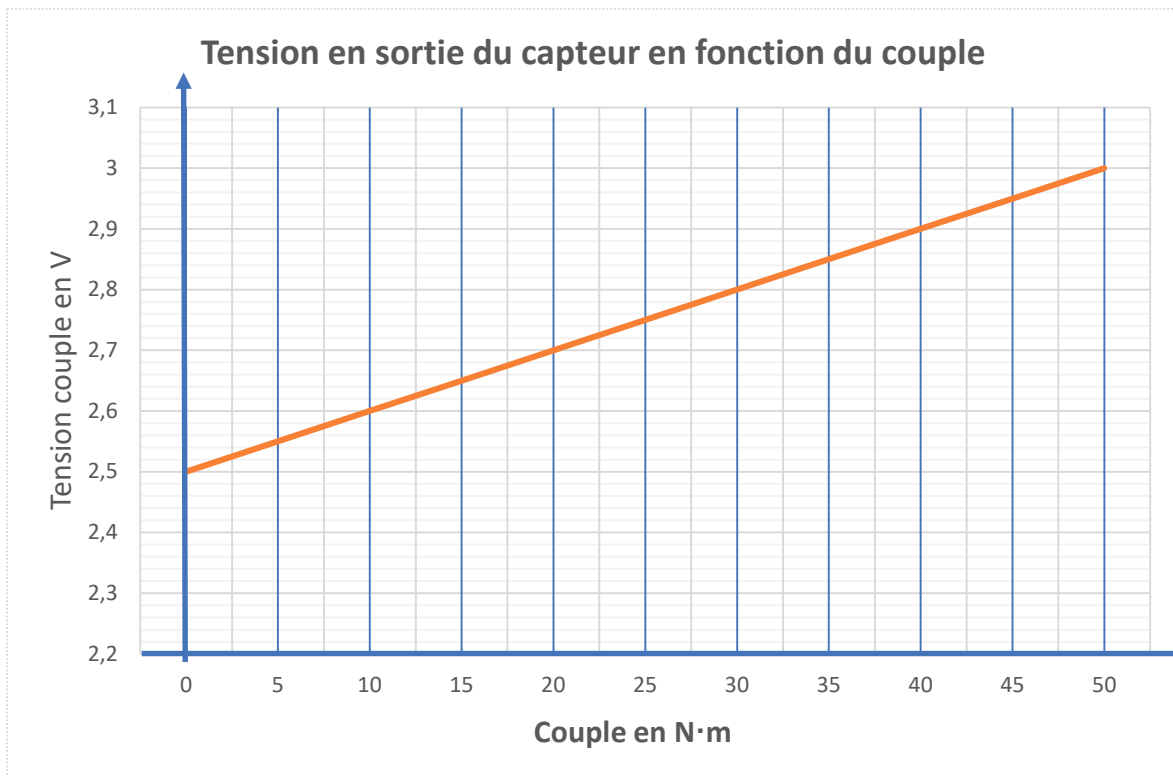


Figure 6 : caractéristique du capteur de couple

Le convertisseur analogique-numérique (CAN) possède une résolution de 10 bits.

Question 1.7 À l'aide de la figure 6, **déterminer** les coefficients a et b de l'équation $Tension_{Couple} = a \times Couple + b$ et **calculer** la valeur $Tension_{Couple}$ pour un couple de 96 N·m.

Déterminer le quantum q du CAN. En **déduire** la valeur du mot numérique $(S_{CAN})_{10}$ en sortie du CAN, correspondant à la tension $Tension_{Couple} = 3,5$ V.

Le VAE peut, sur commande du cycliste, mesurer les vitesses maximale et minimale dans un intervalle de temps donné. Lorsqu'il le souhaite, le cycliste active cette fonctionnalité à l'aide d'un bouton sur le guidon, l'écran LCD affiche alors les deux vitesses mises à jour en temps réel.

Question 1.8 **Compléter** sur document réponse DR2 l'algorithme et le code Python permettant l'affichage des vitesses maximale et minimale en plus de la vitesse instantanée.

DR2

La figure 7 représente la force exercée sur les pédales en fonction de la vitesse avec ou sans assistance.

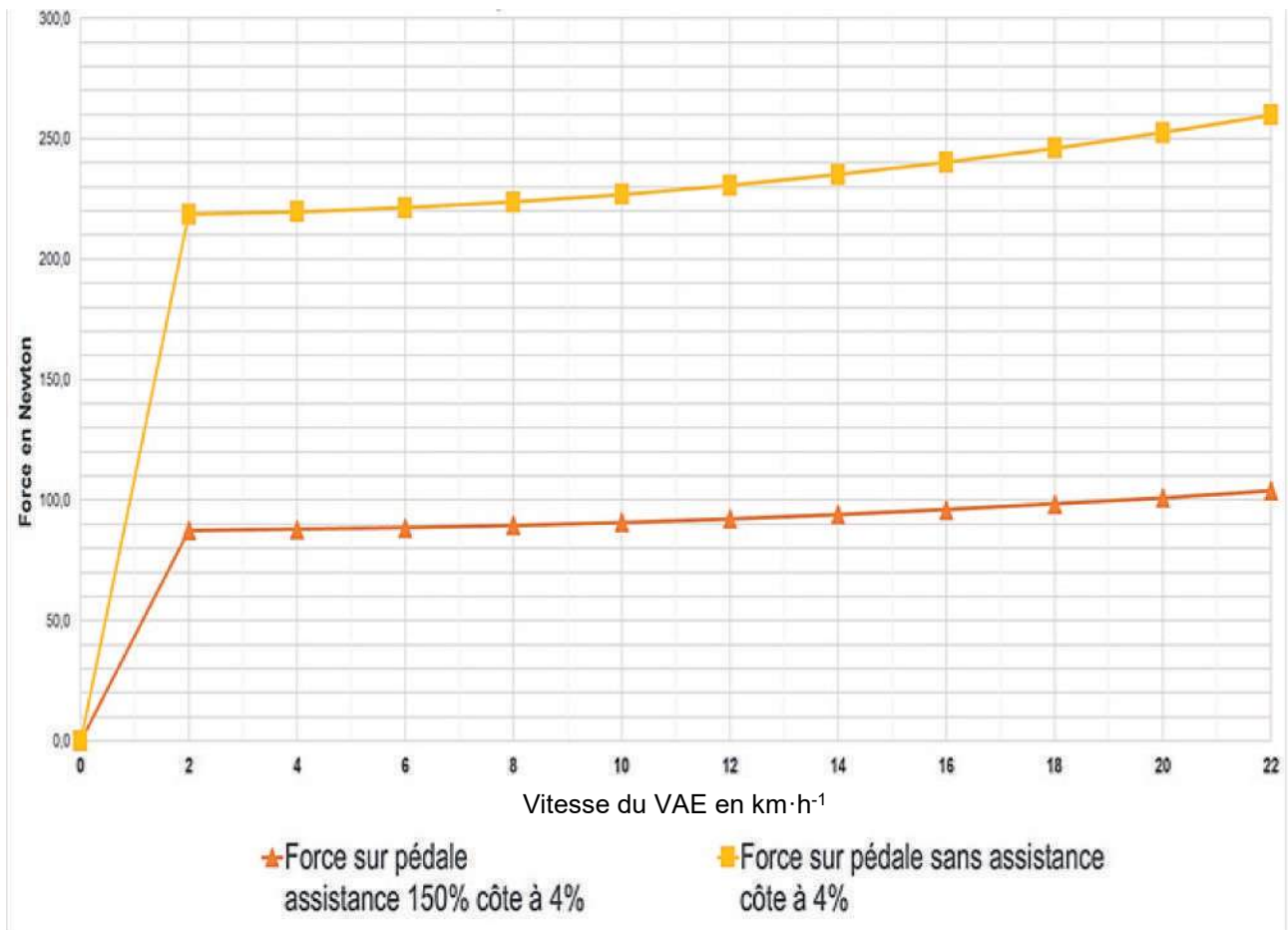


Figure 7 : force exercée sur les pédales en fonction de la vitesse

Question 1.9 **Déterminer** à partir de la figure 7, l'écart absolu entre la force à exercer avec et sans assistance sur les pédales pour une vitesse de 20 km·h⁻¹.

Exprimer en pourcentage par rapport à la situation avec assistance cette différence d'efforts sur les pédales. **Conclure** par rapport au niveau d'assistance de 150 % affiché par le constructeur.

Sous-partie 2

Analyse des consommations énergétiques

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier les caractéristiques du moteur lors de plusieurs scénarios d'utilisation différents.

La figure 8 illustre la modélisation des actions mécaniques s'exerçant sur le VAE dans l'hypothèse d'un modèle plan.

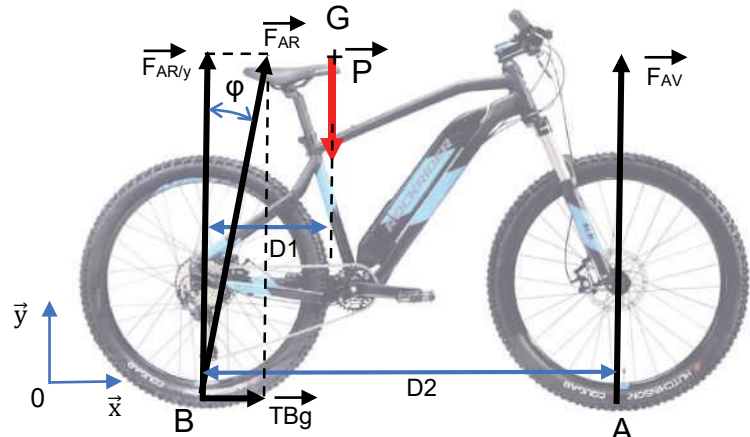


Figure 8 : modélisation des actions mécaniques exercées sur le VAE

Les données sont les suivantes :

- $|\overrightarrow{BG} \cdot \vec{x}| = D1 = 400 \text{ mm}$;
- $|\overrightarrow{AB} \cdot \vec{x}| = D2 = 1\,070 \text{ mm}$;
- masse totale du VAE et du cycliste $m_{\text{Totale}} = 100 \text{ kg}$;
- accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

L'étude des actions mécaniques est limitée aux forces en projection dans le plan $(\vec{x}, \vec{y})$.

Le coefficient d'adhérence entre la roue arrière et le sol vaut $f = \tan(\varphi) = 0,8$.

Question 1.10 En appliquant le théorème du moment statique au point A à l'ensemble {VAE + cycliste}, **montrer** que la norme de l'action mécanique $\overrightarrow{F_{AR/y}}$ s'appliquant sur l'ensemble VAE + cycliste est de 614,3 N. En supposant que le cycliste, avec l'assistance électrique, est capable de développer une force TBg à la limite du glissement, **déterminer** la valeur de cette force TBg à partir de la norme de $\overrightarrow{F_{AR/y}}$.

Pour un cycliste amateur de 80 kg qui appuie de tout son poids sur la pédale en position horizontale, le couple délivré sur la roue arrière est de $C_{\text{arr}} = 137 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Le diamètre de la roue arrière avec le pneu est de 69,85 cm.

Question 1.11 **Déterminer**, dans ces conditions, la force motrice TB maximale sans assistance électrique. **Préciser** si le pneu arrière adhère (le vélo commence à avancer) ou glisse.

La figure 9 illustre le modèle multiphysique utilisé pour simuler le besoin en puissance pour un déplacement à une vitesse donnée en tenant compte de la résistance au roulement et des paramètres aérodynamiques de l'ensemble VAE et cycliste.

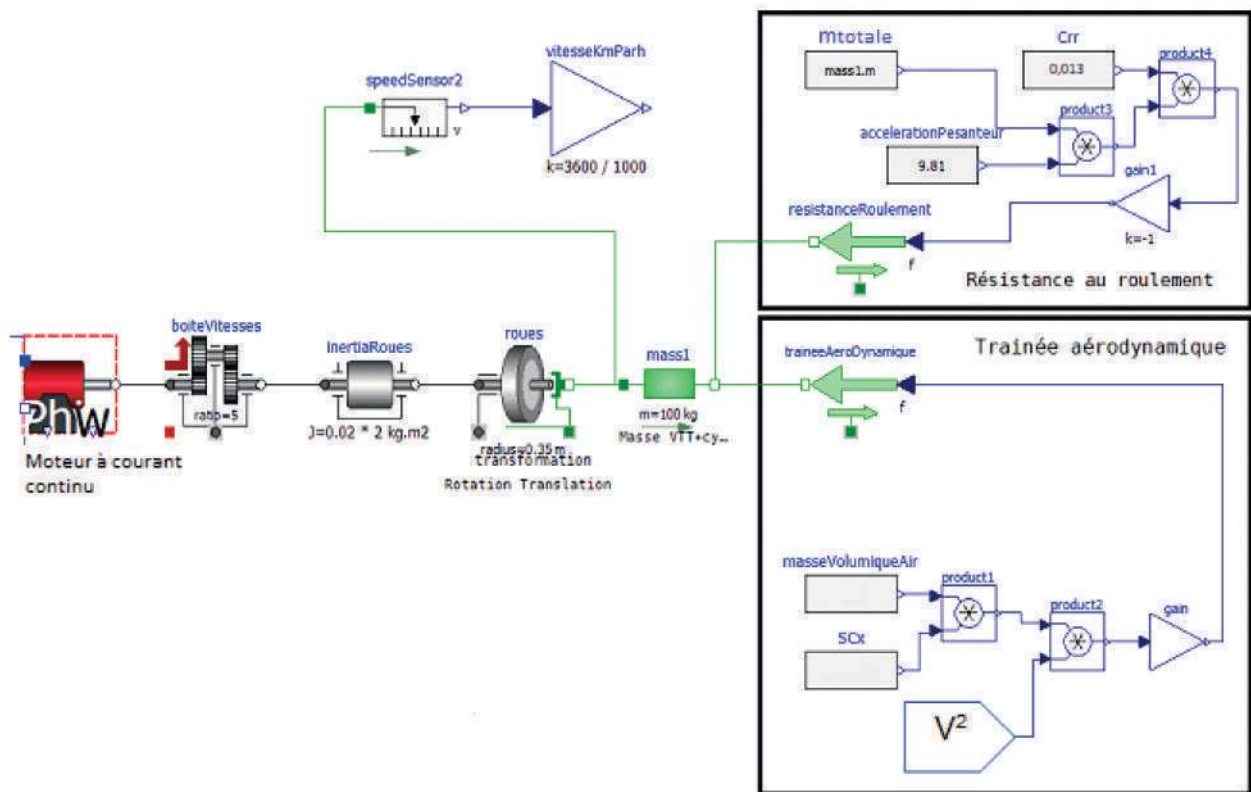


Figure 9 : représentation graphique issue du modèle multiphysique

Les valeurs de la puissance simulée pour un déplacement de l'ensemble VAE et cycliste sur le plat sans assistance électrique en fonction de la vitesse du VAE sont représentées à la figure 10.

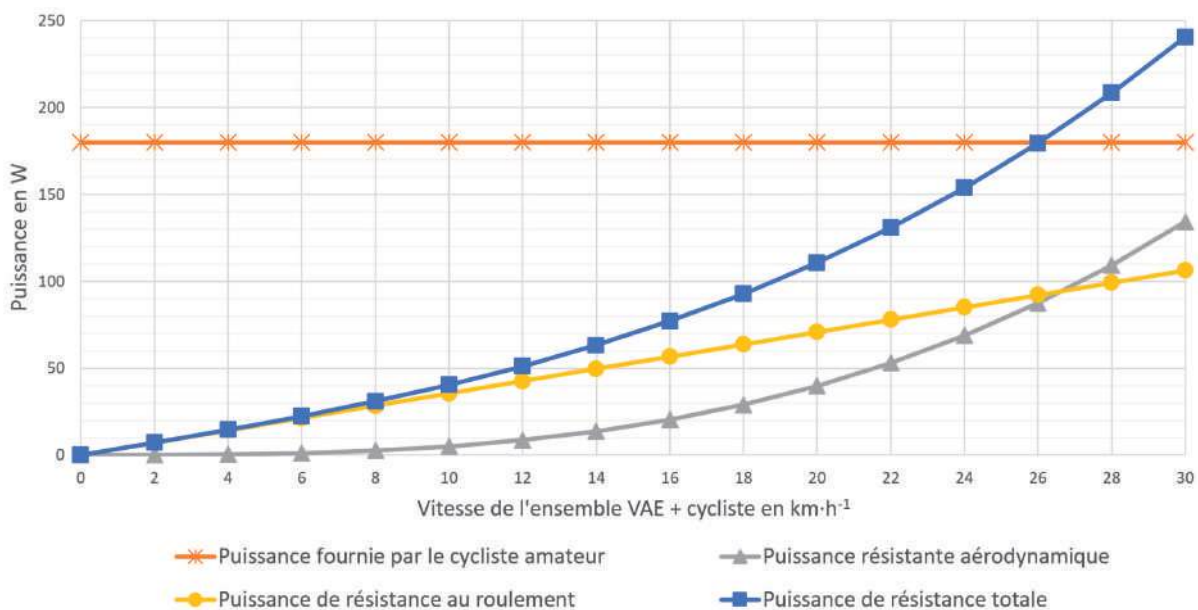


Figure 10 : puissance sans assistance sur le plat en fonction de la vitesse

La formule qui permet de déterminer la puissance nécessaire pour vaincre la résistance au roulement est $P_{\text{Résistance}} = m_{\text{Totale}} \cdot g \cdot C_{rr} \cdot V$ où :

- m_{Totale} est la masse de l'ensemble VAE et cycliste ;
- g est l'accélération de l'apesanteur avec $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- C_{rr} est le coefficient de résistance au roulement avec $C_{rr} = 0,013$;
- V est la vitesse de l'ensemble VAE et cycliste exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 1.12 **Calculer** la valeur de $P_{\text{Résistance}}$ correspondant à un déplacement du VAE à la vitesse de $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ sur le plat. À l'aide de la figure 10, **relever** la valeur correspondante obtenue par simulation. **Conclure** sur la validité du modèle concernant la résistance au roulement.

La force de frottement visqueux liée à l'aérodynamisme de l'ensemble VAE et cycliste est donnée par la formule : $F_{\text{aero}} = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times C_x \times V^2$ où :

- ρ est la masse volumique de l'air avec $\rho = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- S est la surface de référence avec $S = 0,509 \text{ m}^2$;
- C_x est le coefficient aérodynamique avec $C_x = 0,76$;
- V est la vitesse de l'ensemble VAE et cycliste exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 1.13 **Compléter** le modèle multiphysique sur le document réponse DR3 en remplissant les trois blocs vides avec les constantes adaptées.

Les puissances mises en jeu lors du déplacement du VAE et du cycliste à une vitesse V , exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, sans assistance électrique sont :

- la puissance pour vaincre la résistance au roulement $P_{\text{Résistance}}$;
- la puissance pour vaincre les frottements aérodynamiques $P_{\text{air}} = F_{\text{aero}} \times V$;
- la puissance pour vaincre la force liée à l'ascension d'une pente $P_{\text{pente}} = m \cdot g \cdot \alpha \cdot V$ où α est la pente exprimée en décimal sans unité.

Question 1.14 **Calculer** la puissance à vaincre pour une vitesse de déplacement de $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ avec une pente de 9 %.

On fait l'hypothèse que le cycliste peut fournir une puissance musculaire maximale de 180 W quelle que soit la valeur de la pente. La puissance maximale fournit par le moteur est de 250 W.

Question 1.15 **Déterminer**, dans le cas étudié à la question précédente, la possibilité de réaliser l'ascension.

Sous-partie 3

Analyse des performances du système de stockage d'énergie électrique

L'objectif de cette sous-partie est d'étudier les performances de la batterie installée dans le VAE.

La batterie est composée de 40 cellules identiques dont les caractéristiques sont données à la figure 11. La composition de la batterie est la suivante : 4 branches de 10 cellules en série sont mises en parallèle.

Cellule modèle 18650 MG1	
Tension nominale	3,62 V
Capacité nominale	2890 mA·h
Diamètre	18,3 mm
Hauteur	65 mm

Figure 11 : caractéristiques principales d'une cellule utilisée

Question 1.16 Calculer la valeur de la tension U_{bat} et montrer que l'énergie nominale E_{bat} de la batterie du VAE est de 418 W·h.

La gestion de la charge-décharge de la batterie du VAE est assurée par un BMS (Battery Management System). Celui-ci permet de contrôler précisément les différents niveaux de charge. Les échanges d'information entre les capteurs et la carte de contrôle gérant le VAE se fait via un bus de communication « SMBus ».

Le capteur associé à la batterie permet de contrôler son niveau de charge en temps réel. Les informations transmises par ce capteur sur le SMBus correspondent à la tension aux bornes de la batterie, exprimées en centièmes de volts.

Question 1.17 Pour une valeur hexadécimale transmise par le capteur de tension de la batterie de 0E15₍₁₆₎ déterminer la valeur de la tension de la batterie.

Le VAE est utilisé pour une activité de descente de montagne. Celle-ci consiste à descendre rapidement une piste faite pour les vélos tout-terrain (VTT). La phase de montée jusqu'au point de départ se fait soit à l'aide d'une remontée mécanique, soit à vélo mais cela demande un effort physique pouvant être important dans le cas d'un VTT classique.

L'usage d'un VTT avec une assistance électrique permet d'accéder au point de départ de la descente sans demander un effort physique trop intense pour des utilisateurs amateurs, tout en limitant l'usage des remontées mécaniques.

La pente moyenne pour accéder au point de départ est de 6 %. La piste permettant l'ascension est différente de celle permettant de descendre.

Une simulation d'une ascension avec une pente à 6 % à une vitesse $V = 15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ avec assistance électrique permet de déterminer les valeurs suivantes :

- puissance à fournir par le moteur du VAE = 164 W ;
- puissance à fournir par l'utilisateur = 109 W ;
- durée de l'ascension : 40 min.

Question 1.18 **Déterminer** l'énergie consommée en W·h par le moteur du VAE pour réaliser une ascension dans les conditions de la simulation décrite précédemment.

L'énergie disponible dans la batterie lorsque celle-ci est complètement chargée est de 418 W·h.

Question 1.19 **Déterminer** le nombre d'ascensions complètes réalisables avec l'assistance électrique.

La figure 12 présente l'autonomie théorique en fonction des conditions d'utilisation du vélo à assistance électrique et le mode d'assistance utilisé.

AUTONOMIE THÉORIQUE SELON LES CONDITIONS D'UTILISATION ET LE MODE D'ASSISTANCE

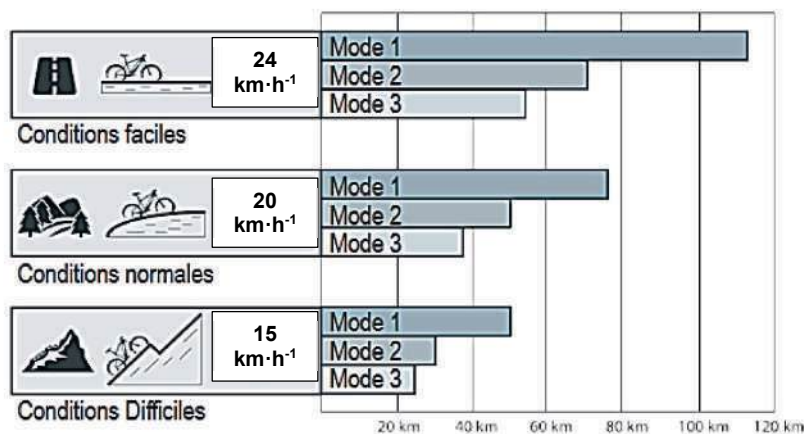


Figure 12 : distance théorique en km pouvant être parcourue par le VAE en fonction des conditions d'utilisation et du mode d'assistance

Question 1.20 **Déterminer** la distance parcourue par le VAE pour trois ascensions complètes dans les conditions de la simulation. **Comparer** avec la valeur donnée par le fabricant du VAE (figure 12) sachant que celui-ci est configuré en mode 2.

Une simulation d'une ascension avec une pente à 6 % à une vitesse $V = 15 \text{ km·h}^{-1}$ sans assistance électrique permet de déterminer les valeurs suivantes :

- puissance à fournir par l'utilisateur = 270 W ,
- durée de l'ascension : 40 min.

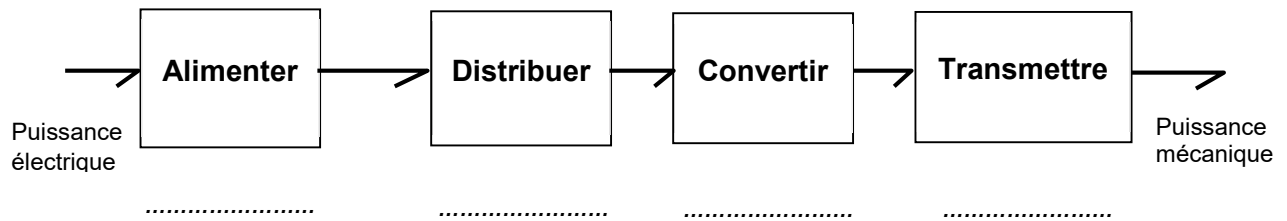
Question 1.21 **Conclure** sur l'utilité d'un VTT à assistance électrique dans des activités de montagne pour les utilisateurs non entraînés.

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Document réponse DR1

Question 1.1

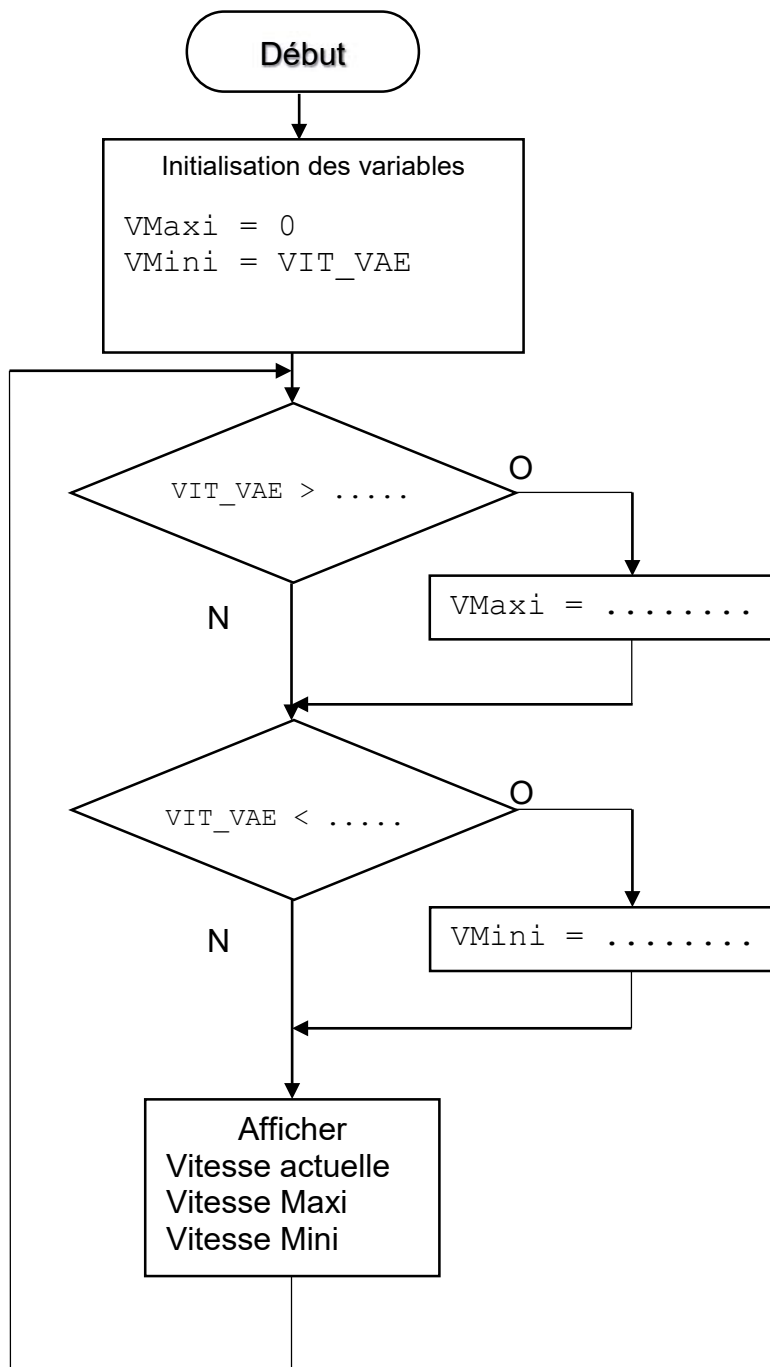
Chaîne de puissance de l'assistance électrique du VAE



Document réponse DR2

Question 1.8

La variable `VIT_VAE` contient la vitesse actuelle du VAE.



```
def affiche_vitesse(VIT_VAE) :  
  
    VMaxi = .....  
    VMini = .....  
    while (.....) :  
        if VIT_VAE > ..... :  
            VMaxi = .....  
        if VIT_VAE < ..... :  
            VMini = .....  
        print ("Vitesse =", .....)  
        print (".....", .....)  
        print (".....", .....)  
    return
```

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

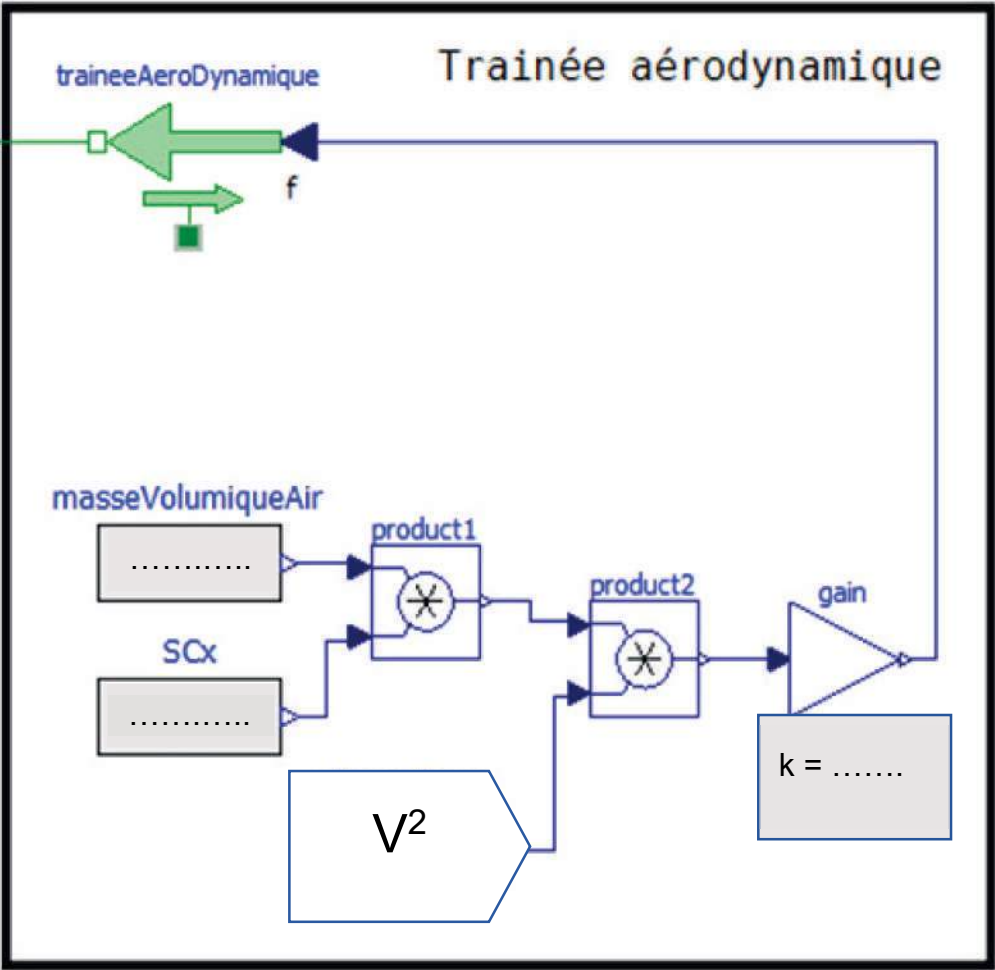
[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :





NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Correction de trajectoire d'un nanosatellite (10 points)

Le nanosatellite Beihangkongshi-1 a été lancé par une fusée LongMarch le 6 novembre 2020 et placé en orbite autour de la Terre sur une trajectoire circulaire de rayon R .

Données

- constante gravitationnelle : $G = 6,6743 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,9736 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- masse du satellite Beihangkongshi-1 : $m = 20 \text{ kg}$.

Le référentiel d'étude est le référentiel géocentrique : son origine coïncide avec le centre de la Terre et ses axes pointent vers des étoiles lointaines. Il est supposé galiléen.

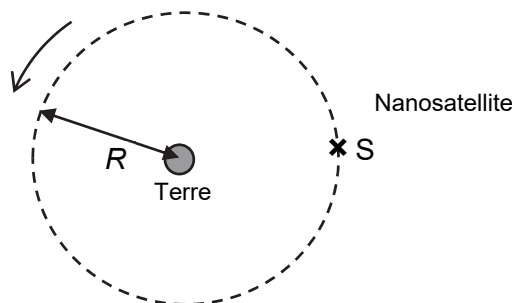


Figure 1. Schéma de la trajectoire circulaire du nanosatellite dans le référentiel géocentrique (échelle non respectée)

Q1. Recopier, sans souci d'échelle, la figure 1 ci-dessus en y faisant figurer le repère de Frenet et la force $\vec{F}_{T/S}$ modélisant l'action gravitationnelle exercée par la Terre sur le nanosatellite noté S et supposé ponctuel.

Q2. À l'aide de la deuxième loi de Newton donner l'expression du vecteur accélération du nanosatellite en fonction de G , M_T et R et d'un vecteur unitaire du repère de Frenet.

Q3. Établir que le mouvement est uniforme et que l'expression de la norme du vecteur vitesse est : $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{R}}$.

Dans les faits, on observe une diminution de l'altitude du nanosatellite au cours du temps. Pour pallier cette baisse d'altitude, un moteur présent sur le nanosatellite le replace régulièrement sur son orbite originale.

Le suivi de la position du nanosatellite étudiée dans le référentiel géocentrique schématisé sur la figure 1 permet d'établir la courbe reproduite sur la figure 2 qui représente l'évolution de la valeur du rayon R de son orbite en fonction du temps, depuis sa mise en orbite jusqu'à la première correction de trajectoire le 31 décembre 2020 repérée par une flèche.

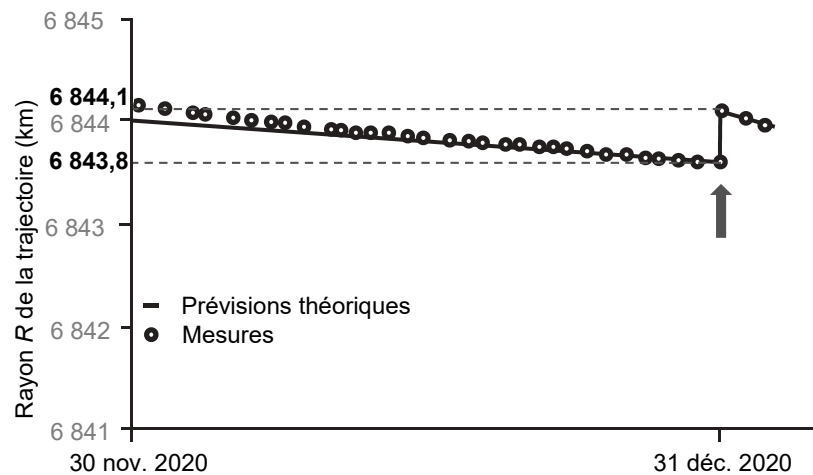


Figure 2. Évolution au cours du temps du rayon R de l'orbite du nanosatellite d'après « Nature Vol. 599 du 18 novembre 2021 »

Q4. À l'aide de la question Q3 et de la figure 2, calculer la valeur v_1 de la vitesse du nanosatellite le 30 novembre 2020 et la valeur v_2 le 31 décembre 2020 avant la correction de trajectoire. Commenter l'évolution de la valeur de la vitesse du nanosatellite sur l'intervalle de temps considéré.

La baisse d'altitude peut être expliquée par la présence d'une atmosphère résiduelle qui exerce une force de frottement sur le nanosatellite.

Q5. Rappeler l'évolution de la valeur de la vitesse d'un objet soumis uniquement à une force de frottement. En déduire qu'il y a contradiction apparente avec les résultats de la question Q4.

Dans la situation considérée, on admet que l'énergie potentielle du satellite a pour expression

$$E_p = - \frac{G \cdot M_T \cdot m}{R}.$$

Q6. Rappeler la définition de l'énergie cinétique E_c , puis l'exprimer en fonction de G , M_T , m et R . Donner l'expression de l'énergie mécanique du satellite dans cette situation et montrer qu'elle peut s'écrire $E_m = - \frac{G \cdot M_T \cdot m}{2R}$.

Les représentations graphiques de l'énergie mécanique E_m , de l'énergie potentielle E_p et de l'énergie cinétique E_c en fonction de R sont données sur la figure 3. Sur cette figure la courbe 2 représente l'énergie mécanique.

Q7. Attribuer en justifiant les énergies E_p et E_c aux deux courbes 1 et 3 de la figure 3.

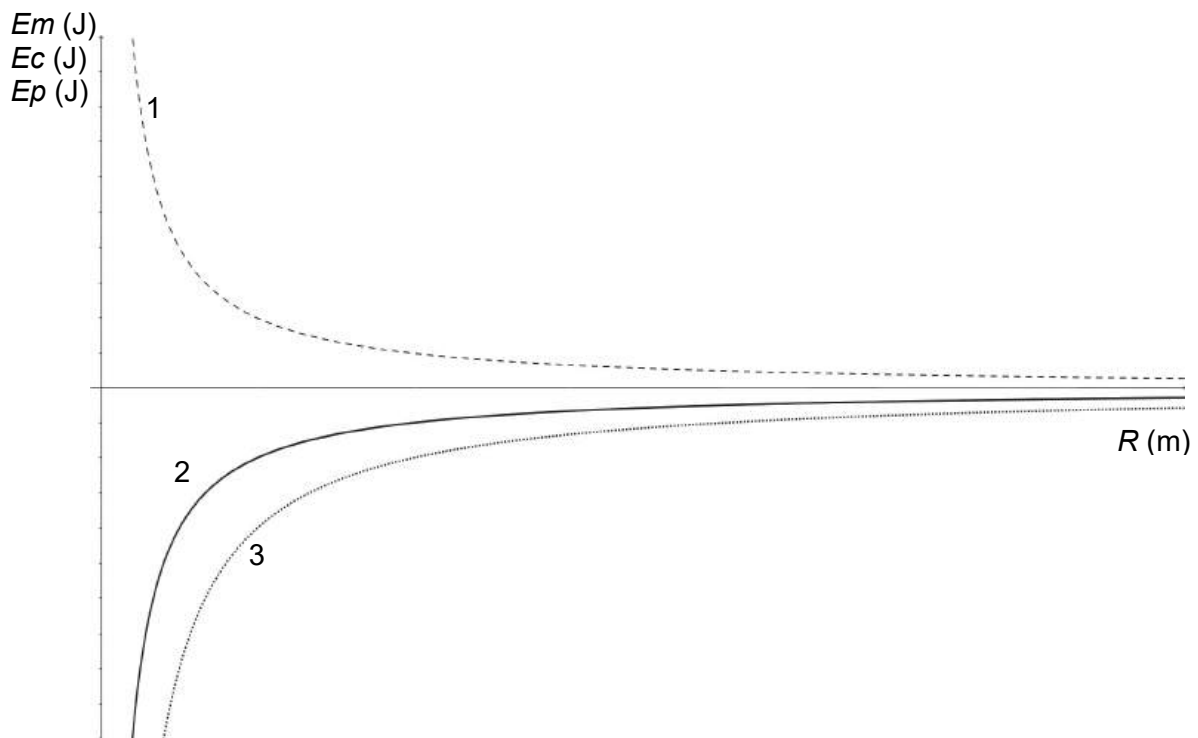


Figure 3. Représentations graphiques de l'énergie mécanique E_m , de l'énergie potentielle E_p et de l'énergie cinétique E_c en fonction de R

- Q8.** À l'aide du graphique, indiquer comment évolue l'énergie mécanique E_m lors de la diminution du rayon R de la trajectoire du nanosatellite. Montrer que cette évolution est cohérente avec la présence d'une force de frottement.

EXERCICE B – Étude thermique d'une construction (10 points)

Aujourd'hui, pour faire face à la pénurie de logement, une solution se développe qui consiste à surélever les logements existants.

Construire sur le toit d'un immeuble est aussi un moyen d'améliorer la performance énergétique d'anciens bâtiments, souvent énergivores, en isolant les planchers hauts. Le bois est alors souvent utilisé pour des raisons de rapidité de construction, d'empreinte carbone de la construction et de poids total.

L'objectif de cet exercice est de réaliser une étude thermique et d'estimer la consommation énergétique d'une pièce implantée sur un toit.

Données :

- dimensions de la pièce : longueur $L = 6,0$ m, largeur $\ell = 4,0$ m, hauteur $h = 3,0$ m ;
- caractéristiques de la fenêtre : surface $S_F = 2,0$ m² ; double vitrage : deux parois de verre d'épaisseur $e_v = 4,0$ mm séparées par une couche d'argon d'épaisseur $e_a = 16$ mm ;
- expression de la résistance thermique d'une paroi d'épaisseur e , de surface S et réalisée avec un matériau de conductivité thermique λ : $R_{th} = \frac{e}{S \cdot \lambda}$;
- valeurs des températures considérées : $\theta_{intérieure} = 19$ °C, $\theta_{extérieure} = 5$ °C ;
- valeur de la conductivité thermique du verre : $\lambda_{verre} = 1,1$ W·m⁻¹·K⁻¹ ;
- valeur de la résistance thermique d'une lame d'argon de 16,0 mm d'épaisseur et de surface 2 m² : $R_{th,argon} = 0,33$ K·W⁻¹ ;
- réglementation thermique 2020 : RT2020, applicable depuis janvier 2020 vise à promouvoir les bâtiments à énergie positive dont la consommation d'énergie annuelle **par m² de surface de sol** pour le seul chauffage doit être inférieure à environ 5 kWh·m⁻², la réglementation précédente RT2012 limitait pour sa part la consommation d'énergie annuelle totale par m² de surface de sol à 50 kWh·m⁻² ;
D'après réglementation environnementale RE2020 | Ministère de la Transition écologique (ecologie.gouv.fr)
- 1 kWh = 3,6×10⁶ J.



Figure 1. Croquis de l'extension à construire

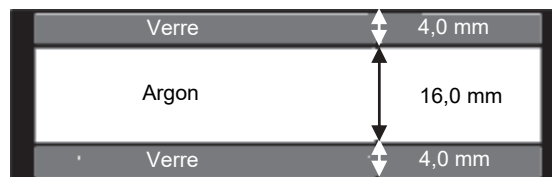


Figure 2. Structure d'un double vitrage

Q1. Exprimer la résistance thermique d'une paroi de verre $R_{th, verre}$ en fonction de l'épaisseur de la couche de verre e_v , de la conductivité thermique du verre λ_{verre} , et de la surface de la fenêtre S_F . Calculer sa valeur.

Q2. Comparer la résistance thermique de la paroi de verre avec la résistance thermique de la lame d'argon. Conclure.

Q3. Citer les modes de transfert thermique.

Q4. En assimilant dans ce calcul la résistance thermique de la fenêtre à celle de la lame d'argon, exprimer le flux thermique par conduction $\phi_{\text{fenêtre}}$ à travers la fenêtre en fonction de la résistance thermique de la lame d'argon et des températures intérieure et extérieure. Calculer la valeur de ce flux et préciser son sens.

L'intégralité des parois en bois de la maison, de surface totale $S_{\text{bois}} = 82 \text{ m}^2$ et de résistance thermique $R_{\text{th,bois}} = 0,077 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$ est traversée par un flux thermique $\Phi_{\text{bois}} = 1,8 \times 10^2 \text{ W}$.

Q5. En déduire que la valeur du flux total par conduction à travers l'ensemble des parois en bois et de la fenêtre est : $\phi_{\text{total}} = 2,2 \times 10^2 \text{ W}$.

Le propriétaire souhaite maintenir une température intérieure constante de valeur 19°C . Il envisage d'installer un radiateur électrique. La température du sol étant de 19°C on considère qu'il n'y a aucun échange thermique à travers le plancher.

Q6. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système « air de la pièce » maintenu à la température de 19°C pendant une durée fixée Δt et déterminer la relation entre le transfert thermique avec l'air extérieur noté Q_1 et le transfert thermique avec le radiateur noté Q_2 ; Q_1 et Q_2 sont définies comme des grandeurs positives.

On considère que la pièce est chauffée pendant 6 mois de l'année et que la température extérieure est alors constante et égale à 5°C .

Q7. Évaluer alors la consommation d'énergie liée au seul chauffage sur une année. Comparer la valeur obtenue avec les normes RT2020 et RT2012.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 22 pages numérotées de 1/22 à 22/22.

**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 16 à 17) sont à rendre avec la copie.

Partie 2 : l'annexe (page 22) est à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Enjambeur électrique autonome



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 15
- Documents réponses..... pages 16 à 17

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 16 à 17) sont à rendre avec la copie

Enjambeur électrique autonome

Le BAKUS-P75S est un enjambeur 100 % électrique dit « intelligent ». Il se veut économique et écologique. Ce type de robot permet de réaliser en autonomie les travaux viticoles. Il remplace le tracteur enjambeur classique et son conducteur. Bakus est en effet capable de tondre, désherber, pulvériser sous le contrôle d'un opérateur à distance. Il peut être également piloté via un smartphone ou toute autre interface homme-machine (IHM).

Le modèle BAKUS-P75S a été conçu à l'origine pour les vignes étroites de Champagne (hauteur 1,75 m et largeur de passage 0,6 m).

Ce nouvel outil, développé par la société Vitibot, permet aux coopératives et exploitants viticoles, de faire face à la pénurie de main d'œuvre ainsi qu'à la dangerosité et la pénibilité des travaux dans les vignes.

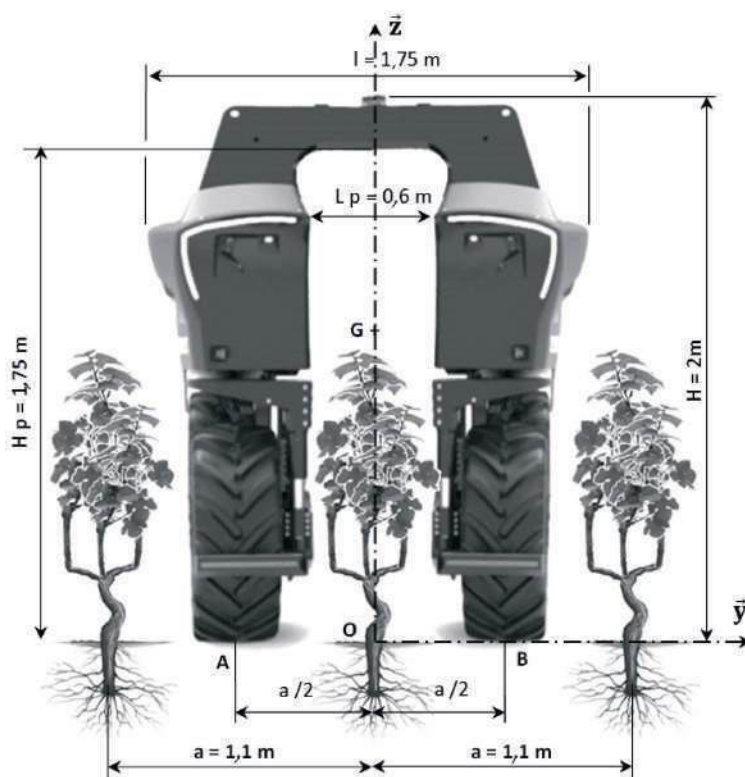


Figure 1 : le « Bakus » dans les rangs de vigne



D'un point de vue environnemental, ce produit permet d'offrir un travail de désherbage du sol entièrement mécanique (sans herbicide) grâce aux outils électriques ou mécaniques optionnels (figure 2).

Figure 2 : outils latéraux intercepts

D'un point de vue économique, l'usage de ce robot réduit les coûts de main d'œuvre, un opérateur pouvant superviser six machines.

Du point de vue législatif, sa vitesse est limitée à $5,9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et n'a donc pas besoin d'un certificat d'immatriculation. Il doit répondre à la norme européenne ISO 18497 concernant les tracteurs et matériels agricoles. Il ne peut cependant pas circuler sur les routes et doit être acheminé par camion sur son espace de travail.

Des dispositifs de sécurité doivent permettre la mise hors tension du système en cas de nécessité.

La figure 3 représente le diagramme SysML de «cas d'utilisation du BAKUS»

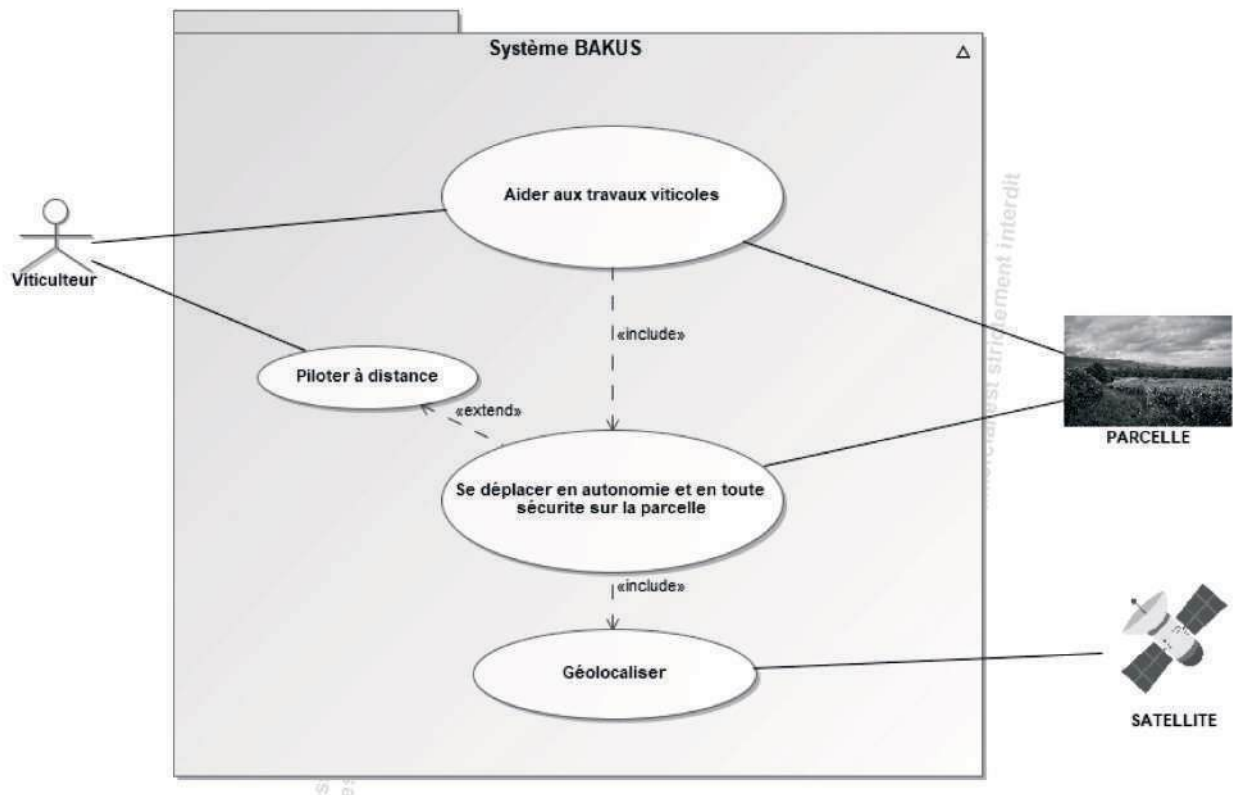


Figure 3 : diagramme de cas d'utilisation du BAKUS

Grâce à la cartographie préalable de la parcelle à traiter et à sa géolocalisation, le robot BAKUS est capable de manœuvrer seul et en toute sécurité dans sa zone de travail.

Sous-partie 1

Déplacement autonome sur une pente

L'objectif de cette sous-partie est de valider le moteur retenu pour assurer le déplacement du système.

L'étude porte sur le déplacement du véhicule en ligne droite en phase de travail. Il s'agit de valider le moteur retenu en termes de vitesse et de puissance.

La figure 4 illustre le diagramme partiel des exigences associé à la « contrainte de déplacement en autonomie ».

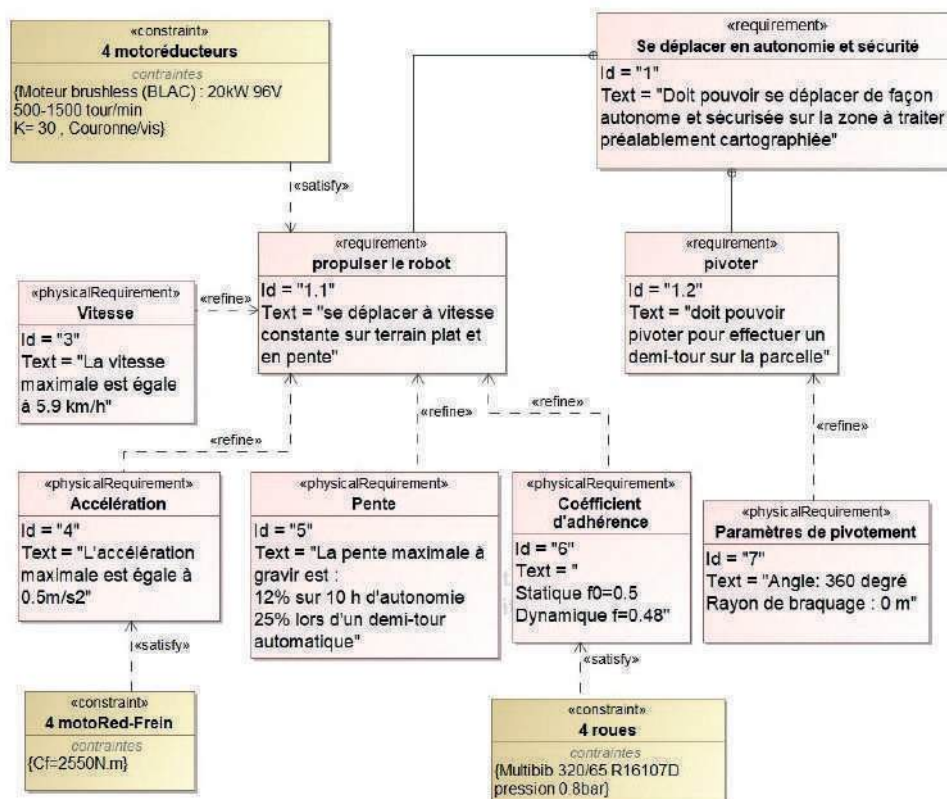


Figure 4 : diagramme d'exigences lié à la « contrainte de déplacement en autonomie »

Le schéma de la figure 5 décrit les éléments de la chaîne de puissance associée au déplacement du robot.

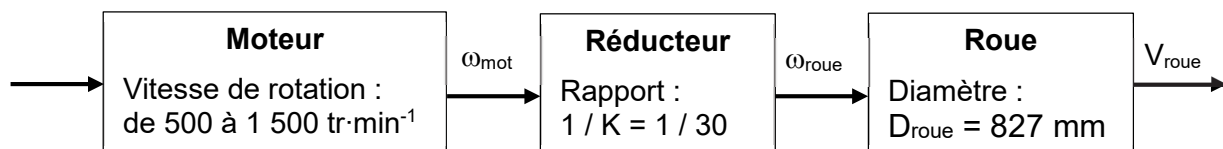


Figure 5 : chaîne de puissance d'une roue du robot

Lorsque le robot gravit une pente de 12 %, il doit pouvoir se déplacer à la vitesse constante de 3 km·h⁻¹.

Question 1.1 Montrer que la vitesse de rotation du moteur est de $577 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ pour une vitesse de déplacement de $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Conclure sur la capacité du moteur à atteindre cette vitesse.

La suite de l'étude est menée avec les hypothèses suivantes :

- le robot gravit une pente de 12 %, correspondant à un angle $\alpha = 6,8^\circ$, à la vitesse constante de $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;
- le roulement au contact des roues sur le sol est sans glissement ;
- la résistance de l'air sur le véhicule et la résistance au roulement sont négligées ;
- la masse totale de l'enjambeur est $m = 2\,600 \text{ kg}$;
- l'accélération de la pesanteur vaut $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- le système possède un plan de symétrie matériel $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$;
- une modélisation plane est retenue.

La situation d'étude ainsi que la modélisation partielle des actions mécaniques extérieures est illustrée par le schéma de la figure 6.

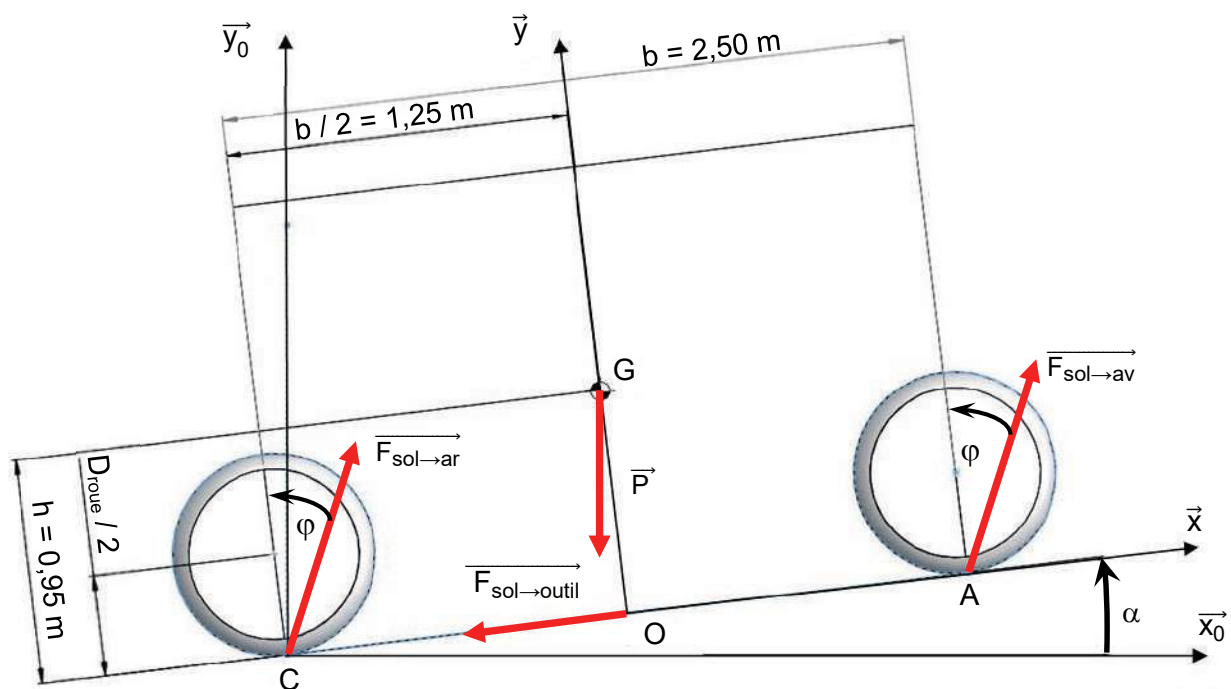


Figure 6 : modélisation des efforts exercés sur le véhicule sur une pente d'inclinaison α

Le poids du robot BAKUS est appliqué en G. Il est noté : $\vec{P} = -P_x \cdot \vec{x} - P_y \cdot \vec{y}$.

Question 1.2 Calculer les valeurs numériques des composantes P_x et P_y du vecteur $\vec{P}$.

Pour la suite de l'étude, les actions du sol sur les roues avant et arrière sont supposées identiques :

- en A l'action du sol sur les deux roues avant est notée $F_{\text{sol} \rightarrow \text{av}} = T \cdot \vec{x} + N \cdot \vec{y}$;
- en C l'action du sol sur les deux roues arrière est notée $F_{\text{sol} \rightarrow \text{ar}} = T \cdot \vec{x} + N \cdot \vec{y}$.

L'action du sol s'appliquant en O sur les outils en phase de travail (outils descendus) est modélisée par $\vec{F}_{\text{sol} \rightarrow \text{outil}} = -F_O \cdot \vec{x}$ avec $F_O = 250 \text{ N}$.

Question 1.3 Le robot se déplaçant à vitesse constante, **écrire** l'expression littérale du théorème de la résultante statique projetée suivant $\vec{x}$. En **déduire** l'expression puis la valeur numérique de l'action tangentielle T.

Le roulement sans glissement est assuré tant que $|\frac{T}{N}| < f_0$, avec $f_0 = 0,5$.

Question 1.4 **Écrire** l'expression littérale du théorème de la résultante statique projetée suivant $\vec{y}$. En **déduire** la valeur de N. **Conclure** sur l'hypothèse de roulement sans glissement retenue.

Question 1.5 **Compléter** sur le document réponse DR1 la chaîne de puissance d'une des quatre roues du robot, en indiquant les éléments qui assurent chaque fonction, les grandeurs d'effort et de flux avec leurs unités.

Quels que soient les résultats trouvés aux questions précédentes, l'action tangentielle du sol sur une roue motrice dans les conditions de l'étude est considérée à $\frac{T}{2} = 817 \text{ N}$.

Question 1.6 **Déterminer** la puissance nécessaire sur chacune des quatre roues pour que le robot gravisse une pente de 12 % à la vitesse de 3 km.h⁻¹. À l'aide de la chaîne de puissance du document réponse DR1, **calculer** la puissance que doit délivrer chaque moteur.

Question 1.7 **Conclure** sur le choix du moteur retenu et **expliquer** les raisons de l'écart éventuellement constaté.

Sous-partie 2

Autonomie du système en déplacement

L'objectif de cette sous-partie est de valider l'autonomie annoncée par le constructeur.

Le cahier des charges sur l'autonomie du système est représenté par le diagramme d'exigences partiel de la figure 7.

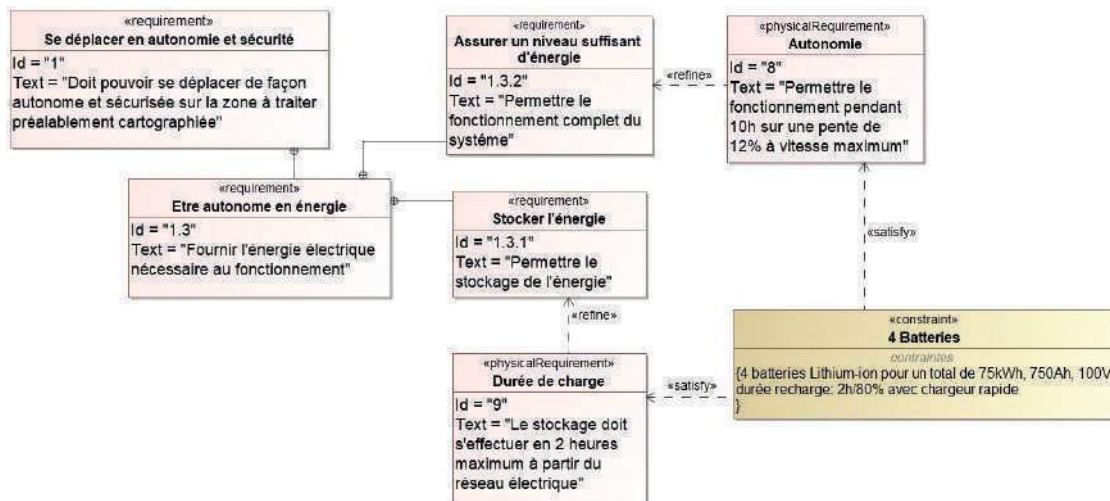


Figure 7 : diagramme d'exigences partiel de l'énergie

Pour l'alimentation en énergie, le constructeur a choisi la technologie lithium-ion pour son énergie massique et sa durée de vie élevées.

L'énergie électrique est fournie au robot par quatre batteries en série. Chacune de ces batteries est constituée de 7 cellules en série de tension nominale 3,6 V. La capacité totale du bloc de batteries ainsi constitué est de 750 A·h.

Question 1. 8 Déterminer la tension U_{bat} aux bornes du bloc de batteries en série. En **déduire** l'énergie stockée E_{bat} dans le bloc de batteries en W·h.

Pour vérifier l'autonomie du système, une simulation à l'aide d'un modèle multiphysique a été réalisée. Les résultats de simulation pour une pente de 12 % sont données sur la figure 8.

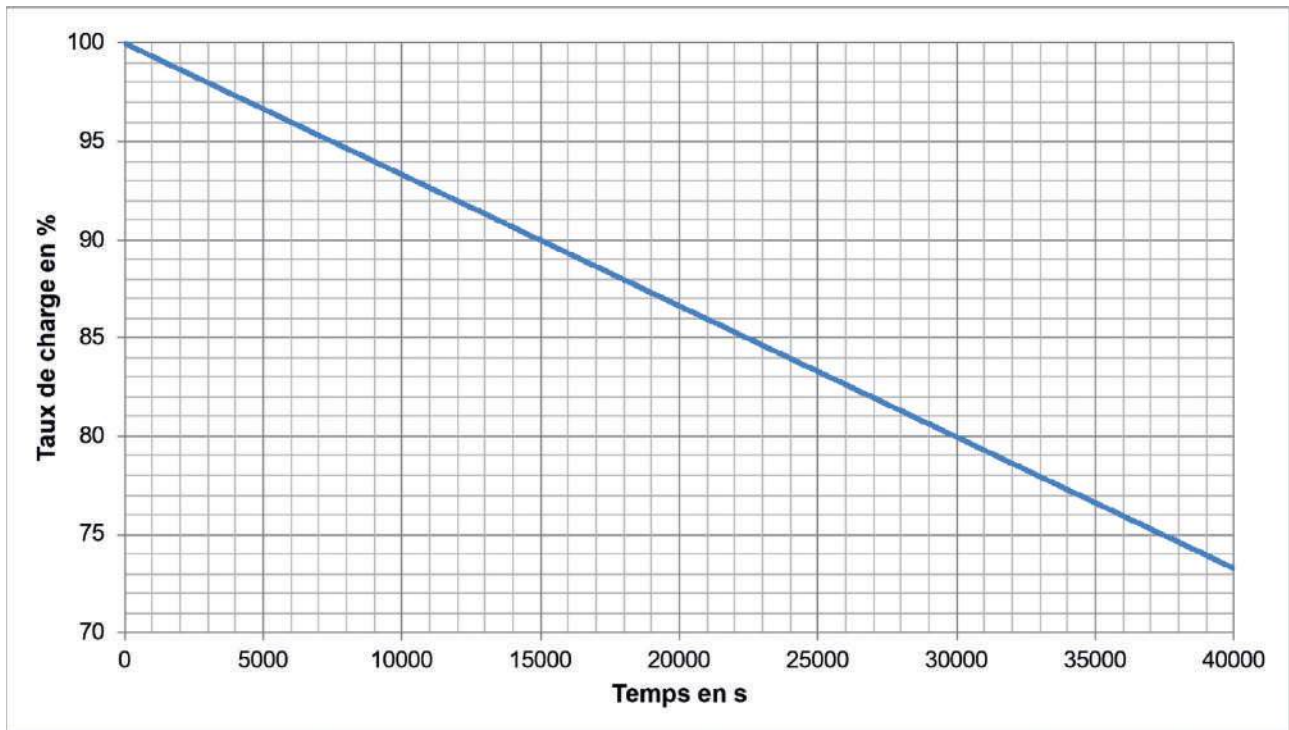


Figure 8 : simulation du taux de charge une pente de 12 %

Question 1.9 **Déterminer** pour la pente proposée le taux de charge pour un fonctionnement de 10 heures. **Conclure** quant à l'exigence d'autonomie Id 8 (figure 7).

La durée de vie d'une batterie lithium-ion s'exprime en nombre de cycles et dépend de la profondeur de décharge. Une profondeur de décharge de 80 %, par exemple, signifie qu'il restera encore 20 % de l'énergie stockée.

Un cycle correspond à une charge et une décharge de batterie. Une profondeur de décharge trop importante réduit le nombre de cycles charge/décharge et donc la durée de vie de la batterie (figure 9).

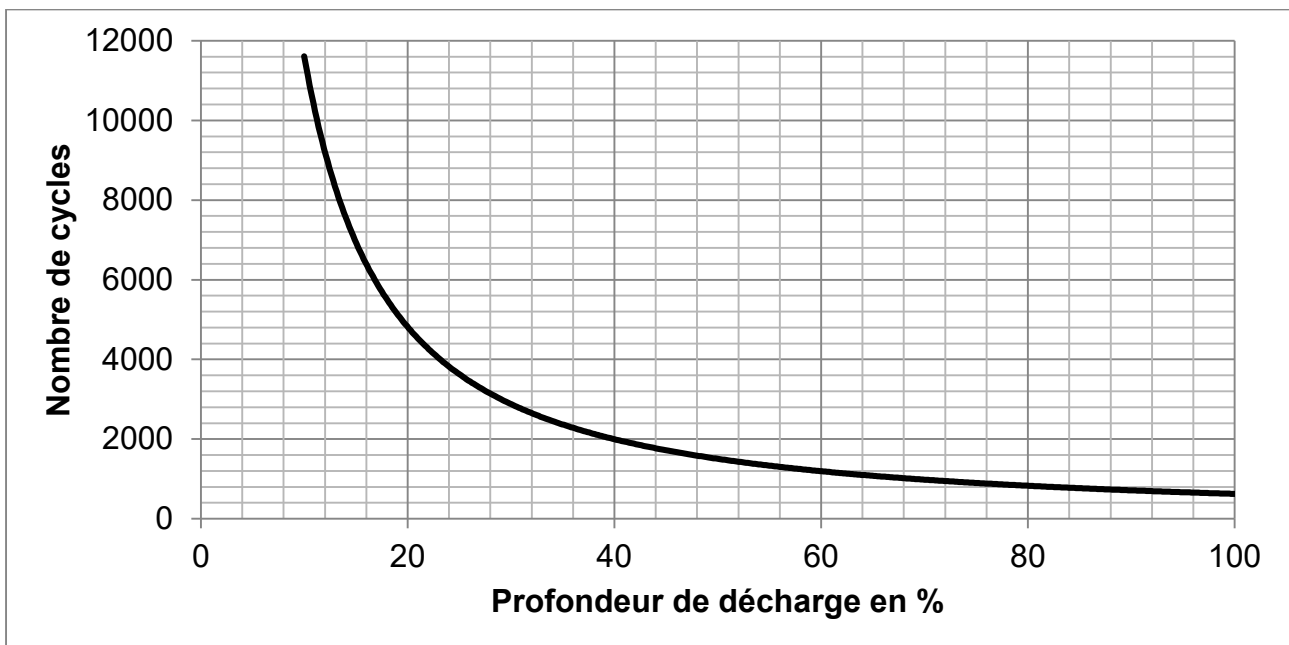


Figure 9 : nombre de cycle de charges/décharges en fonction de la profondeur de décharge

Le constructeur garantit la durée de vie des batteries à 7 ans mais recommande de ne pas aller au-delà de 60% de profondeur de décharge moyenne.

Question 1.10 À l'aide de la figure 9, **expliquer** pourquoi le constructeur ne peut pas garantir la durée de vie d'une batterie en cas d'une forte profondeur de décharge répétée.

On estime que le robot fonctionne 200 jours par an, 10h par jour et qu'il est rechargé tous les jours d'utilisation.

Question 1.11 Pour le taux de charge trouvé à la question 1.9, **déterminer**, à l'aide de la figure 9 le nombre de cycles possibles. En **déduire** la durée de vie des batteries en nombre d'années.

Conclure sur la garantie apportée par le constructeur sur la durée de vie des batteries.

Le constructeur fournit une borne de recharge rapide de puissance 22 kW.

Question 1.12 À l'aide la figure 7, **déterminer** le temps de recharge de la batterie lorsque sa profondeur de décharge est de 80%.

Question 1.13 **Conclure** sur le respect de l'exigence Id 9 (figure 7).

Sous-partie 3

Gestion d'un parcours

L'objectif de cette sous-partie est de valider la gestion d'un parcours, sur la parcelle, en mode autonome et en mode pilotage à distance.

Grâce à la cartographie préalable de la parcelle à traiter et à sa géolocalisation, le robot BAKUS est capable de manoeuvrer seul et en toute sécurité dans sa zone de travail. La figure 10 illustre le trajet du robot dans une parcelle de vigne.

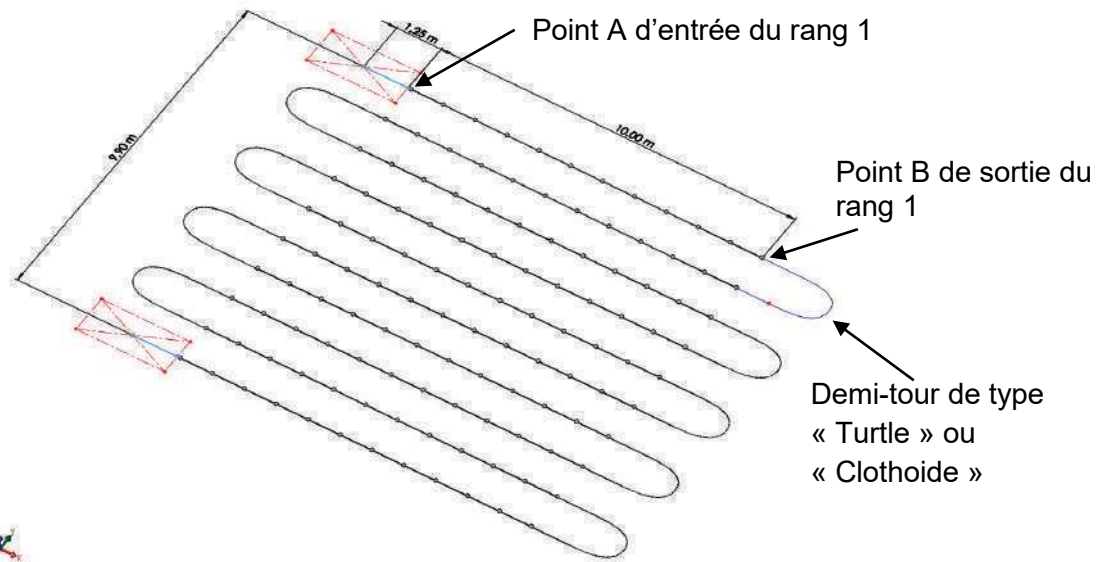


Figure 10 : parcours type du BAKUS sur une parcelle de dix rangs de vignes

Le robot est équipé de quatre roues motrices et directrices. Chacune des roues est associée à deux moteurs (figure 11) :

- un moteur **MPiv** fait pivoter selon la direction $\vec{z}$ l'ensemble jambe fixe et roue par rapport au châssis lors de la phase de demi-tour ;
- un deuxième moteur **MRot** fait tourner la roue par rapport à la jambe mobile selon la direction $\vec{y}$ lors des phases de travail de la vigne et de demi-tour.

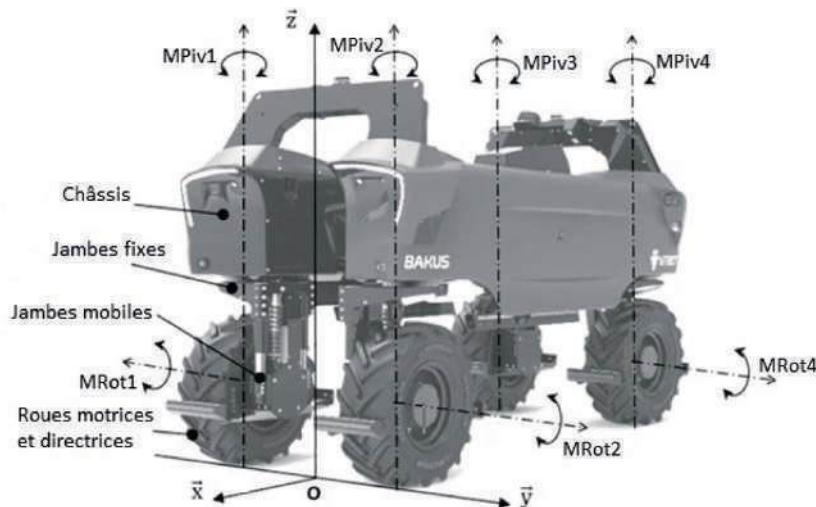


Figure 11 : principaux composants et repère du système étudié

Initialement, l'outil est en position haute, le robot est positionné et aligné en entrée de rang 1 au point A (figure 10). Le comportement du robot BAKUS, entre l'entrée du rang 1 et l'entrée du rang 2 peut être décomposé de la façon suivante :

1. l'outil se met en position basse ;
2. le robot avance en suivant le rang des ceps de vignes (phase de travail) ;
3. le robot arrive en sortie de rang 1 et s'arrête ;
4. l'outil remonte en position haute ;
5. le robot se positionne en entrée de rang 2 (phase de demi-tour) ;
6. le robot est positionné et aligné sur le premier pied de vigne en entrée de rang 2.

Le système est géré par une carte électronique comportant un microcontrôleur. Le programme de gestion utilise les variables suivantes :

Variables d'entrée :

Position haute d'outil :	$p_{ho} = 1$ (position haute atteinte)
	$p_{ho} = 0$ (position haute non atteinte)
Position basse d'outil :	$p_{bo} = 1$ (position basse atteinte)
	$p_{bo} = 0$ (position basse non atteinte)
Position du véhicule :	$p_v = 1$ (position GPS du véhicule atteinte)
	$p_v = 0$ (position GPS du véhicule non atteinte)

Variables de sortie :

Moteur de rotation :	$M_{Rot} = 1$ (moteur actionné)
	$M_{Rot} = 0$ (moteur à l'arrêt)
Moteur de pivotement :	$M_{Piv} = 1$ (moteur actionné)
	$M_{Piv} = 0$ (moteur à l'arrêt)
Descente Outil :	$D_o = 1$ (descente outil)
	$D_o = 0$ (arrêt de la descente outil)
Montée Outil :	$M_o = 1$ (montée outil)
	$M_o = 0$ (arrêt de la montée outil)

L'échelle des temps sur le graphe n'est pas forcément représentative et uniforme.

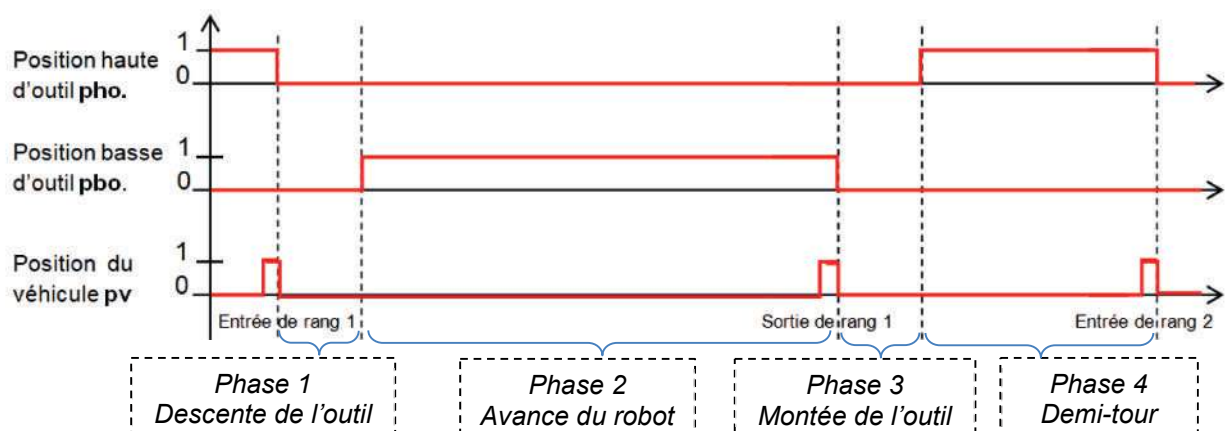


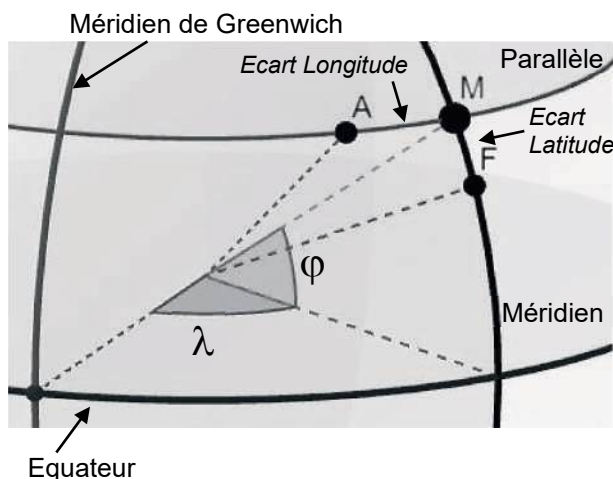
Figure 12 : chronogramme du déplacement du BAKUS entre deux rangs de vignes

Question 1.14 À partir de la description précédente et des figures 10, 11 et 12, DR2 **compléter** sur le document réponse DR2, l'état des variables $MRot$ et $MPiv$ durant les quatre phases du déplacement entre deux points d'entrée de rang de vignes.

Question 1.15 À partir des éléments précédents, **compléter** sur le document réponse DR3 le graphe d'état décrivant le comportement du système BAKUS dans son fonctionnement autonome. Toujours sur le document réponse DR3, **compléter** le code en Python des fonctions `Monter_Outils()` et `Faire_Demi_Tour()`.

Le positionnement du robot s'effectue grâce à une géolocalisation par un système GNSS (Global Navigation Satellite Systems).

Chaque point M du globe terrestre peut être repéré par des coordonnées géographiques, représentées par des valeurs angulaires exprimées en notation sexagésimale (degré, minute, seconde) ou décimale :



- la **latitude** φ caractérise la position d'un point M sur Terre par rapport à l'équateur exprimée en degré vers le nord ou le sud,
- la **longitude** λ caractérise la position d'un point M sur Terre par rapport au méridien de Greenwich exprimée en degré vers l'est ou l'ouest.

Figure 13 : coordonnées géographiques

Pour améliorer la précision de positionnement d'un système GNSS classique, on utilise la technologie RTK (Cinématique Temps réel).

Les écarts de longitude et latitude sont utilisés pour évaluer les écarts de positionnement. Il s'agit d'arcs exprimés en degrés (sur la figure 13, les arcs AM et FM).

Un modèle multiphysique a été élaboré pour simuler les écarts de latitude et longitude (en degré) entre les positions réelles du robot et les positions mesurées par le système RTK.

La simulation (figure 14) a été réalisée pour le système de positionnement RTK. Les écarts sont des arcs exprimés en degrés. Deux marqueurs 1 et 2 ont été placés sur les valeurs extrêmes de chaque oscillogramme.

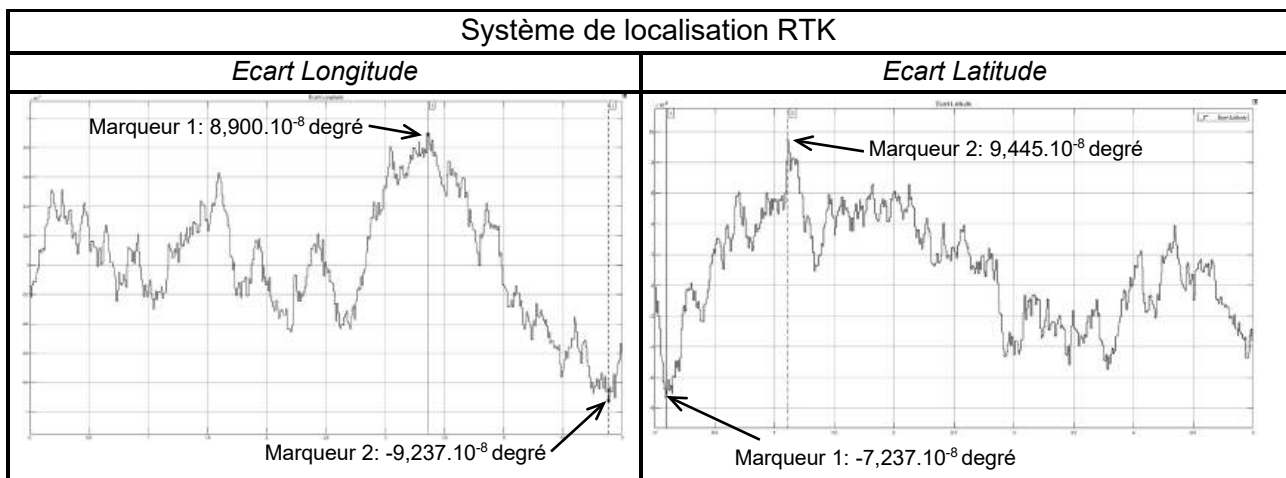


Figure 14 : écarts de longitude et latitude en fonction du temps

Une minute d'arc sur le globe terrestre correspond à une longueur de 1855 m, un degré d'arc est égal à 60 minutes d'arc.

Question 1.16 À l'aide de la figure 14, **relever** les écarts de positionnement maximaux en longitude et en latitude en degré. En **déduire** leurs valeurs en cm.

L'exigence de précision de déplacement impose un écart inférieur à 1,5 cm.

Question 1.17 **Conclure** sur le respect de l'exigence de précision.

Pour piloter à distance, le robot BAKUS dispose de huit caméras 3D (deux à chaque coin du véhicule) pour visualiser son environnement, diffuser les données et détecter la présence d'éventuels obstacles. Les caméras sont branchées en réseau et la diffusion de ces données se fait par liaison de type Ethernet via un module de transmission vers une interface externe.

Pour pouvoir communiquer ses informations, l'IHM doit être sur le même réseau que les caméras.

Les figures 15 et 16 illustrent la configuration de l'installation.

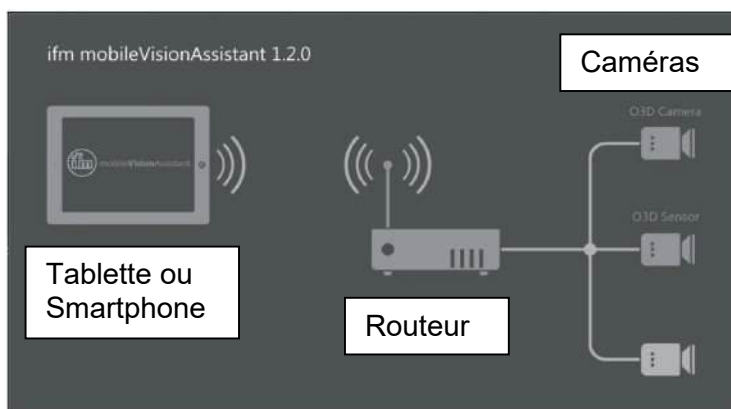


Figure 15 : structure du réseau (source ifm et VITIBOT) Figure 16 : caméra 3D - O3D3

Description de la constitution d'une adresse IP (norme IPv4) :

L'adresse IP comporte quatre valeurs comprises entre 0 et 255 (codé sur un octet) séparées par un point, par exemple 127.10.1.54. Elle se décompose en 2 parties : l'adresse réseau et l'adresse machine. Pour trouver l'adresse réseau, un ET logique entre l'adresse IP et un masque de sous réseau est effectué. Le masque de sous-réseau est constitué de façon identique à l'adresse IP.

Par exemple :

Adresse IP :	127.10.1.54	codé en binaire :	01111111.00001010.00000001.00110110
Masque de sous-réseau :	255.255.255.0	codé en binaire :	11111111.11111111.11111111.00000000
Résultat du ET logique :			01111111.00001010.00000001.00000000

L'adresse réseau est donc égale à 127.10.1.0. L'adresse machine est donc égale à 0.0.0.54.

L'adresse IP d'une caméra est 192.168.0.69.

Le masque de sous-réseau est 255.255.255.0.

Le routeur nécessite une adresse IP.

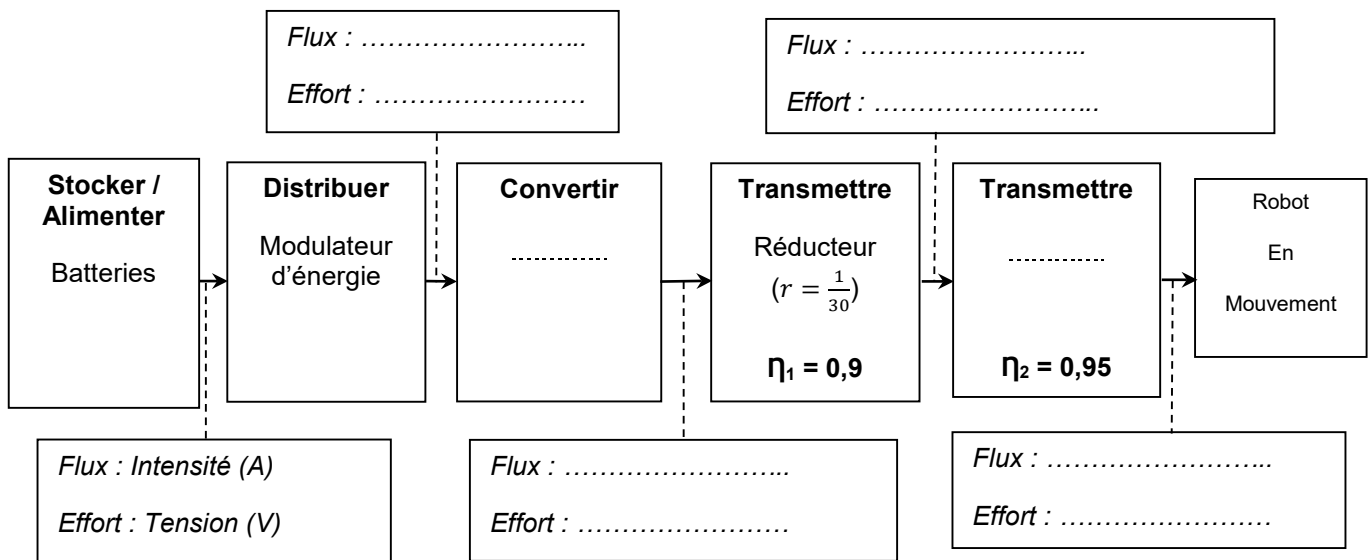
Question 1.18 **Déterminer** l'adresse de sous-réseau. **En déduire** le nombre d'appareils maximum pouvant être affectés à ce réseau.

L'exigence de visualisation des zones impose 8 caméras 3D, et 2 tablettes.

Question 1.19 **Conclure** sur la capacité de la structure informatique à respecter cette exigence de visualisation.

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Question 1.5



Question 1.14

	Etat de MRot	Etat de MPiv
Phase 1	MRot = ...	MPiv = ...
Phase 2	MRot = ...	MPiv = ...
Phase 3	MRot = ...	MPiv = ...
Phase 4	MRot = ...	MPiv = ...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :



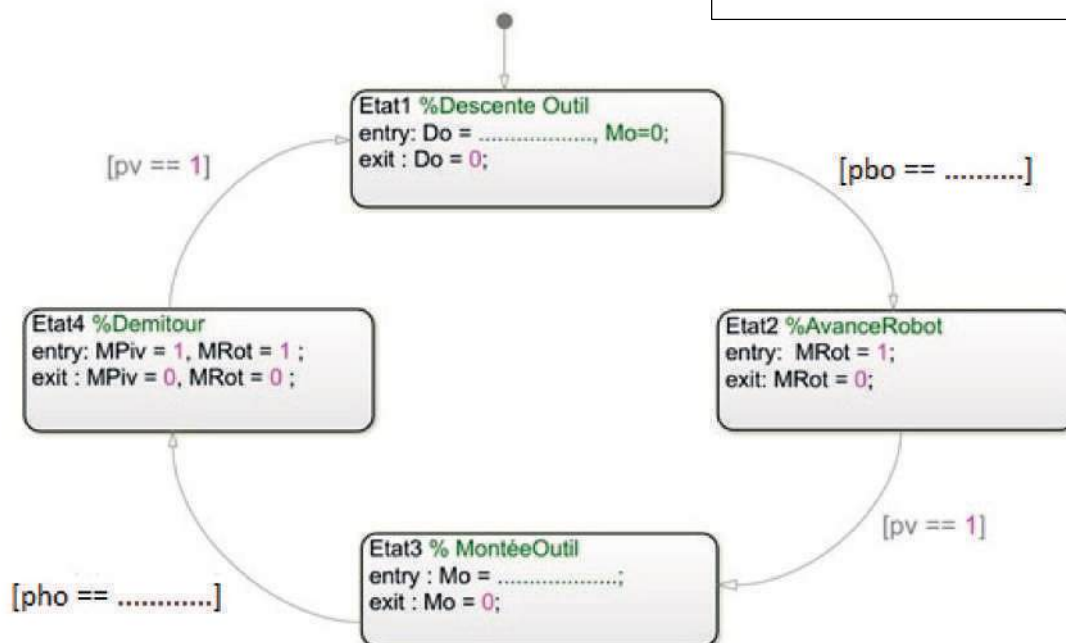
Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.....). Les variables sont décrites pages 13 et 14.

Question 1.15

Précisions

Entry : précise les actions à effectuer lorsque l'état est activé

Exit : précise les actions à effectuer lorsque l'on sort de l'état



« Programme de contrôle »

Question 1. 15

```

# Définition des fonctions utilisées
def Monter_Outils() :
    while pho ..... :
        Mo = .....
        D0 = 0
        pho = verifie_position_haute_outil()
    Mo=0
def Faire_Demi_Tour():
    while pv .....:
        MRot = .....
        MPiv = .....
        pv = verifie_position_alignement()
    MRot = 0
    MPiv = 0
  
```


Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Transfert thermique et gastronomie (10 points)

Plat emblématique de la gastronomie auvergnate, la truffade se prépare à partir de pommes de terre rissolées dans du saindoux (matière grasse) auxquelles on ajoute en fin de cuisson de la tomme fraîche coupée en fines lamelles. La tomme fraîche est un fromage peu affiné au goût lacté issu de la première étape de la fabrication du Cantal. Pour faciliter le filage, il est conseillé de sortir la tomme du réfrigérateur afin que celle-ci retrouve une température proche de la température ambiante.



Tomme fraîche et truffade

Données :

- masse du bloc de tomme fraîche : $m = 0,52 \text{ kg}$;
- surface d'échange entre l'air et le bloc de tomme : $S = 2,9 \times 10^2 \text{ cm}^2$;
- capacité thermique massique de la tomme fraîche : $c = 3,1 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (estimation) ;
- coefficient de transfert thermique convectif surfacique dans l'air : $h = 10,0 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (estimation dans les conditions étudiées) ;
- température de l'air mesurée pendant l'expérience : $\theta_{\text{air}} = 19,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (valeur constante) ;
- température initiale du bloc de tomme fraîche : $\theta_0 = 9,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

À la sortie du réfrigérateur, le bloc de tomme fraîche est retiré de son emballage puis posé sur une de ses plus grandes faces, sur une planche en bois. L'air circule alors librement tout autour des cinq autres faces.

La situation sera modélisée en considérant uniquement les transferts conducto-convectifs.

On néglige le transfert thermique au niveau de la face du bloc en contact avec la planche en bois devant les autres.

Pour simplifier, on considère que la température du bloc de tomme notée θ est la même en tout point du bloc tout au long de l'expérience.

Une sonde thermique est insérée au cœur du bloc, la température est enregistrée toutes les deux minutes ; les résultats expérimentaux sont donnés figure 2.

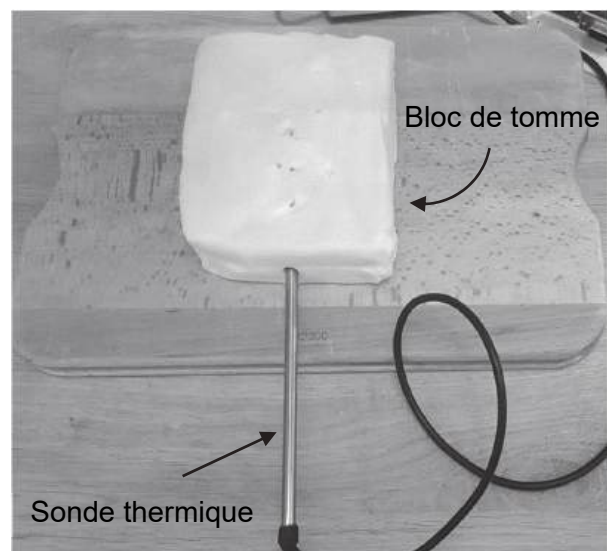


Figure 1. Dispositif de mesure

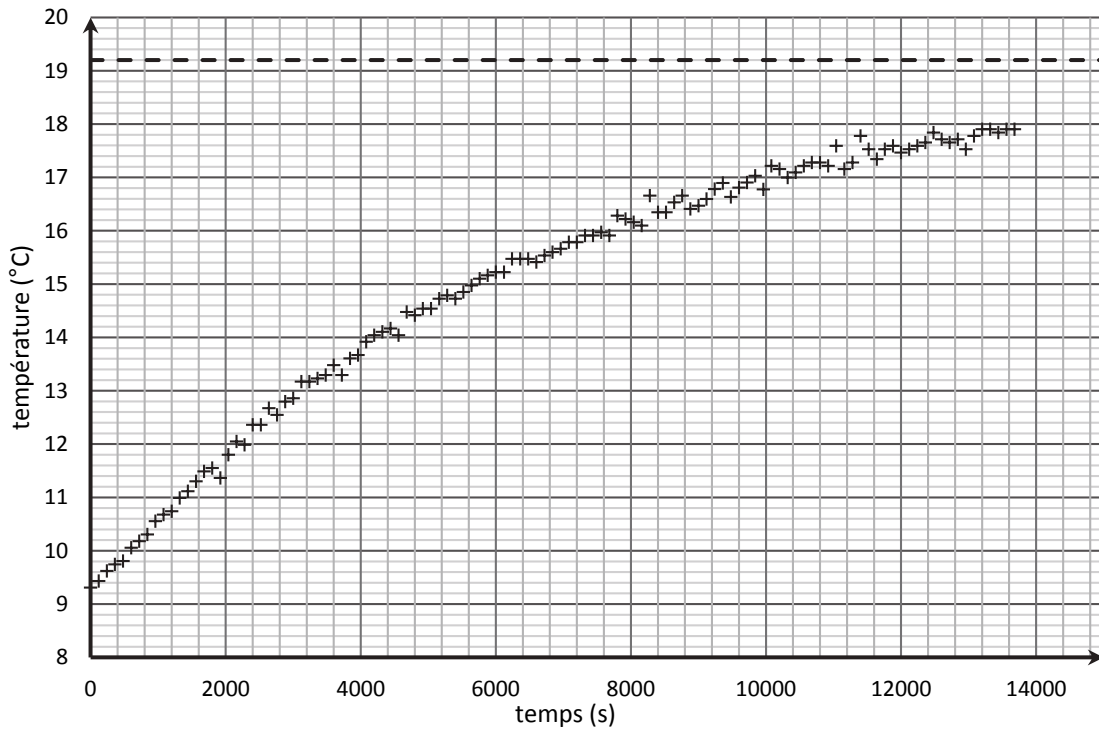


Figure 2. Mesures expérimentales de la température du bloc de tomme

Q1. Indiquer sur un schéma de la situation, faisant apparaître les températures, dans quel sens s'opère le transfert thermique au travers du bloc de tomme fraîche.

En considérant uniquement les transferts conducto-convectifs, on admet que l'équation différentielle vérifiée par la température du bloc de tomme fraîche est de la forme suivante :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{h \times S}{m \times c} \theta = \frac{h \times S}{m \times c} \theta_{\text{air}} \quad (1)$$

Cette équation différentielle a pour solution générale :

$$\theta(t) = \theta_{\text{air}} + (\theta_0 - \theta_{\text{air}}) \times e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

Q2. Vérifier à l'aide des équations (1) et (2) que $\tau = \frac{m \times c}{h \times S}$. Donner la signification physique et l'unité de cette grandeur.

Q3. À l'aide de la figure 2, estimer, en explicitant la méthode, une valeur expérimentale de τ , notée τ_{exp} .

La représentation graphique de $Y = \ln(\theta_{\text{air}} - \theta(t))$ en fonction du temps est donnée sur la figure 3 page suivante, ainsi que sa modélisation par une fonction affine.

Q4. Montrer à l'aide de la figure 3 que l'expression (2) rend bien compte des résultats expérimentaux.

Q5. Effectuer à l'aide de la figure 3 une nouvelle estimation de la valeur expérimentale de τ et comparer à celle obtenue à la question 3.

Q6. À partir des données, de l'expression $\tau = \frac{m \times c}{h \times S}$ et des valeurs expérimentales obtenues, discuter des hypothèses du modèle choisi.

Q7. Proposer une méthode permettant à un cuisinier de réduire la durée de la remontée en température du bloc de tomme fraîche.

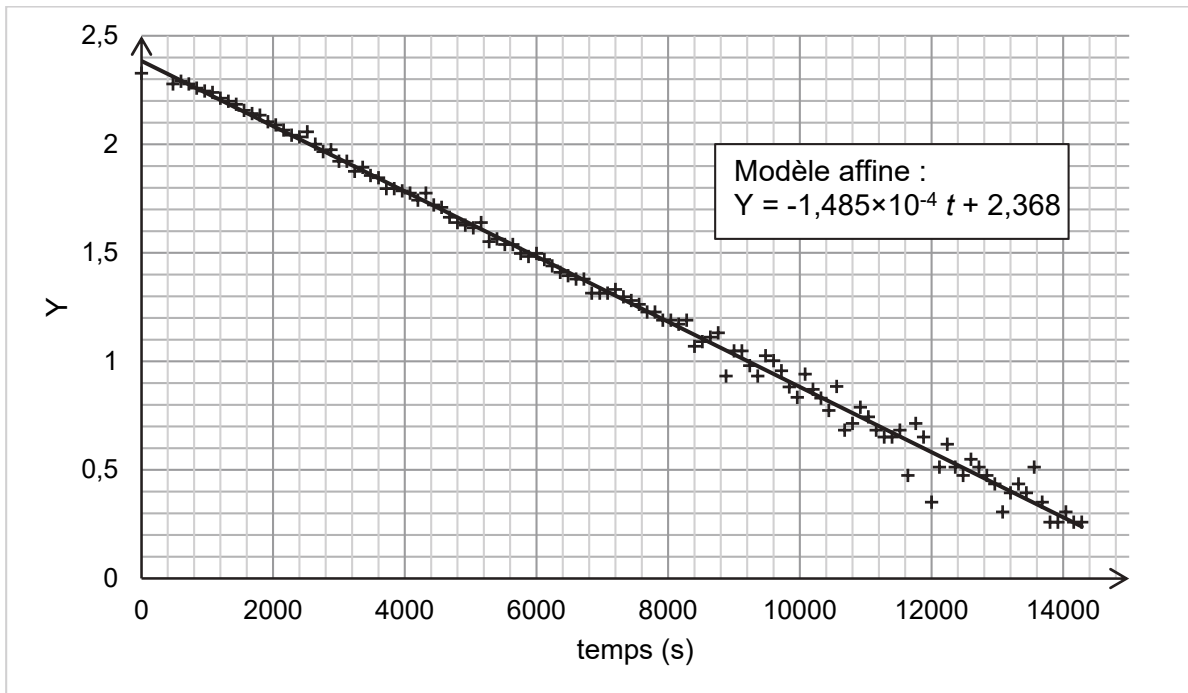


Figure 3. La représentation graphique de $Y = \ln(\theta_{\text{air}} - \theta(t))$ en fonction du temps

EXERCICE B – Combien de « g » dans l'essoreuse à salade ? (10 points)

L'accélération se mesure en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ mais peut aussi s'exprimer comme un multiple de l'accélération de la pesanteur « g » : soit $1g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Le pilote d'un avion de chasse ou d'un avion de voltige lors d'un looping subit une accélération pouvant atteindre 6g.

L'exercice étudie l'accélération que peut subir une feuille de salade dans le panier d'une essoreuse.

Donnée :

- diamètre intérieur du panier tournant de l'essoreuse : $D = 23,5 \text{ cm}$.



Figure 1. L'essoreuse en cours d'utilisation

Q1. Représenter le repère de Frenet au point A du panier de l'essoreuse sur le document en **ANNEXE à rendre avec la copie**.

Q2. Exprimer les coordonnées dans le repère de Frenet du vecteur accélération $\vec{a}_A$ du point A. Le point A est situé à une distance r de l'axe de rotation ; on note v_A la norme de son vecteur vitesse.

Q3. Représenter, sans considération d'échelle, sur le document en **ANNEXE à rendre avec la copie**, le vecteur accélération $\vec{a}_A$ du point A lorsque le panier tourne à vitesse de rotation constante.

La vitesse de rotation du panier est mesurée avec un tachymètre laser. Un petit dispositif placé sur une bande noire collée au panier renvoie le faisceau laser à chaque tour. La bande noire évite les réflexions parasites de la lumière laser. Le tachymètre indique une valeur de 1150,7 tours par minute (noté RPM pour Revolutions Per Minute) pour la valeur de la vitesse de rotation du panier de l'essoreuse.



Figure 2. Tachymètre laser avec affichage de la vitesse de rotation en tours par minute

Q4. En utilisant la valeur mesurée par le tachymètre, montrer que la valeur de la vitesse du point A est $v_A = 14,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Exprimer cette vitesse en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Q5. Représenter sur le document en **ANNEXE à rendre avec la copie**, le vecteur vitesse $\vec{v}_A$ du point A du panier de l'essoreuse lors de la mesure, en considérant la vitesse de rotation comme constante. L'échelle de représentation utilisée fera correspondre 4 cm avec $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q6. Calculer dans ces conditions, la valeur a_A de l'accélération d'une feuille de salade placée en A dans le panier de l'essoreuse. L'exprimer en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et en « g ». Commenter le résultat en le comparant aux valeurs d'accélération données en introduction.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

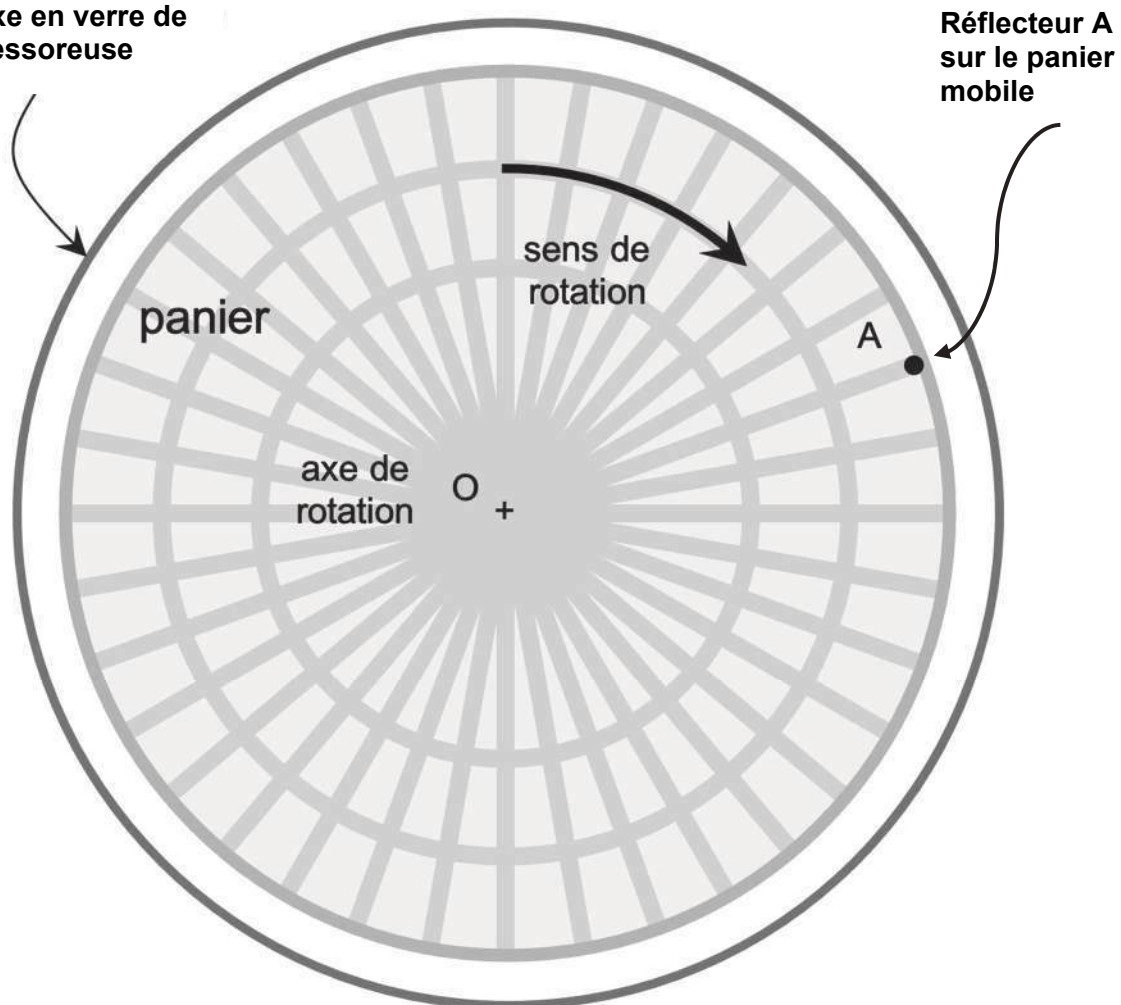
Partie Sciences Physiques

Exercice B - questions 1, 3 et 5.

Schéma de l'essoreuse et du panier.

Échelle de représentation du vecteur vitesse : 4 cm pour $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Cuve extérieure
fixe en verre de
l'essoreuse



BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 20 pages numérotées de 1/20 à 20/20.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : le document réponses DR1 (pages 16) est à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

ROBOT TONDEUR VITIROVER



Constitution du sujet

- Sujet pages 2 à 15
- Document réponse pages 16

Le sujet comporte trois sous-parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Le document réponses DR1 (page 16) est à rendre avec la copie.

Partie 1- sciences de l'ingénieur

Mise en situation

La réglementation de limitation des produits de désherbage (retrait du glyphosate annoncé) favorise l'émergence de nouvelles techniques d'entretien des sols agricoles. De plus en plus de viticulteurs se réorientent vers la méthode de l'enherbement naturel maîtrisé, qui consiste à laisser pousser la flore naturelle entre les rangs de vignes tout en maîtrisant son développement.

Présentation du robot tondeur vitirover

L'entreprise Vitirover a conçu un robot tondeur autonome destiné à fonctionner 24 heures sur 24. Ce robot ne consomme pas d'énergie fossile et fonctionne grâce à une batterie rechargée à l'énergie solaire. Destiné à évoluer entre les pieds de vigne, sa légèreté épargne les sols en évitant le tassement que peut provoquer le passage des tracteurs ou des chevaux. Capables de travailler en groupe (troupeau), ils permettent l'entretien de grandes superficies.



figure 1 : robot
VITIROVER en
situation dans la vigne

Un technicien, appelé "berger", pilote et gère le troupeau de robots. Des informations sur la position et l'état de charge de la batterie sont délivrées régulièrement à un serveur dédié. Le berger peut ainsi anticiper ses interventions sur site ou à distance (une des interventions les plus courantes est le changement de la batterie).

Les exigences auxquelles doit répondre le robot VITIROVER sont présentées figure 2.

Le déplacement du robot est assuré par quatre roues motrices indépendantes, chacune étant entraînée par un motoréducteur. Les deux roues arrières sont montées sur un essieu articulé pour permettre le passage d'obstacle et favoriser la mise en virage.

La partie coupe, entièrement indépendante, est constituée de trois disques gyrobroyeurs, directement entraînés chacun en rotation par un moteur électrique. Les trois lames de coupe montées sur chaque disque sont libres en rotation et se positionnent automatiquement avec l'inertie. Cette liberté permet de ne pas les endommager lorsqu'elles rencontrent un obstacle.

Un système de positionnement par satellite (appelé aussi GNSS) est nécessaire pour connaître la position exacte du robot afin d'optimiser ses déplacements. Dans le sujet, le système étudié est le GPS (Global Positioning System).

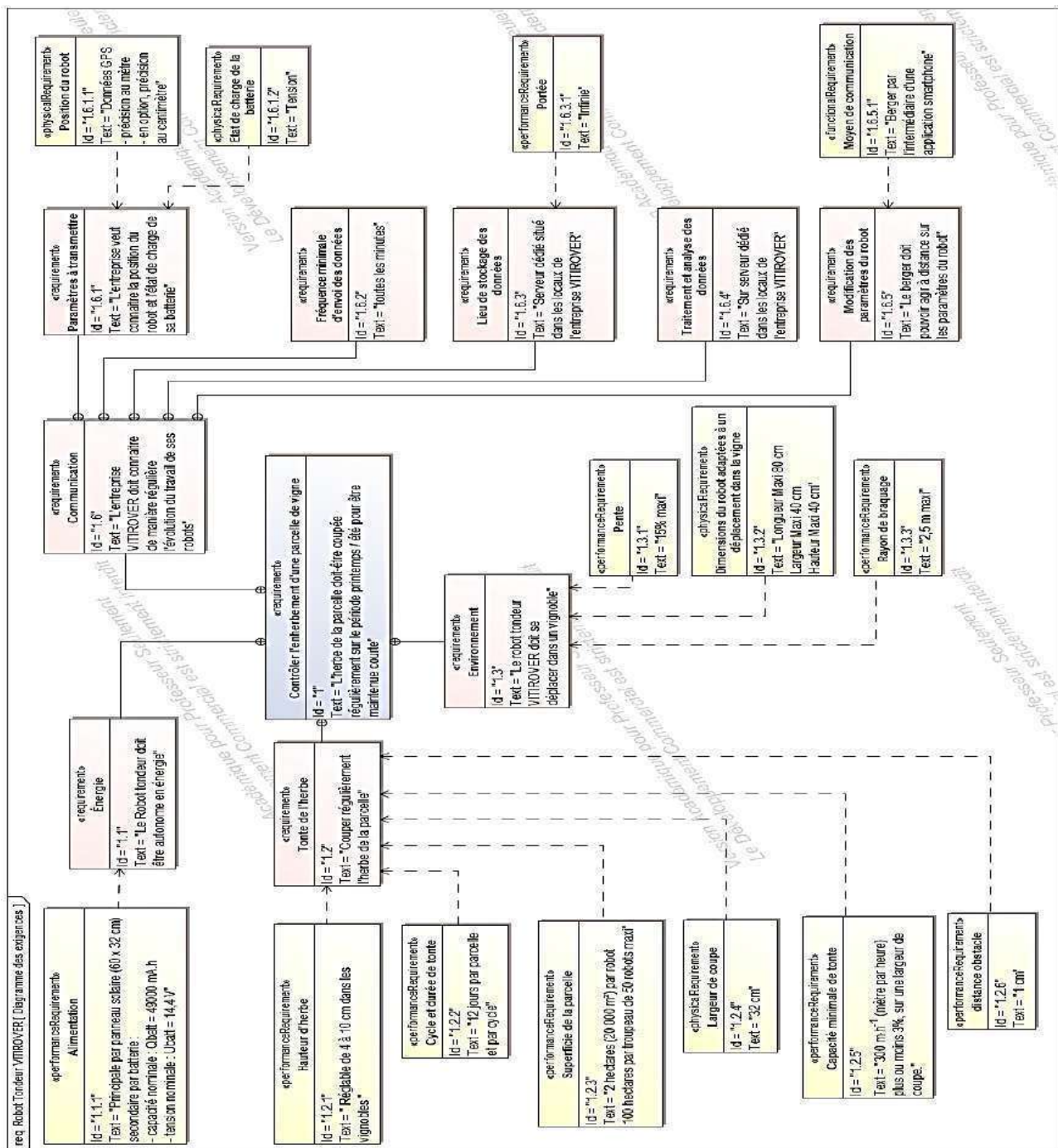


figure 2 : diagramme partiel des exigences

La problématique abordée dans ce sujet est la suivante :

comment contrôler l'enherbement d'une parcelle de vigne avec le robot VITROVER ?

Le sujet s'attache à répondre à cette question par la résolution de trois problèmes techniques :

- estimer l'autonomie du robot et valider le dimensionnement des éléments fournissant l'énergie nécessaire à son fonctionnement ;
- valider la transmission de puissance de l'avancement du robot au regard des exigences attendues ;
- proposer une solution au décodage de la trame au format texte du GPS pour en extraire la position géographique du robot.

Sous-partie 1 : bilan énergétique du robot

Les objectifs de cette sous-partie sont d'estimer l'autonomie du robot et de valider le dimensionnement des éléments fournissant l'énergie nécessaire à son fonctionnement.

En France métropolitaine, la quantité moyenne d'énergie reçue par un panneau photovoltaïque dans des conditions normales d'exposition correspond à environ 3 heures d'exposition à $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ chaque jour.

La figure 3 représente les courbes $I_p = f(U_p)$ en fonction de l'irradiance (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) où I_p désigne le courant électrique délivré par le panneau photovoltaïque et U_p la tension à ses bornes.

La courbe de la puissance en fonction de la tension, $P = f(U_p)$, est fournie sur cette même figure pour une irradiance de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (en pointillés).

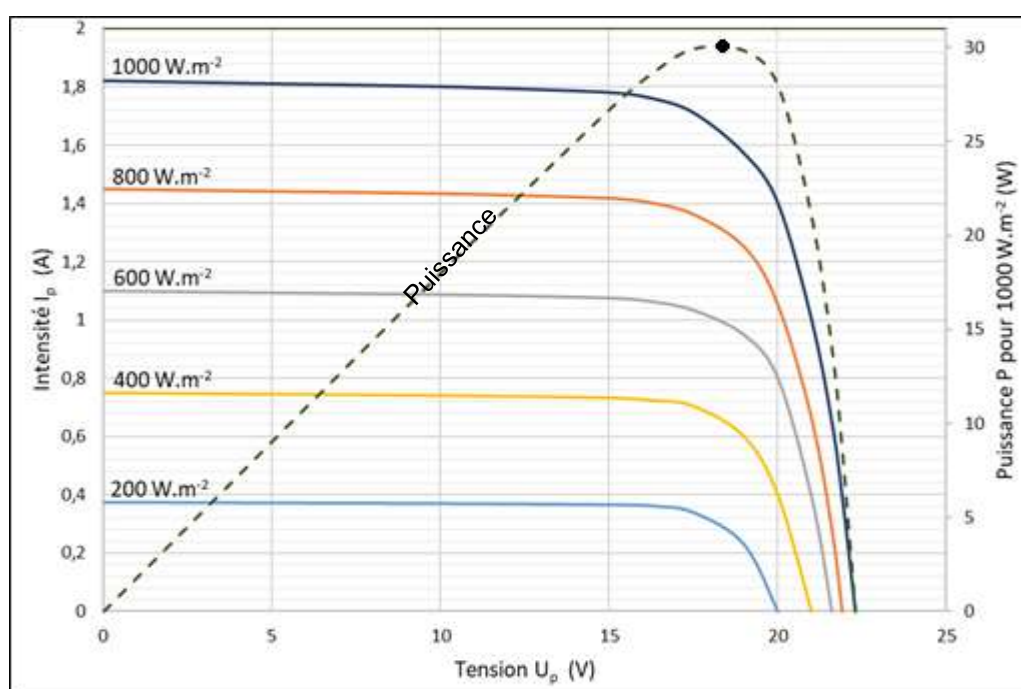


figure 3 : courbes caractéristiques en fonction de l'irradiance

Dans tout le sujet, les énergies seront exprimées en $\text{W}\cdot\text{h}$.

Question 1.	Pour les conditions maximales d'ensoleillement, relever la puissance maximale fournie par le panneau photovoltaïque.
figure 3	En déduire la quantité d'énergie maximale utilisable par le robot chaque jour W_u pour qu'il soit autonome.

Les caractéristiques nominales de la batterie sont données dans le diagramme partiel des exigences ci-dessous :

Question 2.	À partir des valeurs des caractéristiques nominales de la batterie du robot données figure 2 (id 1.1.1), calculer la quantité d'énergie nominale W_{batt} emmagasinée dans la batterie.
figure 2	

Chacun des trois moteurs de coupe est alimenté par un hacheur commandé en MLI (modulation de largeur d'impulsion). La tension d'alimentation d'un de ces moteurs, notée U_c , dans un cas typique de fonctionnement, a la forme présentée sur la figure 4 :

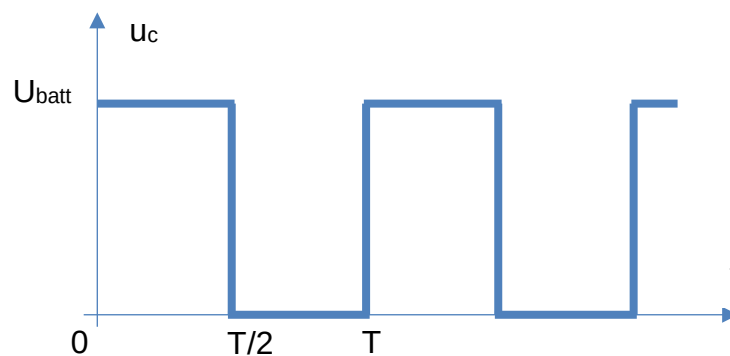


figure 4 : relevé de U_c (rapport cyclique de 50%)

Question 3.	Calculer la valeur moyenne dans ce cas typique de fonctionnement de la tension aux bornes d'un moteur de coupe U_{cmoy} si l'on suppose que la batterie est dans les conditions nominales.
figure 4	

Au regard de la fréquence élevée du hacheur, la puissance moyenne consommée du moteur est considérée comme constante $I_c = I_{cmoy} = 1,31$ A.

La puissance moyenne consommée du moteur peut donc être égale au produit du courant moyen et de la tension moyenne.

Question 4.	Calculer la puissance moyenne P_{cmoy} consommée par l'ensemble des moteurs de coupe.

Chacun des quatre moteurs d'avance est aussi alimenté par un hacheur commandé en MLI mais avec un rapport cyclique de 60 %. La tension aux bornes du moteur d'avance est noté U_{amoy} .

Une mesure de l'intensité moyenne du courant nécessaire pour chaque moteur d'avance du robot (moteur à courant continu) a donné : $I_{amoy} = 200$ mA.

Question 5.	Déterminer U_{amoy} , puis calculer la puissance moyenne P_{amoy} consommée par l'ensemble des moteurs d'avance du robot si l'on suppose que la batterie est dans les conditions nominales.

Question 6.	Si l'on suppose que la puissance consommée par la carte électronique de traitement P_e est égale à 1,5 W, calculer P_{tmoy} la puissance totale moyenne consommée par le robot dans les conditions étudiées précédemment.

Par la suite, P_{tmoy} la puissance totale moyenne consommée par le robot est estimée à 37 W.

Question 7.	Calculer l'énergie consommée W_c par le robot sur un temps d'utilisation de 24 heures.

Question 8.	Au regard des apports énergétiques quotidiens fournis par le panneau photovoltaïque et l'énergie disponible dans la batterie, le robot est-il autonome énergétiquement ? L'hypothèse d'une moyenne d'ensoleillement de 3 h à $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ par jour est-elle judicieuse compte tenu de la période d'utilisation du robot ?

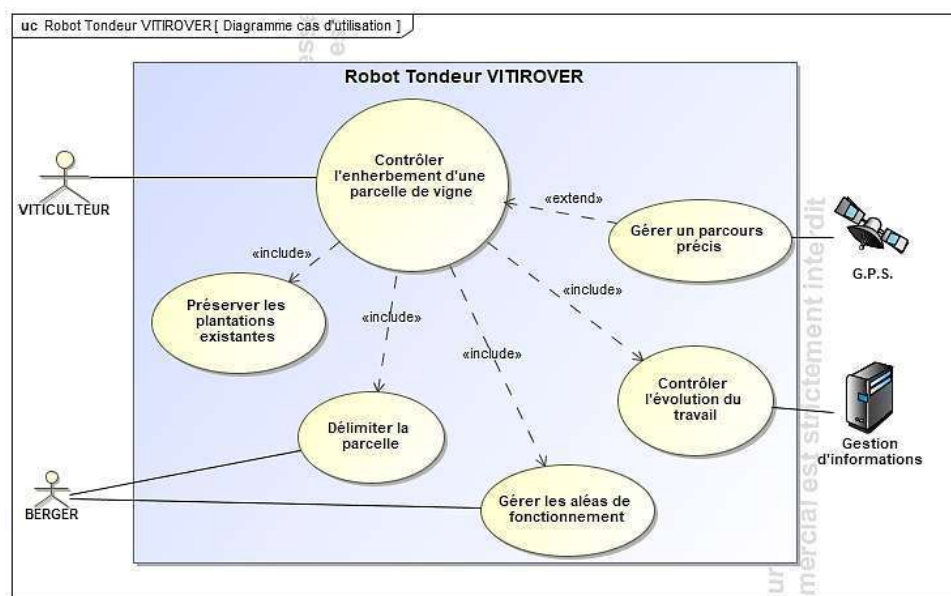


figure 5 : diagramme des cas d'utilisation

Question 9.	Déduire de la question précédente l'intérêt de l'intervention du berger pendant la période de tonte.

figure 5

Sous-partie 2 : étude de l'avancement du robot

L'objectif de cette sous-partie est de valider la transmission de puissance pour l'avancement du robot au regard des exigences attendues.

Les solutions techniques retenues pour ce robot sont schématisées figure 6.

Les quatre roues motrices sont chacune entraînées par un motoréducteur.

Les deux roues de l'arrière sont montées sur un essieu articulé pour permettre le passage d'obstacle et favoriser la mise en virage.

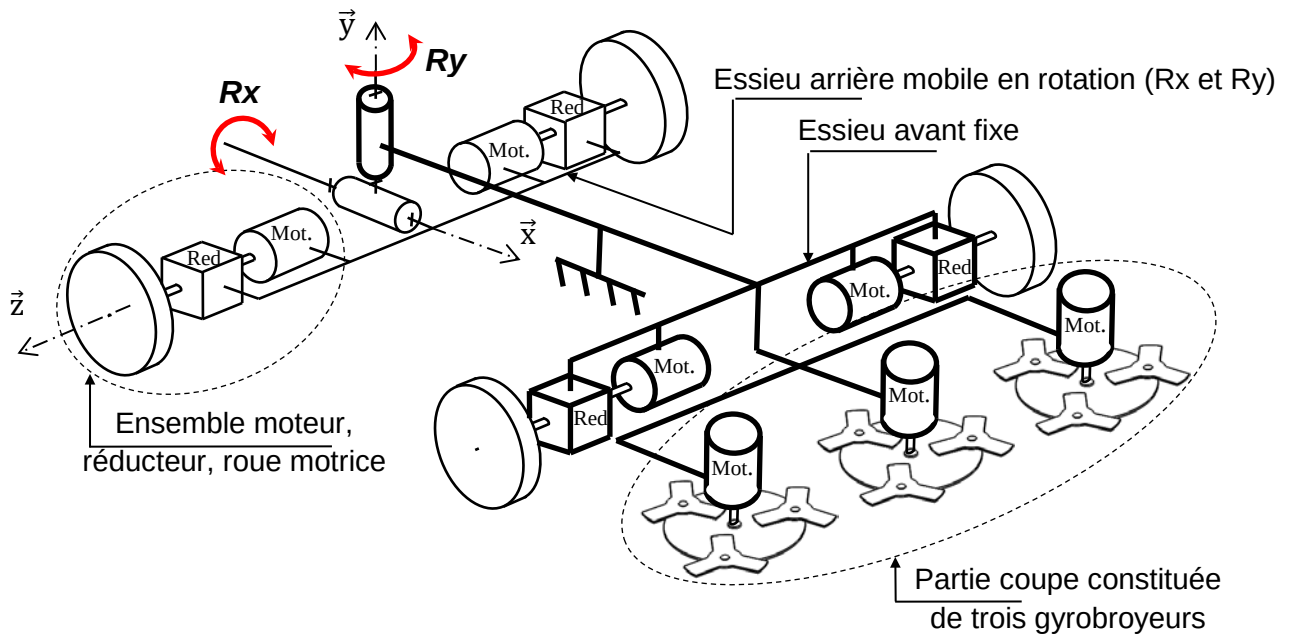


figure 6 : représentation schématique partielle du robot

La figure 7 représente le déplacement idéal du robot tondeur pour une couverture optimale de la zone à entretenir.

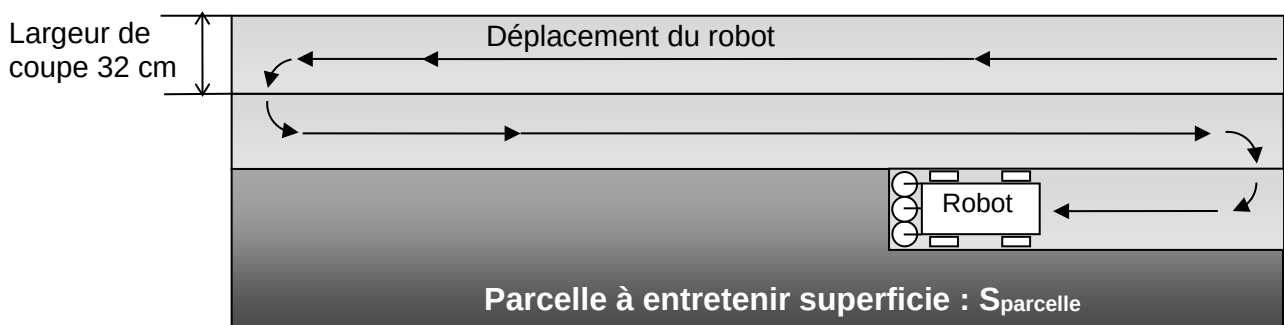


figure 7 : représentation simplifiée d'un parcours optimal sur une parcelle rectangulaire

Hypothèses définies pour ce parcours optimal :

- le nombre faible de demi-tours permet de négliger leur durée ;
- l'autonomie du robot lui permet de travailler 24 heures sur 24 sans interruption.

La capacité de tonte moyenne nécessaire est dans ce cas précis estimée à $220 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ (sur une largeur de coupe).

Question 10.	La valeur imposée par le diagramme des exigences (id 1.2.5) satisfait-elle à la capacité de tonte moyenne nécessaire ?
figure 2	

Afin de conserver la capacité de tonte exigée en tenant compte des conditions et de l'environnement réel (géométrie des parcelles et déplacement du robot pas aussi parfaits que sur la figure 7, temps de manœuvres pour contourner les obstacles, temps d'arrêts avant que le berger n'intervienne pour le remettre en service ...) la vitesse moyenne constante de déplacement du robot est fixée à $\|\vec{V}_{Robot/sol}\| = 500 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$.

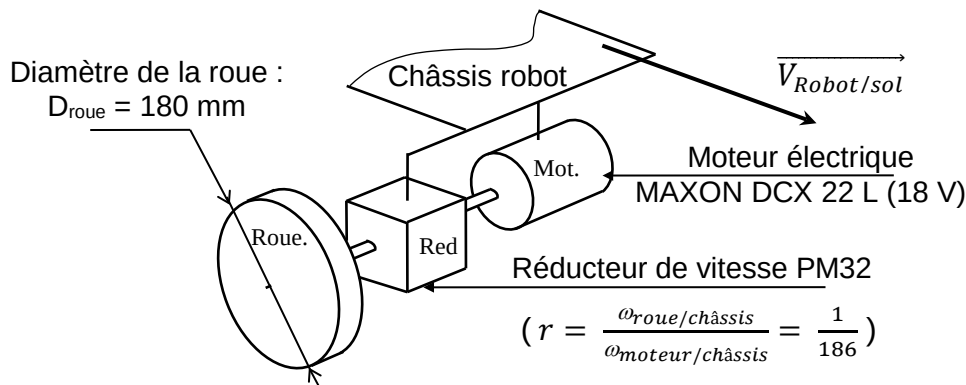


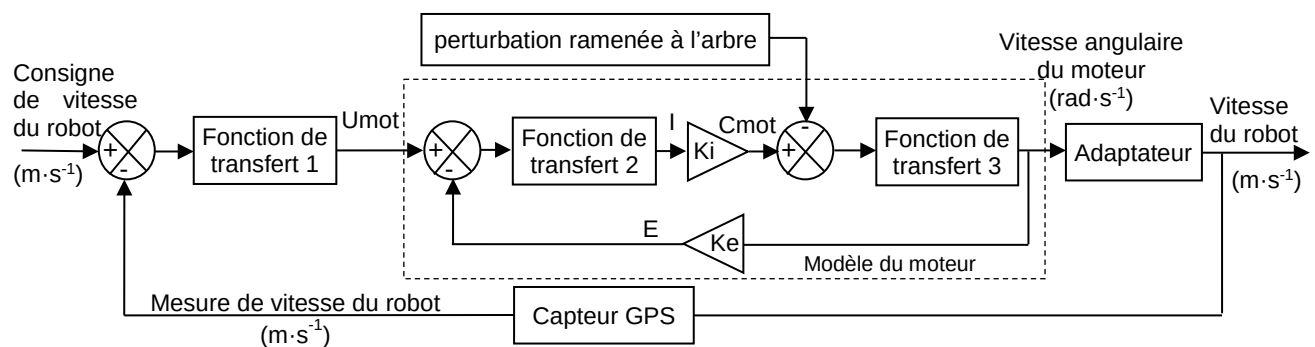
figure 8 : transmission de puissance pour l'avancement du robot

Question 11.	À partir des données sur la transmission de puissance, déterminer :
figure 8	- la vitesse angulaire $\omega_{roue/châssis}$ (en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) de chaque roue ; - la fréquence de rotation N_{mot} (en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$) du moteur.

Pour ce qui suit, la fréquence de rotation du moteur est fixée à : $N_{mot} = 2800 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Pour adapter la vitesse d'avance du robot à la pousse de l'herbe, il est nécessaire de réguler la vitesse de chaque moteur.

Afin de respecter les exigences du cahier des charges, la commande en vitesse des moteurs d'avance, consécutive à la consigne de vitesse du robot, est fixée à $2800 \text{ tr} \cdot \text{mn}^{-1}$. Le modèle partiel d'asservissement en régulation de vitesse du robot est donné figure 9.



U_{mot} : tension d'alimentation du moteur à courant continu en V

I : courant dans l'induit du moteur à courant continu en A

C_{mot} : couple moteur en N.m

E : force électromotrice (ou fem) en V

K_i : constante de couple moteur en $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$

K_e : constante de fem en $\text{V} \cdot \text{rad}^{-1} \cdot \text{s}$

figure 9 : modèle partiel de l'asservissement en vitesse du robot

Paramétrage du modèle

Les caractéristiques du moteur DCX 22 L (18 V) sont données figure 10.

Moteur DCX 22 L		Caractéristiques moteur			
1_ Tension nominale	V	9	12	18	24
2_ Vitesse à vide	tr/min	5870	4980	5740	5060
3_ Courant à vide	mA	34	20,0	16,4	10,2
4_ Vitesse nominale	tr/min	5210	4000	4780	4070
5_ Couple nominal (couple permanent max.)	mNm	21,4	29,5	29,8	29,2
6_ Courant nominal (courant permanent max.)	A	1,50	1,30	1,01	0,655
7_ Couple de démarrage	mNm	191	150	178	150
8_ Courant de démarrage	A	13,1	6,54	5,97	3,31
9_ Rendement max.	%	90	89	90	89
10_ Résistance aux bornes	Ω	0,687	1,84	3,01	7,25
11_ Inductivité	mH	0,078	0,192	0,326	0,746
12_ Constante de couple	mNm/A	14,6	22,9	29,9	45,2
13_ Constante de vitesse	tr/min/V	654	416	320	211
14_ Pente vitesse/couple	tr/min/mNm	30,8	33,3	32,2	33,9
15_ Constante de temps mécanique	ms	3,17	3,14	3,13	3,14
16_ Inertie du rotor	gcm ²	9,82	9,00	9,26	8,85



figure 10 : caractéristiques du moteur pour l'entraînement de chaque roue

Question 12.	Préciser quel type de grandeur physique est appliqué sur l'entrée nommée « perturbation ramenée à l'arbre » du modèle partiel. Déterminer les valeurs à affecter aux paramètres K_e et K_i pour le moteur choisi de tension nominale 18 V.
figures 8, 9 et 10	

L'apparition d'une perturbation (pente sur le trajet du robot par exemple) survenue à l'instant $t = 16$ s provoque une variation de la vitesse de rotation du moteur. Cette variation est donnée en figure 11.

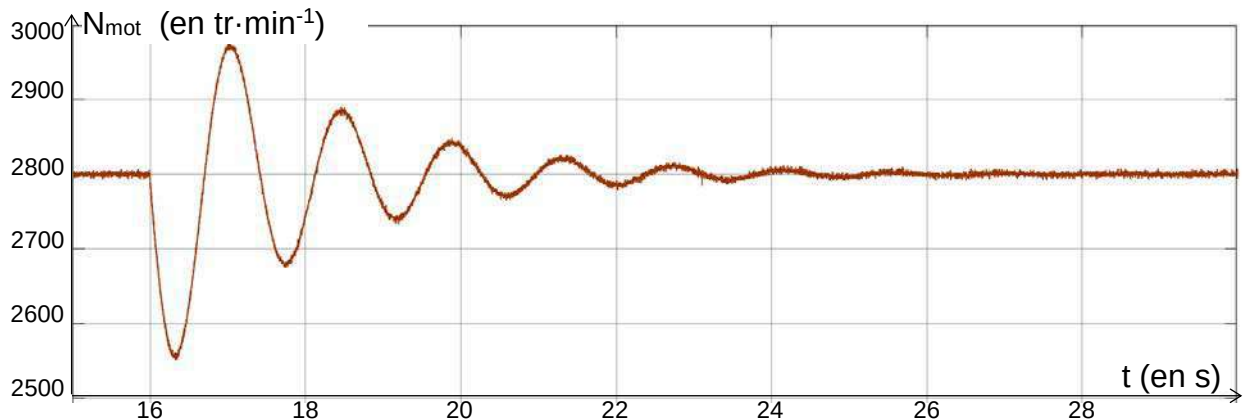


figure 11 : fréquence de rotation du moteur en tr·min⁻¹

Question 13.	Au regard du critère de précision défini figure 2 (id 1.2.5) attendu sur la vitesse de déplacement du robot, indiquer si la fréquence de rotation du moteur mesurée en régime permanent est satisfaisante. Justifier la réponse.
figure 11	

Vérification du couple moteur

Le constructeur prévoit que le robot puisse se mouvoir sur une pente de 15 % (inclinaison de 8,6°). On souhaite vérifier que le moteur choisi possède un couple suffisant pour permettre ce déplacement.

Une étude dynamique est réalisée avec les hypothèses suivantes :

- l'étude est ramenée dans le plan $(O, \vec{x}, \vec{y})$ considéré comme plan d'étude ;
- l'étude est faite lorsque le robot gravit une pente de 15 % ($8,6^\circ$) ;
- la valeur de l'accélération étant très faible, l'étude sera traitée pour un mouvement rectiligne uniforme du robot ;
- on isole la roue de l'essieu restant en contact avec le sol (repérée '1' figure 12) ;
- la répartition des masses des différents éléments permet de supposer que, pour le cas le plus défavorable, la moitié du poids du robot est supportée par cette roue ;
- les roues sont équipées de pneumatiques en caoutchouc non gonflés à crampons ;
- des mesures faites sur ces pneumatiques permettent d'évaluer sur sol enherbé le facteur d'adhérence ainsi que la résistance au roulement (décalage δ) ;
- durant son déplacement, les flancs du robot viennent très souvent frotter sur des éléments extérieurs (pied de vigne, ornière, ...). Cette résistance à l'avancement est modélisée par un effort ramené au point O centre de la roue.

Les actions mécaniques appliquées à la roue 1 isolée sont représentées figure 12 :

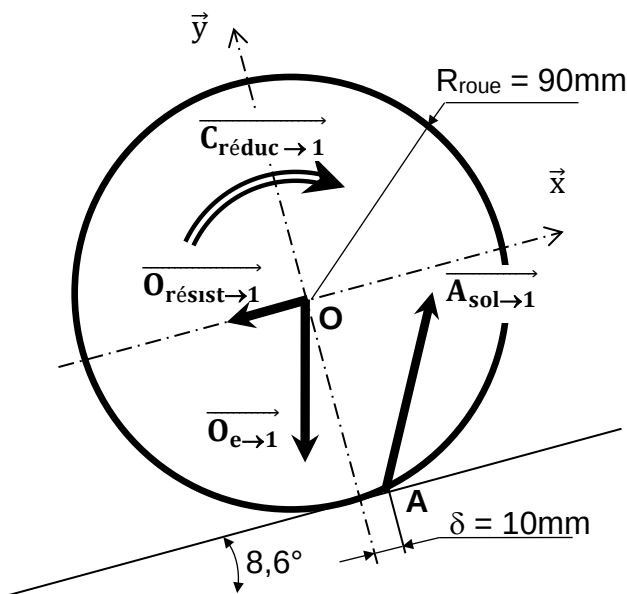


figure 12 : roue 1 isolée,
représentation des actions mécaniques

- $\overrightarrow{C_{reduc \rightarrow 1}}$, couple appliqué sur l'axe de la roue

$$\{\tau_{reduc \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -C_{roue} \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

- $\overrightarrow{O_{e \rightarrow 1}}$, action de l'essieu sur la roue 1 au point O, résultant du poids du robot (en N)

$$\{\tau_{e \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} -15 & 0 \\ -98 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

- $\overrightarrow{O_{resist \rightarrow 1}}$, résistance à l'avancement due aux frottements du robot ramenée au point O ; intensité mesurée 8 N

$$\{\tau_{resist \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} -8 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

- $\overrightarrow{A_{sol \rightarrow 1}}$, action du sol sur la roue 1. L'écrasement du pneu sur le sol décale le point A vers l'avant de $\delta = 10$ mm

$$\{\tau_{sol \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(A, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Le principe fondamental de la dynamique se traduit ici par :

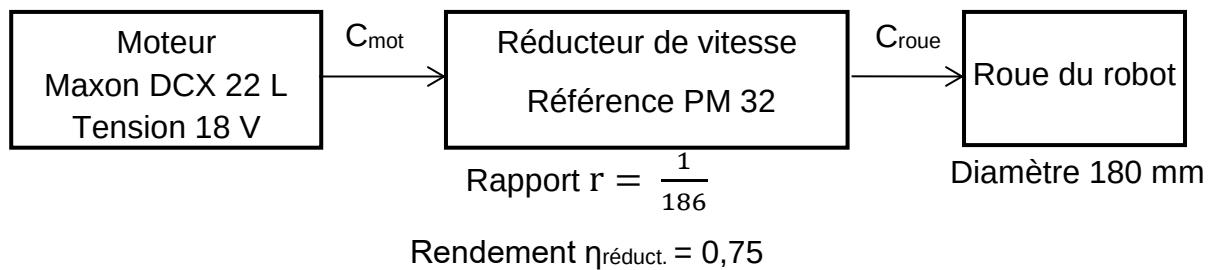
$$\text{résultante dynamique : } \overrightarrow{O_{\text{résist} \rightarrow 1}} + \overrightarrow{O_{e \rightarrow 1}} + \overrightarrow{A_{\text{sol} \rightarrow 1}} = \vec{0}$$

moment dynamique au point O en projection sur $\vec{z}$

$$-C_{\text{roue}} + (R_{\text{roue}} \times X_A) + (\delta \times Y_A) = 0$$

Question 14.	À partir des relations issues de l'application du principe fondamental de la dynamique, déterminer la valeur de X_A , Y_A et du couple minimal C_{roue} à appliquer à la roue pour gravir la pente de 15 %.
figure 12	

La représentation partielle sous forme de schéma-bloc d'une partie de la chaîne de puissance est la suivante :



Question 15.	À partir des caractéristiques du réducteur de vitesse, calculer le couple moteur minimum C_{mot} nécessaire sur chaque roue.
figure 10	Conclure sur la faculté du robot de gravir la pente de 15 % annoncée.

Sous-partie 3 : décodage des informations issues de la carte GPS en vue de leur exploitation

L'objectif de cette sous-partie est de proposer une solution au décodage de la trame au format texte du GPS pour en extraire la position géographique du robot.

Afin d'obtenir une efficacité optimale de tonte sur la surface à couvrir, on a besoin de récupérer les informations de position de chacun des robots du troupeau.

Un module GPS est utilisé. Les informations de sortie du GPS sont traitées par un microcontrôleur et transmises au serveur de données (réseau 4G/5G).

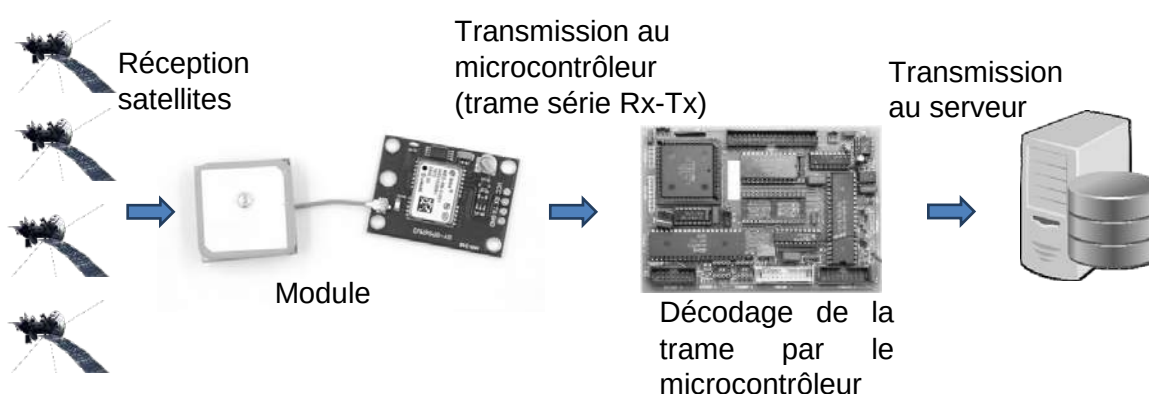


figure 13 : chaîne d'acquisition du GPS

Les définitions de la latitude et de la longitude sont précisées ci-dessous :

- la latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire. Elle caractérise la position d'un point sur Terre par rapport à l'équateur qui est le plan de référence. Elle est exprimée en degré vers le nord (N) ou vers le sud (S) ;
- la longitude est également une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire. Elle caractérise la position d'un point sur Terre par rapport au méridien de Greenwich. Elle est exprimée en degré vers l'est (E) ou l'ouest (O).

Par exemple, le miroir d'eau de la ville de Bordeaux se situe 44° 50' 30.09" N (pour 44 degrés, 50 minutes et 30,09 secondes) et 0° 34' 8.699" O (pour 0 degré, 34 minutes et 8,699 secondes). Une minute d'angle vaut 1/60 de degrés tandis qu'une seconde d'angle vaut 1/3 600 de degrés.

Le module GPS génère des trames (dite NMEA pour National Marine Electronics Association) contenant une multitude d'informations comme l'heure d'émission de la trame, la latitude, la longitude, l'altitude, etc.

Il existe plus d'une trentaine de trames différentes ayant chacune leur propre syntaxe.

La figure 14 décrit une trame NMEA de type GPGGA .

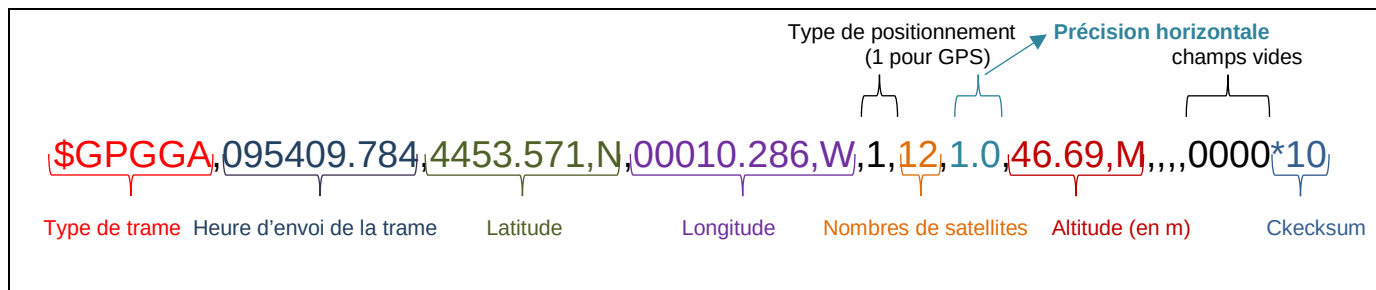


figure 14 : exemple de trame NMEA

Les coordonnées latitude et longitude de la trame NMEA sont données en "degrés minutes" et sous la forme d'une suite de caractères alphanumériques. Pour exploiter ces informations, le microcontrôleur doit les extraire et les convertir en un nombre décimal.

L'objectif est d'extraire les suites de caractères définissant la latitude et la longitude afin d'obtenir la position géographique du robot et la transmettre au serveur qui centralise le pilotage du troupeau de robots.

Dans la trame, la latitude est donnée sous la forme DDMM.MMM et la longitude sous la forme DDDMM.MMM où D représente l'information en degrés et M l'information en minutes et le point le séparateur des parties entière et décimale de l'information en minutes.

Le programme Python permettant de décoder les informations de position du robot est donné dans le document réponse DR1.

Celui-ci consiste à récupérer les informations situées entre les séparateurs que constituent les virgules à l'intérieur de la trame et à convertir les coordonnées GPS en nombres décimaux (degrés décimaux).

Question 16.	Déduire de la trame du script Python et du document réponse DR1, la latitude et la longitude (en degrés minutes), ainsi que l'altitude du lieu identifié par cette trame. Calculer les coordonnées en degrés minutes secondes.
figure 14, DR1	

La méthode split du script Python permet de créer une liste de sous-chaînes de caractères à partir d'une chaîne de caractères en utilisant un caractère spécifique comme séparateur.

Exemple :

Script Python	Affichage dans la console après exécution
<pre>chaine="un,deux,trois,quatre,cinq" liste=chaine.split(",") print(liste)</pre>	<pre>['un', 'deux', 'trois', 'quatre', 'cinq']</pre>

Question 17.	Commenter, sur le document réponse DR1, les trois lignes du programme permettant de récupérer les informations de l'heure d'émission de la trame.
DR1	

Question 18.	Compléter, sur le document réponse DR1, la partie du code de la fonction <code>conversion_long</code> qui permet de convertir la longitude contenue dans la trame en une valeur décimale exploitable par le microcontrôleur.
DR1	

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Document réponse DR1

Questions 17 et 18

Programme Python du décodage d'une trame :

```
# trame reçue :
trame_recue="$GPGGA,080623.971,4412.471,N,00036.336,E,1,12,1.0,52.25,M,0.0,M,,*48"
# obtention d'une liste d'éléments obtenus par la découpe de la trame
# en identifiant les éléments séparés par le caractère ','
trame=trame_recue.split(",")
```

```
def lecture_heure(liste):
# récupération de l'heure à partir d'une chaîne de caractères du type 'HHMMSS'
    heure = (liste[1]) #deuxième terme de la liste, donc d'indice 1
```

Question 17	h=heure[:2] #.....
	min=heure[2:4] #.....
	sec=heure[4:] #.....
	return h,min,sec

```
def conversion_lat(liste):
# conversion de la latitude en coordonnées décimales
    valeur = float(liste[2]) # troisième terme de la liste, donc d'indice 2
    degre = int(valeur/100)
    minutes = valeur%100 # conserve les chiffres à partir des dizaines vers la droite
    if liste[3]=='N':
        return degre + minutes/60 # latitude Nord, donc positive
    else :
        return -degre - minutes/60 # latitude negative (Sud)
```

```
def conversion_long(liste):
# conversion de la longitude en coordonnées décimales
```

Question 18	.....
	
	
	
	
	
	
	
	
	

```
# extraction de l'heure
heure=lecture_heure(trame) # heure est une liste de 3 valeurs (h m s)
# extraction et conversion de la latitude
latitude = conversion_lat(trame) # latitude est un nombre de type float
# extraction et conversion de la longitude
longitude = conversion_long(trame) # longitude est un nombre de type float
```


1.2

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A - Évolution de la température d'un vaccin (10 points)

Un vaccin se présente en suspension injectable prête à l'emploi conditionnée en flacon multidoses (le volume d'une dose est 0,5 mL).

Il peut se conserver 6 mois au réfrigérateur, à l'abri de la lumière.

Une fois sorti du réfrigérateur, sa durée de conservation prévue par l'AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) est de 6 heures, à une température ne dépassant pas 30 °C.

Pour éviter la sensation désagréable liée « au froid » au moment de l'injection, il est conseillé d'attendre un certain temps après la sortie du réfrigérateur, pour que la température du vaccin atteigne une valeur voisine de 20 °C.



L'objectif de cet exercice est de prévoir le temps nécessaire pour que le vaccin atteigne une température de 20 °C après sa sortie du réfrigérateur.

La température intérieure du réfrigérateur est considérée égale à $T_i = 4\text{ °C}$ et la température ambiante dans la pièce est $T_e = 22\text{ °C}$.

Le système étudié est le liquide contenu dans le flacon. Le flacon lui-même ne sera pas pris en compte dans l'analyse des transferts thermiques.

Données

- Tout transfert thermique, autre que conducto-convectif entre le système et le milieu extérieur, est négligé.
- Loi phénoménologique de Newton : le flux thermique $\Phi(t)$ entre un système à la température uniforme $T(t)$ et un milieu extérieur à la température T_e fixe (thermostat) peut être modélisé par la loi de Newton : $\Phi(t) = h \times S \times (T_e - T(t))$ avec dans le cas de cet exercice :
 - h le coefficient conducto-convectif : $h = 18\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$;
 - S surface d'échange entre le système et le milieu extérieur : $S = 12,8 \times 10^{-4}\text{ m}^2$.
- La capacité thermique massique du liquide du flacon : $c = 4,2 \times 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- La masse du liquide présent dans le flacon : $m = 5,0\text{ g}$.

1. Indiquer le sens du transfert d'énergie qui s'effectue entre le milieu extérieur et le système une fois sorti du réfrigérateur.
2. Préciser l'unité du flux thermique Φ et commenter son signe.
3. En appliquant le premier principe de la thermodynamique et en considérant que le système n'échange de l'énergie avec le milieu extérieur que par transfert thermique Q , donner l'expression de Q en fonction de la masse m du système, de sa capacité thermique massique c et de sa variation de température ΔT .
4. Exprimer le transfert thermique Q issu de la convection entre le milieu extérieur et le système supposé incompressible, en fonction de Φ et de la courte durée Δt du transfert thermique.

5. Déduire des deux questions précédentes sur le transfert thermique que l'équation différentielle vérifiée par la température est :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{h \times S}{m \times c} (T_e - T)$$

On admet alors que le temps  cou l  et la température du système sont liés par la relation :

$$t = - \frac{m \times c}{h \times S} \times \ln \left(\frac{T - T_e}{T_i - T_e} \right)$$

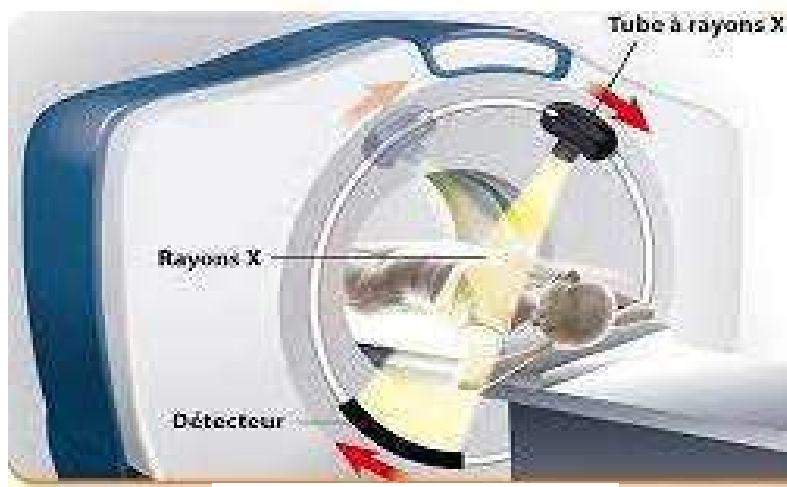
T_i étant la température initiale du système et T_e celle, constante, du milieu extérieur.

6. Calculer la durée pour que le système atteigne la température $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Vérifier si cette durée est cohérente avec la recommandation du laboratoire quant au délai d'utilisation du vaccin une fois sorti du réfrigérateur.

EXERCICE B - Le scanner à rayons X (10 points)

La radiographie réalisée par un scanner à rayons X est une technique d'imagerie médicale utile dans le diagnostic de nombreuses pathologies.

Le scanner crée un faisceau à rayons X à l'aide d'un tube à rayons X ou tube de Coolidge.



Scanner à rayons X

Dans ce tube à rayons X, une tension élevée U est maintenue entre un filament cathodique, borne négative, et une anode tournante, borne positive (figures 1 et 2). Un courant électrique provoque l'échauffement d'un filament situé à la cathode. L'agitation des électrons présents augmente et une partie d'entre eux est éjectée du filament au point O, avec une vitesse négligeable. La tension U accélère les électrons du point O vers l'anode en tungstène. Devenus très énergétiques, ils frappent l'anode, ce qui produit des rayons X.

Pour obtenir ces rayons X, chaque électron doit avoir acquis une énergie cinétique égale à $6,4 \times 10^{-15}$ J au minimum.

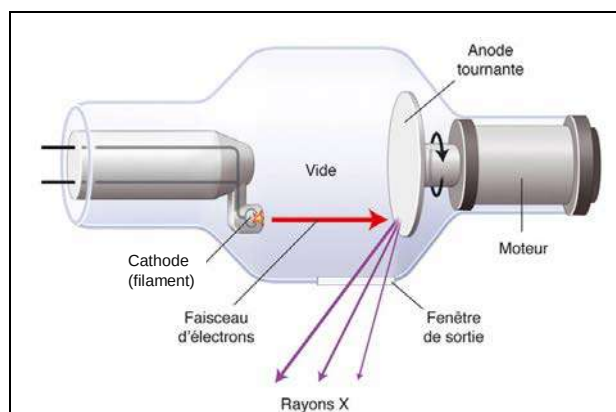


Figure 1 - Schéma représentatif du tube à rayons X (tube de Coolidge).
<http://wiki.side-sante.fr>

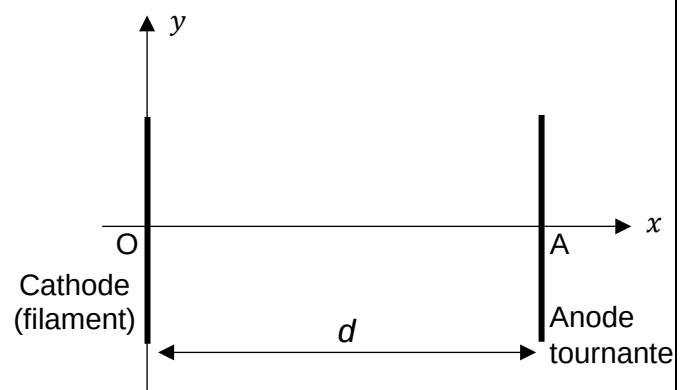


Figure 2 - Schéma simplifié

Le but de cet exercice est de calculer la tension minimale à appliquer entre la cathode et l'anode pour que le faisceau d'électrons parvienne à provoquer l'émission de photons X au niveau de l'anode.

On considèrera l'électron comme système d'étude assimilé à un point matériel dont on négligera le poids.

Son mouvement sera étudié dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen.

À l'instant initial, l'électron est situé au point O et sa vitesse est considérée comme nulle.

Données

- Masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg.
- Charge de l'électron : $q = -e = -1,6 \times 10^{-19}$ C

1. Reproduire la figure 2 puis tracer, entre la cathode et l'anode, sans préciser d'échelle :
 - le vecteur champ électrique supposé uniforme $\vec{E}$,
 - la force $\vec{F}$ que subit un électron situé en un point de l'axe (Ox).
2. Donner l'expression vectorielle de $\vec{F}$ en fonction de e et $\vec{E}$.
3. Montrer que les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ de l'électron, exprimées dans le repère (Oxy) de la figure 2, sont $a_x = \frac{e \times U}{m \times d}$ et $a_y = 0$.
4. En déduire la coordonnée du vecteur vitesse de l'électron selon l'axe (Ox), notée v_x .
Établir que x s'écrit $\frac{1}{2} \times \left(\frac{e \times U}{m \times d} \right) \times t^2$.
5. Donner l'expression littérale de t_A , l'instant où l'électron atteint l'anode (au point A) située à la distance d de O.
6. Grâce aux deux questions précédentes, en déduire que l'expression de la vitesse de l'électron au niveau de l'anode est $v_A = \sqrt{\frac{2 \times e \times U}{m}}$.
7. Répondre à la problématique de l'exercice « trouver la tension minimale à appliquer entre la cathode et l'anode pour que le faisceau d'électron parvienne à provoquer l'émission de photons X au niveau de l'anode ».
Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 21 pages numérotées de 1/21 à 21/21.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR2 (pages 16 à 17) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Trottinette électrique



Constitution du sujet

- Sujet pages 1 à 15
- Documents réponses..... pages 16 à 17

**Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 16 à 17) seront
à rendre avec la copie.**

Partie 1- sciences de l'ingénieur

Mise en situation : Les nouvelles technologies au service de la micro-mobilité

Le succès grandissant de la trottinette électrique s'accompagne d'améliorations de ses performances, de sa sécurité et de son utilisation.

Cet engouement est dû plus particulièrement aux innovations technologiques (voir figures 1 et 2) qui permettent de réinventer l'usage de la trottinette. Le modèle de trottinette étudié se voit attribuer un système de récupération de l'énergie cinétique KERS (Kinetic Energy Recovery System) intégré à la roue motrice, qui s'enclenche automatiquement lorsque l'accélérateur est relâché ou la poignée de frein actionnée ; cela a pour conséquence de ralentir la trottinette pour récupérer de l'énergie électrique lors des freinages.

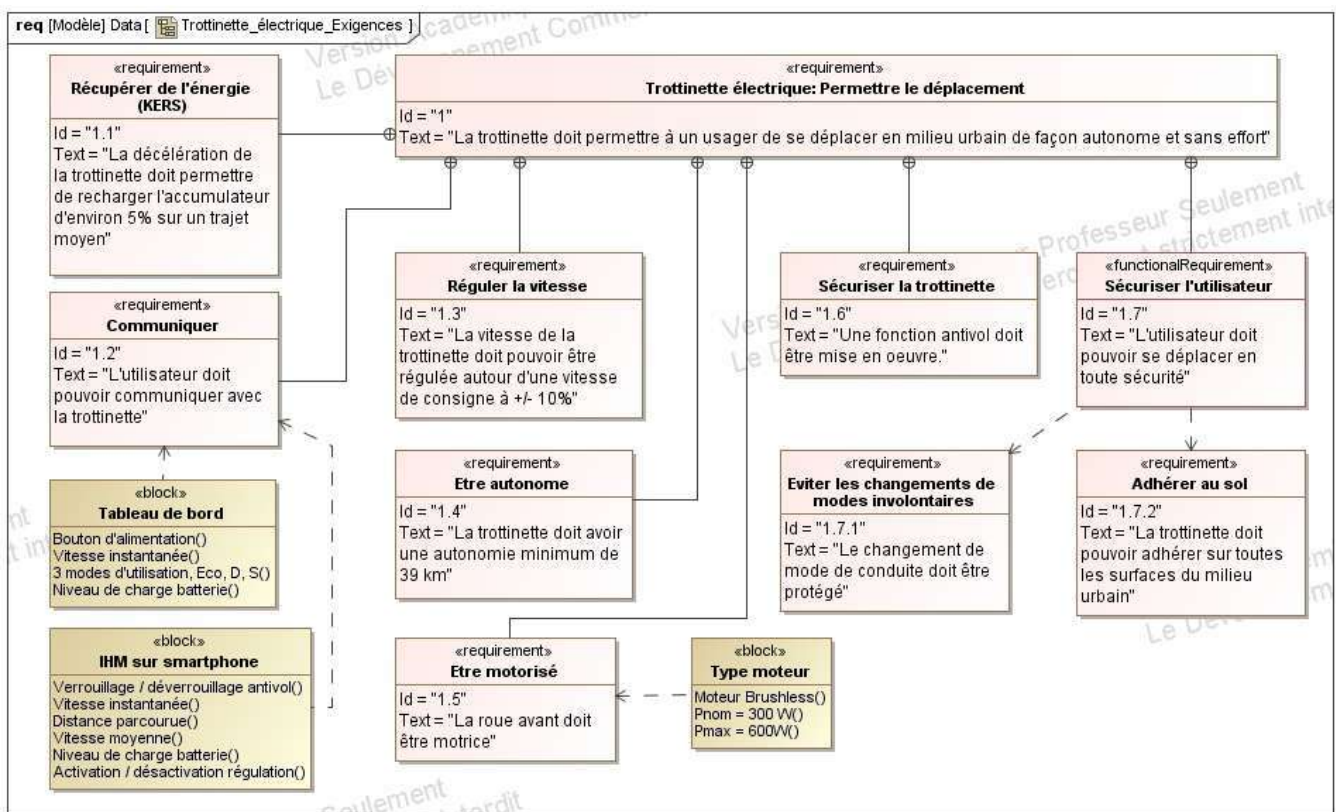


figure 1 : diagramme partiel des exigences

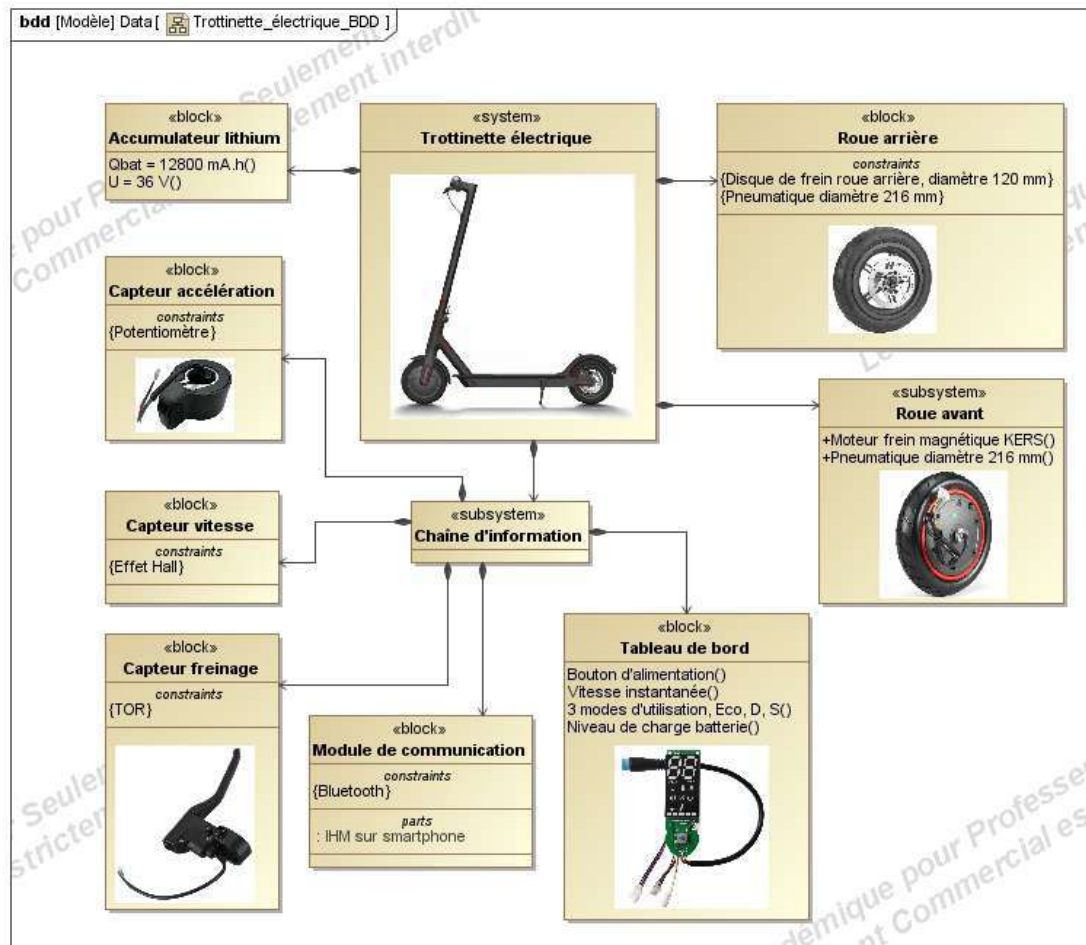


figure 2 : diagramme partiel de blocs

La problématique abordée dans ce sujet est de vérifier si les innovations mises en œuvre sur cette trottinette apportent bien un gain en terme d'énergie, de confort, et de sécurité.

Sous-partie 1 : adhérence lors d'un freinage

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que l'utilisateur peut se déplacer en toute sécurité.

À l'approche d'un feu rouge ou d'un stop, un freinage est nécessaire afin de marquer l'arrêt sans glisser.

La trottinette doit suivre la loi de vitesse simplifiée pour un freinage (normal) en ligne droite sur un sol horizontal (voir figure 3).

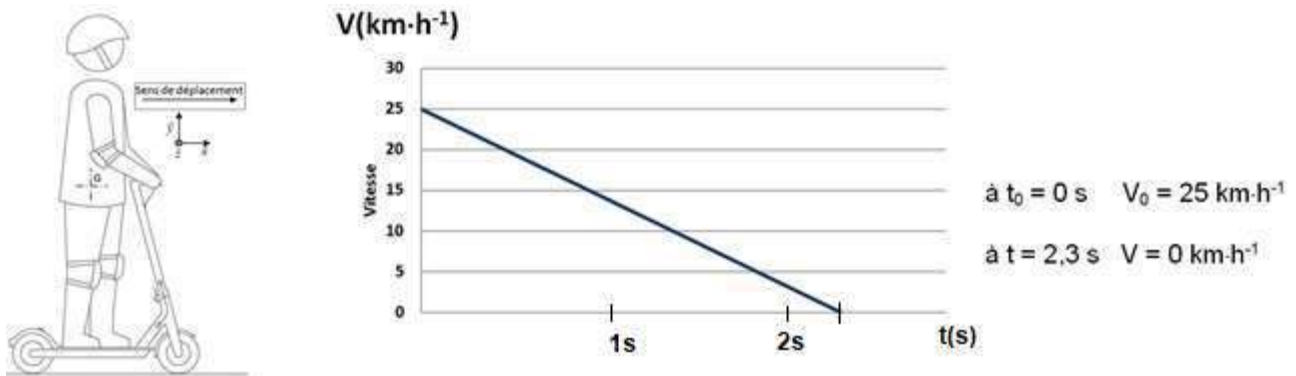


figure 3 : vitesse linéaire en phase de freinage en fonction du temps

Question 1.	À partir de la figure 3, indiquer la nature du mouvement dans cette phase de freinage, exprimer et calculer la décélération a_G en précisant son unité.
figure 3	

La trottinette doit pouvoir s'arrêter sans glissement entre le pneumatique de la roue avant et le sol.

Hypothèses :

- l'étude est menée dans le plan de symétrie $(O, \vec{x}, \vec{y})$ pour les actions mécaniques ;
- on note $\mathcal{R}(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ le repère galiléen lié au sol ;
- la trottinette $\{T\} = \{\text{cadre} + \text{roues} + \text{utilisateur}\}$, considérée comme un unique solide indéformable, de centre de masse G et de masse totale M en kg est animé par rapport au repère $\mathcal{R}_0$ d'un mouvement de translation uniformément décéléré tout au long de la phase de freinage jusqu'à l'arrêt total ;
- le contact entre les pneumatiques de la trottinette et le sol est considéré comme ponctuel de normale $\vec{y}$ avec frottement ;
- l'action de l'air sur l'ensemble trottinette et la résistance au roulement sont négligées ;
- l'action sur le levier de frein coupe instantanément l'accélérateur et agit sur le système de freinage disque plaquettes de la roue arrière ;
- toute décélération déclenche le frein magnétique régénératif KERS ;
- la répartition de freinage est de 86% sur la roue avant et 14% sur la roue arrière.

Modélisation et paramétrage du système {T}.

Données :

- masse trottinette, $m_t = 14,2 \text{ kg}$;
- masse utilisateur, $m_u = 75 \text{ kg}$;
- roues AV et AR, $\varnothing_{\text{roue}} = 216 \text{ mm}$;
- $l_1 = 390 \text{ mm}$;
- $l_2 = 420 \text{ mm}$;
- $h = 900 \text{ mm}$;
- accélération de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

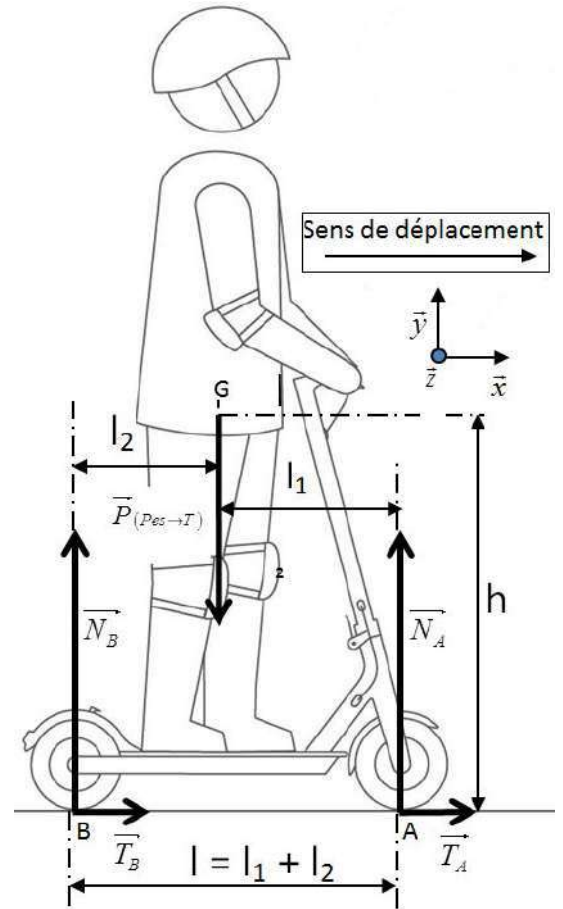


figure 4 : modélisation et paramétrage du système{T}

On isole la trottinette {T}, elle est soumise à 3 actions mécaniques extérieures représentées sur la figure 4.

- Action mécanique à distance de pesanteur sur l'ensemble {T} = {châssis+roues+utilisateur} exprimée au centre de gravité G de l'ensemble :

$$\{T_{(Pes \rightarrow T)}\}_G = \begin{cases} \overrightarrow{P_{(Pes \rightarrow T)}} = -M \cdot g \cdot \vec{y} \\ \overrightarrow{M_{G(Pes \rightarrow T)}} = \vec{0} \end{cases} \quad \text{avec } M = m_t + m_u \text{ en kg}$$

- Action mécanique de contact du sol sur la roue avant au point A :

$$\{T_{(Sol \rightarrow T)}\}_A = \begin{cases} \overrightarrow{A_{(Sol \rightarrow T)}} = T_A \cdot \vec{x} + N_A \cdot \vec{y} \\ \overrightarrow{M_{A(Sol \rightarrow T)}} = \vec{0} \end{cases} \quad \text{avec } \overrightarrow{GA} = l_1 \cdot \vec{x} - h \cdot \vec{y}$$

- Action mécanique de contact du sol sur la roue arrière au point B :

$$\{T_{(Sol \rightarrow T)}\}_B = \begin{cases} \overrightarrow{B_{(Sol \rightarrow T)}} = T_B \cdot \vec{x} + N_B \cdot \vec{y} \\ \overrightarrow{M_{B(Sol \rightarrow T)}} = \vec{0} \end{cases} \quad \text{avec } \overrightarrow{GB} = -l_2 \cdot \vec{x} - h \cdot \vec{y}$$

Question 2.	Écrire l'équation vectorielle de la résultante issue du principe fondamental de la dynamique appliqué à l'ensemble {T}.
figure 4	En déduire l'équation algébrique en projection sur $\bar{x}$ (équation 1) et l'équation algébrique en projection sur $\bar{y}$ (équation 2).

Question 3.	Appliquer le théorème du moment dynamique au point G à l'ensemble {T}.
figure 4	En déduire l'équation algébrique en projection sur $\bar{z}$ (équation 3) et montrer que $N_A = \frac{l_2 \cdot P - h \cdot (T_A + T_B)}{l_1 + l_2} = \frac{l_2 \cdot P - h \cdot M \cdot a_G}{l}$

Rappels :

- la répartition de freinage est de 86% sur la roue avant et 14% sur la roue arrière,
- le facteur de frottement f est identique entre les roues et le sol,
- quel que soit le résultat trouvé à la question n°1, on prendra $a_G = -3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Question 4.	À partir des équations 1 et 3, exprimer et calculer les efforts N_A et T_A
figure 4	en fonction de la décélération. Évaluer le rapport $\frac{T_A}{N_A}$.

Pendant la phase de freinage, le coefficient de frottement dynamique ou de glissement, dont la valeur dépend, entre autre, des deux matériaux en présence et de l'état de leurs surfaces amènent à prendre en compte différents coefficients de glissement suivant l'état de la chaussée.

- état de la chaussée : route goudronnée ou béton sec, $f = 0,8$,
- état de la chaussée : asphalte lisse ou mouillé, légèrement boueux, $f = 0,4$.

Question 5.	À l'aide de la loi de Coulomb et des coefficients de frottement, conclure sur l'exigence id 1.7.2. « adhérer au sol ».

Sous-partie 2 : régulation de la vitesse et récupération d'énergie

L'objectif de cette sous-partie est de s'assurer de la capacité de la trottinette à maintenir une vitesse constante sur un parcours, et d'en déterminer l'autonomie énergétique..

Un modèle multiphysique (figure 5) est utilisé pour vérifier les performances de régulation de vitesse sous différentes conditions.

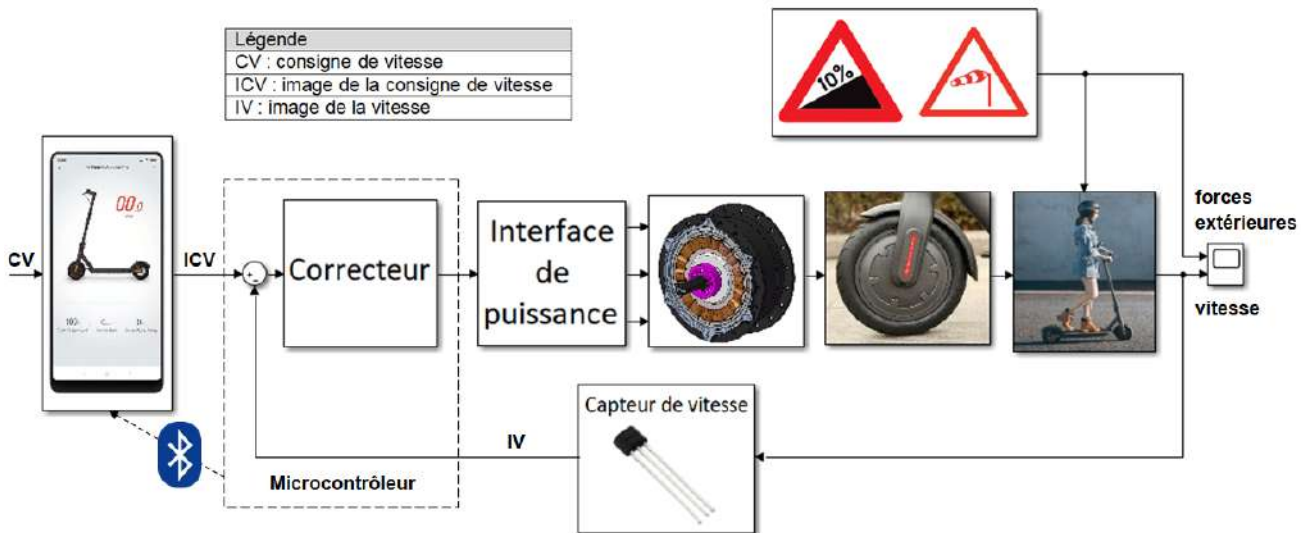


figure 5 : modèle multiphysique de régulation de vitesse de la trottinette

Les trois capteurs de vitesse à effet hall (mesurant un champ magnétique) intégrés au moteur permet de donner l'image de la valeur de la fréquence de rotation de roue.

Ces capteurs à effet hall sont placés en face des pôles magnétiques du rotor. Il y a 8 paires de pôles (nord – sud) sur le rotor. Ainsi, à chaque tour du moteur, donc à chaque tour de roue, chaque capteur à effet hall fournit 8 impulsions électriques.

Un oscillogramme issu d'un des capteurs à effet hall du moteur est fourni sur la figure 6.

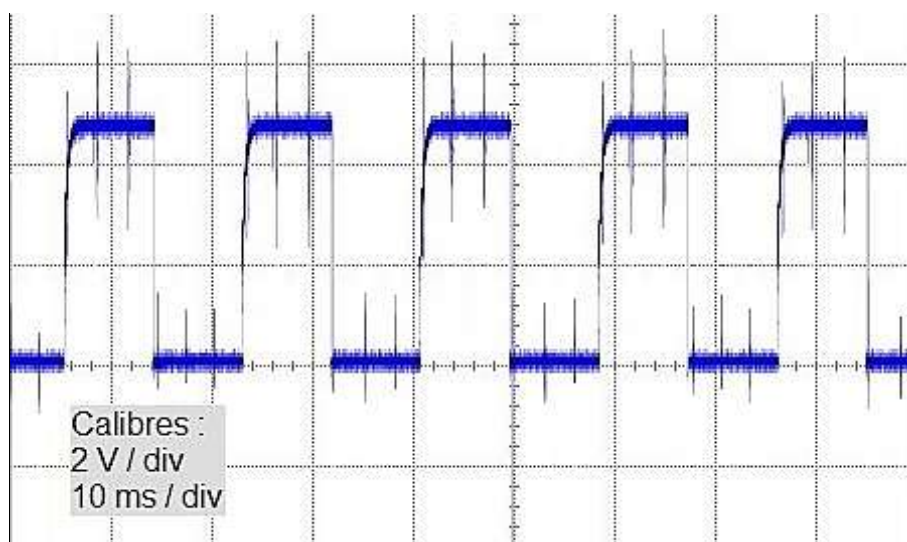


figure 6 : oscillogramme d'un capteur à effet hall

Question 6.	Mesurer la période T de ce signal et en déduire sa fréquence. Calculer alors la fréquence de rotation de la roue (en $\text{tr}\cdot\text{s}^{-1}$).
figure 6	

Rappel des données :

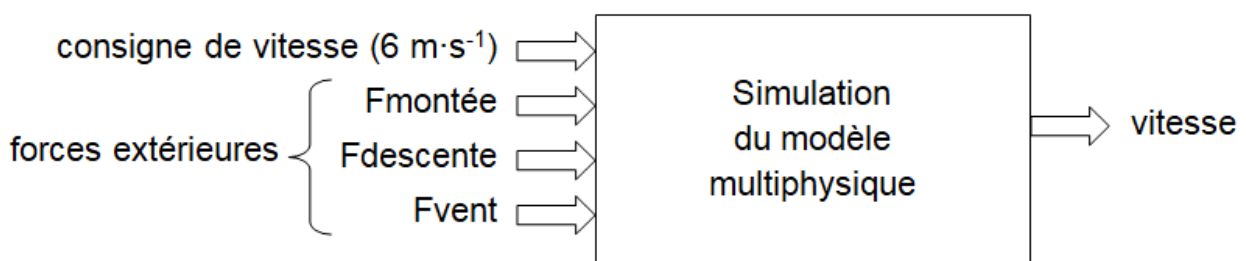
- Le rayon de la roue avant est de 10,8 cm.

Question 7.	Calculer la vitesse linéaire de la trottinette (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ puis en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) lors de cette acquisition. En déduire l'expression de la loi de vitesse V_T ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) de la trottinette en fonction de la période T .
figure 6	

Afin d'analyser l'efficacité de la régulation de vitesse sous différentes perturbations, l'ensemble utilisateur + trottinette peut être soumis en simulation :

- à des franchissements de pentes (montante puis descendante) paramétrables,
- à du vent de face optionnel et d'intensité paramétrable.

Les simulations sont réalisées sur une durée de 2 min, et pour une vitesse de consigne valant $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Une force ($F_{\text{montée}}$) de -80 N permet de simuler une pente montante d'environ 10%, et une force (F_{descente}) de +40 N permet de simuler une pente descendante d'environ 5%.

Les résultats de trois simulations sont présentés figures 7, 8, 9.

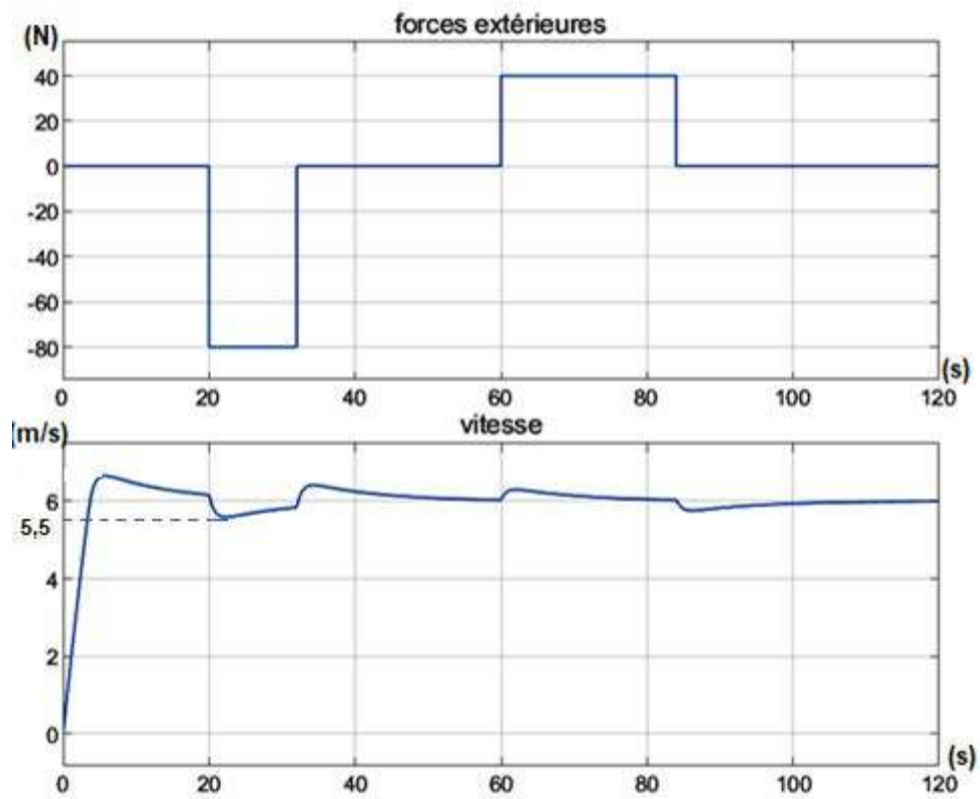


figure 7 : première simulation avec $F_{montée} = -80 \text{ N}$, $F_{descente} = +40 \text{ N}$ et $F_{vent} = 0 \text{ N}$

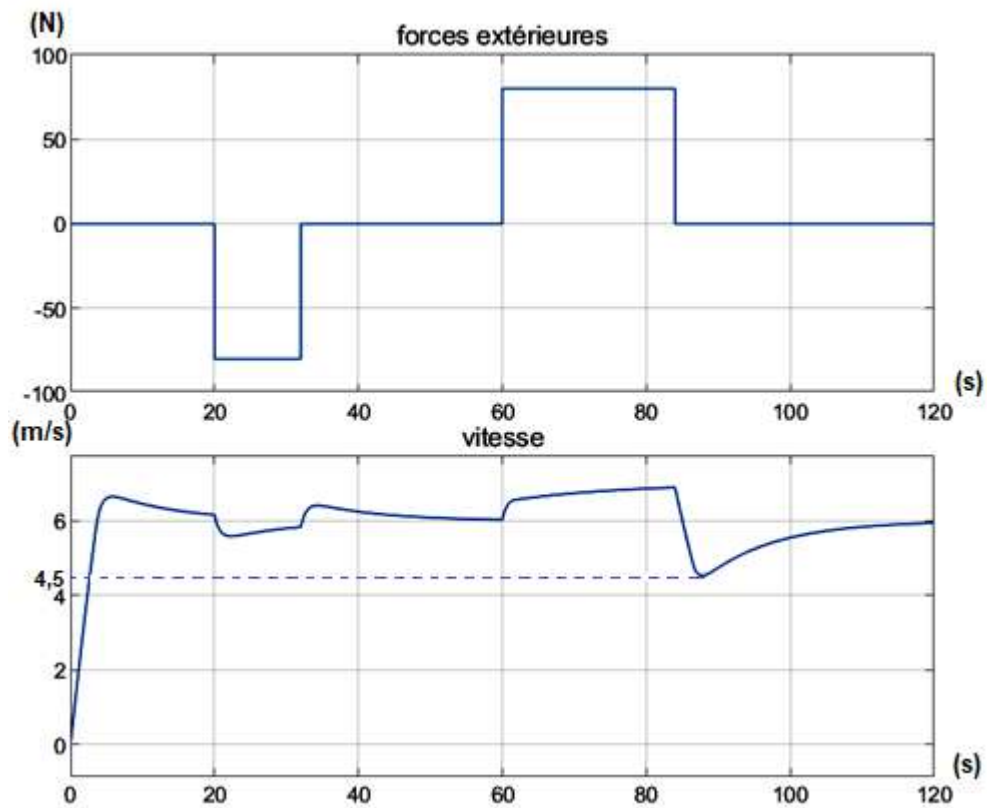


figure 8 : deuxième simulation avec $F_{montée} = -80 \text{ N}$, $F_{descente} = +80 \text{ N}$ et $F_{vent} = 0 \text{ N}$

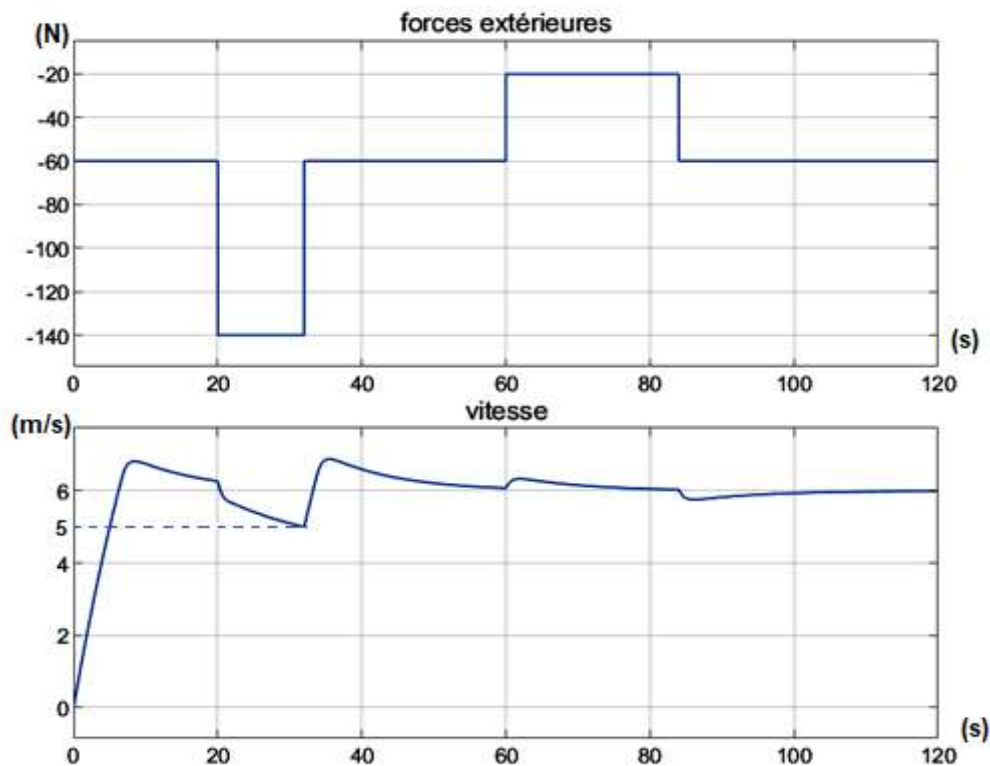


figure 9 : troisième simulation avec $F_{montée} = -80 \text{ N}$, $F_{descente} = +40 \text{ N}$ et $F_{vent} = -60 \text{ N}$

Question 8.	Pour chacune des simulations, déterminer en pourcentage l'écart maximal entre la vitesse obtenue en simulation et la consigne de vitesse.
figures 7, 8 et 9	Préciser si l'exigence de régulation de vitesse id 1.3 est respectée. Conclure sur l'efficacité de la régulation dans les différents cas proposés.

La trottinette est dotée d'un système de récupération d'énergie cinétique (KERS) qui s'enclenche automatiquement lorsque l'accélérateur est relâché ou le levier de frein actionné. Le moteur est utilisé dans ce cas en générateur d'énergie et sert de frein magnétique. Cela a pour conséquence de ralentir la trottinette et de produire de l'électricité afin de recharger la batterie.

On considère le roulement sans glissement entre les pneumatiques et la chaussée.

L'énergie récupérable par le système (KERS) correspond à l'aire du domaine délimité par la courbe de puissance en fonction du temps.

à $t_0 = 0 \text{ s}$ $P_0 = 1552 \text{ W}$

à $t = 2,3 \text{ s}$ $P = 0 \text{ W}$

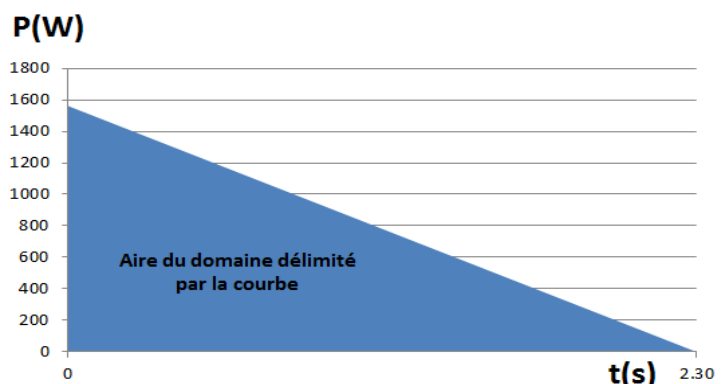


figure 10 : puissance en fonction du temps

Une représentation sous forme de schéma-bloc de la chaîne de puissance est fournie figure 11.

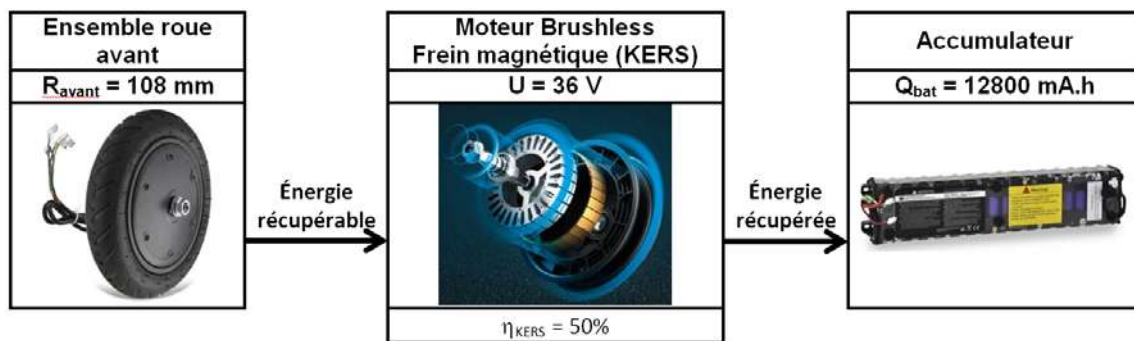


figure 11 : chaîne de puissance partielle

Question 9.	En utilisant la méthode des aires de la figure 10, calculer l'énergie ($E_{\text{récupérable}}$ en J) puis l'énergie récupérée ($E_{\text{récupérée}}$ en J) par le frein magnétique pendant la phase de freinage ($1 \text{ W}\cdot\text{s} = 1 \text{ J}$). Montrer que la quantité d'électricité $Q_{\text{récupérée}}$ est de 6,88 mA.h
figures 10 et 11	

Un trajet moyen de 17,2 km avec 40 freinages a permis de mesurer la quantité d'électricité consommée Q_{conso} pour ce parcours.

Données :

- distance parcourue, $d_{\text{trajet}} = 17,2 \text{ km}$;
- quantité d'électricité consommée, $Q_{\text{conso}} = 5740 \text{ mA}\cdot\text{h}$;
- taux de récupération, $\tau = Q_{40\text{freinages}} / Q_{\text{conso}}$.

Question 10.	Calculer la quantité d'électricité ($Q_{40\text{freinages}}$ en mA.h) récupérée pour 40 freinages. En déduire le taux de récupération en pourcentage.
Question 11.	En justifiant votre réponse, conclure sur l'exigence de récupération d'énergie (KERS) id 1.1 et sur l'exigence d'autonomie minimum id 1.4.

Sous-partie 3 : la sécurisation

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que l'exigence de sécurisation est respectée afin d'améliorer le confort d'utilisation de la trottinette.

La trottinette propose trois modes de conduite :

- « ECO » pour le mode d'économie d'énergie (vitesse maximale de $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, accélérations modérée, convient aux débutants ;
- « D » pour le mode standard (vitesse maximale de $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) ;
- « S » pour le mode sport (vitesse maximale de $25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, accélérations vives, recommandé uniquement aux pilotes chevronnés).

Le bouton poussoir unique et multifonctions implanté sur la potence permet de passer d'un mode à l'autre de manière circulaire.

Il pourrait être dangereux pour un débutant de passer en mode sport.

Ainsi, pour éviter les changements de modes involontaires, notamment lorsque l'on pousse la trottinette à la main par la potence, le constructeur a décidé de n'effectuer ces changements de modes que lors d'un double appui bref sur ce bouton poussoir. En l'occurrence, un double appui est considéré uniquement si la durée entre deux fronts montants est inférieure à 250 ms.

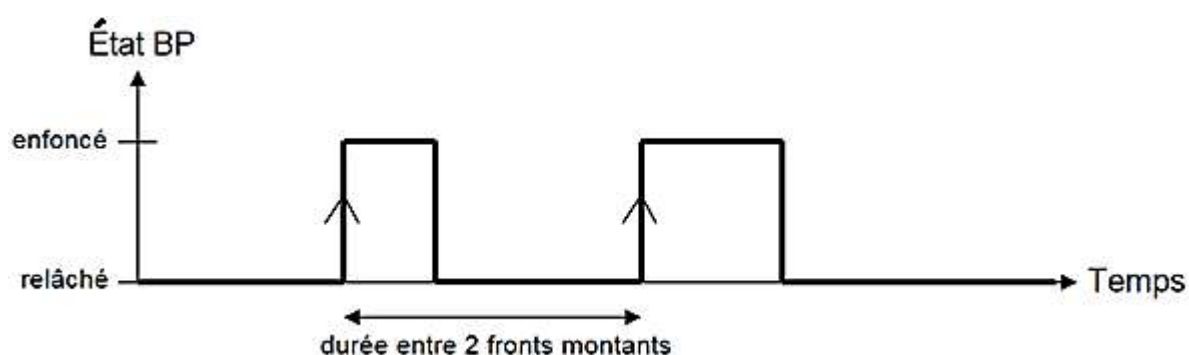


figure 12 : chronogramme d'un double appui sur le bouton poussoir

L'algorithme permettant de détecter un double appui et par conséquent d'effectuer un changement de mode est proposé sur le document réponse DR2. Pour cela, il met en œuvre en interne une détection de fronts montants, et utilise également un horodatage (en millisecondes) de ces fronts.

Question 12.	Compléter sur le DR2 les parties vides en pointillés de l'algorithme afin de répondre au fonctionnement désiré.
figure 12 et DR1	

Une nouvelle fonctionnalité permet en de protéger la trottinette contre le vol. L'application proposée avec cette trottinette connectée offre ainsi la possibilité de la verrouiller lorsqu'on la laisse dans la rue pour ensuite la déverrouiller au moment de repartir. Ainsi, une personne mal intentionnée qui voudrait s'en aller avec cette trottinette ne pourrait pas le faire en roulant car celle-ci serait alors non opérationnelle.

Si le propriétaire n'a pas défini de mot de passe, sa trottinette peut être déverrouillée à partir de n'importe quel téléphone via l'application. Celui-ci doit donc définir un mot de passe par l'intermédiaire de son application dès que possible. Une fois défini lors de cette phase d'initialisation, le mot de passe n'est plus à saisir pour le verrouillage / déverrouillage de la trottinette afin de faciliter l'utilisation de cette fonctionnalité.

La documentation technique du constructeur indique les données suivantes sur la communication Bluetooth entre la trottinette et le smartphone :

- bande de fréquence : 2,4000 – 2,4835 GHz ;
- puissance RF maximale : 100 mW.

La figure 13 présente des informations générales relatives à cette technologie.

Classe	Puissance d'émission maximale	Portée en champ libre
1	100 mW	100 m
2	2,5 mW	40 m
3	1 mW	10 m

figure 13 : classes de puissance en Bluetooth

Question 13.	Indiquer la distance maximale de verrouillage ou déverrouillage de la trottinette grâce à l'application. Préciser si cela est pertinent au regard d'une utilisation normale.
figure 13	

Une fois calculée par le microcontrôleur et affichée sur la potence de la trottinette, la vitesse doit être transmise au smartphone pour mettre à jour l'IHM de l'application avec cette valeur, et pour ensuite permettre d'activer ou pas une régulation de vitesse.

En plus de la vitesse instantanée, la trottinette transmet également la distance parcourue, la vitesse moyenne et le niveau de charge de la batterie. La taille de chacune des données est indiquée dans le tableau suivant.

Données transmises	Nombre d'octets par donnée
Vitesse instantanée	4
Distance parcourue	4
Vitesse moyenne	4
Niveau de charge de la batterie	1

Par ailleurs, la figure 14 donne des informations relatives à la trame Bluetooth.

En-tête	Données 240 bits maximum	Terminaison

figure 14 : constitution de la trame Bluetooth

Pour des raisons de rapidité de traitement, il est nécessaire de faire remonter les données au smartphone en une seule trame.

Question 14.	Justifier par calcul que ces quatre données peuvent toutes être transmises dans la même trame Bluetooth.
figure 14	

Un prototype de l'application est réalisé en Python. Cette interface homme-machine (IHM) représentée sur la figure 15 permet d'afficher des informations relatives à l'état de la trottinette, et permet également à ce stade d'activer ou de désactiver la régulation de vitesse grâce à un bouton, dans le cas où la trottinette avance.

Une partie du code source de ce programme est donnée dans le document réponse DR2.



figure 15 : prototype de l'application

Question 15.	Identifier la ligne de code qui permet de s'assurer que la trottinette avance avant d'activer la régulation. Indiquer la nouvelle couleur et le nouveau texte du bouton après un appui sur ce bouton bleu « Activer ».
figure 15 et DR2	

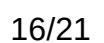
L'unique bouton de cette IHM doit également gérer le verrouillage ou le déverrouillage de la trottinette si celle-ci est à l'arrêt. Sous cette condition, le bouton doit pouvoir commuter entre les couleurs rouge et verte et son texte doit pouvoir commuter respectivement entre « Déverrouiller » et « Verrouiller ».

Question 16.	Compléter sur le document réponse DR2 les lignes de code permettant de répondre à cette demande et donc d'offrir à l'utilisateur cette nouvelle fonctionnalité sur l'IHM.
DR2	

Deux aspects de la sécurisation sont désormais étudiés.

Question 17.	Conclure alors quant à la pertinence de ces fonctionnalités et à leur intérêt afin de valider les exigences id 1.6 et id 1.7.1 associées.
figure 1	

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

Documents réponses DR2

Questions 15 et 16

```
from tkinter import *

def Clic(event):
    global etat_verrouillage
    global etat_regulation
    X = event.x          #détection en X du pouce sur l'écran
    Y = event.y          #détection en Y du pouce sur l'écran
    (xmin,ymin,xmax,ymax) = Appli.coords(Bouton)
    if xmin<=X<=xmax and ymin<=Y<=ymax:
        if Acquisition_vitesse()>0:
            if etat_regulation==True:
                etat_regulation=False
                Appli.itemconfig(Bouton, fill='blue')
                Appli.itemconfig(Texte_bouton, text='Activer')
            else:
                etat_regulation=True
                Appli.itemconfig(Bouton, fill='orange')
                Appli.itemconfig(Texte_bouton, text='Désactiver')

    .....

    .....

    .....

    Appli.itemconfig(Bouton, fill=.....)

    Appli.itemconfig(Texte_bouton, text=.....)

    .....

    .....

    Appli.itemconfig(Bouton, fill=.....)

    Appli.itemconfig(Texte_bouton, text=.....)

etat_verrouillage=False
etat_regulation=False
|
|
```


1.2

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A - Peser un corps céleste (10 points)

Pour déterminer la masse m d'un objet sur Terre, il suffit simplement de poser cet objet sur une balance adaptée. Pour les masses d'objets célestes tels que la Terre elle-même, la résolution du problème n'est pas aussi simple et directe.

L'objectif de cet exercice est de déterminer expérimentalement la masse de la Terre notée M_T .

1. Pour un objet de masse m situé à la surface de la Terre, rappeler la relation vectorielle entre son poids $\vec{P}$ et le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$.
2. En s'appuyant sur le modèle de la chute libre et une loi de Newton, justifier que l'intensité du champ de pesanteur g s'exprime en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Pour mesurer expérimentalement la valeur de g en un point donné de la Terre, on peut utiliser un pendule simple qui oscille périodiquement avec une période T supposée constante durant l'expérience (figure 1).

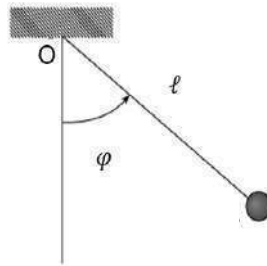


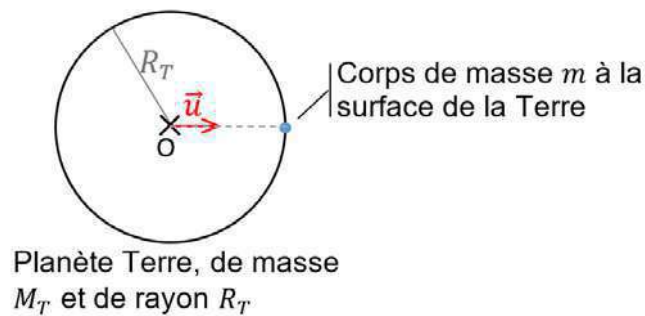
Figure 1 : pendule simple écarté d'un angle φ par rapport à sa position d'équilibre et lâché sans vitesse initiale.

Pour un pendule de longueur ℓ , on peut montrer que, pour des angles φ petits, la période d'oscillation T s'exprime par la relation : $T = 2\pi \times \sqrt{\frac{\ell}{g}}$

Au niveau de l'équateur, pour une longueur de pendule $\ell = 0,991 \text{ m}$, la période est de $T = 2,00 \text{ s}$.

3. Déterminer la valeur de g au niveau de l'équateur.

4. Reproduire sur sa copie le schéma de la Terre ci-dessous et le compléter, sans souci d'échelle, en rajoutant la force gravitationnelle $\vec{F}_g$ exercée par la planète Terre sur un corps modélisé par un point matériel de masse m situé à sa surface. Le vecteur $\vec{u}$ est un vecteur unitaire.



Données

- Constante de gravitation universelle : $G = 6,674\ 30 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$.
- Rayon de la Terre au niveau de l'équateur : $R_T = 6\ 378 \text{ km}$.

5. Exprimer vectoriellement la force gravitationnelle $\vec{F}_g$ exercée par la Terre sur un objet de masse m situé à sa surface. En admettant que le champ de gravitation est égal au champ de pesanteur et donc que $F_g = P$, en déduire l'expression littérale de M_T puis calculer sa valeur numérique.

Données

- Incertitude-type de l'intensité du champ de pesanteur terrestre : $u(g) = 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Incertitude-type du rayon de la Terre : $u(R_T) = 1 \text{ km}$.
- On admettra que : $u(M_T) = M_T \times \sqrt{\left(\frac{u(g)}{g}\right)^2 + \left(2 \times \frac{u(R_T)}{R_T}\right)^2}$.
- Masse de référence de la Terre : $M'_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- le résultat d'une mesure x est considéré en accord avec une valeur de référence x_{ref} si la valeur du quotient $\frac{|x - x_{ref}|}{u(x)}$ est inférieure ou égale à 2, avec $u(x)$, l'incertitude-type associée.

6. Calculer l'incertitude $u(M_T)$ sur la masse de la Terre et vérifier que la valeur expérimentale M_T est bien en accord avec la valeur communément admise de nos jours notée M'_T .

EXERCICE B - Installation d'une fenêtre de toit (10 points)

Afin d'accroître la luminosité d'une pièce située sous le toit de sa maison, une famille envisage d'installer une fenêtre de toiture d'entrée de gamme constituée d'un simple vitrage de surface $S = 1,0 \text{ m}^2$.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une des conséquences de cet achat en termes de température lors de la période estivale.



Pour simplifier, on suppose qu'en période estivale, à partir de midi, la température de l'air au voisinage de cette fenêtre est constante et égale $\theta_e = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

On admettra que la partie toiture en tuiles est parfaitement isolée thermiquement et que tout transfert thermique par rayonnement à travers la fenêtre de toit est négligeable.

On considèrera que le seul transfert thermique échangé par l'air de la pièce est dû au transfert conducto-convectif provenant de la vitre.

Données

- Coefficient de transfert conducto-convectif : $h = 8,0 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$;
- Surface de la vitre : $S = 1,0 \text{ m}^2$;
- Masse d'air contenue dans la pièce : $m_{\text{air}} = 1,3 \times 10^2 \text{ kg}$;
- Capacité thermique massique de l'air sec : $c_{\text{air}} = 1,0 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- Le flux thermique $\Phi(t)$ entre un système à la température uniforme $\theta(t)$ et un milieu extérieur à la température θ_e fixe (thermostat) peut être modélisé par la loi de Newton :
$$\Phi(t) = h \times S \times (\theta_e - \theta(t))$$

avec Φ en W ; h coefficient conducto-convectif en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ et S surface d'échange entre le système et le milieu extérieur, en m^2 .

1. Exprimer le transfert thermique Q qui a lieu à travers la vitre pendant la durée très courte Δt en fonction de Δt , h , S , θ_e et θ .

Le système étudié est l'air de la pièce que l'on considèrera incompressible.

2. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système et en déduire une relation entre Φ et les grandeurs Δt , m_{air} , c_{air} et $\Delta\theta$ où $\Delta\theta$ désigne la variation de température du système pendant la durée Δt .

3. Montrer que la température de l'air de la pièce $\theta(t)$ obéit à l'équation différentielle :

$$\frac{d\theta}{dt} + a \times \theta(t) = a \times \theta_e \text{ avec } a = \frac{h \times S}{m_{\text{air}} \times c_{\text{air}}}$$

4. En utilisant les données, montrer que $a = 6,2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ environ. Justifier son unité.

On admet que la solution à l'équation différentielle a pour expression :

$$\theta(t) = \theta_i + (\theta_e - \theta_i) \times (1 - e^{-a \times t})$$

où θ_i est la température de l'air de la pièce à l'instant initial.

5. Calculer la température θ de la pièce au bout d'une heure puis au bout de trois heures lorsque la température initiale intérieure θ_i vaut 20 °C. À partir de ces résultats numériques, justifier si la fenêtre de toit choisie convient lors de la période estivale.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Lundi 20 mars 2023

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 23 pages numérotées de 1/23 à 23/23.

**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 16 à 18) sont à rendre avec la copie.

Partie 2 : l'annexe (page 23) est à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot anti-incendie



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 15
- Documents réponses..... pages 16 à 18

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 16 à 18) sont à rendre avec la copie

Robot anti-incendie

La société EmiControls produit un robot anti-incendie dénommé Turbine Aided Firefighting (TAF35). Il est contrôlé à distance par un opérateur à l'aide d'un pupitre de commande.

Le TAF35 est constitué d'une turbine Magirus portée par un tracteur à chenilles (figure 1). La turbine de projection de l'eau est contrôlée par deux chaînes de puissance : une chaîne dite « d'élévation » et une chaîne dite « d'inclinaison ».

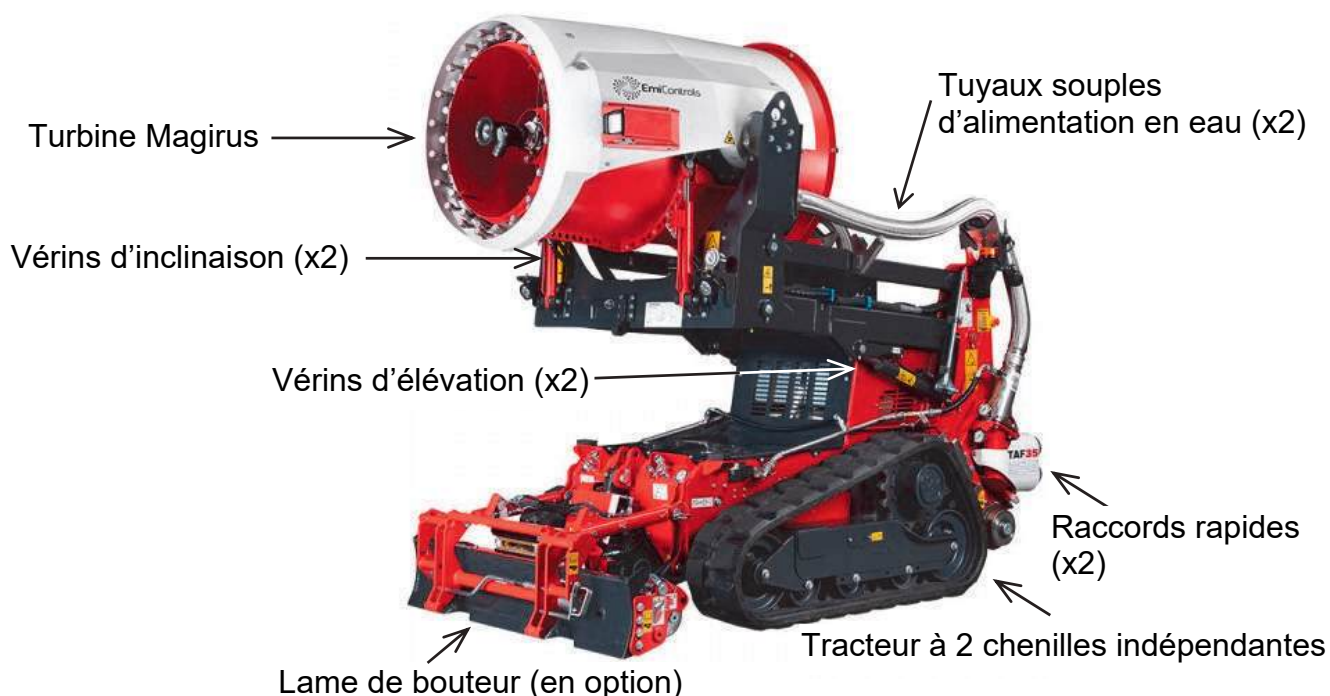


Figure 1 : description du TAF35

L'opérateur dispose d'un pupitre de commande en liaison radio avec le TAF35. Par son intermédiaire, il peut notamment gérer :

- le déplacement du tracteur chenillé ;
- la mise en position du bloc turbine ;
- la vitesse de rotation de la turbine et les flux d'eau.

Les chaînes de puissance du TAF35 utilisent l'énergie hydraulique, générée par une pompe accouplée à un moteur diesel. Les actionneurs transformant l'énergie hydraulique en énergie mécanique sont, selon les cas :

- des vérins hydrauliques, générant une énergie mécanique de translation, pour la mise en position de la turbine (module hydraulique d'élévation et module hydraulique d'inclinaison) ;
- des moteurs hydrauliques, générant une énergie mécanique de rotation, pour le déplacement, assurée par les chaînes de puissances appelées transmission hydraulique chenille gauche et transmission hydraulique chenille droite, et la mise en rotation de la turbine par le module hydraulique rotation turbine.

Le diagramme de blocs internes [ibd] de la figure 2 montre l'architecture générale du TAF35 et les principaux échanges entre les différents blocs.

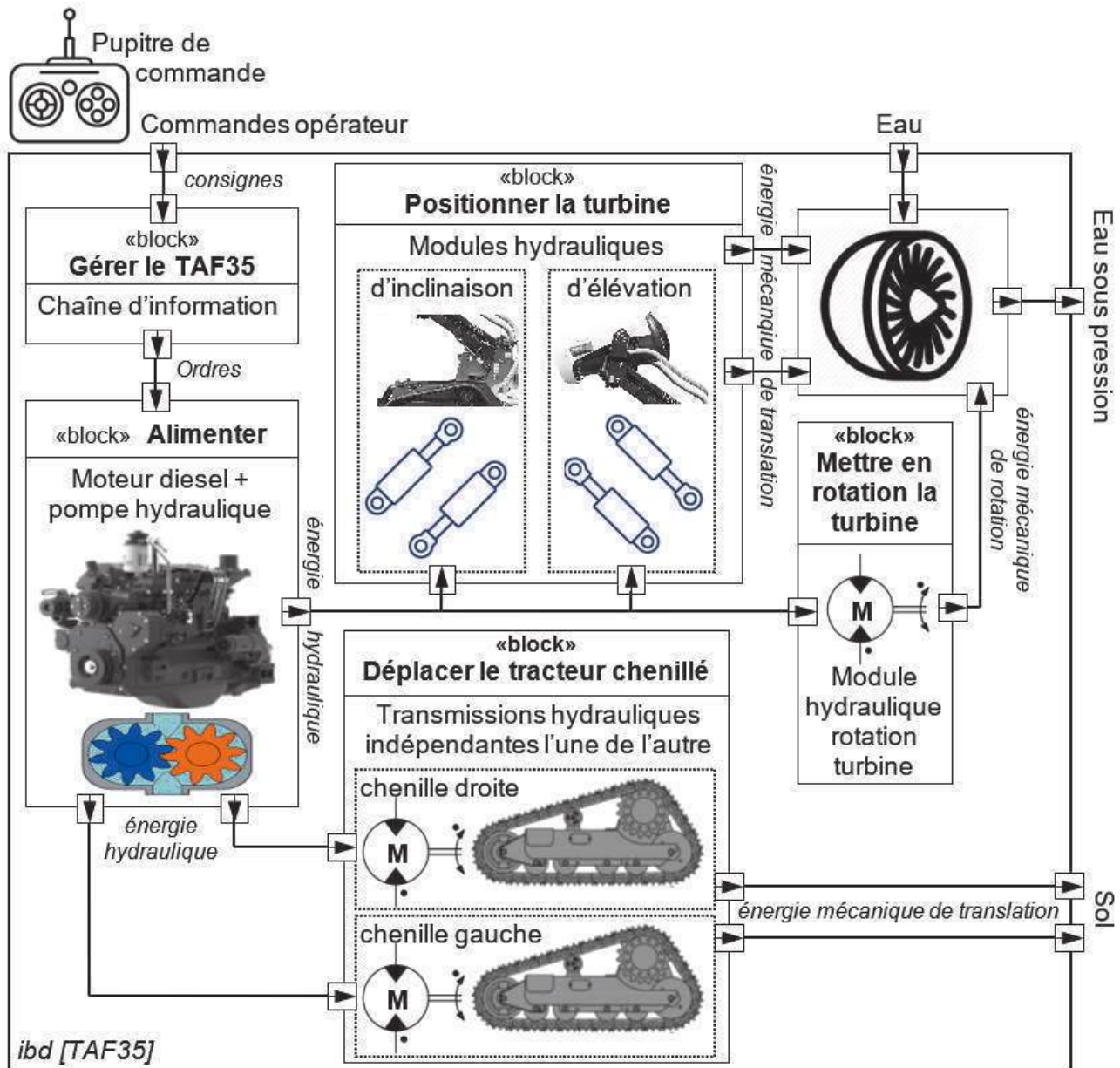


Figure 2 : diagramme de blocs internes [ibd]

Sous-partie 1

Comment assurer la stabilité du véhicule ?

L'objectif de cette sous-partie est de réaliser un programme de mise en sécurité du TAF35 afin d'éviter le basculement du véhicule dans certaines situations critiques.

Le TAF35 est conçu pour évoluer sur tous types de terrains (pistes d'aéroport, routes, terrains arborés et accidentés...). À ce titre, il doit pouvoir être utilisé dans les conditions simultanées suivantes (figure 3) :

- terrain en pente : il existe un risque de renversement du véhicule en montée comme en descente. Ce mouvement appelé tangage se modélise dans le plan $(\vec{x}, \vec{y})$ comme une rotation autour du point I (limite de la surface d'appui) ;
- terrain en dévers : il existe un risque de basculement si le terrain est trop incliné. Le constructeur a fixé un angle de dévers maximal de 15 degrés et ce, quelle que soit la vitesse du véhicule. Ce mouvement appelé roulis se modélise dans le plan $(\vec{y}, \vec{z})$;
- avancée à vitesse rapide (la turbine demeurant en position basse), ou avancée à vitesse lente (la turbine pouvant monter ou descendre).

Le tangage et le roulis, considérés dans un contexte de cinématique plane, sont représentés par rapport au référentiel terrestre sur la figure 3.

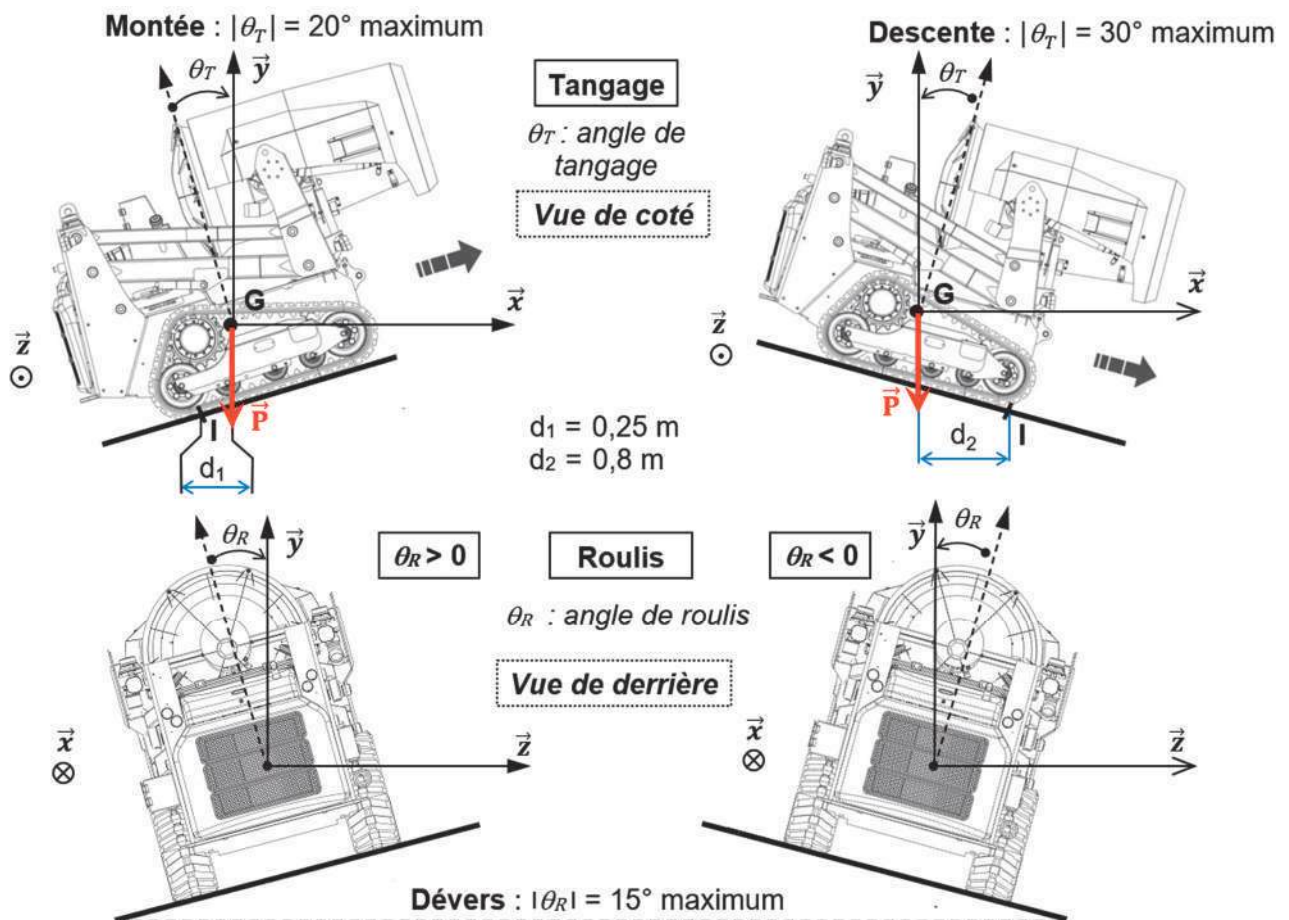


Figure 3 : représentation du TAF35 en pente (vue de côté) et en dévers (vue de derrière)

En pente, l'angle maximum de tangage en montée est limité à 20° contre 30° maximum en descente.

Données :

- $m = 3\,900\text{ kg}$ la masse totale du véhicule ;
- $g = 9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ l'accélération de la pesanteur.

Question 1.1 **Montrer** que les valeurs numériques de la norme du moment en I de la force de pesanteur $\vec{P}$ exercée sur le véhicule sont égales à :

- $M_{I1} = 9\,565\text{ N}\cdot\text{m}$ dans le cas de la montée ;
- $M_{I2} = 30\,607\text{ N}\cdot\text{m}$ dans le cas de la descente.

Justifier que le risque de renversement est plus grand en montée qu'en descente.

Compte tenu du pilotage à distance du TAF35, il est décidé d'implanter sur le véhicule un programme de mise en sécurité du véhicule dans le cas où les conditions deviendraient dangereuses. À cet effet, un inclinomètre deux axes est implanté sur le châssis ; il mesure les angles de tangage θ_T et de roulis θ_R définis sur la figure 3.

La figure 4 représente les deux axes de cet inclinomètre et la caractéristique obtenue pour la plage de mesure de -45° à $+45^\circ$ de chaque angle. Le signal obtenu est une tension U_s variant de 0 à 5 V, représentative de l'angle d'inclinaison.

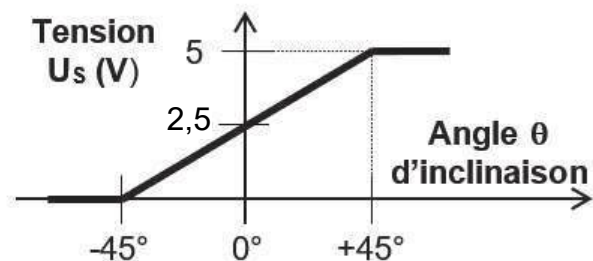
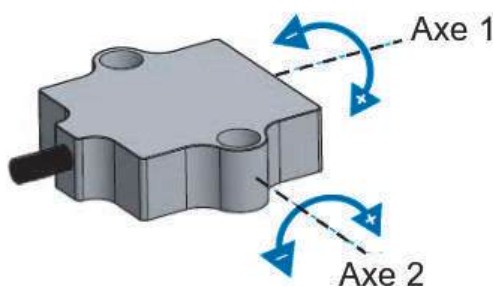


Figure 4 : inclinomètre deux axes et caractéristiques

Question 1.2 À partir de la caractéristique de l'inclinomètre, **établir** l'équation de la tension U_s en fonction de l'angle θ pour la plage de mesure $[-45^\circ, +45^\circ]$ de cet inclinomètre.

Dans un souci de simplification, l'étude se limite à la surveillance de l'angle de roulis θ_R et des opérations de mise en sécurité qui lui sont associées.

Un convertisseur analogique numérique CAN permet de numériser la tension U_s (tension variant de 0 à 5 V issue de l'inclinomètre) en un signal numérique N codé sur 10 bits, représentatif de l'angle de roulis θ_R .

Le diagramme de blocs internes [ibd] de la chaîne d'information est donné sur la figure 5.

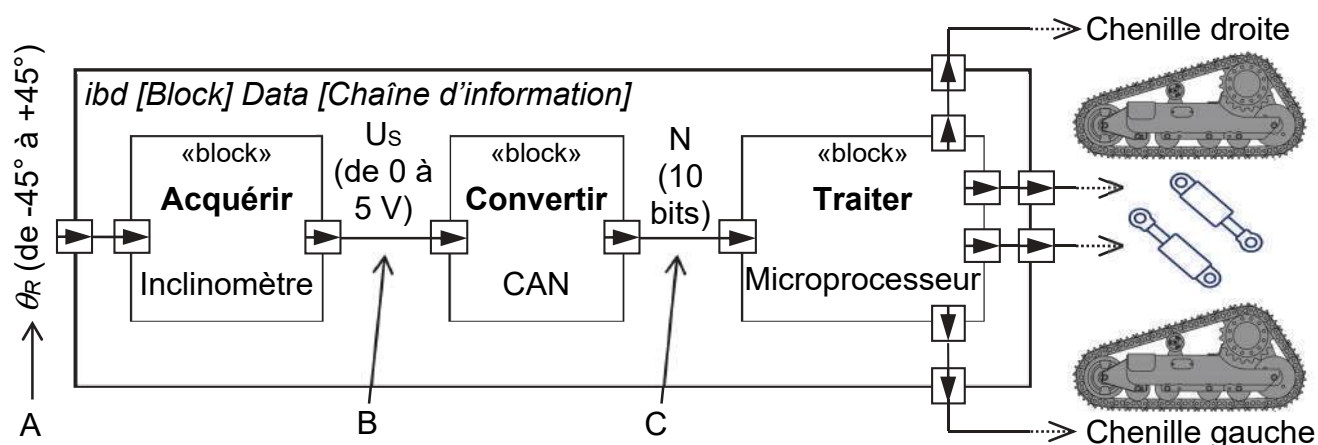


Figure 5 : diagramme de blocs internes [ibd] de la chaîne d'information

Question 1.3 Préciser la nature du flux d'information correspondant aux points A, B et C de la figure 5 (analogique ou numérique).

Le programme de mise en sécurité a pour objectif, lorsque le roulis devient trop prononcé ($\theta_R > 15^\circ$ ou $\theta_R < -15^\circ$) :

- de bloquer les commandes du TAF35 afin que l'opérateur ne puisse plus intervenir (de manière à ne pas aggraver la situation) ;
- d'abaisser immédiatement le centre de gravité au maximum en ramenant la turbine en position basse ;
- d'orienter l'avant du véhicule vers le bas de la pente en effectuant automatiquement les manœuvres adéquates pour sortir de cette situation critique de roulis excessif.

Le cahier des charges décrivant le comportement du programme visant à orienter le véhicule vers le bas de la pente est présenté dans le tableau de la figure 6. Pour faire tourner le char chenillé, les deux chenilles sont commandées en sens opposé (procédé « char »).

Condition	Action	Fin de l'action
$\theta_R > 15^\circ$ (à 0,1° près)	Commander la chenille droite dans un sens	$\theta_R \leq 12^\circ$ (à 0,1° près)
	Commander la chenille gauche dans l'autre sens	
$\theta_R < -15^\circ$ (à 0,1° près)	Commander la chenille gauche dans un sens	$\theta_R \geq -12^\circ$ (à 0,1° près)
	Commander la chenille droite dans l'autre sens	

Figure 6 : extrait du cahier des charges décrivant le comportement du programme visant à orienter le véhicule vers le bas de la pente

Question 1.4 **Compléter** le tableau du document réponse DR1 donnant les différentes valeurs de tension U_s et N issues de la numérisation (valeurs de N en décimal, puis en binaire).

Question 1.5 **Montrer** que la précision en degré issue de la numérisation de l'angle de roulis θ_R est inférieure à $0,1^\circ$ conformément au cahier des charges de la figure 6.

L'algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif est donné sur la figure 7. Il fait appel à deux sous-programmes : le sous-programme n°1 (SP1) et le sous-programme n°2 (SP2).

Chacun de ces sous-programmes assure la mise en sécurité en faisant tourner le tracteur chenillé du bon côté (soit à droite, soit à gauche) afin d'orienter l'avant du véhicule vers le bas de la pente :

- si $\theta_R > 15^\circ$, le sous-programme n°1 est exécuté ;
- si $\theta_R < -15^\circ$, le sous-programme n°2 est exécuté.

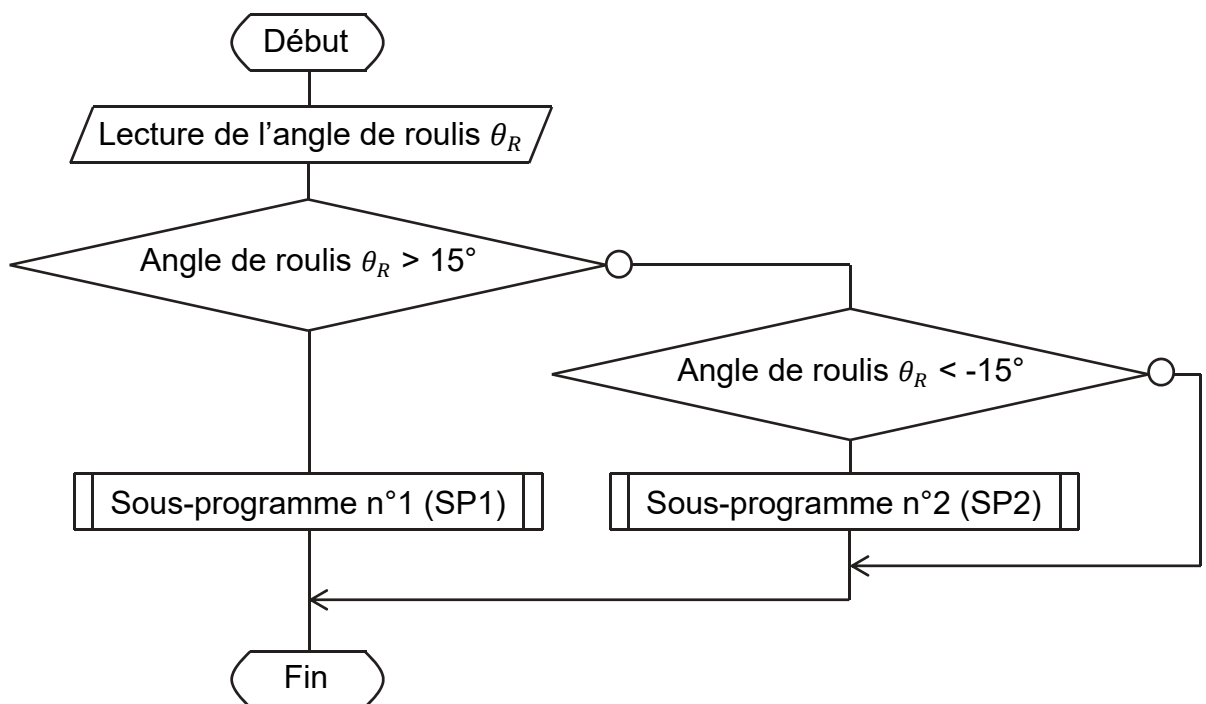


Figure 7 : algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif exécuté toutes les 5 s conformément au cahier des charges

Question 1.6 Afin d'orienter l'avant du tracteur chenillé vers le bas de la pente et à l'aide de la figure 3, **indiquer** le numéro du sous-programme (SP1 ou SP2) qui doit faire tourner le tracteur chenillé à droite et celui qui doit le faire tourner à gauche.

La définition des variables et fonctions utilisées pour l'écriture des programmes est donnée figure 8.

- N : grandeur d'entrée en décimal (de 0 à 1023) de type entier issu de la numérisation, représentatif de l'angle d'inclinaison θ_R
- Chenille_Gauche [X] et Chenille_Droite [X] : grandeur de sortie pour la commande des chenilles droite et gauche du tracteur chenillé

X = 0	X = +1	X = -1
arrêt	marche avant	marche arrière

- Pos_Turbine_Bas : grandeur d'entrée issue du capteur de position bas de la turbine

Pos_Turbine_Bas = 0	la turbine n'est pas en position basse
Pos_Turbine_Bas = 1	la turbine est en position basse

- Turbine [X] : grandeur de sortie pour la commande du module hydraulique d'élévation de la turbine

X = 0	X = +1	X = -1
arrêt	élévation de la turbine	descente de la turbine

- Com_Opérateur [X] : grandeur de sortie avec X de type booléen

X = 0	déblocage des commandes opérateurs
X = 1	blocage des commandes opérateurs

Figure 8 : variables et fonctions utilisées pour l'écriture des programmes

Question 1.7 En utilisant les différents résultats et figures de cette sous-partie, **compléter** sur le document réponse DR1 :

DR1

- l'algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif ;
- l'algorithme du sous-programme n°1 (SP1) faisant tourner le tracteur chenillé du bon côté.

Sous-partie 2

Comment assurer l'élévation de la turbine ?

L'objectif de cette sous-partie est de valider la solution technique qui permet de réaliser l'élévation de la turbine.

Les principaux organes du TAF 35 sont repérés sur la figure 9. Les points A, B, C, D, E, F, H, I et J sont les centres des liaisons pivot d'axe de direction $\vec{z}$ entre les différents sous-ensembles cinématiques. L'élévation de la turbine est obtenue au moyen d'un système à quatre barres formant un parallélogramme déformable (A, B, H, F) soutenu par deux vérins d'élévation hydrauliques double effet (07).

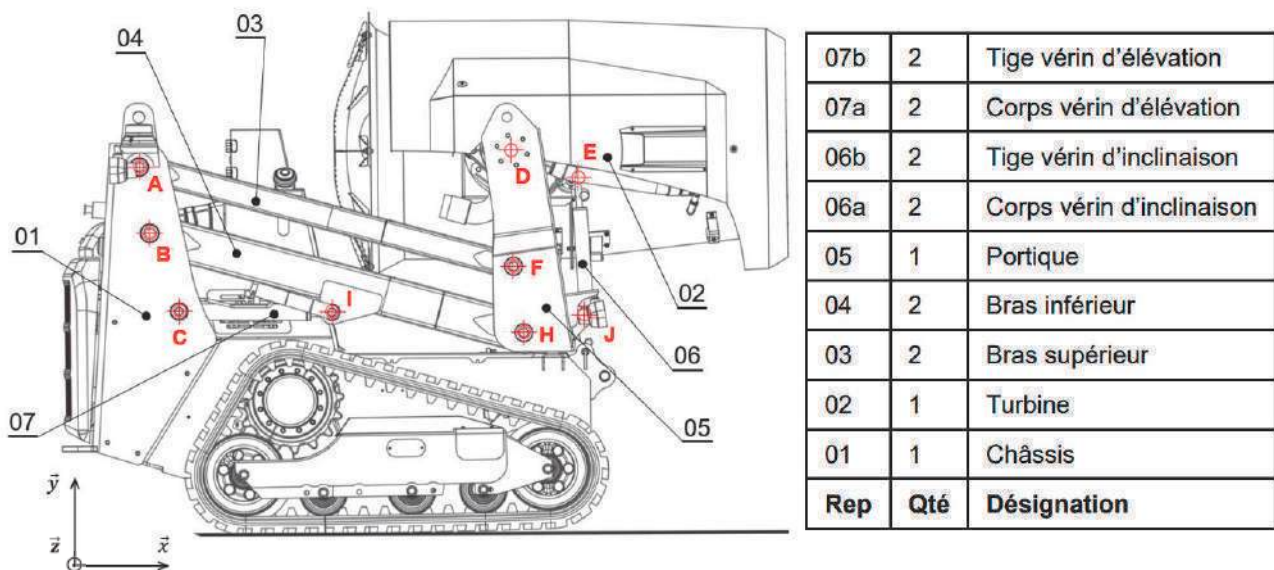


Figure 9 : identification et repérage des principaux composants du TAF 35

Pour cette partie de l'étude, on suppose que le TAF 35 est à l'arrêt et on ne s'intéresse qu'à la chaîne de puissance relative à l'élévation de la turbine 02. Le châssis 01 est considéré comme étant fixe, de même les sous-ensembles 02, 05 et 06 sont considérés comme faisant partie d'un même groupe cinématique.

Question 1.8 À l'aide de la figure 9 et du document réponse DR2, **caractériser** la nature du mouvement du bras inférieur 04 par rapport au châssis 01. En **déduire** la trajectoire $T_{I \in 04/01}$ (nature et caractéristique) du point I appartenant au bras inférieur 04 par rapport au châssis 01.

Question 1.9 **Déterminer** graphiquement sur le document réponse DR2, la position du point I' correspondant au point I lorsque la turbine est en position haute en faisant apparaître les tracés. **Justifier** ces derniers sur la copie.

Question 1.10 À l'aide du tracé précédent, **déterminer** la course du vérin 07 lors du passage de la position basse à la position haute.

Un modèle de comportement de la chaîne de puissance « d'élévation » a été établi (figure 10). Ce modèle ne simule que la partie mécanique de l'élévation. Du fait de la symétrie du mécanisme, seule une moitié du mécanisme a été simulée (un seul vérin donc). Ce modèle s'apparente à un graphe de liaison où apparaissent les sous-ensembles cinématiques ainsi que les liaisons.

La liaison d'entrée du système est la liaison pivot glissant entre le piston 07b et le corps du vérin 07a. C'est cette liaison qui est pilotée. La figure 11 précise la nature des ports du bloc de la liaison pilotée du vérin 07.

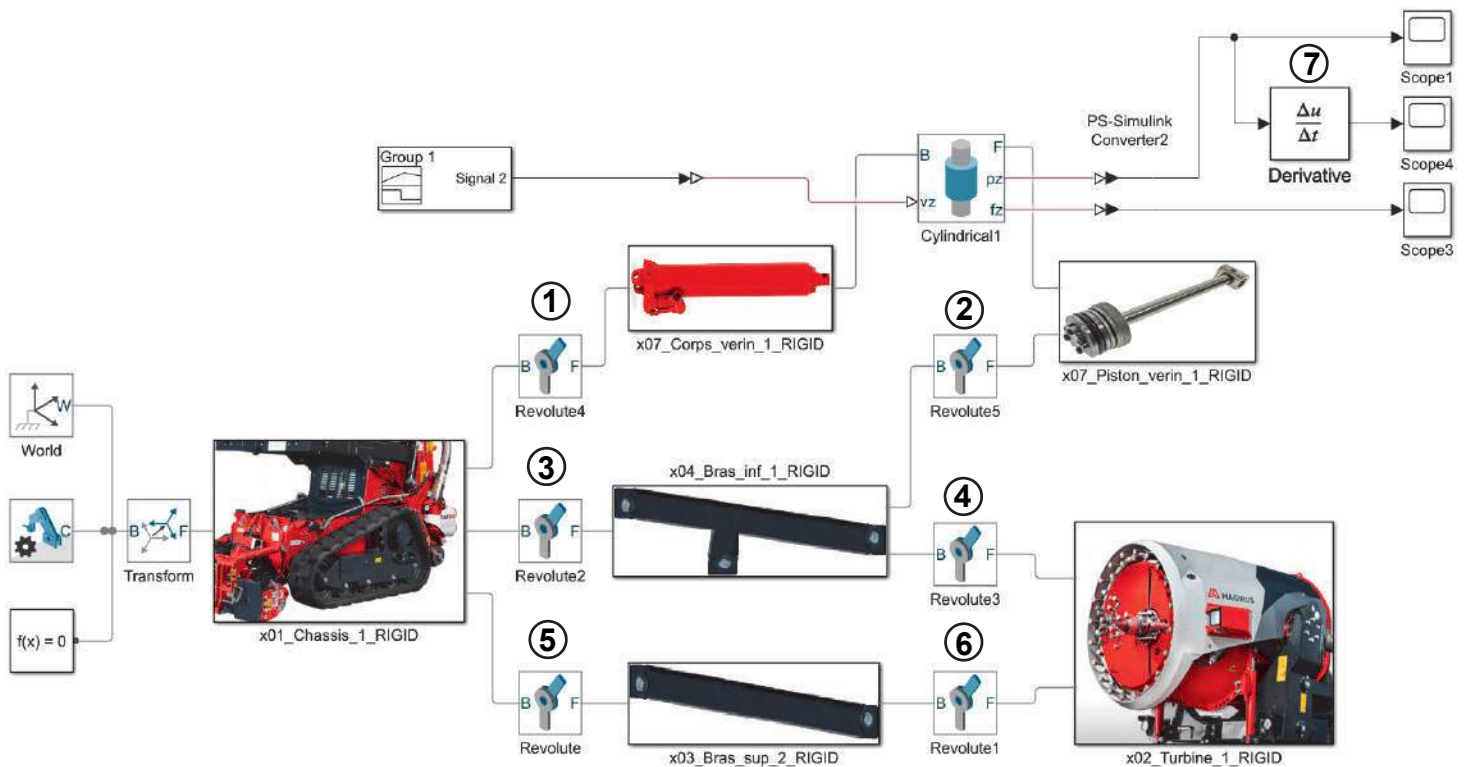


Figure 10 : architecture du modèle de comportement du système d'élévation (un seul vérin)

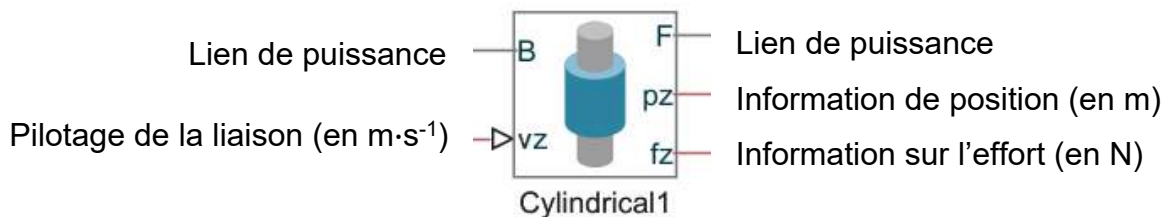


Figure 11 : identification des ports de la liaison pilotée

Question 1.11 Au niveau des points (①, ②, ③, ④, ⑤ et ⑥) présents sur la figure 10, **préciser** les centres de liaison (A, B, C, I, H et F) repérés sur le dessin figure 9 et sur le schéma cinématique du DR2.

Question 1.12 À l'aide de la figure 11, **indiquer** la grandeur d'entrée du bloc « Derivative » présent au point ⑦ sur le modèle de comportement de la figure 10. En **déduire** la grandeur physique lue sur le scope4 et **préciser** son unité.

DR3

Les résultats de la simulation numérique du comportement de la chaîne de puissance « élévation » de la turbine évoluant de sa position basse à sa position haute, ont conduit, à partir des relevés des scope3 et scope4, au tracé des courbes reportées sur la figure 12.

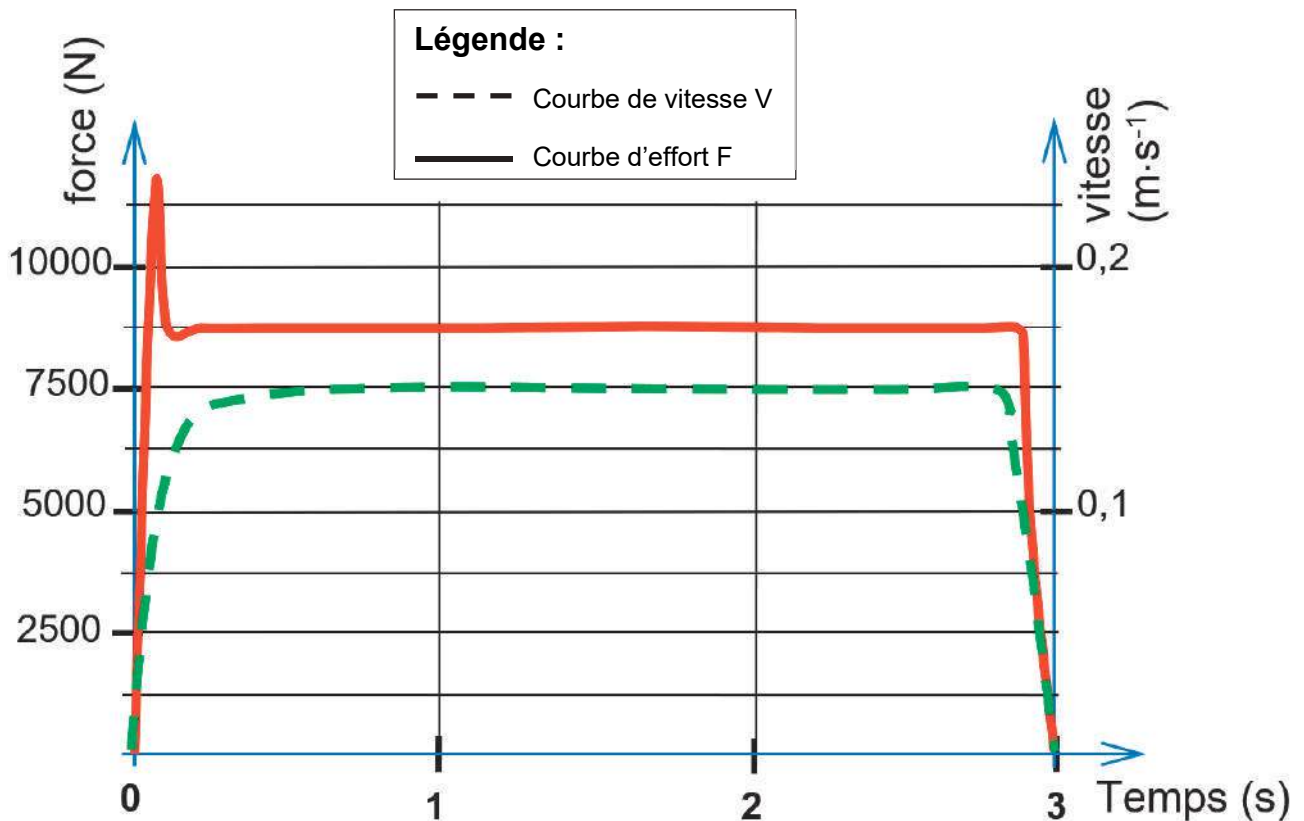


Figure 12 : résultats de la simulation multiphysique pour un vérin

Question 1.13 À l'aide des courbes de simulation (figure 12), **déterminer** la vitesse V de la tige du vérin ainsi que l'effort F développé en régime permanent. En **déduire** la puissance P fournie par un vérin en régime permanent.

Les caractéristiques techniques des vérins d'élévation annoncées par le constructeur sont les suivantes :

- puissance développée : $P_{\text{nominal}} = 1\,500\text{ W}$;
- course maximale : $c = 500\text{ mm}$.

Question 1.14 **Conclure** quant à la pertinence du choix des vérins au regard des résultats obtenus durant cette étude et des caractéristiques techniques des vérins d'élévation annoncées par le constructeur.

Sous-partie 3

L'autonomie du système est-elle assurée ?

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le moteur diesel délivre assez de puissance et assure une utilisation du TAF35 compatible avec les 7 heures annoncées par le constructeur.

Les chaînes de puissances du TAF35 utilisent l'énergie hydraulique générée par la pompe accouplée au moteur diesel (voir le diagramme de blocs internes [ibd] de la figure 2).

Pour valider le choix du moteur diesel vis-à-vis de l'autonomie, le cas le plus extrême doit être envisagé, avec toutes les chaînes de puissance en fonctionnement. Les conditions d'utilisation du TAF35 sont donc les suivantes :

- déplacement en montée (20°) à vitesse lente ;
- turbine en fonctionnement ;
- turbine en cours d'élévation et en cours d'inclinaison.

Les constituants d'une chaîne de puissance sont reliés entre eux par un lien de puissance transportant une grandeur d'effort et une grandeur de flux, dont le produit caractérise le transfert de puissance entre ces constituants.

Par exemple, lorsque l'on souhaite préciser les deux grandeurs (effort et flux) sur un lien de puissance dans le cas d'une puissance hydraulique, la notation est la suivante :

Effort : pression p (Pa)

Flux : débit Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Question 1.15 **Indiquer** sur le document réponse DR3 les grandeurs d'effort et de flux associées à chacun des liens de puissance.

DR3

Pour évaluer la puissance nécessaire au déplacement du TAF35 en montée, on suppose que le véhicule avance à vitesse constante $V = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Données :

- $m = 3\,900 \text{ kg}$ la masse totale du véhicule ;
- $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ l'accélération de la pesanteur ;
- α l'angle d'inclinaison de la pente avec $\alpha_{\max} = 20^\circ$.

Le contact des chenilles avec le sol est supposé comme étant sans glissement.

La figure 13 présente la modélisation des efforts qui s'exercent sur le véhicule. On note $\vec{P}$ le poids du véhicule, $\vec{N}$ et $\vec{T}$ les composantes de la réaction du sol sur le véhicule telles que :

- $\vec{N}$ la composante normale au contact ;
- $\vec{T}$ la composante tangentielle correspondant à la force de propulsion du véhicule.

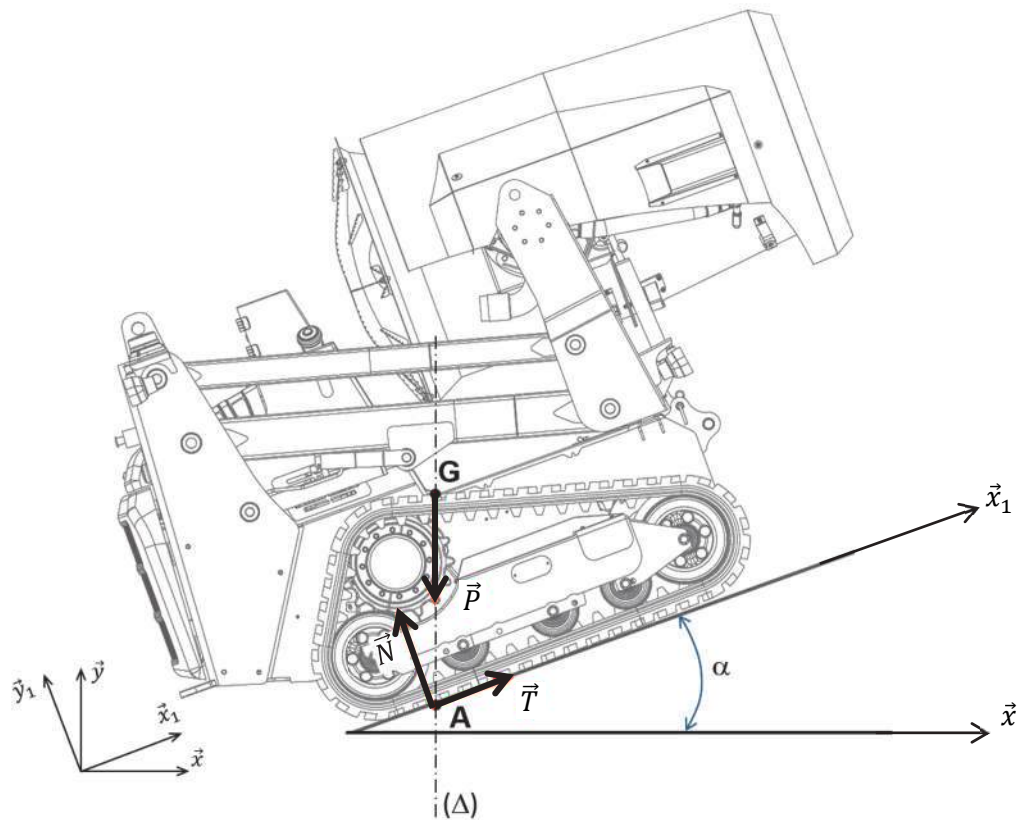


Figure 13 : modélisation des efforts du TAF35 en montée

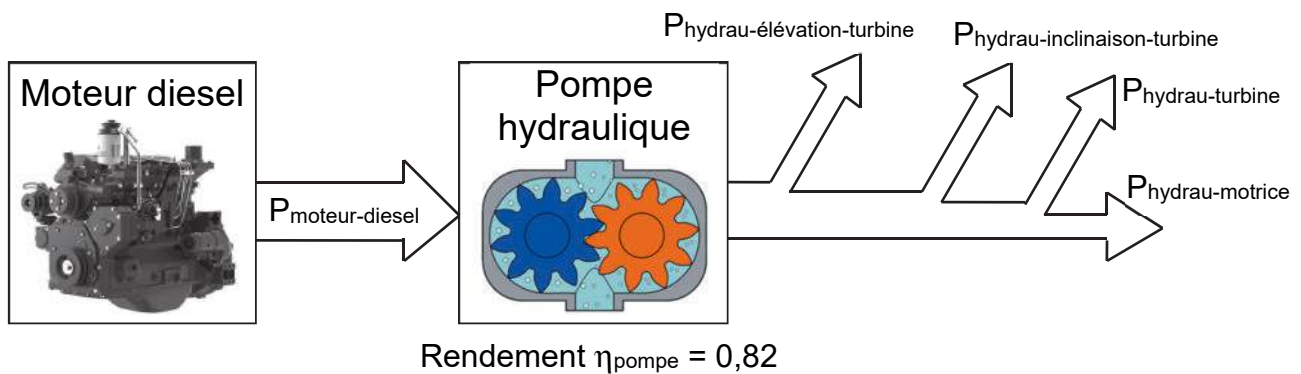
Question 1.16 En appliquant le théorème de la résultante dynamique au véhicule en mouvement par rapport au sol (figure 13), en projection sur $\vec{x}_1$, **déterminer** la valeur de la norme de la force de propulsion $\|\vec{T}\|$. **Montrer** que la puissance motrice nécessaire à l'avance du TAF35 en montée vaut $P_{\text{motrice}} = 13 \text{ kW}$.

Question 1.17 À partir des caractéristiques des différents blocs de la chaîne de puissance du TAF35 (voir le bloc « Chaîne de propulsion » du document réponse DR3), en **déduire** la puissance hydraulique $P_{\text{hydrau-motrice}}$ totale nécessaire pour gravir une pente de 20° à la vitesse de $3,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Le constructeur annonce une vitesse de rotation de la turbine $N_{\text{turbine}} = 2\,000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ avec un couple fourni par le moteur $C_{\text{moteur-turbine}} = 77 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Question 1.18 **Déterminer** la puissance $P_{\text{moteur-turbine}}$ fournie par le moteur pour faire tourner la turbine. À partir des caractéristiques de la chaîne de puissance du TAF35 (voir le document réponse DR3), en **déduire** la puissance hydraulique $P_{\text{hydrau-turbine}}$ nécessaire.

Le moteur diesel doit fournir la puissance nécessaire aux différentes chaînes de puissance, via la pompe hydraulique. La figure 14 montre cette distribution de puissance.



$P_{\text{hydrau-motrice}}$	$P_{\text{hydrau-turbine}}$	$P_{\text{hydrau-élévation-turbine}}$	$P_{\text{hydrau-inclinaison-turbine}}$
17 kW	20 kW	2,7 kW	1,5 kW

Figure 14 : distribution de la puissance fournie par le moteur diesel

Les caractéristiques du moteur diesel sont données sur la figure 15.

Données	Valeur
Puissance maxi (à 3000 tr·min ⁻¹)	53 kW
Couple maxi (à 1900 tr·min ⁻¹)	220 N·m
Contenance du réservoir de carburant (gazole)	75 l

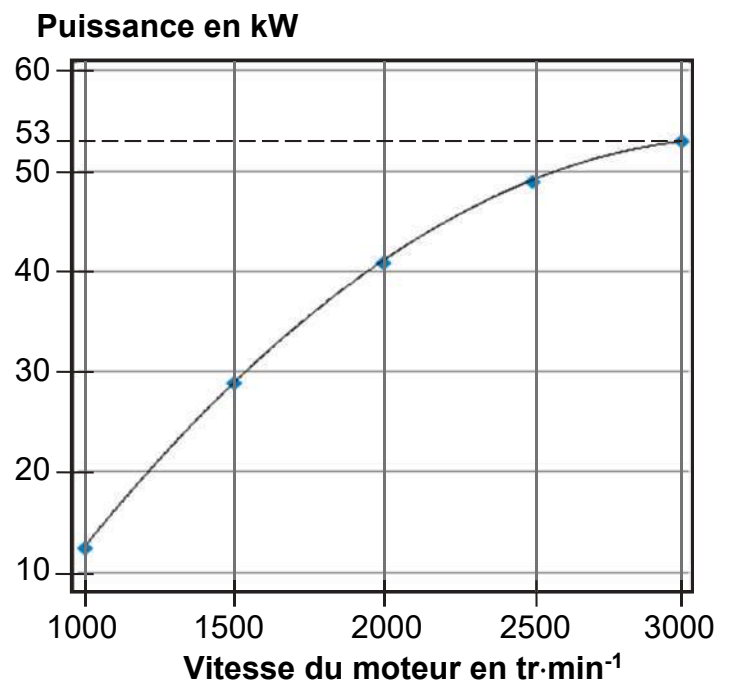
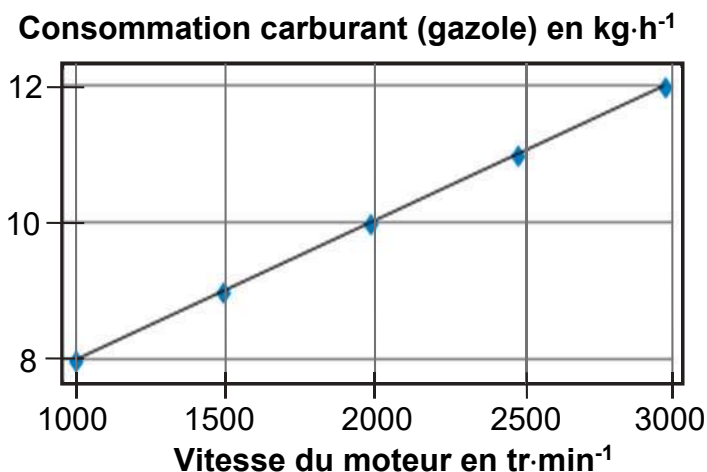


Figure 15 : caractéristiques du moteur diesel

Question 1.19 En considérant toutes les chaînes de puissance du TAF35 en fonctionnement (voir figure 14), **calculer** la puissance $P_{\text{moteur-diesel}}$ nécessaire. **Justifier** alors que la moteur diesel est correctement dimensionné selon ce critère de puissance.

La masse volumique du gazole vaut $\rho_{\text{gazole}} = 840 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Le constructeur annonce jusqu'à 7 heures d'autonomie.

Question 1.20 **Calculer** la masse de gazole (en kg) contenue dans le réservoir lorsqu'il est plein. À partir des courbes caractéristiques du moteur de la figure 15, en considérant que le moteur diesel délivre sa puissance maximale, **déterminer** l'autonomie en heures-minutes du véhicule TAF35. **Conclure** par rapport à l'autonomie annoncée par le constructeur.

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Question 1.4

Angle de roulis θ_R	Tension U_s (V)	Signal numérique N (sur 10 bits)	
		en décimal	en binaire
+ 45°	.....	1023	.....
+ 15°	3,33	.....	.....
+ 12°	3,17	.....	
0°	.....	.....	
- 12°	1,83	.....	
- 15°	1,67	.....	
- 45°	.....	.....	.....

Question 1.7

Algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif

Début

Remarque : # permet d'écrire des commentaires

Lecture de N

Si N > 681

test si l'angle de roulis θ_R > 15°

Alors

Sinon Si N < 342

test si l'angle de roulis θ_R < -15°

Alors

Fin

Algorithme du sous-programme n°1 (SP1)

Début

Com_Opérateur [.....]

blocage des commandes opérateurs

Lecture «Pos_Turbine_Bas»

Tant que Pos_Turbine_Bas = ...

abaissement du centre de gravité en ramenant la turbine en position basse

Faire Turbine [.....]

Lecture «Pos_Turbine_Bas»

(Fin de Tant que)

Répéter Chenille_Gauche [.....]

faire tourner le tracteur chenillé du bon côté afin d'orienter l'avant du véhicule vers le bas de la pente

Chenille_Droite [.....]

Lecture de N

Jusqu'à N

Chenille_Gauche [0]

arrêt de la chenille gauche

Chenille_Droite [0]

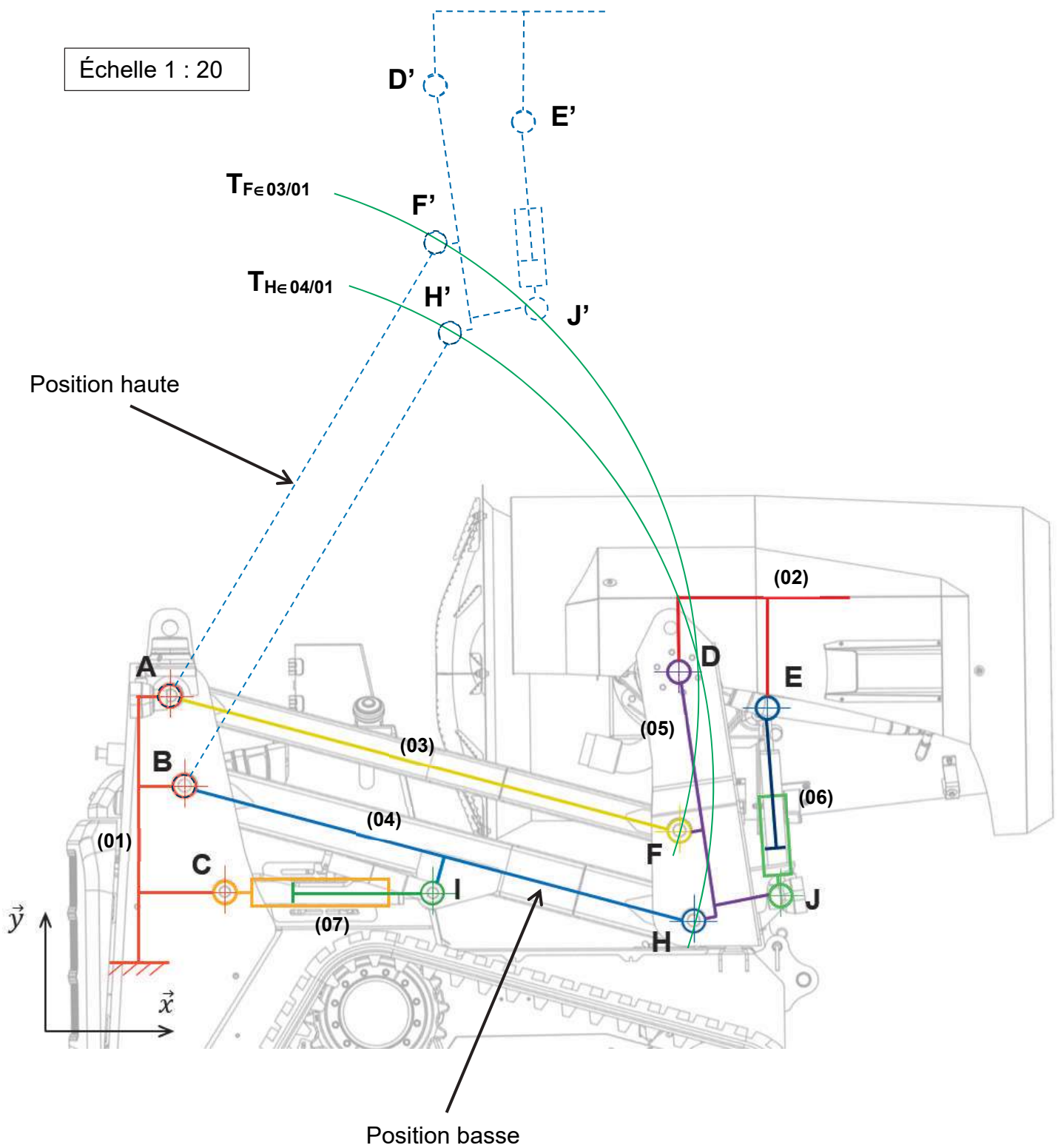
arrêt de la chenille droite

Com_Opérateur [.....]

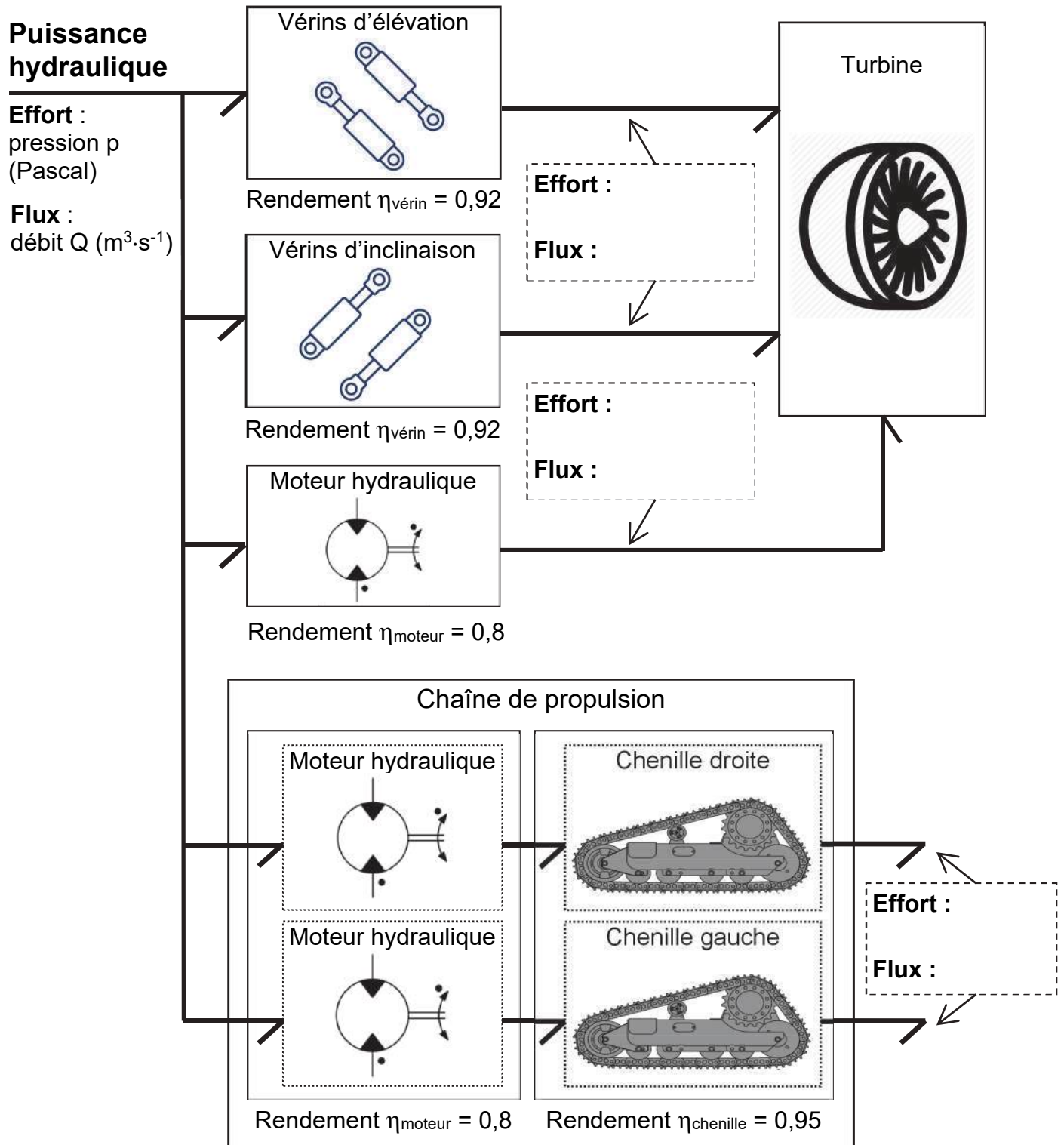
déblocage des commandes opérateurs

Fin

Question 1.9



Question 1.16



Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A - Forces aérodynamiques sur un volant de badminton (10 points)

Les performances sportives donnent lieu à de nombreuses analyses scientifiques afin de les améliorer.

L'analyse vidéo et la chronophotographie sont des outils utilisés par de nombreux entraîneurs pour analyser et améliorer les performances de leurs athlètes.

Le but de cet exercice est de déterminer s'il est nécessaire de prendre en compte les forces aérodynamiques dans les analyses de trajectoires d'un volant de badminton.

On s'intéresse au mouvement d'un volant de badminton lancé, à la date $t = 0,0$ s d'un point noté G_0 avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$, dont la norme v_0 a pour valeur $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, et faisant un angle $\theta_0 = 60^\circ$ avec l'horizontale. La chronophotographie de ce mouvement est donnée ci-dessous et reportée en annexe. L'axe des x est suivant l'horizontale et l'axe des y suivant la verticale ascendante.

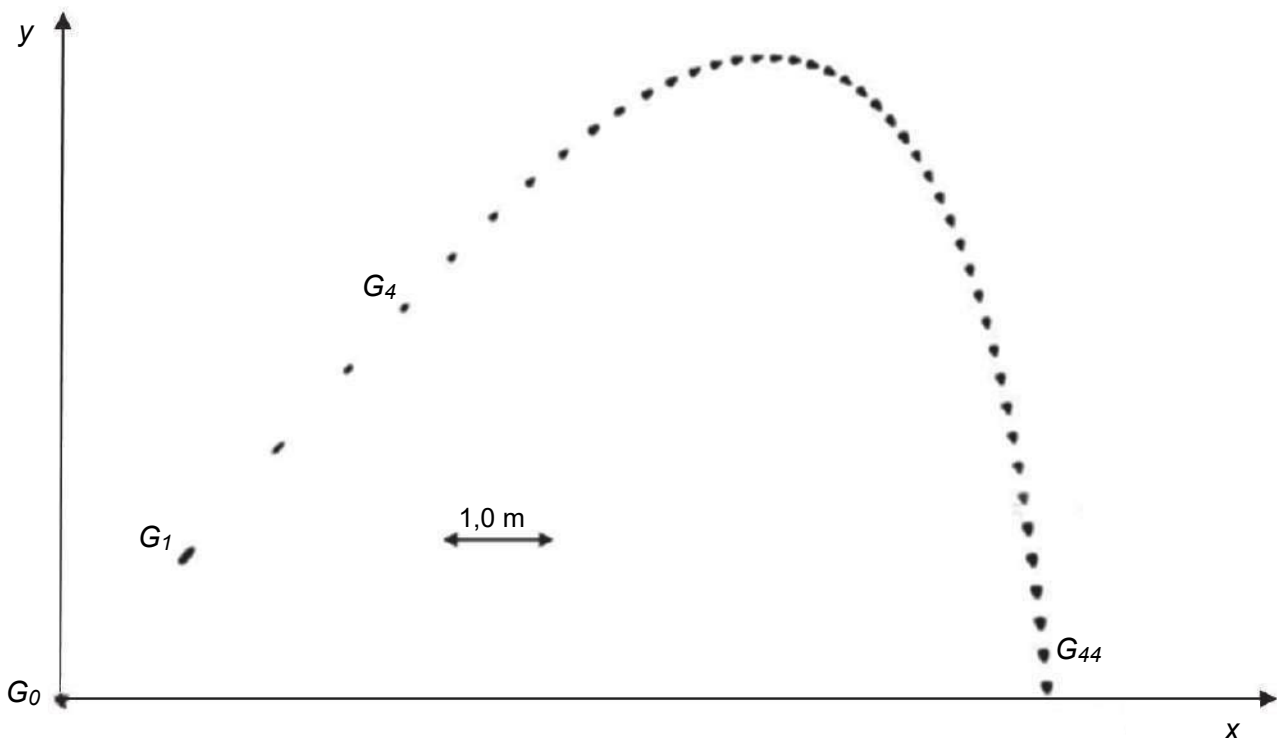
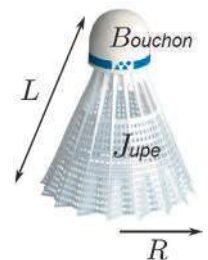


Figure 1. Chronophotographie du mouvement d'un volant de badminton

Données :

- le volant étudié est de modèle MAVIS 370 de longueur $L = 60 \text{ mm}$ et un rayon $R = 34 \text{ mm}$. La masse de ce volant est $m = 5,3 \text{ g}$ dont 3 g sont répartis dans le bouchon et $2,3 \text{ g}$ dans la jupe.
- accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.



On étudie la trajectoire du centre de masse du volant de badminton.

Q1. Estimer à l'aide d'une mesure graphique effectuée sur **l'annexe à rendre avec la copie**, la valeur de la vitesse du volant à la date $t = 0,160$ s, c'est-à-dire la vitesse au point G_4 .

Q2. Représenter cette vitesse sur la chronophotographie donnée **en annexe à rendre avec la copie** en utilisant une échelle de $1,0$ cm pour $5,0$ m·s⁻¹.

On suppose dans un premier temps que l'action de l'air est négligeable devant le poids du volant. Les résultats obtenus dans le cadre de cette hypothèse seront ensuite comparés avec les résultats expérimentaux afin de déterminer s'il est nécessaire de prendre en compte cette action pour modéliser de manière pertinente le mouvement du volant de badminton.

Q3. En appliquant la deuxième loi de Newton au volant lancé, à l'instant $t = 0,0$ s, avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle θ_0 avec l'horizontale, montrer que les équations horaires des coordonnées v_x et v_y de son vecteur vitesse $\vec{v}$ s'écrivent :

$$v_x = v_0 \times \cos(\theta_0) \text{ et } v_y = -g \times t + v_0 \times \sin(\theta_0).$$

Q4. Déterminer les valeurs des coordonnées v_x et v_y de la vitesse à la date $t = 0,160$ s.

Q5. En déduire, dans le cadre de ce modèle, la valeur de la vitesse à cette date. Commenter en la comparant à celle déterminée à la question **Q1**.

Parmi les forces à prendre en compte dans l'étude de ce mouvement, il existe une action modélisée par une force appelée force de trainée. La force de trainée peut être modélisée par l'expression $\vec{F}_D = -k \times v \times \vec{v}$ où $k = 1,4 \times 10^{-3}$ kg·m⁻¹ est une constante dépendant entre autre de la masse volumique de l'air et de la dimension du projectile, v la norme du vecteur vitesse $\vec{v}$.

Q6. Représenter sans souci d'échelle le vecteur force de trainée au point G_1 **sur l'annexe à rendre avec la copie**.

Q7. Montrer quantitativement que, pour une vitesse de valeur $v_0 = 40$ m·s⁻¹ du volant, la force de trainée ne peut pas être négligée devant le poids.

Le graphique ci-dessous représente les trajectoires d'un volant en plume et d'un volant en plastique lancés dans les mêmes conditions.

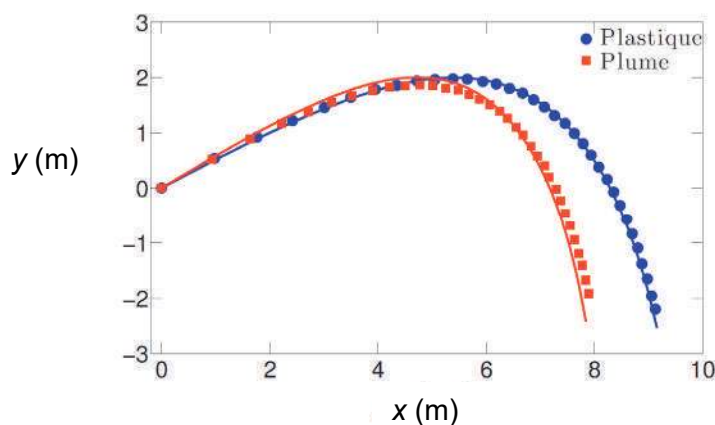


Figure 2. Trajectoires d'un volant en plume et d'un volant en plastique

Q8. Analyser qualitativement ce graphique et formuler une hypothèse concernant la valeur de la force de trainée qui s'exerce sur un volant en plastique par rapport à celle qui s'exerce sur un volant en plume.

EXERCICE B – Étude thermique d'un méthanier (10 points)

Le transport de gaz liquéfié par méthanier présente des défis technologiques. En effet, en dépit de l'excellente isolation thermique des réservoirs des méthaniers transportant le Gaz Naturel Liquéfié (GNL) à température cryogénique, les transferts thermiques entre les cuves et leur environnement engendrent une évaporation du GNL. Ce gaz d'évaporation doit être relâché afin d'éviter l'apparition de surpressions qui pourraient endommager la structure du méthanier.



Le méthanier français LNG Endeavour d'après www.gazocean.com

La qualité de l'isolation thermique du méthanier est caractérisée par le coefficient BOR qui correspond au pourcentage journalier de gaz évaporé par rapport à la quantité initialement embarquée.

Données :

- température du GNL : $T_{\text{GNL}} = -162^\circ\text{C}$;
- volume de GNL initialement embarqué : $V_{\text{GNL}} = 12 \times 10^4 \text{ m}^3$;
- masse volumique du GNL : $\rho = 0,43 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- énergie massique de vaporisation du GNL : $\ell_{\text{vap}} = 510 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- aire de la paroi interne des cuves en contact avec le GNL : $S_{\text{GNL}} = 21 \times 10^3 \text{ m}^2$;
- épaisseur de la coque externe : $e_{\text{ce}} = 50 \text{ mm}$;
- épaisseur de la coque interne : $e_{\text{ci}} = 18 \text{ mm}$;
- conductivité thermique des coques en acier : $\lambda_{\text{ce}} = \lambda_{\text{ci}} = 17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- conductivité thermique de l'isolant : $\lambda_i = 0,011 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- résistance thermique R_{th} d'une paroi : $R_{\text{th}} = \frac{e}{S \times \lambda}$;

R_{th} : résistance thermique en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$;

λ : conductivité thermique du matériau en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;

e : épaisseur de la paroi en m ;

S : aire de la paroi en m^2 .

La figure 1 propose une modélisation thermique unidimensionnelle du méthanier. Le transfert thermique de puissance P_{GNL} traverse l'ensemble de la structure depuis la coque externe jusqu'aux cuves de GNL.

La température de l'environnement extérieur $T_{\text{env}} = 39^\circ\text{C}$ est la température extérieure moyenne pondérée, prenant en compte la surface en contact avec l'air et celle en contact avec l'eau de mer dans des conditions extrêmes.

L'aire de la paroi à travers laquelle s'effectuent les échanges thermiques est l'aire S_{GNL} en contact avec le GNL.

Q1. Justifier le sens de la flèche modélisant le transfert thermique P_{GNL} .

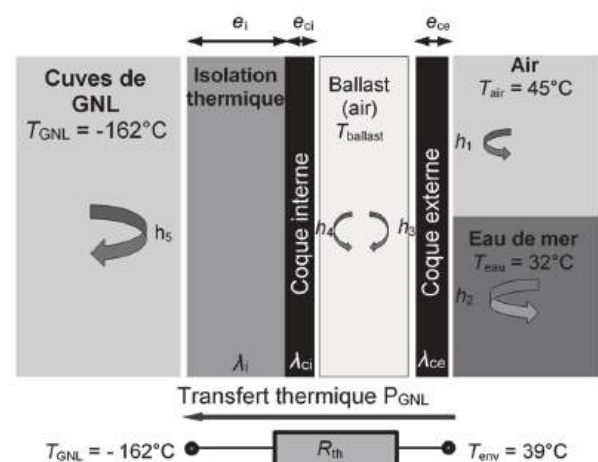


Figure 1. Modèle thermique unidimensionnel simplifié d'un méthanier

« Journal of the Korean Society of Marine Engineering - Vol. 39 , No. 10»

Une simulation numérique a permis d'évaluer la puissance thermique reçue par le GNL contenu dans les cuves du méthanier étudié : $P_{\text{GNL}} = 400 \text{ kW}$.

Q2. Exprimer la résistance thermique R_{th} des parois du méthanier en fonction des grandeurs P_{GNL} , T_{env} et T_{GNL} puis calculer sa valeur.

Q3. La résistance thermique de la coque externe du méthanier a pour valeur $R_{\text{ce}} = 1,4 \times 10^{-7} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$. Comparer les valeurs de R_{ce} et de R_{th} .

Q4. La modélisation proposée figure 1 fait apparaître des coefficients h (h_1 à h_5) et λ (λ_{ce} , λ_{ci} et λ_i). Citer deux modes de transferts thermiques qu'ils permettent de modéliser.

Q5. Donner l'expression reliant le transfert thermique Q_{GNL} reçu par le GNL pendant une durée Δt et la puissance thermique P_{GNL} définie précédemment. Calculer la valeur de Q_{GNL} pour une durée égale à une journée.

L'énergie Q échangée sous forme de chaleur lors de la vaporisation d'une masse m d'une espèce chimique d'énergie massique de vaporisation ℓ_{vap} est donnée par la relation suivante :

$$Q = m \times \ell_{\text{vap}}$$

Q6. On admet que l'énergie Q_{GNL} reçue par le GNL pendant une journée est utilisée pour vaporiser le GNL. Exprimer le volume V de GNL vaporisé pendant une journée. Déterminer la valeur de V .

On admet que le volume V de GNL vaporisé pendant une journée est environ égal à 160 m^3 .

La qualité de l'isolation thermique du méthanier est caractérisée par le coefficient BOR qui correspond au pourcentage volumique journalier de GNL évaporé par rapport à la quantité initialement embarquée.

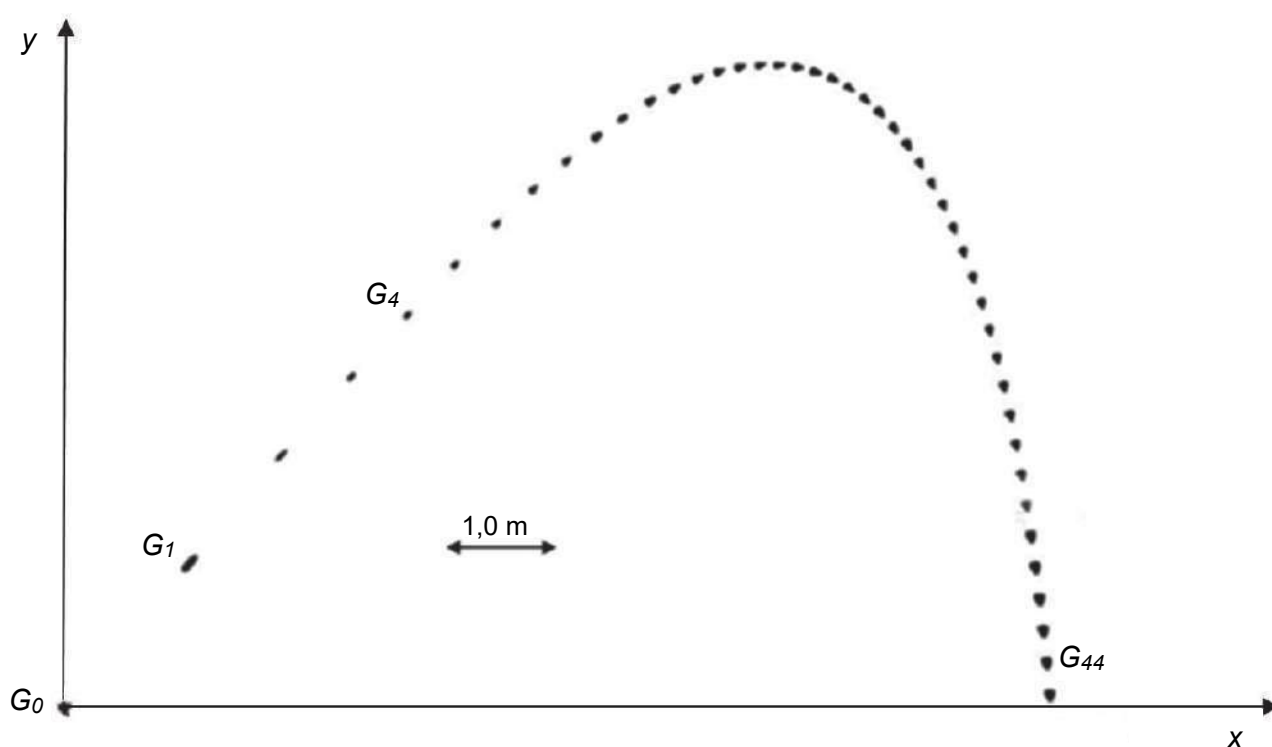
Q7. En déduire l'expression puis la valeur du BOR du méthanier étudié. Comparer la qualité de l'isolation des cuves de ce méthanier avec celle du LNG Endeavour qui possède un BOR égal à 0,09 % par jour.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Partie Sciences Physiques

Exercice A – questions 1,2 et 6.

Chronophotographie du mouvement d'un volant de badminton pour une vitesse initiale de $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et un angle θ_0 avec l'horizontale de 60° . La position est relevée à intervalles de temps réguliers $\tau = 40 \text{ ms}$.



Chronophotographie du mouvement d'un volant de badminton

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mardi 21 mars 2023

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 21 pages numérotées de 1/21 à 21/21.

**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 14 à 16) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot horticole



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 13
- Documents réponses..... pages 14 à 16

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 14 à 16) sont à rendre avec la copie.

Robot horticole

Le robot horticole Trooper (figure 1) est un robot autonome chargé de transporter des pots de fleurs. Il s'acquitte des tâches répétitives et pénibles de manutention en toute autonomie, telles que représentées figure 2 :

- le distançage qui consiste à écarter les pots au printemps pour que les plantes aient la place de s'épanouir ;
- le resserrage qui consiste à resserrer les pots à l'automne afin que les plantes se tiennent chaud et qu'il soit plus facile de les bâcher ;
- le transfert de planche de production qui consiste à déplacer des ensembles de pots d'un endroit à un autre.



Figure 1 : robot Trooper

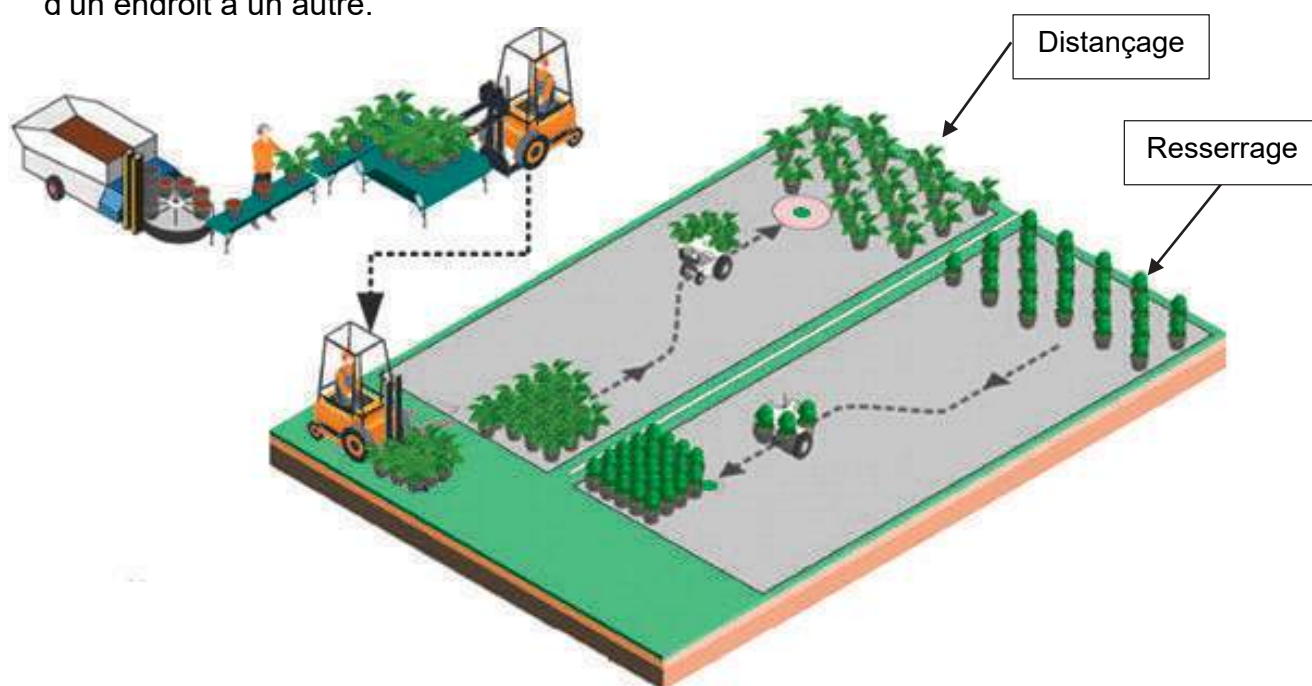


Figure 2 : distançage et resserrage

Ce robot est constitué :

- d'une batterie Li-Ion ;
- d'un châssis motorisé par deux moteurs à courant continu commandés indépendamment ;
- d'un magasin de stockage pouvant accueillir six pots de deux litres ou six pots de quatre litres ou trois pots de dix litres ;
- d'une pince de serrage munie de bras afin de saisir les pots ;
- d'un système de levage permettant la translation circulaire du pot (le mouvement est imposé par un motoréducteur associé à un système pignon-chaîne).

Le diagramme des exigences est présenté sur la figure 3.

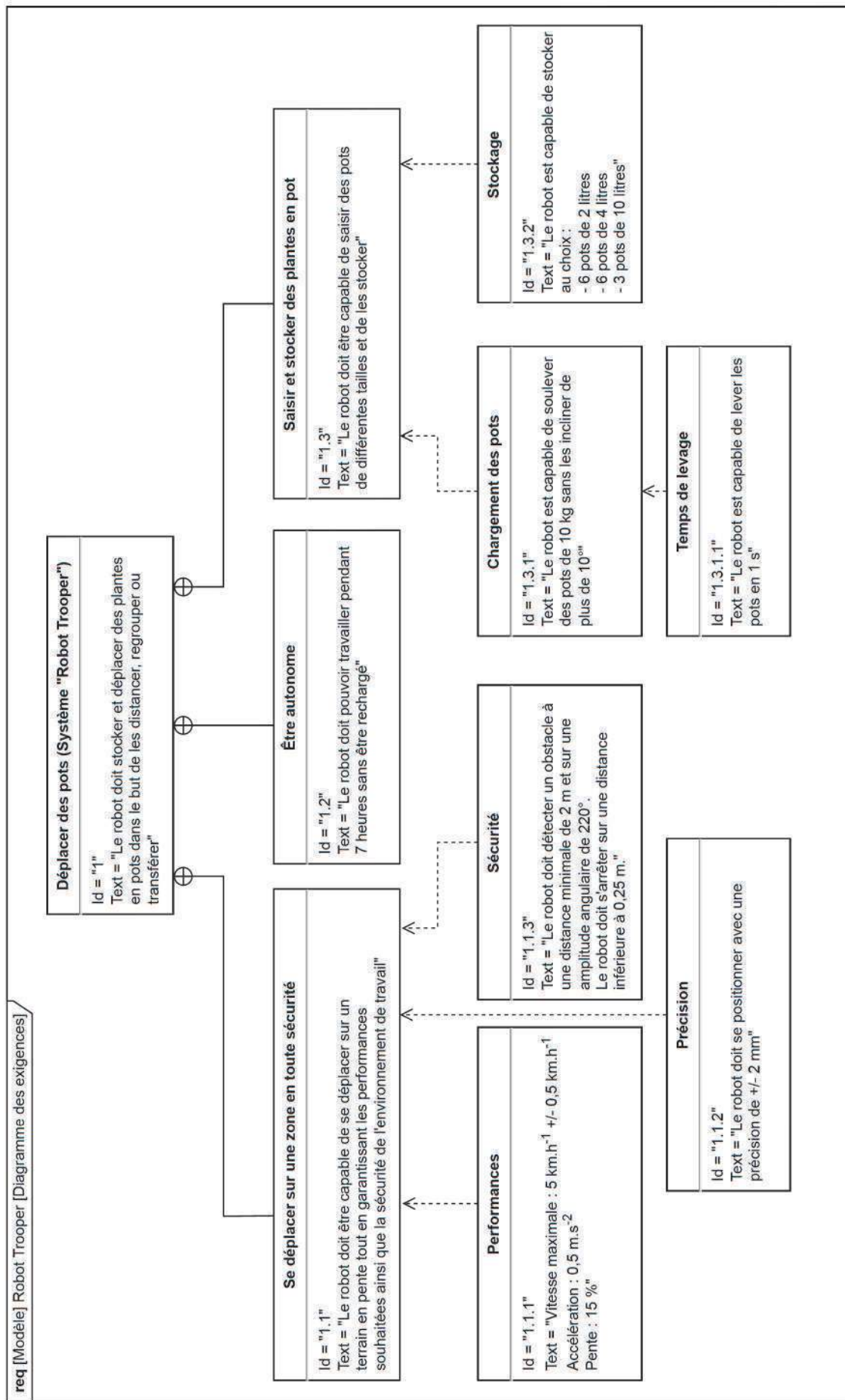


Figure 3 : diagramme des exigences

Sous-partie 1

Permettre le positionnement des pots en toute sécurité

L'objectif de cette sous-partie est de valider la capacité du robot à positionner précisément des pots lors des opérations de distançage ou de resserrage et de valider la capacité du robot à s'arrêter en moins de 0,25 mètre dans les conditions de pente fixées par le diagramme des exigences.

Le cycle étudié amène le robot à se rendre au point de collecte, remplir son magasin de pots, puis se rendre au point de dépose et venir placer les pots au sol selon les paramètres précisés par l'utilisateur. Une fois le magasin vide, il se rend à nouveau au point de collecte et recommence jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de pots à déplacer. Dans un souci de simplification, l'étude ne porte que sur le déplacement du robot en ligne droite dans un environnement sans obstacle.

Question 1.1 Extraire du diagramme des exigences (figure 3) les informations sur la précision attendue du déplacement.

L'étude porte sur un déplacement en ligne droite d'une distance de 20 m. Les données concernant la base mobile du robot sont fournies sur la chaîne de puissance de la figure 4.

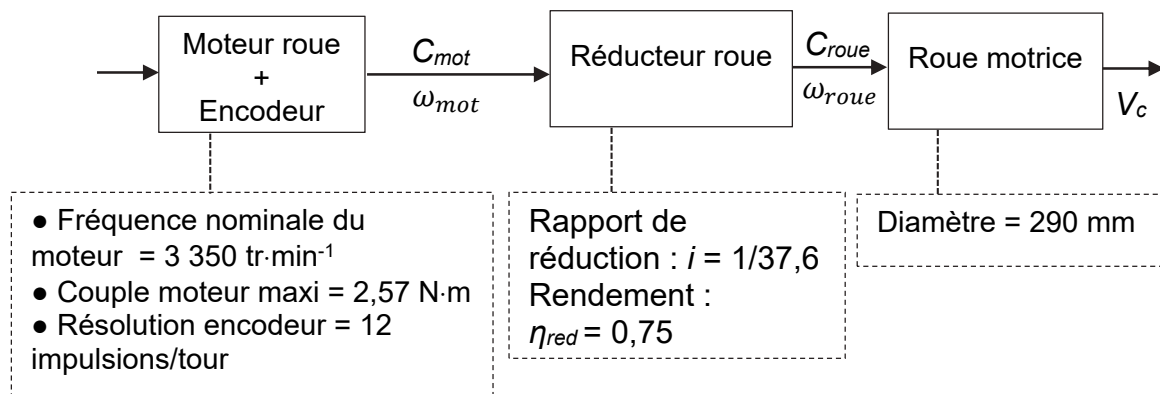


Figure 4 : chaîne de puissance de la base mobile

Question 1.2 Calculer le nombre de tours effectués par la roue pour le déplacement souhaité de 20 m. En **déduire** que le nombre d'impulsions du codeur correspondant est de 9 905.

Question 1.3 À l'aide du résultat obtenu précédemment, **calculer** la précision du positionnement sur le déplacement étudié. **Conclure** par rapport à l'exigence de précision.

Afin de permettre au robot de réaliser un déplacement en ligne droite d'une distance d quelconque, la fonction Python de contrôle est fournie partiellement sur le document réponse DR1. Lors du déplacement du robot en ligne droite, celui-ci se déplace à vitesse maximale (5 km·h⁻¹) jusqu'à ce que 95 % de la distance d ait été parcourue. La fin du

parcours est réalisée à 50 % de la vitesse maximale. Une impulsion mesurée sur un codeur correspond à une distance parcourue de 2 mm par la roue correspondante.

Question 1.4 Sur le document réponse DR1, **compléter** le programme permettant au robot de se déplacer en ligne droite selon le fonctionnement souhaité.

L'arrêt du robot est obtenu par inversion du sens du courant dans les moteurs créant ainsi un couple résistant.

Question 1.5 À partir de la figure 4, **exprimer** littéralement le couple exercé sur l'essieu d'une roue C_{roue} en fonction du couple moteur C_{mot} , du rendement réducteur η_{red} et du rapport de réduction i .

Pour la valeur maximale du couple moteur, **montrer** que la valeur maximale du couple de freinage C_{roue} est de 72,5 N·m.

Pour la suite de l'étude, comme illustré sur la figure 5, l'ensemble isolé est noté $\{S\} = \{\text{robot 1} + \text{chargement} + \text{roues motorisées 2} + \text{roues arrières 3}\}$.

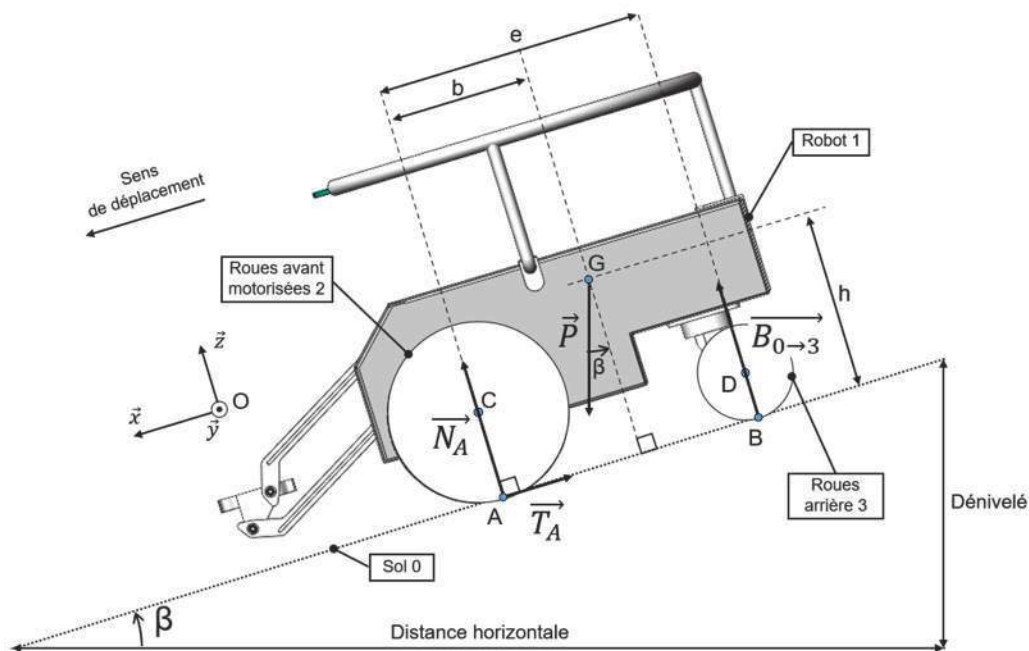


Figure 5 : modélisation des actions mécaniques extérieures exercées sur le robot en phase de décélération

Les hypothèses retenues pour l'étude sont :

- le modèle présente une symétrie de géométrie et d'efforts suivant le plan $(O, \vec{z}, \vec{x})$;
- l'action de l'air sur le robot et la résistance au roulement sont négligées.

Les données de l'étude sont les suivantes :

- $\mathcal{R}(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, le repère orthonormé direct associé à la pente ;
- $\beta = 8,5^\circ$, la valeur de l'angle pour une pente de 15 % ;
- $\vec{P}$, le poids du robot ;

- $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, l'accélération de la pesanteur ;
- $m_T = m_r + m_c$, la masse totale avec $m_r = 30 \text{ kg}$, la masse du robot Trooper {1+2+3} et $m_c = 60 \text{ kg}$, la masse de la charge maximale ;
- G, le centre de masse de l'ensemble {S} ;
- A et B, les points de contacts respectifs des roues avant {2} et arrière {3} avec le sol {0} ;
- C et D, respectivement, les centres de rotation des roues avant {2} et arrière {3} avec le robot ;
- $\vec{N}_A$, la composante normale de l'action de contact du sol {0} sur les roues motrices avant {2} appliquée au point A ;
- $\vec{T}_A$, la composante tangentielle de l'action de contact du sol {0} sur les roues motrices avant {2} appliquée au point A ;
- $\vec{B}_{0 \rightarrow 3}$, l'action de contact du sol {0} sur les roues arrière {3} appliquée au point B.

Question 1.6 **Écrire** sous forme vectorielle les actions mécaniques $\vec{P}$, $\vec{N}_A$, $\vec{T}_A$ et $\vec{B}_{0 \rightarrow 3}$ sur le robot Trooper en phase de décélération dans le repère $\mathcal{R}(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

En appliquant le théorème de la résultante dynamique sur l'ensemble {S}, en projection sur $\vec{x}$, **montrer** que la décélération a_{Gx} s'exprime sous la forme : $a_{Gx} = \frac{m_T \cdot g \cdot \sin \beta - T_A}{m_T}$.

En se plaçant dans le cas le plus défavorable, la décélération est supposée constante de valeur $a_{Gx} = -9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Le robot, en début de phase de freinage, a comme vitesse initiale sa vitesse maximale $V_{max} = 1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Le temps d'arrêt est égal à $t_{arrêt} = 0,16 \text{ s}$. L'étude est effectuée avec l'hypothèse du roulement sans glissement.

Question 1.7 **Montrer** que la distance $d_{arrêt}$ parcourue par le robot lors d'un freinage d'urgence dans le cas le plus défavorable est de 0,11 m.

À l'aide de la figure 3, **conclure** sur le respect de cette exigence.

Sous-partie 2

Vérifier l'exigence de vitesse et l'autonomie du robot

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le robot est capable de répondre à l'exigence de vitesse et de valider son autonomie énergétique.

Le modèle multiphysique établi pour la chaîne de puissance d'une des deux roues motorisées est donné figure 6.

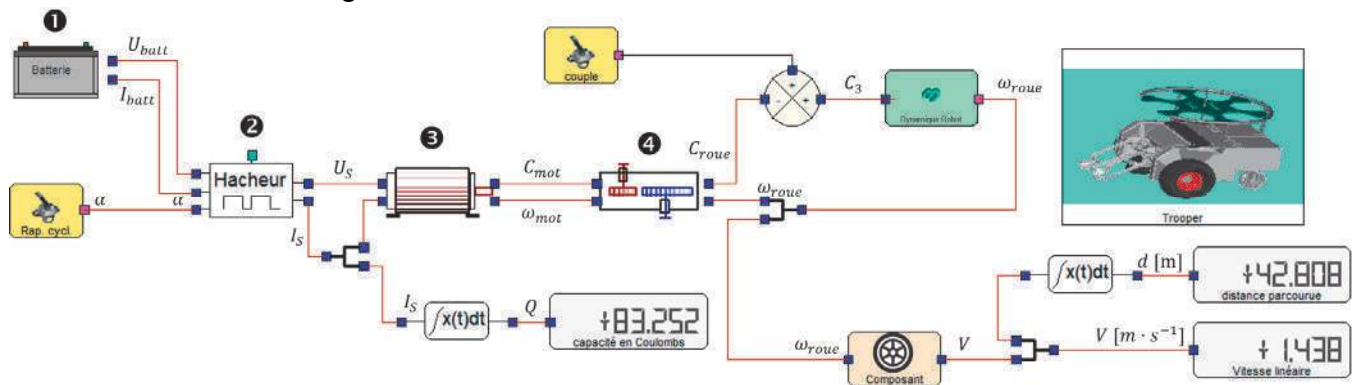


Figure 6 : modélisation multiphysique de la chaîne de puissance

Les grandeurs physiques utilisées pour décrire la chaîne de puissance sont :

- U_{batt} la tension aux bornes de la batterie et I_{batt} l'intensité du courant délivré par la batterie ;
- U_s la tension en sortie du hacheur et I_s l'intensité du courant délivré par le hacheur ;
- Q la quantité d'électricité consommée pour le déplacement du robot ;
- C_{mot} le couple délivré par le moteur et ω_{mot} la vitesse angulaire de l'arbre moteur ;
- C_{roue} le couple disponible sur l'axe de rotation d'une roue et ω_{roue} la vitesse angulaire d'une roue du robot ;
- V la vitesse linéaire de déplacement du robot et d la distance parcourue.

Question 1.8 **Indiquer** les fonctions des constituants de la chaîne de puissance ①, ②, ③ et ④ du modèle multiphysique de la figure 6.

Les résultats affichés sur la figure 6 correspondent à un fonctionnement en régime établi au bout de 30 secondes pour un réglage de rapport cyclique $\alpha = 1$ du hacheur.

Question 1.9 **Relever** la valeur simulée en régime établi de la vitesse de déplacement du robot notée V_S .

Question 1.10 **Relever** dans le diagramme des exigences de la figure 3 la valeur de la performance attendue de la vitesse V_A . **Comparer** avec la vitesse simulée V_S et **conclure** sur la capacité du robot à respecter cette exigence.

La figure 7 illustre le parcours réalisé par le robot qui sert de scénario pour l'étude de l'autonomie énergétique.

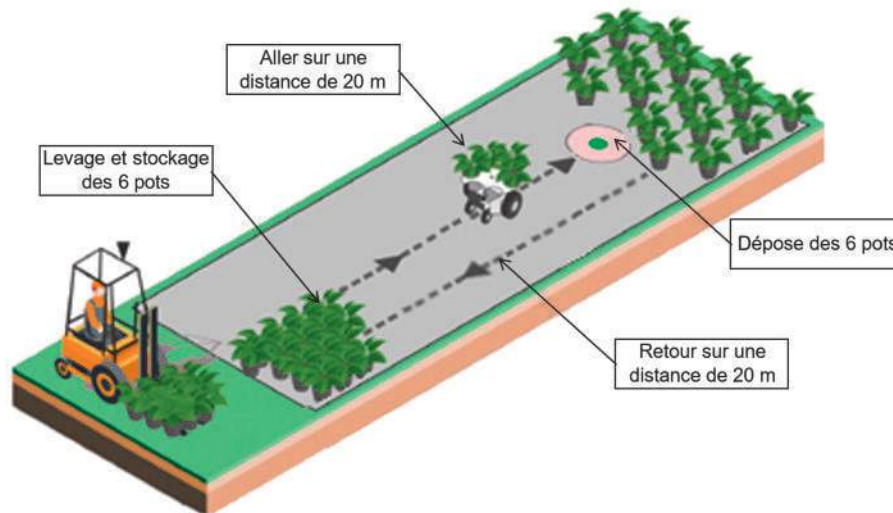


Figure 7 : opération de distançage de plantes en pot

Les hypothèses retenues pour cette étude sont :

- un cycle correspond à un aller-retour de transport de 6 pots de 4 litres d'un point A à un point B distant de 20 m ;
- le robot effectue 12 levages des bras, 10 rotations du magasin, 12 serrages/desserrages des pinces ;
- les phases d'accélération et de décélération étant négligées, le robot est considéré comme se déplaçant à vitesse constante de $4,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;
- les déplacements entre chaque pot lors du chargement et du déchargement sont négligés.

La quantité d'électricité Q peut se calculer à l'aide de la formule : $Q = I_M \times t$ où t est le temps et I_M le courant absorbé par un moteur lors du déplacement à vitesse constante. La mesure du courant a permis de déterminer $I_M = 2,5 \text{ A}$.

Question 1.11 **Déterminer** le temps nécessaire en secondes au robot pour effectuer l'aller-retour pendant le cycle étudié.

Calculer la quantité d'électricité Q en Coulomb (rappel : $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$) consommée par les deux moteurs pour assurer l'aller-retour du robot dans le cycle étudié.

Question 1.12 **Compléter**, sur le document réponse DR2, la consommation liée au déplacement du robot et la consommation globale Q_G du système pour un cycle complet.

Question 1.13 Sachant que la batterie a pour capacité $Q = 32 \text{ A}\cdot\text{h}$ et que la consommation globale est égale à $Q_G = 256 \text{ C}$, **déterminer** le nombre de cycles que peut effectuer le robot Trooper.

En **déduire** le temps d'utilisation possible du robot pour l'exécution répétée du cycle étudié sachant que le temps pour effectuer un cycle est de 60 s.

Conclure quant à la capacité du robot à respecter l'exigence Id 1.2 définie sur la figure 3.

Question 1.14 En observant les différents résultats de simulation figure 6 (vitesse et distance), **comparer** la valeur de consommation énergétique Q issue de la simulation et la valeur expérimentale de consommation pour un seul moteur de déplacement $Q_{M1} = 75 \text{ C}$. En prenant en compte les conditions de simulation et d'expérimentation, **conclure** quant à la validité du modèle.

Sous-partie 3

Permettre le transfert du pot vers le magasin

L'objectif de cette sous-partie est de valider la capacité du robot à soulever un pot de 10 kg sans l'incliner.

La cinématique du système de levage est réalisée par un système quatre barres composé par le châssis {S1}, le bras supérieur {S5}, le bras inférieur {S6} et la pince {S7} (figure 8). Le motoréducteur de levage, dont la sortie est liée au pignon {S4}, entraîne la rotation du bras supérieur {S5} d'un angle de 120° par l'intermédiaire d'un système de transmission par chaîne.

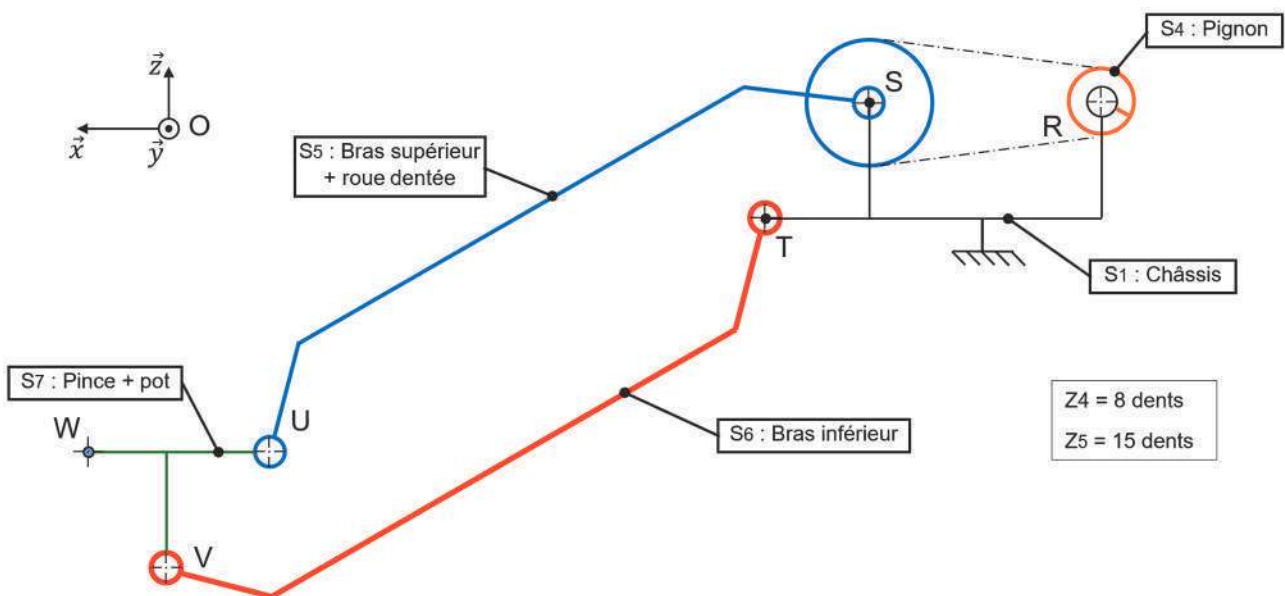


Figure 8 : schéma cinématique du système de levage dans le plan $(O, \vec{z}, \vec{x})$

L'exigence 1.3.1 du diagramme des exigences (figure 3) impose un chargement des pots sans les incliner de plus de 10° . Pour vérifier cette exigence, une étude graphique de la cinématique des bras est nécessaire. Les hypothèses retenues pour l'étude sont :

- l'étude est effectuée dans le plan $(O, \vec{z}, \vec{x})$;
- les liaisons sont supposées parfaites et sans jeu.

Question 1.15 À l'aide de la figure 8, **compléter** le tableau du document réponse DR3 en précisant le nom des liaisons, leur direction ainsi que la nature des mouvements du bras supérieur {S5} et du bras inférieur {S6} par rapport au châssis {S1} dans le plan $(O, \vec{z}, \vec{x})$.

DR3

En **déduire** les trajectoires des points U et V appartenant respectivement au bras supérieur {S5} et au bras inférieur {S6} par rapport au châssis {S1} en complétant le tableau du DR3.

Question 1.16 Sur le document réponse DR3, **tracer** la trajectoire $T_{U \in S5/S1}$ du point U appartenant au bras supérieur {S5} par rapport au châssis {S1} et la trajectoire $T_{V \in S6/S1}$ du point V appartenant au bras inférieur {S6} par rapport au châssis {S1}.

DR3

En **déduire** les positions des points U', V' et W' correspondant aux points U, V et W suite à une rotation de 120° du bras supérieur.

Question 1.17 **Exploiter** les tracés du document réponse DR3 et **conclure** sur le respect de l'exigence Id 1.3.1 définie sur la figure 3.

Une simulation a permis d'obtenir le couple à appliquer sur la roue dentée du bras supérieur {S5} en fonction de sa position angulaire lors d'une phase de levage d'un pot de 10 kg (figure 9).

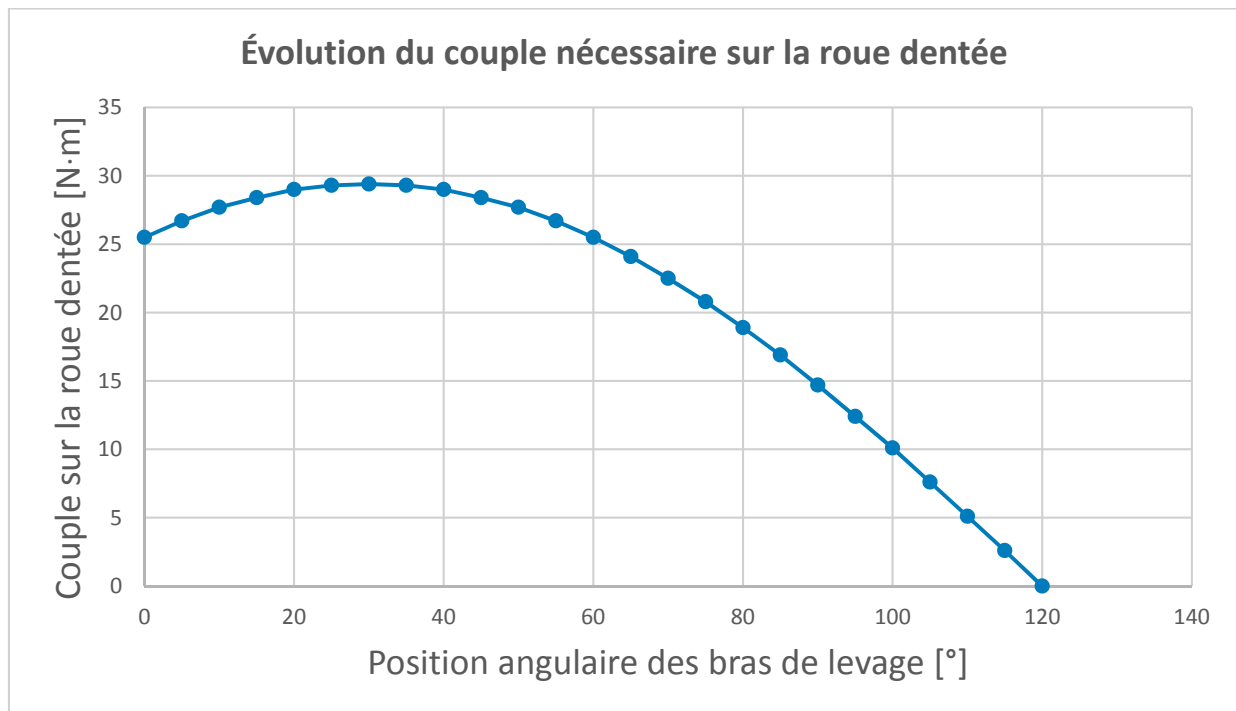


Figure 9 : résultat de la simulation sur le système de levage pour soulever 1 pot de 10 kg

Question 1.18 À partir de la figure 9, **relever** le couple maximal $C_{\max\_S5}$ à appliquer sur la roue dentée du bras supérieur {S5} pour soulever un pot ayant une masse de 10 kg.

La figure 10 illustre la partie mécanique de la chaîne de puissance du système de levage. Le couple fourni par le motoréducteur au système de transmission pignon-chaîne est noté C_{mr} .

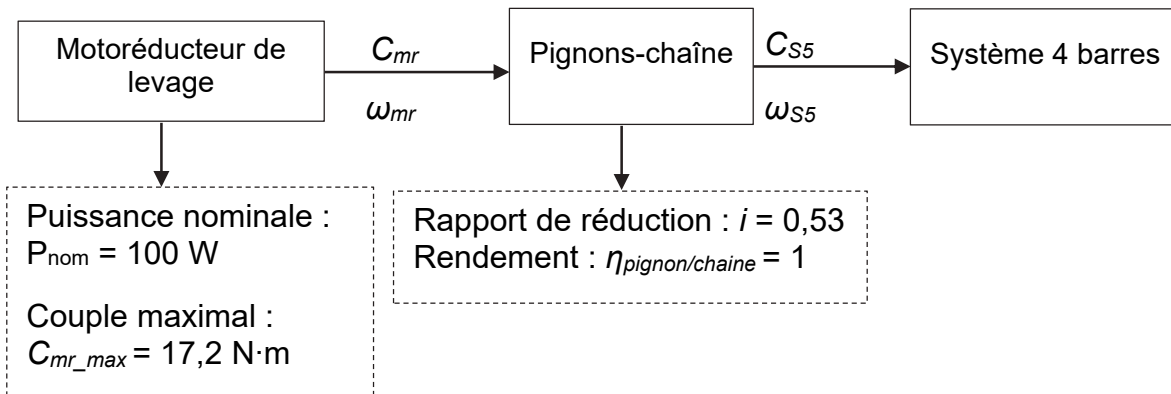


Figure 10 : chaîne de puissance partielle du système de levage

Question 1.19 Calculer le couple C_{mr} , correspondant au couple C_{max_S5} , que le motoréducteur de levage devra fournir pour soulever un pot de 10 kg.

La vitesse angulaire du bras supérieur {S5} ω_{S5} est supposée constante lors de la rotation de 120° nécessaire au levage d'un pot.

Question 1.20 Déterminer la vitesse de rotation du moteur ω_{mr} permettant de respecter l'exigence Id 1.3.1.1 de la figure 3. En **déduire** la puissance fournie par le motoréducteur de levage pour soulever un pot de 10 kg.

Conclure sur la capacité du robot à soulever un pot de 10 kg.

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Document réponse DR1

Question 1.4

Les fonctions à utiliser pour contrôler les moteurs des deux roues sont :

<code>Commander_RD(vit)</code>	Le moteur est alimenté afin de commander la rotation de la roue droite à une vitesse <code>vit</code> exprimée en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. L'arrêt du moteur correspond à une valeur <code>vit = 0</code> .
<code>Commander_RG(vit)</code>	Le moteur est alimenté afin de commander la rotation de la roue gauche à une vitesse <code>vit</code> exprimée en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. L'arrêt du moteur correspond à une valeur <code>vit = 0</code> .

Les variables `pulse_g` et `pulse_d` correspondent respectivement au nombre d'impulsions des codeurs incrémentaux associés à la roue gauche et à la roue droite. Leurs valeurs sont mises à jour en temps réel par un processus extérieur. Seul le codeur de gauche est utilisé en ligne droite.

```
def avancer_ligne_droite(d) : # d est la distance à parcourir en mètres

    # Calcul du nombre d'impulsions correspondant à la distance d
    N_impuls_d = .....

    # Commande des moteurs pour provoquer le mouvement du robot pendant 20m
    while pulse_g < ..... :
        if ..... : # 95% de la distance parcourue
            # Avance à vitesse maximale
            .....
            .....
        else : # Avance à vitesse réduite
            .....
            .....

    # Arrêt des moteurs pour stopper le robot
    .....
    .....
```


Question 1.12

Cycle complet	Consommation unitaire	Nombre de mouvement(s).	Consommation totale
Mouvement Levage	$Q = 3,5 \text{ C}$		
Mouvement Rotation	$Q = 2 \text{ C}$		
Serrage/desserrage	$Q = 2 \text{ C}$		
Déplacement (Moteurs M1 et M2)	$Q = 150 \text{ C}$		
Ihm/PC/capteurs/cartes	$Q = 20 \text{ C}$		
Consommation globale Q_G			

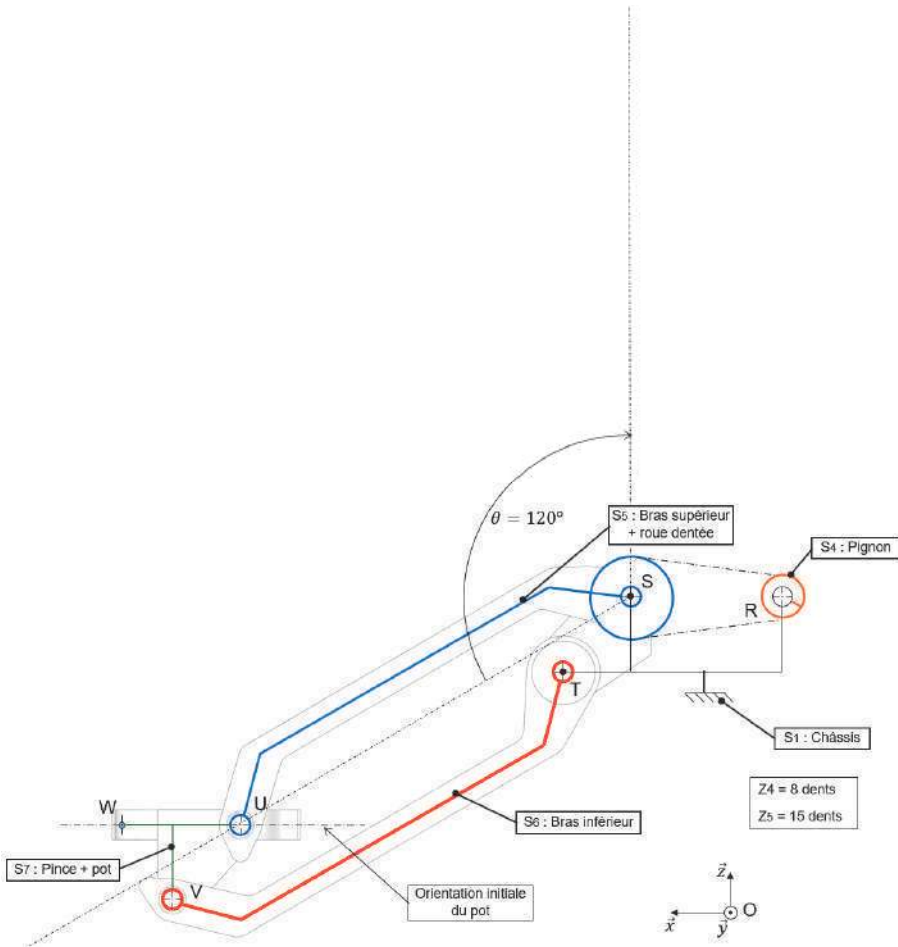
Question 1.15

Centre	Pièces	Nom de la liaison	Direction
S	Bras supérieur {S5} et châssis {S1}		
T	Bras inférieur {S6} et châssis {S1}		

Désignation	Pièces	Nature du mouvement
Mvt S5/S1	Bras supérieur {S5} et châssis {S1}	
Mvt S6/S1	Bras inférieur {S6} et châssis {S1}	

Désignation de la trajectoire du point	Nature et caractéristiques
$T_{U \in S5/S1}$	
$T_{V \in S6/S1}$	

Question 1.16



Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – La « méduse » : radar anti-bruit (10 points)

Les motos et scooters sont une cause de nuisances sonores. Il existe deux types de contrôles des nuisances sonores : un contrôle statique et un contrôle dynamique. Ce dernier est en cours d'expérimentation et se base sur un dispositif appelé « méduse » qui permet de mesurer le niveau d'intensité sonore d'un cyclomoteur en circulation.

L'objectif de l'exercice est d'exploiter des mesures de niveaux d'intensité sonore obtenues à l'aide du dispositif « méduse » et de mettre en évidence ses limites de fonctionnement.

Données :

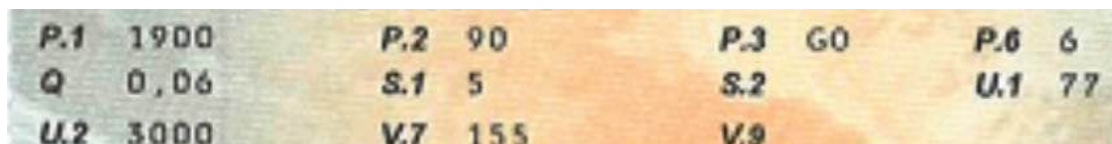
- seuil d'audibilité de l'oreille humaine : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- relation entre le niveau d'intensité sonore L et intensité sonore I : $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$;
- l'intensité sonore I mesurée à une distance d d'une source sonore ponctuelle est donnée par la relation suivante :

$$I = k \times \frac{1}{d^2} ;$$

- où k est une constante qui dépend notamment de la puissance de la source ;
- le niveau d'intensité sonore maximal toléré selon la législation française, est de 85 décibels.

Première approche : le contrôle statique

La valeur $U.1$ sur la carte grise d'un cyclomoteur (voir figure 1) correspond à la valeur du niveau d'intensité sonore en décibels (dB) en statique, c'est-à-dire lorsqu'un sonomètre est placé à 50 cm du pot d'échappement du cyclomoteur immobile.



P.1	1900	P.2	90	P.3	G0	P.6	6
Q	0,06	S.1	5	S.2		U.1	77
U.2	3000	V.7	155	V.9			

Figure 1. Extrait d'une carte grise d'un cyclomoteur

Q1. Montrer que la valeur, notée I_{50} , de l'intensité sonore I à 50 cm du pot d'échappement du cyclomoteur immobile est : $I_{50} = 5,0 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Q2. Choisir en justifiant, parmi les propositions ci-dessous, celle traduisant l'évolution de l'intensité sonore lorsque l'on double la distance au pot d'échappement ; sa valeur sera notée I_{100} .

Proposition a. $I_{100} = I_{50}$

Proposition b. $I_{100} = I_{50} / 2$

Proposition c. $I_{100} = I_{50} / 4$

Proposition d. $I_{100} = I_{50} \times 2$

Proposition e. $I_{100} = I_{50} \times 4$

Q3. Montrer alors que si l'on place un sonomètre à 1 m de distance du pot d'échappement, la valeur du niveau d'intensité sonore est réduite de 6,0 dB.

Deuxième approche : le contrôle dynamique



Figure 2. Fonctionnement du dispositif « méduse ». <https://www.leparisien.fr/>

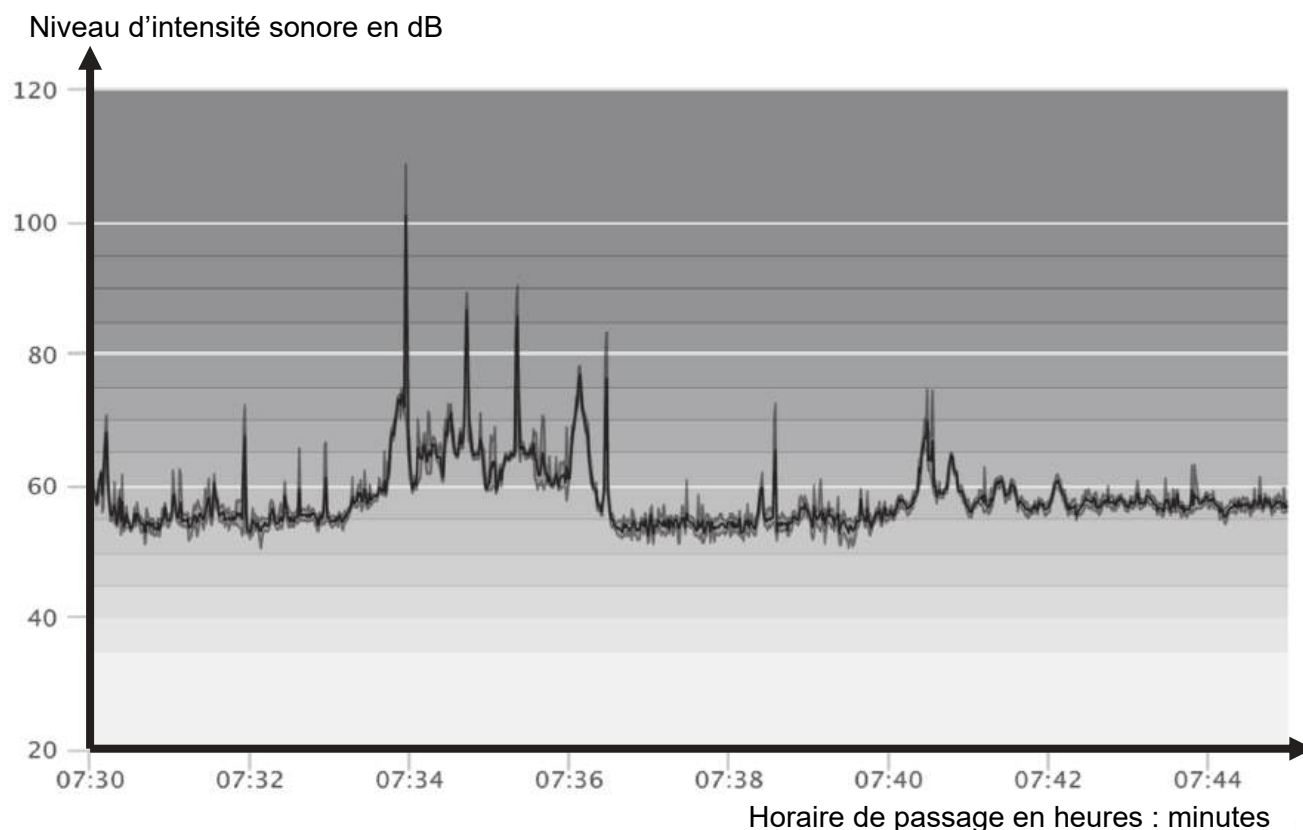


Figure 3. Niveau d'intensité sonore enregistré par un dispositif « méduse », rue de l'Espérance à Paris en matinée (22 février 2022). <https://monquartier.bruitparif.fr/hebdoscope>

Q4. Indiquer le nombre de véhicules en infraction en donnant pour chacun d'eux une estimation de l'heure de passage.

Un groupe de motards traverse une commune équipé d'un dispositif « méduse ». Ils disposent du même modèle de moto et roulent tous à $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Une première moto passe devant le dispositif « méduse » qui mesure un niveau d'intensité sonore $L_m = 78 \text{ dB}$. Quelques instants plus tard, un groupe de motards s'approche du dispositif « méduse ».

Q5. Déterminer le nombre de motos qui peuvent passer simultanément devant le dispositif sans dépasser le niveau d'intensité sonore maximal toléré.

Q6. Émettre une critique quant à la fiabilité du dispositif « méduse ». Justifier l'intérêt de la caméra embarquée pour confirmer la réponse à la question 4.

EXERCICE B – Sagittarius A* (10 points)

Sagittarius A* (Sgr A*) est une source intense d'ondes radios localisée au centre de la Voie Lactée et associée à la présence d'un trou noir super massif à environ 26 000 années-lumière du Système solaire.

On utilisera la notation Sgr A* pour désigner ce trou noir d'environ 4,3 millions de masses solaires situé au centre de notre galaxie. Ce trou noir est l'objet attracteur d'un amas stellaire : une douzaine d'étoiles connues sont en orbite autour de ce trou noir et leur observation régulière a permis de bien connaître leurs caractéristiques.

Les mesures de la masse de Sagittarius A*, notée M_{A^*} , évoluent. Une mesure en 2002 exploitant l'orbite de l'étoile la plus proche de Sgr A* donnait une masse de $3,7 \pm 1,5$ millions de masses solaires. La dernière en date réalisée par l'exploitation des observations du télescope ESO-VLT en 2021 donne $4,30 \pm 0,01$ millions de masses solaires.



NASA/CXC/Caltech/M.Muno et al

Sources : wikipedia, chandra.harvard.edu, Astronomy & Astrophysics, ESO

Données :

- constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse solaire : $M_S = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$.

On désire, à partir des informations orbitales des étoiles, évaluer la masse M_{A^*} de Sgr A*.

Contrairement aux autres étoiles de l'amas stellaire, l'étoile nommée S1 a la particularité d'avoir une orbite quasi-circulaire ; on assimilera donc sa trajectoire à un cercle de rayon R , centré sur Sgr A*. On suppose que la seule action qui agit sur l'étoile S1 est l'attraction gravitationnelle exercée par Sgr A*.

L'étude se fait dans un référentiel supposé galiléen. Sgr A* est l'origine du repère dans lequel on suit le mouvement du système étudié S1. Les axes de ce repère pointent vers des étoiles lointaines.

Q1. Représenter sans souci d'échelle Sgr A* et S1 en indiquant la force d'attraction gravitationnelle agissant sur S1. Indiquer sur la figure le repère de Frenet ($S1$, $\vec{u}_T$, $\vec{u}_N$), et le vecteur vitesse $\vec{V}$ de S1.

Q2. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération de l'étoile S1 en fonction notamment de G , M_{A^*} et R .

Q3. Justifier que dans l'approximation d'un mouvement circulaire, la norme du vecteur vitesse de S1 dans le référentiel de Sgr A* est constante.

Q4. Donner l'expression de la norme v du vecteur vitesse de l'étoile S1 en fonction de G , de M_{A^*} et de R la distance entre l'étoile S1 et Sgr A*.

Q5. En exploitant l'expression de la norme du vecteur vitesse et en notant T la période de S1 autour de Sgr A*, démontrer que la troisième loi de Kepler pour ce mouvement circulaire peut s'écrire : $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_{A^*}}$.

À l'aide d'un programme écrit en langage Python et des mesures du spectrographe SINFONI installé sur le ESO-VLT, on obtient le graphique de la figure 1 qui représente pour cinq étoiles connues de l'amas stellaire autour de Sgr A*, la variation du carré de la période de révolution, notée T , en fonction du cube du demi grand axe de la trajectoire noté a .

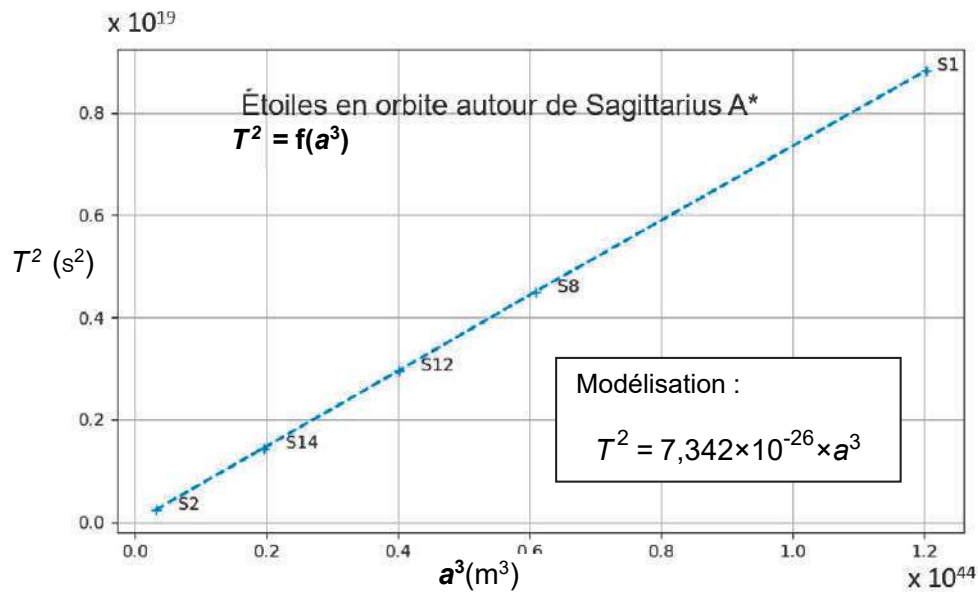


Figure 1. Étoiles en orbite autour de Sagittarius

- Q6.** L'expression de la loi de Kepler dans le cas du mouvement quasi-circulaire de S1 a été établie ci-dessus. Discuter de sa généralisation aux orbites non circulaires des autres étoiles de l'amas stellaire.
- Q7.** Déterminer à l'aide des questions précédentes la valeur de la masse M_{A^*} de Sgr A*. Commenter le résultat.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 23 pages numérotées de 1/23 à 23/23.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 18 à 20) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Système de compression thoracique LUCAS

Constitution du sujet

- **Sujet pages 2 à 17**
- **Documents réponses pages 18 à 20**

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 18 à 20) sont à rendre avec la copie.

Le système de compression thoracique LUCAS



figure 1 - Vue d'ensemble du LUCAS

Le LUCAS est un système de compression thoracique.

Il délivre des compressions dans le cas d'une Réanimation CardioPulmonaire (RCP).

Il peut être utilisé sur le terrain, pendant le transport du patient sur une civière, en ambulance, en hélicoptère ou à l'hôpital. Une fois installé sur le patient, il fonctionne automatiquement.

Par rapport à une RCP manuelle, l'appareil permet d'assurer des compressions de qualité, y compris pendant le déplacement et le transport du patient, et ce, pendant plusieurs heures si nécessaire.



figure 2 - Mise en œuvre du LUCAS lors d'un transport médical en hélicoptère

Le LUCAS évite de la fatigue aux secouristes et les libère pour d'autres tâches vitales.

Il est alimenté par une batterie qui lui assure une autonomie de 45 minutes. Il peut également être alimenté directement par une source d'énergie externe en cas d'utilisation prolongée.

La configuration du LUCAS se fait soit à l'aide d'un logiciel à partir d'un ordinateur relié au système par une connexion Bluetooth ou USB, soit par l'interface Lifenet via Internet.

Le LUCAS est relié au réseau par une connexion Wifi. Celle-ci permet par ailleurs d'envoyer un rapport d'intervention au format pdf par courriel vers une adresse prédéfinie, configurable par Lifenet.

Une interface homme-machine permet au soignant de vérifier en situation le bon fonctionnement de l'appareil pendant une RCP par des dispositifs sonores et lumineux.

Les figures 3, 4 et 5 présentent le diagramme de contexte, le diagramme des cas d'utilisation et le diagramme partiel des exigences du système.

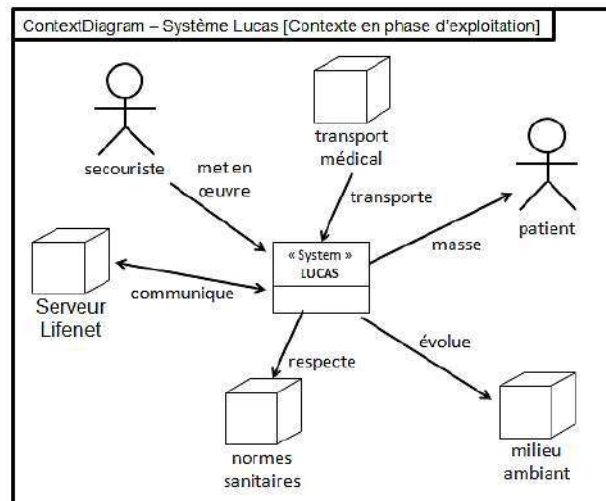


Figure 3-Diagramme de contexte

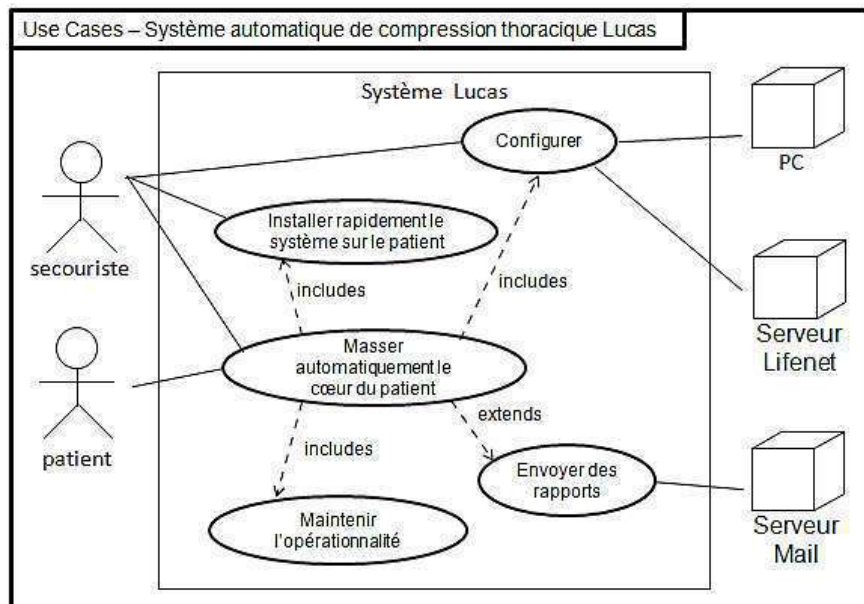


figure 4 - Diagramme des cas d'utilisation

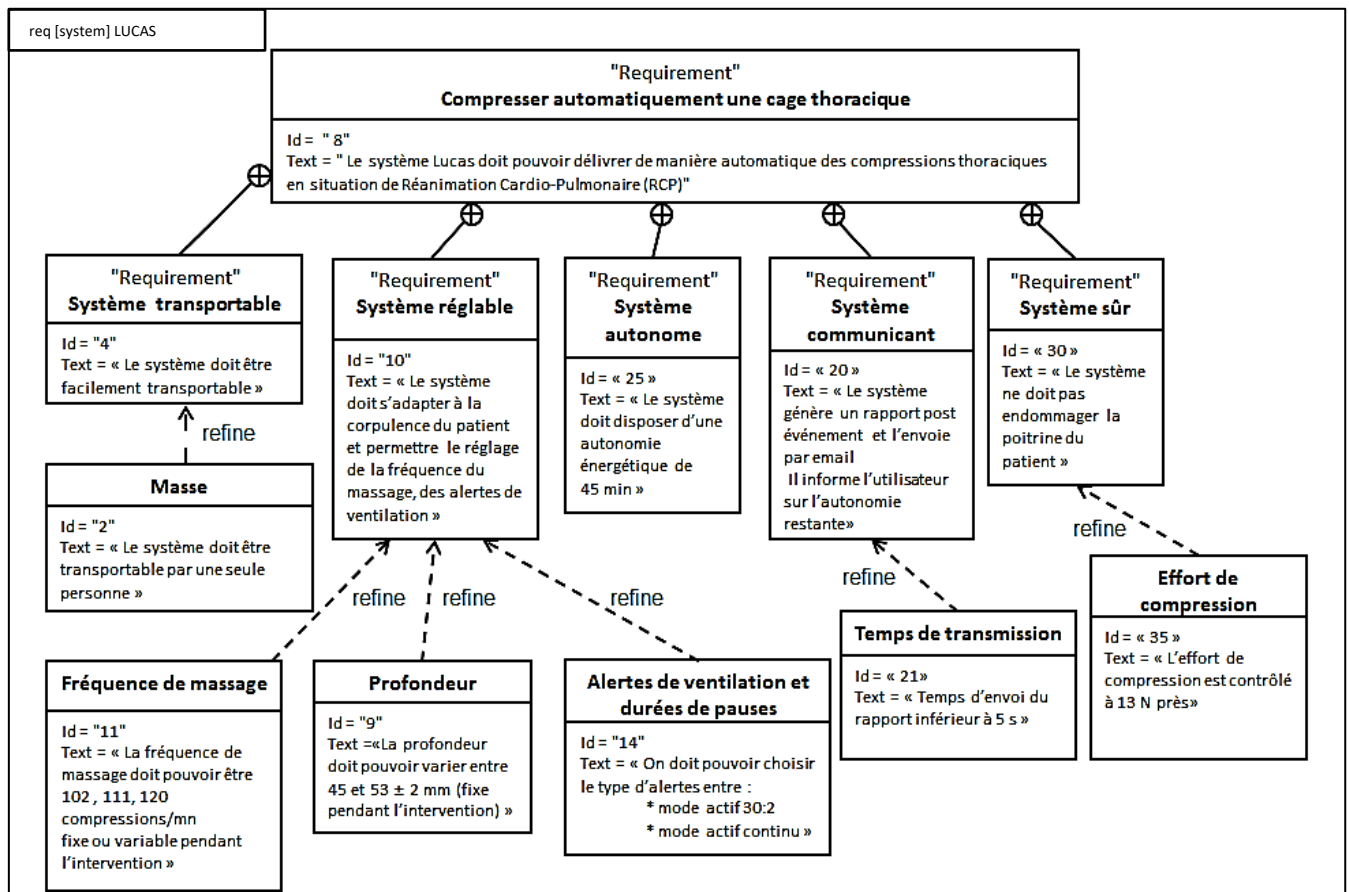


figure 5 - Diagramme partiel des exigences

La problématique de l'étude est la suivante : comment assurer de façon autonome et en sécurité une réanimation cardiopulmonaire ?

Les problèmes techniques à résoudre seront les suivants :

- s'assurer de disposer d'une autonomie suffisante ;
- être en capacité d'informer l'équipe soignante ;
- effectuer un massage cardiaque sans créer de traumatismes.

Sous-partie 1 – Disposer d'une autonomie suffisante

Le diagramme des exigences précise que le LUCAS doit délivrer des compressions efficaces de façon autonome pendant 45 min. L'objectif de cette partie est de vérifier que la batterie retenue pour alimenter l'appareil est bien compatible avec cette contrainte.

Extrait des caractéristiques techniques

fréquences de compression	configurable à 102, 111, 120 compressions par minute, fixe ou variable pendant l'utilisation
	paramètre par défaut 102 $\pm$ 2 compressions par minute
profondeur des compressions	configurable à une valeur fixe comprise entre 45 et 53 $\pm$ 2 mm
	paramètre par défaut 53 $\pm$ 2 mm pour le patient type
rapport durée compression/décompression	50 $\pm$ 5%

Question 1	Les compressions sont efficaces si leur fréquence et leur profondeur sont adaptées. Rappeler les possibilités de réglage de l'appareil en fréquence et en profondeur de compression.



figure 7 - Définition du repère de référence

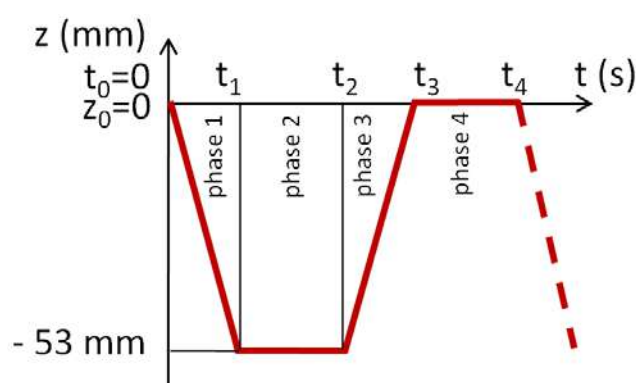


figure 6 – Déplacement simplifié du piston sur un cycle

La courbe figure 6 représente de façon simplifiée le déplacement du piston sur un cycle complet dans le cas du réglage par défaut :

- compression de t_0 à t_1 ,
- décompression de t_2 à t_4 .

Les valeurs suivantes sont données : $t_1 = 120$ ms et $t_3 = 414$ ms. La durée de la phase 1 est égale à celle de la phase 3.

L'origine du repère est prise lorsque le piston de compression est en appui sur la poitrine du patient, sans la comprimer.

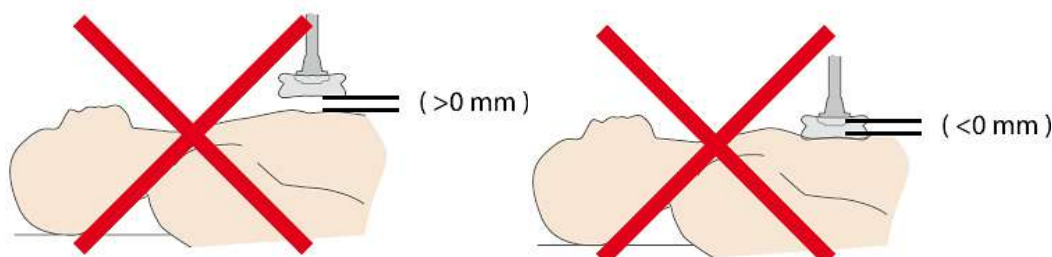


figure 8 - Prises d'origine non adaptées

Question 2 figure 6,7 et 8	En considérant le réglage par défaut des paramètres de compression, déterminer t_2 et t_4 en expliquant la démarche. Indiquer le type de mouvement pour chaque phase de déplacement du piston et représenter , à main levée sur la copie, le graphe de la vitesse du piston en fonction du temps sur un cycle complet.

Pour estimer la consommation d'énergie pendant une RCP, le cas le plus défavorable est considéré, l'effort de compression est supposé constant et maximal, $\vec{F}_{comp} = -600.\vec{z}$ [N], et la fréquence de compression est de 120 compressions par minute (dans ces conditions $t_1 = 100$ ms). La profondeur de compression est de -53 mm.

Pour ce cas d'étude, la chaîne de puissance du système a un rendement de 100 %. La capacité de la batterie est de 86 Wh.

Question 3 figure 6	Calculer la puissance nécessaire pour déplacer le piston entre t_0 et t_1 . De t_1 à t_4 , la consommation d'énergie a été estimée à 15 J par cycle. En déduire une estimation de l'énergie consommée pour un cycle complet puis pour une RCP de 45 min et comparer l'estimation de la consommation d'énergie avec l'autonomie de la batterie.

Afin d'estimer le plus précisément possible l'autonomie de la batterie, un modèle multiphysique du LUCAS est implanté dans un logiciel de simulation.

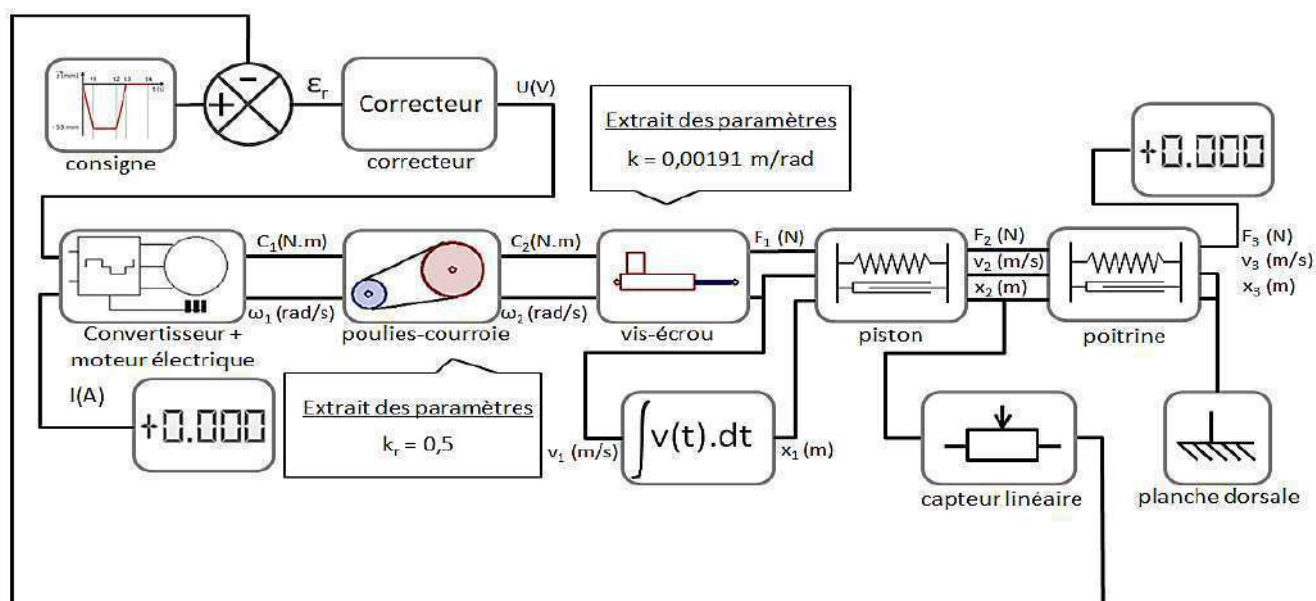


figure 9 - Modèle multiphysique du système LUCAS

Le modèle peut également être représenté par le schéma bloc suivant qui met en évidence un asservissement en position.

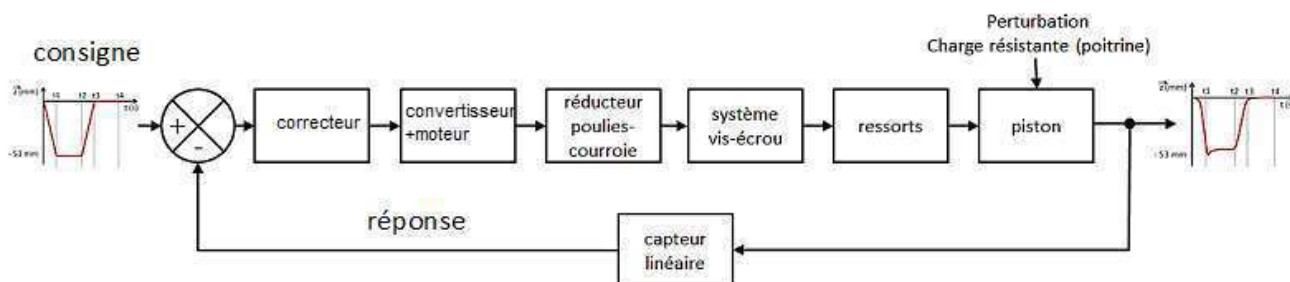


figure 10 - Principe de l'asservissement en position du piston

La relation d'entrée / sortie du correcteur (figure 9) dans le cas d'un réglage de type proportionnel est donnée par :

$$U(t) = k_p \cdot \varepsilon_r(t)$$

où $\varepsilon_r(t)$ représente l'écart entre la consigne d'entrée et la sortie du capteur convertie en millimètre.

Le coefficient k_p du correcteur est réglé de manière à s'approcher au mieux du comportement du système réel (en position et en vitesse de déplacement). Ceci permet par la suite d'avoir une estimation précise de la consommation.

Les courbes ci-dessous représentent la réponse à une consigne de position en échelon unitaire pour deux réglages de k_p .

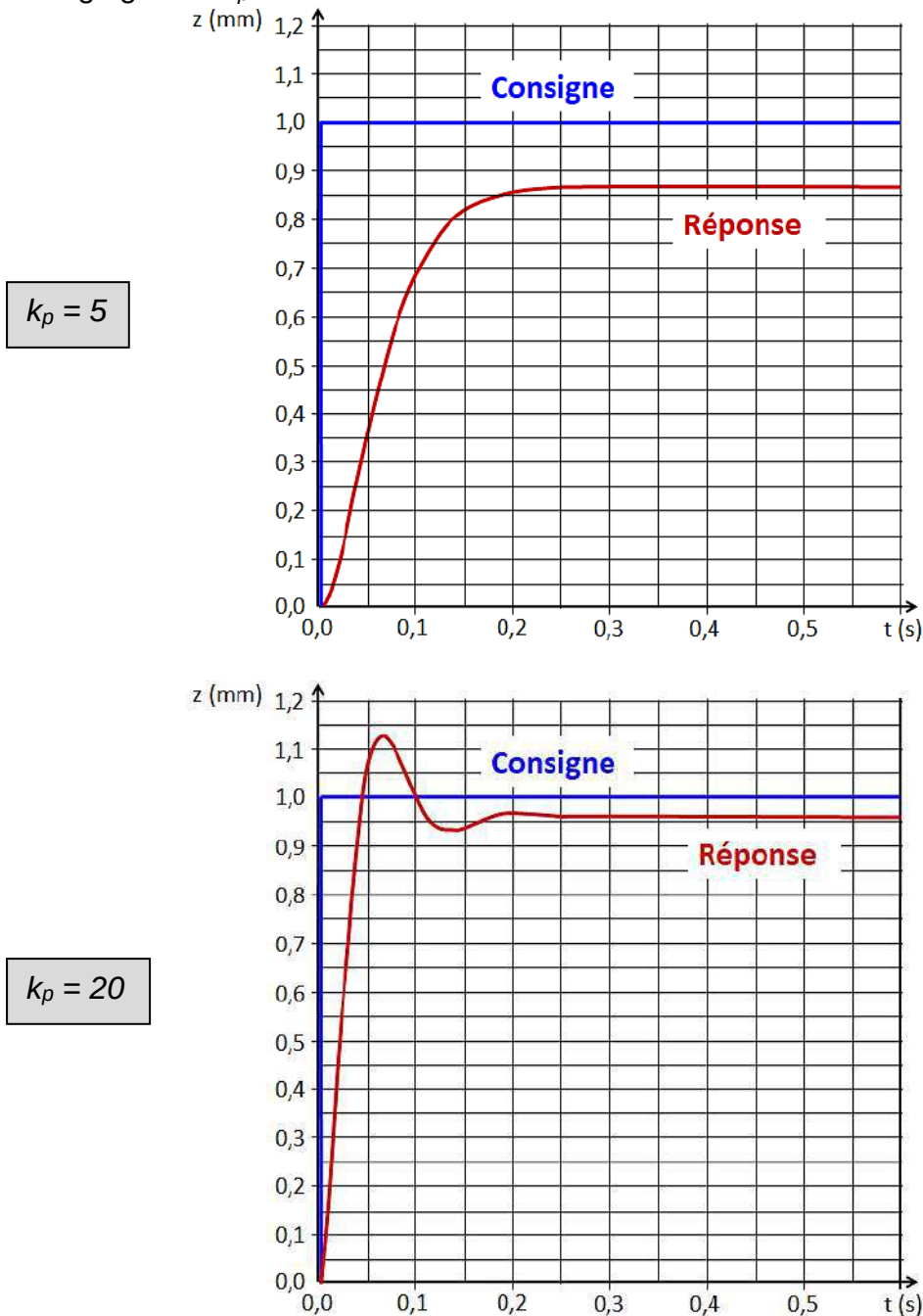
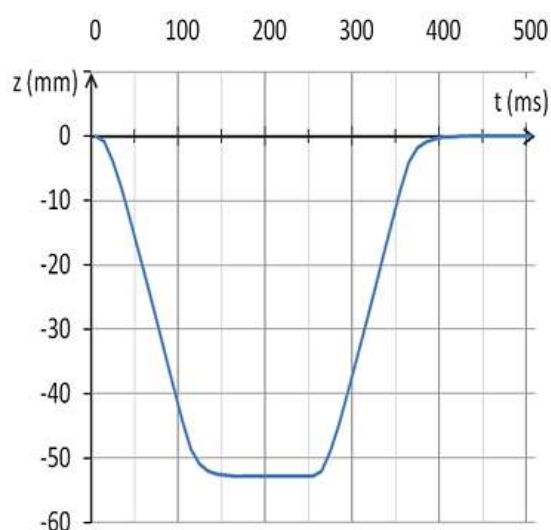


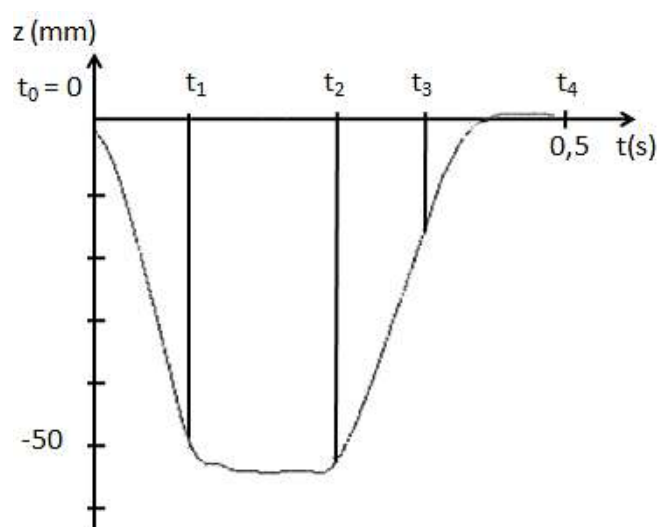
figure 11 - Réponse à une consigne de position en échelon unitaire pour deux réglages de k_p

Question 4	Évaluer l'erreur statique (exprimée en %) pour chaque cas. Indiquer le réglage le plus adapté en justifiant la réponse.

Des mesures sur le système réel et la simulation ont permis d'obtenir les deux courbes ci-dessous :



Déplacement obtenu par simulation avec le modèle multiphysique



Déplacement du piston mesuré sur le système réel ($t_1 = 110$ ms, $t_2 = 260$ ms et $t_3 = 370$ ms)

figure 12 - Déplacement du piston sur un cycle pour 120 compressions par minute

Question 5 figure 12	Comparer ces deux résultats en termes de temps de compression, décompression et de profondeur de compression, puis préciser si l'écart entre le modèle simulé et le réel est acceptable.

Question 6 figure 5	La simulation donne finalement une consommation de 54,9 J sur l'ensemble d'un cycle. Conclure sur la capacité de la batterie retenue à répondre à une exigence d'autonomie de 45 min.

Sous-partie 2 – Informer l'équipe soignante

L'objectif de cette partie est de vérifier que les dispositifs qui informent les secouristes de l'autonomie restante en cours d'intervention, et qui envoient le rapport d'activités au format pdf en fin d'intervention, sont compatibles avec une situation d'urgence.

L'interface utilisateur du LUCAS dispose d'un indicateur à LED permettant d'avertir le secouriste de l'état de charge de la batterie.

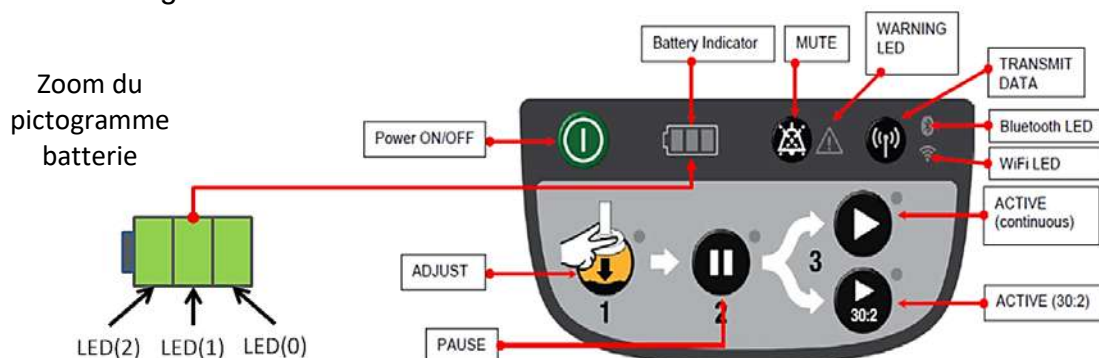


figure 13 - Indicateur de charge sur l'interface utilisateur.

Les LED utilisées sont des diodes multi couleurs dites RGB (Red Green Blue). Leur principe de fonctionnement est basé sur la synthèse additive des couleurs. Dans ce cas, le programme affecte la valeur 0 ou 255 à chacune des 3 composantes, rouge (R), verte (G) et bleue (B). Cette valeur, convertie en tension, est transmise via une résistance à la borne correspondante de la LED.

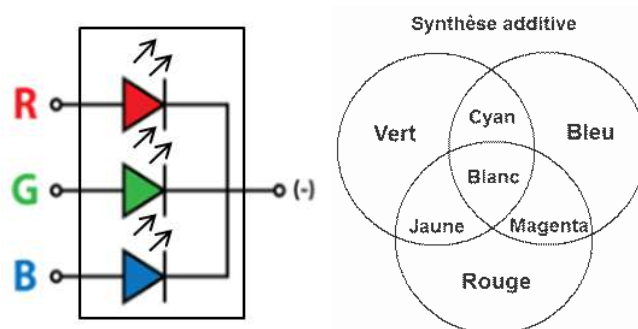
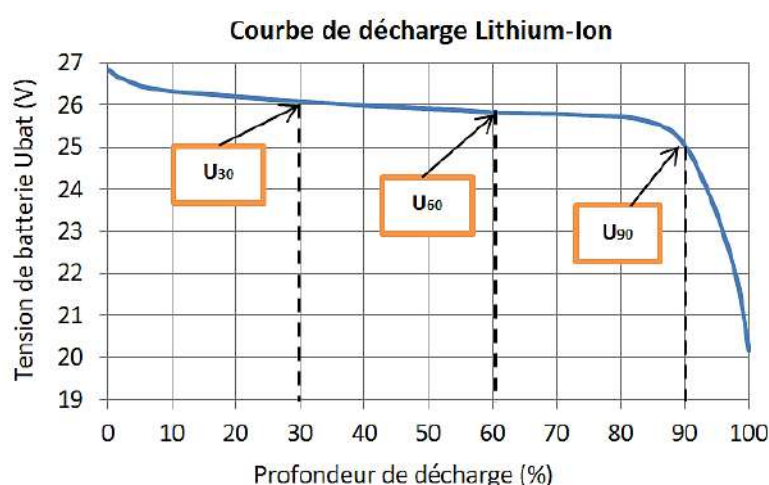


figure14 - Constitution d'une LED RGB et principe de la synthèse additive

Exemple, pour allumer la LED(0) en vert, la carte électronique transmet les valeurs de tension correspondantes à : 0, 255, 0, respectivement aux bornes R, G, B de cette LED.



Couleur de LED	Codage		
	R	G	B
Blanche	255	255	255
Verte	0	255	0
Jaune	255	255	0
Rouge	255	0	0

figure 15 - Positionnement des seuils d'alerte sur la courbe de décharge de la batterie

Etat_Batt	Situation	Indication visuelle	Etat des LED
1	$U_{bat} \geq U_{30}$		3 LED vertes allumées en continu
2	$U_{60} \leq U_{bat} < U_{30}$		1 LED blanche et 2 LED vertes allumées en continu
3	$U_{90} \leq U_{bat} < U_{60}$		2 LED blanches et 1 LED verte allumées en continu
4	$U_{bat} < U_{90}$ Batterie déchargée		2 LED blanches et 1 LED rouge clignotante

figure 16 - Correspondance entre l'indicateur visuel de charge et l'état de charge de la batterie (variable associée : Etat_Batt)

Question 7	L'algorithme simplifié qui gère l'affichage de l'indicateur d'état de charge de la batterie est proposé sur le document réponse DR 1. Associer chaque branche de cet algorithme aux valeurs Etat_Batt correspondantes.
DR 1 figure 15, 16	

Les premiers tests d'utilisation mettent en évidence le problème suivant : les secouristes ont beaucoup de difficulté à évaluer la durée de fonctionnement restante entre l'Etat_Batt 3 et 4. Le système s'arrête de fonctionner brutalement et nécessite un changement immédiat de batterie.

Afin de pallier ce problème, le constructeur propose de décaler les seuils et de rajouter un nouveau cas d'affichage indiquant une durée restante de 10 min, permettant ainsi d'anticiper le changement de batterie. Le nouvel affichage correspondant est caractérisé par 2 LED blanches fixes et une LED jaune clignotante au rythme de deux cycles de clignotement par seconde.

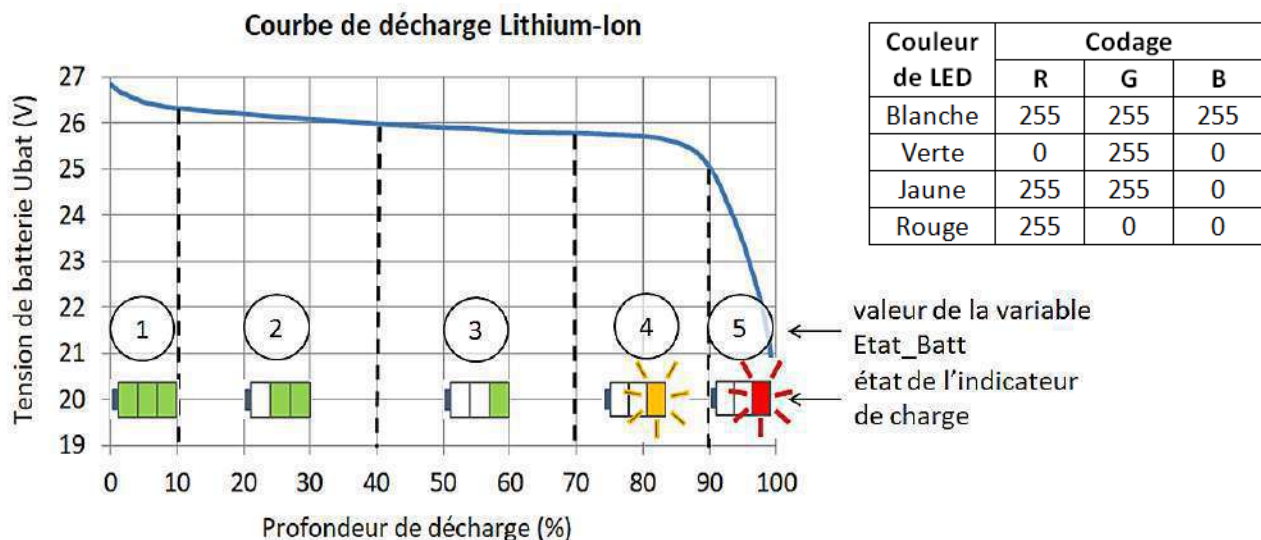


figure 17 - Nouvelles valeurs de la variable Etat_Batt en fonction de la charge de la batterie.

Question 8	Compléter sur le document réponse DR 2 le programme python correspondant au nouvel affichage (Etat_Batt = 4).
DR 2 figure 17	

Les services hospitaliers qui vont prendre en charge le patient sont informés par le LUCAS des données qu'il a recueillies.

Dès que l'intervention est terminée, un rapport post-événement est généré automatiquement au format pdf. Ce fichier est envoyé par messagerie électronique à une adresse prédéfinie. Cette mise en forme pdf permet de disposer d'un rapport lisible sans logiciel spécifique, quel que soit l'appareil du lecteur, mais augmente le volume d'informations à transmettre. Cette sous-partie vérifiera que cette solution, qui allonge le temps de transmission du rapport, ne pénalise pas la prise en charge du patient.

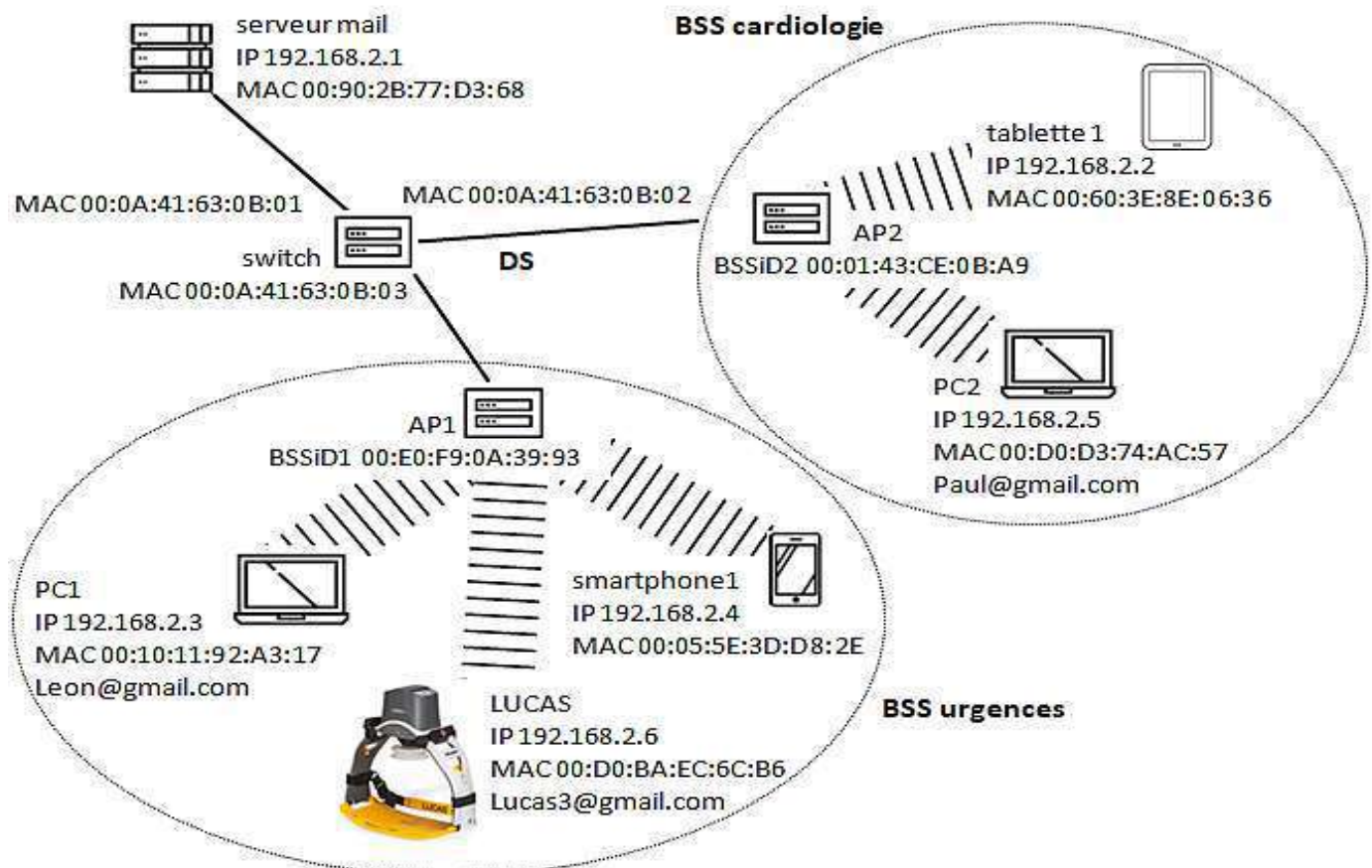


figure 18 - Structure partielle du réseau informatique de l'hôpital

La structure des trames wifi circulant sur un tel réseau, générées au niveau de la couche 2 du modèle OSI (la couche "Liaison"), est représentée ci-dessous :

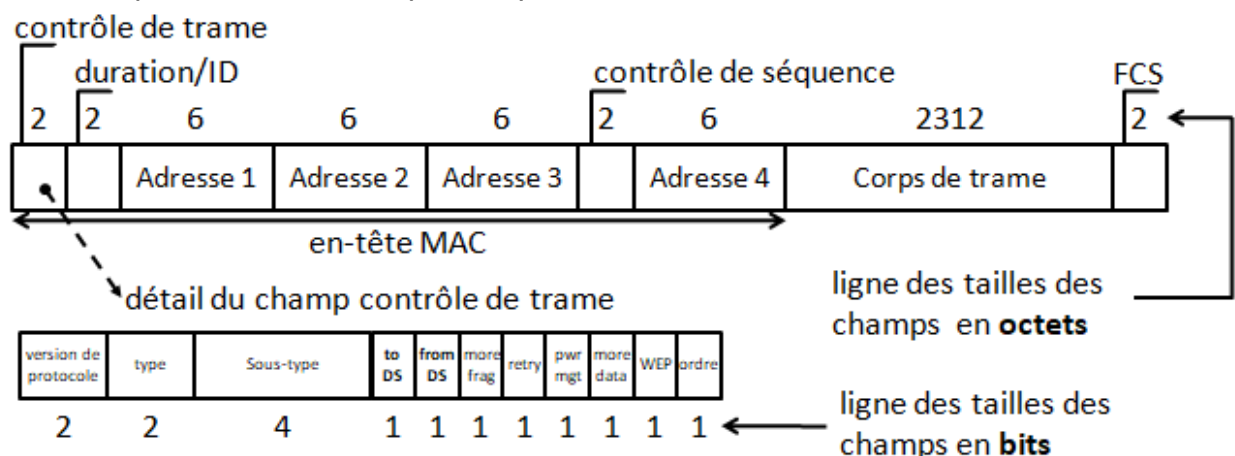


figure 19 - Trame wifi et détail des bits composant les deux octets du contrôle de trame

Question 9 figure 19	Dans cette situation, le corps de la trame contient 1,5 kio (1kio = 1024 octets) de données utiles. Calculer pour une trame complète le ratio, données utiles / données transmises.

Dans la réalité, pour transmettre un message, d'autres trames sont émises pour accompagner la trame de données (trames de gestion, de contrôle ...) En outre, en cas de mauvaise propagation du signal, la fragmentation des trames peut être utilisée, les trames peuvent être réémises etc. Tous ces paramètres font que le ratio réel généralement constaté se situe autour de 35%.

Question 10	Le fichier pdf envoyé par le LUCAS a une taille moyenne de 273 kio (contre 3,5 kio pour les données brutes non formatées). En considérant le ratio de 35% précédent, calculer le volume des données transmises.

Le débit réel du WIFI (norme 802.11n) utilisé est de 100 Mbit·s⁻¹.

Question 11	Calculer le temps nécessaire pour transférer le fichier pdf émis par le LUCAS.

Question 12 figure 5	Conclure sur l'intérêt du dispositif de contrôle de l'état de charge et sur la capacité à transmettre les informations post-intervention au regard de l'exigence Id21.

Sous-partie 3 – Garantir un massage sans créer de traumatisme

L'objectif de cette partie est de vérifier la capacité du dispositif de compression à contrôler l'effort exercé sur la poitrine.

Le piston est piloté en position pour assurer une compression efficace. Il est aussi important de contrôler l'effort de compression pour éviter d'endommager la poitrine du patient (fracture de côtes).

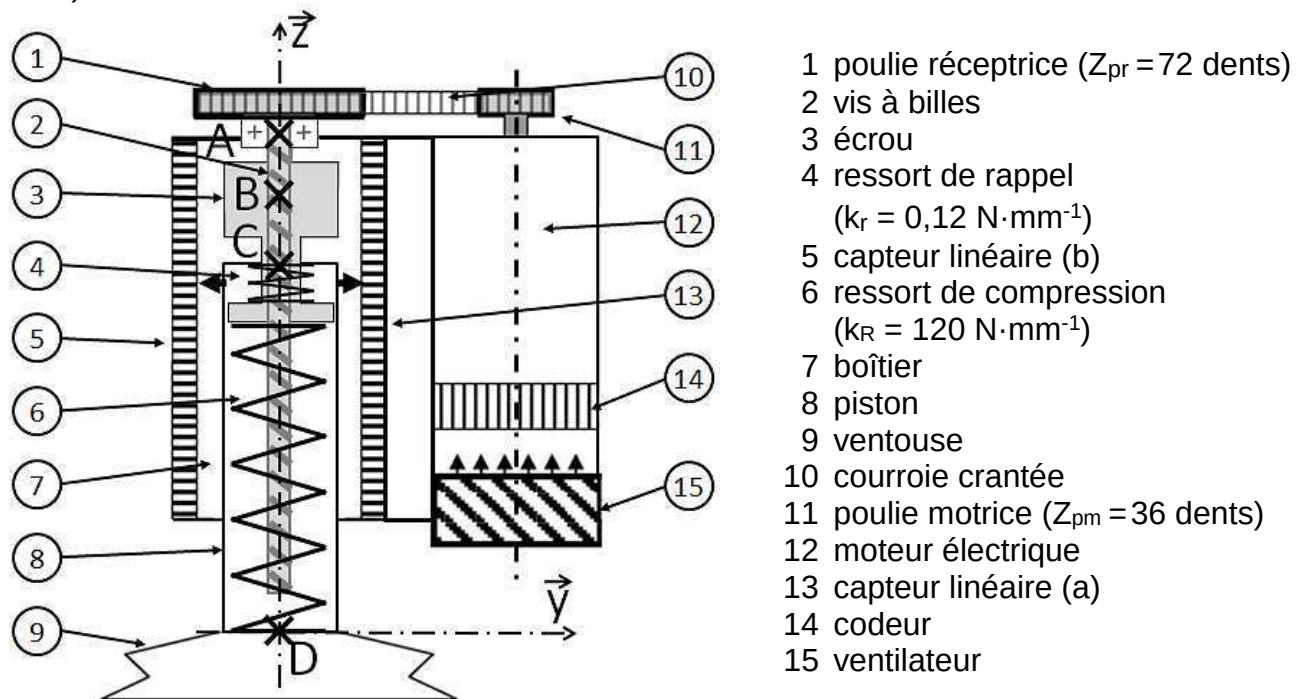


figure 20 - Description du mécanisme de compression

Les compressions sont réalisées par le piston (8), en appui sur la poitrine du patient par l'intermédiaire de la ventouse (9).

La position du piston (8) est connue par l'intermédiaire de deux capteurs linéaires : le capteur (a) renvoie l'information vers la carte de commande ; le capteur (b) est redondant, il renvoie l'information vers la carte de sécurité.

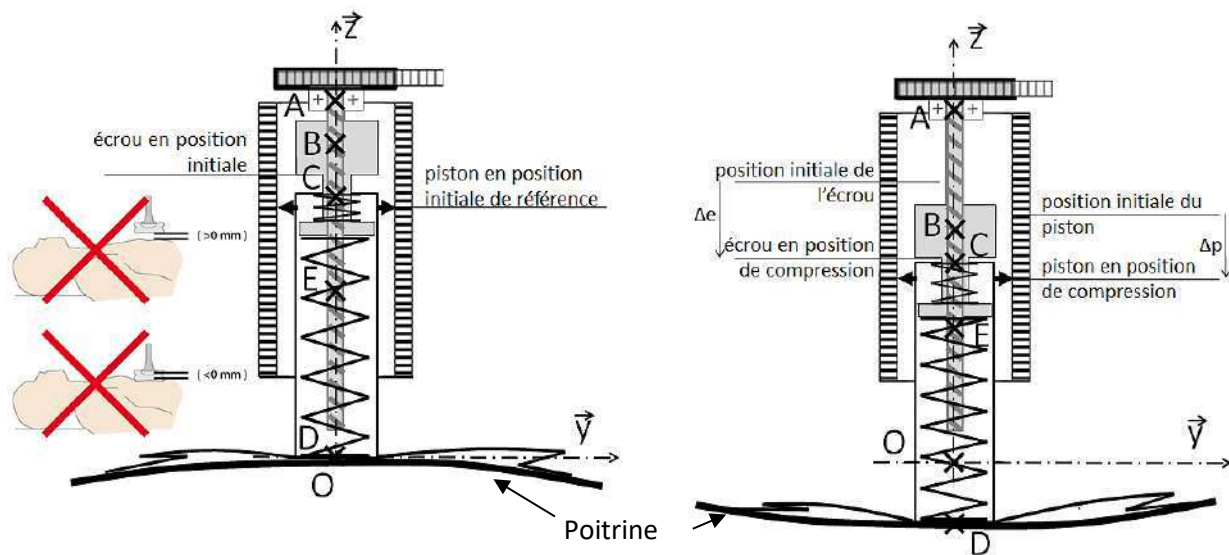
Le piston (8) est entraîné en translation par l'écrou (3), avec lequel il est en relation par l'intermédiaire de deux ressorts : le ressort de compression (6), et le ressort de rappel (4), respectivement de raideur k_R et k_r . L'écrou est associé à la vis à billes (2), qui est guidée en rotation par rapport au boîtier (7) par roulement.

Les guidages en translation de l'écrou (3) et du piston (8) par rapport au boîtier (7) ne sont pas représentés ci-dessus (figure 20).

Le moteur électrique (12) entraîne la vis à billes en rotation par l'intermédiaire d'un réducteur poulies-courroie crantée. Le codeur (14) permet de connaître la position du rotor. Le ventilateur (15) limite la température du moteur.

Question 13	Compléter le schéma de principe partiel modélisant le mécanisme de compression du LUCAS en représentant, dans les zones en pointillés, sur le document réponse DR 3, la liaison entre la vis (2) et le boîtier (7) puis la liaison entre la vis (2) et l'écrou (3).
DR 3 figure 20	

On cherche à établir la relation entre l'effort de compression et la déformation du ressort de compression.



Piston en position initiale (contact avec la poitrine du patient, sans compression)

Piston en situation de compression

figure 21 - Mécanisme de compression en position initiale et en fin de compression

Question 14	Isoler le piston (8) en situation de compression et compléter le document réponse DR 3 en représentant graphiquement les actions mécaniques extérieures (sont déjà représentés $\vec{C}_{4 \rightarrow 8}$ action du ressort de rappel 4 sur le piston 8 en C. L'action du boîtier 7 sur le piston 8 en E n'est pas pris en compte.
DR 3 figure 21	

Par la suite, les masses des différentes pièces en mouvement (écrou, piston) seront négligées et la poitrine du patient est considérée en contact direct avec le piston. Toutes les liaisons sont supposées parfaites et étudiées dans le plan. On donne les actions mécaniques suivantes :

$$\{T_{7 \rightarrow 8}\}_E = \begin{Bmatrix} X_{78} & L_{E78} \\ Y_{78} & M_{E78} \\ 0 & N_{E78} \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\{T_{6 \rightarrow 8}\}_D = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F_0 + k_R \cdot (\Delta e - \Delta p) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

avec $F_0 > 0$

$$\{T_{4 \rightarrow 8}\}_C = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ F_0 + k_r \cdot (\Delta e - \Delta p) & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\{T_{patient \rightarrow 8}\}_D = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{patient8} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

F_0 est l'intensité de la force que génèrent les deux ressorts comprimés après leur montage dans le piston 8 (quand le piston ne touche pas le patient).

Données : $F_0 = 12 \text{ N}$, $k_R = 120 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ et $k_r = 0,12 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Question 15	Montrer que l'on obtient la relation $Z_{patient8} \approx -k_R \cdot (\Delta e - \Delta p)$ en appliquant le théorème de résultante dynamique au piston en projection sur l'axe $(O, \vec{z})$ et en considérant que $k_R \gg k_r$.

Par la suite que l'effort de compression est donné par l'expression

$$\|\vec{F}_{8 \rightarrow patient}\| = k_R \cdot |\Delta e - \Delta p|.$$

La précision du contrôle de l'effort de compression de la poitrine du patient dépend de la précision dans la mesure de Δe (variation de la position de l'écrou) et de Δp (variation de la position du piston).

Dans un premier temps, la précision sur la mesure de la variation de la position de l'écrou Δe doit être déterminée.

Le rapport k entre la vitesse de translation de l'écrou et vitesse de rotation de la vis a pour valeur $k = 0,00191 \text{ m} \cdot \text{rad}^{-1}$.

Le rapport de réduction poulie-courroie est de $r = 0,5$.

Question 16	Calculer le pas de la vis à billes (2).
figure 9	Sachant que la position angulaire de la poulie motrice (11) est connue avec une précision de $0,18^\circ$, déterminer la précision (notée p_{z3}) sur le positionnement de l'écrou (3).

La position du piston est obtenue à l'aide d'un capteur de position résistif linéaire.

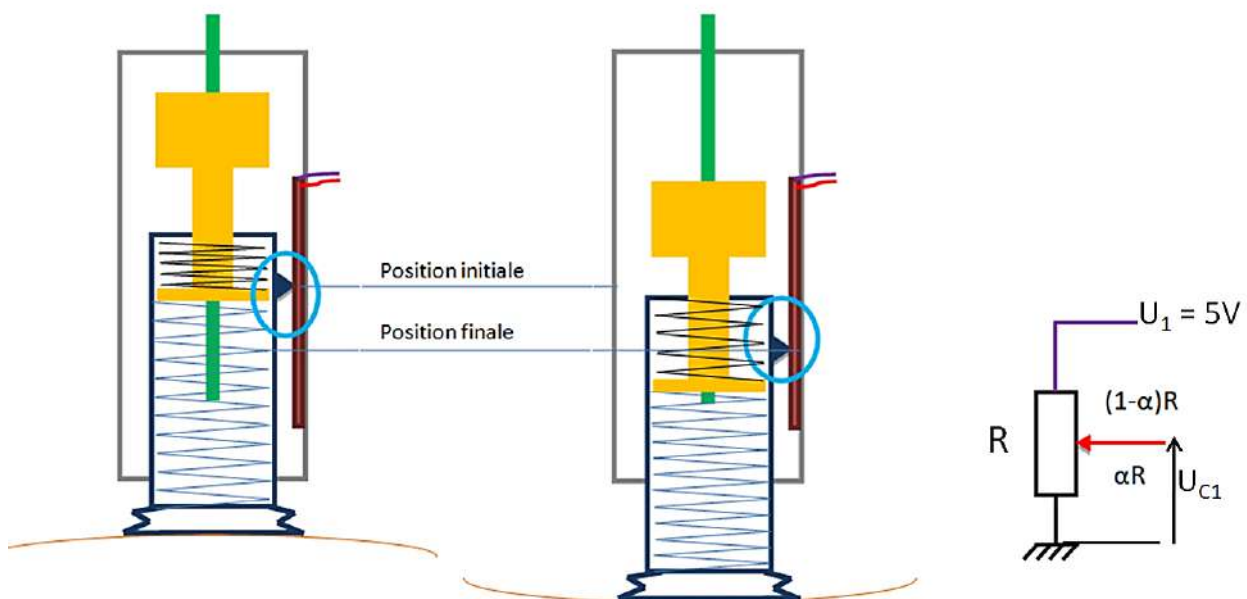


figure 22 - Fonctionnement du capteur de position résistif linéaire

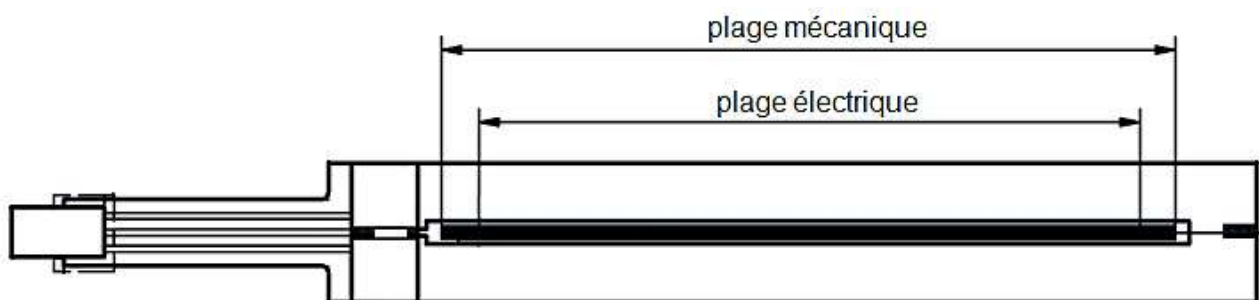


figure 23 - Description du capteur de position linéaire résistif

Extrait du catalogue des capteurs de position linéaires résistifs

Référence	LFP-0050	LFP-0100	LFP-0150	LFP-0200	LFP-0250	
Plage électrique	56.2	106.4	156.6	206.8	257.0	± 0.2 mm
Résistance totale	2	4	6	8	10	k Ω
Plage mécanique	60.2	110.4	160.6	210.8	261.0	± 2 mm

figure 24 – Capteurs de position linéaires résistifs

Le capteur de position LFP 0200 est choisi. Il dispose d'une piste électrique de mesure de 206,8 mm. La tension U_{C1} en sortie du capteur varie de 5 V à 0 V quand le piston se déplace respectivement de 0 à -206,8 mm.

Question 17	Calculer la sensibilité S_C du capteur de position en $\text{mV}\cdot\text{mm}^{-1}$. La tension U_{C1} est ensuite convertie en une valeur numérique à l'aide d'un convertisseur analogique numérique de résolution 12 bits. Calculer le quantum q . En déduire la précision (notée p_{z8}) sur la position du piston (8).

La valeur de la raideur du ressort de compression est $k_R = 120 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

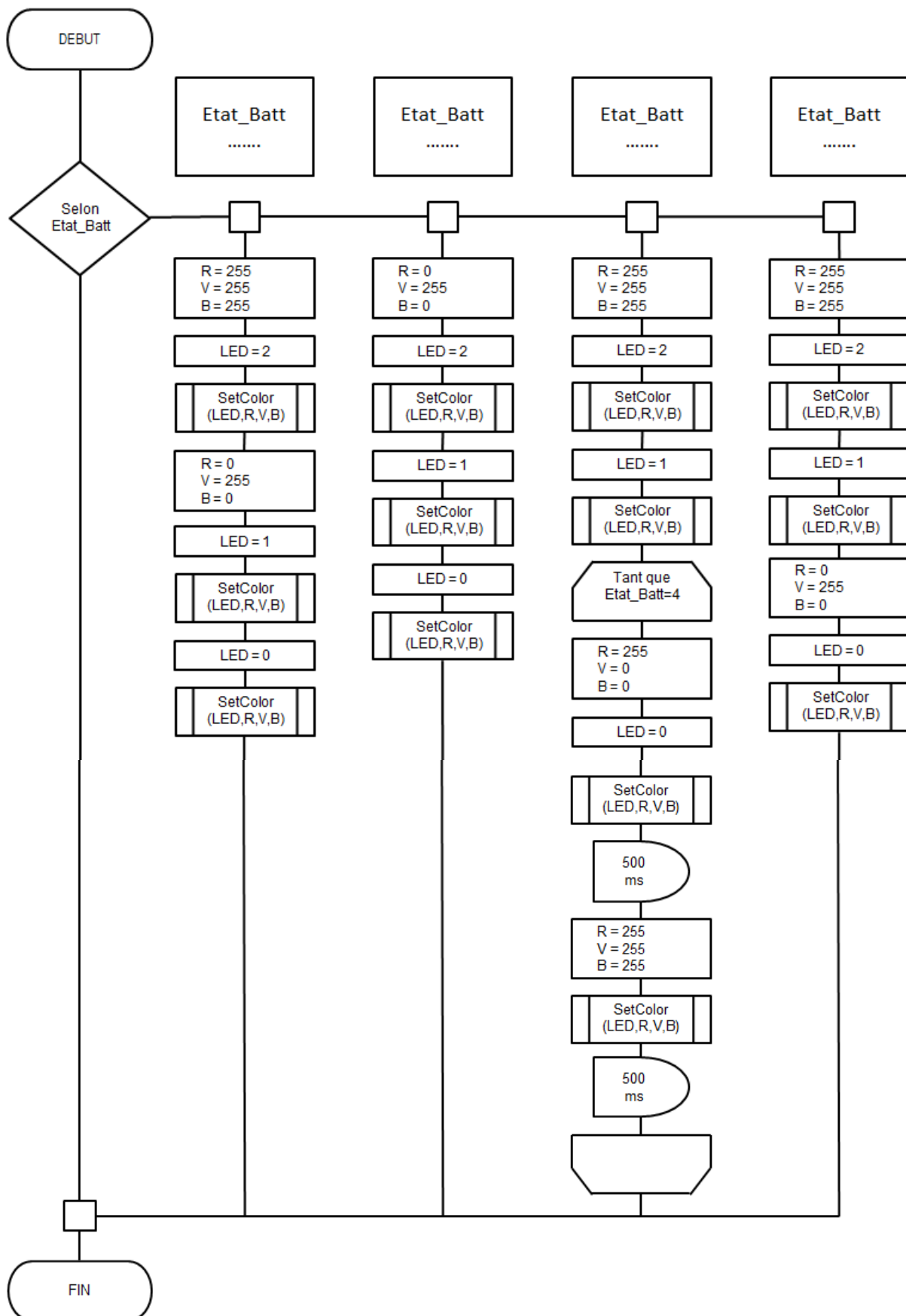
Question 18	Déterminer la précision sur la valeur obtenue de la force du ressort de compression et conclure quant au respect de l'exigence Id 35.

figure 5

Page blanche laissée intentionnellement.
Ne rien inscrire dessus.

Document réponse 1

Question 7 – choix 1



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

Question 8

if Etat_Batt== :

R=255

V=255

B=255

LED=2

SetColor(LED,R,V,B)

LED=1

SetColor(LED,R,V,B)

..... Etat_Batt== :

R=255

V=255

B=255

LED=0

SetColor(LED,R,V,B)

time.sleep(.....)

R=

V=

B=

SetColor(LED,R,V,B)

time.sleep(.....

La fonction `time.sleep(t)` provoque une pause du programme pendant le temps `t` (en secondes) indiqué en paramètre.

Exemple: `time.sleep(2.75)` provoque une pause du programme de 2.75 secondes

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

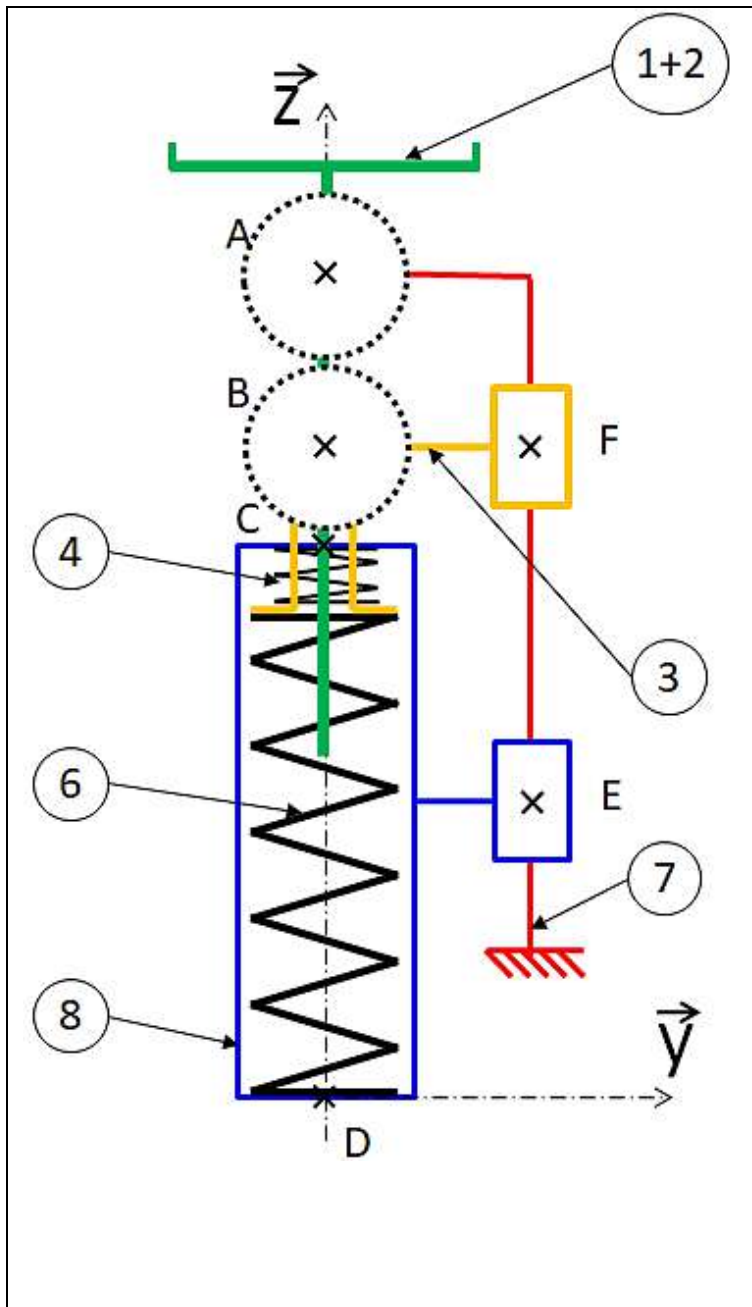


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

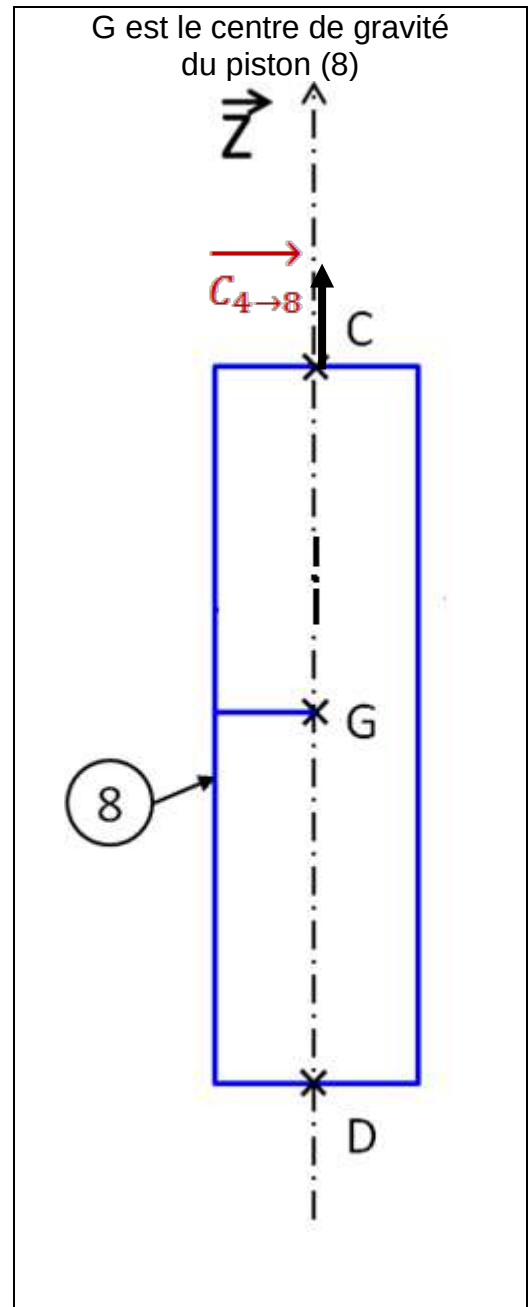
Né(e) le :

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

Question 13



Question 14



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A - Comment s'entendre le jour de la fête de la musique ? (10 points)

Deux personnes se rencontrent lors de la fête de la musique pour assister à un concert.

L'objectif de cet exercice est de savoir si elles pourront discuter et s'entendre facilement pendant l'animation musicale.

Données

- Intensité sonore de référence dans l'air : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Dans le cas de deux émissions sonores simultanées dont les niveaux d'intensité sonores sont séparés de plus de 8,0 dB, on considèrera que le son le plus faible ne gêne pas l'audition du son le plus fort.
- Modèle de l'atténuation géométrique pour une source ponctuelle : l'intensité sonore I (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) à une distance d (en m) de la source est reliée à la puissance sonore P (en W) de cette source par la relation : $I = \frac{P}{4\pi \times d^2}$

Première partie

Au cours de la fête de la musique, un groupe de rock anime la place du village. Les haut-parleurs sont modélisés par une source acoustique ponctuelle d'ondes sphériques, de puissance sonore $P = 1,0 \times 10^{-3} \text{ W}$.

Une personne se trouve debout à une distance $d = 5,0 \text{ m}$ de la source sonore musicale.

1. Calculer l'intensité acoustique I_1 reçue par cette personne.
2. En déduire le niveau d'intensité sonore L_1 perçu.

Une deuxième personne vient à 1 m de la première pour discuter avec elle. Les deux personnes sont chacune à la même distance d du haut-parleur. La conversation à deux est de niveau d'intensité sonore moyen $L_{\text{conv}} = 70 \text{ dB}$. Au même moment, le niveau sonore musical perçu par les deux personnes est $L_2 = 65 \text{ dB}$.

3. Déterminer quel doit être le niveau d'intensité sonore maximal L_{max} en provenance des haut-parleurs et perçu par les deux personnes pour que celles-ci puissent s'entendre sans être gênées par la musique. En déduire si les deux personnes peuvent communiquer aisément.
4. Montrer que l'intensité acoustique maximale correspondant à L_{max} est $I_{\text{max}} = 1,6 \times 10^{-6} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ environ.

Comme il n'est pas possible de demander aux musiciens de jouer moins fort, les deux personnes décident de s'éloigner du groupe.

5. Justifier ce choix en indiquant le type d'atténuation d'une onde sonore mis en œuvre ici.
6. En déduire la distance minimale que doivent parcourir les deux personnes pour tenir une discussion normale sans être du tout gênées et donc obligées de forcer leurs voix.
Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

EXERCICE B - Combien de temps avant l'hypothermie ? (10 points)

Wim Hof, surnommé « l'homme de glace » est internationalement connu pour avoir battu plusieurs records du Guinness d'exposition au froid extrême. Il a établi le record du monde du temps le plus long au contact direct du corps avec la glace. Il a réitéré 16 fois l'exploit. Son record le plus long a une durée de 1 heure 53 minutes et 2 secondes en 2013.

L'objectif de cet exercice est d'estimer le temps pendant lequel une personne peut rester dans de l'eau froide avant d'atteindre l'hypothermie.

On considère une personne de masse $m = 75 \text{ kg}$ plongeant en maillot de bain dans une eau glacée où règne une température notée $\theta_{\text{eau}} = 2,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, considérée comme constante.

On supposera que la température du plongeur est uniforme, c'est-à-dire identique en tous points de son corps. Elle évolue au cours du temps et sera notée $\theta_{\text{int}}(t)$.

Le corps humain est naturellement réchauffé par de l'énergie produite par son métabolisme et représentée par un flux thermique constant de $1,0 \times 10^7 \text{ J}$ par jour.

Les échanges thermiques entre le plongeur et l'eau seront modélisés par des échanges de type conducto-convectifs décrits par la loi phénoménologique de Newton :

$$\Phi(t) = h \times S \times (\theta_{\text{eau}} - \theta_{\text{int}}(t))$$

avec $\Phi(t)$ en W : le flux thermique conducto-convectif

$S = 1,9 \text{ m}^2$: surface de contact du plongeur avec l'eau

$h = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$: coefficient de transfert thermique

Données

- Capacité thermique massique du corps humain : $c = 3,5 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- L'hypothermie est un phénomène au cours duquel une baisse anormale de la température d'un être vivant à sang chaud ne permet plus d'assurer correctement ses fonctions vitales. Pour l'être humain :
 - de 34 à 35 $^{\circ}\text{C}$, l'hypothermie est modérée,
 - de 30 à 34 $^{\circ}\text{C}$, l'hypothermie est moyenne,
 - en dessous de 30 $^{\circ}\text{C}$, l'hypothermie est grave.

1. Montrer que la puissance dissipée par le métabolisme, à flux constant, est $P_{\text{th}} = 0,12 \text{ kW}$ environ.
2. Montrer que les échanges thermiques entre le plongeur et son environnement pendant une petite durée Δt est donnée par la relation : $Q = P_{\text{th}} \times \Delta t + \Phi(t) \times \Delta t$. Donner le signe de $\Phi(t)$.
3. En utilisant le premier principe de la thermodynamique et en considérant le plongeur comme un système fermé incompressible, déterminer la relation donnant la variation de l'énergie interne ΔU du plongeur en fonction de sa masse m , de sa capacité thermique massique c et de la variation de sa température $\Delta \theta_{\text{int}}$.

4. Montrer, par le bilan d'énergie précédent, que la température, supposée uniforme, $\theta_{\text{int}}(t)$ du plongeur vérifie l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d\theta_{\text{int}}(t)}{dt} + \frac{\theta_{\text{int}}(t)}{\tau} = \frac{\theta_{\text{eau}}}{\tau} + \frac{P_{\text{th}}}{m \times c} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{m \times c}{h \times S}$$

5. Montrer que la constante τ peut s'exprimer en secondes et déterminer sa valeur.

La solution de l'équation différentielle est :

$$\theta_{\text{int}}(t) = 33,6 \times e^{-\frac{t}{1,4 \times 10^3}} + 3,42 \quad \text{avec } t \text{ en s et } \theta_{\text{int}} \text{ en } ^\circ\text{C}.$$

6. Déterminer la durée maximale de plongée envisageable avant d'atteindre l'hypothermie grave.

7. Critiquer le modèle simplifié utilisé ici pour expliquer le record de Win Hof.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 24 pages numérotées de 1/24 à 24/24.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 17 à 19) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

CONTAINWATT

Constitution du sujet

- **Sujet pages 2 à 16**
- **Documents réponses pages 17 à 19**

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 17 à 19) seront à rendre avec la copie.

Présentation du Produit

La société Monkilowatt, basée à Toulouse, commercialise une solution transportable de production d'énergie par modules photovoltaïques, appelée « Containwatt® ».

Conçue pour être déplacée et facilement installée, cette station de production d'énergie électrique est principalement constituée d'un générateur d'énergie renouvelable autonome, transportable, Plug and Play et d'un abri aménageable de 70 à 140 m². L'ensemble est déployable en seulement une demi-journée par deux personnes.



figure 1 : « Containwatt® » déployé et exemples d'applications.

L'objectif de cette étude est d'exploiter la modularité du « Containwatt® » pour y intégrer un dispositif de Station Autonome Mobile de Traitement d'Eau (SAMTE) à énergie solaire rapidement déployable lors d'une situation de crise (figure 2).

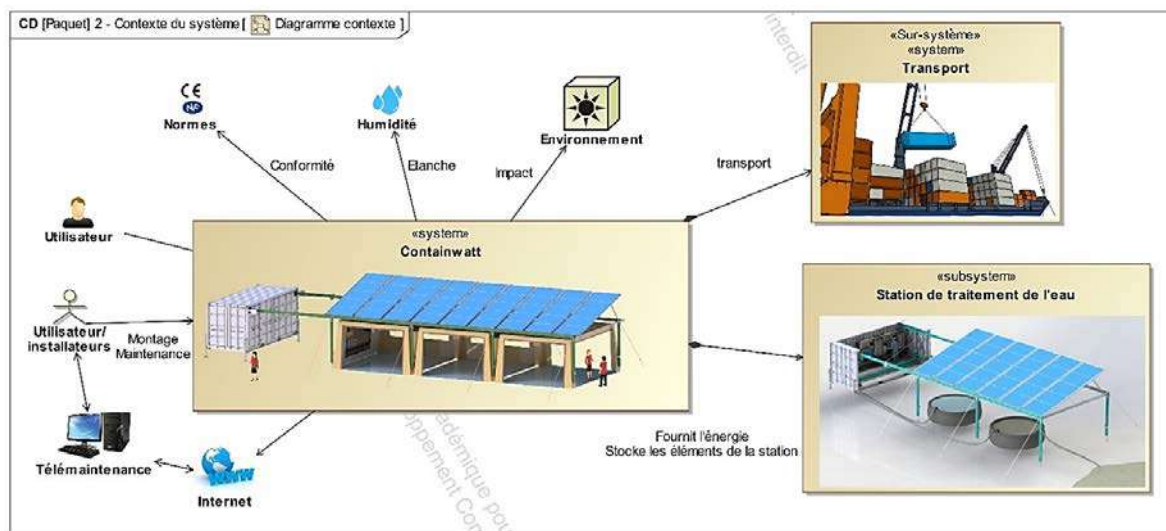


figure 2 : diagramme de contexte de la SAMTE.

Le sujet s'attache à traiter la problématique suivante : **comment assurer l'approvisionnement en énergie électrique de façon suffisante, temporaire et durable pour alimenter la SAMTE ?**

Sous-partie 1 : dimensionnement en énergie électrique de la station

Les objectifs de cette sous-partie sont de déterminer la surface minimale de modules photovoltaïques nécessaire et de valider la solution de stockage de l'énergie électrique pour l'alimentation de la SAMTE.

La figure 3 représente l'extrait du diagramme d'exigence production d'eau.

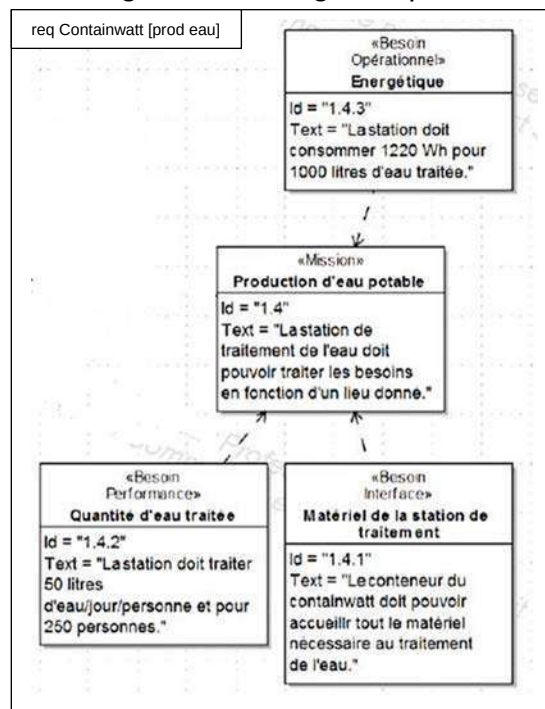


Figure 3 : diagramme partiel des exigences – production d'eau potable

Question 1

Figure 3

Montrer que la quantité journalière d'énergie électrique $E_{station}$ en Wh nécessaire au traitement de l'eau par la SAMTE sur une journée qui permet de répondre à l'exigence 1.4 du cahier des charges est de 15250 Wh par jour.

Le diagramme des blocs internes de la figure 4, donne la chaîne de puissance de la production de l'énergie électrique. La SAMTE est alimentée par le boîtier de connexion AC.

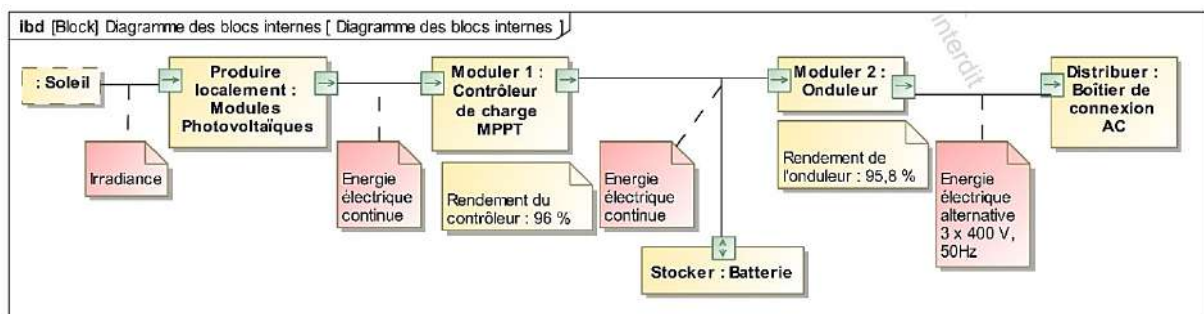


figure 4 : chaîne de puissance de la production d'énergie.

L'énergie électrique est produite à l'aide de modules photovoltaïques déployés et positionnés sur le haut de l'abri. Ces modules sont assemblés par 5 pour former une baie, un groupe de 3 baies forme une travée (figure 5).

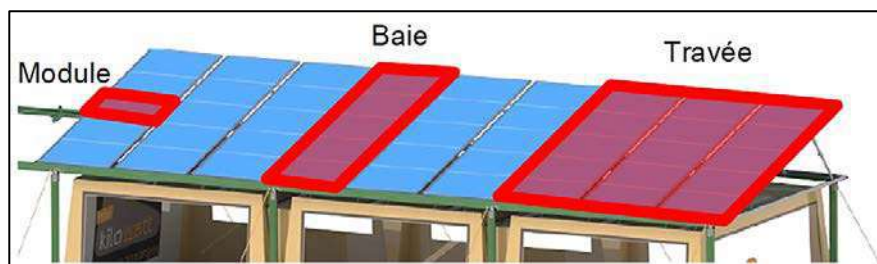


figure 5 : assemblage de la surface photovoltaïque en modules, baies et travées.

Les modules photovoltaïques utilisés ont pour référence SPR-X20-327-COM. Un extrait de la fiche technique constructeur est donné figure 6.

Caractéristiques électriques		
	SPR-X21-345-COM	SPR-X20-327-COM
Puissance nominale (P _{nom}) ¹¹	345 W	327 W
Tolérance (module)	+5/-3%	+5/-3%
Rendement moyen (module) ¹²	21,5%	20,3%
Tension à puissance maximale (V _{mpp})	57,3 V	57,3 V
Courant à puissance maximale (I _{mpp})	6,02 A	5,71 A
Tension en circuit ouvert (V _{oc})	68,2 V	67,6 V
Courant de court-circuit (I _{sc})	6,39 A	6,07 A
Tension maximale du système	1000 V IEC & 1000 V UL	
Calibre des fusibles série	15 A	
Coef. Temp. Puissance (P _{mpp})	-0,30% / °C	
Coef. Temp. Tension (V _{oc})	-167,4 mV / °C	
Coef. Temp. Courant (I _{sc})	3,5 mA / °C	

¹¹ Conditions de test standard, ensoleillement de 1000 W·m⁻², 25° C.
¹² Basé sur la moyenne des rendements de puissance nominale de production.

Dimensions d'un module

figure 6 : extrait de la fiche technique des modules photovoltaïques de la série SPR-X.

Pour déterminer la surface minimale de modules photovoltaïques nécessaire au bon fonctionnement de la SAMTE, il est nécessaire de s'appuyer sur le relevé d'ensoleillement pour le lieu d'implantation choisi donné figure 7.

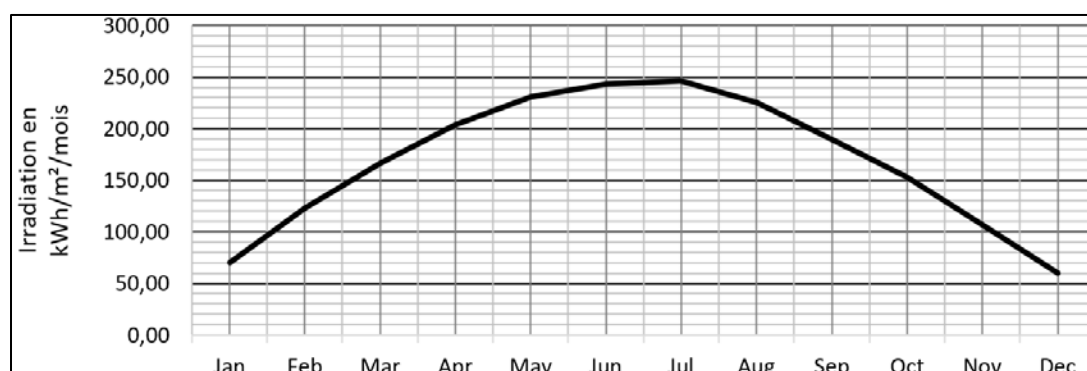


figure 7 : irradiation solaire moyenne par mois (Irrad) sur le lieu d'implantation de la SAMTE.

L'énergie produite par un module par jour est $E_{\text{module}} = \frac{\text{Irrad} \times S_{\text{mod}} \times \eta_{\text{mod}}}{\text{nbre de jours}}$ avec

- Irrad irradiation solaire moyenne par mois ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} / \text{mois}$) ;
- S_{mod} surface d'un module photovoltaïque (m^2) ;
- η_{mod} rendement moyen d'un module photovoltaïque.

Question 2 Figures 4 à 7	Relever l'irradiation solaire minimale à laquelle sera soumis le Containwatt, dans le cas le plus défavorable. Déterminer , dans ce cas, l'énergie électrique produite par un module par jour, E_{module} .

Question 3 Figures 3 à 7	Dans le cas le plus défavorable, déterminer l'énergie produite, E_{baie} , par une baie de modules photovoltaïques et $E_{\text{travée}}$, par une travée de modules photovoltaïques en un jour. En tenant compte des rendements de l'onduleur et du contrôleur de charge, montrer que le nombre minimal de travées, $N_{\text{travées}}$, nécessaires pour fournir l'énergie au boîtier de connexion AC de la station sur une journée conformément à l'exigence 1.4 du cahier des charges est de 2.

Question 4 Figures 3 et 4	En utilisant le résultat de la question 1, déterminer l'énergie électrique qui doit être stockée, E_{stockage} , afin de garantir deux jours de production d'eau potable sans ensoleillement et conformément à l'exigence 1.4 du cahier des charges.

Dans l'objectif d'un pré-dimensionnement du conteneur il est nécessaire d'estimer la masse et le volume de stockage de l'énergie électrique.

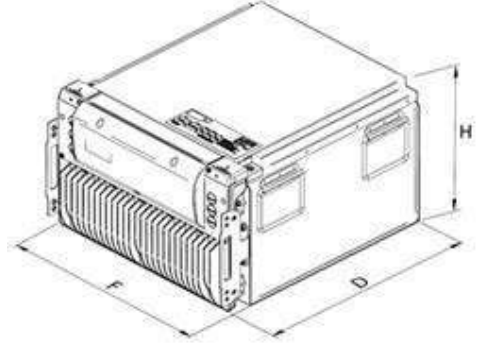
Dimensions modèle 48TL200			
Largeur (F)	Profondeur (D)	Hauteur (H)	
496 mm	558 mm	320 mm	
Caractéristiques spécifiques			
Capacité nominale 9600 Wh (48V-200Ah)		Masse 104 kg	

figure 8 : caractéristiques des batteries.

Question 5

Figures 8

Déterminer le nombre de batteries de référence 48TL200 à mettre en place pour stocker cette énergie E_{stockage} en considérant la possibilité de décharge totale des batteries. **Calculer** le volume occupé et la masse de l'ensemble des batteries.

Sur une installation photovoltaïque, suivant l'irradiance et la charge, le point de fonctionnement sur la courbe de puissance ne peut pas toujours se trouver à la puissance maximale. Par conséquent, afin de tirer le maximum de puissance de production d'énergie électrique sur l'installation photovoltaïque, un contrôleur de charge solaire MPPT (Maximum Power Point Tracker) est ajouté. Ce dispositif permet d'optimiser le point de fonctionnement de manière à ce qu'il soit toujours positionné proche du point de puissance maximale (PPM).

À partir de la mesure de I_{PV} et U_{PV} , l'algorithme MPPT permet de déterminer une tension U_{PPM_cible} qui correspond à la tension pour laquelle la puissance est maximale à l'instant donné. Cette tension U_{PPM_cible} varie en fonction de l'irradiance et de la charge mais reste voisine de la tension $U_{PPM\_nominale}$. Une boucle d'asservissement incluant le convertisseur continu/continu est mise en place afin d'asservir la tension U_{PV} sur la consigne U_{PPM_cible} (figure 10).

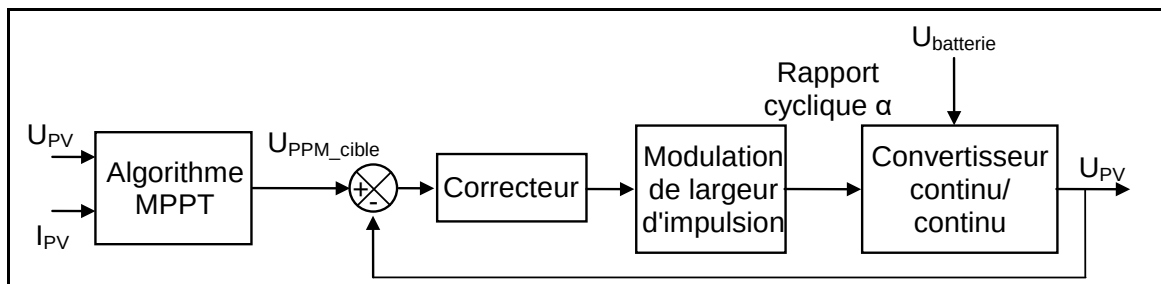


figure 9 : modèle simplifié de la boucle d'asservissement étudiée.

Compte tenu des constantes de temps mises en jeu, la tension de la batterie est considérée fixe pour l'étude. La simulation de ce modèle simplifié pour deux réglages de correcteurs et un échelon de consigne de tension pour passer U_{PPM_cible} de 57,3 V à 58,3 V est donnée figure 10.

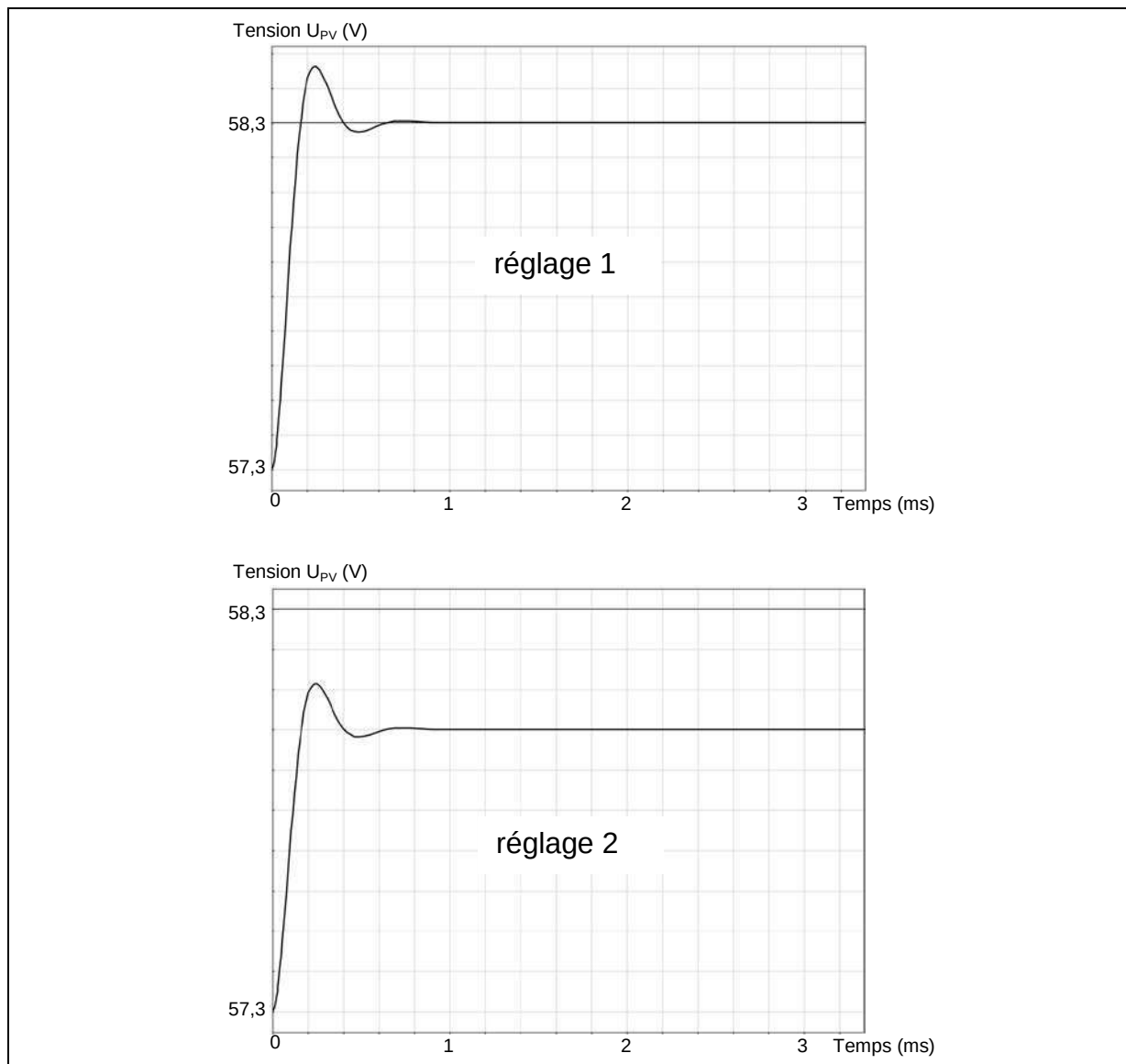


figure 10 : réponses du modèle de simulation pour deux réglages de correcteur.

Question 6

Figure 10

Pour les deux réglages de correcteur, **relever** l'erreur en régime permanent. **Choisir** le réglage qui est le plus adapté.

Les exigences liées au stockage de l'énergie électrique sont décrites figure 11.

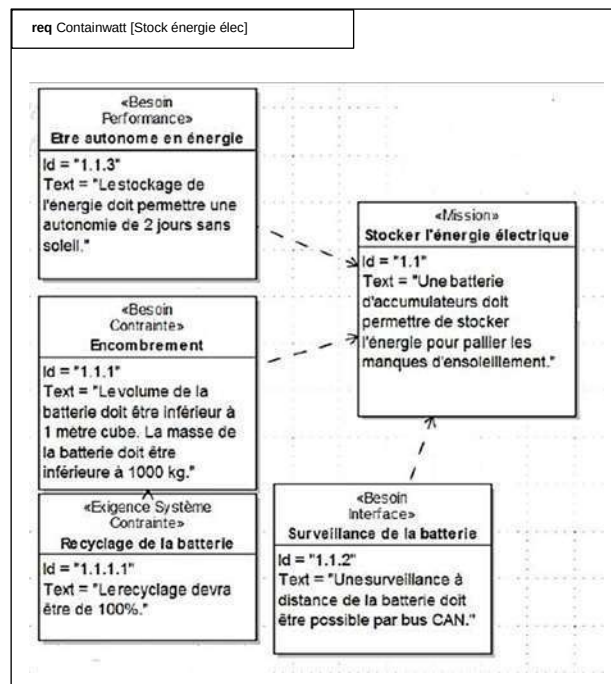


figure 11 : diagramme partiel des exigences – stocker l'énergie électrique

Question 7
Figures 3 et 11

Au regard des différents aspects techniques abordés dans les questions 1 à 6, **conclure** sur les performances du système vis-à-vis des exigences 1.1, et 1.4.

Sous-partie 2 : déploiement des modules de la station

L'objectif de cette sous-partie est de dimensionner le treuil électrique qui doit permettre le déploiement horizontal des 6 baies photovoltaïques sur le dessus de la structure.

2.1 Étude de l'équilibre d'une baie dans la zone de transfert

Le déploiement, modélisé (figure 12), des 6 baies photovoltaïques doit se faire sans effort pour les opérateurs. Les baies sont stockées verticalement dans le container. Un système de câbles relié à un treuil est utilisé afin de permettre à toutes les baies de passer de la position initiale verticale i à la position finale horizontale f (figure 12). Le déploiement se fait grâce à des rails de guidage horizontaux fixés sur le dessus de la structure et sur un bras de transfert incliné (rail incliné).

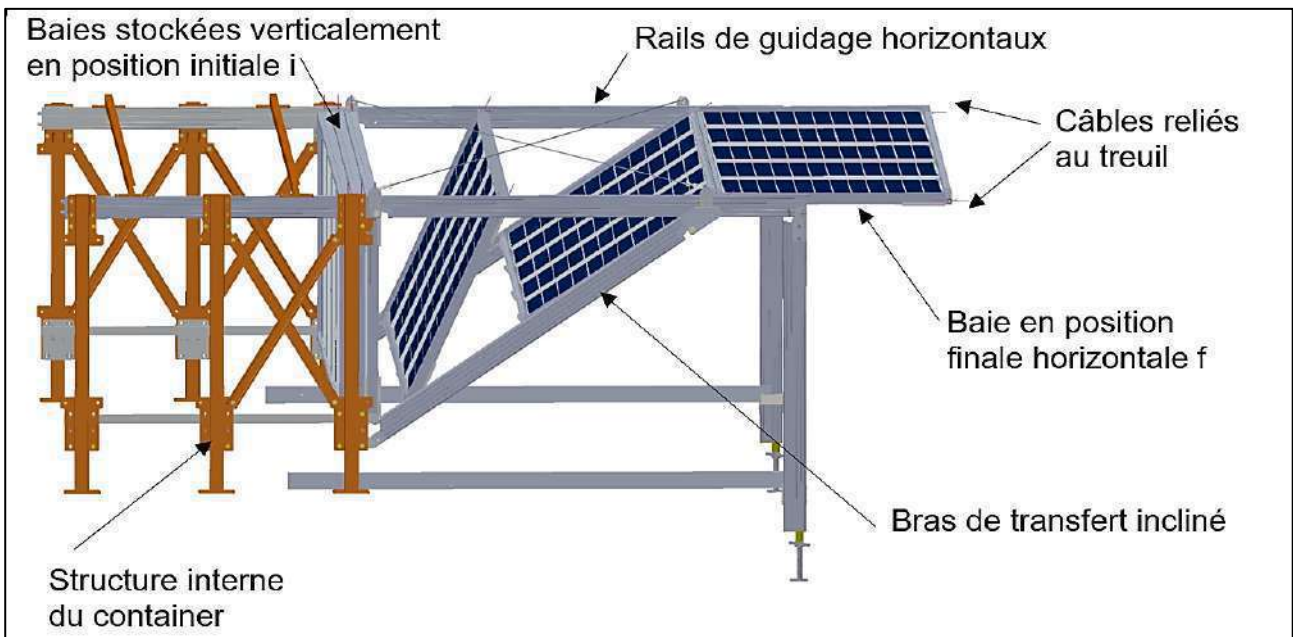


figure 12 : représentation du système de déploiement des baies.

Chaque baie est équipée de roues à galet en A et B qui roulent sans glisser dans les rails de guidage. Le point A de la baie passera de la position A_i à A_f grâce à une translation horizontale dans le rail horizontal, le point B passera de la position B_i à B_f grâce à une translation dans le rail du bras de transfert incliné (figure 13).

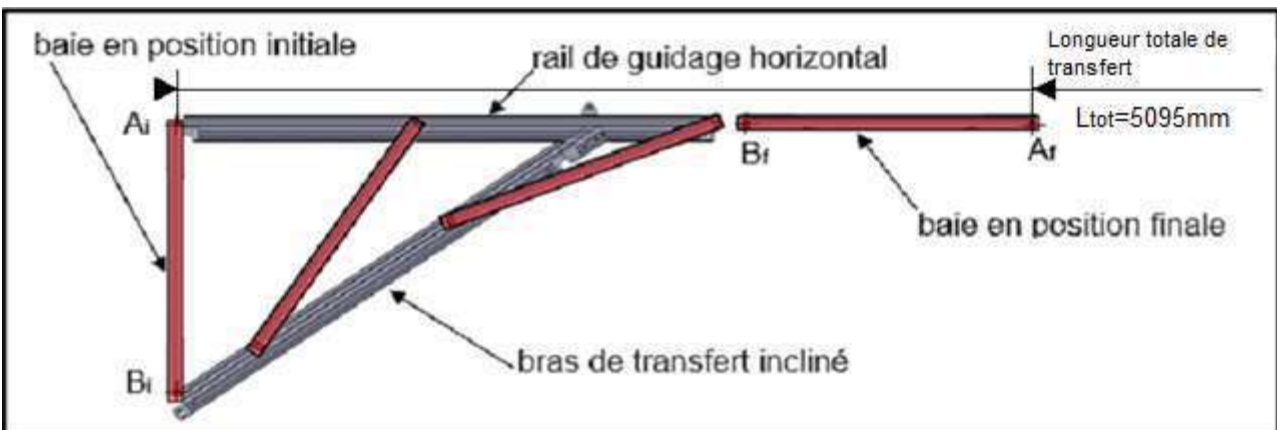


figure 13 : déplacement d'une baie le long de la travée de transfert (les autres travées ne sont pas représentées).

Les baies sont toutes connectées grâce à un système de liaison rapide. Lors du déploiement, seule la baie 1 est liée au câble du treuil. Un système de câble inter-baies permet ensuite d'entraîner les baies les unes à la suite des autres : la baie n+1 sera tirée par la baie n dès que le câble entre les 2 baies sera tendu : (voir figure 14).

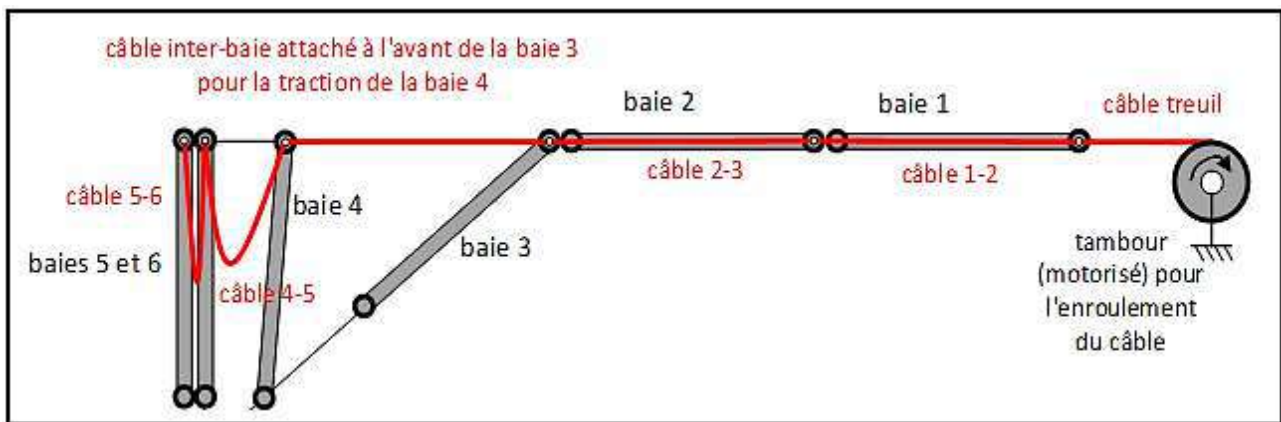


figure 14 : représentation du système d'entraînement des baies.

Sur le document réponse DR1, la chaîne de puissance du système de déploiement des baies sur la structure, représentée figure 22, est simulée par un modèle multiphysique donné en figure 21.

Question 8 Voir DR1 Figure 21 et 22	À l'aide du modèle multiphysique, compléter la chaîne de puissance partielle représentée figure 21 sur le document réponse DR1 en ajoutant les noms des composants élémentaires ainsi que les grandeurs d'efforts et de flux en entrée et sortie de chaque bloc en précisant les unités.

Afin de déterminer le couple moteur caractéristique du treuil, il est essentiel de renseigner l'effort dû au tractage des baies appelé effort F dans le modèle multiphysique. L'effort du câble sur la baie retenu est celui qui correspond à la configuration la plus défavorable (plusieurs modules sur le bras de transfert), multiplié par un coefficient de sécurité. Sa valeur est $F_{maxi} = 500 \text{ N}$.

Après la zone de transfert, l'ensemble des 6 baies nécessaires au fonctionnement sera déployé sur 2 travées de longueur 5,166 m chacune. La longueur totale de transfert est de 5,095 m.

Question 9 Figure 14	En considérant la longueur de déploiement complète des 6 baies et la longueur totale de la zone de transfert, déterminer la distance totale que doit parcourir le point A de la première baie (distance entre sa position initiale dans le conteneur et sa position finale après le déploiement).

Les exigences liées au déploiement des modules photovoltaïques sont décrites figure 15.

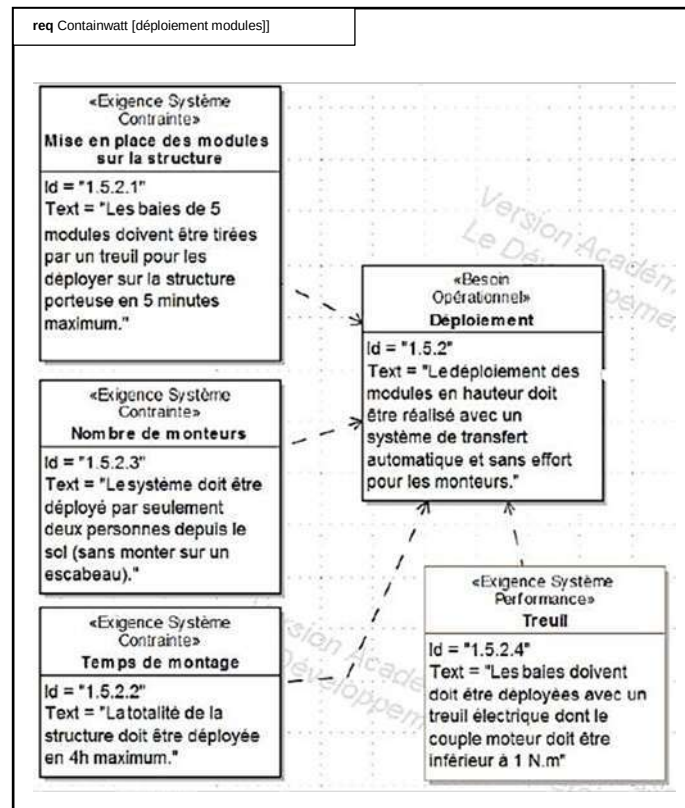


figure 15 : diagramme partiel des exigences – déploiement des modules photovoltaïques

Pour la suite de l'étude, la longueur totale parcourue par le point A sera de 15,5 m.

Question 10 Figures 15	Déterminer , la vitesse minimale de translation, V_A , du point A notée $\overrightarrow{V_{A \in (b)/0}} = V_A \cdot \overrightarrow{x_0}$, permettant de répondre à l'exigence 1.5.2.1.

En complément de la chaîne d'énergie de la figure 21, les notations des caractéristiques sont les suivantes :

- C_m , couple en sortie du moteur ;
- ω_m , vitesse angulaire de rotation ;
- F_{maxi} , effort de traction de l'ensemble baie et ses galets (b) ;
- r , rapport de réduction ($r = \frac{1}{60}$) ;
- $R_{tambour}$, rayon du tambour ($R_{tambour} = 90$ mm).

Question 11 Voir DR1 Figure 22	En considérant qu'il n'y a aucune perte dans la chaîne de puissance complétée figure 21 du DR1, déterminer , en régime permanent, l'expression littérale du couple moteur C_m en fonction de F_{maxi} , r et $R_{tambour}$. Montrer que la valeur numérique du couple moteur C_m est de 0,75 N.m

Le modèle multiphysique paramétré avec les mêmes grandeurs caractéristiques que celles des questions précédentes donne les résultats de la figure 16.

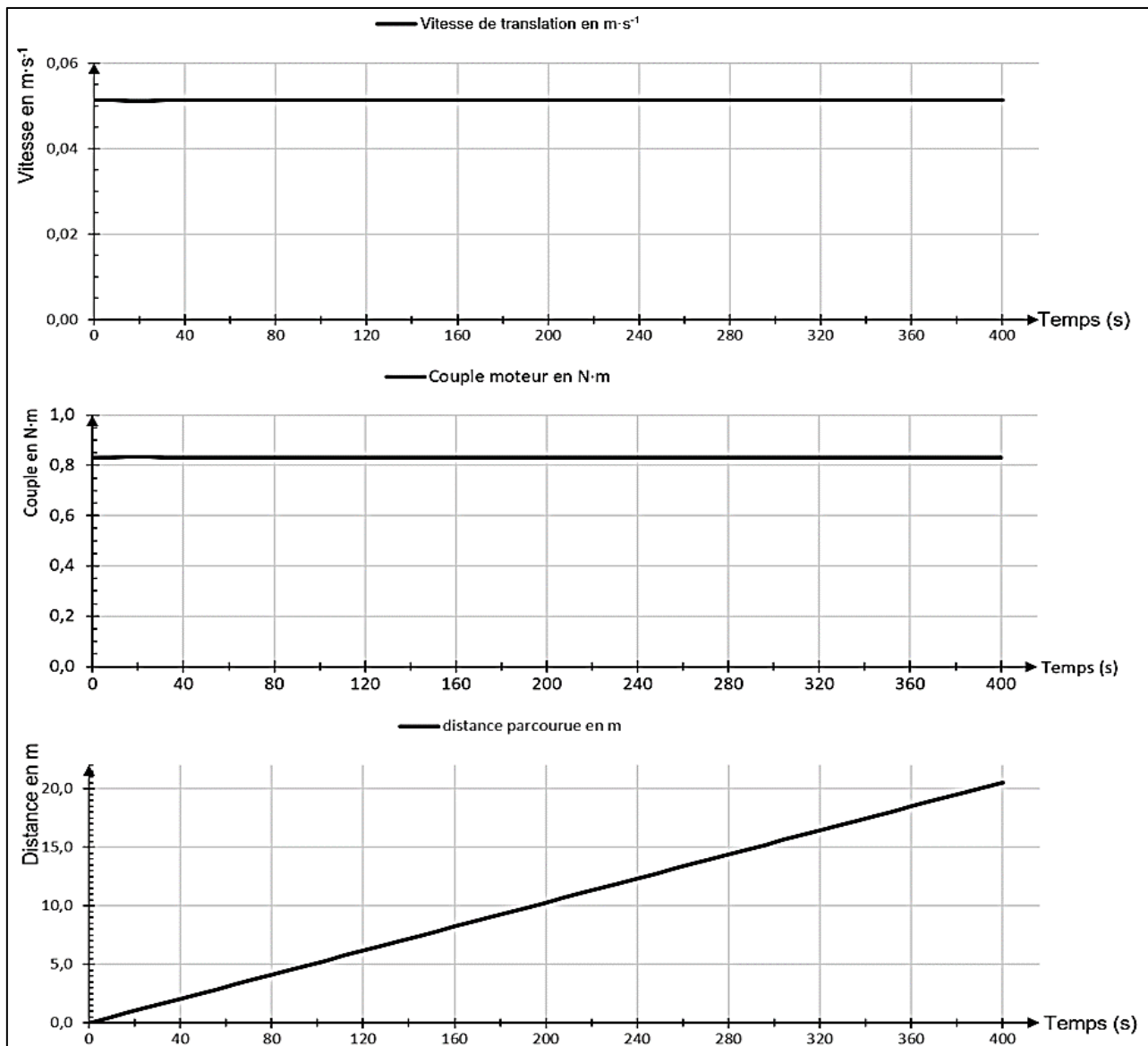


figure 16 : résultats du modèle multiphysique en fonction du temps en s.

Question 12 Figure 16	Évaluer l'écart entre le couple moteur de la question 11 et celui obtenu à l'aide du modèle multiphysique (figure 16).
Question 13 Figures 15 et 16	Conclure sur les performances du système quant aux exigences 1.5.2.1 et 1.5.2.4.

Sous-partie 3 : supervision ou télémaintenance de la station

L'objectif est de concevoir le dispositif de contrôle à distance permettant de donner l'alerte en cas de sous production.

La télémaintenance permet le contrôle à distance du système, via un réseau de communication dans le but de diagnostiquer et gérer les problèmes liés à celui-ci.



figure 17 : modules couverts de salissures.

Un des problèmes à résoudre à distance est le nettoyage des modules solaires. En effet, si ceux-ci sont couverts de salissures (poussières, mousses...), ils produisent moins et peuvent même surchauffer. Il faut donc les nettoyer de temps en temps. Cette opération est réalisée en envoyant un agent de maintenance qualifié sur place lorsque le système de télémaintenance le signale.

L'installation est considérée comme normale jusqu'à 20 % de perte sur la production. Au-delà, une alerte doit être envoyée pour avertir le service de maintenance.

Afin d'alerter sur le dysfonctionnement et le taux de salissure de l'installation, le système mesure la radiation solaire en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ grâce à un pyranomètre et l'onduleur donne la puissance réelle de production. Le synoptique de l'installation où sont représentés les bus de terrain permettant la liaison avec les différents éléments de l'installation est donné figure 18.

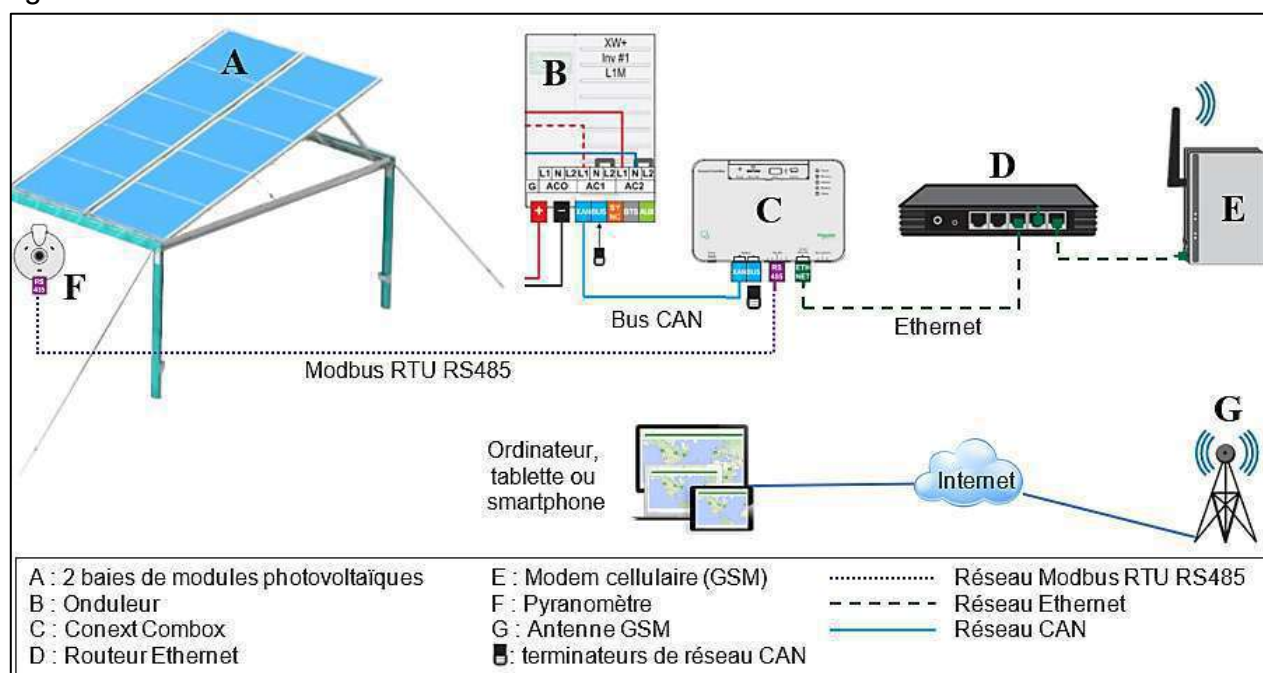


figure 18 : synoptique de l'installation.

Le diagramme d'état, figure 19, montre la procédure qui est suivie pour donner l'alerte en cas de sous-production de l'installation.

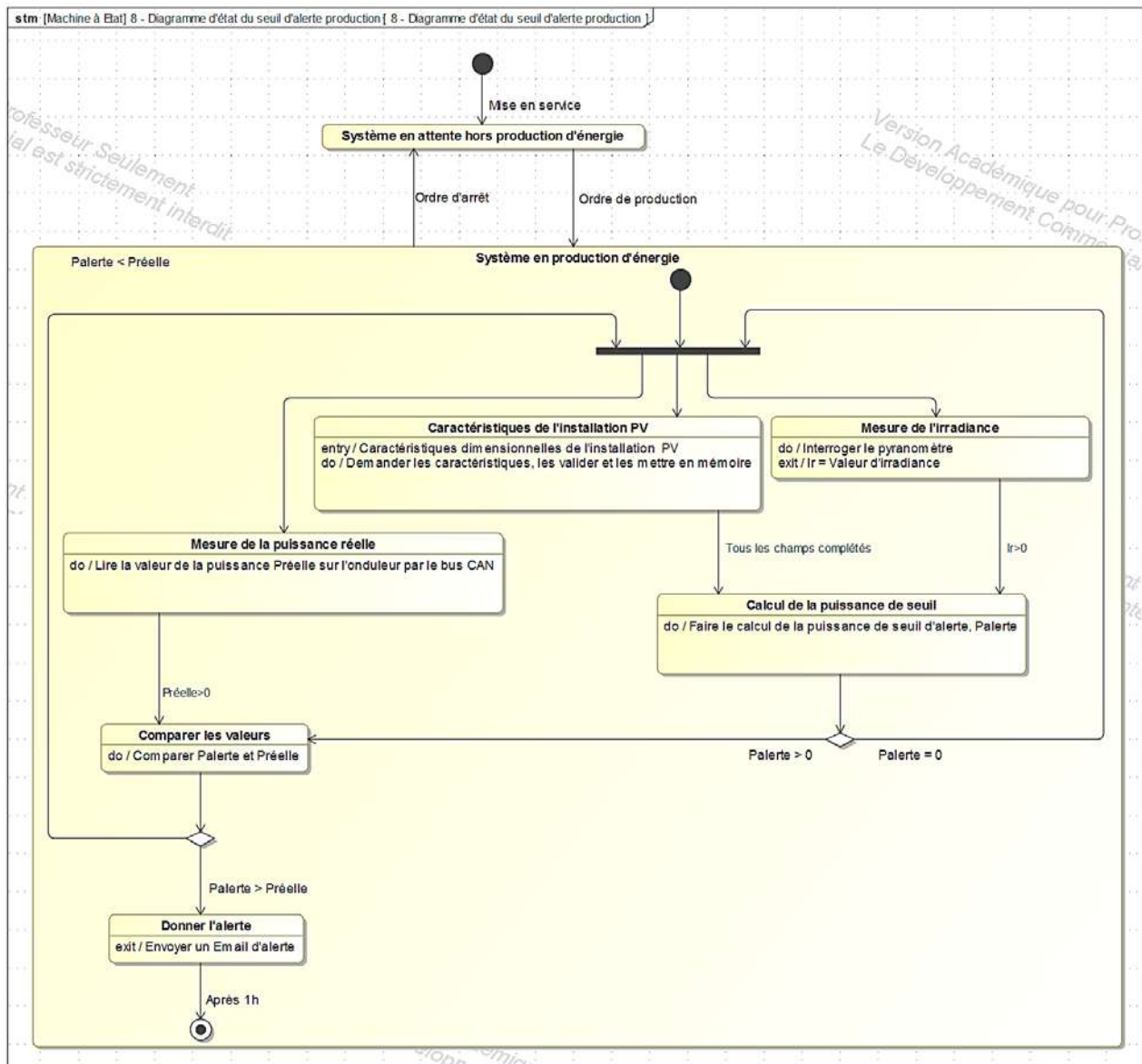


figure 19 : diagramme d'état de l'alerte production insuffisante.

Question 14
Voir DR2
Figures 19 et 23

En s'appuyant sur le diagramme d'état, **compléter** sur le DR2 le tableau en indiquant le numéro de la case de l'algorithme correspondant à l'instruction.

Question 15
Voir DR3
Figure 24

Compléter les lignes 93, 94, 96 et 100 de l'extrait du programme en langage python qui traduit cet algorithme sur le document réponse DR3.

Question 16 Voir DR3 Figure 24	À l'aide des figures 18 et 24, identifier le protocole utilisé pour se connecter au pyranomètre.
Question 17 Figures 18 et 19	En analysant le diagramme d'état, donner l'intervalle de temps entre chaque alarme.

Les exigences liées à la surveillance à distance des panneaux photovoltaïques sont décrites ci-dessous :

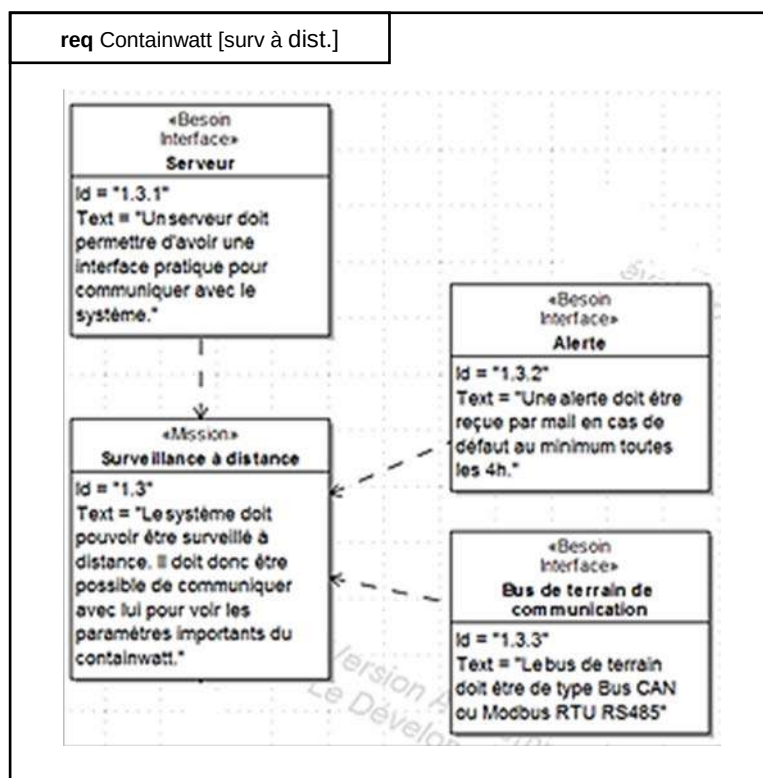


figure 20 : diagramme partiel des exigences – surveillance à distance.

Question 18 Figures 18, 19 et 20	Au regard des différents aspects techniques abordés dans les questions 19 à 23, conclure quant aux exigences 1.3.2 et 1.3.3. du cahier des charges.

Document réponse 1 : DR1- question 8

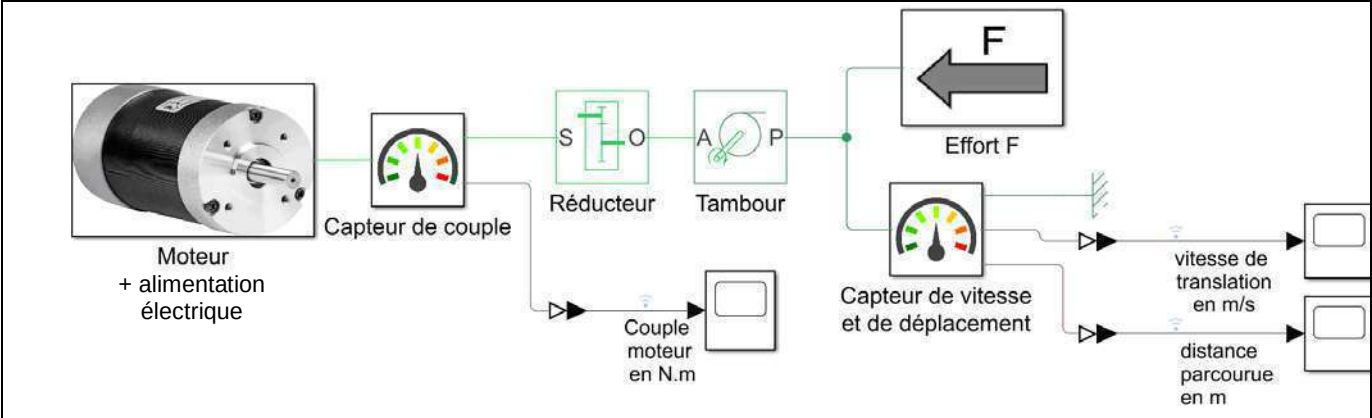


figure 21 : modèle multiphysique partiel de la chaîne de puissance du déploiement des baies.

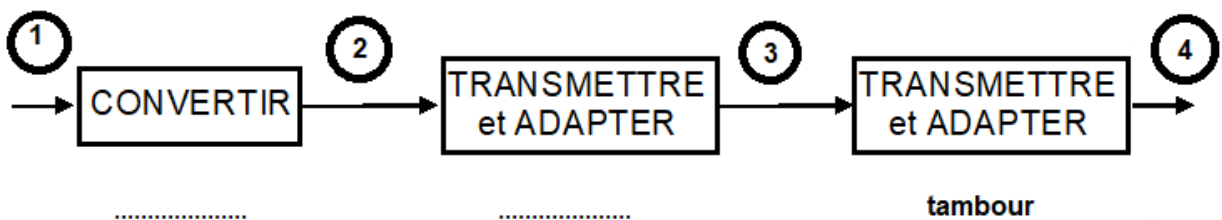
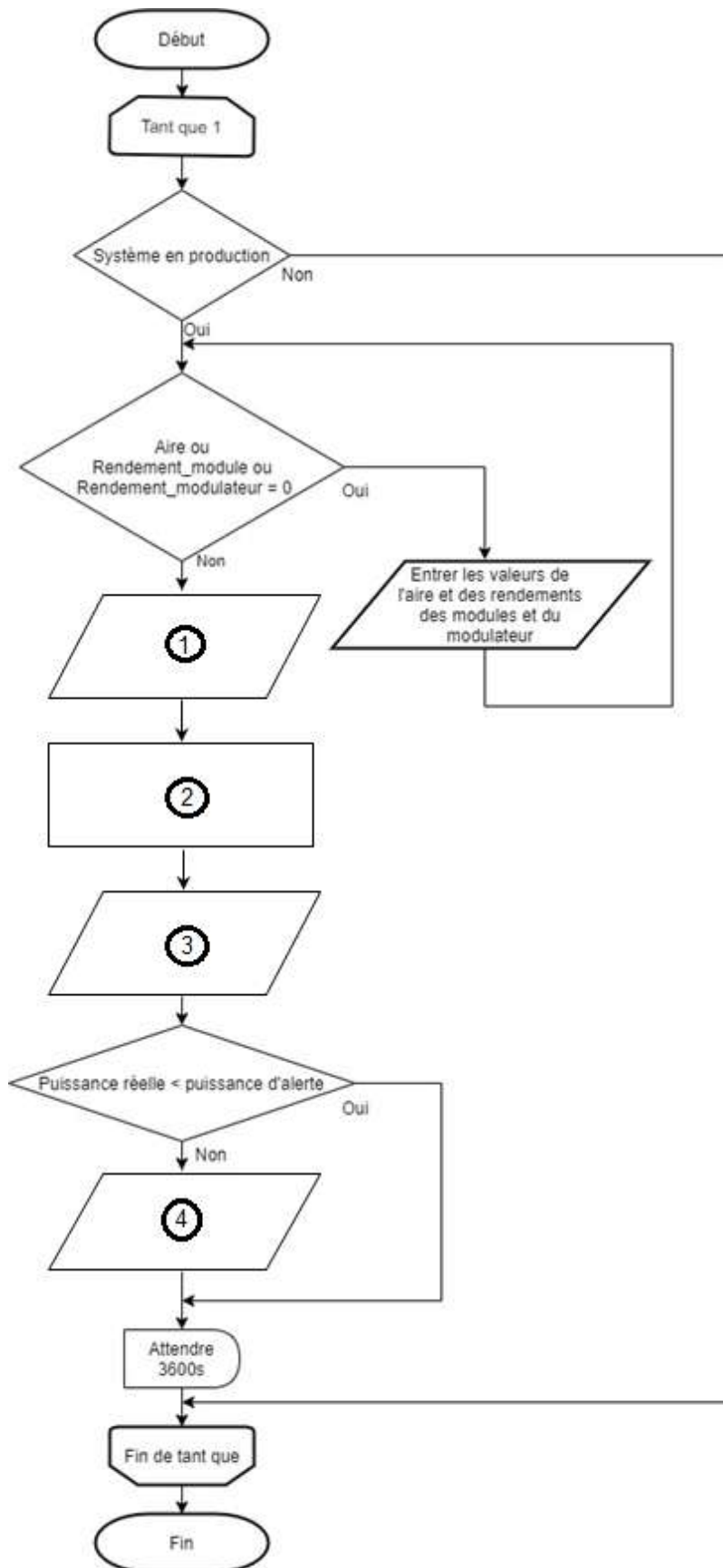


figure 22 : chaîne de puissance partielle du système de déploiement des baies.

	1	2	3	4
Effort (unité)			couple (N.m)	.....
Flux (unité)			vitesse angulaire (rad.s ⁻¹)	.....

1.2

Document réponse 2 : DR2 – question 14



instruction	à compléter
calcul de la puissance d'alerte	
envoyer un message d'alerte	
lire la valeur de la puissance réelle	
lire la valeur de l'irradiance	

figure 23 : algorithme de l'alerte production insuffisante.

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

Document réponse 3 : DR3 – question 15 et question 16

```
1. Aire = 0
2. Rendement_module = 0
3. Rendement_modulateur = 0
4. import time
5.     #Import de tous les modules nécessaires

14. def mesureIrradiance():
15.     PORT = 1 # Port du capteur
16.     logger = modbus_tk.utils.create_logger("console")
17.
18.     try:
19.         #Connection au pyranomètre en paramétrant le port série en modbus RS485
20.         master = modbus_rtu.RtuMaster(serial.Serial(port=PORT, baudrate=9600,
21.             bytesize=8, parity='N', stopbits=1, xonxoff=0))
22.         master.set_timeout(5.0) # Temps maxi de connexion
23.         master.set_verbose(True)
24.         logger.info("connected")
25.         # Lecture du registre contenant la valeur instantanée de l'irradiance
26.         logger.info(master.execute(1, cst.READ_INPUT_REGISTERS, 1000, 1))
27.     # Cas où on ne pourrait pas se connecter au capteur d'irradiance
28.     except modbus_tk.modbus.ModbusError as exc:
29.         logger.error("%s- Code=%d", exc, exc.get_exception_code())
30.
31. def mesurePreelle():
32.     #Connection à l'onduleur en paramétrant le port en Bus CAN
33.     #La fonction est cachée pour plus de lisibilité

40. def message_d_alerte():
41.     #Connection à la messagerie et élaboration du mail d'alerte
42.     #La fonction est cachée pour plus de lisibilité

85. while 1:
86.     # Demander les paramètres de l'installation nécessaires pour le calcul théorique
87.     if Aire==0 or Rendement_module == 0 or Rendement_modulateur == 0:
88.         Aire = float(input("Entrer l'aire du champ photovoltaïque : "))
89.         Rendement_module = float(input("Entrer le rendement d'un module
90.             photovoltaïque : "))
91.         Rendement_modulateur = float(input("Entrer le rendement de la
92.             modulation solaire : "))
93.         Irradiance = mesureIrradiance()
94.         Preelle = mesurePreelle()
95.         # Calculer la puissance théorique et la puissance du seuil d'alerte
96.         Ptheorique = .....
97.         Palerte = .....
98.         # Procédure d'envoi de mail en cas de production insuffisante
99.         if ..... :
100.             message_d_alerte()
101.         else :
102.             pass
103.         time.sleep(.....)
```

figure 24 : extrait du programme python de l'alerte de production insuffisante.

1.2

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Étude du vol d'une balle de golf (10 points)

Les systèmes robotisés peuvent permettre aux personnes à mobilité réduite de pratiquer des sports et loisirs qui leur étaient, jusqu'à récemment, totalement inaccessibles.

La société allemande Ottobock, spécialisée dans les aides à la pratique du sport pour personnes handicapées, a mis au point un fauteuil roulant destiné aux golfeurs pour qu'ils puissent plus facilement effectuer leur *swing*, mouvement permettant de frapper la balle avec la tête du club.



<https://www.eazilee.com/product/paragolfer/>

L'objectif de cet exercice est d'étudier le vol d'une balle de golf frappée par un joueur handicapé, et de déterminer comment il doit adapter son geste pour que la balle retombe au plus près du drapeau visé.

Le système étudié est la balle assimilée à un point matériel G de masse $m = 46 \text{ g}$, initialement posée au sol et coïncidant avec l'origine d'un repère (Oxy) tel que représenté ci-dessous.



Afin de simplifier l'étude, on considérera que :

- à la date $t_0 = 0 \text{ s}$, la tête du club de golf communique à la balle une vitesse initiale notée $\vec{v}_0$ dont la direction fait un angle $\alpha_0 = 40^\circ$ par rapport à l'horizontale ;
- lors de son vol, la balle n'est soumise qu'à son poids et évolue dans un champ de pesanteur terrestre considéré comme uniforme, d'intensité $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Le mouvement de la balle sera étudié dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

1. Déterminer l'expression des coordonnées a_x et a_y de l'accélération $\vec{a}$ de la balle lors du vol.
2. En explicitant le raisonnement, déterminer les équations horaires de la vitesse puis celles de la position de la balle.
3. Montrer que l'équation de la trajectoire peut se mettre sous la forme $y = (A \times x + B) \times x$ où A et B sont des constantes dont les expressions sont :

$$A = \frac{-g}{2 \times (v_0 \times \cos \alpha_0)^2} \quad B = \tan \alpha_0$$

On admettra que le golfeur est capable, avec le club utilisé, de communiquer à la balle une vitesse initiale de valeur maximale $v_{0\max} = 27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. On parle alors d'un « plein coup ».

4. Déterminer les valeurs des constantes A et B pour cette valeur maximale de vitesse initiale.

Suite à un « plein coup », la balle retombe au sol à une distance maximale. Le golfeur peut adapter son geste afin que la portée du tir soit plus faible. On parle par exemple d'un « quart de coup » lorsque la distance vaut un quart de la distance maximale, d'un « demi-coup » lorsque la distance parcourue vaut la moitié de la distance maximale et ainsi de suite.

Le golfeur souhaite que sa balle retombe 3,0 mètres avant un drapeau situé à 60 m de la frappe.

5. Déterminer si le joueur doit jouer un plein coup, un trois-quarts de coup, un demi-coup ou bien un quart de coup, en considérant que l'angle de décollage conserve la même valeur $\alpha_0 = 40^\circ$ quel que soit le coup réalisé avec ce club.
Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

EXERCICE B – Étude d'un analyseur d'hématologie (10 points)

Les systèmes robotisés sont très utilisés dans le domaine médical.

L'analyseur d'hématologie est un appareil permettant d'effectuer de manière automatisée une analyse quantitative des cellules contenues dans le sang, en particuliers les globules blancs (leucocytes).

Ces derniers peuvent être classés en cinq groupes : les granulocytes neutrophiles, les granulocytes éosinophiles, les granulocytes basophiles, les lymphocytes, les monocytes (tableau 1).

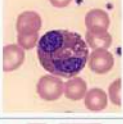
Nom	Image	Diagramme	Proportion	Diamètre	Cytoplasme
Neutrophile			40 à 75 %	12 μm	clair, avec granulations colorables par la mise en évidence de la myéloperoxydase.
Éosinophile			1 à 3 %	12 μm	orangé avec volumineuses granulations acidophiles
Basophile			0 à 1 %	12 μm	avec nombreuses granulations métachromatiques pourpres
Lymphocyte			20 à 40 %	7 μm	mauve, situé en bordure, très minoritaire
Monocyte			2 à 10 %	17 μm	gris bleuté, un peu granuleux

Tableau 1 – Différents types de leucocytes du sang humain et caractéristiques associées. D'après le site Wikipédia <https://fr.wikipedia.org/wiki/Leucocyte>

Un analyseur d'hématologie utilise différents phénomènes physiques, parmi lesquels la diffraction (figure 1). Le principe de la technique consiste à étudier les variations d'intensité lumineuse lorsqu'un faisceau laser traverse une cellule. Il est ainsi possible de déterminer la taille de la cellule à partir de l'image de diffraction obtenue.

L'objectif de cet exercice est de comprendre comment la taille d'une tache de diffraction permet de déterminer la dimension d'une cellule.

Données

- Théorème de Babinet : deux objets sont complémentaires si les parties opaques de l'une correspondent à des parties transparentes de l'autre et inversement. Les figures de diffraction de deux objets complémentaires sont semblables.

La figure de diffraction d'un faisceau laser par une cellule est donc similaire à celle obtenue avec un trou circulaire de même diamètre. Elle peut être schématisée par l'illustration ci-après :

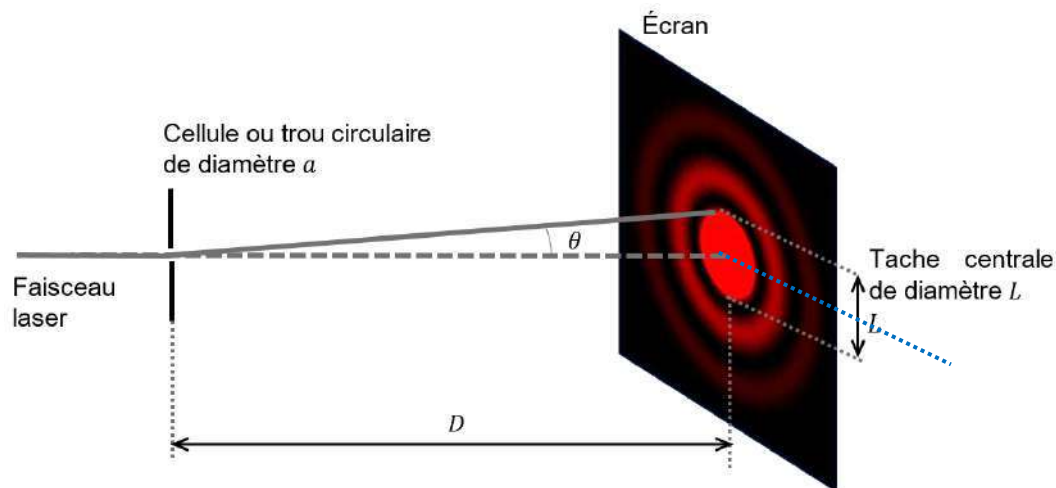


Figure 1 - Diffraction d'un faisceau laser par un trou circulaire ou une cellule

En se plaçant dans l'approximation des petits angles, la relation entre l'angle caractéristique de diffraction θ , la longueur d'onde λ du laser et le diamètre a de la cellule ou trou peut s'écrire : $\theta = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$.

1. Par des considérations géométriques, établir la relation existant entre l'angle caractéristique de diffraction θ , le diamètre L de la tache centrale de diffraction et la distance D séparant le capteur de la cellule ou du trou diffractant.
2. En se plaçant dans l'approximation des petits angles, telle que $\tan\theta \approx \theta$, montrer qu'on peut écrire : $a = \frac{2,44 \times D \times \lambda}{L}$

Le principe de la mesure effectuée par un analyseur d'hématologie peut être reproduit en laboratoire.

Une cellule placée sur le trajet d'un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = (635 \pm 1) \text{ nm}$, génère une figure de diffraction dont la tache centrale a un diamètre $L = (45 \pm 1) \text{ mm}$ sur un capteur placé à une distance $D = (350 \pm 1) \text{ mm}$ de la cellule.

3. Déterminer la valeur de la taille de la cellule notée a_{exp} avec quatre chiffres significatifs.

L'incertitude-type sur la taille de la cellule est donnée par l'expression suivante :

$$u(a) = a_{\text{exp}} \times \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

avec $u(D) = u(L) = 1 \text{ mm}$ et $u(\lambda) = 1 \text{ nm}$

4. Déterminer la valeur de l'incertitude-type $u(a)$ arrondie à deux chiffres significatifs, puis écrire la valeur de la taille a de la cellule sous la forme : $a = a_{\text{exp}} \pm u(a)$ avec un nombre correct de chiffres sur la valeur de a_{exp} .

Le résultat d'une mesure x est considéré en accord avec une valeur de référence x_{ref} si la valeur du quotient $\frac{|x-x_{ref}|}{u(x)}$ est inférieure ou égale à 2, avec $u(x)$, l'incertitude-type associée.

5. Emettre une hypothèse sur la nature de la cellule analysée. Valider cette hypothèse par un calcul.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 30 pages numérotées de 1/30 à 30/30.

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 DR4 (pages 19 à 22)
sont à rendre avec la copie.**

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Tracteur à bagages électrique autonome



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 18
- Documents réponses..... pages 19 à 22

Les documents réponses DR1 à DR4 (pages 19 à 22) sont à rendre avec la copie

Le candidat devra traiter obligatoirement la sous-partie 1.

Puis, il devra choisir et traiter l'un des deux choix suivants :

- la sous-partie 2 (choix A), questions Q1.10 à Q1.15
- la sous-partie 2 (choix B), questions Q1.16 à Q1.21

Tracteur à bagages électrique autonome



Figure 1 : mise en situation du tracteur à bagages.

Mise en situation

Une entreprise française spécialisée dans la conception et la construction de véhicules autonomes a élaboré un tracteur à bagages autonome (figure 1) qui est notamment utilisé sur les sites aéroportuaires afin d'acheminer des bagages entre les galeries bagages de l'aéroport et l'avion dans lequel ceux-ci doivent être chargés en soute.

Grâce à ses nombreux capteurs et son logiciel de conduite autonome, le véhicule se déplace seul sur l'aéroport dans un souci d'amélioration de performance des flux et de sécurité.

Ce tracteur à bagages est aujourd'hui opérationnel sur l'aéroport de Toulouse-Blagnac (figure 2).



Figure 2 : vue aérienne de l'aéroport de Toulouse-Blagnac.

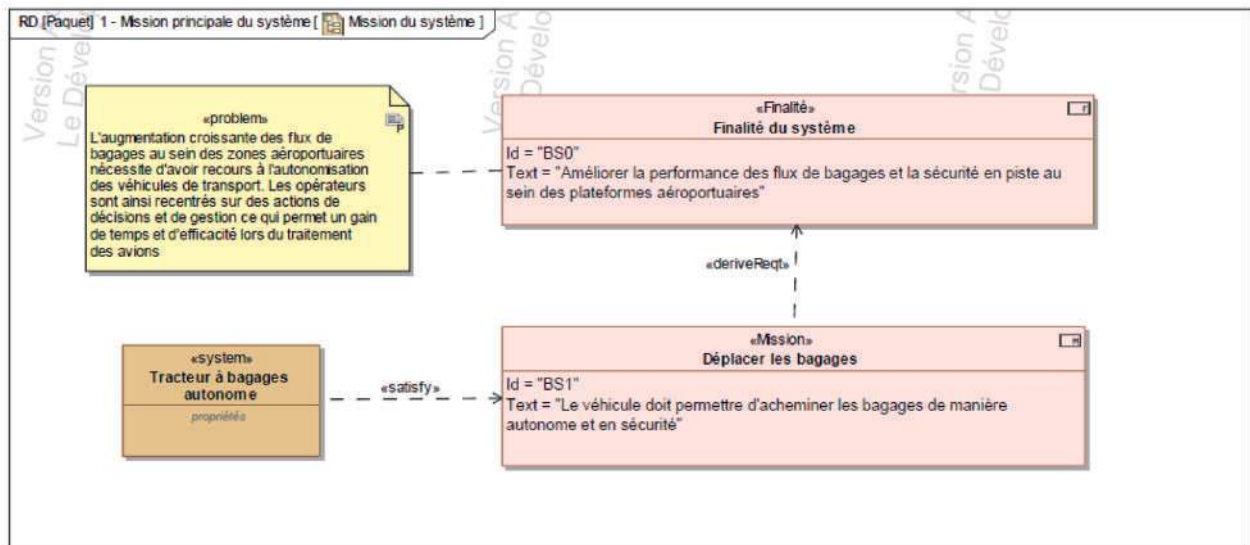


Figure 3 : mission du tracteur à bagages.

Lorsque le tracteur se situe dans la zone de tri des bagages, les chariots sur lesquels sont placés les bagages destinés à être embarqués dans l'avion lui sont arrimés. Une fois le chargement validé par un opérateur, le tracteur à bagages va, de façon autonome, rejoindre la zone du tarmac sur laquelle se situe l'avion. Ce trajet s'effectue sous le contrôle du superviseur situé dans la zone aéroportuaire qui pourra envoyer une équipe d'intervention en cas de problème. La figure 4 illustre le diagramme de contexte du tracteur à bagages.

Une fois arrivé aux abords de l'avion, le tracteur s'arrête et un opérateur prend place derrière le volant afin de le positionner au mieux à proximité immédiate de l'avion. Les bagages peuvent être chargés à bord de celui-ci.

Une fois cette opération effectuée, le tracteur reviendra de façon autonome dans la zone de tri des bagages en attente de renouveler la même opération pour un autre avion.

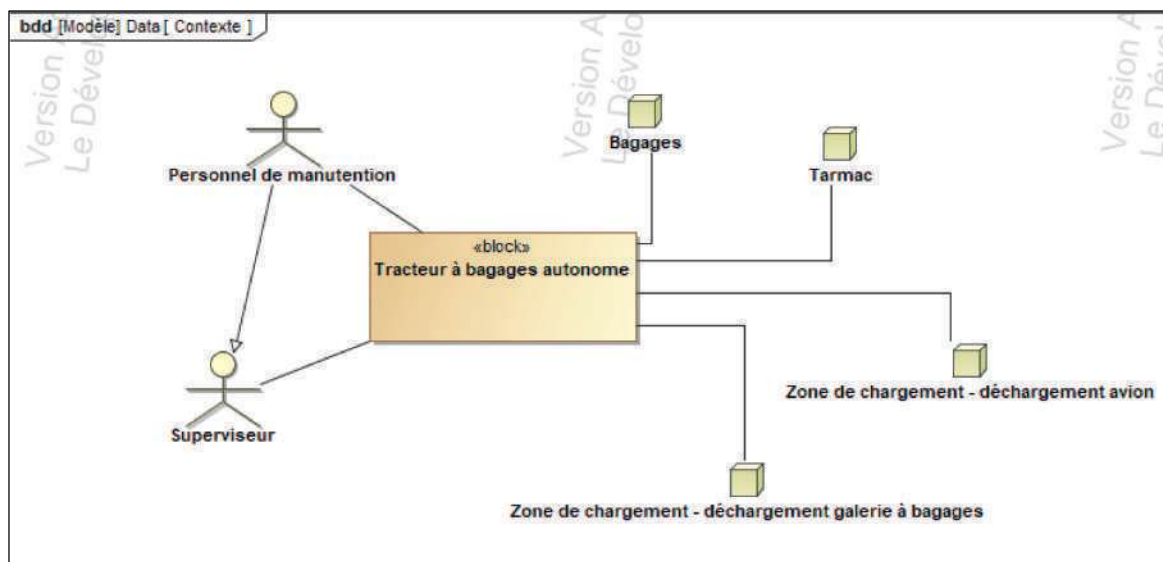


Figure 4 : diagramme de contexte.

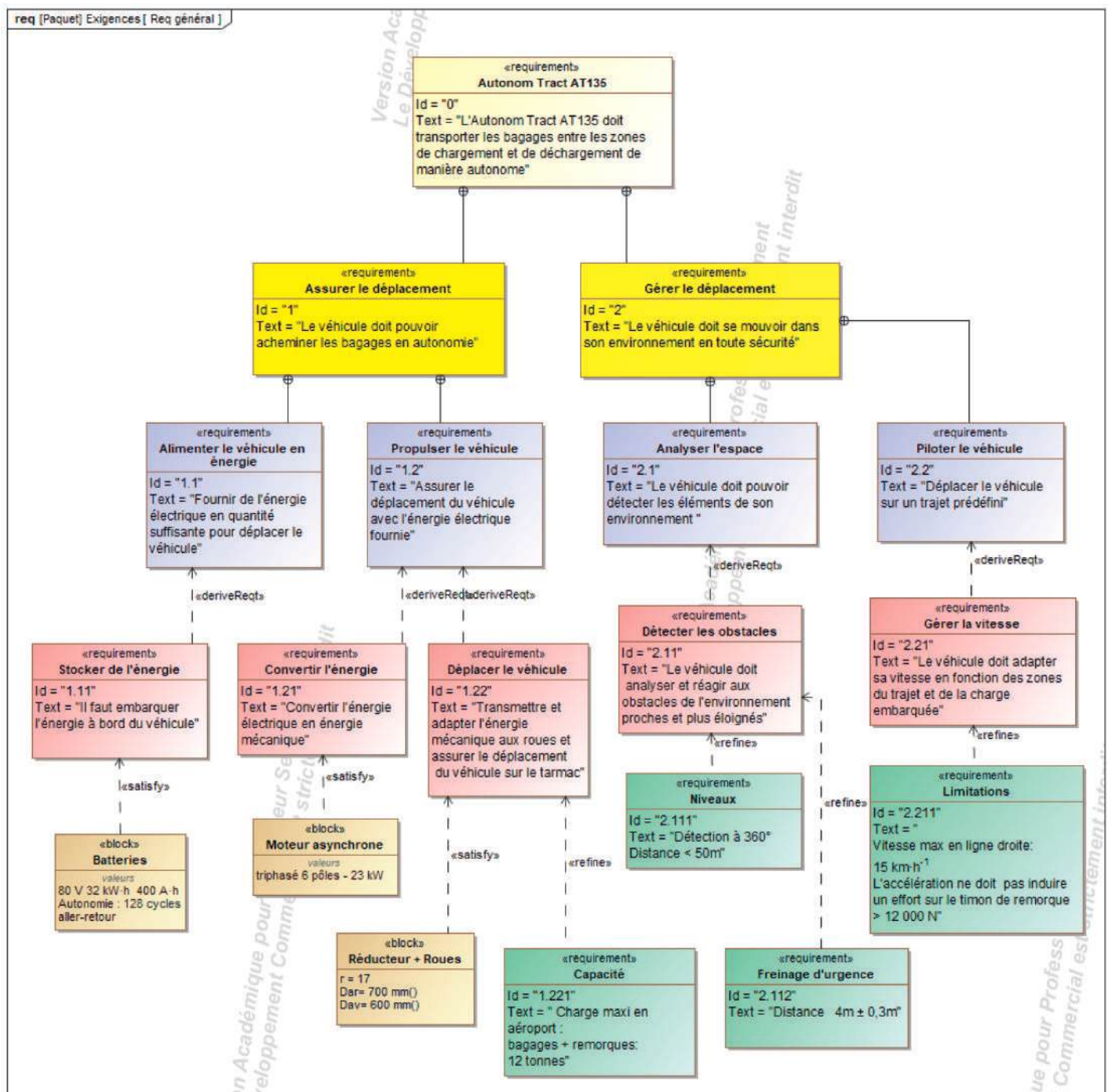


Figure 5 : diagramme des exigences.

Le questionnement proposé dans ce sujet va permettre d'étudier et de vérifier :

- comment est assurée la sécurité lors du déplacement autonome du tracteur à bagages ;
- comment l'autonomie du tracteur à bagages lui permet de respecter les exigences du cahier des charges fonctionnel ;
- comment le superviseur peut connaître à chaque instant la position exacte du tracteur à bagages ainsi que sa vitesse.

Sous-partie 1 – obligatoire

Assurer la sécurité lors des trajets

L'objectif de cette sous-partie est de déterminer la vitesse maximale admissible à pleine charge et de valider le système de freinage du tracteur à bagages autonome.

Les bagages déchargés de l'appareil sont répartis dans une ou plusieurs remorques (3 maximum), en fonction du volume de bagages à transporter. Le tracteur à bagages autonome (TBA) se déplace ensuite de manière autonome entre l'avion et la galerie à bagages.

Sur le trajet, il est nécessaire de respecter la signalisation (stop, feux) et assurer un freinage d'urgence en cas d'obstacle. Les remorques standards utilisées sur les aéroports ne possèdent pas de dispositifs de freinage, le tracteur doit donc pouvoir assurer, seul, l'arrêt du convoi.

Afin de respecter les exigences relatives au freinage d'urgence, la vitesse du tracteur à bagages autonome doit être limitée en fonction de la charge qui est convoyée. L'opérateur introduit la valeur de la charge de bagages embarquée sur la console du TBA et ensuite déclenche le départ.

Question 1.1 Rechercher, sur le diagramme des exigences donné figure 5, les valeurs numériques relatives à la gestion de la vitesse et au freinage d'urgence.

Afin de déterminer la décélération maximale admissible, une étude mécanique relative au freinage doit être menée sur une remorque notée **R** qui évolue sur le tarmac **0**, qui est constituée comme le montre le repérage de la figure 6 par :

- un container à bagages **1** ;
- un chariot porteur **5** ;
- le timon d'accroche au tracteur **2** ;
- les trains avant et arrière **3** et **4**.

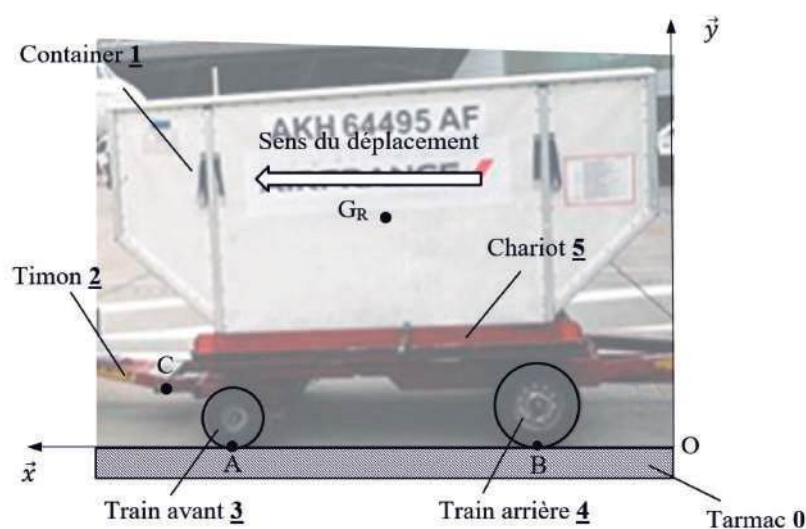


Figure 6 : principaux constituants d'une remorque.

Hypothèses de l'étude :

- toute la charge est concentrée dans un seul container ;
- l'étude s'effectue dans le plan de symétrie $(O, \vec{x}, \vec{y})$;
- il est tenu compte de la résistance au roulement entre les roues et le tarmac ;
- l'action du timon est considérée horizontale ;
- compte tenu de la faible vitesse de déplacement ($15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ maximum), les effets aérodynamiques sont négligés.

La masse de la remorque est notée m et l'accélération de la pesanteur est notée g . Les actions mécaniques extérieures agissant sur la remorque **R** sont modélisées par les glisseurs suivants :

$$\begin{aligned} (T_{\text{pesanteur} \rightarrow R}) =_{G_R} \left| \begin{array}{l} \vec{P}_R = -m \cdot g \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{array} \right. & \quad (T_{0 \rightarrow 3}) =_A \left| \begin{array}{l} \vec{A}_{0 \rightarrow 3} = X_A \cdot \vec{x} + Y_A \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{array} \right. \\ (T_{0 \rightarrow 4}) =_B \left| \begin{array}{l} \vec{B}_{0 \rightarrow 4} = X_B \cdot \vec{x} + Y_B \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{array} \right. & \quad (T_{2 \rightarrow 5}) =_C \left| \begin{array}{l} \vec{C}_{2 \rightarrow 5} = X_C \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Question 1.2 **Tracer** sur le document réponse DR1, sans échelle, les actions mécaniques extérieures exercées sur la remorque **R**.

Les composantes des efforts du tarmac sur les roues sont liées, du fait de la résistance au roulement, par les relations :

$$X_A = -\frac{1}{35} \cdot Y_A \quad X_B = -\frac{1}{50} \cdot Y_B .$$

Question 1.3 Sachant que les composantes Y_A et Y_B sont positives, **justifier** les signes négatifs des composantes X_A et X_B .

L'accélération prise par la remorque **R** pendant le freinage est notée : $\vec{A}_{G,R/0} = a_G \cdot \vec{x}$.

Question 1.4 **Appliquer** le théorème de la résultante dynamique sous forme vectorielle à la remorque, **en déduire** les équations scalaires de projection suivant les axes $\vec{x}$ et $\vec{y}$.

Les données de l'étude sont les suivantes :

- $m = 12\,000 \text{ kg}$;
- $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- $Y_A = 61\,000 \text{ N}$;
- $X_C = -12\,000 \text{ N}$.

Question 1.5 En utilisant les relations entre les efforts du tarmac sur les roues fournies avant la question 1.3, **calculer** la valeur de l'accélération a_G .

Dans la suite de l'étude, la valeur de la décélération vaut $a_G = -1,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

La vitesse initiale du tracteur à bagages doit être contrôlée afin de respecter la distance maximale de freinage imposée par les exigences du cahier des charges. Les freins hydrauliques induisent une décélération constante, comme le montre la figure 7.

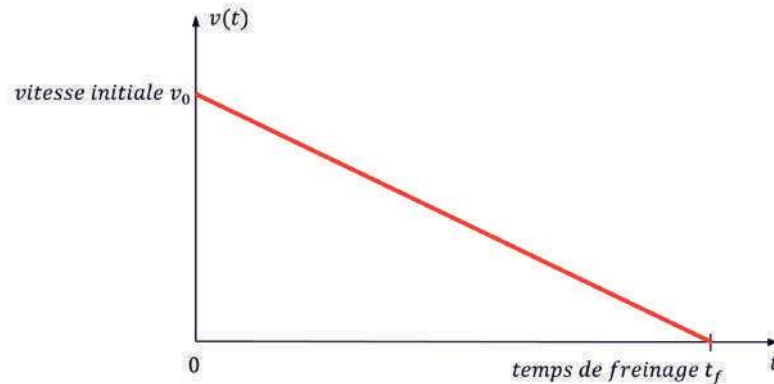


Figure 7 : évolution temporelle de la vitesse pendant la phase de freinage.

On suppose que le tracteur à bagages est à la position $x(t = 0) = 0$ au début de la phase de freinage.

Question 1.6 À partir de l'allure temporelle de la vitesse donnée figure 7, **écrire** les équations temporelles de la vitesse et de la position du tracteur à bagages pendant la phase de freinage.

Calculer la vitesse initiale v_0 , en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ puis en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, pour obtenir une distance de freinage de 4 m.

Le modèle multiphysique donné figure 8 permet d'obtenir une simulation du freinage. Le moteur est piloté jusqu'à ce que la vitesse de déplacement en translation soit stabilisée, l'alimentation est ensuite coupée puis le dispositif de freinage s'active.

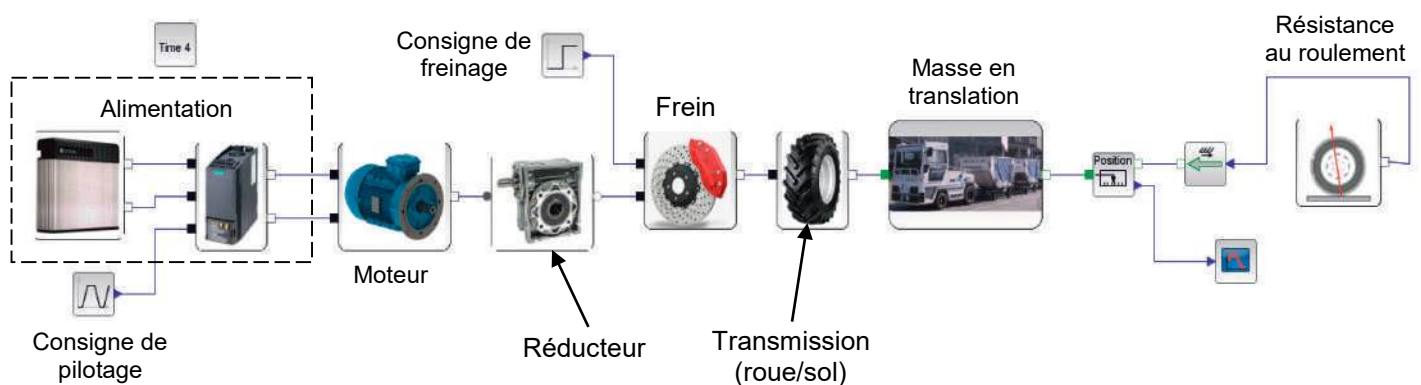


Figure 8 : modèle multiphysique utilisé pour simuler la phase de freinage.

Dans le modèle multiphysique illustré figure 8, le bloc représenté figure 9 modélise le roulement sans glissement des roues motrices sur le tarmac. La figure 10 illustre le paramétrage à effectuer sur le modèle concernant ce bloc.

La relation liant le déplacement longitudinal x à l'angle de rotation de la roue α est :

$$x = R_r \cdot \alpha \quad \text{où } R_r \text{ est le rayon de roue, avec } R_r = 0,35 \text{ m.}$$



Figure 9 : roulement sans glissement des roues motrices.

Figure 10 : bloc rapport de transmission du modèle multiphysique.

Question 1.7 **Déterminer** la valeur du ratio k à introduire dans le bloc rapport de transmission roue/sol du modèle multiphysique de la figure 10.

Une simulation est effectuée pour une masse de remorque de 12 tonnes et une vitesse initiale de $11,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ les résultats obtenus sont donnés sur le document réponse DR1.

Question 1.8 **Représenter** sur le document réponse DR1 la distance de freinage simulée et **donner** sa valeur.

Les courbes de la figure 11 montrent les résultats d'une série d'essais de freinage réalisés par l'entreprise qui a conçu le tracteur. Elles donnent les distances de freinage pour plusieurs chargements en fonction de la vitesse initiale du convoi.



Figure 11 : résultats des essais de freinage.

Question 1.9 À l'aide des résultats des essais illustrés figure 11 et des résultats obtenus précédemment, **conclure** quant à la validité des modèles de freinage développés et à l'aptitude du tracteur à bagages à remplir sa mission en toute sécurité.

Sous-partie 2 – choix A

Autonomie de fonctionnement

L'objectif de cette sous-partie est de déterminer l'autonomie du véhicule, de valider les exigences du cahier des charges fonctionnel et le choix des batteries.

Question 1.10 À l'aide du diagramme des exigences figure 5, **relever** les valeurs caractéristiques de la batterie.

Le « battery pack » (batterie d'accumulateurs) présent sur le tracteur à bagages est composé d'un ensemble de 25 batteries possédant chacune une tension à vide de 3,2 V et une capacité de 400 A.h. Chacune de ces batteries est elle-même composée de cellules (figure 12).



Figure 12 : constitution d'une batterie.

Les batteries peuvent être associées suivant plusieurs types de montage comme présenté sur la figure 13.

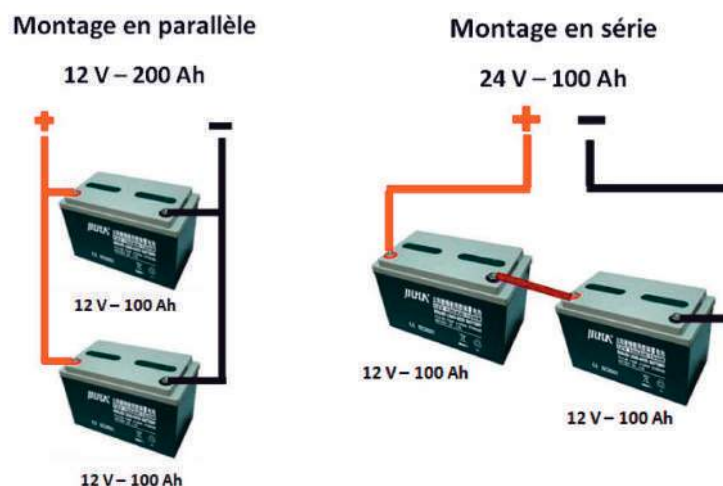


Figure 13 : associations possibles de batteries.

Question 1.11 D'après la figure 13 et les valeurs relevées à la question précédente, **déterminer** le type d'association des batteries et **retrouver**, par le calcul, la quantité d'énergie annoncée dans le diagramme des exigences figure 5.

Pour la suite de cette partie, chaque cycle étudié est composé d'un aller et d'un retour du tracteur à bagages entre le hangar à bagages et les avions positionnés aux abords des pistes.

À partir du modèle multiphysique simplifié établi pour le tracteur à bagages, une simulation, dont le résultat est visible figure 14, est réalisée. Celle-ci représente l'évolution de l'intensité du courant absorbé par le moteur du tracteur à bagages en ampère en fonction du temps en seconde pour un aller effectué en charge. La distance parcourue, obtenue par simulation, est de 300 mètres.

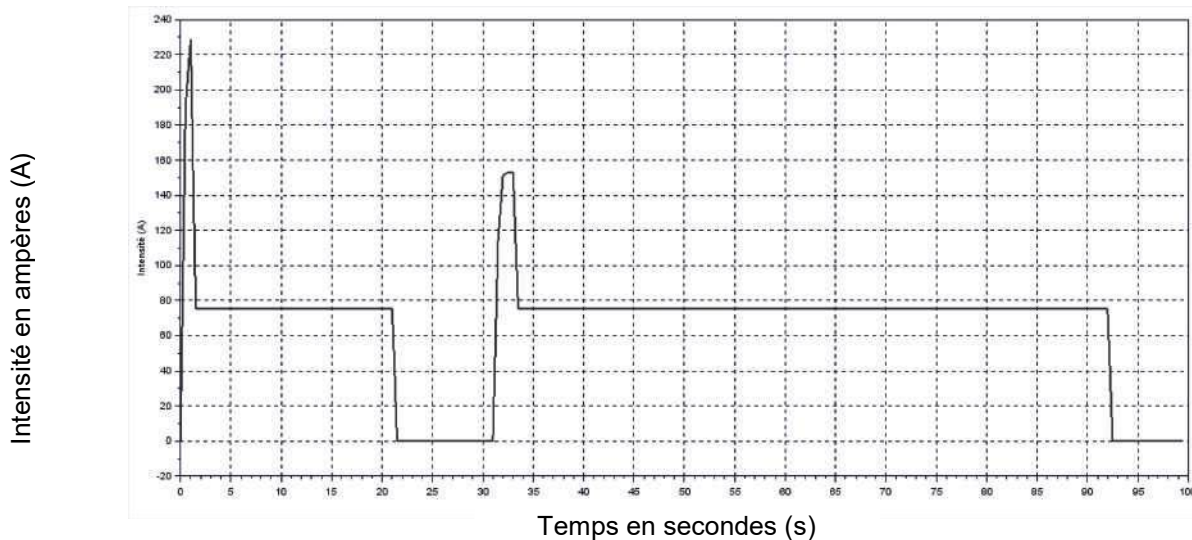


Figure 14 : intensité du courant sur un aller en charge issu du modèle multiphysique.

Afin de simplifier l'étude, le modèle simplifié présenté sur la figure 15 (trait en gras) est utilisé.

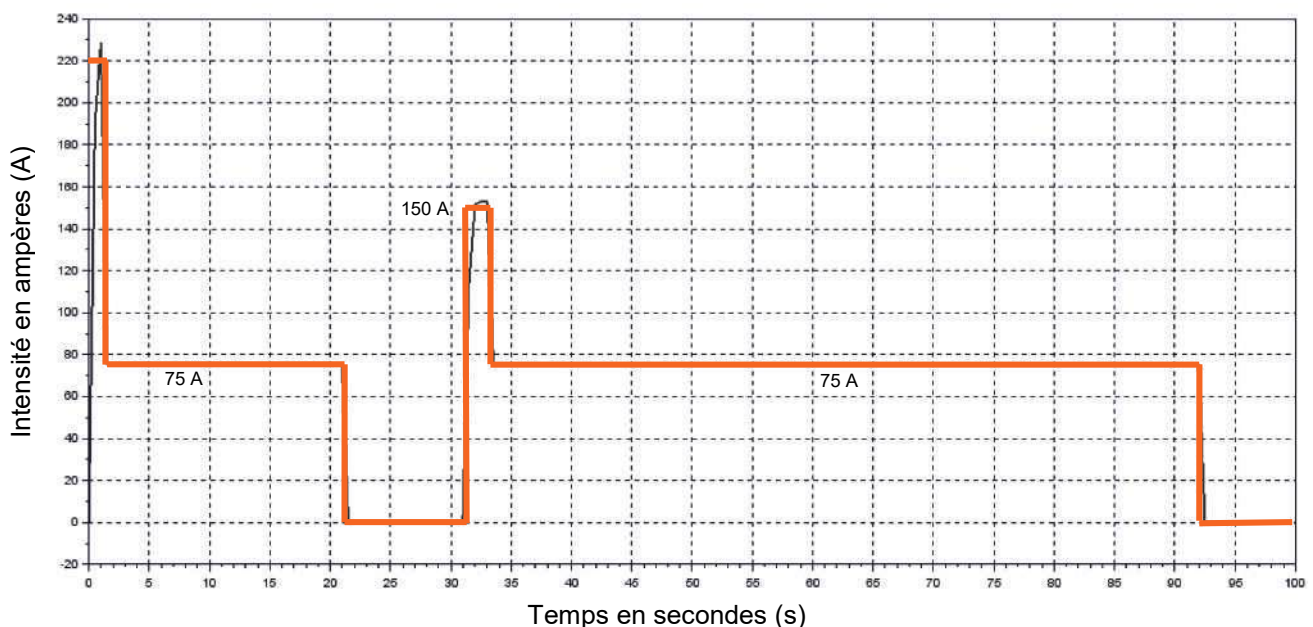


Figure 15 : intensité du courant simplifiée sur un aller en charge.

Pour les questions à venir, la consommation de courant effectuée par les instruments de bord du tracteur est négligée devant celle du moteur. On suppose que la tension de la

batterie reste constante à la valeur de 80 V pendant tous les déplacements effectués par le tracteur à bagages.

Pour rappel $1 \text{ A}\cdot\text{h} = 3\,600 \text{ C}$ (Coulombs).

Question 1.12 Déterminer la consommation en énergie du moteur du tracteur à bagages en $\text{kW}\cdot\text{h}$ pour un aller en charge à partir des données de la figure 15.

Considérant que le retour à vide utilise environ 40 % de l'énergie consommée à l'aller en charge, **en déduire** l'énergie totale absorbée sur un cycle de fonctionnement (un aller-retour).

Pour anticiper une décharge complète de la batterie et ainsi éviter une immobilisation du véhicule aux abords des pistes, le superviseur est informé du niveau de charge de la batterie sur l'écran de l'ordinateur de contrôle par une alarme visuelle et sonore. Le seuil d'alerte, noté C_{alerte} , correspond à une décharge de la batterie de 82,5 % de sa capacité nominale.

La figure 16 illustre l'évolution de la tension aux bornes des batteries en fonction de la décharge.

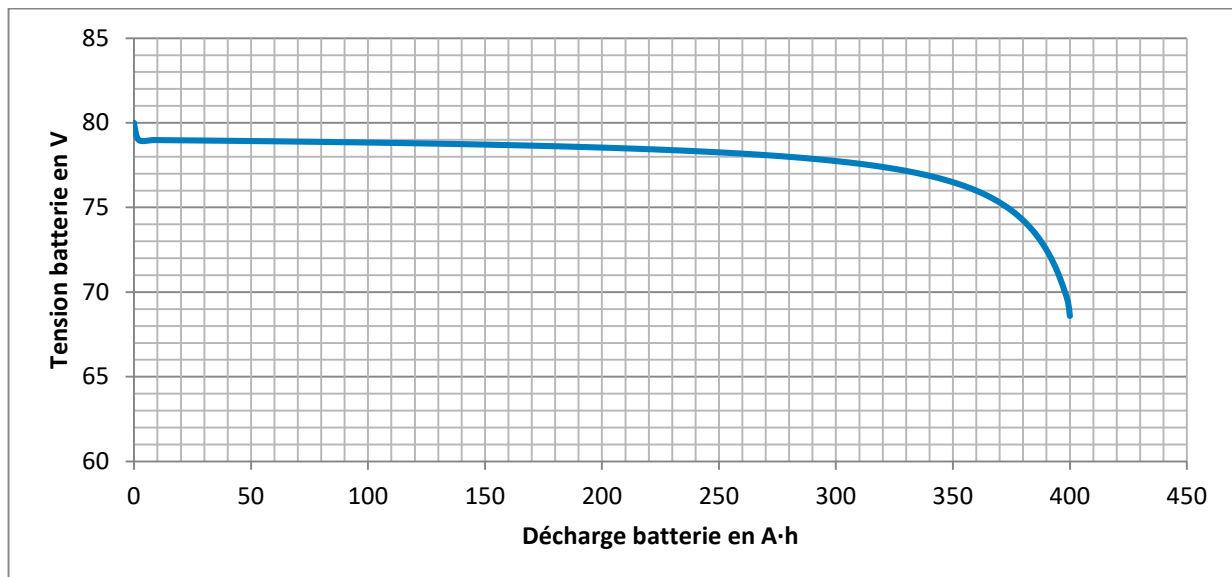


Figure 16 : tension aux bornes des batteries (V) en fonction de la décharge (A·h).

Question 1.13 À partir de la caractéristique de décharge figure 16, **déterminer** la valeur de la tension batterie U_{alerte} correspondant au seuil d'alerte.

Avant d'atteindre le seuil d'alerte, la courbe de décharge montre que la tension aux bornes de la batterie ne varie que très peu. Afin d'envoyer au superviseur une valeur de tension la plus fine possible, un traitement de celle-ci est nécessaire. La chaîne d'acquisition de la tension batterie U_{bat} est présentée figure 17. Le Convertisseur Analogique Numérique (CAN) utilisé par la fonction « traiter » fonctionne avec une tension pleine échelle de 8 V. Le bloc « Acquérir » est assimilé à un amplificateur de coefficient $A = 0,1$.

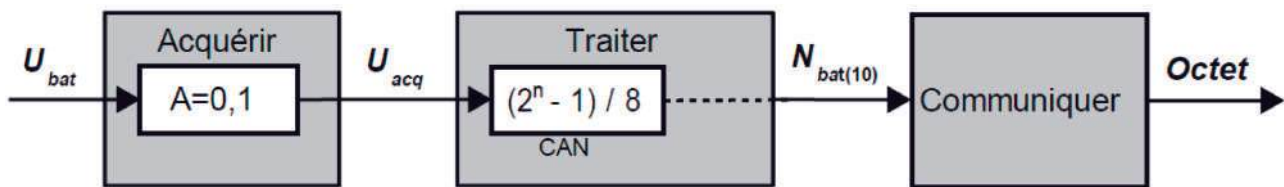


Figure 17 : chaîne d'acquisition de la tension U_{bat} .

Question 1.14 **Déterminer** la résolution, en nombre de bits, du CAN permettant d'atteindre une précision de 0,1 % de la tension nominale de la batterie en prenant en compte le fait que $U_{acq} = A \times U_{bat}$.

À partir de la valeur d'alerte de la tension U_{bat} correspondant à une décharge de 82,5 %, **calculer** la valeur décimale de N_{bat} en sortie du CAN.

Lorsque la décharge de la batterie atteint 82,5 %, un voyant d'alerte s'allume sur le pupitre du superviseur. Celui-ci lui indique que le tracteur à bagages va devoir partir en maintenance afin de procéder au rechargement de la batterie et que plus aucun nouveau cycle ne pourra être effectué avant cela. En effet, par sécurité, le tracteur à bagages ne doit en aucune manière se retrouver immobilisé, faute de batterie, aux abords des pistes. On suppose que l'énergie totale absorbée sur un cycle est $E_{cycle} = 202 \text{ W} \cdot \text{h}$.

Question 1.15 **Calculer** la quantité d'énergie utile correspondant à 82,5 % de décharge ainsi que le nombre de cycles qui peuvent être réalisés.

Comparer la valeur exprimée dans le diagramme des exigences (figure 5) quant au nombre de cycles devant être effectués par le tracteur à bagages et le résultat obtenu par simulation. **Conclure** quant au respect des exigences.

Sous-partie 2 – choix B

Connaître en temps réel la position du tracteur à bagages

L'objectif de cette sous-partie est de proposer une solution permettant au tracteur à bagages de se localiser grâce à une trame GPS.

Le tracteur à bagages est équipé d'un module GPS qui permet au superviseur d'en connaître la position à tout moment. Ce module doit permettre de déterminer la longitude et la latitude du véhicule. La figure 18 illustre le positionnement géographique sur le globe terrestre en fonction de la latitude et de la longitude.

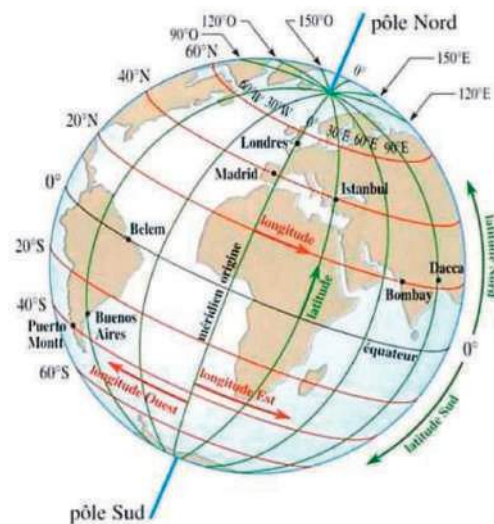


Figure 18 : latitude et longitude sur le globe terrestre.

La figure 19 illustre la chaîne d'acquisition de la position du tracteur à bagages. Les signaux émis par les satellites sont captés par le récepteur GPS situé dans le tracteur à bagages. Les informations en sortie du récepteur GPS sont incluses dans une trame NMEA qui est traitée par un microcontrôleur pour en extraire les informations utiles et les transmettre à l'écran de contrôle du superviseur via une liaison 4G.

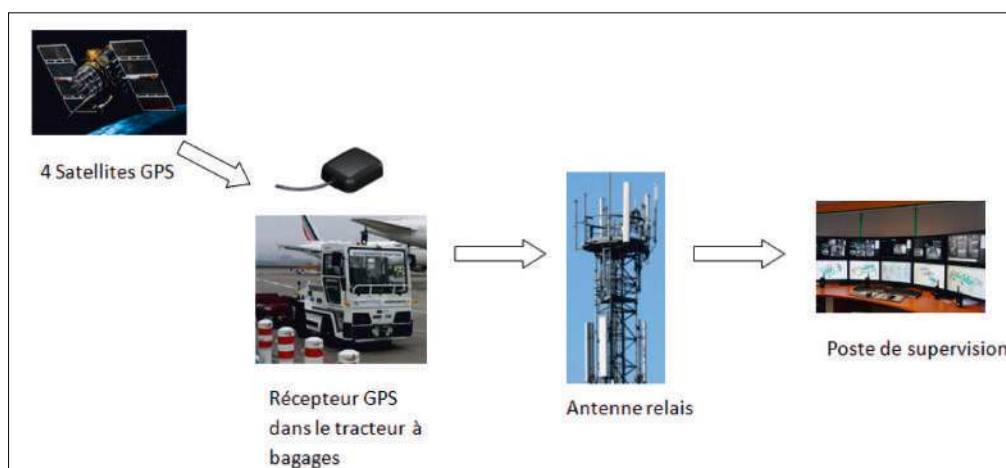


Figure 19 : chaîne d'acquisition de la position du tracteur à bagages.

La figure 20 illustre une trame NMEA de type GGA issue du récepteur GPS ainsi que sa composition.

\$GPGGA,153404.028,4337.884,N,00122.222,E,1,4,1.0,149.0,M,,,*67	
Composition de la trame :	
Extrait de la trame	Informations correspondantes
\$GPGGA	type de trame
153404.028	trame envoyée à 15 h 34 min 04 s 028 (heure UTC)
4337.884,N	latitude 43,37884° Nord = 43° 37' 88.4" Nord
00122.222,E	longitude 1,22222° Est = 1° 22' 22.2" Est
1	type de positionnement (le 1 est un positionnement GPS)
4	nombre de satellites utilisés pour calculer les coordonnées
1.0	précision horizontale ou HDOP (Horizontal dilution of précision)
149.0,M	altitude 149,0, en mètres
*67	somme de contrôle de parité, un simple XOR sur les caractères entre \$ et *3

Figure 20 : description d'une trame NMEA de type GGA.

L'objectif de l'étude est d'élaborer la partie du programme du microcontrôleur qui extrait les informations utiles des trames NMEA de type GGA. Le récepteur GPS fournit la trame étudiée sous la forme d'une chaîne de caractères au microcontrôleur. Pour extraire les informations utiles de cette trame, le microcontrôleur utilise la fonction Python `creationliste(trame)` illustrée figure 21. Cette fonction renvoie une liste contenant dans l'ordre l'heure h, la latitude lat et la longitude long.

```
trame = $GPGGA,153404.028,4337.884,N,00122.222,E,1,4,1.0,149.0,M,,,*67"

def creationliste(trame):
    Ttrame=trame.split(',')      # Découpe la chaîne au caractère ',' et
                                # conversion en liste

    h=heure(Ttrame)
    lat=latitude(Ttrame)
    long=longitude(Ttrame)
    liste = [h,lat,long]
    return(liste)                # Renvoie la liste contenant l'heure,
                                # la latitude et la longitude
```

Figure 21 : fonction qui permet de transformer la chaîne de caractères trame en liste.

La fonction `creationliste(trame)` fait appel à d'autres fonctions qui extraient les informations de la liste `Ttrame`. La figure 22 illustre une de ces fonctions

```
def heure(liste):
    hour=int(liste[1][0:2])      # la variable heure prend la valeur
                                # entière de la 2ème chaîne de la liste
                                # commençant à l'indice 0 et terminant
                                # à l'indice précédant 2.

    minute=int(liste[1][2:4])    # la variable minute prend la valeur
                                # entière de la 2ème chaîne de la liste
                                # commençant à l'indice 2 et terminant
                                # à l'indice précédant 4.

    seconde=float(liste[1][4:])  # la variable seconde prend la valeur
                                # à virgule des derniers caractères de
                                # la 2ème chaîne de la liste à partir
                                # du 5ème caractère.

    message=str(hour)+'h'+str(minute)+'min'+str(seconde)+'s'
    return(message)
```

Figure 22 : fonction `heure` du programme Python.

Le fonctionnement du programme illustré figure 22 sur la trame illustrée figure 20 peut être illustré par les étapes suivantes :

- `liste[1]` correspond au deuxième élément de la liste, c'est la chaîne '153404.028' indiquant l'heure ;
- `liste[1][0:2]` correspond aux deux premiers éléments de cette chaîne, soit '15' ;
- `int(liste[1][0:2])` permet de convertir cette chaîne en nombre entier, soit 15 qui correspond au nombre d'heures ;
- la valeur stockée dans la variable `heure` est donc le nombre 15.

Deux lignes sont ajoutées à la fin de la fonction `heure`. La fonction `str()` est utilisée pour convertir la valeur spécifiée en une chaîne de caractères. Ainsi, `message` est une suite de caractères indiquant l'heure sous la forme '15h34min04.028s'. Enfin l'instruction `return` permet de renvoyer le contenu de la variable `message`.

Question 1.16 DR2	En utilisant la trame présentée sur le document réponse DR2, compléter le programme Python « Obtention de la latitude et de la longitude » afin d'obtenir les valeurs numériques de la latitude sous la forme '43.37884' et de la longitude sous la forme '1.22222'.

Le tracteur à bagages est équipé d'un compteur de vitesse classique destiné à l'opérateur lorsque celui-ci l'utilise en mode manuel. En mode autonome, un calcul de la vitesse est effectué grâce aux relevés de positions GPS.

Dans la suite de l'étude, le rayon de courbure de la Terre est négligé. La figure 23 montre le tracé d'un trajet effectué en mode autonome par le tracteur à bagages.



Figure 23 : trajet effectué entre le hall à bagages et l'avion.

Il est choisi pour notation « lat » pour la latitude et « long » pour la longitude, exprimées en degrés. Ainsi, la latitude du point A est notée « lat A » et sa longitude « long A ». Il est rappelé que la latitude concerne l'axe nord/sud et la longitude concerne l'axe est/ouest. Par exemple, dans l'extrait de trame '4337.884,N,00122.222,E', « lat » vaut 43,37884 degrés et « long » vaut 1,22222 degré.

Les distances (longitude et latitude) exprimées en degrés séparant les points A et B suivant les directions $\vec{x}$ et $\vec{y}$ sont notées respectivement x et y. La distance d recherchée, exprimée en mètres, est déterminée grâce au théorème de Pythagore :

$$x = (\text{long A} - \text{long B}) \times \cos\left(\frac{\text{lat A} + \text{lat B}}{2}\right)$$

$$y = \text{lat B} - \text{lat A}$$

$$d = k \times \sqrt{x^2 + y^2}$$

où k est un coefficient permettant la conversion des distances exprimées en degrés en mètres. Sa valeur est égale à 111 120.

Question 1.17 **Proposer**, en complétant le document réponse DR3, une fonction distance() qui renvoie la distance d, arrondie à 10^{-2} mètre, séparant les deux points dont les coordonnées sont présentes dans les trames A et B.

Remarque : Python utilise des angles en radian, il faut donc penser à convertir les valeurs latA et latB en radian dans le calcul de x.

Question 1.18 **Calculer** la valeur numérique de la distance d renvoyée par cette fonction à partir des trames A et B.

Question 1.19 En fonction du résultat trouvé à la question précédente, **déterminer** à quelle vitesse en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ se déplaçait le tracteur à bagages entre ces deux points puis en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. **Conclure** quant à la compatibilité de cette vitesse avec les valeurs présentes dans le diagramme des exigences figure 5.

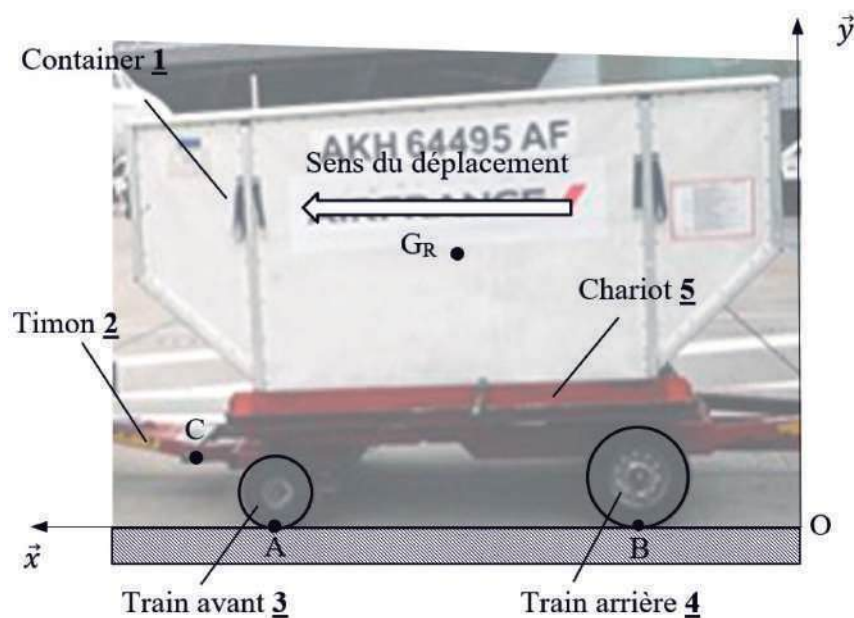
La position et la vitesse du tracteur à bagages sont affichés sur l'écran du superviseur comme illustré sur la figure 23. Afin de ne pas avoir une superposition de points à l'écran, l'affichage des positions GPS se fait uniquement lorsque la vitesse du tracteur sera non nulle. Ainsi, seul le dernier point obtenu avec une vitesse non nulle demeure affiché et indique donc la position du tracteur à bagages. La vitesse du tracteur à bagages est affichée en permanence.

Question 1.20 Sur le document réponse DR4, **compléter** le programme Python gérant
DR4 l'affichage sur l'écran du superviseur

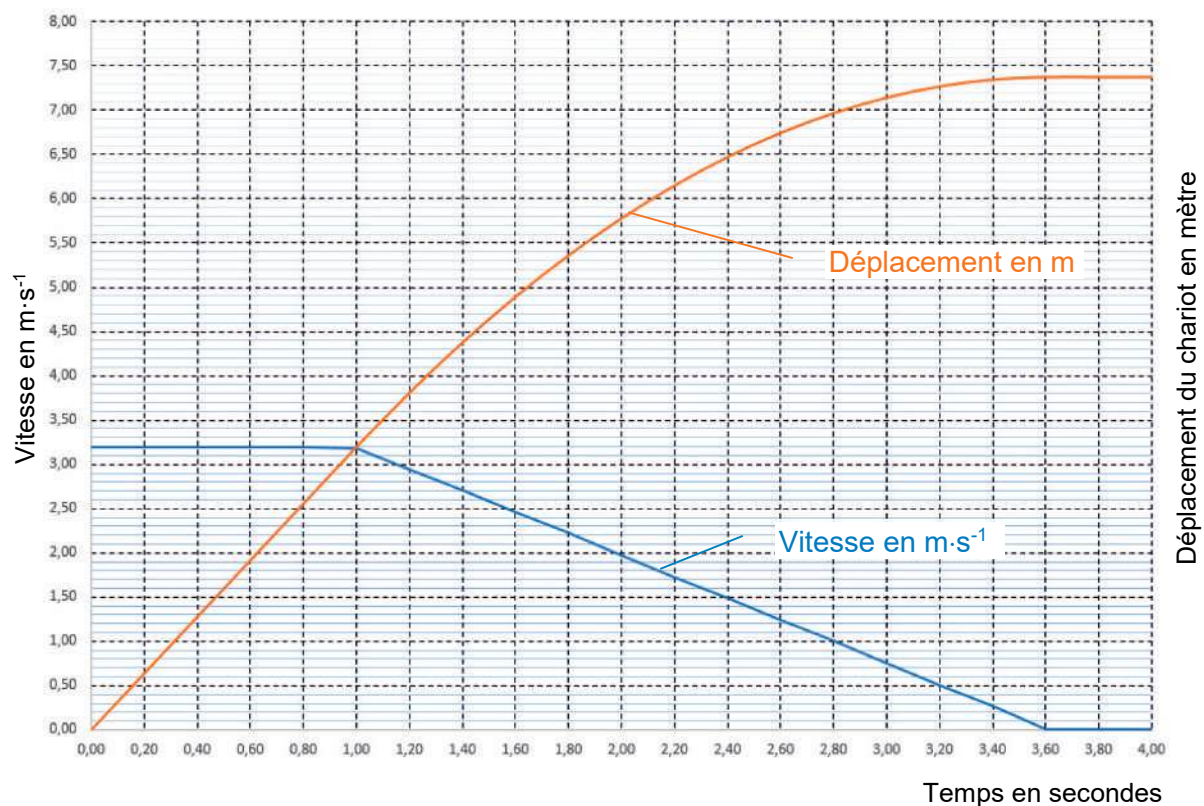
Question 1.21 **Citer** d'autres solutions de géolocalisation possibles et **conclure** quant à la pertinence du choix du GPS en tenant compte, par exemple, de la précision de chacune d'entre-elles ou encore de la possibilité d'une utilisation en intérieur ou en extérieur.

Question 1.2 – obligatoire

Tracer de manière qualitative, les actions mécaniques extérieures exercées sur la remorque R.



Question 1.8 – obligatoire



Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)	
 Prénom(s) :	
Numéro	
Inscription :	
	Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Question 1.16 – choix B

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.)

```
trame= "$GPGGA,153404.028,4337.884,N,00122.222,E,1,4,1.0,149.0,M,,,,*67"
```

```
def heure(Ttrame):  
    hour=int(Ttrame[1][0:2])  
    minute=int(Ttrame[1][2:4])  
    seconde=float(Ttrame[1][4:])  
    message=str(hour)+'h'+str(minute)+'min'+str(seconde)+'s'  
    return(message)  
  
def latitude(Ttrame):  
    degre=int(Ttrame[...][...:...])  
    minute=int(Ttrame[...][...:...])  
    seconde=round(float(Ttrame[...][5:...]))  
    message=.....  
    return float(.....)  
  
def longitude(Ttrame):  
    degre=int(Ttrame[...][...:...])  
    minute=int(Ttrame[...][...:...])  
    seconde=round(float(Ttrame[...][6:...]))  
    message=.....  
    return float(.....)
```

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)	
 Prénom(s) :	
Numéro	
Inscription :	
	Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Question 1.17 – choix B

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.....)

```
from math import *                #importation du module math

trameA =
"$GPGGA,102927.028,4337.913,N,00122.194,E,1,4,1.0,149.2,M,,,,*67"

trameB = "$GPGGA,102928.028,4337.910,N,00122.197,E,1,4,1.0,149.1,M,,,,*67"

def creationliste(trame):          #Renvoie une liste contenant l'heure,
                                   #la latitude et la longitude
    Ttrame=trame.split(',')
    h=heure(Ttrame)
    lat=latitude(Ttrame)
    long=longitude(Ttrame)
    liste = [h,lat,long]
    return(liste)

def distance():
    listeA=creationliste(trameA)
    listeB=creationliste(trameB)
    latA = listeA[...]
    latB = listeB[...]
    longA = listeA[...]
    longB = listeB[...]
    x = .....
    y = .....
    d = .....
    return round(...,...)         # l'instruction round permet d'arrondir
                                   # un nombre réel en précisant le nombre
                                   # de chiffres souhaités après la virgule.
                                   # Ainsi round(3.1415,3) renvoie 3.141.
```

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)	
 Prénom(s) :	
Numéro	
Inscription :	
	Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Question 1.20 – choix B

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.)

Pour gérer l'affichage des informations sur l'écran du superviseur, deux fonctions sont utilisées :

Fonction Python	Affichage sur l'écran du superviseur
<code>afficherPoint(lat, long)</code>	Cette fonction prend en paramètre une latitude <code>lat</code> et une longitude <code>long</code> . Elle affiche à l'écran une croix correspondant à la position géographique associée.
<code>afficherVitesse(v)</code>	Cette fonction prend en paramètre la vitesse <code>v</code> . Elle remplace la valeur de la vitesse affichée dans l'encadré du coin inférieur droit par la valeur de <code>v</code> .

```
# latA est la latitude actuelle du tracteur à bagages
# longA est la longitude actuelle du tracteur à bagages
# vitA est la vitesse actuelle du tracteur à bagages

# Cette fonction est appelée automatiquement à chaque réception
# de données émises par le chariot à bagages
```

```
def affichageSuperviseur(latA, longA, vitA):
```

```
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
```

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)	
 Prénom(s) :	
Numéro	
Inscription :	
	Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Partie 2 : Sciences physiques

Vous traiterez deux exercices au choix parmi les trois proposés.

Vous indiquerez sur votre copie **les deux exercices choisis** : exercice A ou exercice B ou exercice C.

EXERCICE A – Efficacité d'une gourde (10 points)

Mots-clés : transferts thermiques ; premier principe de la thermodynamique ; évolution temporelle.

Un randonneur part marcher pour la journée. Il emporte avec lui une gourde qu'il remplit d'eau fraîche à ras bord.

La température initiale de l'eau est : $\theta_i = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La température de l'air extérieur est : $\theta_e = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gourde utilisée :

Bouteille classique en aluminium :

- contenance : 1,0 L ;
- masse : $m_1 = 145\text{ g}$;
- surface d'échange thermique avec l'air extérieur : $S = 0,070\text{ m}^2$.



Source : www.laken.es

Loi de Newton :

On note $m_2 = 1,0\text{ kg}$ la masse d'eau contenue dans la gourde.

Les échanges d'énergie par transfert thermique entre le système {eau + gourde en aluminium} et l'air extérieur sont modélisés à l'aide de la loi de Newton :

$$\phi = h \cdot S \cdot (\theta_e - \theta)$$

- ϕ est le flux thermique en W ;
- θ représente la température de la gourde ;
- h est le coefficient de transfert thermique surfacique entre le système et l'air : $h = 10\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$;
- S est la surface d'échange entre le système et l'air extérieur.

Différentes capacités thermiques massiques :

- eau : $c_{eau} = 4,2 \times 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- aluminium : $c_{al} = 9,0 \times 10^2\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Q1. Effectuer un bilan d'énergie pour le système {eau + gourde en aluminium} entre les instants t et $t+\Delta t$; la durée Δt étant petite devant la durée typique d'évolution de la température de la gourde. Établir la relation :

$$(m_2 c_{eau} + m_1 c_{al}) \cdot [\theta(t+\Delta t) - \theta(t)] = h \cdot S \cdot [\theta_e - \theta(t)] \cdot \Delta t$$

Q2. En déduire l'équation différentielle vérifiée par la température θ du système :

$$(m_2 \cdot c_{eau} + m_1 \cdot c_{al}) \cdot \frac{d\theta}{dt} + h \cdot S \cdot \theta(t) = h \cdot S \cdot \theta_e .$$

La solution de l'équation différentielle précédente est donnée par l'expression suivante :

$$\theta = A \cdot \exp\left(-\frac{h \cdot S}{m_2 \cdot c_{eau} + m_1 \cdot c_{al}} \cdot t\right) + \theta_e \text{ où } A \text{ est une constante.}$$

Q3. Donner la signification physique de la grandeur :

$$\frac{m_2 \cdot c_{eau} + m_1 \cdot c_{al}}{h \cdot S} .$$

Q4. Exprimer A en fonction de θ_e et θ_i .

Q5. Interpréter physiquement la valeur de la température du système obtenue à l'aide de cette solution, pour un temps grand devant la durée typique d'évolution de la température. Tracer l'allure de la courbe $\theta(t)$.

Q6. Évaluer, dans le cadre de ce modèle, la valeur de la température de l'eau dans la gourde au bout d'une heure. Commenter.

Les gourdes isothermes actuelles comportent une double enveloppe d'acier dont les parois sont séparées par de l'air sous faible pression, ainsi qu'un revêtement intérieur en aluminium.

Q7. Expliquer comment ces caractéristiques permettent de maintenir une boisson fraîche plus longtemps.

EXERCICE B – Protection anti-chute (10 points)

Mots clés : chute ; évolution temporelle ; énergie mécanique.

Pour protéger les téléphones des chutes pouvant entraîner une casse de l'appareil, une entreprise a mis au point l'ADCase (Active Damping Case). L'ADCase est une coque de téléphone équipée d'un système d'amortisseurs. Ceux-ci se déploient lorsque le dispositif détecte la chute du téléphone d'une durée supérieure à 300 ms. Ils préviennent ainsi tout dommage sur le téléphone.



Le but de l'exercice est d'étudier les conditions de déclenchement de ce dispositif. *D'après le site www.adcase.de*

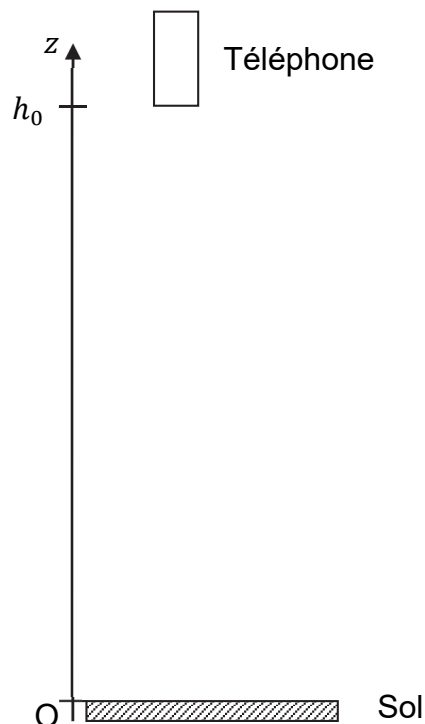
Données :

- masse du téléphone et de la coque : $m = 163 \text{ g}$;
- accélération du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Situation étudiée

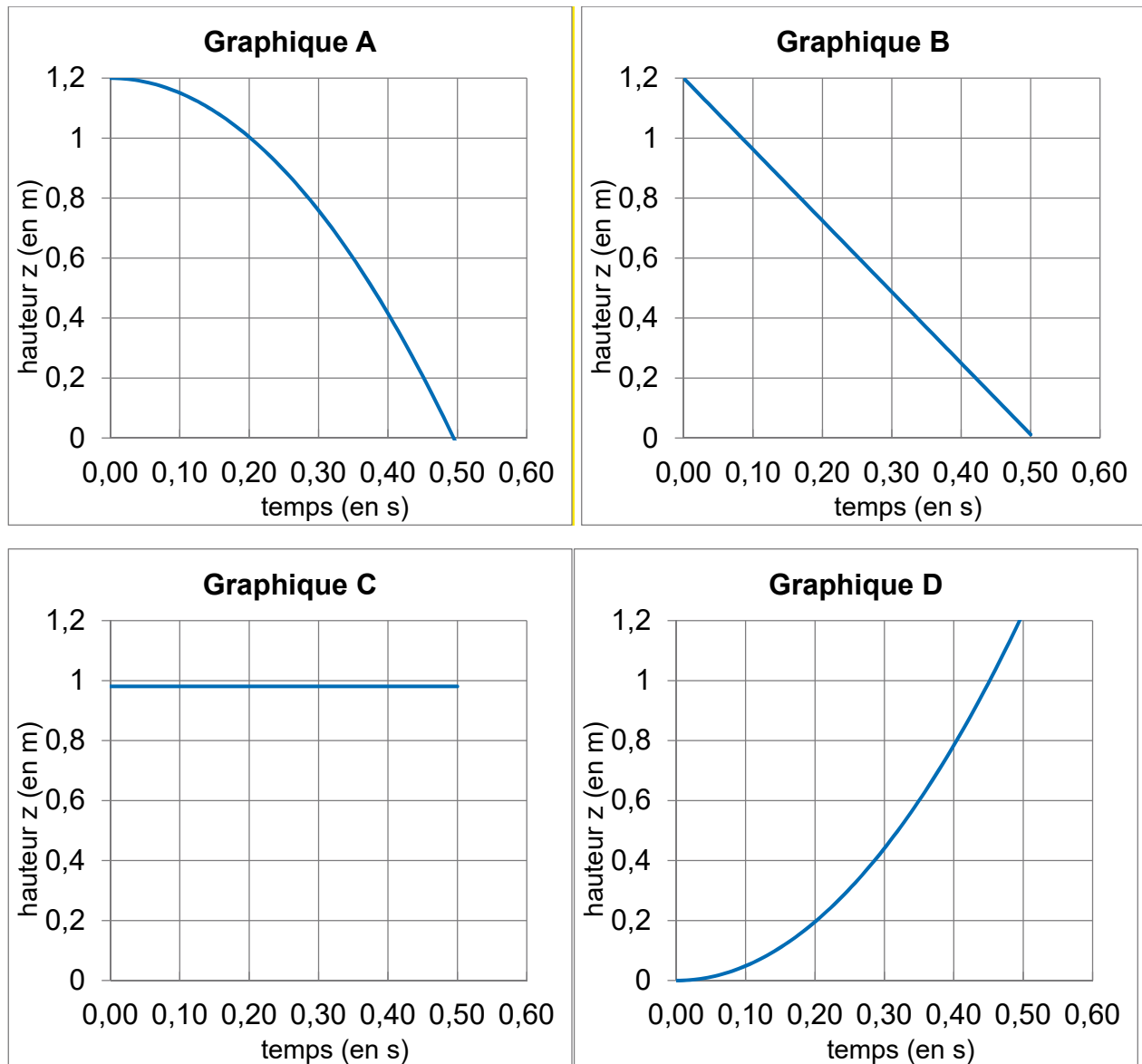
Un téléphone est posé sur le bord d'une table. Une personne le fait tomber par inadvertance. La surface de la table est à une hauteur $h_0 = 1,20 \text{ m}$ du sol.

On réalise l'étude dans le référentiel terrestre supposé galiléen et on choisit le repère suivant :



Q1. Établir l'expression de l'évolution de la hauteur par rapport au sol $z(t)$ du téléphone en fonction du temps. On se place dans le cadre du modèle de la chute libre et on suppose la vitesse initiale nulle. On choisit comme origine du temps le moment où le téléphone ne touche plus la table.

Q2. Parmi les propositions graphiques ci-dessous, déterminer celle qui correspond à la représentation graphique de la hauteur $z(t)$ du téléphone lors de sa chute au cours du temps. Justifier.



Q3. Déterminer par le calcul la valeur de la durée de chute t_c . Comparer cette valeur à la durée de chute obtenue graphiquement. L'amortisseur a-t-il eu le temps de se déployer ?

Q4. Déterminer comment aurait évolué la valeur de la durée de chute si le téléphone était tombé avec une vitesse initiale horizontale $\vec{v}_0$ non nulle. Justifier.

Q5. Déterminer la valeur de la hauteur de chute minimale en dessous de laquelle le dispositif ADCase ne se déclenchera pas en supposant la vitesse initiale nulle. Commenter.

On s'intéresse désormais aux aspects énergétiques de la situation.

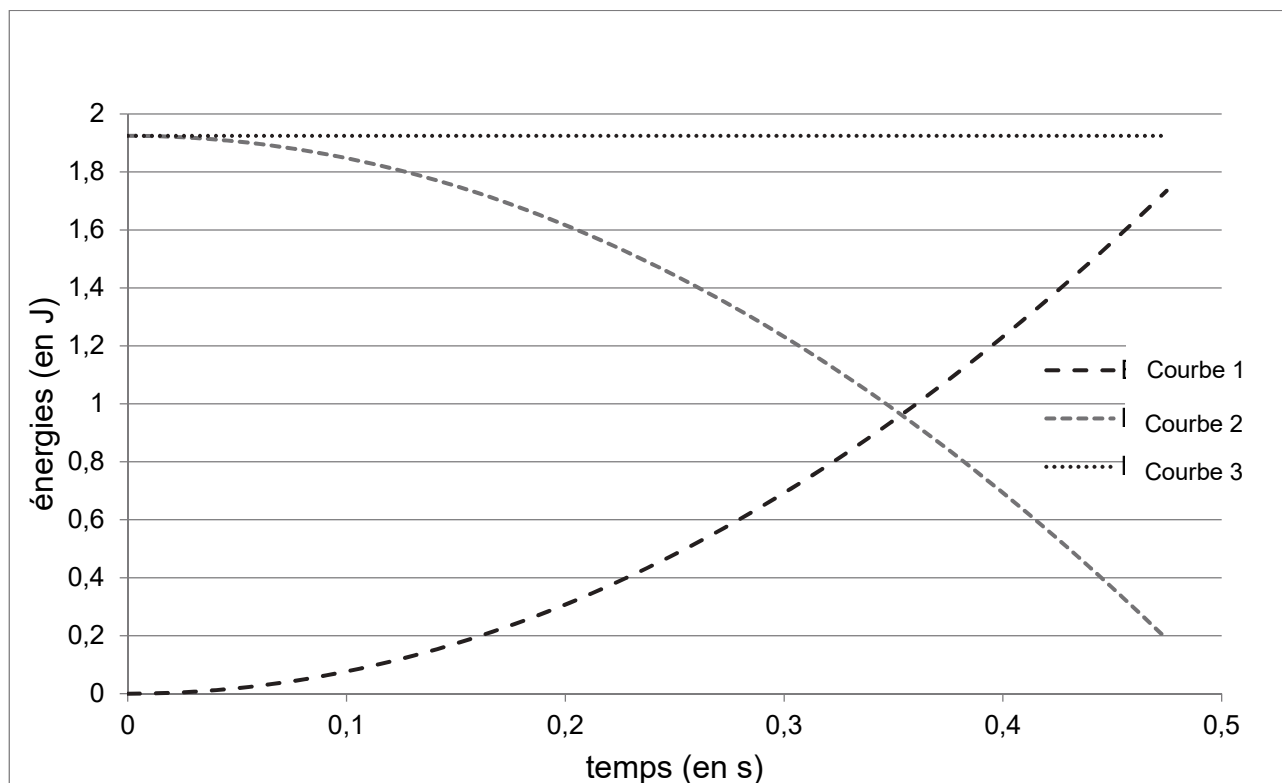


Figure 1. Simulation numérique de l'évolution des différentes énergies associées à la chute d'un téléphone protégé par la coque ADCase dans le cadre du modèle de la chute libre

Q5. Associer les courbes 1, 2 et 3 aux différentes grandeurs énergétiques : énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur et énergie mécanique. Justifier.

Q6. Retrouver par le calcul la valeur de l'énergie mécanique obtenue graphiquement.

Après plusieurs rebonds, le système s'immobilise au sol.

Q7. Proposer une allure de la courbe représentant l'évolution de l'énergie mécanique au cours du temps. Justifier.

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

EXERCICE C – Nuisances sonores au restaurant (10 points)

Mots-clés : niveau d'intensité sonore ; intensité sonore ; atténuation géométrique.

D'après l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), « le bruit constitue une nuisance majeure dans le milieu professionnel. Il peut provoquer des surdités mais aussi stress et fatigue qui, à la longue, ont des conséquences sur la santé du salarié et la qualité de son travail. »

Cet exercice porte sur une étude acoustique d'un restaurant d'entreprise. On souhaite réaliser un diagnostic acoustique de la salle, afin de déterminer s'il est nécessaire de mettre en place des actions de lutte contre les nuisances sonores.

Présentation de la situation d'étude

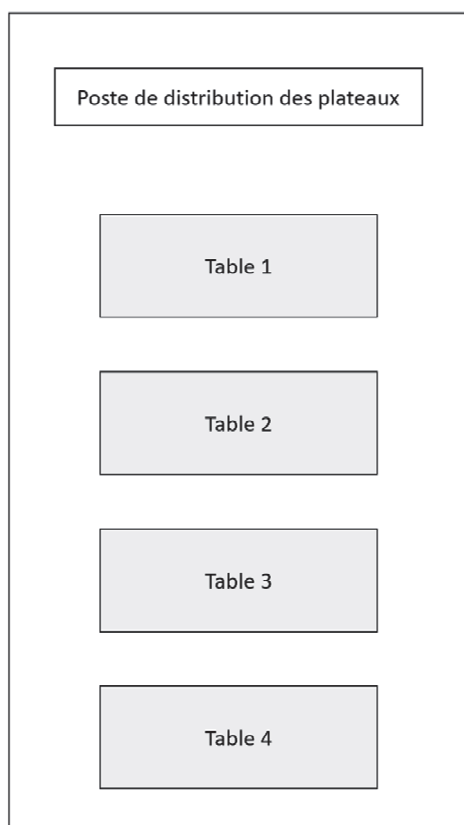


Figure1. Plan du restaurant

Lors d'un repas, les employés du restaurant se trouvent au poste de distribution des plateaux. Les personnes qui se restaurent sont accueillies sur 4 tables avec chacune 16 places.

On mesure la distance entre le poste de distribution des plateaux et le centre de chacune des tables :

Table 1	Table 2	Table 3	Table 4
$d_1 = 8,0 \text{ m}$	$d_2 = 12 \text{ m}$	$d_3 = 16 \text{ m}$	$d_4 = 20 \text{ m}$

En vue d'interroger l'effet des murs du restaurant, on réalise une expérience préliminaire en extérieur, loin de tout obstacle : 16 personnes sont réunies et discutent tandis que le niveau d'intensité sonore est mesuré à une distance $d_1 = 8,0 \text{ m}$. On obtient $L = 53 \text{ dB}$.

Dans la suite de l'exercice, on s'intéresse à ce qui se passe dans le restaurant.

Données :

- seuil d'audibilité pris comme l'intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- dans le cadre du modèle d'atténuation géométrique de l'intensité sonore (source sonore qui émet de la même manière dans toutes les directions), on a la relation :

$$I = \frac{P}{4 \pi r^2} ;$$

avec I , l'intensité sonore mesurée à la distance r de la source et P la puissance sonore de la source.

- échelle simplifiée des nuisances en fonction du niveau d'intensité sonore (les seuils dépendent en fait de la fréquence et de la durée du bruit) :

L	0 dB	40 dB	60 dB	80 dB	90 dB	120 dB
Sensation	Seuil d'audibilité	Bruit calme	Bruit gênant	Bruit très gênant	Seuil de danger	Seuil de douleur

On considère dans un premier temps que seule la table 1 est totalement occupée tandis que les autres tables sont vides. On définit I_1 , l'intensité sonore reçue au niveau du poste de distribution des plateaux dans cette situation et L_1 , le niveau d'intensité sonore correspondant.

Dans un premier temps on ne prend pas en compte l'influence de la présence des murs et du plafond (questions Q1 à Q4).

Q1. En s'appuyant sur les mesures réalisées lors de l'expérience préliminaire en extérieur, déterminer la valeur attendue de l'intensité sonore I_1 .

Q2. Dans le cadre du modèle d'atténuation géométrique et au moyen d'une approche énergétique, expliquer qualitativement à l'aide d'un schéma l'emploi du terme « géométrique » pour rendre compte de la baisse d'intensité sonore avec la distance à la source.

Q3. En déduire la valeur de l'intensité sonore I_2 reçue au poste de distribution lorsque la table 2 est la seule à être totalement occupée, les autres tables étant vides.

Les mêmes calculs menés pour les tables 3 et 4 conduisent aux valeurs suivantes :

$$I_3 = 0,50 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ et } I_4 = 0,32 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

Q4. Déterminer la valeur du niveau d'intensité sonore total L_{tot} qu'on peut attendre dans le cadre de ce modèle au niveau du poste de distribution lorsque les quatre tables sont occupées. Commenter.

On mesure désormais le niveau d'intensité sonore au poste de distribution des plateaux lorsque les quatre tables sont totalement occupées par les usagers. On obtient la valeur expérimentale $L_{tot,exp} = 64 \text{ dB}$.

Q5. Commenter cette valeur au regard des nuisances sonores. Proposer une explication quant à la différence entre L_{tot} et $L_{tot,exp}$ en considérant que la puissance sonore de chaque table est la même qu'en extérieur (expérience préliminaire).

On décide de faire installer des panneaux en mousse sur les murs et le plafond afin de lutter contre les nuisances sonores. Après quelques recherches, l'équipe technique identifie les deux panneaux ci-après.

En % de la puissance acoustique incidente	Panneau 1			Panneau 2		
	BF ¹	MF ²	HF ³	BF ¹	MF ²	HF ³
Transmission	70	50	25	80	30	20
Absorption	20	30	60	10	40	70
Réflexion	10	20	15	10	30	10
Épaisseur	50 mm			30 mm		
Masse pour 5 m ²	25 kg			15 kg		
Prix pour 5 m ²	350 €			100 €		
Inflammabilité	Peu inflammable			Pas inflammable		

¹ BF : basses fréquences, de 100 Hz à 400 Hz

² MF : moyennes fréquences, de 400 Hz à 2 kHz

³ HF : hautes fréquences, de 2 kHz à 10 kHz

Figure 2. Tableau réalisé sur la base d'une notice technique commerciale pour panneaux en mousse isolants. Lecture : avec le panneau 1 et pour une onde incidente de basse fréquence, 70 % de la puissance acoustique traverse le panneau, 20 % est absorbée par le panneau et 10 % est réfléchi par le panneau.

Q6. Déterminer le panneau le plus adapté pour protéger les employés de la cuisine des risques liés aux nuisances sonores. Justifier.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 26 pages numérotées de 1/26 à 26/26.

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 : le document réponse DR1 (pages 18)
est à rendre avec la copie.**

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot du port à sec de Lorient



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 17
- Document réponse page 18

Le document réponse DR1 (page 18) est à rendre avec la copie.

Le candidat devra traiter obligatoirement la sous-partie 1.

Puis, il devra choisir et traiter l'un des deux choix suivants :

- la sous-partie 2 (choix A), questions Q1.13 à Q1.18
- la sous-partie 2 (choix B), questions Q1.19 à Q1.24

Partie 1 - sciences de l'ingénieur

Robot du port à sec de Lorient

Le pays de Lorient en Bretagne sud dispose de nombreux atouts en matière de nautisme avec son bassin de navigation attractif toujours accessible, une concentration de compétences avec de nombreux professionnels reconnus de la filière aussi bien dans le domaine de la voile sportive que de la plaisance.

Pour accompagner le fort développement de la pratique du nautisme sur des bateaux à moteur sur le bassin Lorientais, l'organisme de gestion des ports de Lorient a ouvert en 2014 le premier port à sec couvert et semi automatisé de France sur le site de l'ancienne base de sous-marins construite pendant la seconde guerre mondiale (figure 1).



Figure 1 : mise en situation du port à sec.

L'enjeu pour l'agglomération de Lorient était double : donner une nouvelle vie à ces énormes bunkers de béton indestructibles et augmenter la capacité d'accueil des ports de plaisance actuellement saturés.

Pour ce projet, deux alvéoles (figure 2) qui servaient de zones de maintenance pour les sous-marins allemands sont réinvesties.



Figure 2 : entrées alvéoles.

280 bateaux à moteur (longueur maximale de 7,50 m et masse maximale de 2 tonnes) y sont stockés sur 4 niveaux sur des racks.

À l'intérieur de chaque alvéole, la gestion de la mise en place des bateaux sur leurs emplacements de stockage est confiée à un robot, conçu et réalisé par une société Normande ACG (figure 3).



Figure 3 : structure du robot.



Les bateaux sont pris en charge ou déposés sur un ber de transition à l'entrée de l'alvéole (figure 4). C'est un opérateur portuaire qui fait transiter le bateau jusqu'aux pontons via une cale de mise à l'eau protégée offrant 120 m de linéaire de ponton qui permet aux bateaux qui sont sortis du port à sec d'être stockés à l'abri.

Figure 4 : phase de transition.

Sous-partie 1 – obligatoire

Contexte d'utilisation et de communication

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser la nécessité d'utiliser un robot pour la mise en place des bateaux et de vérifier que celui-ci communique de façon adaptée avec son environnement.

Nécessité d'utiliser un robot

Question 1.1 Dans le diagramme des exigences de la figure 5 (ci-après), **identifier** le critère qui justifie l'emploi d'un robot avec une cinématique complexe (mouvements combinés).

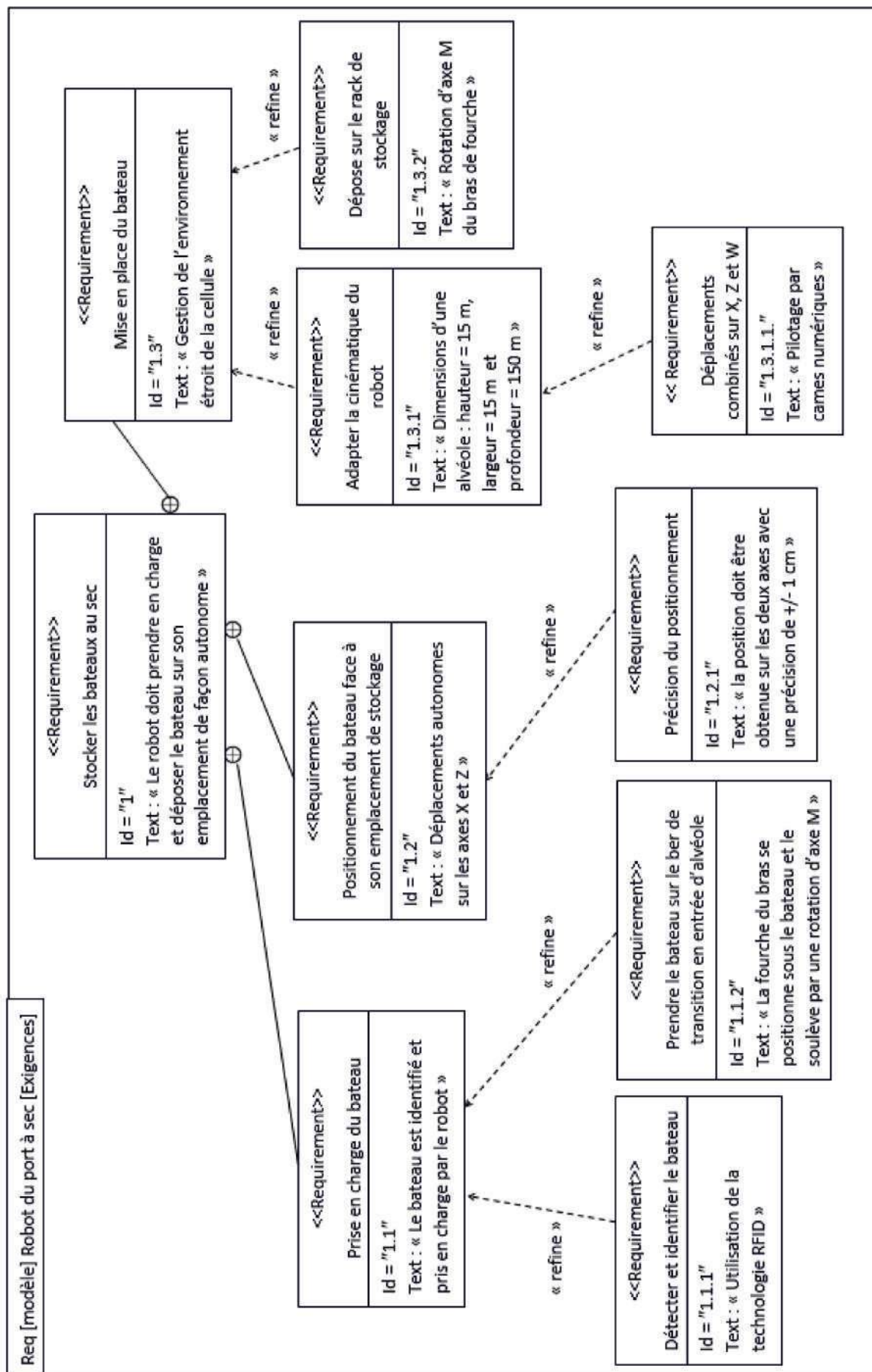


Figure 5 : diagramme des exigences (modélisation fonctionnelle).

La figure 6 détaille les mouvements mis en œuvre par le robot pour préparer la mise à l'eau d'un bateau stocké dans un rack.

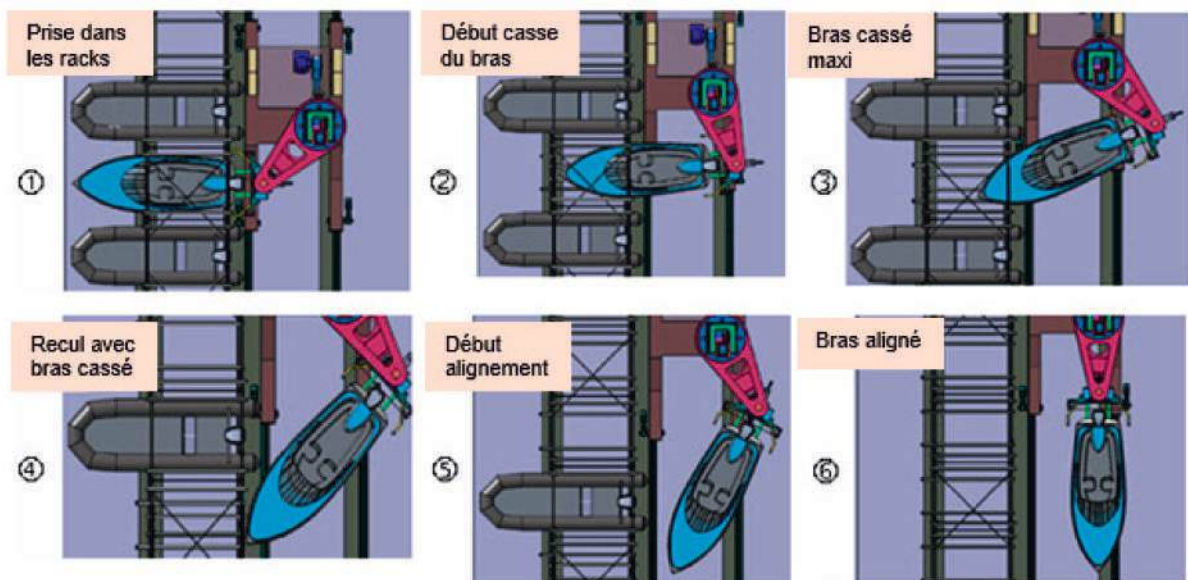
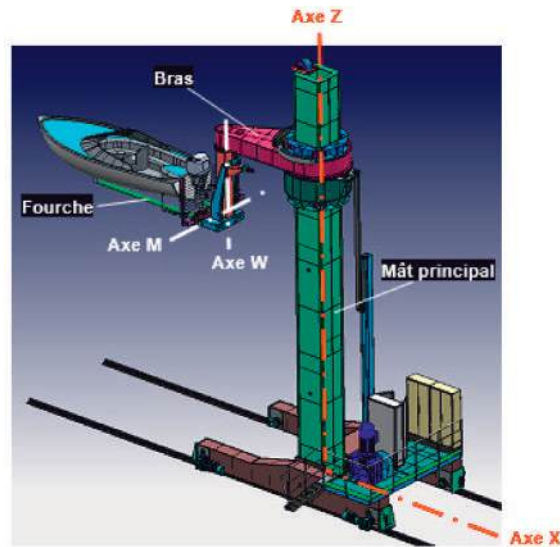


Figure 6 : mouvements pilotés par la came numérique lors d'une prise de bateau.

Question 1.2 À partir de la figure 6 et du diagramme des exigences (figure 5), **nommer** les différents mouvements (translation/rotation en précisant l'axe du mouvement) nécessaires à la pose, ou la dépose, d'un bateau sur son rack.

Question 1.3 **Conclure** en expliquant l'intérêt d'un port à sec et la nécessité de l'utilisation d'un robot dans le cadre particulier du site de Lorient.

Communication entre le bureau du port à sec et les deux alvéoles.

Les alvéoles de la base des sous-marins sont nommées NEF. Deux NEF sont utilisées par le port à sec : NEF 7 et NEF 8.

Le plan d'adressage IP partiel entre le bureau du port et une des deux NEF est illustré figure 7.

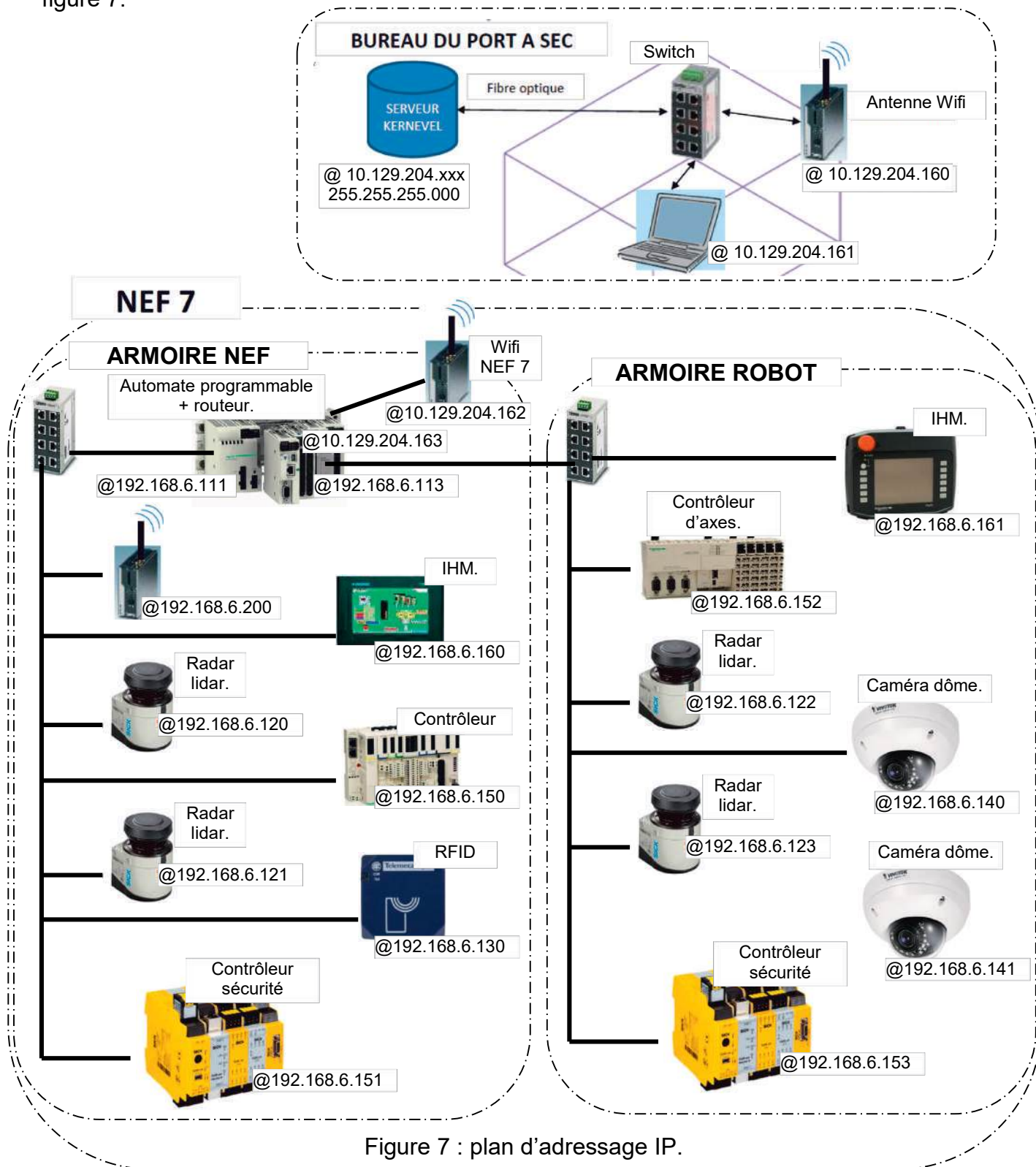


Figure 7 : plan d'adressage IP.

Dans le sous-réseau NEF 7, les trois premiers octets de l'adresse IP constituent l'adresse du réseau (Net ID). Le dernier octet permet d'adresser les hôtes. Il est rappelé que, pour ce type de réseau, deux adresses d'hôtes sont réservées.

Question 1.4 Vérifier par le calcul que ce type de réseau est compatible avec le nombre d'équipements de la NEF 7.

Le plan d'adressage de la seconde alvéole, NEF 8, reprend globalement le plan d'adressage de la NEF 7. Seules deux adresses sont à changer.

Question 1.5 Indiquer les deux seules adresses IP à changer pour le plan d'adressage de la NEF 8 et **proposer** une solution.

Identification d'un bateau par RFID.

RFID (Radio Frequency IDentification) est une technologie de communication M2M (Machine to Machine). Elle permet, grâce à un lecteur distant émettant des ondes radio, d'identifier chaque bateau sur lequel est disposé un « tag RFID ». Ce tag contient l'immatriculation du bateau qui ensuite, grâce à une base de données, donne les informations utiles au robot pour ses déplacements.

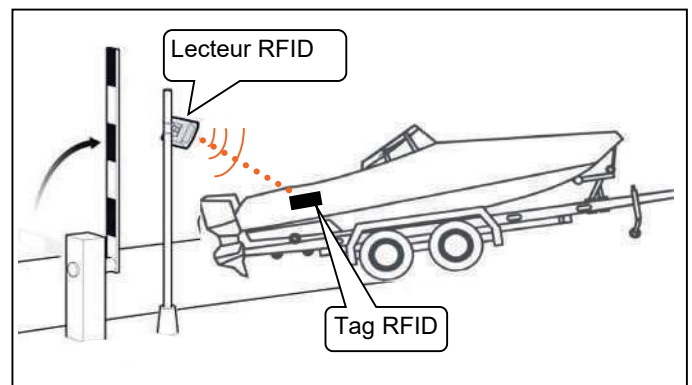


Figure 8 : implantation du lecteur RFID.

La trame complète comporte 10 caractères de données encadrés d'un octet de « start » et d'un octet de « stop ».

Octet start	Caract 1	Caract 2	Caract 3	Caract 4	Caract 5	Caract 6	Caract 7	Caract 8	Caract 9	Caract 10	Octet stop
\$0A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\$0D

- Les caractères 1 à 8 : immatriculation du bateau codée en hexadécimal.
(une immatriculation de bateau est composée 8 caractères alphanumériques dont les 2 premiers sont les initiales du quartier d'immatriculation).
- Le caractère 9 : type de bateau (1 pour rigide, 2 pour semi-rigide).
- Le caractère 10 : masse du bateau en dizaines de kg.

La figure 9 représente l'acquisition avec un oscilloscope des 3 premiers octets :

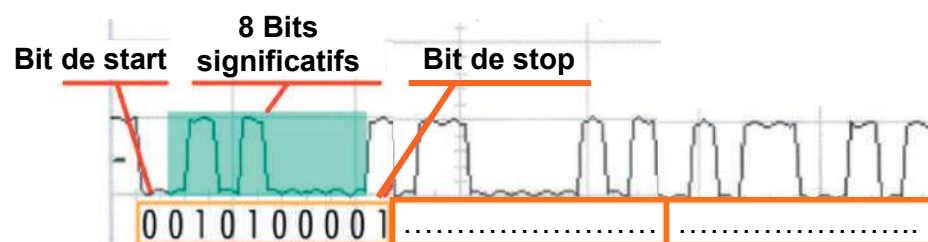


Figure 9 : acquisition des 3 premiers octets.

Pour décoder un octet, les 8 bits significatifs sont extraits (pour l'octet 1 : 0101 0000), puis, comme ici c'est le LSB qui arrive en premier, l'ordre est inversé (pour l'octet , cela donne : 0000 1010) ensuite vient la conversion en hexadécimal (pour l'octet 1 : 0A) et avec la table ASCII, le caractère transmis peut être obtenu (pour l'octet 1 : LF).

Code ASCII

Poids faible de l'octet

	*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
Poids fort de l'octet	0	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	TAB	LF	VT	FF	CR	SO	SI
1	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US	
2		!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?	
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_	
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~		

Exemple d'utilisation du code ASCII :
un octet de valeur hexadécimale 62 correspond au caractère « b »

Figure 10 : table ASCII.

- BI : Bastia
- BL : Boulogne-sur-Mer
- BR : Brest
- BX : Bordeaux
- CC : Concarneau
- CH : Cherbourg
- CM : Camaret
- CN : Caen
- CY : Cayenne
- DP : Dieppe

Figure 11 : extrait de la table des initiales des quartiers d'immatriculation.

Question 1.6 **Décoder** les octets 2 et 3 de la trame illustrée figure 9. **En déduire**, d'après la figure 11, le quartier d'immatriculation du bateau.

Il existe trois technologies de RFID telles qu'illustrées figure 12.

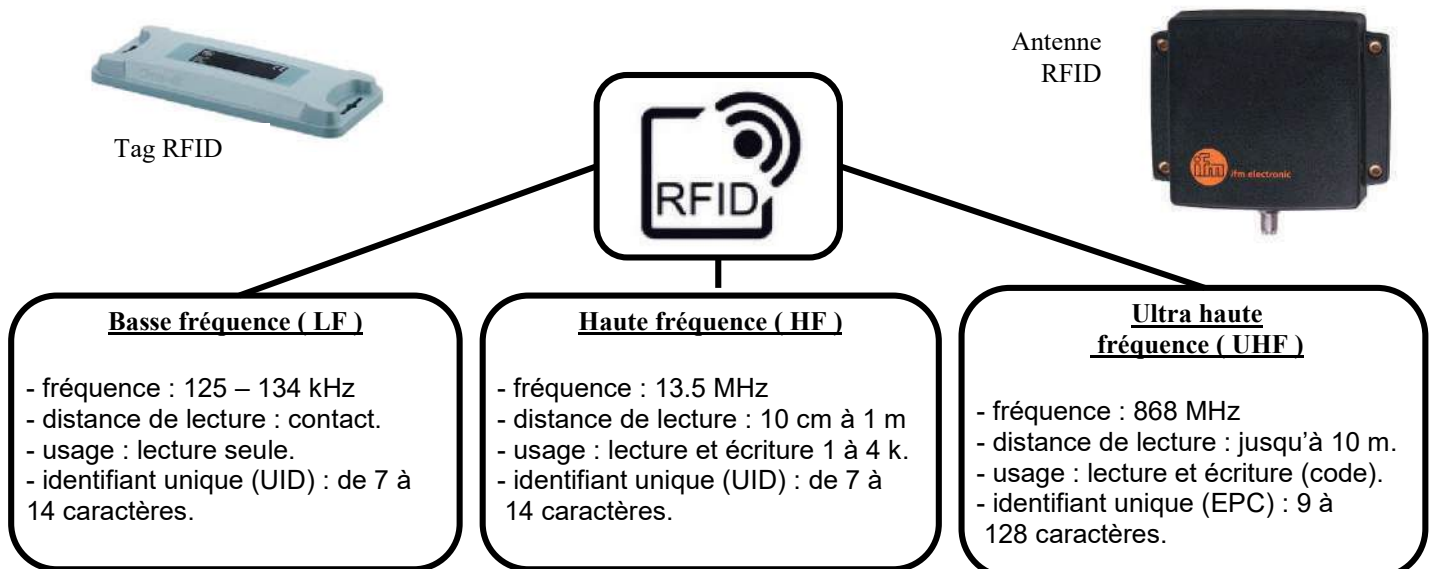


Figure 12 : les différentes technologies RFID.

Question 1.7 **Choisir** la technologie adaptée pour le robot du port à sec. **Justifier** la réponse.

Le programme de réception de la trame scrute en permanence la liaison série à la recherche de l'octet de début de trame (\$0A). Quand il le trouve, il lit et enregistre les

dix octets suivants dans un tableau de données. Puis il vérifie que le 11^{ème} octet lu est bien l'octet de "stop".

Question 1.8 **Compléter** l'algorithme de réception et de test d'une trame sur le document réponse DR1 (zones à remplir repérées en pointillés). La lecture et la mémorisation des octets doivent être deux instructions distinctes.

Pilotage automatisé du robot.

Le codeur absolu multitours permet d'acquérir la position du robot sur l'axe X. Il est entraîné par une poulie et une courroie crantée fixée à chaque extrémité (figure 13).

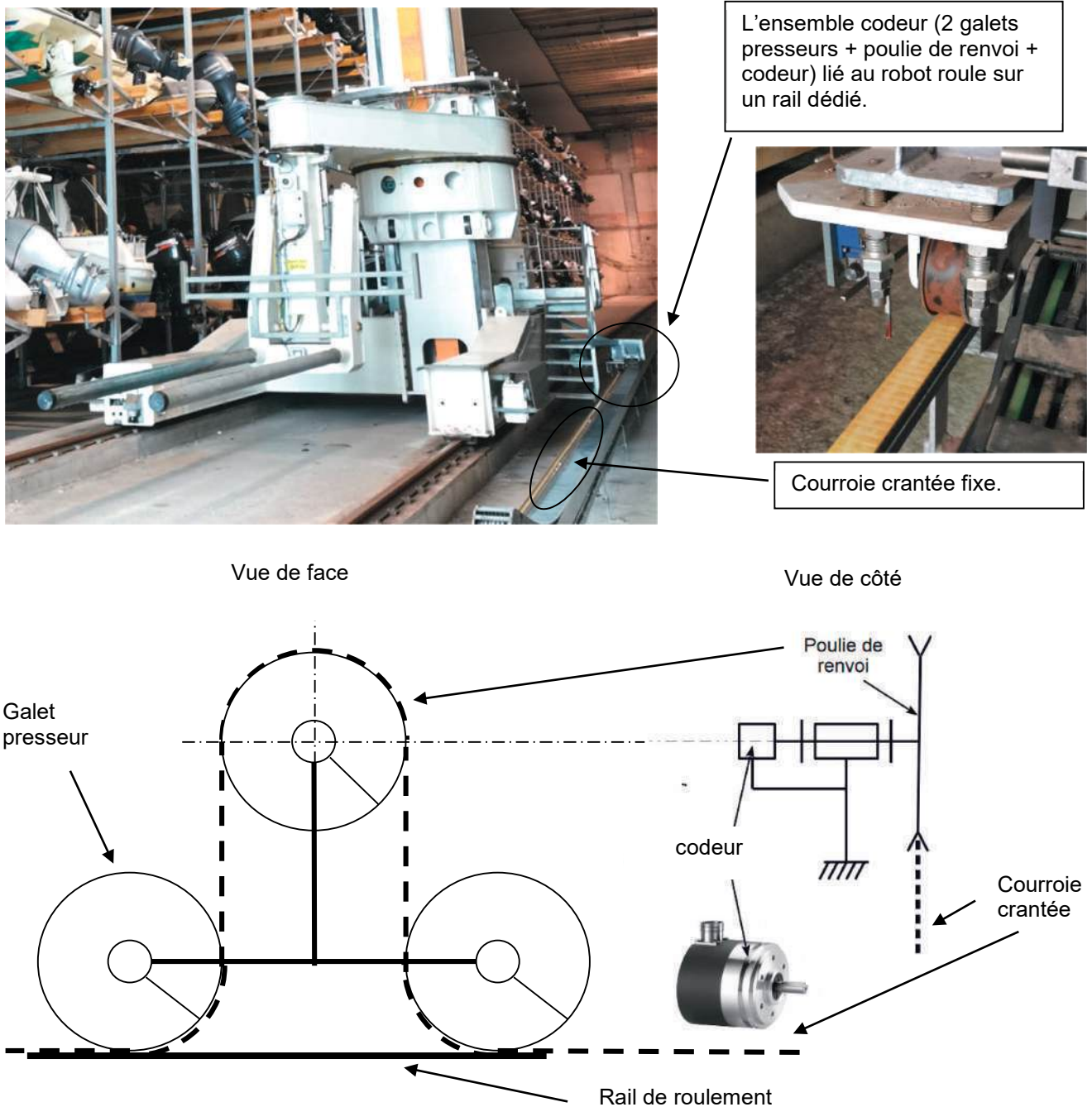


Figure 13 : implantation du codeur absolu multi-tours.

Les données de l'étude sont :

- le diamètre primitif de la poulie de renvoi est $D = 10 \text{ cm}$;
- la course totale du robot est de 110 m ;
- le cahier des charges impose une précision de positionnement à $\pm 1 \text{ cm}$;
- dans l'automatisme, tous les calculs de position se font en millimètres ;
- le codeur absolu multitours renvoie un nombre N_a , image de la position angulaire de son axe sur un format de 14 bits ;
- le nombre de tours effectués par le codeur absolu autour de son axe est noté N_t , il est exprimé sur 12 bits.

Question 1.9 **Calculer** en centimètres la distance parcourue par le robot lorsque le codeur tourne d'un tour. **Vérifier** que la résolution (plus petit déplacement mesurable) du codeur est très largement suffisante.

Question 1.10 **Calculer** le nombre de tours effectués par l'axe du codeur lors d'un trajet complet du robot. **Vérifier** que l'étendue de mesure du codeur est suffisante.

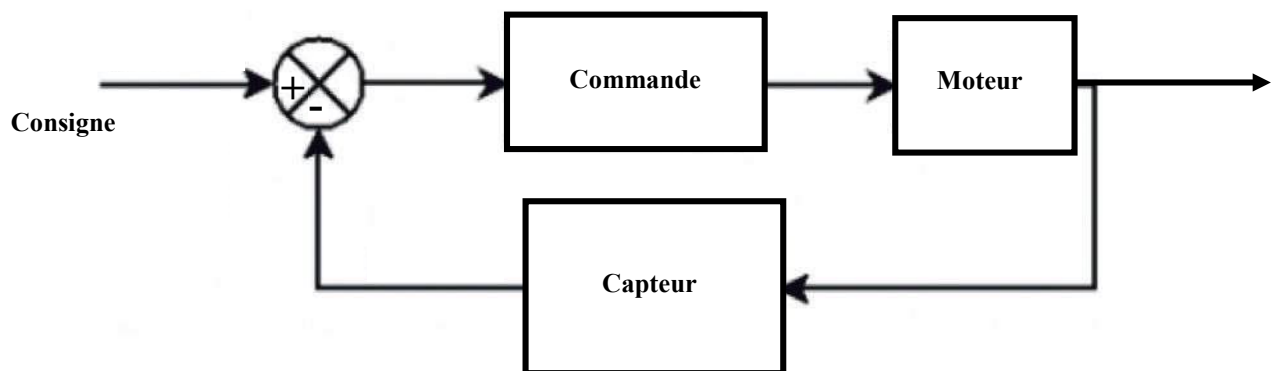


Figure 14 : schéma de la commande de l'axe X.

Question 1.11 À partir de la figure 14, **préciser** la nature de la consigne (position, vitesse ou accélération) et du capteur associé à la boucle d'asservissement. **Justifier** la nécessité ici d'un asservissement.

Question 1.12 **Conclure** en résumant en quoi les solutions d'acquisition et de communication du robot sont adaptées au besoin.

Sous-partie 2 – choix A

Une cinématique adaptée et contrôlée

L'objectif de cette sous-partie est de préciser pourquoi et comment optimiser la loi de vitesse de l'axe de translation horizontal $\vec{X}$.

Le déplacement du robot selon l'axe horizontal $\vec{X}$ est assuré par quatre roues. Chaque roue est commandée indépendamment par une chaîne de puissance. La figure 15 illustre une de ces chaînes de puissance.

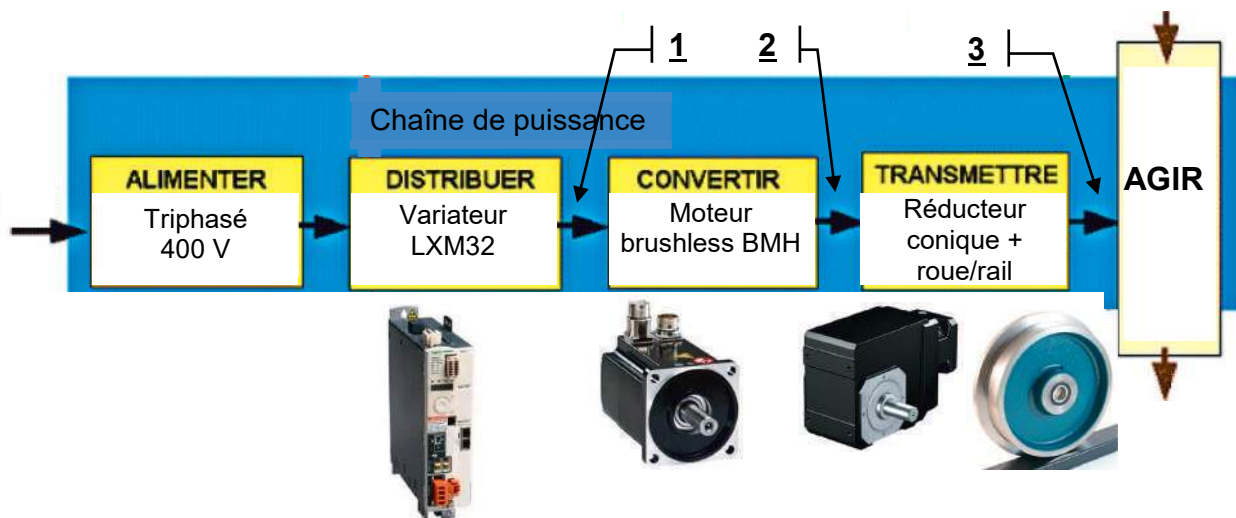


Figure 15 : chaîne de puissance axe $\vec{X}$.

Les données des constituants de la chaîne de puissance sont :

- les grandeurs nominales du moteur brushless BMH sont $N_{\text{mot}} = 1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, $C_{\text{mot}} = 36 \text{ N} \cdot \text{m}$ et $P_{\text{mot}} = 5,7 \text{ kW}$;
- les caractéristiques électriques du variateur LXM32 sont 400V, 10 A ;
- le réducteur conique a un rapport de réduction $r = 1/89$ et un rendement $\eta = 92\%$;
- le diamètre des roues est $D_{\text{roue}} = 60 \text{ cm}$;
- le coefficient d'adhérence roue / rail est $f = 0,15$.

Question 1.13 Préciser les grandeurs de flux et d'effort aux points 1, 2 et 3 (précisés sur la chaîne de puissance figure 15) avec leurs unités.

La loi de vitesse programmée par le constructeur est représentée sur le document réponse DR1.

Question 1.14 Sur le document réponse DR1, **compléter** la nature du mouvement dans chacune des trois phases.
DR1

Question 1.15 **Tracer** sur DR1 à main levée l'allure des graphes de position et d'accélération.
 DR1 **En déduire** la valeur de l'accélération sur la phase 1.

Un modèle multiphysique simplifié réalisé sur un moteur équivalent permet de visualiser la variation de vitesse en fonction de la tension d'alimentation. La figure 16 illustre le modèle utilisé et la figure 17 les résultats de simulation obtenus.

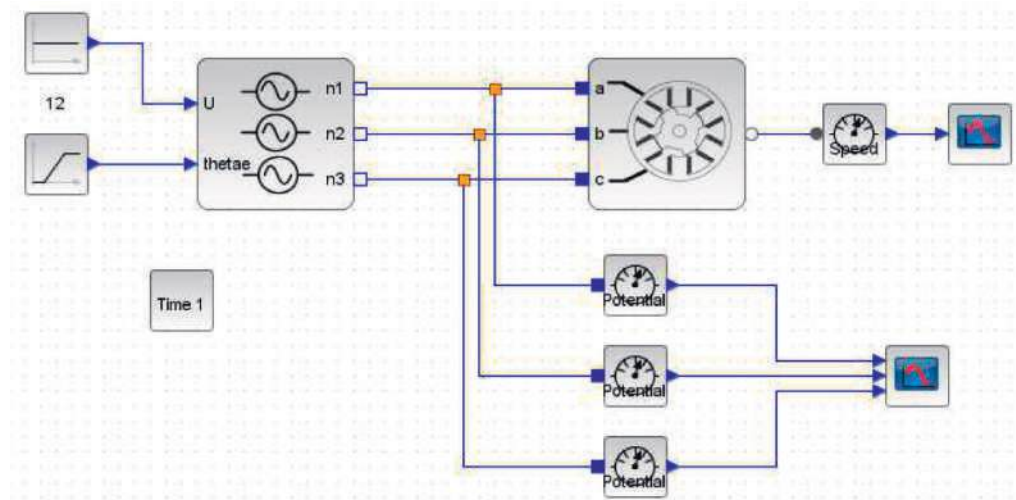


Figure 16 : modèle du moteur brushless.

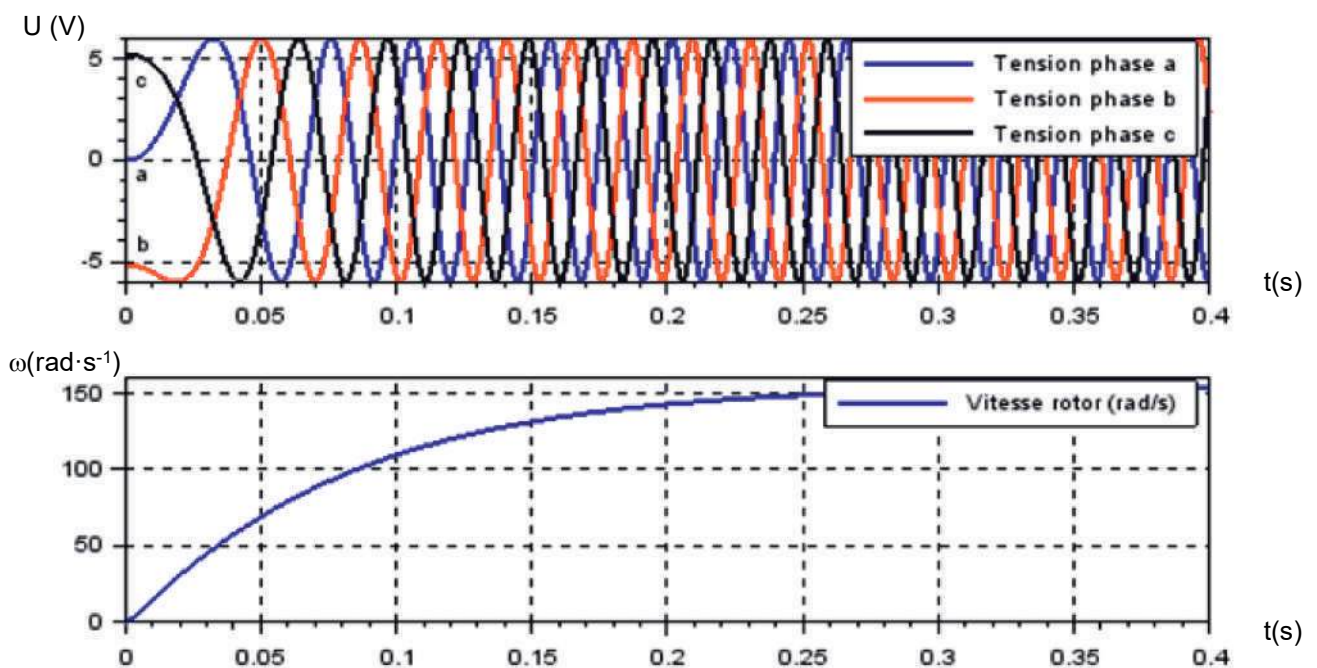


Figure 17 : résultats de la simulation.

Question 1.16 D'après les résultats de simulation (figure 17), **expliquer** sur quel paramètre de la tension d'alimentation il faut agir pour contrôler la vitesse de rotation du moteur.

On cherche maintenant à valider l'accélération choisie par le constructeur au regard du risque de patinage. Pour cela, il faut appliquer le principe fondamental de la dynamique au robot en phase d'accélération. L'étude est menée en utilisant la modélisation illustrée figure 18.

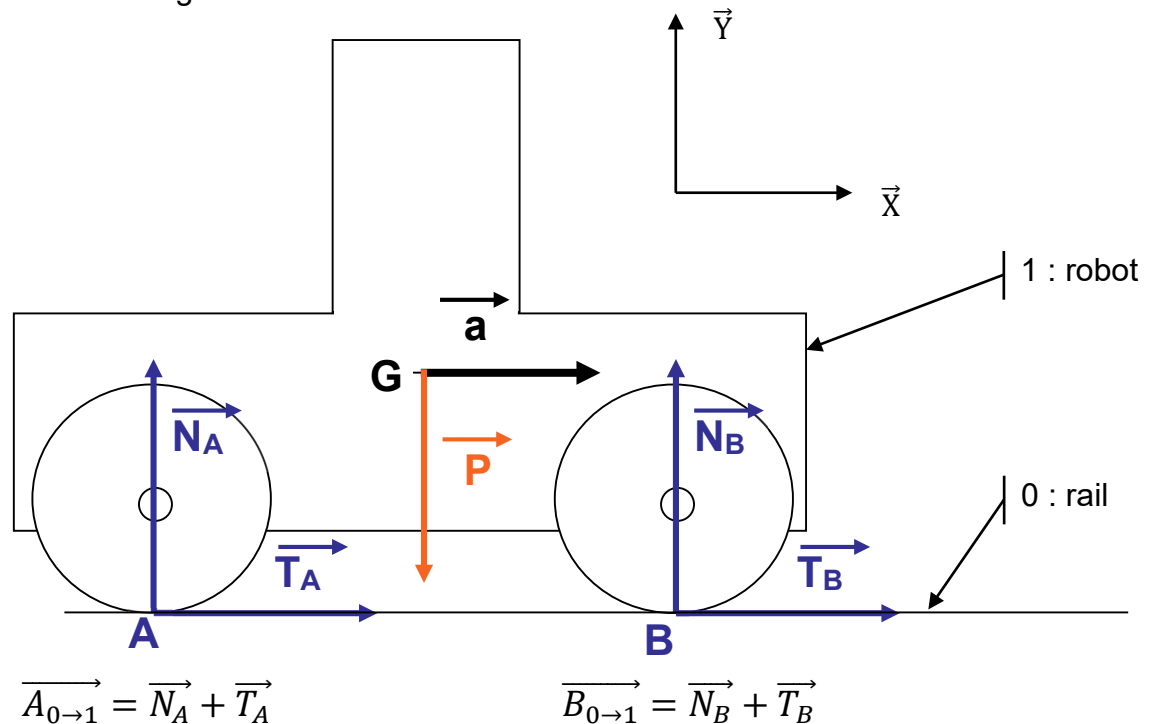


Figure 18 : modélisation du robot en phase d'accélération.

Les hypothèses et données de l'étude sont :

- le problème est ramené dans le plan $(\vec{X}, \vec{Y})$;
- m est la masse totale du robot en charge, $m = 32$ tonnes ;
- N_i est l'effort normal du rail exercé au point i sur la roue ;
- T_i est effort tangential du rail exercé au point i sur la roue ;
- il y a équiadhérence des roues avec le rail ;
- chaque roue est en limite d'adhérence avec le rail, on a donc $T_i = f \times N_i$;
- la résistance au roulement est négligée ;
- a est l'accélération du robot.

Question 1.17 **Écrire** les équations sur les axes $\vec{X}$ et $\vec{Y}$ issues du théorème de la résultante dynamique pour l'ensemble du robot isolé. **En déduire** l'accélération maximale avant patinage et **comparer** cette valeur à celle choisie par le constructeur calculée à la question 1.15.

Question 1.18 En conclusion, **résumer** pourquoi et comment le constructeur doit optimiser la loi de vitesse à programmer sur ce robot.

Sous-partie 2 – choix B

Prise en charge du bateau par le robot

L'objectif de cette sous-partie est de valider le choix de la motorisation pour le matage (rotation de la fourche du robot qui permet de décoller le bateau de la remorque de transport).

Une glissière motorisée par un système {moteur + vis/écrou} supporte deux blocs constitués de deux pentes à 20° (cames). Son déplacement en translation par rapport au mât de fourche pousse les deux galets de la fourche ce qui entraîne sa rotation autour de l'axe M (figure 20).

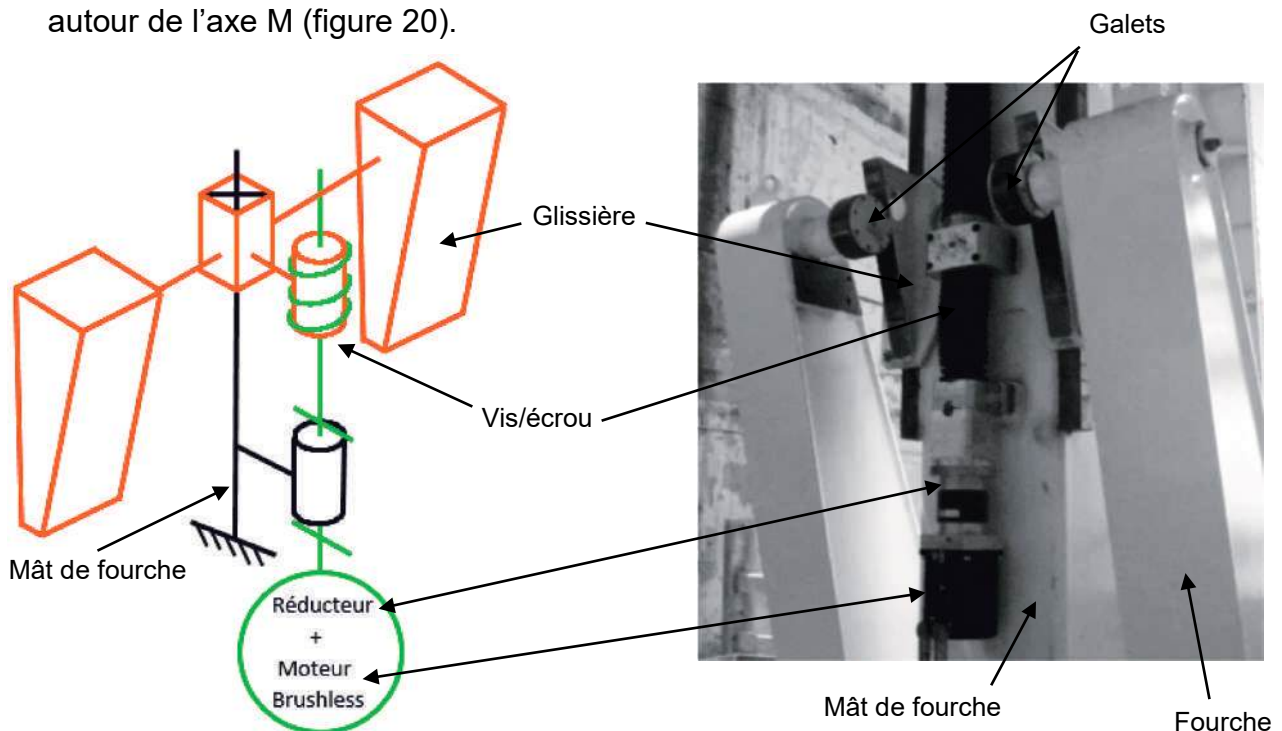


Figure 19 : schématisation de la chaîne d'énergie du matage.

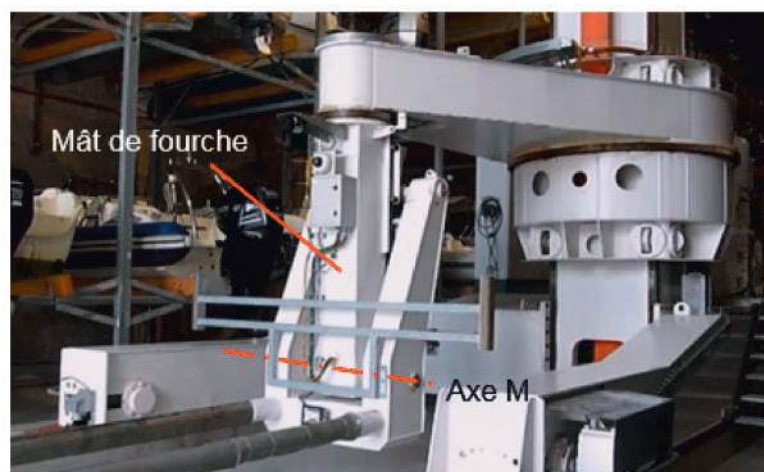


Figure 20 : structure de la fourche.

Les constituants de la chaîne de puissance de la fourche sont :

- un moteur brushless BMH dont les grandeurs nominales sont $N = 3000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, $P = 3500 \text{ W}$;
- un variateur LXM32 dont les caractéristiques électriques sont 400V, 10 A ;
- un réducteur planétaire GBX 120 dont le rapport de réduction est 1/12 et le rendement $\eta_{\text{red}} = 0,92$;
- un système vis-écrou à filet trapézoïdal dont le pas réel est $p = 20 \text{ mm}$ et le rendement $\eta_{\text{vis/écrou}} = 0,4$.

Calcul du déplacement de la glissière

La vitesse V de déplacement de la glissière par rapport au mât de fourche est définie par la loi trapézoïdale illustrée figure 21 :

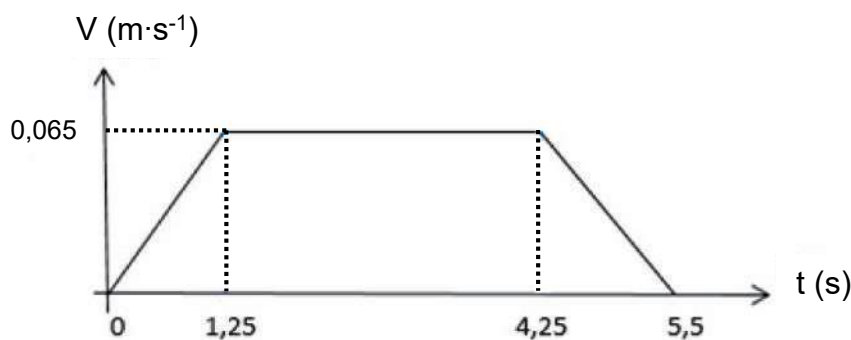


Figure 21 : évolution temporelle de la vitesse de déplacement de la glissière.

L'étude du mécanisme permet d'aboutir à la relation suivante :

$$N_{\text{vis}} = \frac{V}{p} \text{ avec}$$

N_{vis} : fréquence de rotation de la vis en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$
 V : vitesse de déplacement de la glissière en $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
 p : pas réel du système vis-écrou en mm

Question 1.19 Déterminer la fréquence de rotation de la vis correspondant à la vitesse de translation maximale de la glissière.

En déduire la fréquence de rotation du moteur en régime établi.

Question 1.20 Comparer ce résultat avec la caractéristique du moteur utilisé et **conclure** quant à la validité du choix effectué.

Les déplacements de la glissière sur les phases transitoires d'accélération et de décélération sont donnés : $\Delta Z_{\text{accél.}} = \Delta Z_{\text{décél.}} = 41 \text{ mm}$.

Le déplacement vertical de la glissière souhaité est d'au moins 25 cm pour permettre le décolllement du bateau de la remorque de transport.

Question 1.21 **Déterminer**, à l'aide de la figure 21, le déplacement $\Delta Z_{V_{\text{const.}}}$ de la glissière pendant la phase de déplacement à vitesse constante.
Déduire des résultats précédents le déplacement total de la glissière.

Question 1.22 **Conclure** quant à la capacité du mécanisme à assurer une élévation suffisante du bateau.

Calcul de la puissance utile en sortie du moteur

La masse maximale autorisée pour un bateau est de 2 tonnes. La masse de la fourche est négligée. L'accélération de la pesanteur vaut $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question 1.23 À l'aide de la figure 21, **déterminer** la puissance maximale, notée $P_{\text{élévation}}$, nécessaire pour l'élévation d'un bateau ayant une masse de 2 tonnes.

En déduire la puissance maximale requise en sortie du moteur, notée P_{moteur} , en considérant les différents rendements de la chaîne de puissance.

Question 1.24 **Comparer** ces résultats avec les caractéristiques du moteur utilisé et **conclure** quant à la validité du choix du moteur d'élévation effectué.

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

Question 1.8 – obligatoire

Début

Valider le lecteur de badge ;

Mettre la variable TEST à Faux ;

TANT QUE variable TEST = Faux :

Lire l'octet présent sur la liaison série ;

TANT QUE l'octet est :

Lire l'octet présent sur la liaison série ;

FIN de TANT QUE

Initialiser un tableau tableau_de_donnees ;

POUR $i = 0$ à par pas de 1 :

FAIRE

.....

.....

FIN de POUR

Lire l'octet présent sur la liaison série ;

SI l'octet est :

ALORS

Mettre la variable TEST à Vrai ;

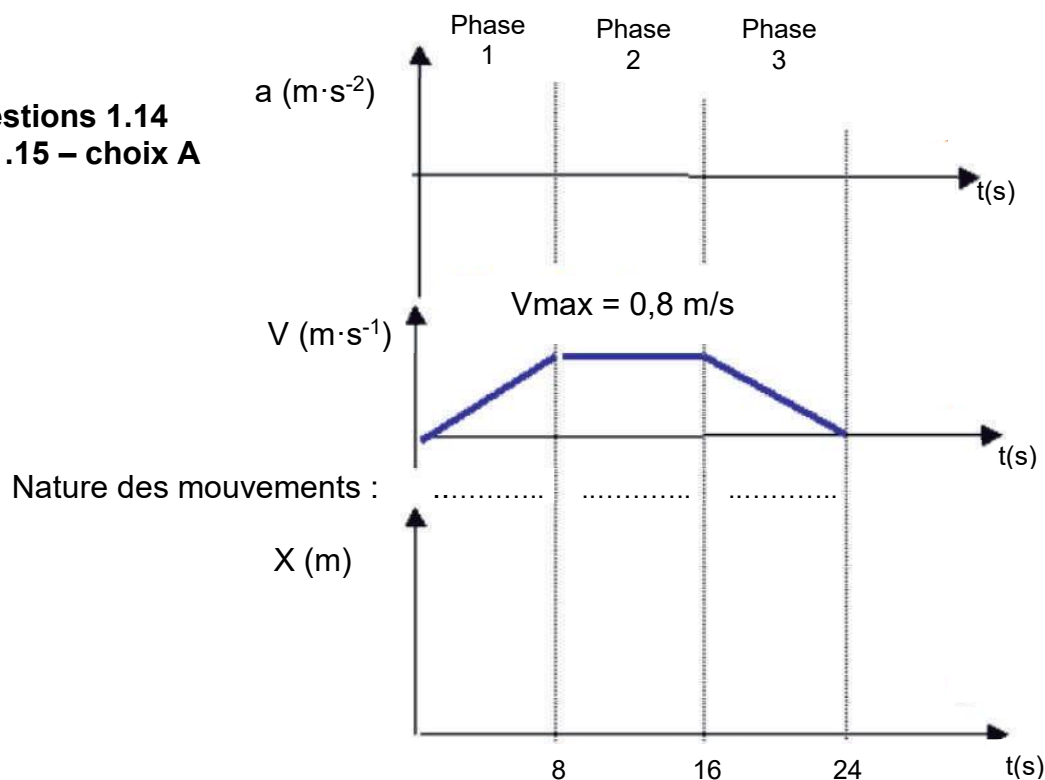
FIN de SI

FIN de TANT QUE

Dévalider le lecteur de badge ;

Retourner le tableau de données ;

Fin

Questions 1.14
et 1.15 – choix A

Nature des mouvements :

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)	
 Prénom(s) :	
Numéro Inscription :	
	Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Partie 2 : Sciences physiques

Vous traiterez deux exercices au choix parmi les trois proposés.

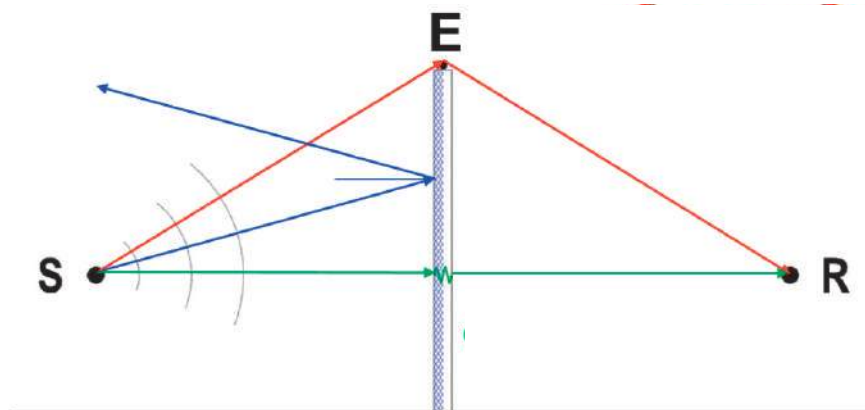
Vous indiquerez sur votre copie **les deux exercices choisis** : exercice A ou exercice B ou exercice C.

EXERCICE A – Installation d'un mur anti-bruit (10 points)

Mots-clés : intensité sonore ; niveau d'intensité sonore ; phénomènes ondulatoires.

Une route très passante vient d'être construite en bordure du terrain d'un particulier. Pour se prémunir des nuisances sonores, celui-ci, fait installer un mur anti-bruit le long de son terrain. Le mur anti-bruit limite la propagation des bruits en réfléchissant une partie de l'onde sonore émise par la source. Cependant, une partie de l'onde sonore atteint le récepteur, soit en passant au dessus du mur anti-bruit, soit en passant à travers le mur.

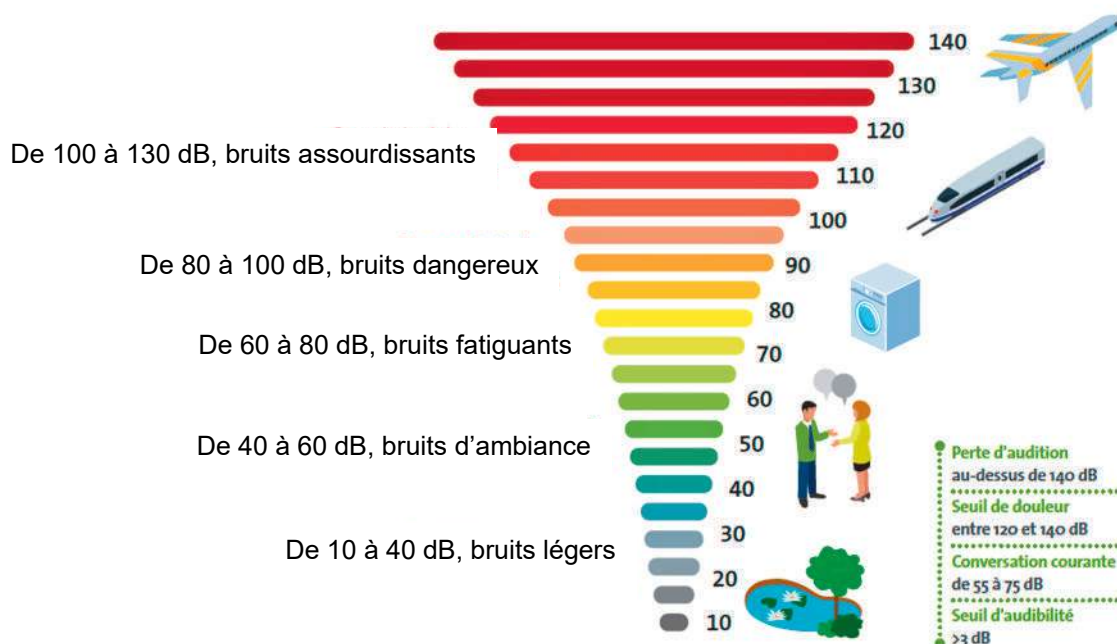
Description du phénomène



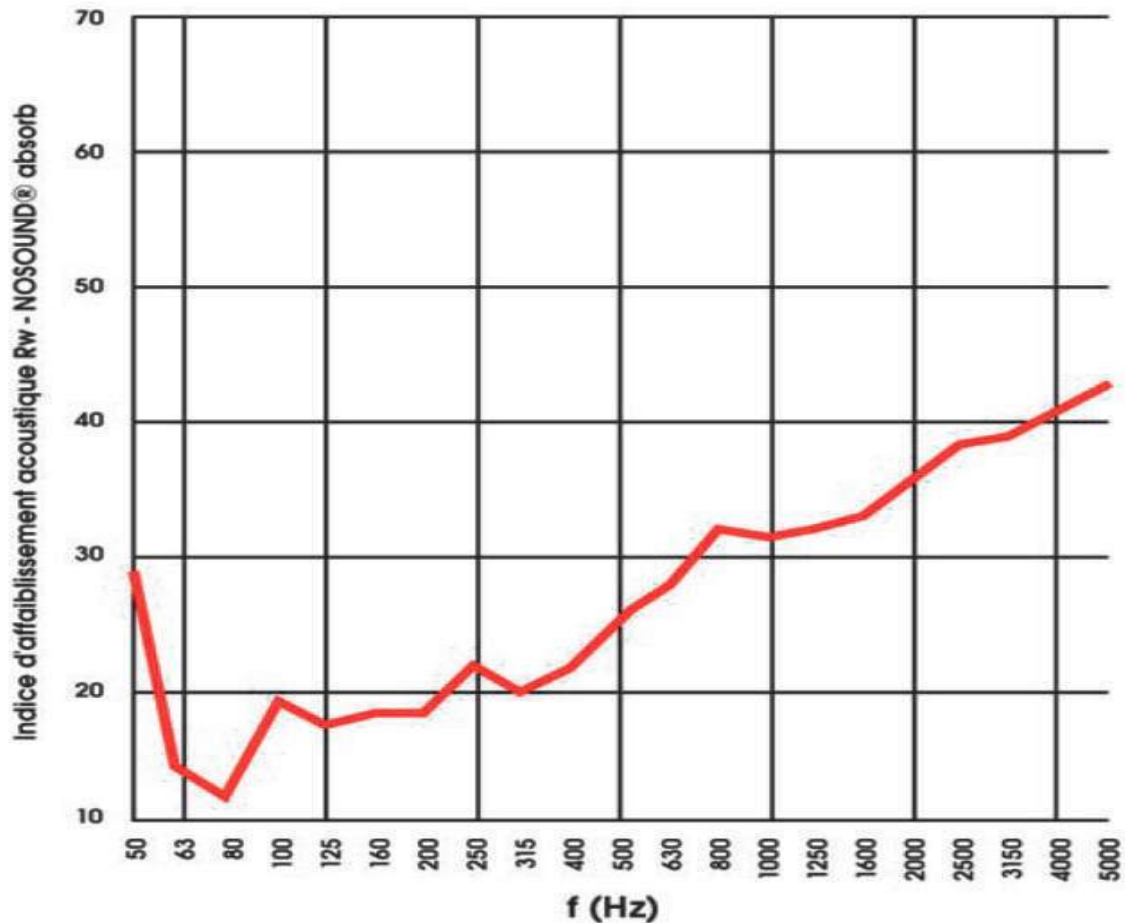
D'après environnement.brussels.

Repères de niveau d'intensité sonore

L'ÉCHELLE DE NIVEAU DE BRUIT



Indice d'affaiblissement acoustique du mur anti-bruit installé



D'après mur-silenzo.com

Données :

- niveau d'intensité sonore du bruit d'une voiture à 10 m : $L_1 = 57$ dB ;
- l'indice d'affaiblissement acoustique R_W est la différence entre les niveaux d'intensité sonore de part et d'autre d'une paroi.

Q1. En supposant qu'il y en permanence 8 voitures qui passent à chaque instant devant la propriété, montrer qu'en l'absence de mur anti-bruit, la valeur du niveau d'intensité sonore à 10 m de la route, notée L_V , vaut 66 dB.

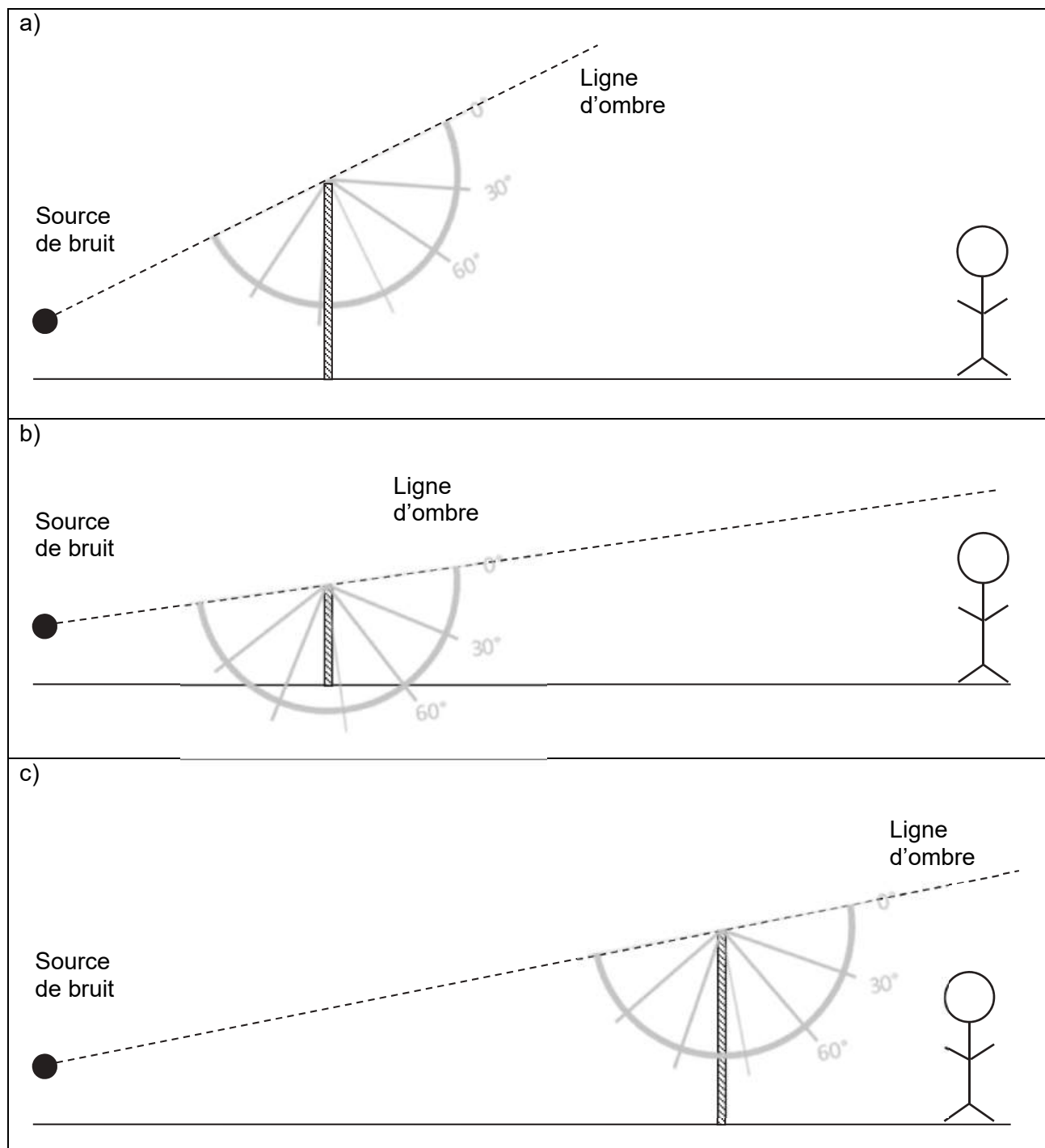
Q2. Commenter le résultat en termes de nuisances pour le particulier.

Différents scénarios sont envisagés pour l'installation du mur anti-bruit. Pour une protection efficace, la zone à protéger du bruit de la route doit être dans la zone d'ombre acoustique du mur anti-bruit. La zone d'ombre acoustique se situe sous la ligne joignant la source du bruit avec le sommet du mur anti-bruit et au-delà du mur.

On admet pour simplifier qu'une partie de l'onde sonore est déviée d'environ 30° en dessous de la ligne d'ombre lors de son passage au sommet du mur anti-bruit.

Q3. Expliquer qualitativement pourquoi l'onde sonore produite par la circulation et passant par le sommet du mur peut être perçue par le particulier dans son jardin. Nommer ce phénomène physique.

Q4. Parmi les propositions d'installation ci-dessous, déterminer celle qui permet la meilleure protection pour le particulier. Justifier.



Q5. Le mur anti-bruit est-il plus efficace s'il est proche de la source de bruit ou proche de la zone à protéger ? Justifier.

Le mur anti-bruit est correctement installé. On considère, pour simplifier, que le bruit de la circulation de 66 dB est assimilable à un son de fréquence 1000 Hz. Le particulier est dans son jardin à 10 m de la route. Le bruit qu'il perçoit est composé par l'onde transmise au travers du mur anti-bruit et l'onde passant par dessus le mur. On admet que l'onde passant par dessus le mur contribue pour 41 dB au niveau sonore dans le jardin.

Q6. Calculer la valeur du niveau d'intensité sonore de l'onde transmise L_T à travers le mur anti-bruit.

Q7. Déterminer la valeur du niveau d'intensité sonore L_{total} perçu par le particulier dans son jardin. Conclure sur l'utilité de ce mur anti-bruit.

Pour tenter d'augmenter les performances du mur, le particulier souhaite doubler l'épaisseur de son mur anti-bruit. Une étude expérimentale montre que, pour un bruit routier, doubler l'épaisseur du mur conduit à augmenter l'indice d'affaiblissement acoustique de +4 dB.

Q8. Déterminer la valeur du niveau d'intensité sonore L'_{total} perçu par le particulier dans son jardin. Commenter.

EXERCICE B – Le télescope spatial James Webb (10 points)

Mots-clés : accélération ; lois de Newton ; lois de Kepler.

Le télescope spatial James Webb, JWST, est un télescope spatial développé par la NASA avec le concours de l'Agence spatiale européenne et de l'Agence spatiale canadienne. Ce projet a différents objectifs, dont l'étude des premières étoiles et galaxies et l'étude de la formation des systèmes planétaires ou des étoiles. En octobre 2021, le JWST est arrivé en Guyane pour être lancé en orbite autour du Soleil par la fusée Ariane 5.

Le but de cet exercice est d'étudier la position du télescope dans le référentiel héliocentrique, référentiel dont l'origine est le centre du Soleil et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines ; il est considéré comme galiléen.

Données :

- constante universelle de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse du Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- distance Terre-Soleil : $R = 150 \times 10^6 \text{ km}$;
- Distance Terre-JWST : $d = 1,50 \times 10^6 \text{ km}$.

Orbite du télescope

Le JWST sera en orbite autour du Soleil. En effet, pour que les observations soient les plus précises possible, les appareils doivent être maintenus à une température la plus basse possible ; il faut donc éloigner le télescope de la Terre et éviter l'exposition directe au rayonnement solaire. L'endroit le plus propice pour que cela soit vérifié est ce que les physiciens appellent le "Second Point de Lagrange (L2)" du système Soleil-Terre. Le point L2 reste à l'extérieur de l'orbite de la Terre tandis qu'elle effectue sa révolution autour du Soleil, et **les trois corps Soleil, Terre et télescope JWST sont alignés en permanence.**

D'après <https://www.jwst.fr>

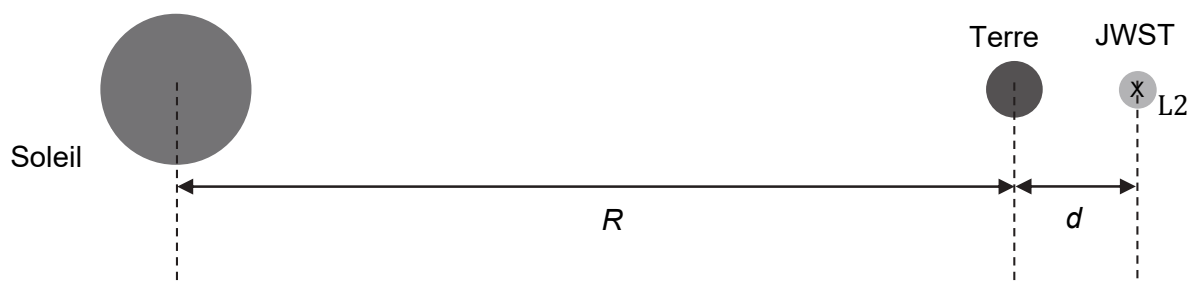


Figure 1. Schéma de la situation

Dans le référentiel héliocentrique, le mouvement du télescope JWST peut être modélisé par un mouvement circulaire, de rayon $R + d$, à la vitesse v .

Q1. Donner l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du télescope par rapport au référentiel héliocentrique dans le repère de Frenet. On rappelle que la Soleil, la Terre et le satellite JWST placé au point L2 sont en permanence alignés.

Q2. On considère les actions qu'exercent à la fois le Soleil et la Terre sur le télescope. Établir, en utilisant la deuxième loi de Newton appliquée au télescope, que le mouvement circulaire du télescope est uniforme dans le référentiel héliocentrique.

Q3. Justifier géométriquement que la Terre et le télescope ont la même période T de révolution autour du Soleil.

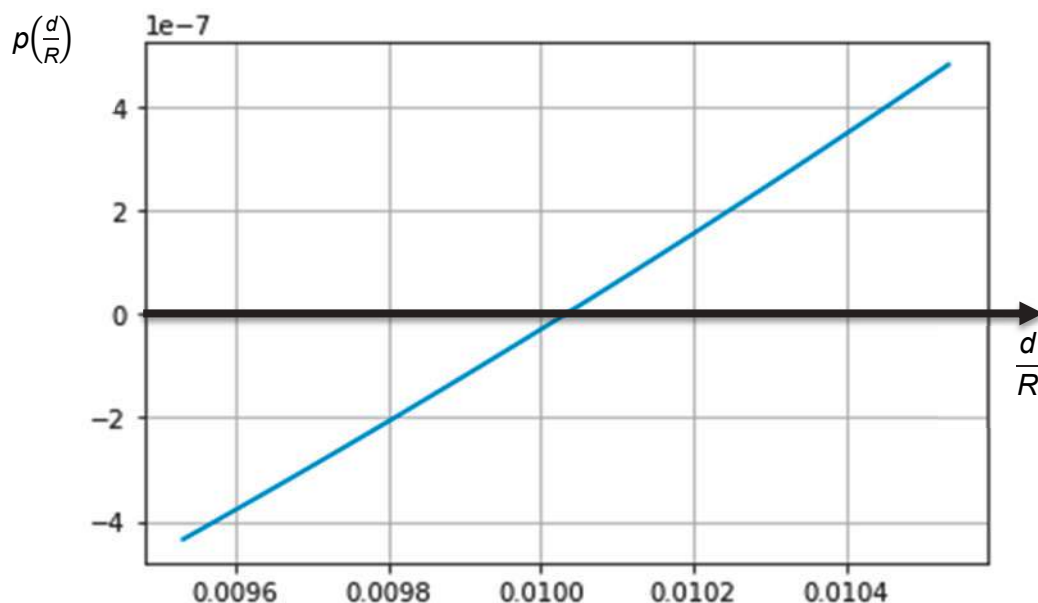
Q4. Donner l'expression de la norme v de la vitesse du télescope par rapport au référentiel héliocentrique en fonction de T , R et d .

Au cours de sa révolution autour du Soleil, la Terre vérifie la troisième loi de Kepler :

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{GM_S}{R^3}$$

Q5. En utilisant la troisième loi de Kepler, la deuxième loi de Newton appliquée au télescope et les résultats précédents, en déduire une relation entre d , R , M_T et M_S que l'on ne cherchera pas à simplifier.

Dans la relation établie à la question 5, la distance d qui sépare le télescope JWST de la Terre est l'inconnue. On choisit une méthode de résolution numérique en utilisant un programme Python. Celle-ci permet de tracer la courbe ci-après. La fonction $p\left(\frac{d}{R}\right)$ se déduit de la relation établie à la question 5 et la valeur de d recherchée est celle pour laquelle la fonction s'annule.



Q6. Déterminer graphiquement la valeur de $\frac{d}{R}$ telle que $p\left(\frac{d}{R}\right) = 0$.

Q7. En déduire la distance d à laquelle se trouve le télescope JWST de la Terre. Commenter en comparant cette distance aux données de l'énoncé.

EXERCICE C – Bouteille isotherme pour café chaud

Mots clés : transferts thermiques, énergie interne, loi de Newton

Afin de préparer une journée en plein air, deux randonneurs remplissent une gourde en plastique de café chaud. Pour évaluer les fuites thermiques à travers la surface de la gourde et son bouchon, ils mesurent une baisse de température de 10 °C sur une durée $\Delta t_1 = 8,5$ min.



Figure1. Photographie d'une gourde en plastique

Données :

- capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
- le café est introduit dans la gourde à la température T_{ini} de 80,0 °C ;
- volume de la gourde : $V = 0,200 \text{ L}$;
- loi de Newton donnant l'expression du flux thermique Φ en watt entre un système dont la surface d'échange est à la température T et un fluide extérieur de température $T_{\text{ext}} < T$:
$$\Phi = h \times S \times (T - T_{\text{ext}})$$
avec h le coefficient de transfert thermique surfacique et S l'aire de la surface d'échange ;
- température de l'air extérieur : $T_{\text{ext}} = 20,0 \text{ °C}$;
- $h = 10 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$;
- $S = 300 \text{ cm}^2$.

On assimile le café à de l'eau. L'épaisseur de la gourde est assez fine pour considérer qu'elle et le café sont à tout instant à la même température, y compris à l'instant initial.

Q1. En utilisant un schéma, préciser le sens du transfert thermique entre le système {gourde + café} et l'extérieur.

Q2. Expliquer qualitativement pourquoi on ne peut pas affirmer que le café sera à la température idéale de 60 °C au bout de 17 minutes.

Q3. Déterminer la valeur de la capacité thermique du système {gourde + café}, notée C_{TOT} sachant que la capacité thermique de la gourde est supposée négligeable.

Q4. Établir que l'équation différentielle régissant l'évolution de $T(t)$, température du système {gourde + café}, s'écrit :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{hS}{C_{\text{TOT}}} (T_{\text{ext}} - T)$$

Q5. Montrer que l'expression $T(t) = T_{\text{ext}} + (T_{\text{ini}} - T_{\text{ext}}) \cdot \exp\left(-\frac{h \cdot S}{C_{\text{TOT}}} t\right)$ est solution de l'équation différentielle et satisfait à la condition initiale. Déterminer la valeur du rapport $\frac{C_{\text{TOT}}}{h \times S}$ et rappeler sa signification physique.

Q6. En déduire la durée Δt_2 nécessaire pour que le café soit à la température idéale de 60 °C. Commenter.

Constatant que le café refroidit trop vite, les randonneurs choisissent d'utiliser d'une bouteille isotherme. Cette bouteille possède deux parois de verre argentées séparées par du vide.

Q7. Expliquer qualitativement pourquoi la structure de la bouteille isotherme permet de maintenir la température du café chaud plus longtemps.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 29 pages numérotées de 1/29 à 29/29.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 19 à 20) sont à rendre avec la copie.

Partie 2 : si les exercices traités comportent des annexes, elles sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

DURANCIA

Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 18
- Documents réponses pages 19 à 20

Le candidat devra traiter obligatoirement la sous-partie 1.

Puis, il devra choisir et traiter l'une des deux sous-parties suivantes :

- la sous-partie 2 (choix 1), question 10 à question 16
- la sous-partie 3 (choix 2), question 17 à question 23

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 19 à 20) sont à rendre avec la copie.

DURANCIA



figure 1 - Centre balnéo et spa

Présentation du système

Le tourisme est la principale activité du département des Hautes-Alpes, dont plus du tiers de la superficie dépasse 2000 m d'altitude. Selon les derniers chiffres communiqués par l'observatoire du tourisme, la dépense touristique annuelle totale dans les Hautes-Alpes s'élèverait à 935 millions d'euros. La part de l'emploi salarié touristique représente 20% de l'emploi salarié total.

Situé à 1860 m d'altitude sur la frontière italienne, dans la station de ski de Montgenèvre, Durancia est un centre balnéoludique (figure 1) qui vient compléter l'offre touristique de Montgenèvre.

Cet espace dispose de grandes baies vitrées afin de bénéficier au maximum de l'apport énergétique du soleil. Une grande partie des parois est réalisée en ossatures bois et les façades en bardage de mélèze local s'intègrent parfaitement dans le paysage.

Après l'analyse du contexte, l'objectif est de valider la qualité générique de l'eau du bassin au travers de deux études définies ci-après. Pour cela, il est nécessaire :

- de maintenir la température d'eau du bassin à 34°C pour le confort des usagers,
- de satisfaire aux critères de la qualité de l'eau de baignade (risques sanitaires et performances du circuit hydraulique).

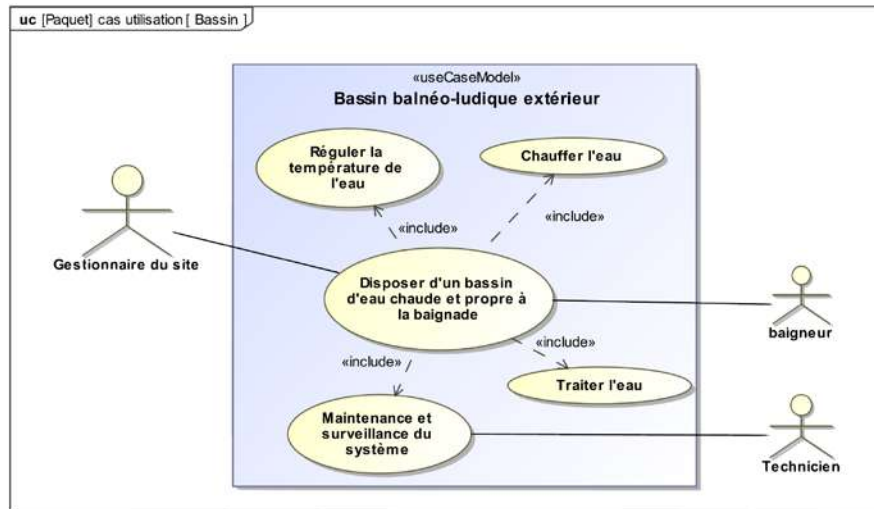


figure 2 - Diagramme partiel des cas d'utilisation

Pour la compréhension de l'ensemble, le circuit hydraulique du bassin étudié est représenté par le diagramme de blocs internes (figure 3).

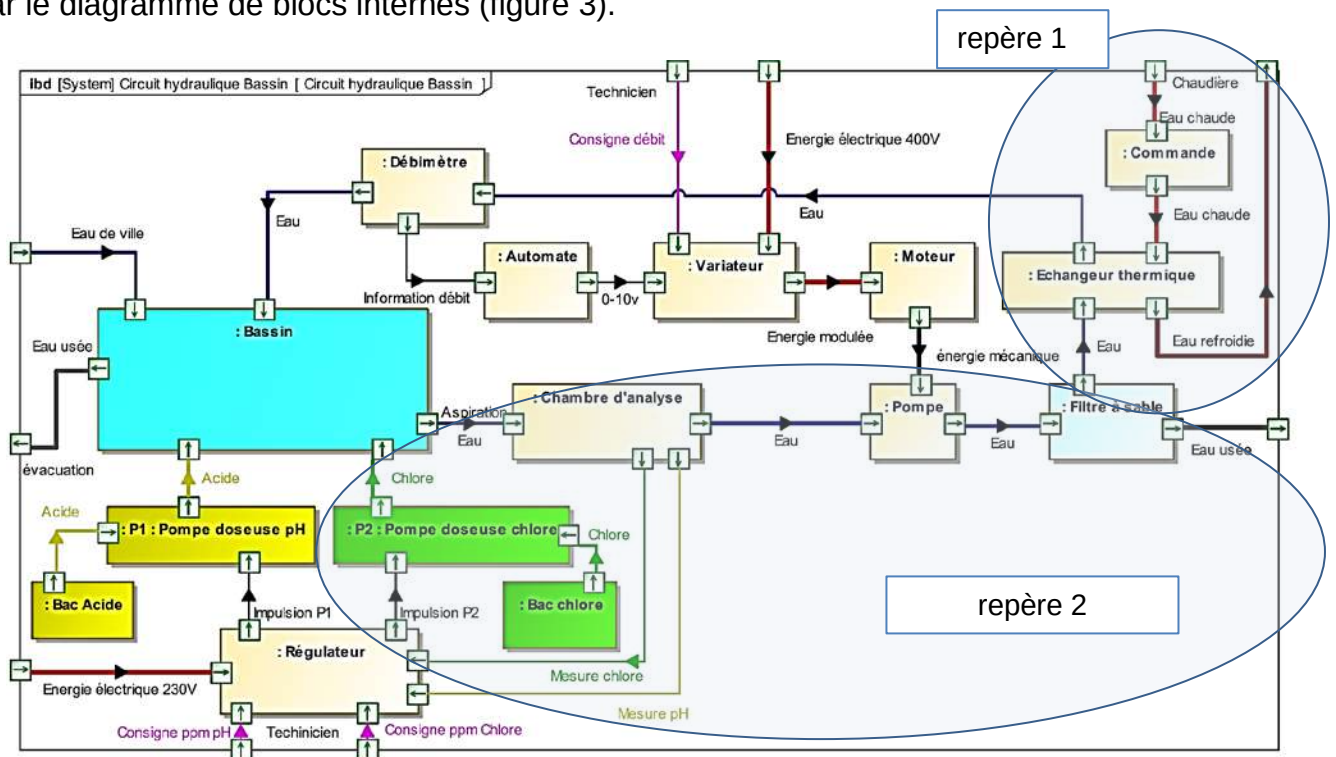


figure 3 - Diagramme de définition de blocs internes

Sous-partie 1 – obligatoire

1 – Étude sur la capacité du centre de balnéothérapie à répondre aux enjeux de développement durable tout en maintenant une qualité de température d'eau satisfaisante

Analyse du besoin

Objectif: identifier les critères environnementaux et sociétaux pris en compte dans la justification de la construction du centre Durancia.

Au début des années 2010, la France était la première destination mondiale des amateurs de ski. Durant la saison 2016-2017, avec près de 51 millions de journées-skieurs, elle prend la troisième place.

Les mauvaises conditions météorologiques de ces dernières années n'en sont pas la cause exclusive. Les stations françaises souffrent d'un manque d'investissement par rapport à leurs rivales, Autriche (2^{ème}) ou Etats-Unis (1^{ère}). La modernisation des prestations assure une clientèle dont le niveau de satisfaction est inédit. C'est la politique d'investissement qu'a choisie de suivre la commune de Montgenèvre.

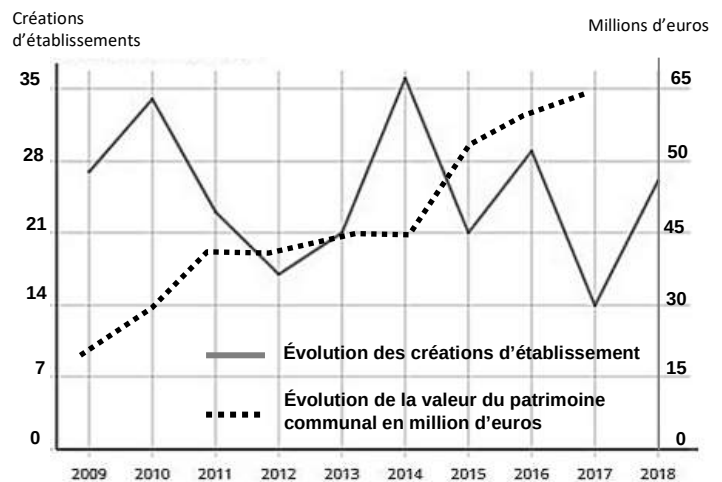


figure 4 - Montgenèvre source Insee

Le thermoludisme doit offrir une gamme d'équipements et une palette de sensations pour les clients. Il doit permettre des créations d'emploi et le maintien des entreprises locales. Elles évitent la désertification par les actifs de ces territoires pendant et hors périodes de forte fréquentation.

Une conception du bâtiment basse consommation optimisée par le choix de matériaux locaux de construction, une gestion de l'énergie intégrant des concepts novateurs et le strict respect des traitements de l'eau seront les facteurs différenciants en vue d'attirer une nouvelle clientèle. Sur ce site, le traitement de l'eau est adapté aux différentes offres ; piscine, hammams, douche à glaçons, jacuzzi, eau salée, baignoires à thèmes, etc.

Question 1

Donner les raisons pour lesquelles le partenariat entre Montgenèvre et Durancia justifie la construction du centre Balnéothérapie sur ce territoire en 2013.

Question 2

Indiquer les principales préoccupations environnementales liées à la construction du centre Durancia.

Choix du dimensionnement de l'échangeur

Objectif: **atteindre** et **maintenir** une température d'eau du bassin extérieur pour le confort des usagers.

La partie étudiée correspond au repère 1 du diagramme des blocs internes (figure 3)

Un échangeur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie d'un élément vers un autre sans les mélanger.

Question 3

DR1

Sur le document réponse DR1, **préciser** le type de flux au niveau de l'échangeur et **indiquer** par une flèche la direction du flux dans l'échangeur.

Dans le cas d'une variation de température (sans changement d'état), l'énergie pour chauffer un corps de masse m se calcule à partir de la relation suivante :

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

avec :

- Q , énergie thermique en J ;
- m , masse de l'eau à chauffer en kg ;
- c_p , capacité calorifique massique de l'eau : $4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- ΔT , variation de température en K.

Rappels : masse volumique de l'eau $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15$.

Question 4

À partir des données du diagramme des exigences (figure 5), Id=1.1.9, **calculer** l'énergie nécessaire pour élever la température du bassin de 10°C à 34°C . En **déduire** la puissance nécessaire en W.

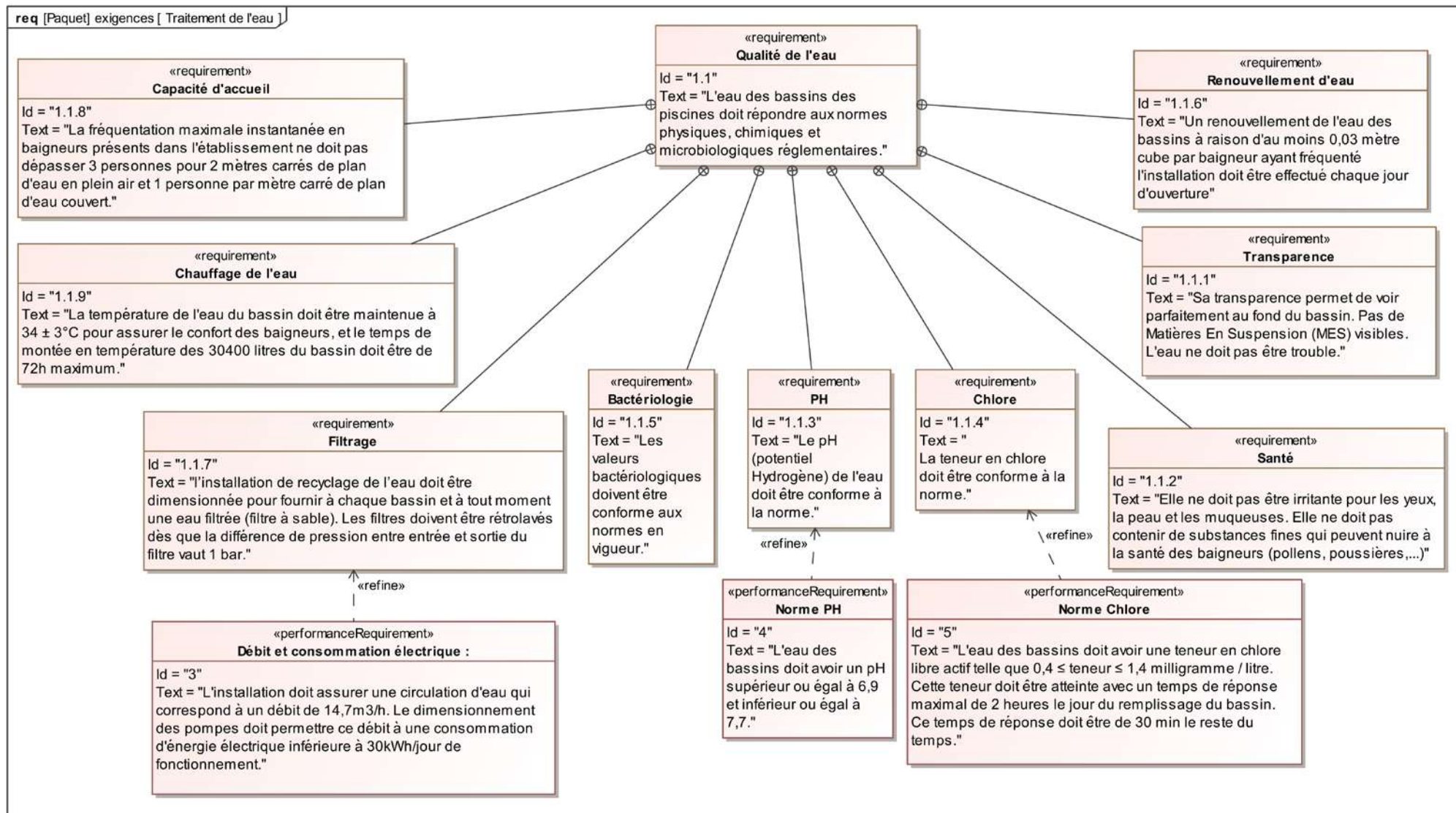


figure 5 - Diagramme des exigences

Le modèle multiphysique de la montée en température de l'eau est donné figure 6.

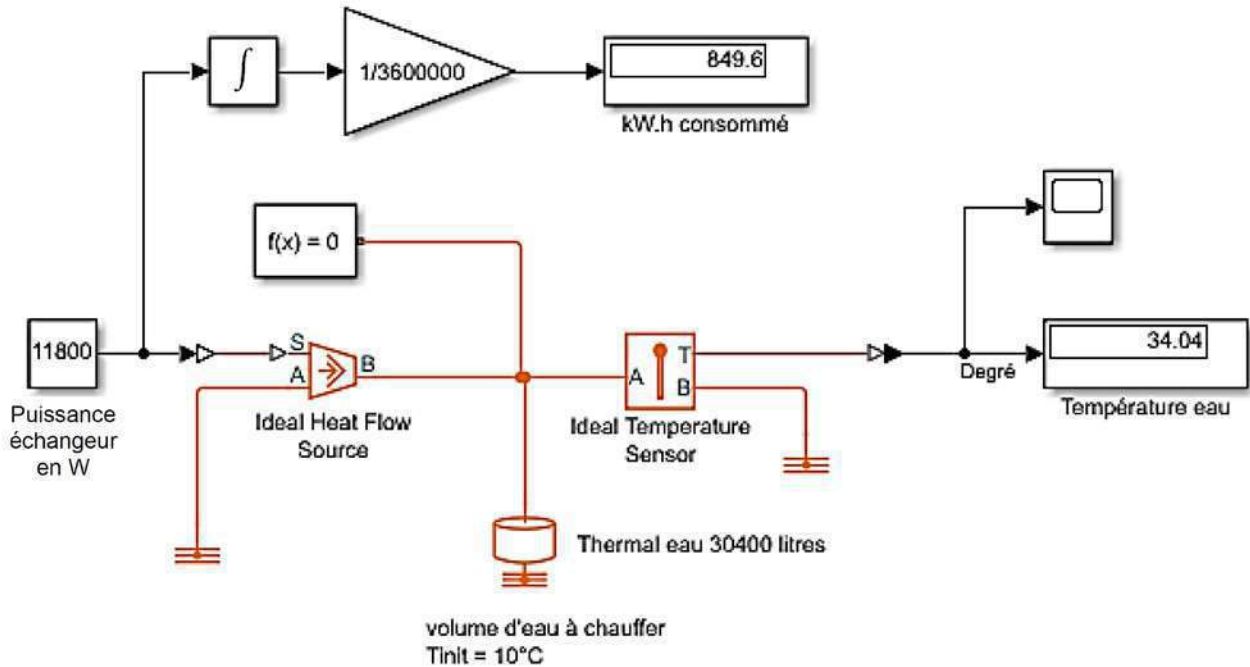


figure 6 - Modèle multi-physique de montée en température ;
l'affichage des résultats correspond à une simulation d'une durée de 72h.

Question 5

Calculer l'écart de température en degrés °C de l'eau du bassin entre le résultat de la simulation et la consigne du cahier des charges.
Indiquer si le modèle multi-physique est valide.

L'eau du bassin est soumise aux conditions climatiques extérieures qui entraînent des pertes. Pour des raisons pratiques, seules les pertes par convection naturelle (entre la surface du bassin et l'air extérieur) et les pertes par conduction (entre l'eau et les parois) sont prises en compte.

Les transferts par convection sont régis par la loi de Newton et donnés par la formule :

$$\varphi_{th} = S \times hc \times (T_1 - T_2) \quad \text{avec :}$$

- φ_{th} le flux thermique en W,
- S la surface du bassin en m^2 ,
- hc le coefficient d'échange convectif en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$,
- T_1 la température fluide chaud en degré,
- T_2 la température fluide froid en degré.

Air	Convection naturelle	Convection forcée
hc : coefficient d'échange convectif en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	5	50

Question 6

Calculer le flux thermique φ_{th} perdu par convection naturelle en W à la surface du bassin lorsque la température extérieure est de -10°C sachant que la surface du bassin S est de $24,5 \text{ m}^2$.

Le flux thermique perdu par conduction à travers les parois en béton est estimé à 7,5 kW. Lorsque la température de consigne est atteinte, il suffit de compenser les pertes. Afin de paramétrer le modèle multi-physique de la figure 7, il faut tout d'abord calculer la puissance de l'échangeur.

On note P_{maint} la puissance de l'échangeur nécessaire au maintien de la température d'eau à 34°C .

Question 7

Donner la puissance P_{maint} . Calculer la puissance maximale P_{max} de chauffage de l'échangeur.

Le modèle multiphysique de la figure 7 permet de simuler durant 6 jours l'évolution de la température de l'eau du bassin en prenant en compte les conditions extérieures au bassin et la puissance de l'échangeur calculée précédemment.

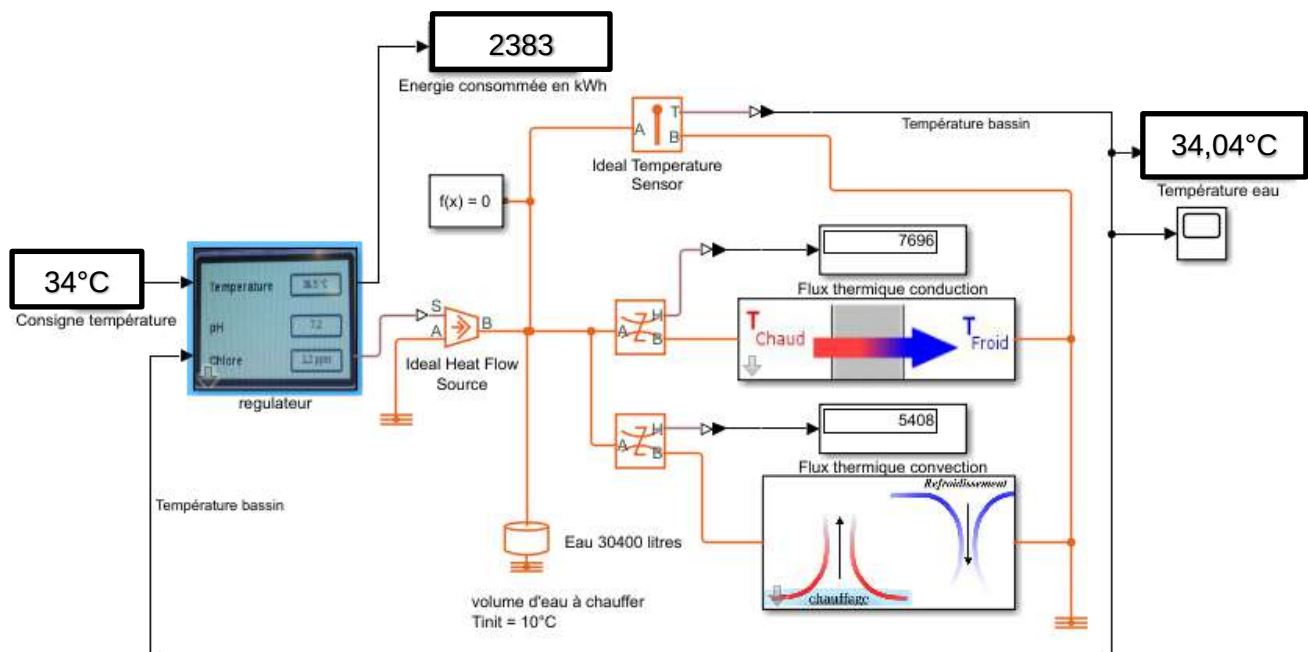


figure 7 - Modèle multi-physique de l'évolution de la température de l'eau ; l'affichage des résultats correspond à une simulation d'une durée de 6 jours.

Le résultat issu du modèle précédent permet d'obtenir la courbe de montée en température de l'eau du bassin figure 8.

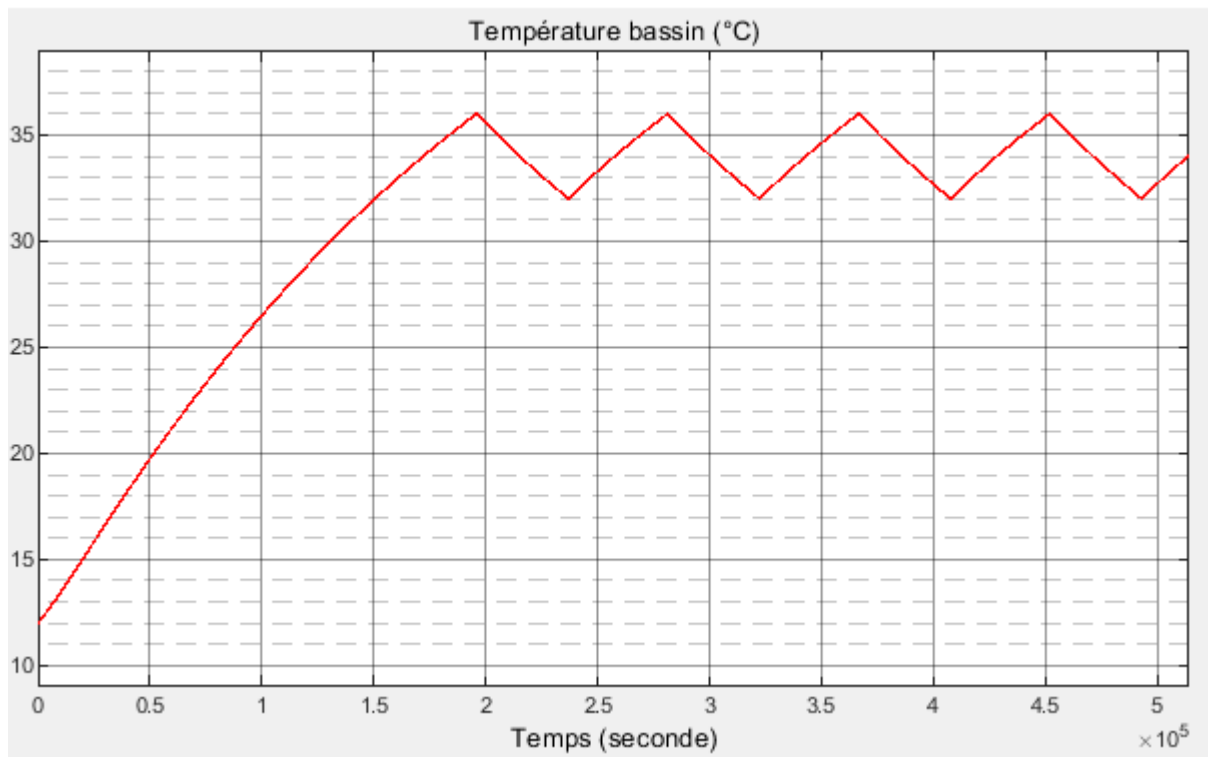


figure 8 - Courbe de montée en température

Le cahier des charges impose une amplitude de température de $\pm 3^\circ\text{C}$ autour de la température de consigne. Lorsque la température est atteinte en régime permanent, le modèle multiphysique montre l'évolution de la température.

Question 8

Donner la température minimale et maximale de l'eau du bassin en régime permanent. **Conclure** en fonction du cahier des charges Id1.1.9.

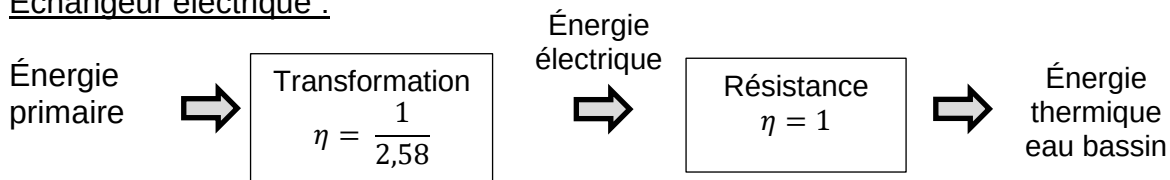
Pour poursuivre l'étude, l'objectif est de déterminer le type d'énergie utilisée pour l'échangeur entre électricité et gaz, pour des raisons économiques et environnementales. L'énergie primaire E_p est l'énergie contenue dans les ressources naturelles avant une éventuelle transformation (fioul ou gaz par exemple). L'énergie finale E_f est l'énergie utilisée par le consommateur, c'est-à-dire après transformation des ressources naturelles en énergie et après le transport de celle-ci (électricité par exemple).

En France, le coefficient de conversion pour l'électricité entre E_p et E_f est de 2,58.

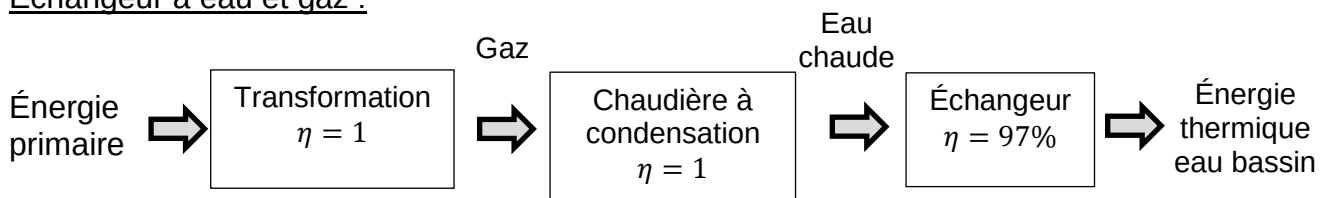
Ce coefficient est de 1 pour l'ensemble des autres énergies (en l'absence de transformation).

Les deux synoptiques ci-dessous montrent les transformations d'énergie ainsi que leur rendement η respectif.

Échangeur électrique :



Échangeur à eau et gaz :



Question 9

En fonction des résultats du modèle multiphysique de la figure 7, **calculer**, pour les deux types d'échangeur, le rendement correspondant.

Justifier le choix de l'énergie gaz, utilisée par Durancia.

Sous-partie 2 – choix 1

Gestion de la sécurité sanitaire du bassin

Objectif : étudier la conformité du traitement de l'eau au regard des risques sanitaires.

Le diagramme des blocs internes du traitement de l'eau est représenté par le repère 2 du de la figure 3.

Le taux de chlore doit être surveillé et mesuré afin de respecter l'exigence Id.4.

Le choix fait par Durancia pour la mesure du taux de chlore est le suivant :



Caractéristiques techniques du modèle Réf : CAA2506	
Grandeur mesurée	Chlore libre
Domaine d'emploi	Eau de piscine
Plage de mesure	0 – 10 ppm
Plage de pH	5,5 à 9,5 de pH
Plage de température	5 – 45°C
Pression maximale	3 bars
Débit d'alimentation	30 l·h ⁻¹ recommandé
Tension d'alimentation	16 - 24 V DC
Signal de sortie	4 – 20 mA

figure 9 - Caractéristiques du capteur mesurant le pH

La ppm (partie par million) est une unité utilisée en science, c'est la fraction valant 10^{-6} , c'est-à-dire un millionième. La ppm exprime une fraction massique.
Pour la mesure du taux de chlore, 1ppm correspond à 1mg de chlore par litre d'eau.

La mesure du taux de chlore via le capteur figure 9, se fait au 1/100 de ppm. Le convertisseur analogique numérique (CAN) qui se trouve sur la carte d'acquisition de l'entrée du régulateur numérise le signal de la sonde de chlore sur 16 bits.

Question 10

Déterminer le nombre maximal de valeurs nécessaires pour couvrir toute la plage de mesure de la sonde en ppm.

Question 11

En déduire la taille minimale de la variable « mesure Chlore » en nombre de bits. **Justifier** alors l'utilisation de deux octets pour mémoriser cette variable.

Le traitement des eaux du centre est effectué par ajout de chlore dans l'eau du bassin.

Consigne de chlore libre	1,2 ppm ou $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Volume du bassin	30,4 m^3
Volume d'eau neuve / baigneur / jour	30 litres
Nombre de baigneurs / jour	150
Concentration en chlore du désinfectant utilisé	110,59 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$

Rappel du cahier des charges extrait du diagramme des exigences figure 5 :

Temps de traitement maxi après remplissage du bassin	2 h

Les pompes de circulation permettent la mise en mouvement de l'eau dans le circuit de filtration.

Question 12

Calculer la masse de chlore nécessaire au traitement du bassin lorsque la mise en eau est terminée. **En déduire** le volume du produit désinfectant à injecter.

Quelle que soit la valeur calculée précédemment, le volume de désinfectant à injecter est 0,35 l.

Le choix du type de pompe doseuse de Durancia est le modèle 1601 dont les caractéristiques sont détaillées figure 10.

Type de pompe	Débit de refoulement maximal		Nombre d'impulsion à $f=100\%$
	$l \cdot h^{-1}$	$ml \cdot \text{impulsion}^{-1}$	
1000	0,8	0,08	180
1601	1,5	0,13	180
1002	2,6	0,24	180
0704	4,5	0,42	180
0308	10,8	1,00	180



figure 10 - Caractéristiques pompes

Pour augmenter la durée de vie de la pompe, le commutateur de fréquence de la pompe est réglé à 50% de la fréquence maxi ($f_{\max}=180 \text{ impulsion} \cdot \text{min}^{-1}$).

Question 13

Calculer le temps nécessaire à la pompe doseuse pour injecter le volume de solution désinfectante dans le bassin.
Conclure en rapport du temps souhaité.

Régulation du taux de chlore en fonction de la fréquentation

Pendant la journée, un nombre important de baigneurs entre dans le bassin. Le chlore réagit avec les matières azotées apportées par ces baigneurs, il subit aussi l'action des ultraviolets, le taux d'acide hypochloreux diminue et le taux de chlore libre chute à 1ppm. Le système doit réagir afin de réguler le taux de chlore à 1,2 ppm. Son temps de réponse doit être inférieur à 30 min comme stipulé dans le diagramme des exigences figure 5.

Question 14

Calculer le nombre d'impulsions que le régulateur doit envoyer à la pompe doseuse pour revenir à la consigne de 1,2 ppm et le temps qu'il faudra au système pour atteindre de nouveau la consigne de chlore.
Conclure en fonction du temps de réponse imposé par le cahier des charges.

Un modèle du régulateur et de la pompe doseuse utilisée est réalisé figure 11, afin de vérifier ses performances.

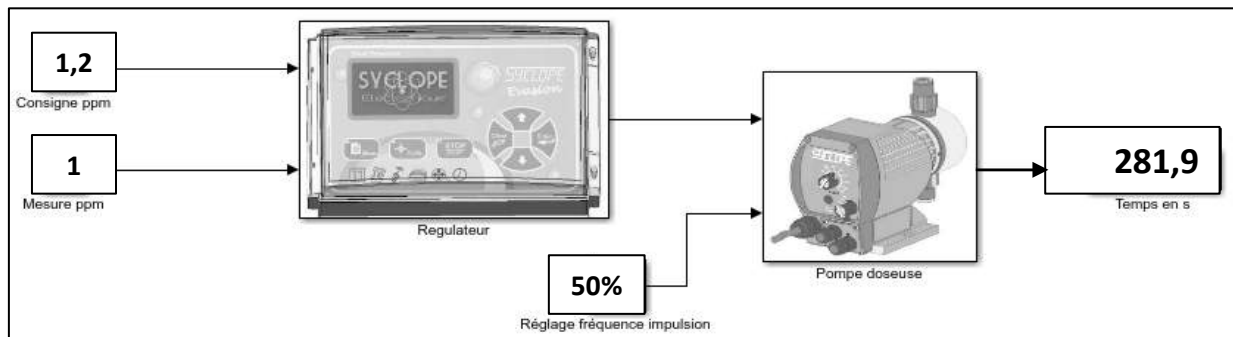


figure 11 - Synoptique du régulateur

Question 15

Comparer le temps trouvé par le calcul avec la valeur simulée. **Conclure** sur la qualité du modèle.

L'afficheur du régulateur du bassin est présenté figure 12, ce relevé a lieu en présence de baigneurs. La préconisation est de maintenir un pH entre 7,2 et 7,4 pour le confort des baigneurs.



figure 12 - Cliché de l'afficheur

Question 16

Vérifier la conformité des valeurs du traitement avec le cahier des charges en pH, température et chlore (voir Id1.1.9 et Id5 du diagramme des exigences figure 5). **Conclure** sur la qualité de l'eau de baignade.

Sous-partie 3 – choix 2

Étude du système automatique d'entretien du filtre

Dans l'eau d'un bassin fréquenté par des baigneurs se trouvent naturellement des matières en suspension tels que pollen ou poussière qui rendent l'eau de baignade trouble. Cela a une incidence directe sur la propreté visible de l'eau et sur le niveau de satisfaction des baigneurs. Pour pallier ce phénomène, Durancia doit mettre en œuvre un procédé d'élimination de ces matières en suspension en respectant des critères normalisés.

L'eau de baignade va évoluer dans un circuit de canalisation grâce à une pompe centrifuge et traverser un filtre à sable qui va retenir les matières en suspension. La mesure de la différence de pression entre l'entrée du filtre et la sortie du filtre à sable est proportionnelle au taux d'encrassement du filtre. À partir d'un seuil d'encrassement déterminé, le filtre est lavé par une circulation d'eau à contre-courant qui est envoyée à l'égout.

Dans cette partie d'étude nous allons valider la procédure de lavage du filtre à sable et déterminer l'énergie journalière consommée.

Question 17

Indiquer à l'aide du diagramme des exigences (figure 5), le paramètre et la valeur qui justifient le déclenchement d'un rétro lavage du filtre à sable.

Le capteur de pression différentielle choisi pour équiper ce filtre à sable est le SPW2.5. L'extrait de la notice technique figure 13 montre que le signal de mesure de la pression différentielle peut être codé en fonction du seuil de déclenchement sur une valeur de points comprise en 0 et 10000 points.

SPW



- Sortie : 0-10 V.
- Alimentation : 24 V CA.
- Plage : 0 à 16 bar.
- Précision 0 - 100 Pa : $\pm 0,5\%$.

Le SPW est un transmetteur de pression différentielle pour l'eau. La pression différentielle mesurée est convertie en un signal 0-10 V .

description	références	plage (bar)
transmetteur pression différentielle SPW 0,5	SPW05BAR	0 - 0,5
transmetteur pression différentielle SPW 1	SPW1BAR	0 - 1
transmetteur pression différentielle SPW 2,5	SPW2BAR	0 - 2,5
transmetteur pression différentielle SPW 4	SPW4BAR	0 - 4
transmetteur pression différentielle SPW 6	SPW6BAR	0 - 6
transmetteur pression différentielle SPW 10	SPW10BAR	0 - 10

figure 13 - Caractéristique du transmetteur de pression

L'automate de gestion des divers paramètres de l'eau réalise une surveillance du taux d'encrassement du filtre. Les données reçues au format 0-10 V sont ensuite converties en points.

L'automate réalise une boucle continue de lecture du taux d'encrassement du filtre à sable par l'acquisition de la variable SPW2.5 en bar. Il convertit cette variable en points et la compare à la valeur de référence d'encrassement du filtre. Selon le résultat, le cycle de lavage est déclenché.

Question 18

DR2

Compléter l'organigramme du DR2 de surveillance du taux d'encrassement du filtre par l'automate pour le déclenchement du lavage du filtre à sable par rétro-lavage.

Lorsque la valeur du seuil de déclenchement VSD est atteinte, le cycle de retro-lavage démarre. Les actionneurs mis en œuvre sont des vannes motorisées numérotées de VM1 à VM5 sur la figure 14.

Vérification du critère de performance de l'installation Id3.

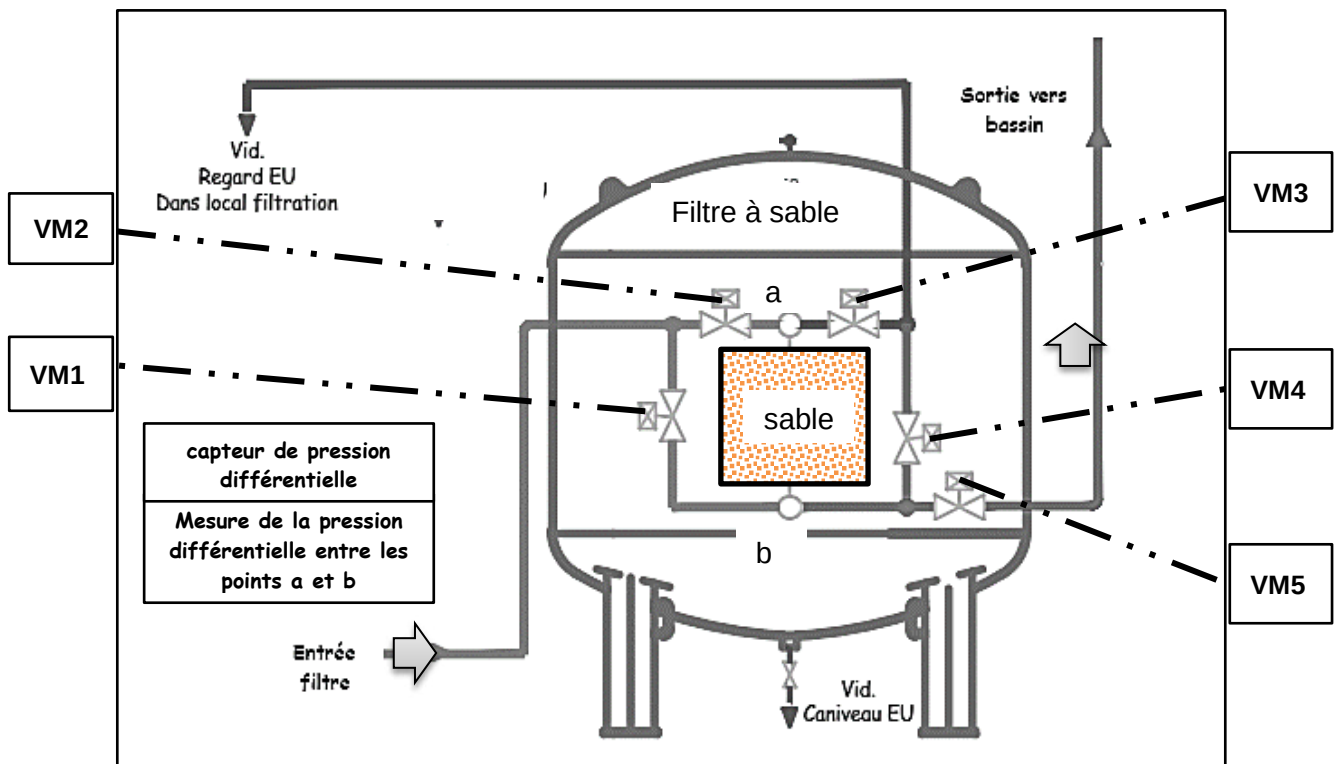


figure 14 - Détails du filtre à sable et positionnement des cinq vannes motorisées

Le sens de circulation indiqué sur la figure 14 correspond au cycle de filtration. Le rétro-lavage consiste à faire circuler l'eau à contre-courant dans le filtre et à l'envoyer dans le regard de vidange des eaux usées. L'eau de lavage est refiltrée avant rejet. Le cycle de rinçage permet le nettoyage des canalisations et du sable du filtre. L'eau de filtrage est refiltrée avant rejet.

Question 19

DR3

Compléter le tableau sur le DR3 qui établit la gestion d'un cycle de rétro-lavage et rinçage du filtre à sable par l'indication d'état des vannes motorisées.

La pompe choisie est la TSN144 qui permet de faire circuler l'eau dans le réseau de canalisation. La figure 15 montre les caractéristiques principales de la famille de pompe choisie. Le rôle d'une pompe dans un circuit hydraulique est de pouvoir délivrer le débit souhaité mais également la hauteur H en mètre à laquelle la pompe peut amener le fluide pour le débit voulu. Ces deux caractéristiques conditionnent le bon fonctionnement du circuit hydraulique.

Données : Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Question 20

À l'aide de la caractéristique de la pompe choisie figure 15 (TSN 144) et du débit de circulation de l'eau de baignade ($14,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), **déterminer** la valeur de la hauteur H en mètre.

Question 21

A partir de la question précédente, **calculer** la puissance hydraulique de la pompe.

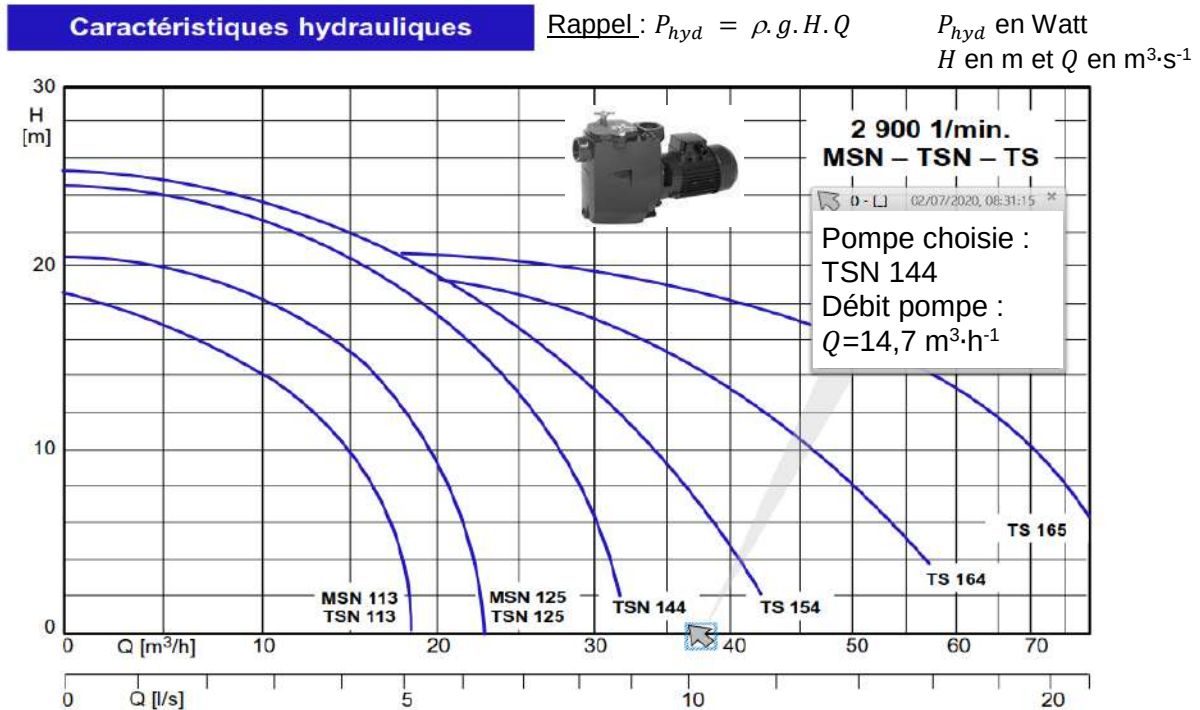


figure 15 - Courbes caractéristiques

Le synoptique figure 16 détaille les puissances présentes pour la circulation de l'eau de baignade.

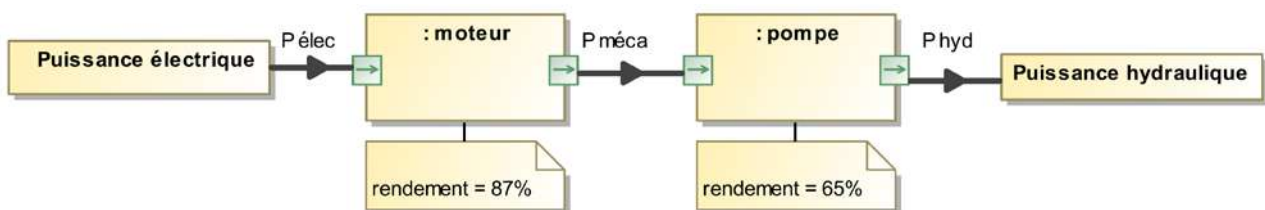


figure 16 - Diagramme de bloc interne du groupe motopompe

En période de forte affluence, environ 5 mois par an, la pompe fonctionne 20h/24h. Durancia a fixé une consommation moyenne par jour pour être économiquement rentable (voir diagramme des exigences figure 5).

Question 22

Calculer l'énergie journalière consommée par le moteur ainsi que l'écart obtenu par rapport au seuil journalier fixé par Durancia.

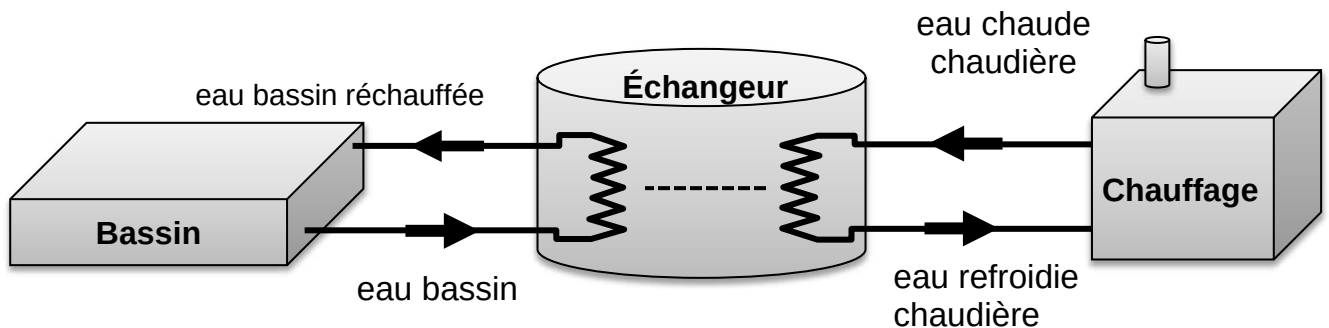
Question 23

Conclure sur les choix techniques, sont-ils conformes au cahier des charges Id.3.

À rendre avec la copie

Document réponse DR1 : type de flux et direction

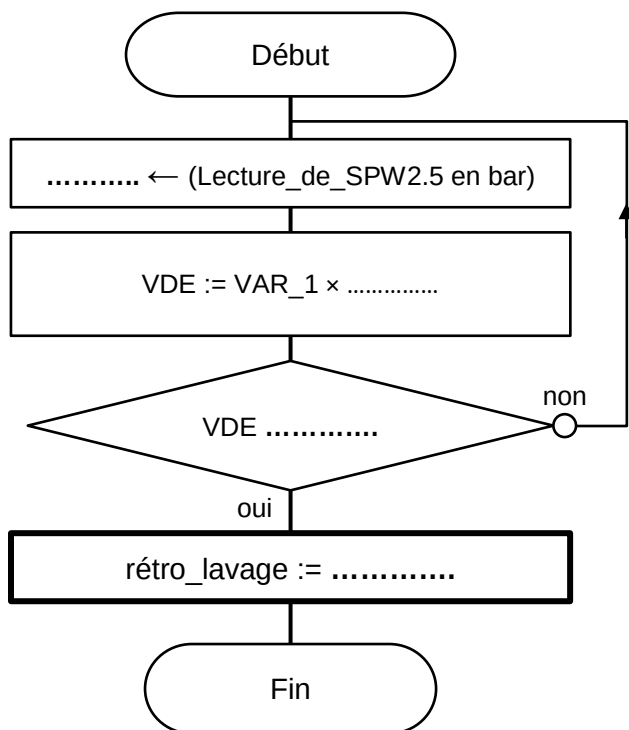
Question 3 - obligatoire : Échangeur



Type de flux :

Document réponse DR2 : organigramme de déclenchement rétro-lavage

Question 18 – choix 2



Légende des variables utilisées

VAR_1:	Pression dans le filtre en bar, image du taux d'encrassement du filtre.
PE_P:	Pleine échelle en nombre de points
VMB:	Valeur maximale en bar du capteur
1 ou 0	rétro_lavage (1 marche --- 0 arrêt)
VDE:	Valeur d'encrassement en points
VSD:	Valeur du seuil de déclenchement en points

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

À rendre avec la copie

Document réponse DR3 : gestion du circuit hydraulique par pilotage des vannes

Question 19 – choix 2

Cycle de rétro-lavage :

L'ordre O signifie ouverture de la vanne motorisée considérée.

L'ordre F signifie fermeture de la vanne motorisée considérée.

Repère de la fig.14	Vanne Motorisée	MODE DE FONCTIONNEMENT		
		FILTRATION	RÉTRO- LAVAGE	RINCAGE
1	VM_1	F	.....	.....
2	VM_2	O	.....	F
3	VM_3	.....	...	O
4	VM_4	.....	.....	O
5	VM_5	.....	.....	.....

1.2

Partie 2 – Sciences physiques

Les trois exercices proposés sont indépendants ; le candidat doit en traiter seulement deux. Chacun des exercices est noté sur 10.

Le candidat indiquera au début de sa copie les numéros des 2 exercices choisis. Les mots clés présents en en-tête de chaque exercice, peuvent l'aider à effectuer son choix.

Les numéros des exercices traités doivent apparaître clairement sur la copie.

EXERCICE I – Dimension d'une micro-algue

Mots clés : diffraction.

Pour dépolluer l'air de Toulouse, un dispositif d'un nouveau genre vient d'être installé dans le centre-ville. Grâce à un principe basé sur le développement de micro-algues, il serait aussi efficace qu'une centaine d'arbres et pourrait devenir une solution d'avenir.

Cette innovation technique mesure plus de 5 m de haut, et est équipée d'une cuve dans laquelle se trouvent les algues.

L'air ambiant, capturé et aspiré par le bas du dispositif, remonte en fines bulles à l'aide d'une pompe jusqu'à la cuve où se trouvent les micro-algues. Celles-ci transforment ensuite les polluants et le dioxyde de carbone (CO_2) présents dans l'air ambiant.



Figure 1 : Dispositif à micro-algues

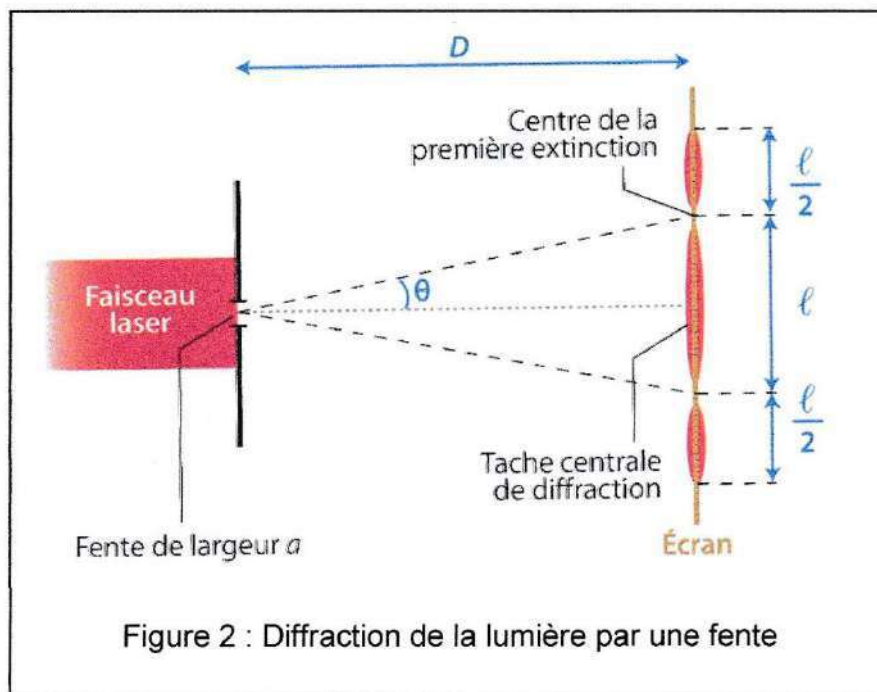
Après absorption du dioxyde de carbone par ces micro-algues, la photosynthèse rejette du dioxygène.

Lorsque les micro-organismes seront devenues trop gros, ils sont retirés de la cuve pour servir d'engrais.

Ces micro-algues ont une forme sphérique (figure 1). L'objectif de cet exercice est de déterminer leurs diamètres en utilisant la diffraction d'une lumière laser, considérée monochromatique.

Choix du laser

Pour déterminer la longueur d'onde du laser, une expérience de diffraction est réalisée. Une fente est placée devant le faisceau laser et l'on peut alors mesurer la largeur ℓ de la tache centrale de diffraction obtenue sur un écran (figure 2)



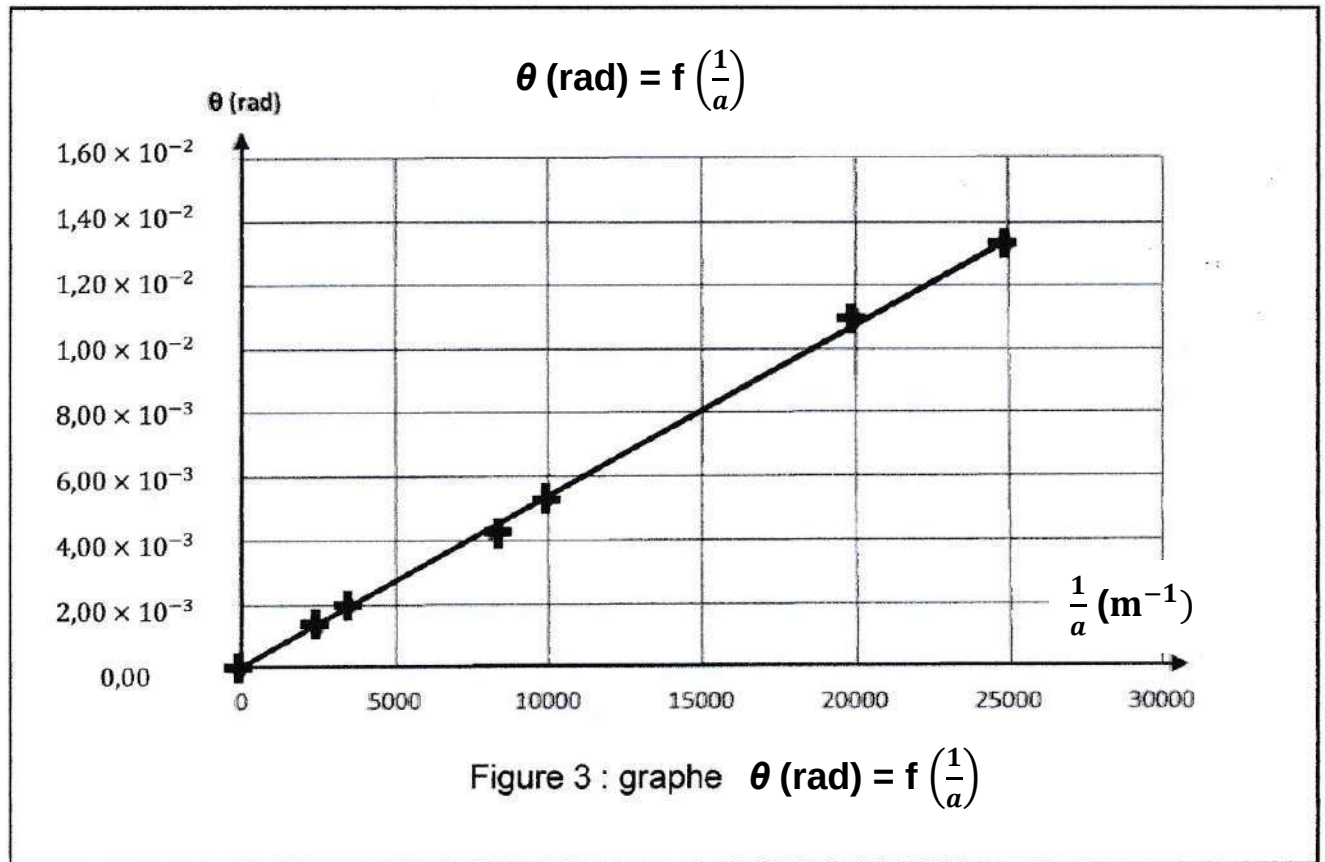
Pour un angle θ faible, $\theta = \sin \theta$ et $\theta = \tan \theta$ si θ est exprimé en radians.

1. Déterminer la relation entre l'angle θ , la distance D entre la fente et l'écran et la largeur ℓ de la tache centrale.

La théorie de la diffraction d'une lumière monochromatique nous indique que l'angle θ , en radians, est aussi lié à la longueur d'onde λ de la radiation et à la largeur a de la fente : $\theta = \frac{\lambda}{a}$. Nous disposons de plusieurs fentes de largeurs connues et d'instruments de mesure de distance. La valeur de D est connue et égale à 1,50 m.

2. Proposer une méthode pour déterminer la longueur d'onde λ du laser, à l'aide du matériel à disposition.

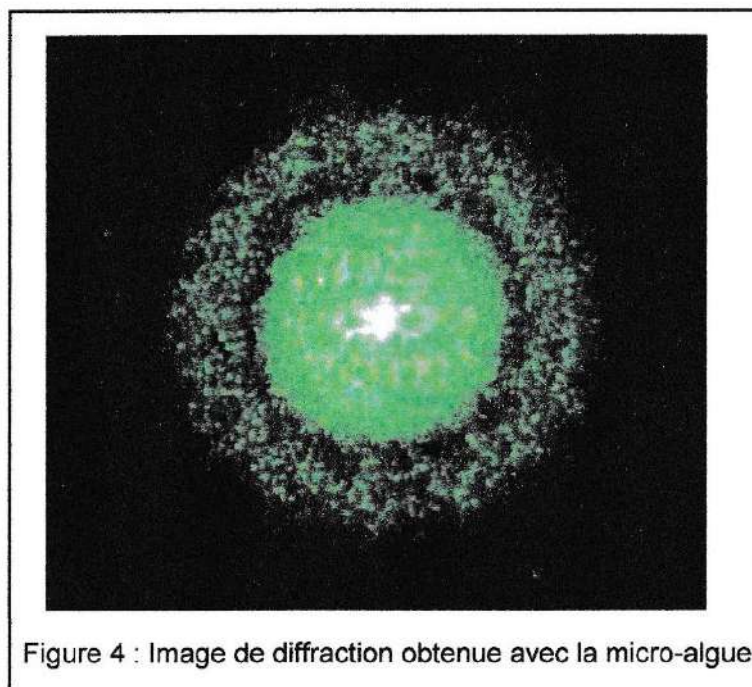
À l'aide des fentes de largeurs a connues, on peut mesurer pour chacune d'elles la largeur ℓ de la tache centrale, et tracer le graphe $\theta \text{ (rad)} = f\left(\frac{1}{a}\right)$ (figure 3).



3. Exploiter le graphique pour calculer la valeur de la longueur d'onde λ du laser en nm.

Détermination du diamètre d'une micro-algue

En isolant une micro-algue placée sur une lamelle de microscope, on peut pointer un faisceau laser vert de longueur d'onde $\lambda_v = 532 \text{ nm}$ pour qu'il éclaire cette micro-algue. On obtient alors une figure de diffraction formée d'anneaux concentriques (figure 4).



Données

- Théorème de Babinet :
Deux objets sont complémentaires si les parties opaques de l'une correspondent à des parties transparentes de l'autre et inversement. Les figures de diffraction de deux objets complémentaires sont identiques.
- Par exemple, la figure de diffraction d'un disque opaque de diamètre d est identique à celle d'une ouverture circulaire de même diamètre d . L'angle θ (très faible) du premier anneau sombre de la tache dite d'Airy (voir figure 5) est donné par la relation : $\theta \text{ (rad)} = 1,22 \times \frac{\lambda_v}{d}$.

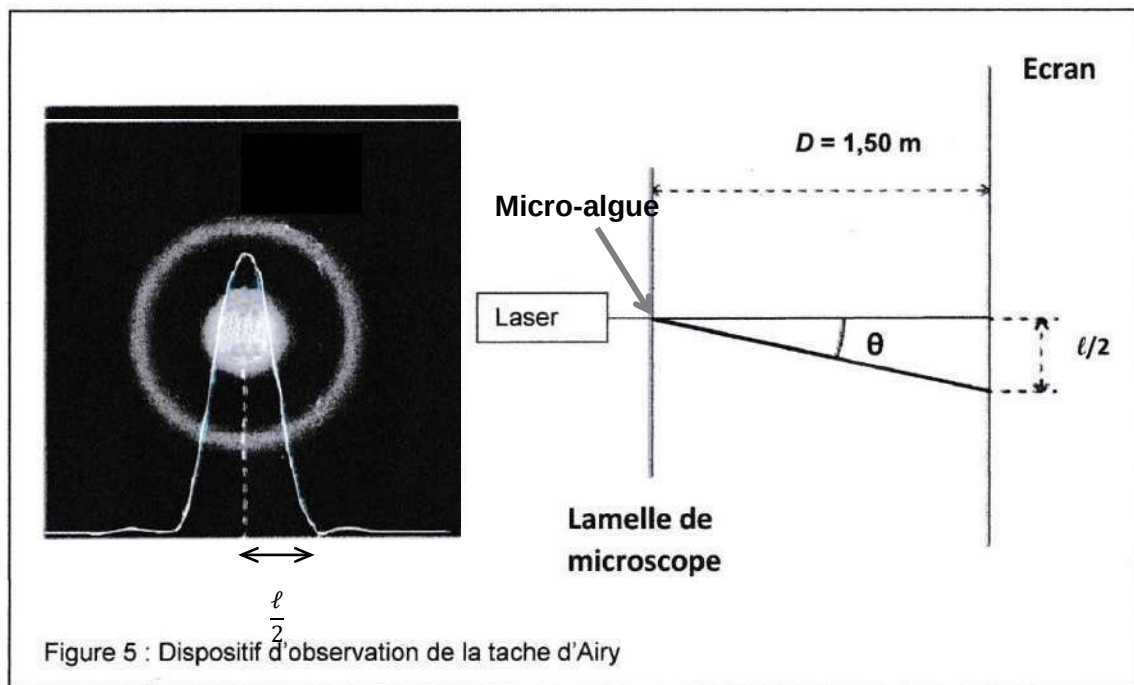


Figure 5 : Dispositif d'observation de la tache d'Airy

4. Établir la relation qui donne le diamètre d de la micro-algue en fonction de la longueur d'onde λ_v du laser, la largeur ℓ de la tache centrale et de la distance D entre la lamelle de microscope et l'écran, sachant que ℓ est très inférieur à D .

La mesure sur l'écran de la largeur ℓ donne une valeur égale à $\ell = 1,50 \text{ cm}$.

5. Calculer le diamètre d de la micro-algue. Donner cette valeur en m, puis en μm .
Pour une meilleure efficacité du dispositif, les micro-algues doivent être remplacées lorsque leur diamètre dépasse $250 \mu\text{m}$.
Indiquer alors si la micro-algue étudiée doit être remplacée.

EXERCICE II – Vers l'ISS

Mots clés : mouvement, mouvement dans un champ de gravitation, mouvement rectiligne.

Le français Thomas Pesquet et ses trois camarades astronautes se sont envolés le 23 avril 2021 vers la Station Spatiale Internationale (ISS) pour une mission de 6 mois à bord de la capsule Crew Dragon.

Le décollage de la fusée Falcon 9 au sommet de laquelle se trouve le module Crew Dragon, suivi de la mise en orbite de la capsule ont eu lieu avec succès.

Décollage de la fusée

À l'instant initial et tout au long du décollage, le mouvement de la fusée, dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen, est à peu près rectiligne, vertical et vers le haut. On néglige toute action exercée par l'air devant le poids de la fusée ou devant la force de poussée.

Données :

- intensité du champ de pesanteur à la surface de la Terre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- vitesse du son dans l'air : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Au décollage, la masse totale de la fusée est égale à $m = 595 \text{ t}$, avec $1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg}$. Dans la suite, on considèrera cette masse comme à peu près constante.

1. Exprimer puis calculer le poids P de la fusée au décollage.

Le premier étage de la fusée est équipé de 9 moteurs qui génèrent chacun une force de poussée égale à $f = 845 \text{ kN}$.

2. En déduire la force totale de poussée F au décollage.

3. Établir l'expression de l'accélération initiale a de la fusée. La calculer.

Une minute après le lancement, Falcon 9 atteint la vitesse du son. Les forces qui s'exercent sur la fusée sont variables au cours du mouvement.

4. Calculer l'accélération moyenne a_{moy} de la fusée entre le décollage et l'instant où la fusée atteint la vitesse du son.
Comparer les accélérations a et a_{moy} .

Mise en orbite

Après plusieurs heures, les éléments d'étage de la fusée ont été abandonnés et la capsule Crew Dragon finalise son approche vers la station ISS et s'y amarre automatiquement.

Données :

- rayon moyen de la Terre : $R_T = 6\,380\text{ km}$;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24}\text{ kg}$.

L'ISS décrit un mouvement circulaire uniforme autour de la Terre à une altitude moyenne égale à $h = 400\text{ km}$.

5. En appliquant la troisième loi de Kepler $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_T}$, où r est le rayon de l'orbite de la station, exprimer puis calculer la période de révolution T de la station ISS.
6. Exprimer puis calculer la valeur de la vitesse de la station sur son orbite.
7. Préciser la vitesse de la capsule par rapport celle de la station pour rendre possible l'arrimage.

EXERCICE III - Isolation thermique du rover Persévérance

Mots clés : transferts thermiques, résistance thermique.

Le rover américain Persévérance, qui s'est posé sur la planète Mars le 18 février 2021 dans le cratère Jezero, est un véhicule de la taille d'une voiture et équipé de multiples capteurs et instruments de mesure.

Mars possède une température de surface moyenne de $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sur Mars, le rover Persévérance est soumis aux grands écarts de température de l'atmosphère martienne. Une température moyenne de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ est maintenue au cœur du rover, afin de préserver le bon fonctionnement des ordinateurs.



Plusieurs matériaux composent le rover. Parmi eux se trouvent l'aluminium et l'aérogel, un matériau semblable à un gel considéré comme un solide et dont la capacité à isoler thermiquement est remarquable.

Données :

- conductivité thermique de l'aluminium : $\lambda_{\text{aluminium}} = 237\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- conductivité thermique de l'aérogel : $\lambda_{\text{aérogel}} = 0,0015\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- expression littérale de la résistance thermique d'un matériau de surface S de conductivité thermique λ et d'épaisseur e : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$
- la résistance thermique totale d'un système constitué de couches de différentes matières superposées en série est égale à la somme des résistances thermiques de chacune de ces couches.

Transfert thermique

1. Schématiser le sens du transfert thermique s'opérant entre l'intérieur et l'extérieur du rover sur le schéma situé en **ANNEXE à rendre avec la copie**. Expliquer ce sens.
2. Citer le principal mode de transfert thermique intervenant dans cette situation. Préciser s'il existe d'autres modes de transfert thermique.

Caractéristiques d'un matériau

Une partie du rover a dû être isolée pour les besoins de la mission. La pièce en aluminium, partie du système, possède une longueur L de 40 cm, une largeur ℓ de 15 cm et une épaisseur $e_{\text{aluminium}}$ de 0,85 cm.

3. Calculer la résistance thermique de cette pièce avant isolation, sachant que le flux thermique traverse son épaisseur.

4. En déduire le flux thermique correspondant.

On rajoute à cette pièce une couche d'aérogel de 3,5 cm d'épaisseur, notée $e_{\text{aérogel}}$ (cf. schéma du document réponse en annexe).

5. Calculer la résistance thermique de la couche d'aérogel rajoutée ainsi que la résistance thermique de l'ensemble.

6. En déduire le flux thermique à travers **l'ensemble (pièce en aluminium et couche d'aérogel)** et le comparer au flux thermique en absence d'aérogel.

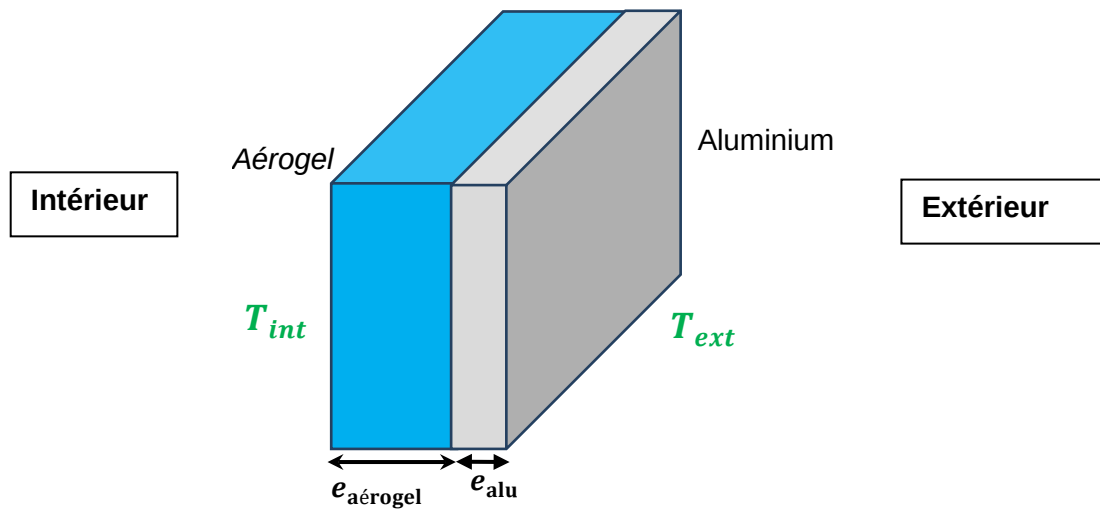
7. Indiquer comment varie le flux thermique global lorsqu'on :

- double la surface (longueur $\times$ largeur) de l'ensemble (pièce en aluminium et couche d'aérogel). Justifier votre réponse ;
- double l'épaisseur de l'ensemble (pièce en aluminium et couche d'aérogel). Justifier votre réponse.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Document-réponse - EXERCICE III, question 1

Schématiser le sens du transfert thermique.



1.2

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR JOUR 2

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 32 pages numérotées de 1/32 à 32/32.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR2 (pages 20 à 21) sont à rendre avec la copie.

Partie 2 : si les exercices traités comportent des annexes, elles sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Bateau amorceur Feed'O

Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 19
- Documents réponses..... pages 20 à 21

Le candidat devra traiter obligatoirement la sous-partie 1.

Puis, il devra choisir et traiter l'une des deux sous-parties suivantes :

- la sous-partie 2 (choix 1), question 9 à Question 14
- la sous-partie 3 (choix 2), questions 15 à question 20

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 20 à 21) seront à rendre agrafés aux copies.

Mise en situation

Depuis une dizaine d'années, le nombre de pêcheurs amateurs est en augmentation. Avec 1,6 millions de licenciés, la fédération nationale de la pêche est devenue la deuxième fédération française en termes d'adhérents.

Profitant de cet engouement, des innovations technologiques, tel que le bateau amorceur, sont apparues dans le domaine de la pêche à la carpe.

C'est un bateau télécommandé permettant d'aller déposer de 0,5 à 5 kg d'amorces, de façon très précise, dans des endroits difficiles et à longue distance (jusqu'à 300 m). Certains modèles possèdent un sondeur intégré ainsi qu'un GPS.



Le diagramme des cas d'utilisation (figure 1) explicite les interactions du bateau amorceur avec son environnement.

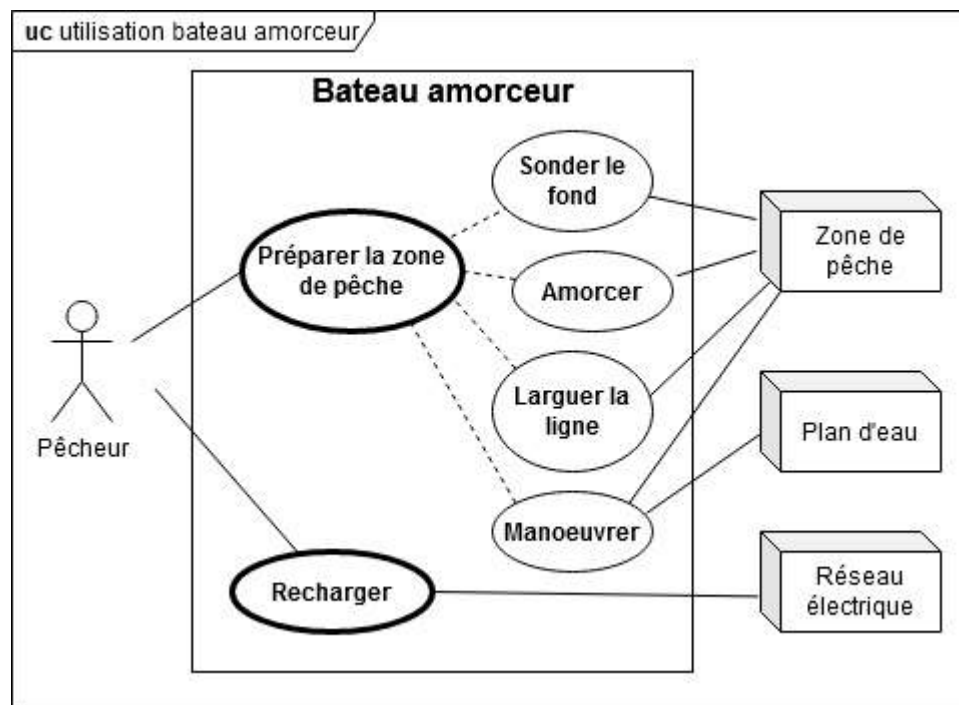


figure 1 : diagramme de cas d'utilisation du bateau amorceur

L'étude s'intéressera successivement à trois des problèmes techniques qui en découlent :

- comment permettre au bateau de se déplacer sur le plan d'eau ?
- comment obtenir le profil du fond sous-marin ?
- comment assurer une autonomie de fonctionnement suffisante ?

Le diagramme des exigences (figure 2) permet de préciser certaines des capacités attendues du bateau amorceur.

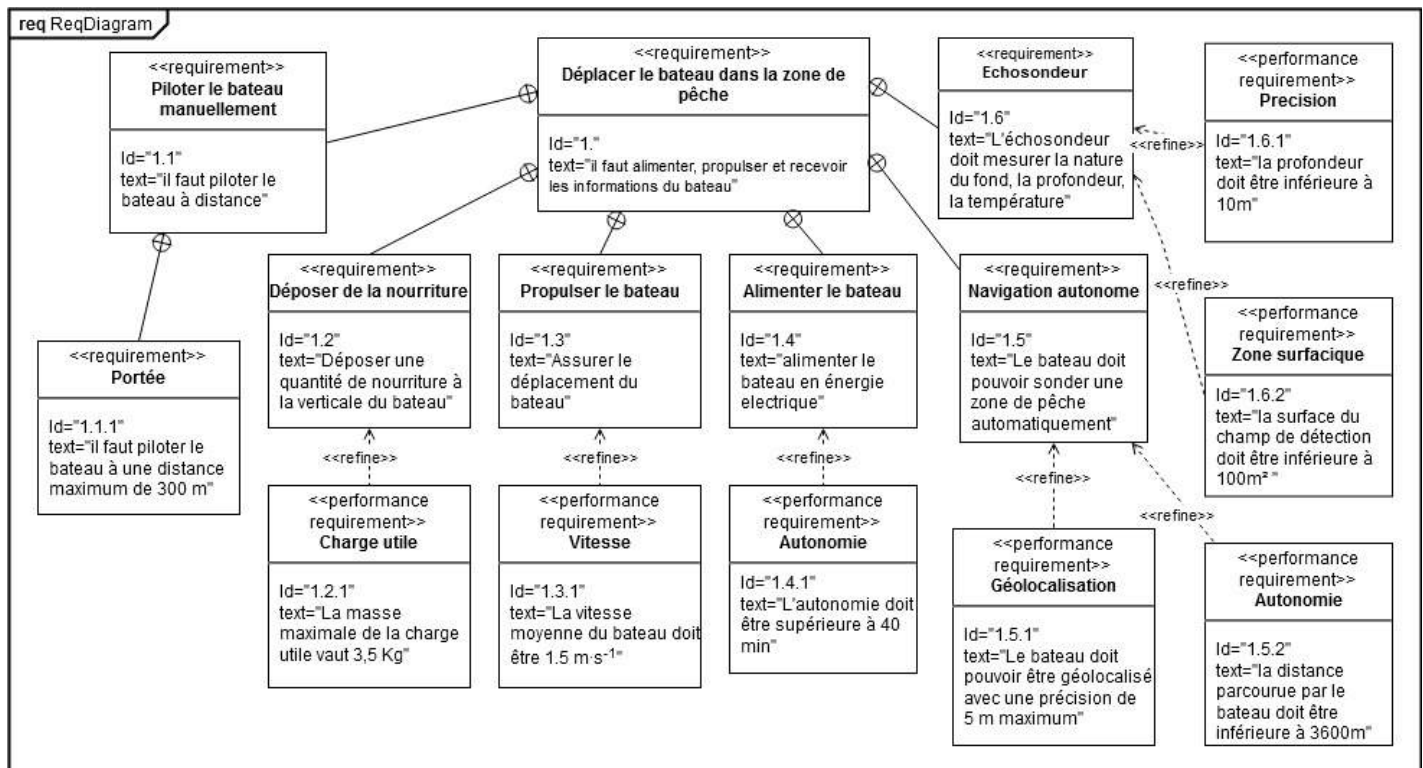


figure 2 : diagramme des exigences

Sous-partie 1 – obligatoire

Étude de la maniabilité du bateau

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le bateau peut être manœuvré sur un plan d'eau.

L'étude suivante permettra de déterminer les performances du bateau en termes de flottabilité, propulsion et pilotage.

Flottabilité

Le tirant d'eau est la hauteur de la partie immergée d'un bateau (figure 3). Elle est mesurée entre la ligne de flottaison et le point le plus bas du bateau.

À l'équilibre, la poussée d'Archimède compense le poids du bateau. Elle vaut :

$$P_{arch} = V_{im} \times \rho_{eau} \times g$$

Avec :

- P_{arch} : la poussée d'Archimède en N,
- V_{im} : le volume d'eau déplacé des 4 flotteurs en m^3 ,
- ρ_{eau} : la masse volumique de l'eau,
- g : l'accélération de la pesanteur.

La figure 4 donne le volume d'eau déplacé d'un flotteur en fonction du tirant d'eau.

Plus le bateau est chargé, plus il s'enfonce et plus le tirant d'eau est important. Il doit être supérieur à 60 mm pour maintenir les hélices sous l'eau, mais inférieur à 130 mm pour que la coque centrale reste au-dessus de l'eau.

Données :

- masse du Feed'O à vide $M_{vide} = 5,5 \text{ kg}$ (batteries incluses) ;
- masse volumique de l'eau douce $\rho_{eau} = 999,5 \text{ kg} \cdot m^{-3}$;
- accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m} \cdot s^{-2}$;

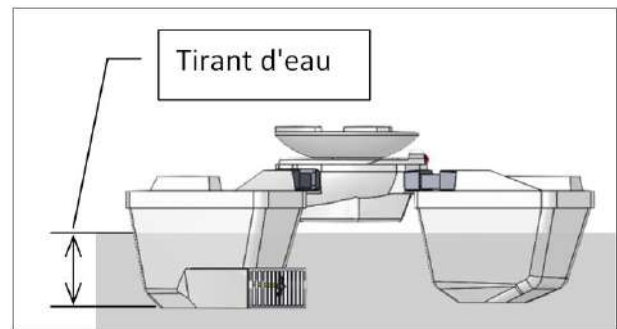


figure 3 : définition du tirant d'eau

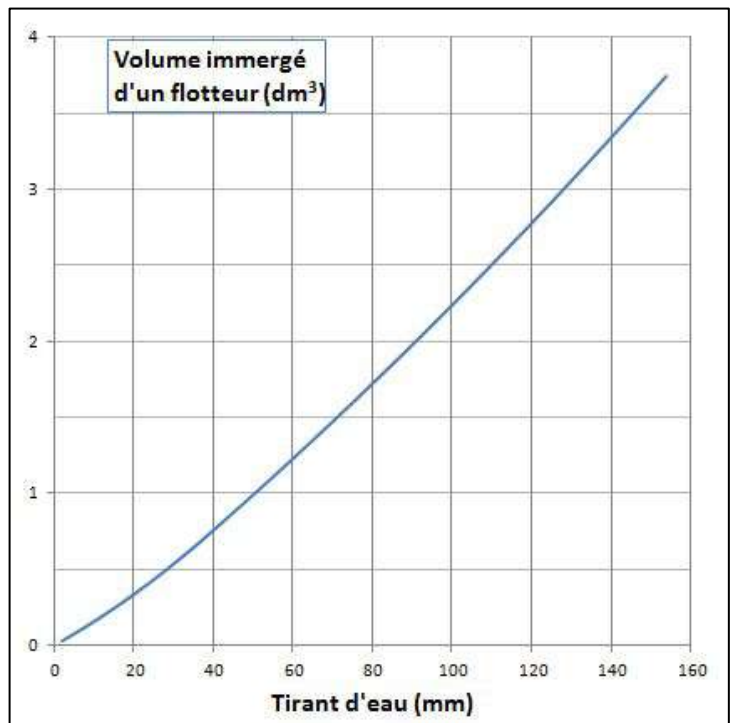


figure 4 : volume d'eau déplacé d'un flotteur

- chaque flotteur supporte un quart du poids total du bateau.

Question 1	À partir de l'expression de la poussée d'Archimède, calculer le volume d'eau déplacé par le bateau. En déduire le volume d'eau d'un flotteur.
Question 2	À l'aide de la figure 4, déterminer le tirant d'eau du bateau à vide.
Question 3	Relever la valeur limite du volume d'eau pouvant être déplacé par le bateau. L'exigence id 1.2.1 est-elle satisfaite ?

Propulsion

La propulsion du bateau est assurée par deux moteurs brushless logés dans les flotteurs avant. Les moteurs sont associés à des hélices tripales, en nylon renforcé aux fibres de verre, de diamètre 50 mm. À vitesse stabilisée, la poussée permet de compenser la résistance à l'avancement dans l'eau, appelée "trainée hydrodynamique" (figure 5).

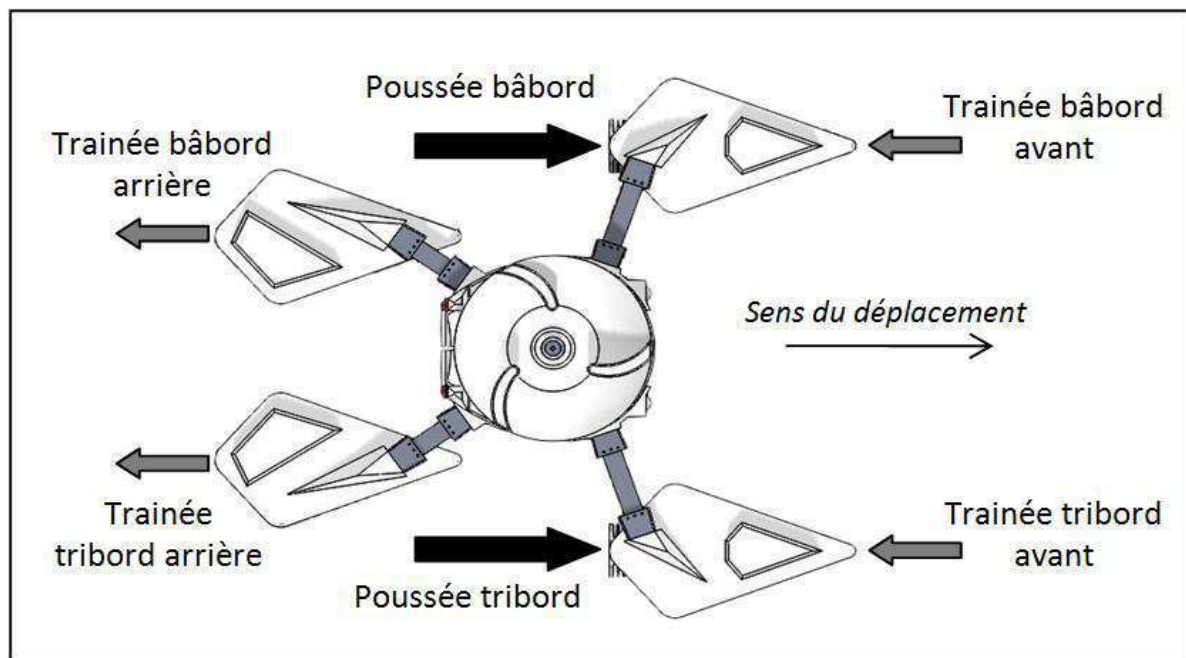


figure 5 : poussée et trainée

La poussée par moteur en fonction du régime moteur représenté par la vitesse de rotation des pales se trouve figure 6

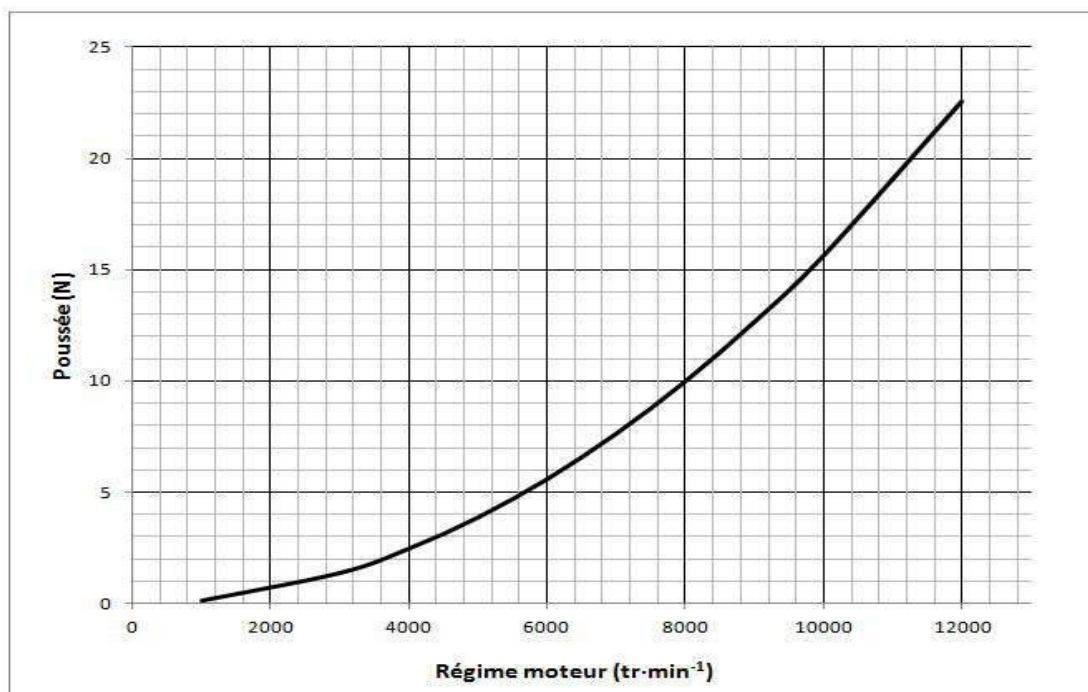


figure 6 : poussée par moteur en fonction de la fréquence de rotation (régime moteur)

Des simulations ont permis d'obtenir les courbes de la figure 7 donnant la valeur de la trainée hydrodynamique d'un flotteur, en fonction du tirant d'eau, pour différentes vitesses de déplacement du bateau.

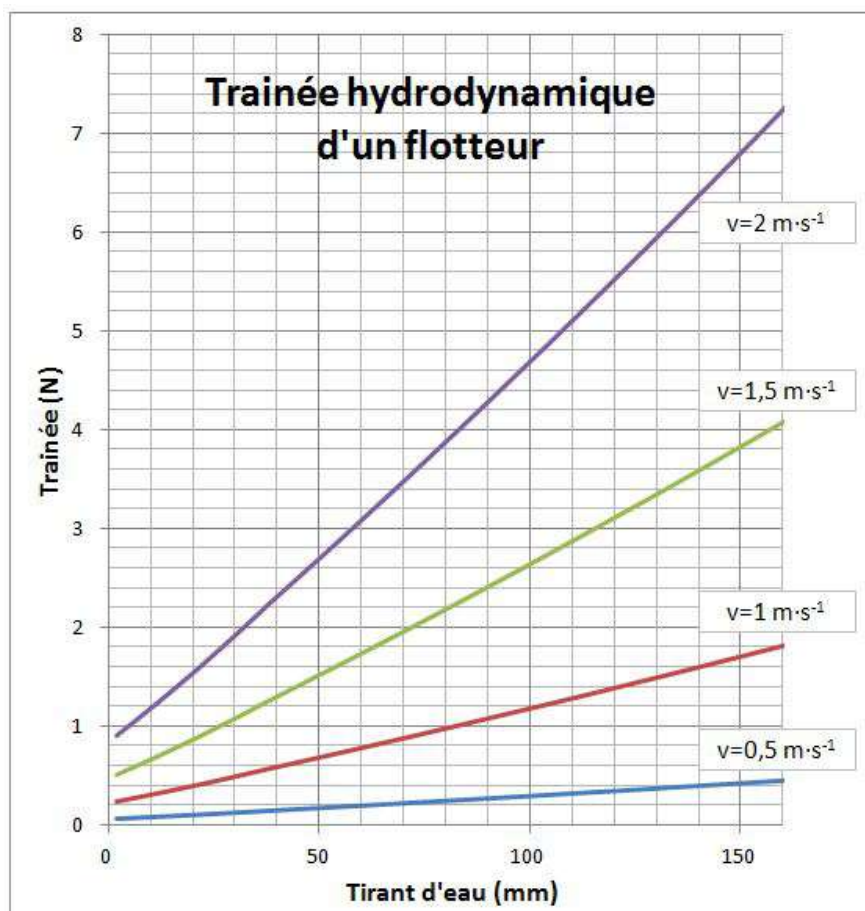


figure 7 : trainée d'un flotteur en fonction du tirant d'eau et de la vitesse du bateau

Dans les conditions les plus défavorables, le bateau doit pouvoir naviguer à $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, avec un tirant d'eau de 130 mm. Le régime moteur maximal pour une alimentation de 12 V est : $N_{\text{mot-maxi}} = 10560 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

Question 4	À l'aide de la figure 7, déterminer T_{hydro} , la trainée hydrodynamique des 4 flotteurs du bateau pour la condition la plus défavorable. En déduire, à l'aide de la figure 6, N_{mot} , la fréquence de rotation des deux moteurs. Conclure.

Comme la représentation de la figure 8 le montre, si le chargement du bateau n'est pas symétrique, les tirants d'eau bâbord et tribord sont différents ainsi que les trainées hydrodynamiques. Ceci a comme conséquence de faire giter et dévier le bateau de son cap.

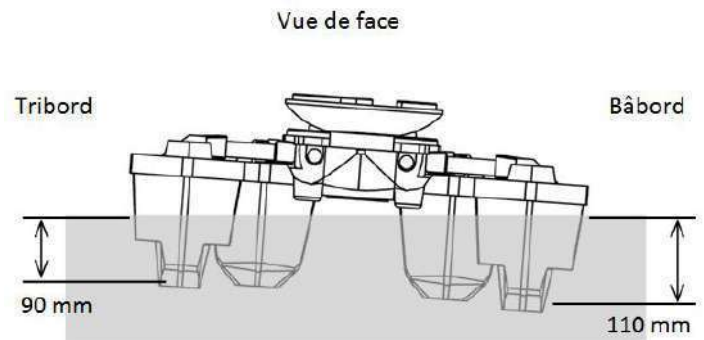


figure 8 : gîte en cas de chargement déséquilibré

Dans ce cas, il faut compenser la déviation en réglant différemment les vitesses de rotation des deux hélices.

Dans le cas d'un déséquilibre latéral de 20 mm, tirant d'eau de 110 mm à bâbord et de 90 mm à tribord (figure 8), la disposition des forces est représentée ci-dessous (figure 9) :

$$T_{\text{bâb}} = 5,3 \text{ N}$$

- $T_{\text{tri}} = 4,2 \text{ N}$

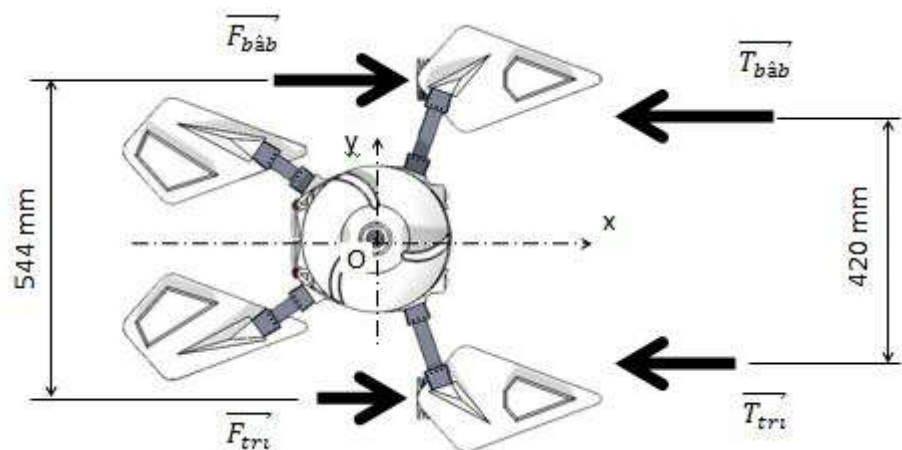


figure 9 : disposition des forces

Pour ce cas d'étude, le bateau n'est soumis qu'aux forces indiquées en figure 9 et se déplace en translation rectiligne uniforme.

Question 5	En appliquant le principe fondamental de la statique au centre du bateau (point O), calculer les poussées des moteurs bâbord $F_{\text{bâb}}$ et tribord F_{tri} .

Quelles que soient les valeurs trouvées précédemment, les valeurs suivantes seront utilisées :

$$F_{\text{bâb}} = 5,5 \text{ N et } F_{\text{trib}} = 4,5 \text{ N}$$

Question 6	À l'aide de la figure 6, déterminer la fréquence de rotation permettant d'obtenir ces poussées sur chaque moteur.

Pilotage

Le pilotage automatique du bateau nécessite de lui fixer un cap à suivre. La route réellement suivie est relevée à l'aide du GPS.

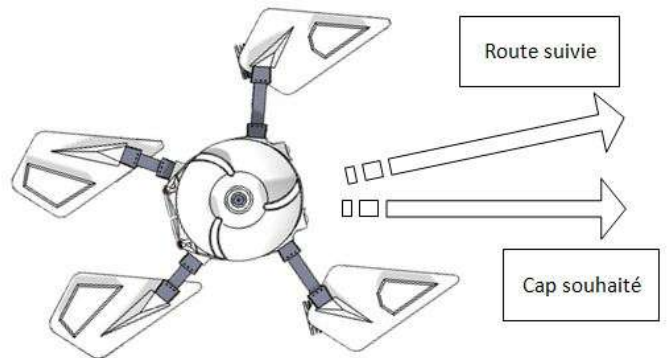


figure 10 : cap souhaité et route suivie

Pour orienter le bateau suivant le cap souhaité, malgré les perturbations liées au vent, au courant ou encore aux vaguelettes, il faut régler différemment la poussée des deux moteurs.

La comparaison de la route suivie avec le cap souhaité permet de réguler la vitesse des deux moteurs autour d'une valeur moyenne, suivant le schéma de la figure 11.

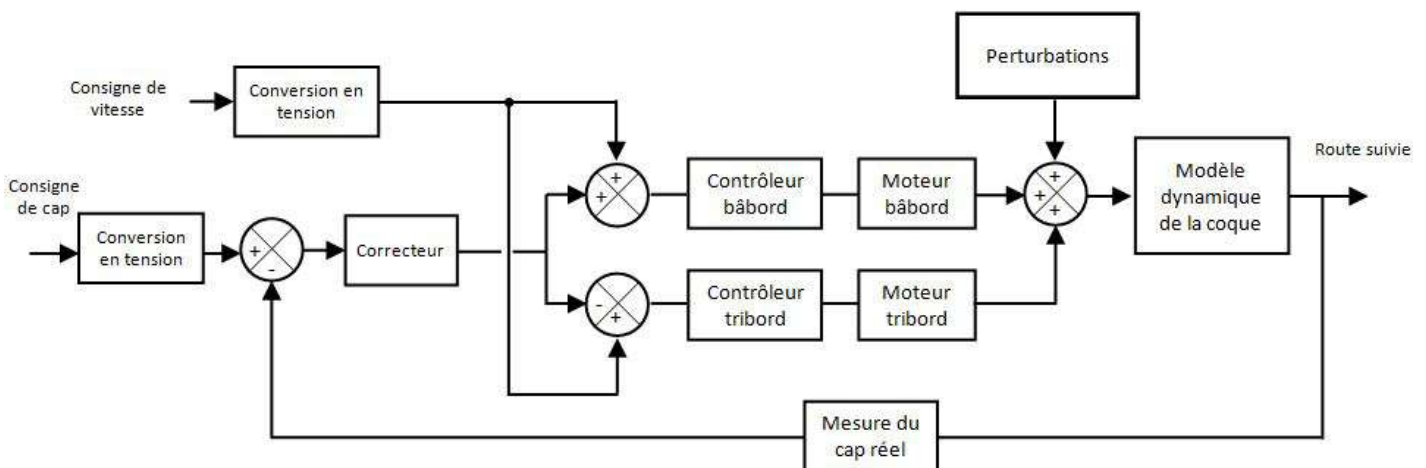


figure 11 : schéma de principe de la régulation de cap

Cette chaîne de commande comporte un correcteur proportionnel et intégral. La figure 12 présente la réponse du système à une consigne de type échelon pour différentes valeurs du facteur de correction proportionnelle et du facteur de correction intégrale.

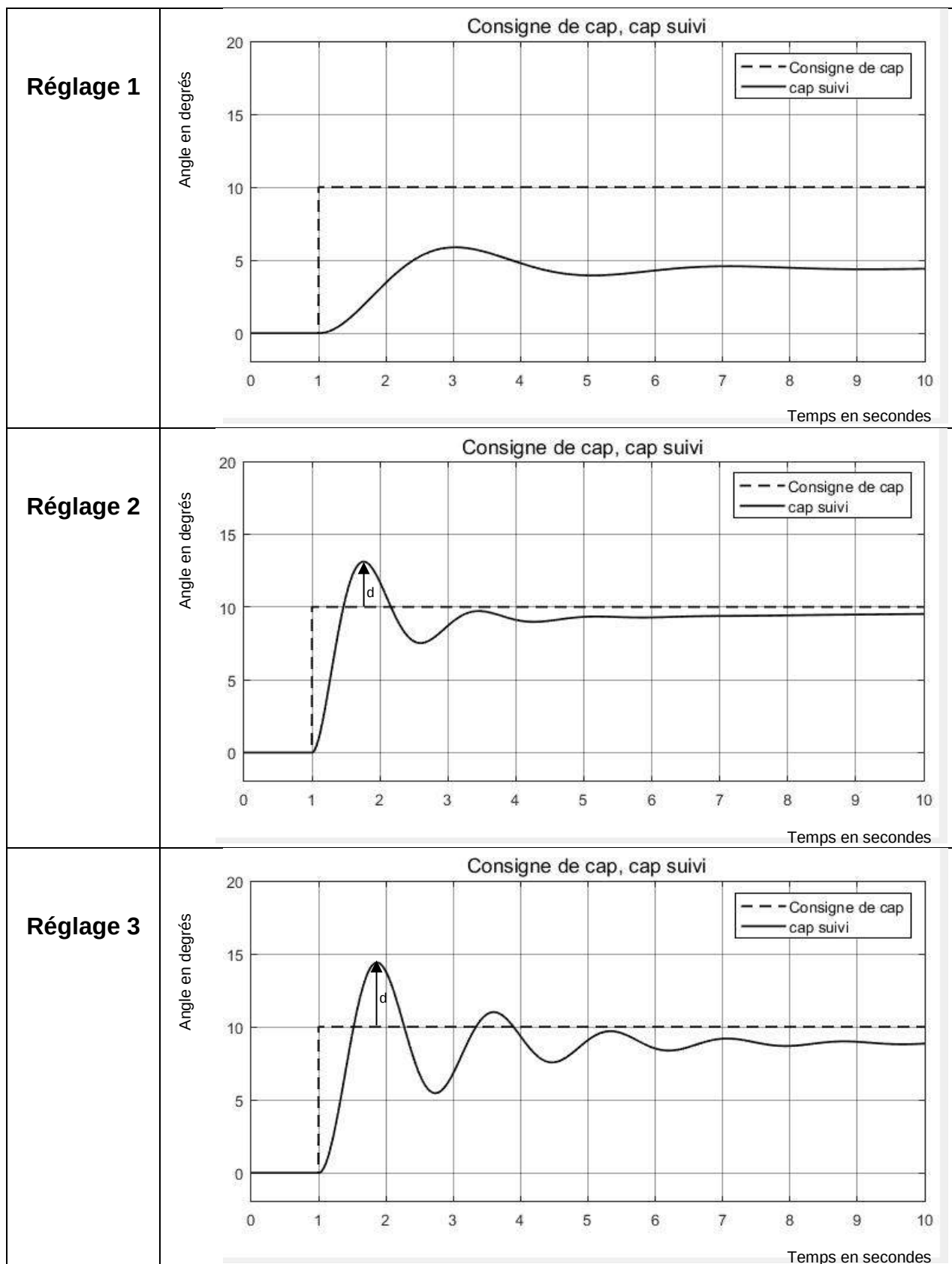


figure 12 : réponse du système à une consigne de type échelon pour différents réglages du correcteur proportionnel-intégral

Afin de guider correctement le bateau sur la trajectoire souhaitée, les caractéristiques suivantes sont données:

- l'erreur statique doit être inférieure à 2° ;
- la valeur d (dépassement relatif) doit être inférieure à 35 % de la valeur de consigne.

Question 7	Choisir le meilleur réglage parmi les trois proposés (figure 12), en justifiant la réponse.

Question 8	À partir des réponses précédentes, conclure sur les capacités du bateau en termes de flottabilité, propulsion et pilotage.

Sous-partie 2 – choix 1

Étude du système de reconnaissance du fond de zone de pêche

L'objectif de cette sous-partie est de montrer en quoi l'utilisation du sondeur sur le bateau amorceur permet une meilleure compréhension du fond de la zone de pêche.

L'historiquement, le sondage d'une zone de pêche est réalisé manuellement. La technique utilisée se décompose en trois étapes illustrées à la figure 13.

- Étape 1. Dans le cas d'un sondage manuel, le pêcheur lance un système constitué d'un marqueur sondeur, d'un plomb et d'un émerillon. Ce dernier permet de faire coulisser le fil du moulinet.
- Étape 2. Une fois le montage lancé et le plomb au fond de l'eau, le pêcheur mouline jusqu'à ce que le marqueur sondeur atteigne l'émerillon et "sente" une forte résistance lié au plomb.
- Étape 3. Le pêcheur déroule le fil du moulinet qui coulisse dans l'émerillon jusqu'à ce que le flotteur vienne à la surface de l'eau et mesure la longueur de fil déroulée.

Une fois la profondeur estimée, le pêcheur tire sur l'ensemble du montage afin de ramener le plomb de quelques mètres et il recommence l'opération détectant ainsi les différentes profondeurs de la zone de pêche.

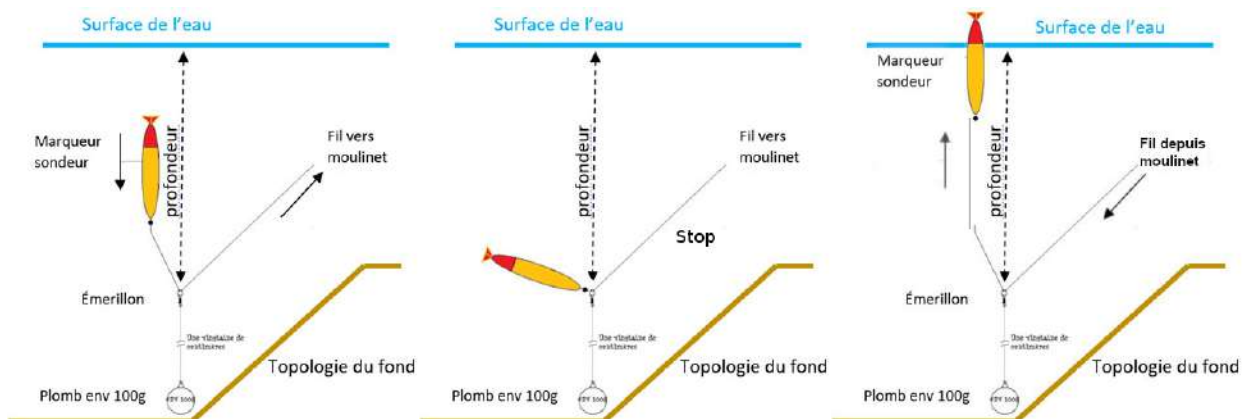


figure 13 : les trois étapes du sondage manuel

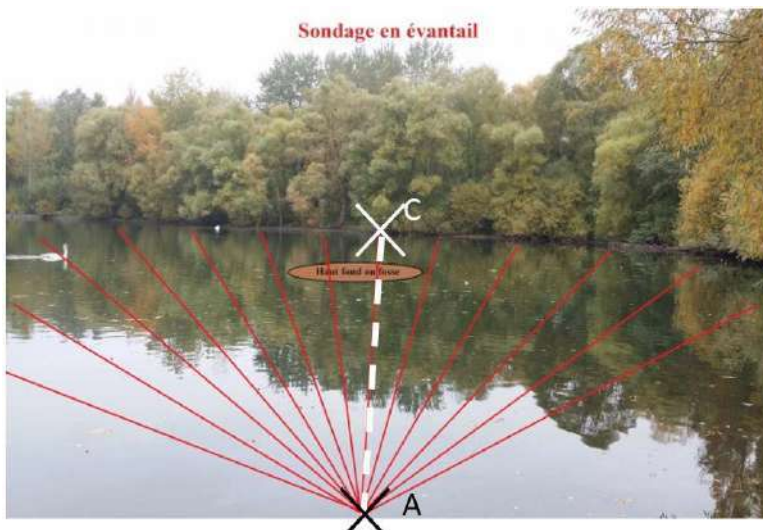


figure 14 : sondage manuel

Le pêcheur ne peut pas lancer le montage à une distance supérieure à 80 m. Un relevé sur un lancer lui prend en moyenne 5 minutes.

Le pêcheur renouvelle plusieurs fois l'opération sur des trajectoires différentes, afin d'avoir une vision d'ensemble des profondeurs dans sa zone de pêche.

Pour cette zone de pêche, quatorze lancers sont nécessaires.

Le relevé manuel, correspondant au lancé [AC] de la figure 14 est présenté sur la figure 16.

Question 9	Estimer le temps nécessaire pour qu'un pêcheur ait une vision d'ensemble de sa zone de pêche lorsqu'il sonde manuellement.

Étude de l'échosondeur

Un échosondeur est un appareil qui permet de mesurer la profondeur en envoyant un signal acoustique (ultrasons) qui est réfléchi par le fond. La mesure du temps entre l'émission du faisceau et le retour de l'écho permet d'en déduire une distance. Ce principe est schématisé sur la figure 15.

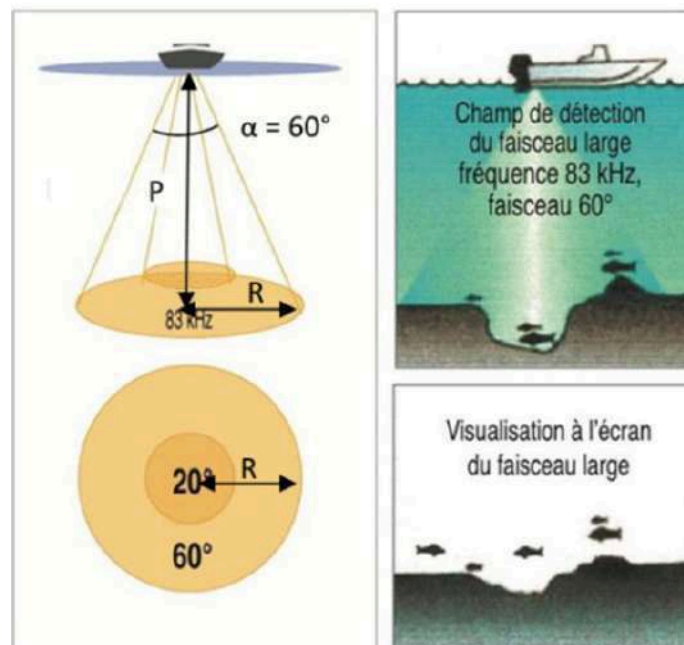


figure 15 : champ de détection de l'échosondeur

Une comparaison d'un relevé topographique manuel et par échosondage de la trajectoire [AC] du plan d'eau est présenté sur la figure 16.

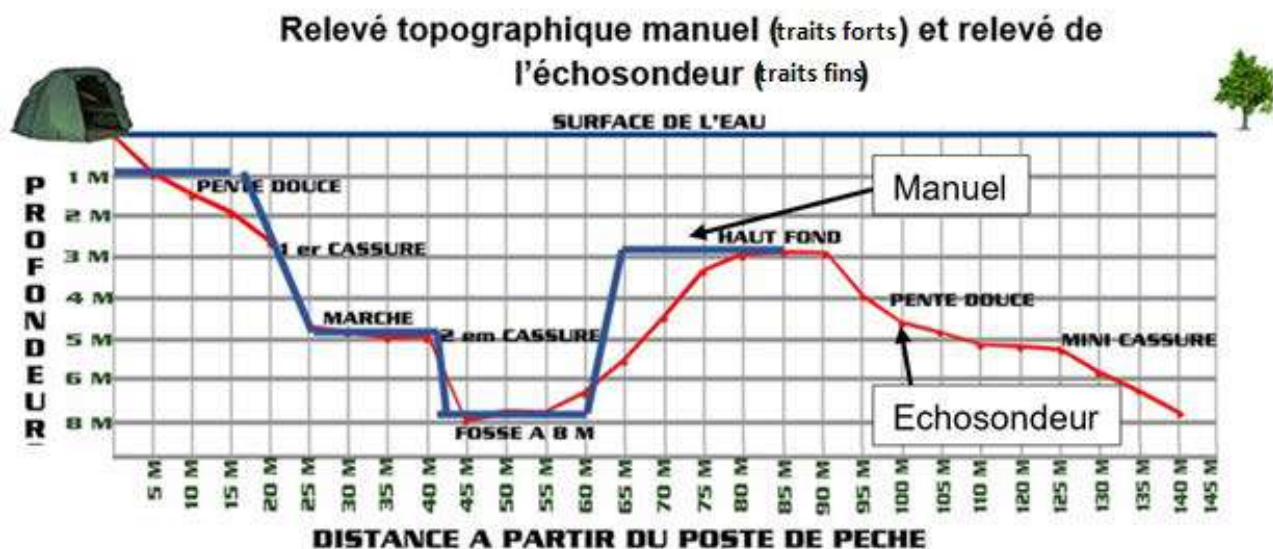


figure 16 : comparaison du relevé topographique manuel et avec l'échosondeur.

Question 10	À partir du relevé figure 16, donner la profondeur maximale de la zone de pêche. Dans ce cas, calculer le rayon R du faisceau large de l'échosondeur ainsi que la surface du champ de détection. Vérifier les exigences de performances de l'échosondeur.

Aujourd'hui, l'échosondeur intégré au bateau amorceur permet de cartographier et de transmettre sur un écran en temps réel tout ce qu'il y a sous le bateau en analysant le fond aquatique de la zone de pêche (profondeur, nature du fond, obstacles...).

En effectuant un balayage de la zone, le pêcheur peut alors visualiser précisément toutes les propriétés du fond et repérer les emplacements des différents poissons recherchés. Dans le bateau Feed'O, un module GPS est présent et le balayage d'une zone de pêche peut se faire automatiquement.

Étude de l'algorithme de déplacement

L'algorithme étudié permet de balayer une zone rectangulaire. L'utilisateur entre les coordonnées GPS de trois points du rectangle (dans ce cas A, B et C). Le calculateur détermine la position du point D. Un exemple de ces points est donné ci-dessous.

Point	A	B	C
Latitude φ	43.65695	43.65745	43.65819
Longitude λ	5.550390	5.551330	5.550480

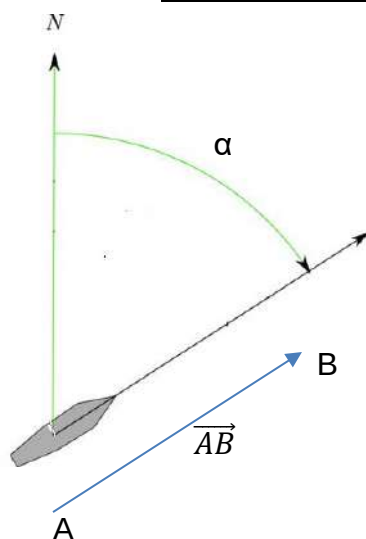
Le calculateur détermine la position du point D. Le balayage s'effectue en suivant le parcours représenté en figure 17 (A, B, B₁, A₁, A₂, B₂, B₃, A₃..., B_n, A_n, C et D).



figure 17 : représentation schématique du balayage en vue de dessus de la zone de pêche

Les distances entre les points A, B et C et les coordonnées des points intermédiaires A₁ à A_n et B₁ à B_n de la figure 17 sont calculées automatiquement en fonction des coordonnées GPS initiales renseignées par l'utilisateur. Le bateau ne retourne au point initial A que s'il atteint le point final D.

Distance	[AB]	[BC]	[AC]
Mètres	94	107	142



Le calculateur détermine tous les caps à suivre et l'ensemble des points GPS à atteindre. Pour rappel, le cap est la direction vers laquelle est orienté le bateau. C'est l'angle α exprimé en degrés (de 0 à 360°), dans le sens des aiguilles d'une montre, entre la direction du nord et sa ligne de foi (son axe longitudinal).

Cet angle est donné par le capteur GPS. L'algorithme, présenté sur le document réponse DR1, permet de commander les deux moteurs du bateau.

Les différents caps à suivre sont représentés par la notation vectorielle. Ainsi, pour aller du point A au point B (figure 17), le bateau suivra le cap donné par $\overrightarrow{AB}$.

Question 11	Calculer le nombre total de points à atteindre pour la zone définie précédemment. Compléter l'algorithme de balayage sur le document réponse DR1 avec les fonctions (avancer, pivoter à droite, pivoter à gauche) ainsi que le test manquant en s'inspirant du test précédent afin de garantir que la correction de cap soit fonctionnelle.

Question 12	Compléter l'algorithme de balayage sur le document réponse DR1 avec les fonctions (avancer, pivoter à droite, pivoter à gauche) ainsi que le test manquant en s'inspirant du test précédent afin de garantir que la correction de cap soit fonctionnelle.
DR1	

Question 13	Calculer et vérifier que la distance totale parcourue par le bateau pour balayer toute la zone et revenir au point de départ est inférieure à l'exigence d'autonomie. En déduire le temps moyen que mettra le bateau pour cartographier le fond.

La cartographie obtenue par balayage est représentée sur la figure 18.

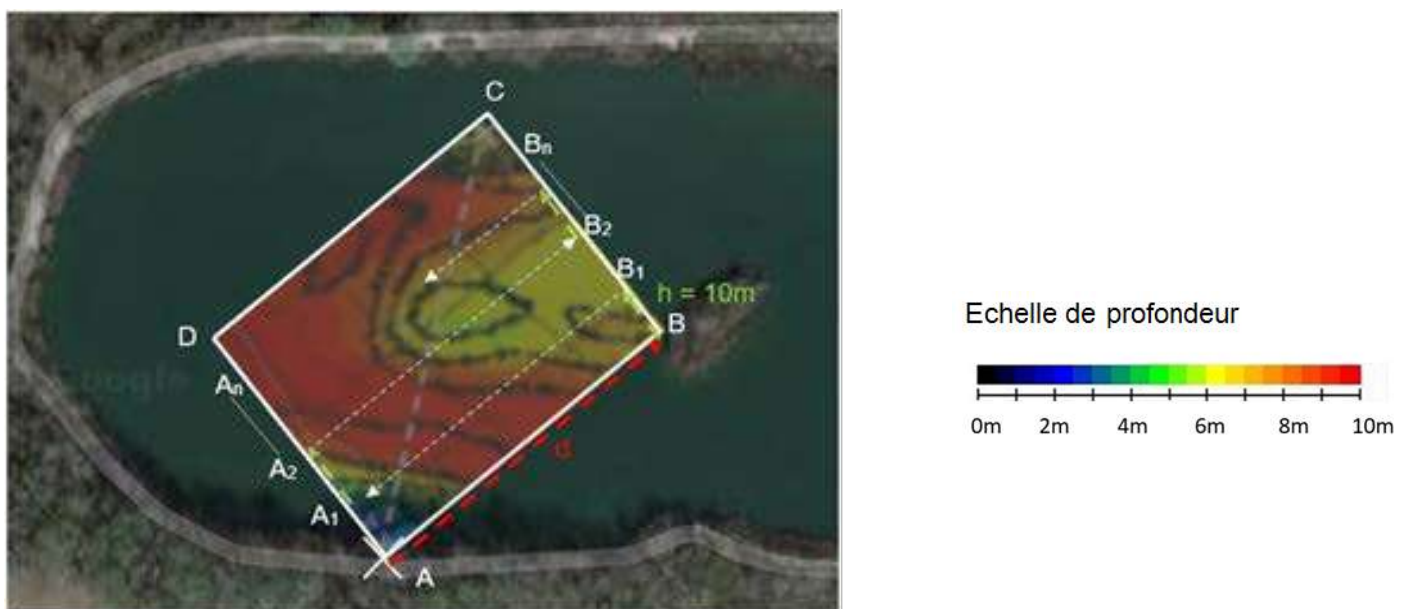


figure 18 : topographie de la zone de pêche obtenue avec l'échosondeur

Question 14	Quantifier et conclure sur les avantages de l'utilisation du bateau amorceur avec sondeur par rapport à un sondage manuel en termes de gain de temps et de connaissance du fond aquatique.

Sous-partie 3 – choix 2

Étude de l'autonomie du bateau

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier l'autonomie du bateau dans le cas d'un sondage automatique.

Calcul de l'autonomie

L'utilisation du bateau amorceur nécessite de l'énergie électrique provenant de batteries. Le pêcheur doit rester vigilant à l'état de charge de celle-ci afin d'éviter tout échouage. La figure 19 représente les différents éléments électriques présents dans le bateau.

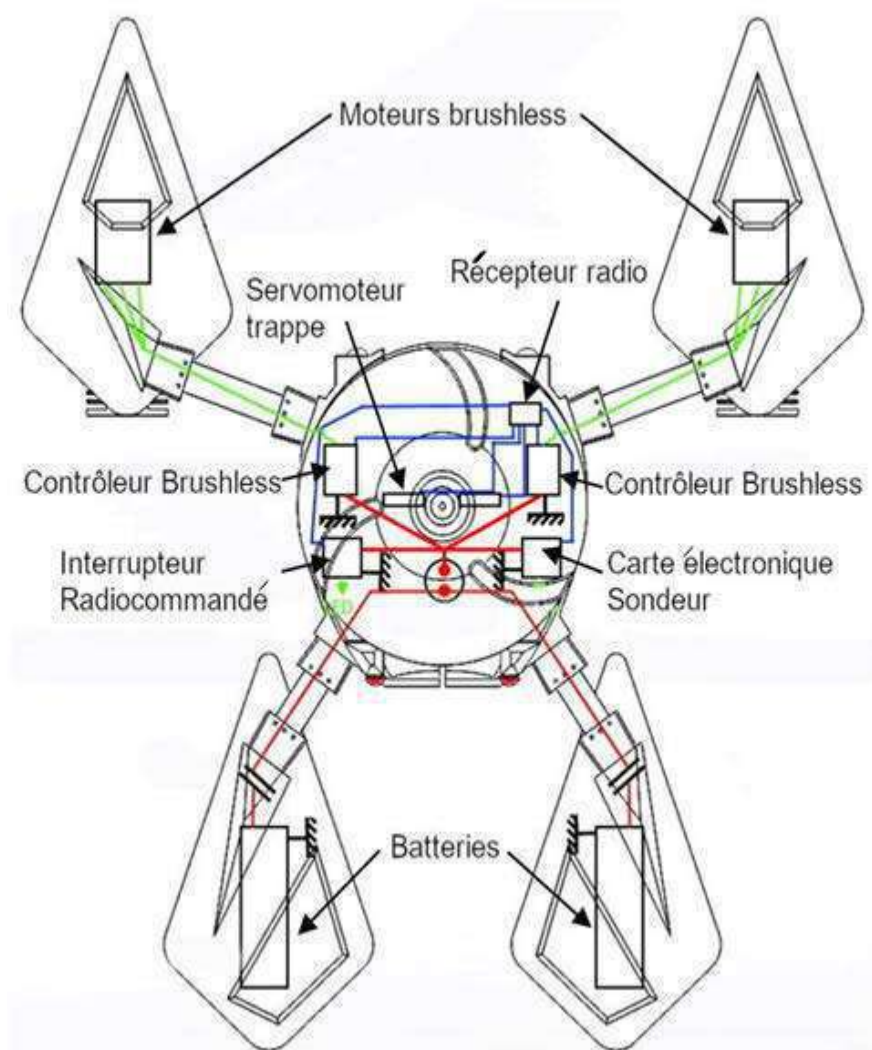


figure 19 : représentation simplifiée des éléments électriques

Question 15	Compléter le diagramme de blocs internes du bateau amorceur DR2 en renseignant les différents types d'énergie ainsi que les efforts et les flux correspondants dans la chaîne de puissance.
DR2	

L'énergie électrique, fournie par les batteries, doit permettre au bateau d'effectuer, au minimum, la cartographie du fond représentée sur la figure 18. Ni le fonctionnement manuel, ni la dépose d'appâts ne sont étudiés.

Question 16	À partir du diagramme de blocs, figure 20, calculer la puissance électrique globale du bateau.

Question 17	Montrer que la puissance des moteurs brushless est prépondérante devant les autres éléments.

Dans le cas où le bateau se déplace automatiquement, le dimensionnement des batteries utilisées doit être vérifié.

Question 18	Déterminer la quantité d'énergie électrique disponible dans le bateau.

Question 19	Calculer le temps de fonctionnement théorique du bateau amorceur et justifier l'utilisation de deux batteries.

Question 20	Déterminer la distance totale parcourue à vitesse moyenne par le bateau dans ces conditions. Conclure synthétiquement sur la capacité du bateau à satisfaire les exigences d'autonomie.

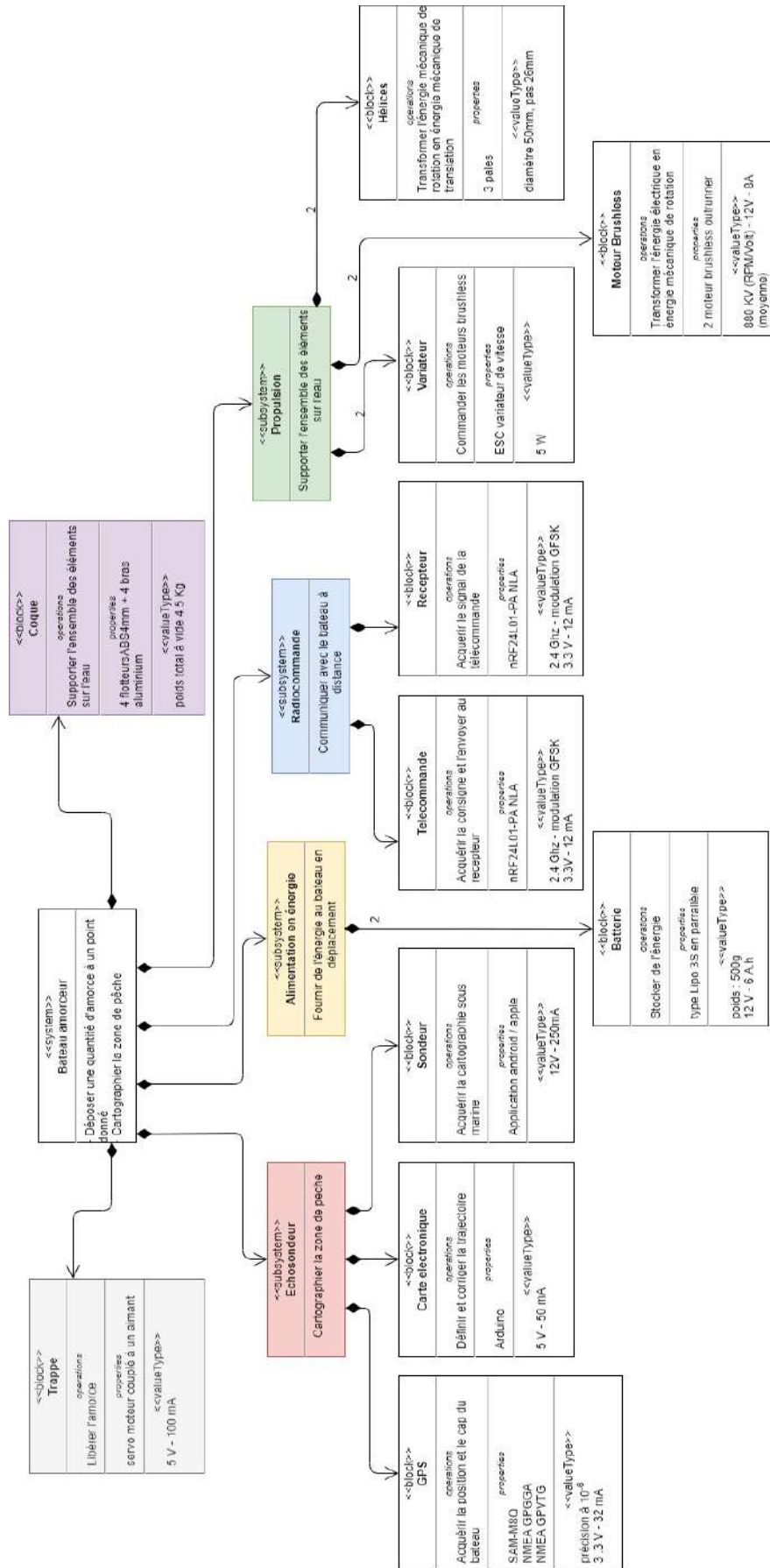
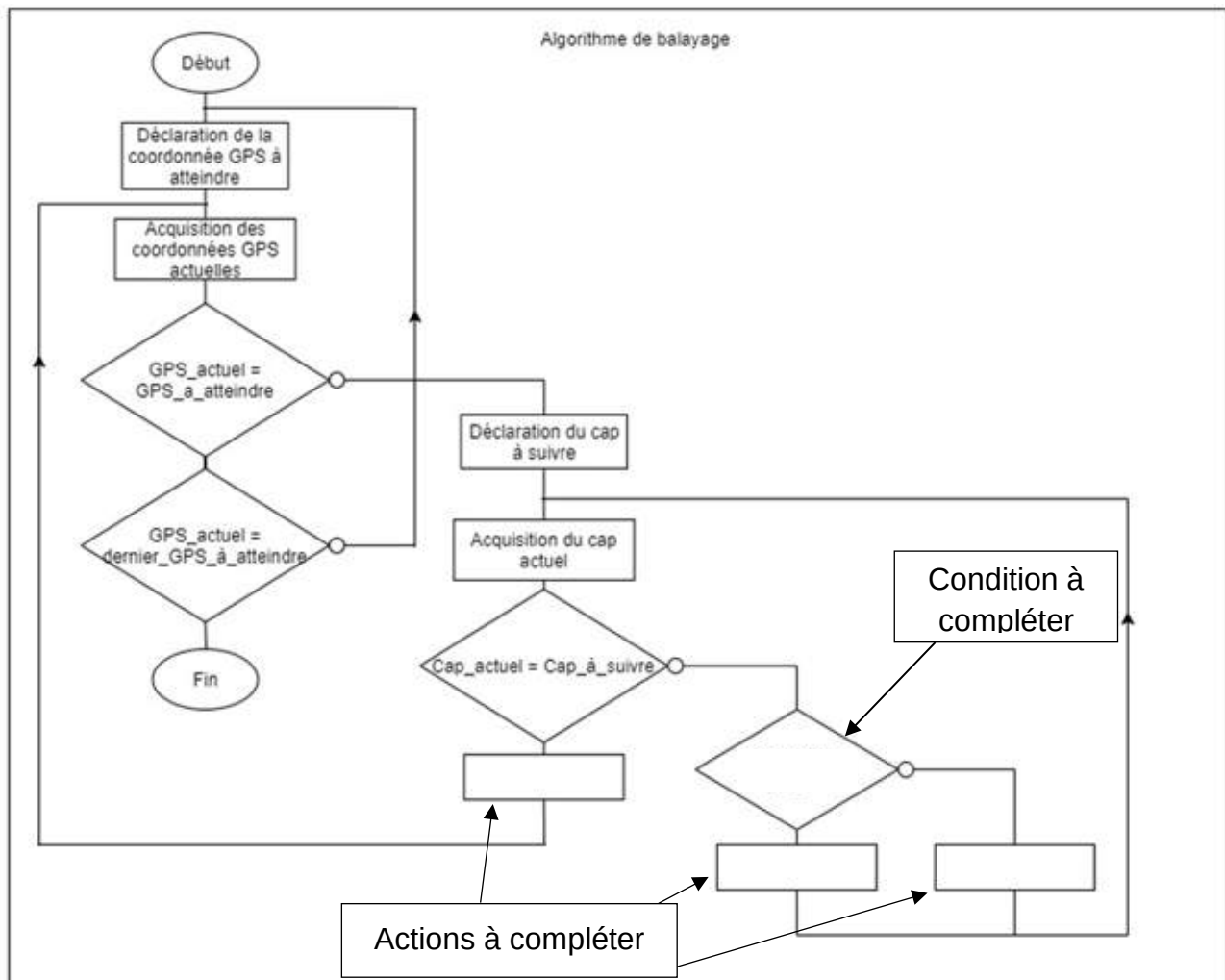


figure 20 : diagramme de blocs du bateau amorceur

DR1 - algorithme de déplacement du bateau en mode automatique

Question 12 – choix 1

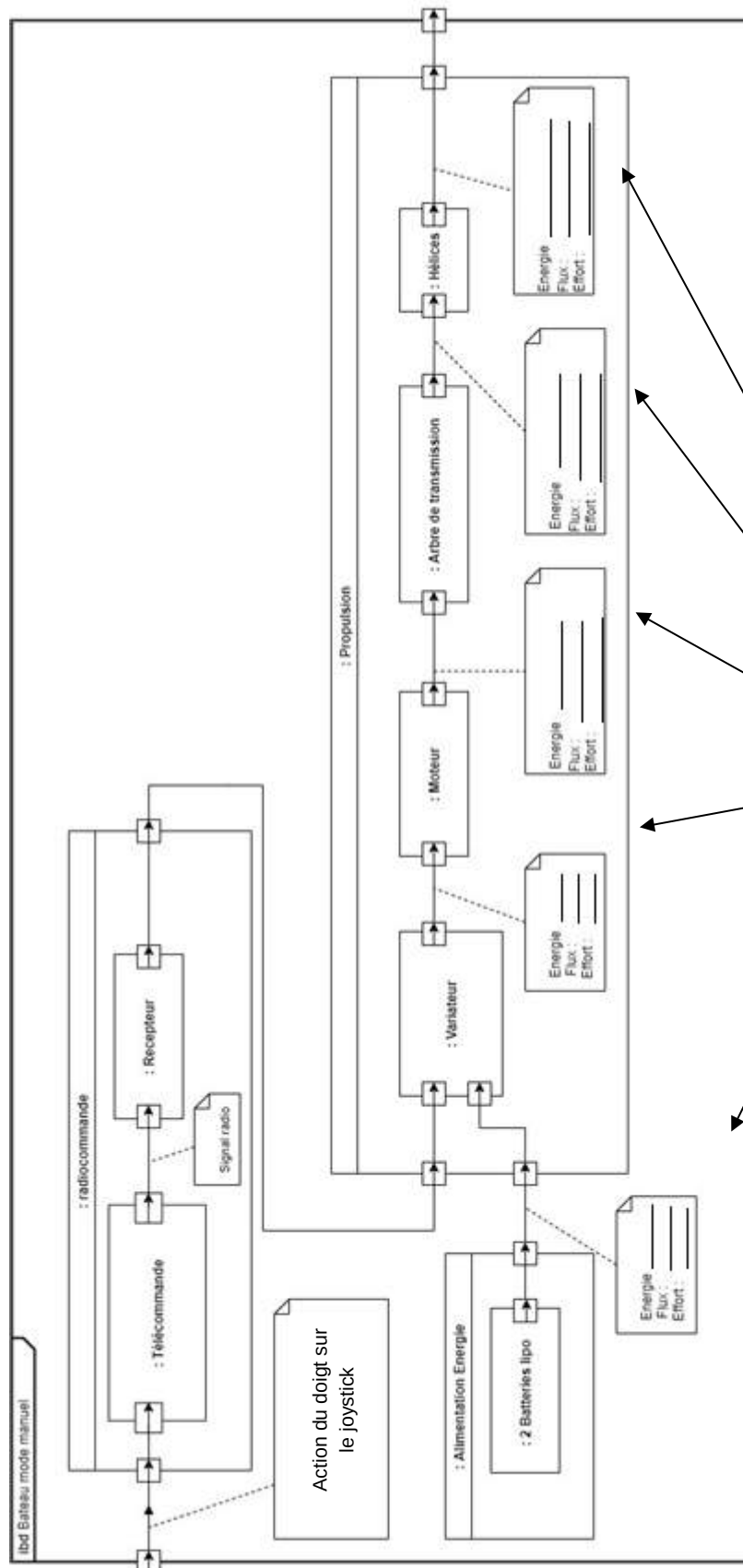


NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

DR2 – Diagramme de bloc interne

Question 15 – choix 2

À compléter



À compléter

1.2

Partie 2 – Sciences physiques

Les trois exercices proposés sont indépendants ; le candidat doit en traiter seulement deux. Chacun des exercices est noté sur 10.

Le candidat indiquera au début de sa copie les numéros des 2 exercices choisis.

Les mots clés présents en en-tête de chaque exercice, peuvent l'aider à effectuer son choix.

Les numéros des exercices traités doivent apparaître clairement sur la copie.

EXERCICE I - Granulométrie du lactose

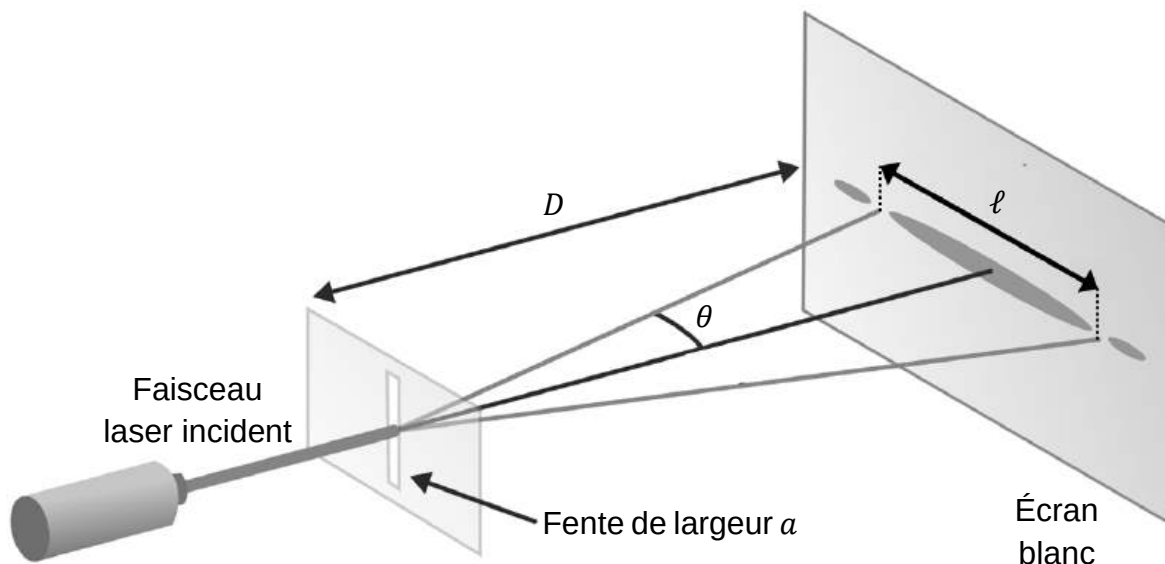
Mots clés : diffraction.

Le lactose, poudre blanche cristalline, légèrement sucrée, est un composé chimique largement utilisé comme excipient dans l'industrie pharmaceutique. Un excipient est une substance associée au principe actif d'un médicament et dont la fonction est de faciliter l'administration, la conservation et le transport de ce principe actif jusqu'à son site d'absorption. Les poudres de lactose sont fabriquées en modifiant de façon sélective la taille ou la forme des grains qui les composent.

L'objectif de l'exercice est d'étudier une application industrielle du phénomène de diffraction laser : la granulométrie laser.

Il s'agit d'une technique qui permet la mesure de la taille de particules, comprises entre $0,05\ \mu\text{m}$ et $900\ \mu\text{m}$. Elle convient particulièrement à tout type de poudre.

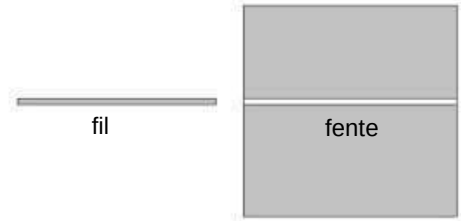
La figure ci-dessous présente le schéma du montage de diffraction avec une fente.



Théorème de Babinet

Deux objets sont complémentaires si les parties opaques de l'une correspondent à des parties transparentes de l'autre et inversement. Les figures de diffraction de deux objets complémentaires sont identiques.

Par exemple, la figure de diffraction d'un fil de diamètre a est identique à celle d'une fente de largeur a .



On réalise au laboratoire une expérience afin d'illustrer le principe de la mesure de la taille d'un objet de faible dimension en mesurant le diamètre d'un fil par diffraction.

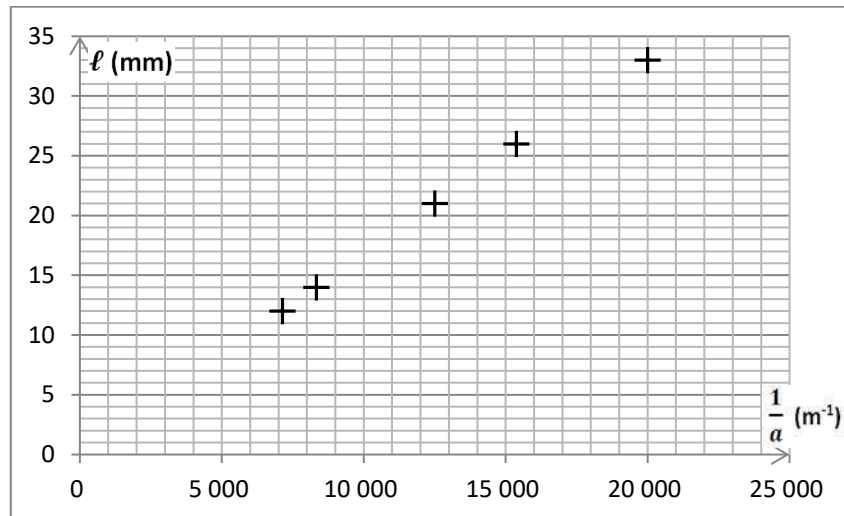
Lors de l'expérience, on intercale successivement cinq fils calibrés (de diamètres a connus) sur le trajet d'un faisceau laser de longueur d'onde λ . Sur un écran blanc placé à une distance D du fil utilisé, on observe une figure de diffraction : ℓ représente la largeur de la tache centrale et θ l'angle caractéristique de diffraction.

Données :

- approximations des petits angles, exprimés en radians : $\sin \theta \approx \theta$ et $\tan \theta \approx \theta$;
- accord d'une mesure avec une valeur de référence : le résultat d'une mesure est considéré en accord avec une valeur de référence si la valeur du quotient $\frac{|x - x_{ref}|}{u(x)}$ est inférieure ou égale à 2.
avec :
 - x : la valeur mesurée,
 - x_{ref} : la valeur de référence,
 - $u(x)$: l'incertitude-type.

1. On fait l'hypothèse que l'angle caractéristique de diffraction est petit. La largeur de la tache centrale de diffraction peut s'exprimer sous la forme : $\ell = k \times \frac{1}{a}$. Donner l'expression de la constante k en fonction de D et λ .

La figure ci-après représente $\ell = f\left(\frac{1}{a}\right)$, largeur de la tache centrale de diffraction en fonction de l'inverse du diamètre des fils calibrés :



2. Déterminer graphiquement la valeur de la constante k en m^2 , avec trois chiffres significatifs, en faisant apparaître la démarche sur le document-réponse de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Afin d'en mesurer le diamètre, l'expérience précédente a été reproduite dans les mêmes conditions expérimentales mais avec un sixième fil.

La mesure de la largeur de la tache centrale de diffraction a donné : $\ell = 17,0 \text{ mm}$.

L'incertitude-type sur la mesure réalisée est : $u(\ell) = 0,5 \text{ mm}$.

La modélisation du nuage de points $\ell = f\left(\frac{1}{a}\right)$ par un tableur-grapheur a fourni la valeur de la constante k avec son incertitude-type associée : $k = 1,67 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ et $u(k) = 0,04 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

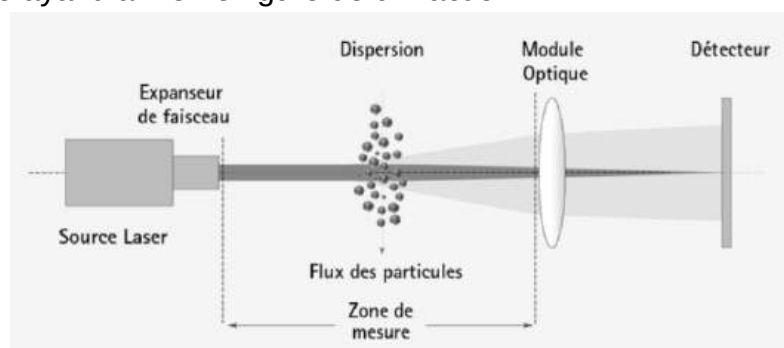
3. Calculer la valeur expérimentale du diamètre a_{fil} du fil puis son incertitude-type associée définie par :

$$u(a_{fil}) = a_{fil} \times \sqrt{\left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{u(k)}{k}\right)^2}$$

4. Comparer avec la valeur de $100 \mu\text{m}$ annoncée par le fabricant.

Dans un granulomètre, la figure de diffraction est obtenue en réalisant la mesure en lumière parallèle.

Dans cette situation expérimentale, représentée dans la figure ci-dessous, la taille de particule que l'on souhaite déterminer correspond toujours au diamètre moyen d'une ouverture circulaire ayant la même figure de diffraction.



Données :

- la figure de diffraction obtenue lors du passage de la lumière à travers une ouverture circulaire est constituée d'une tâche centrale circulaire brillante et d'une alternance de cercles concentriques brillants et sombres ;
- dans l'approximation des petits angles, l'angle caractéristique de diffraction θ pour une ouverture circulaire a pour expression : $\theta = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$ avec λ la longueur d'onde de la lumière utilisée et a le diamètre de l'ouverture.

5. Les particules de lactose sont assimilées à des sphères. Décrire qualitativement l'allure de la figure de diffraction obtenue au cours de la mesure effectuée au granulomètre.

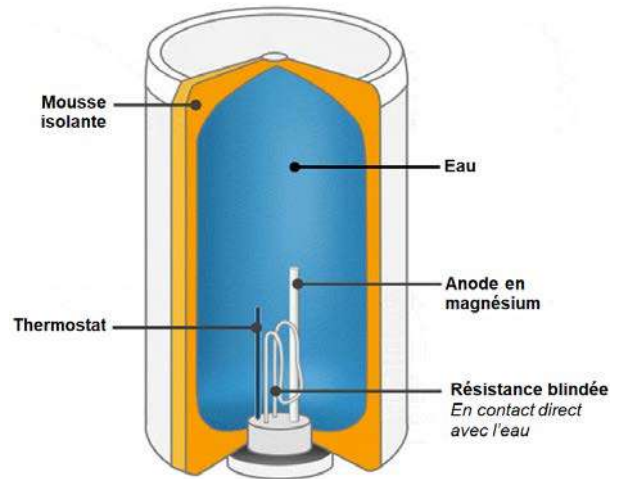
EXERCICE II - Eau chaude sanitaire

Mots clés : bilans énergétiques, premier principe de la thermodynamique, transfert thermique, travail

L'eau chaude sanitaire est le deuxième poste de dépense en électricité des foyers de France après le chauffage. Selon le fournisseur d'énergie EDF, elle représente entre 11 % et 15 % de la dépense totale.

Un chauffe-eau électrique, encore appelé cumulus ou ballon d'eau chaude, se compose principalement d'une cuve isolée (grâce à une mousse isolante) qui maintient l'eau à bonne température, et d'une résistance blindée qui permet la montée en température de l'eau. Cette isolation interne est généralement insuffisante et n'empêche pas les déperditions thermiques.

La température idéale de l'eau contenue dans un chauffe-eau se situe aux alentours de 55 à 60 °C. Au-delà de 65 °C, le risque d'apparition de tartre augmente. À l'inverse, une température trop basse (moins de 50 °C) peut favoriser le développement de bactéries comme la salmonelle.



Le but de l'exercice est d'étudier des moyens pour diminuer la facture énergétique annuelle liée à la consommation d'eau chaude sanitaire.

Le système d'étude est l'eau liquide contenue dans le ballon.

Données :

- l'eau liquide est un fluide incompressible ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{eau} = 1,00 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

On considère une famille de quatre personnes habitant une maison individuelle équipée d'un chauffe-eau électrique. L'eau admise dans le ballon, de volume 200 L, est chauffée de 15 °C à 60 °C une fois par jour en moyenne.

1. Indiquer le mode de transfert thermique qui permet d'uniformiser la température de l'eau au sein du ballon.
2. Déterminer la valeur de la variation d'énergie interne du système sur une journée.

Le chauffe-eau est installé dans une buanderie dans laquelle la température de l'air est de 20 °C, considérée constante.

La résistance thermique des parois du ballon contenant l'eau chaude est $R_{th} = 0,624 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.

3. Donner l'expression du flux thermique ϕ à travers les parois du ballon, entre l'eau chaude et l'air de la buanderie. Calculer sa valeur lorsque la température de l'eau est de 60°C . Préciser le sens du transfert thermique.
4. Vérifier que la valeur de l'énergie perdue sur une journée par l'eau du ballon sous forme de transfert thermique vers l'air extérieur est environ $Q_{\text{journée}} = 5,5 \times 10^6 \text{ J}$. On négligera les pertes thermiques pendant la phase de chauffage.

La résistance blindée du chauffe-eau convertit l'énergie qu'elle reçoit par travail électrique W_{el} en énergie thermique. On considère que cette énergie est restituée intégralement par transfert thermique à l'eau du ballon, en contact direct avec la résistance.

5. En appliquant le premier principe de la thermodynamique à l'eau du ballon et en tenant compte des pertes thermiques à travers les parois du ballon, montrer que la consommation d'énergie électrique de la famille pour produire 200 L d'eau chaude sanitaire par jour a pour valeur environ $4,3 \times 10^7 \text{ J}$.
Pour cette question, la rigueur des calculs, la rédaction du raisonnement et toute initiative prise durant la démarche, même non aboutie, seront valorisées lors de la correction.

EXERCICE III - Mission Mars 2020 : le portrait - robot de « Persévérance »

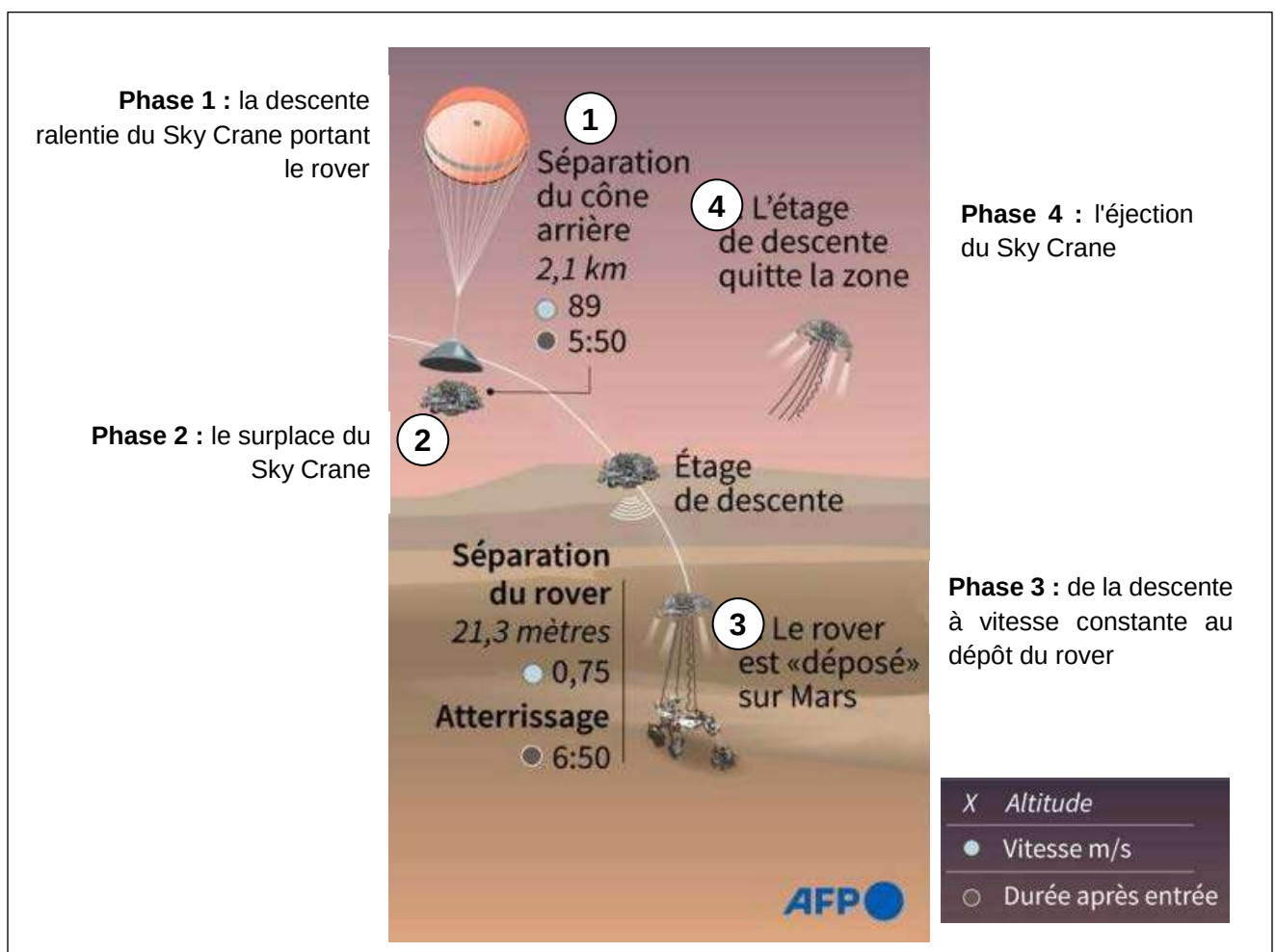
Mots clés : description d'un mouvement, mouvement dans un champ uniforme

Le rover américain Persévérance, qui s'est posé sur la planète Mars le 18 février 2021 dans le cratère Jezero, est un véhicule de la taille d'une voiture et équipé de multiples capteurs et instruments de mesure.

Après six mois et demi de voyage environ, le rover américain, protégé dans sa capsule, a accompli un enchaînement délicat et rigoureux d'actions pour se poser. Tout s'est joué en seulement 7 minutes : « les sept minutes de terreur ».

Cet enchaînement délicat se déroule en 4 phases ; comme présenté sur la figure 1 :

- phase 1 : la descente ralentie du Sky Crane portant le rover
- phase 2 : le survol du Sky Crane
- phase 3 : la descente à vitesse constante suivie du dépôt du rover
- phase 4 : l'éjection du Sky Crane



Source : NASA

Figure 1 - Fin de l'atterrissage de Persévérance sur Mars : « Extrait des 7 minutes de terreur »

Donnée :

- intensité du champ de pesanteur au voisinage de la surface de Mars : $g = 3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Études cinématique et dynamique lors de la descente autopropulsée (phases 1 à 3)

Dans cette première question, le système étudié est l'ensemble « Sky Crane + rover Persévérance » (assimilé à un point matériel) dans un référentiel considéré galiléen lié à Mars. Pour simplifier l'étude, on considèrera que les mouvements étudiés sont rectilignes et que les frottements sont négligeables.

1. Compléter le tableau situé en **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. On notera $\vec{F}$ la force de propulsion des rétrofusées du Sky Crane, qui permettent de ralentir ou d'empêcher la descente de l'ensemble. Les vecteurs (forces, vitesse ou accélération) seront représentés sans souci d'échelle. Leurs longueurs devront cependant être cohérentes avec la situation étudiée ainsi qu'avec leurs évolutions au cours du temps.

Éjection du Sky Crane une fois le rover déposé (phase 3 à 4)

Pour la suite de cette partie, le système étudié est limité au seul Sky Crane, assimilé à un point matériel, noté M. Dès que le rover a été déposé, le Sky Crane monte à la verticale jusqu'à une altitude H de 60,0 m au-dessus du sol martien, puis s'incline d'un angle $\alpha = 45,0^\circ$ par rapport à l'horizontale et une force propulsive l'éjecte loin du lieu d'atterrissage du rover, avec une vitesse initiale $v_0 = 25,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La force propulsive cesse à $t = 0 \text{ s}$.

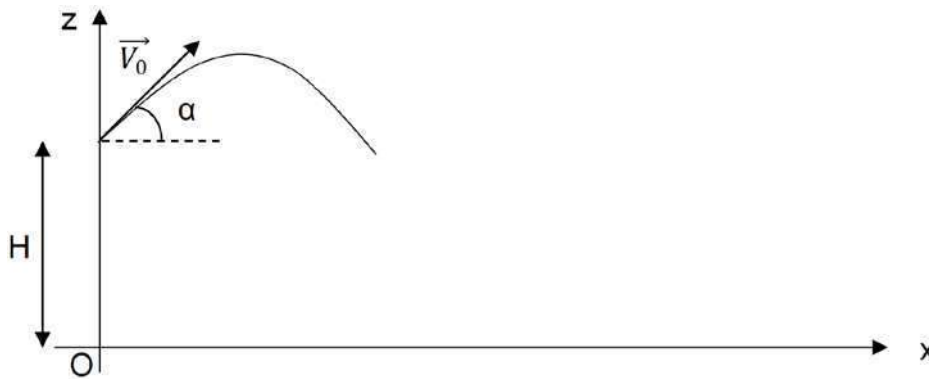


Figure 2

2. À partir de $t = 0 \text{ s}$, les forces de frottements sont négligées. Citer la seule force s'appliquant sur le Sky Crane et qualifier ainsi la nature de la chute ainsi obtenue.
3. Établir l'expression des composantes de l'accélération, celles de la vitesse du Sky Crane et enfin celle des coordonnées de sa position en fonction du temps.

4. Montrer que l'équation de la trajectoire du Sky Crane s'écrit :

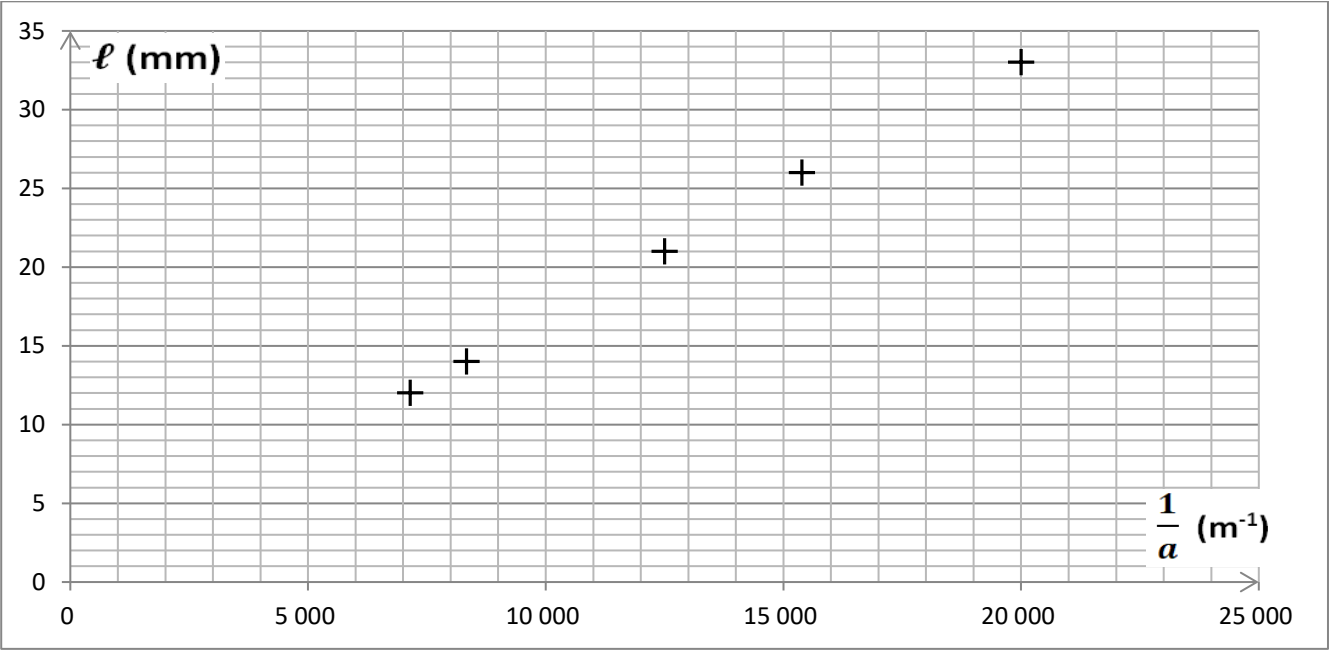
$$z(x) = -\frac{1}{2}g \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}\right)^2 + x \times \tan\alpha + H$$

Préciser le type de trajectoire auquel correspond cette équation.

5. Pour des questions de sécurité évidente et afin de ne pas endommager le rover Persévérance qui a été déposé sur le sol martien en O, le Sky Crane doit être éjecté au minimum à 200 m de distance du lieu d'atterrissage du rover. Dans ces conditions opératoires, vérifier que le Sky Crane atteint bien la distance de sécurité.
Pour cette question, la rigueur des calculs, la rédaction du raisonnement et toute initiative prise durant la démarche, même non aboutie, seront valorisées lors de la correction.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Document-réponse : EXERCICE I, question 2.



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Document-réponse : EXERCICE III question 1

Indiquer $\vec{v} = \vec{0}$ ou $\vec{a} = \vec{0}$ si nécessaire. (phases 1 à 3)

Mouvement étudié	Étude cinématique (représenter $\vec{v}$ et $\vec{a}$)	Étude dynamique (représenter $\vec{F}$)	Justifier l'étude dynamique à partir d'une loi
La descente ralentie entre (1) et (2).	•		
Le surplace (2).	•		
La descente à vitesse constante entre (2) et (3).	•		

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mercredi 11 mai 2022

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

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 27 pages numérotées de 1/27 à 27/27.

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 DR2 (pages 19 à 20)
sont à rendre avec la copie.**

Partie 2 : l'annexe (page 27) est à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Transporteur « NINO »



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 18
- Documents réponses pages 19 à 20

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 19 à 20) sont à rendre avec la copie

Le candidat devra traiter obligatoirement la sous-partie 1.

Puis, il devra choisir et traiter l'un des deux choix suivants :

- la sous-partie 2 (choix A), questions Q1.8 à Q1.13
- la sous-partie 2 (choix B), questions Q1.14 à Q1.19

Transporteur « NINO »

Les engins de déplacement personnels motorisés (EDPM), tels que les trottinettes ou skateboards électriques, hoverboards, gyropodes, mono-roues connaissent un essor de plus en plus important. Ces nouveaux modes de déplacement urbains séduisent car ils participent à une mobilité plus rapide, plus économique et plus respectueuse de l'environnement. Depuis 2019, leur usage est réglementé avec une catégorie spécifique dans le code de la route. Leur utilisation sur les trottoirs est notamment interdite.

Les fauteuils roulants électriques ne font pas partie de cette catégorie car les personnes en situation de handicap sont considérées comme des piétons.

La société NINO Robotics a mis au point un transporteur urbain connecté, le NINO fonctionnant sur le principe du gyropode et utilisable par tous.

Comme les EDPM, le transporteur NINO peut être utilisé en mode rapide sur les bandes ou pistes cyclables, et sur les voies vertes. Il peut aussi être utilisé en mode piéton comme un fauteuil roulant électrique classique pour se déplacer sur les trottoirs, dans des bâtiments, prendre l'ascenseur, etc. La figure 1 illustre le diagramme de cas d'utilisation du transporteur NINO.

Une application Ninedroid pour téléphone portable permet de configurer ces modes et d'accéder à des informations : état de charge de la batterie, distance parcourue, etc.

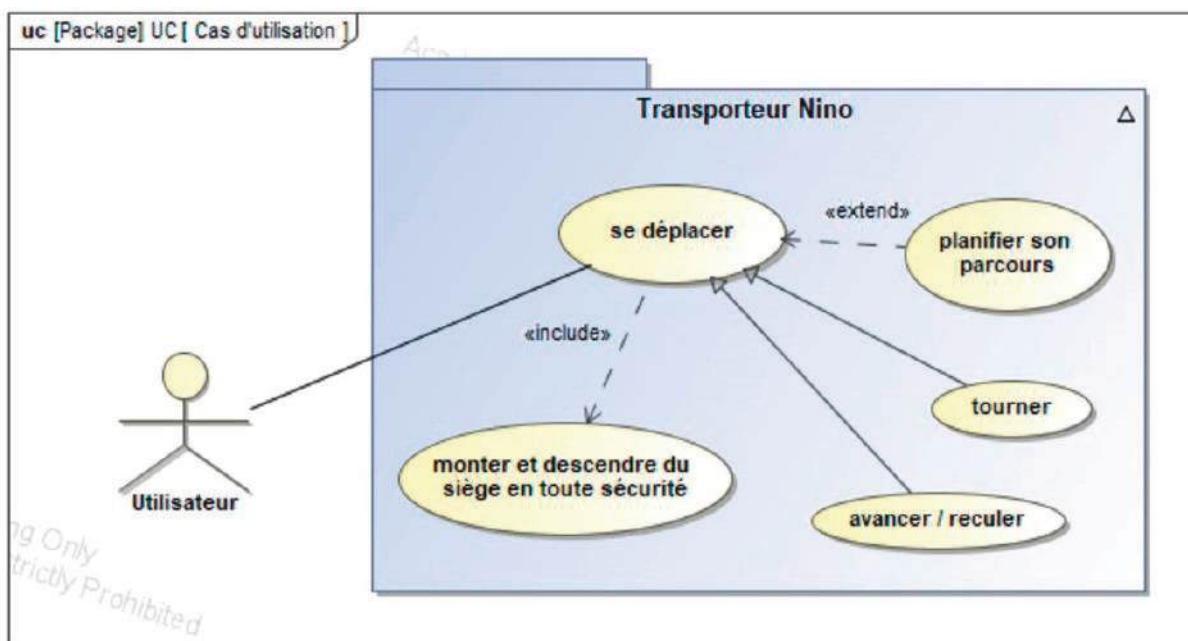


Figure 1 : diagramme des cas d'utilisation.

Pour rompre avec l'image négative de certains fauteuils roulants qui évoquent le vieillissement, la maladie et la perte d'autonomie, les concepteurs ont apporté un soin particulier au design pour proposer un produit fonctionnel et esthétique (figure 2).



Figure 2 : description du transporteur NINO.

Le transporteur NINO est un système auto-balancé dont le fonctionnement peut être illustré en prenant exemple sur le corps humain. Quand une personne se penche en avant, son cerveau, alerté par l'oreille interne, constate la perte d'équilibre. Pour éviter la chute et rétablir l'équilibre, le cerveau ordonne aux jambes d'avancer plus ou moins vite. Au lieu de tomber, la personne se déplace.

Sur le transporteur NINO, ce déplacement est assuré par deux roues entraînées par deux chaînes de puissance indépendantes.

Le transfert de la personne à l'arrêt pour monter ou descendre du siège nécessite également de maintenir l'équilibre du transporteur NINO.

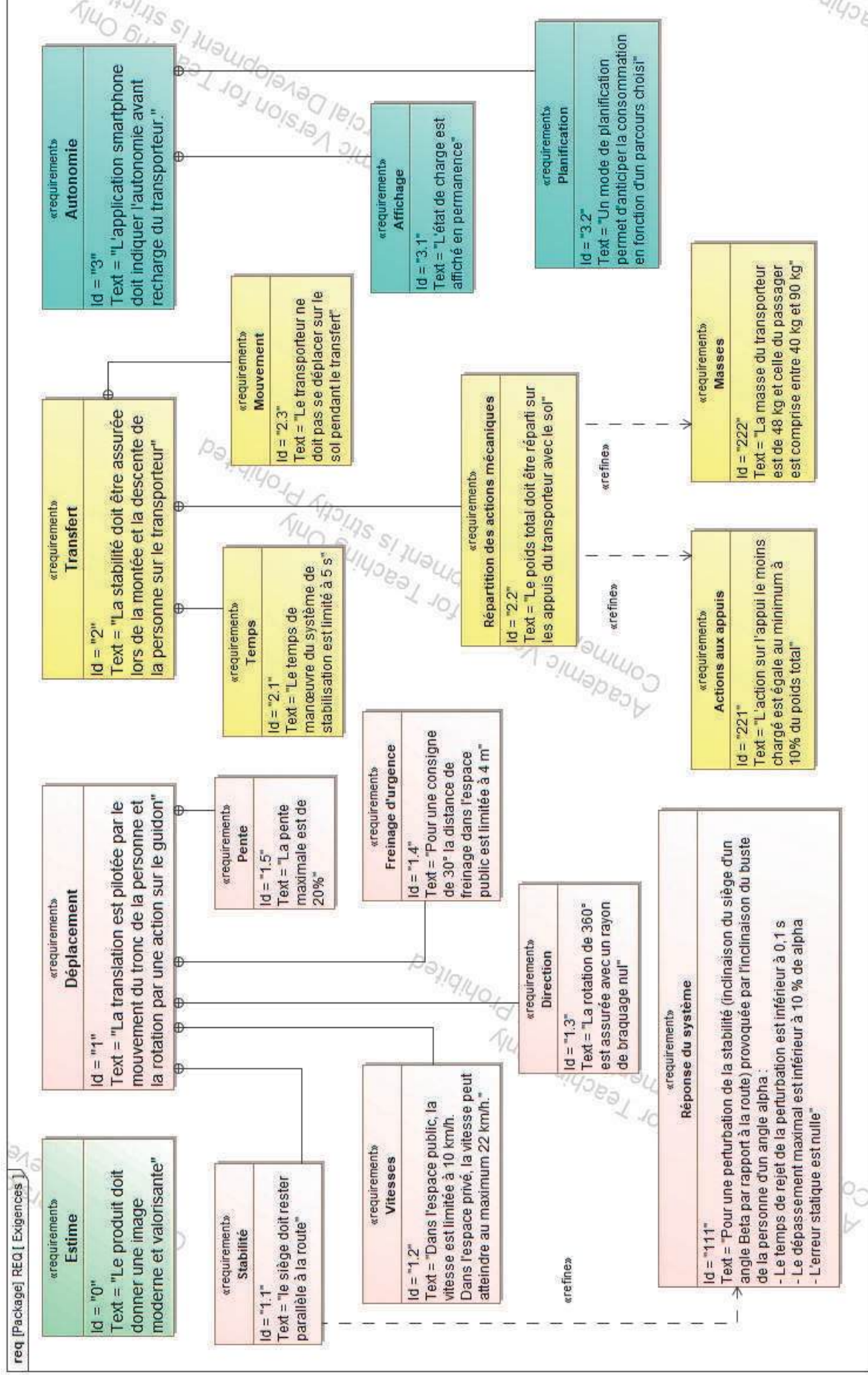


Figure 3 : diagramme partiel des exigences.

Sous-partie 1 - obligatoire

Stabilité et sécurité dans les différents cas d'utilisation

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier le respect des exigences de sécurité en termes de stabilité (en mouvement et à l'arrêt) et de distance d'arrêt.

Question 1.1 Après lecture de la présentation du système, **donner** deux arguments montrant que le NINO satisfait l'exigence « le produit doit donner une image moderne et valorisante ».

Pour la propulsion, les concepteurs de NINO ont utilisé la base d'un gyropode classique qu'ils ont modifié pour l'usage de personnes assises ayant une bonne mobilité du tronc.

Pour vérifier la stabilité lors du déplacement, il est nécessaire de mener une étude dynamique du système. La modélisation retenue est illustrée figure 4.

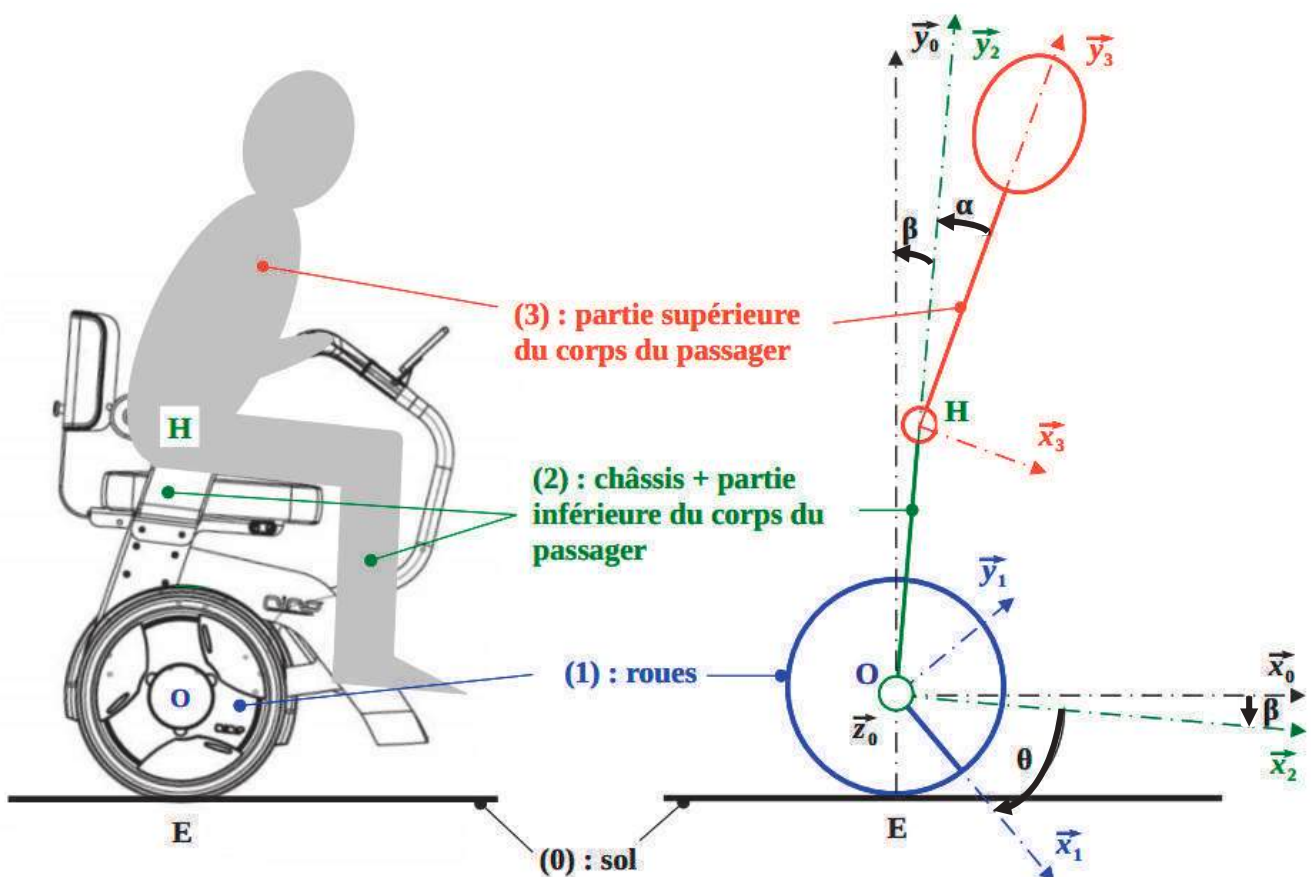


Figure 4 : schématisation et paramétrage.

Le pilotage se fait par un balancement du buste du passager. Les membres inférieurs restent solidaires du châssis. Le corps humain est ainsi décomposé en deux sous-ensembles « partie inférieure du corps » et « partie supérieure du corps » considérés en liaison pivot d'axe $(H, \vec{z}_0)$.

La sortie de la chaîne de puissance de propulsion est modélisée par une liaison pivot motorisée d'axe $(O, \vec{z}_0)$ entre (1) et (2).

Hypothèses et données :

- le transporteur se déplace en translation de direction $\vec{x}_0$ par rapport au sol ;
- le problème est plan ($O, \vec{x}_0, \vec{y}_0$) avec $\vec{z}_0 = \vec{z}_1 = \vec{z}_2 = \vec{z}_3$;
- le transporteur roule sans glisser sur le sol ;
- les quatre sous-ensembles k (avec k de 0 à 4) sont considérés indéformables, une base $(\vec{x}_k, \vec{y}_k, \vec{z}_k)$ est liée à chacun d'eux.

La rotation d'axe ($H, \vec{z}_0$) d'un angle α de (3) par rapport à (2) crée une perturbation de l'équilibre qui se traduit par une rotation d'axe ($O, \vec{z}_0$) d'un angle β de (2) par rapport à (0). Pour compenser cette perturbation β et assurer la stabilité, le système pilote la rotation d'axe ($O, \vec{z}_0$) d'un angle θ de (1) par rapport à (2) ce qui a pour effet de déplacer le transporteur.

Un asservissement est nécessaire pour assurer ce fonctionnement. L'application du principe fondamental de la dynamique aboutit à une équation différentielle qui permet de modéliser le système et de paramétrer sa commande illustrée figure 5.

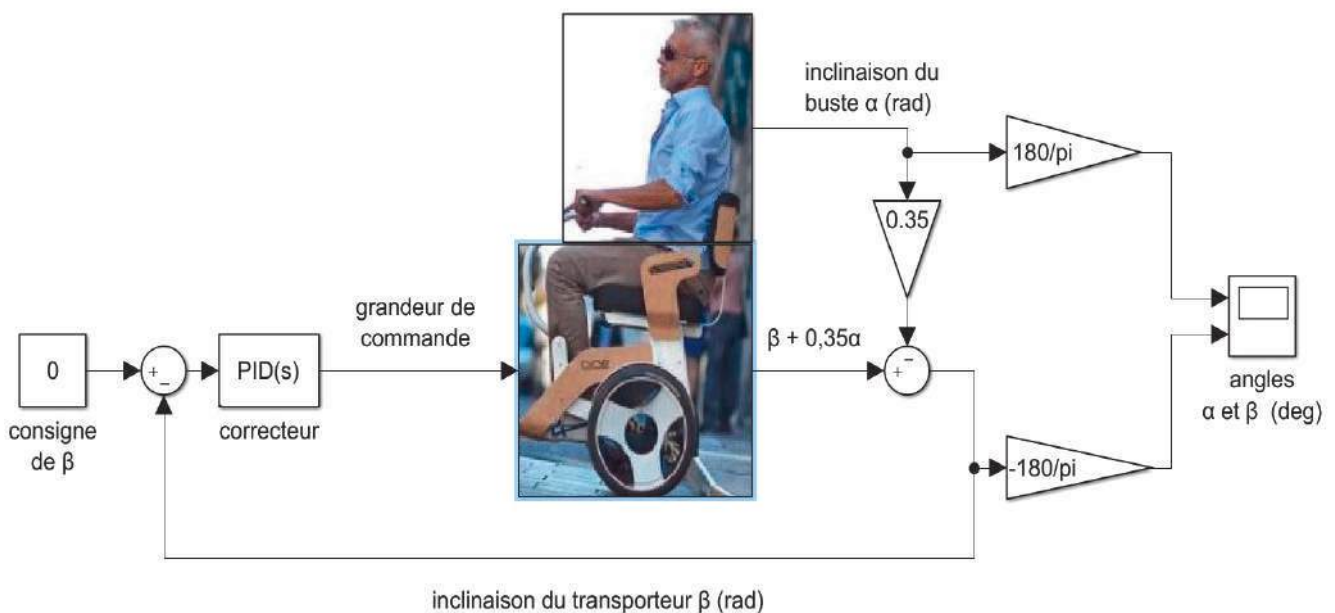


Figure 5 : modèle du système asservi en déplacement.

Question 1.2 À l'aide la figure 3, **donner** la valeur finale de l'angle β gérée par l'asservissement pour respecter l'exigence Id.1.1.

En fonction de l'inclinaison du transporteur d'un angle β , le correcteur génère une grandeur de commande qui agit sur les moteurs de propulsion pour restaurer l'équilibre. Pour répondre à l'exigence Id.1.1.1, trois réglages du correcteur ont été simulés (figure 6) pour une consigne d'inclinaison du buste du passager α de -30 degrés.

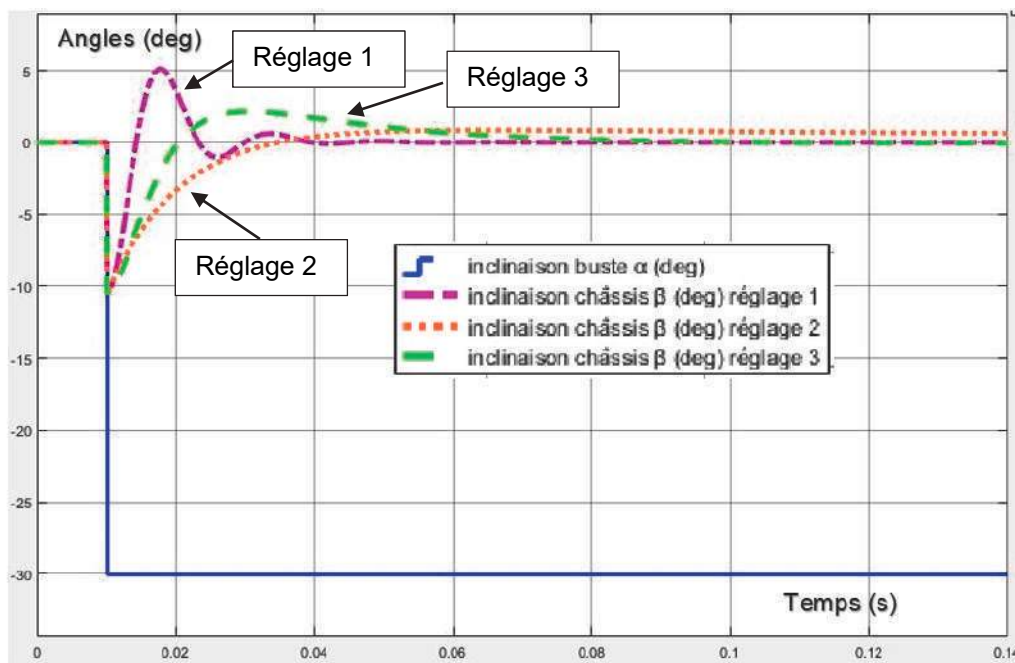


Figure 6 : réponse du système pour trois réglages du correcteur.

Question 1.3 À l'aide la figure 6, **déterminer** le ou les réglages du correcteur permettant de satisfaire l'exigence relative à la stabilité Id.1.1.1 (figure 3). **Justifier** la réponse.

Après la phase transitoire de stabilisation, si le passager conserve une inclinaison du buste constante α , l'étude dynamique montre que le transporteur accélère selon la relation :

$$A = -2,1 \cdot \alpha \quad \text{avec } A \text{ en m}\cdot\text{s}^{-2} \text{ et } \alpha \text{ en radians.}$$

Question 1.4 **Indiquer** la nature du mouvement du NINO par rapport au sol. Pour la consigne d'inclinaison $\alpha = 30^\circ$ lors d'un freinage d'urgence, **déterminer** l'accélération A.

Le fabricant préconise une vitesse maximale de $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ dans l'espace public (Id.1.2 de la figure 3). Dans ce cas, la distance d'arrêt ne doit pas dépasser 4 m (Id.1.4 de la figure 3).

Question 1.5 **Déterminer** la durée puis la distance de freinage dans l'espace public. À l'aide de la figure 3, **conclure** sur le respect de l'exigence relative au freinage d'urgence.

Si l'équilibre du transporteur est assuré lors du déplacement, la stabilité doit aussi être garantie lors du transfert de la personne. Dans cette configuration, l'utilisateur doit prendre appui sur une poignée (figure 7).



Figure 7 : extrait du manuel d'utilisation du NINO.

Pour réaliser cette manœuvre en toute sécurité, l'exigence Id.2.3 stipule que le transporteur ne doit pas se déplacer sur le sol pendant le transfert.

Une nouvelle étude dynamique du transporteur seul a été menée, ce qui a permis d'obtenir le modèle illustré figure 8.

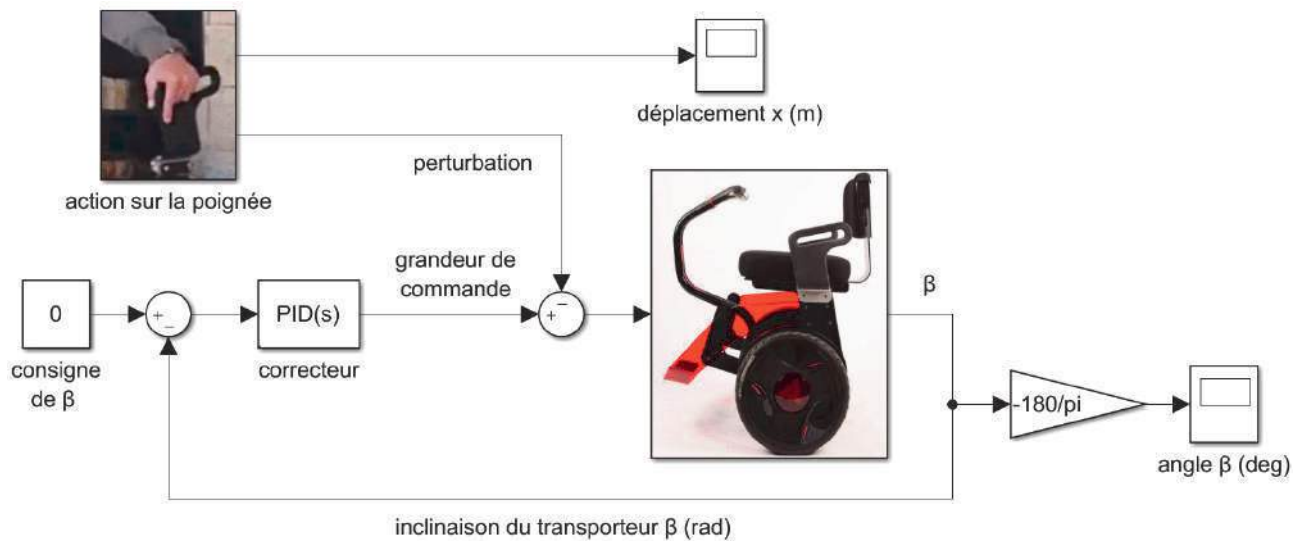


Figure 8 : modèle du système asservi lors du transfert.

La simulation de la réponse du système à l'action de la personne sur la poignée lors du transfert sur NINO a permis d'obtenir les courbes de simulation illustrées figure 9.

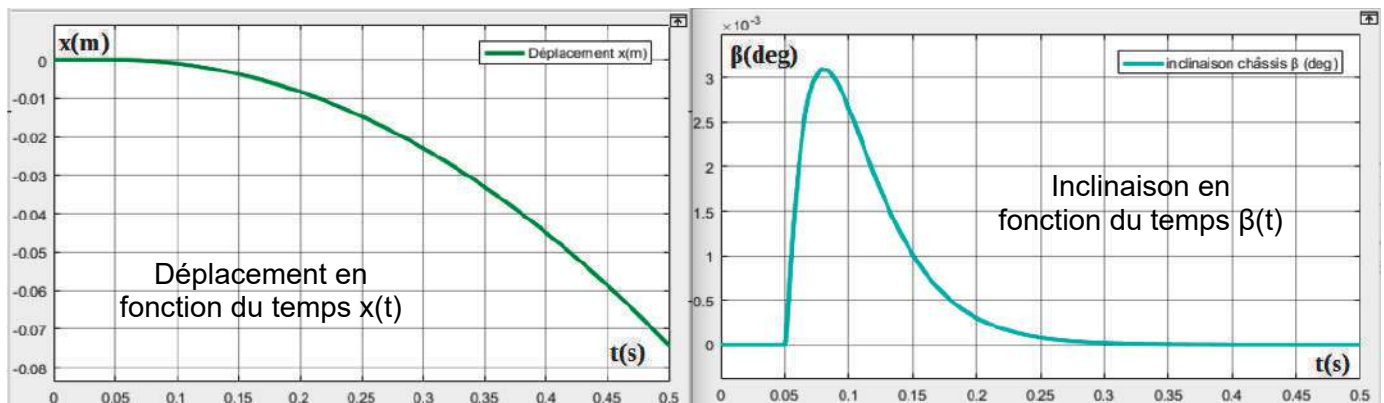


Figure 9 : simulation du déplacement du transporteur et de l'inclinaison du châssis.

Question 1.6 **Interpréter** les courbes d'inclinaison du fauteuil $\beta(t)$ et de déplacement du transporteur $x(t)$ quand la personne exerce une action sur la poignée. À l'aide de la figure 3, **conclure** quant au respect des exigences en termes de stabilité de déplacement.

Question 1.7 **En déduire** pourquoi le système doit être désactivé lors du transfert de la personne et qu'une stabilisation du transporteur par les béquilles rétractables est nécessaire.

Sous-partie 2 – choix A

Validation de la solution de béquille

L'objectif de cette sous-partie est de valider les performances (temps de manœuvre et stabilité) des béquilles utilisées lors du transfert de l'utilisateur entre le NINO et un fauteuil classique.

À l'arrêt, le passager commande la manœuvre des béquilles en appuyant sur un bouton sur le côté de l'assise. L'auto-balancement est désactivé dès que les béquilles touchent le sol et inversement (figure 10).



Figure 10 : extrait de la brochure du NINO sur la commande des béquilles.

Les deux béquilles sont manœuvrées par deux chaînes de puissance similaires et indépendantes. Dans les questions suivantes, un seul dispositif est étudié.

Le déplacement de la tige du vérin est appelé course. Une étude géométrique sur un modèleur volumique (figure 11) a permis de trouver une relation entre la position y_A du point A suivant $\vec{y}$ et le déplacement c de la tige du vérin électrique. La béquille est complètement escamotée pour $c=0$.

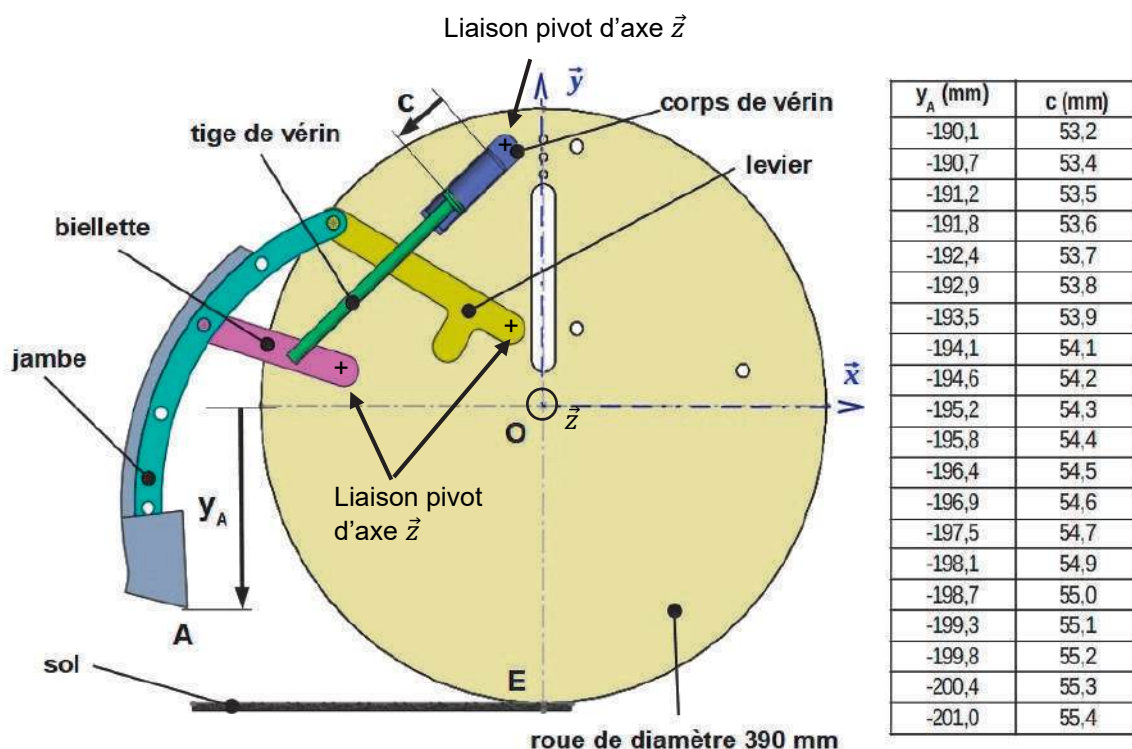


Figure 11 : étude géométrique du système de béquille.

Pour respecter l'exigence Id.2.2 de la figure 3, il faut que la course du vérin respecte deux conditions :

- elle doit être suffisante pour que la jambe arrive en contact avec le sol ;
- elle doit être limitée pour ne pas soulever les roues.

Question 1.8 Déterminer la valeur maximale de y_A pour respecter l'exigence Id.2.2 et la course du vérin c correspondante.

Sachant que le mouvement de sortie de la tige du vérin est uniforme, **calculer** la vitesse minimum de la tige du vérin pour respecter l'exigence d'un temps de manœuvre ne dépassant pas 5 s.

Pour obtenir la vitesse souhaitée, il est nécessaire de déterminer la tension d'alimentation du vérin électrique. Cette grandeur est obtenue par simulation du modèle multiphysique représenté figure 12.

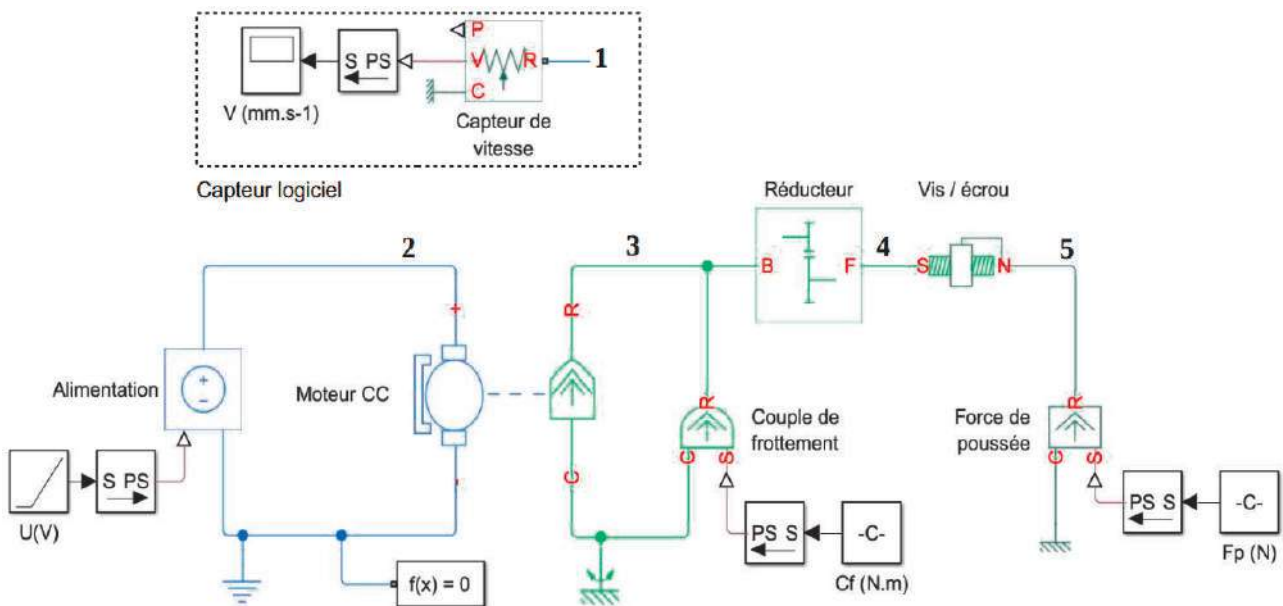


Figure 12 : modèle multiphysique du vérin électrique.

Le vérin est constitué d'un moteur à courant continu, d'un réducteur à engrenages et d'un système de transformation de mouvement vis/écrou. Il est alimenté par la batterie de 55 V dont la tension est modulée par un hacheur. Ces deux éléments ont été modélisés par un seul bloc d'alimentation à tension variable sur le modèle de la figure 12.

Un capteur logiciel de vitesse non encore raccordé sur le modèle va permettre d'obtenir la vitesse de la tige du vérin.

Question 1.9 Indiquer à quel repère (2, 3, 4, ou 5) du modèle multiphysique, illustré figure 12, il faut raccorder le port de mesure repère 1 du capteur logiciel de vitesse. **Justifier** la réponse.

La simulation a permis d'établir la caractéristique de la vitesse de sortie du vérin en fonction de la tension d'alimentation du moteur (figure 13).

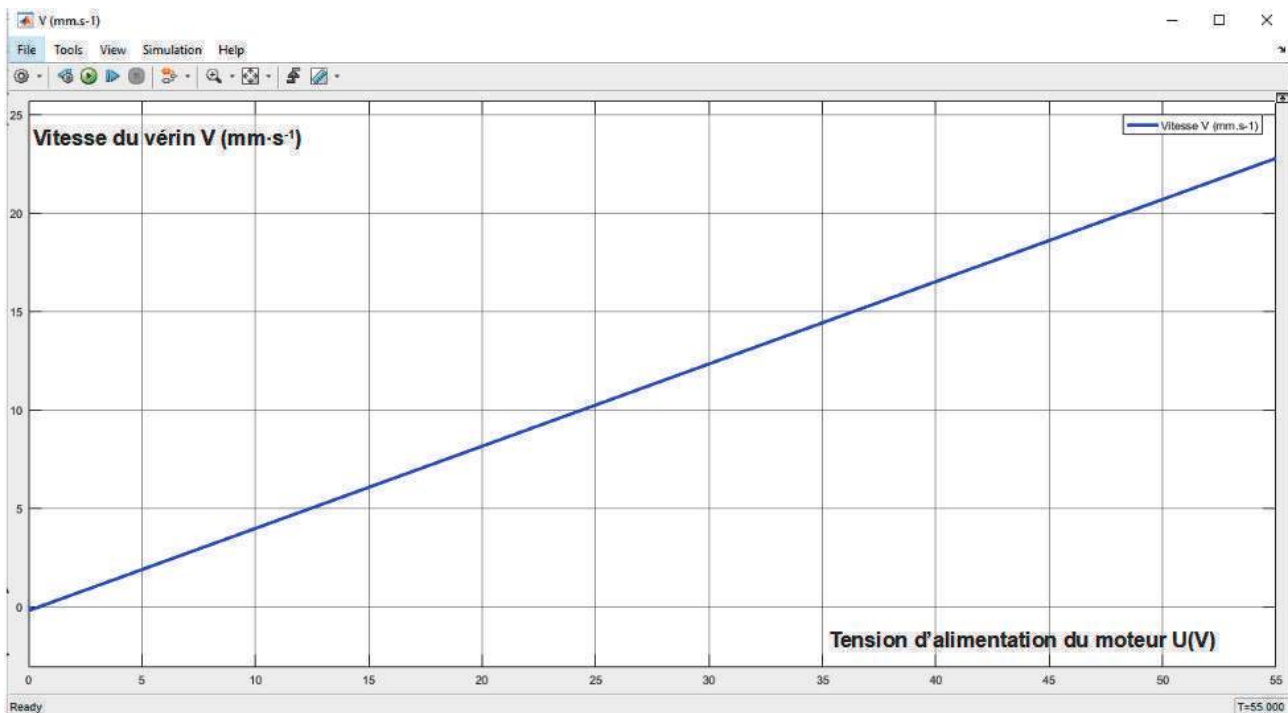


Figure 13 : simulation de la vitesse du vérin.

La tension d'alimentation du moteur est égale à la tension de la batterie multipliée par le rapport cyclique du hacheur.

Question 1.10 Relever sur la figure 13 la tension d'alimentation du moteur du vérin électrique pour obtenir une vitesse de sortie du vérin de $11 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.
En déduire le rapport cyclique du hacheur correspondant.

Une fois les béquilles positionnées, il faut que le fauteuil reste stable pendant le transfert de la personne. Idéalement, il faudrait que le poids se répartisse de manière égale sur les quatre appuis, c'est à dire que les actions sur les deux roues et les deux béquilles soient égales à 25 % du poids total. En pratique, l'exigence Id.2.2.1 impose que l'action sur l'appui le moins chargé soit au minimum égale à 10 % du poids total. Le transporteur est représenté sur le document réponse DR1.

Les hypothèses et données retenues pour l'étude sont les suivantes :

- le sol est appelé (0) et l'ensemble passager + transporteur (S) = (1+2+3) ;
- de manière générale, $\overrightarrow{K_{(I \rightarrow J)}}$ représente la force exercée au point K du solide (I) sur le solide (J) ;
- le transporteur (S) est à l'arrêt sur une route horizontale (0) ;
- les appuis sont ponctuels, en C et D pour les roues et en A et B pour les béquilles ;
- le problème est plan, les actions entre les roues et le sol en C et D sont ramenées en E dans le plan de symétrie avec $\overrightarrow{E_{(0 \rightarrow S)}} = \overrightarrow{C_{(0 \rightarrow S)}} + \overrightarrow{D_{(0 \rightarrow S)}} = 2 \times \overrightarrow{C_{(0 \rightarrow S)}}$;
- G est le centre de gravité de (S) ;
- $\|\overrightarrow{AE}\| = \|\overrightarrow{EB}\|$;
- $(G, \overrightarrow{y_0})$ est un axe de symétrie pour les béquilles ;
- l'accélération de la pesanteur, notée g, vaut $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question 1.11 DR1	Sur le document réponse DR1, représenter (sans échelle) sur le schéma du transporteur les actions mécaniques extérieures appliquées sur l'ensemble (S). Montrer que $\overrightarrow{A_{(0 \rightarrow S)}} = \overrightarrow{B_{(0 \rightarrow S)}}$.

Le fabricant préconise de limiter le courant dans un vérin électrique à 1,3 A. Pour cette valeur, le modèle multiphysique d'un vérin (figure 12) couplé au modèle volumique (figure 11) a permis de déterminer que l'effort de poussée du vérin ne peut pas dépasser 1 200 N, ce qui correspond à un effort maximum $\|\overrightarrow{A_{(0 \rightarrow S)}}\|$ de 180 N.

Question 1.12 DR1	Compléter la ligne « Poids total » dans le tableau du document réponse DR1 pour les différents chargements définis dans l'exigence Id.2.2.2. En appliquant le principe fondamental de la statique à l'ensemble (S), exprimer l'effort entre le sol et une roue $\|\overrightarrow{C_{(0 \rightarrow S)}}\|$ après mise en place des béquilles et compléter sur le document réponse DR1 la ligne « Effort en C ou D » pour les trois valeurs de poids.

Pour respecter l'exigence Id.2.2.1 (figure 3), l'action sur l'appui le moins chargé doit être au minimum égale à 10 % du poids total.

Question 1.13 DR1	Compléter les cases correspondantes au pourcentage du poids des différents chargements dans le tableau du document réponse DR1. Conclure sur la capacité du système à répondre à l'exigence de stabilité lors du transfert de la personne sur le transporteur.

Sous-partie 2 – choix B

Prédiction d'autonomie sur un parcours donné

L'objectif de cette sous-partie est d'élaborer une solution programmée d'amélioration du transporteur NINO pour prédire si l'autonomie est suffisante pour un parcours donné.

Dans la documentation de NINO, il est spécifié que l'autonomie est comprise entre 20 km et 35 km en fonction de la vitesse, de la pente et de la masse du passager. Compte tenu de l'imprécision importante de cette estimation, il est nécessaire de s'assurer, avant de s'engager dans un parcours, que l'autonomie est suffisante.

L'étude qui suit a pour but d'élaborer un programme pour prédire l'énergie nécessaire pour effectuer un trajet dont les caractéristiques en termes de pentes et de distances sont connues. Le scénario de référence est une promenade à Paris dans le quartier de Montmartre qui présente beaucoup de dénivelés (figure 14).

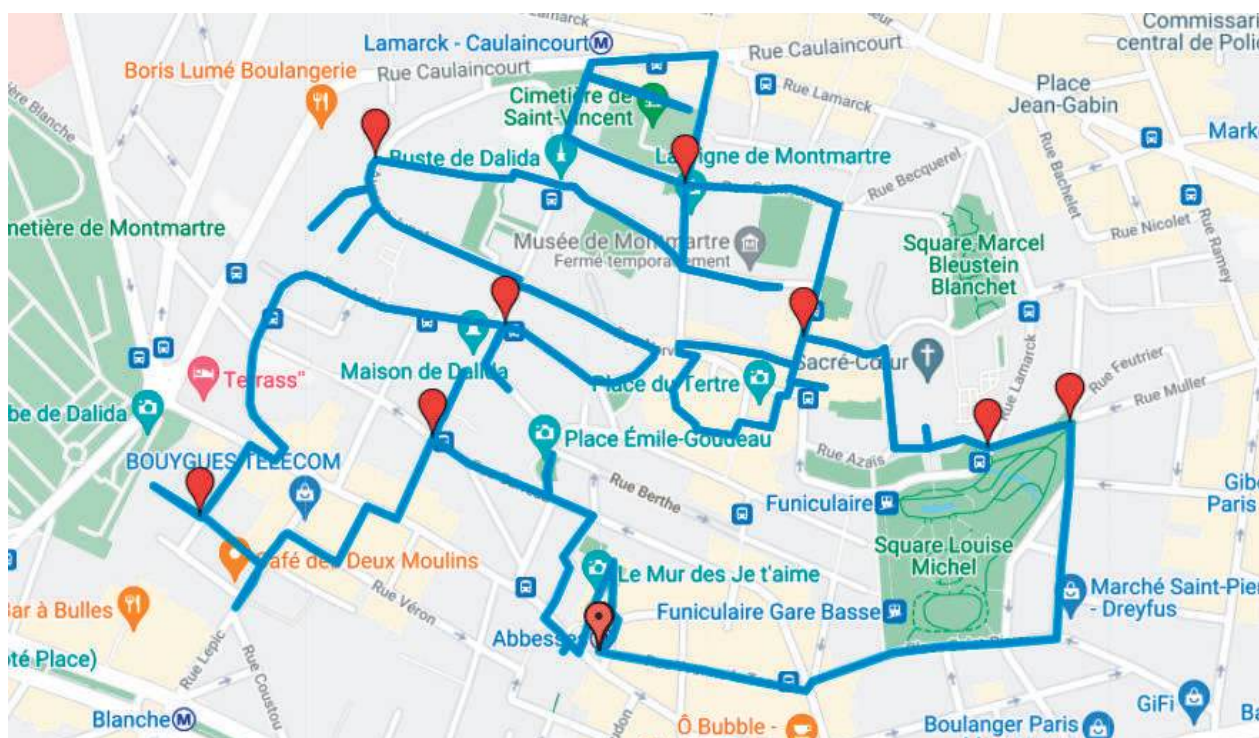


Figure 14 : tracé d'un parcours sur logiciel dédié.

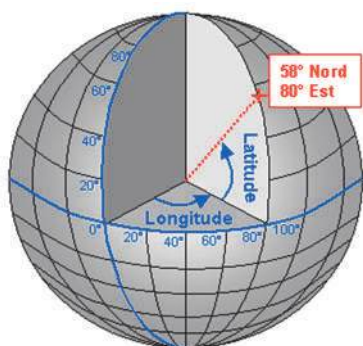


Figure 15 : longitude et latitude.

La longitude et la latitude pour un point à la surface terrestre sont représentées sur la figure 15. L'application caractérise pour 175 points du parcours :

- la latitude « lat » en degrés d'une amplitude de 180° ;
- la longitude « lon » en degrés d'une amplitude de 360° ;
- l'élévation « ele » qui correspond à l'altitude en mètres.

Le logiciel génère un fichier de type GPX (GP's eXchange) avec les 175 points qui constituent 174 tronçons. La figure 16 présente un extrait de ce fichier avec deux points consécutifs, soit un tronçon.

```

<wpt lat="48.886238" lon="2.336325">
<ele>98</ele>
<time>2021-04-29T01:00:33+02:00</time>
</wpt>
<wpt lat="48.885531" lon="2.333163">
<ele>80</ele>
<time>2021-04-29T01:02:13+02:00</time>

```

Figure 16 : extrait du fichier GPX pour le parcours « promenade à Montmartre ».

Question 1.14 **Indiquer** la précision des mesures d'élévation, de longitude et latitude. Sans aucun calcul, **expliquer** pourquoi il est nécessaire d'avoir une telle précision sur les mesures angulaires de longitude et latitude.

Pour déterminer si le parcours est réalisable, il faut calculer l'énergie consommée pour chaque tronçon et la soustraire à l'énergie contenue dans la batterie au départ.

L'algorithme retenu et développé dans le cadre de l'étude est donné figure 17.

Initialiser les variables // toutes les variables utilisées dans l'algorithme.

Pour i allant de 1 à n-1 // n nombre de points du fichier GPX.

Lire lat et lon du point [i] et les affecter aux variables latitude[i] et longitude[i]

Lire ele du point [i] et l'affecter à la variable elevation[i]

Lire lat et lon du point [i+1] et les affecter aux variables latitude[i+1] et longitude[i+1]

Lire ele du point [i+1] et l'affecter à la variable elevation[i+1]

// étape 1 : calcul des caractéristiques du tronçon [i] entre le point [i] et le point [i+1]

Calculer la projection du tronçon [i] et affecter le résultat dans la variable distance_projete[i]

Calculer la pente en pourcentage du tronçon [i] et affecter le résultat dans la variable pente[i]

Calculer la longueur du tronçon [i] et affecter le résultat dans la variable distance_reelle[i]

// étape 2 : calcul des consommations énergétiques

// calcul de consommation énergétique dans le tronçon [i].

Calculer la puissance absorbée tronçon [i] et affecter le résultat dans la variable P_absorbee[i]

Calculer l'énergie consommée tronçon [i] et affecter le résultat dans la variable E_conso[i]

// calcul de l'énergie totale consommée pour les tronçons de 1 à i.

E_conso_totale = E_conso_totale + E_conso[i]

// étape 3 : calcul et affichage de SOC, état de charge estimé de la batterie à la fin du parcours.

Lire l'énergie initiale contenue dans la batterie et l'affecter à la variable E_init

SOC = 100(E_init - E_conso_totale)/ E_bat100%*

Afficher SOC

Figure 17 : algorithme de prédiction d'autonomie.

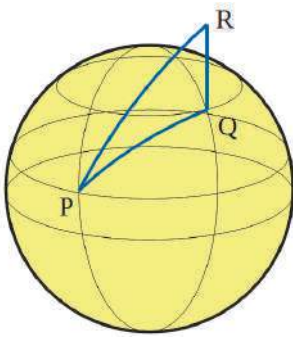


Figure 18 : distances réelle et projetée.

Étape 1 : calcul des caractéristiques du tronçon [i] entre le point [i] et le point [i+1]

À partir des données de latitude et de longitude, une fonction Python non étudiée ici calcule la distance entre les points [i] et [i+1] et affecte la variable *distance_projete*[i] au résultat.

Cette valeur qui correspond à la distance projetée au niveau de la mer PQ ne tient pas compte de la différence d'altitude (dénivelé) QR (figure 18).

Compte tenu des ordres de grandeur entre le rayon de la terre (6 371 km) et le trajet effectué par NINO, l'arc PQ est assimilé à un segment de droite (figure 19).

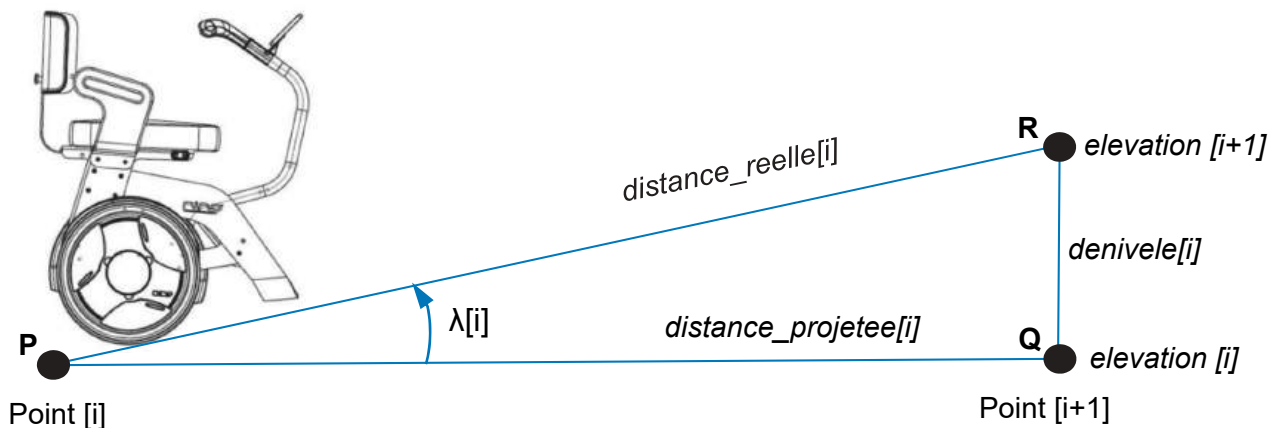


Figure 19 : paramétrage du déplacement sur une pente.

Pour rappel, la pente en % correspond à la tangente de l'angle $\lambda[i]$ multipliée par 100.

Question 1.15 **Exprimer** chacune des valeurs *denivele[i]*, *pente[i]* et *distance_reelle[i]* en fonction des variables définies *elevation[i]*, *elevation[i+1]* et *distance_projete[i]*.
 À l'aide des informations sur le document réponse DR2, **calculer** la distance réelle et la pente en % pour le premier tronçon du fichier GPX et **reporter** les valeurs sur le document réponse DR2.

Étape 2 : calcul de consommation énergétique dans le tronçon i et de l'énergie totale cumulée depuis le début du parcours

Pour déterminer l'énergie consommée dans un tronçon i en Wh, il faut :

- estimer la puissance électrique en Watts absorbée dans le tronçon $P_{\text{absorbee}}[i]$;
- calculer le temps nécessaire en secondes $t[i]$ pour parcourir le tronçon en fonction de la vitesse et de la distance réelle ;
- déterminer l'énergie en Wh en appliquant : $E_{\text{conso}}[i] = \frac{P_{\text{absorbee}}[i] \times t[i]}{3600}$.

La puissance absorbée va dépendre du poids de la personne transportée, de la pente du tronçon et de la vitesse.

Pour la promenade étudiée, la vitesse moyenne de déplacement du NINO est considérée comme étant celle d'un piéton, soit $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Des simulations sur un logiciel multiphysique de la puissance absorbée $P_{(6;90)}$ en W, en fonction de la pente en pourcent $p\%$ pour une vitesse moyenne de $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et pour une personne transportée de masse 90 kg, ont permis d'obtenir la caractéristique illustrée figure 20 ainsi qu'une modélisation mathématique de celle-ci.

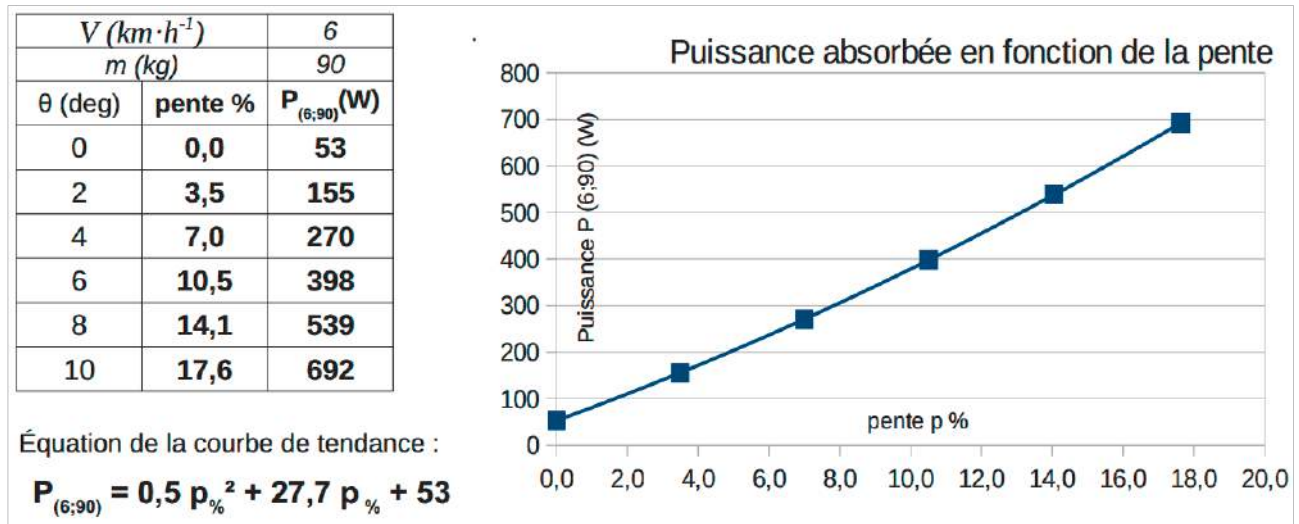


Figure 20 : puissance absorbée en fonction de la pente.

Si la pente est négative, la puissance considérée est celle calculée pour une pente nulle.

La syntaxe d'écriture en Python des opérateurs mathématiques est rappelée sur la figure 21.

symbole	opération	types
+	Addition	entier, réel chaîne de caractères
-	Soustraction	entier, réel
*	Multiplication	entier réel chaîne de caractères
**	Puissance	entier, réel
/	Division	entier réel
//	Division entière	entier, réel
%	Modulo	entier, réel

Figure 21 : opérateurs mathématiques en Python.

Question 1.16
DR2 **Compléter** le code Python sur le document réponse DR2 de la fonction *calc_P_absorbee* pour calculer la puissance absorbée entre le point [i] et le point [i+1].
Calculer cette valeur pour le dernier tronçon du fichier GPX en complétant le document réponse DR2.

Question 1.17 À l'aide des informations sur le document réponse DR2 et en utilisant le tableau de la question 1.15, **calculer** le temps $t[174]$. **En déduire** l'énergie électrique consommée $E_{conso[174]}$ pour effectuer le dernier tronçon et l'énergie totale consommée depuis le départ E_{conso_totale} . **Compléter** ces valeurs sur le document réponse DR2.

Étape 3 : calcul de l'état de charge de la batterie SOC (state of charge)

L'état de charge (SOC en anglais) d'une batterie représente le taux d'énergie qu'elle contient par rapport à sa capacité de stockage. L'expression du SOC en % est :

$$SOC = \frac{E_{init} - E_{conso\_totale}}{E_{bat100\%}} \times 100$$

avec :

- E_{init} : énergie contenue dans la batterie au départ ;
- E_{conso_totale} : énergie consommée lors du trajet ;
- $E_{bat100\%}$: énergie contenue dans la batterie chargée à 100%.

Le type de batterie utilisée dans le transporteur NINO est basé sur des éléments dont l'assemblage et les caractéristiques sont donnés figure 22.

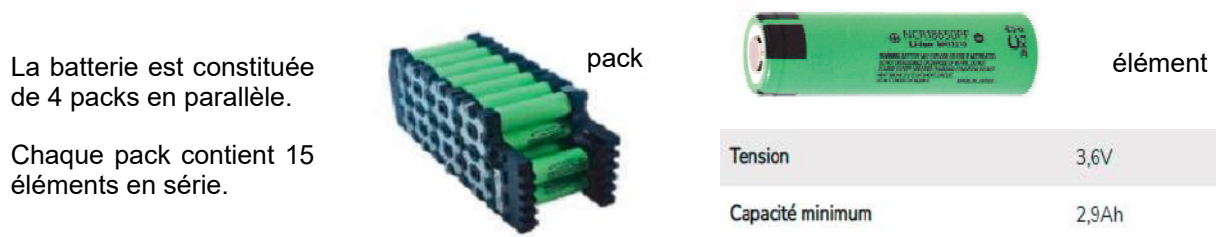


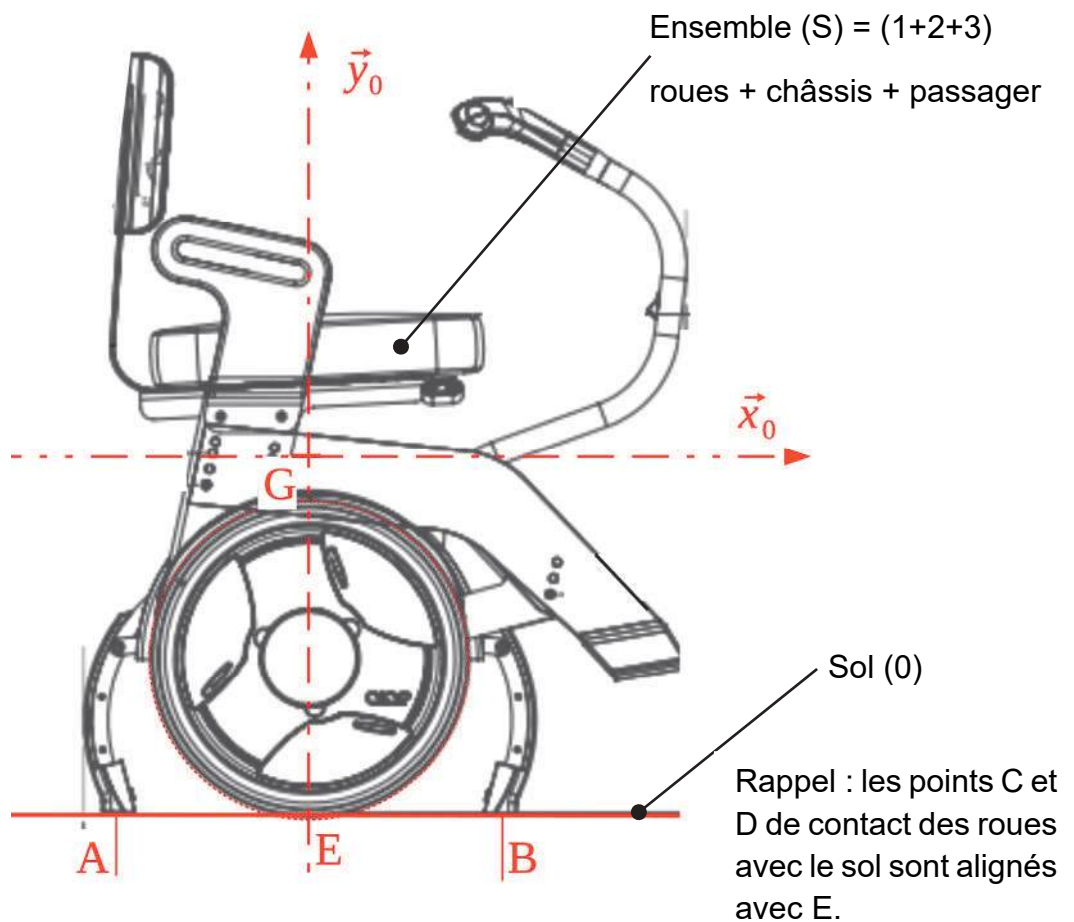
Figure 22 : assemblage et caractéristiques d'un élément de la batterie.

Question 1.18 **Déterminer** la tension nominale aux bornes de la batterie ainsi que la capacité en Ah de cette dernière. **En déduire** l'énergie disponible $E_{bat100\%}$ en Wh dans la batterie lorsqu'elle est chargée à 100 %.

Dans la suite de l'étude, la valeur de l'énergie disponible est $E_{bat100\%} = 620 \text{ Wh}$. La batterie est complètement chargée au départ de la promenade et l'énergie totale estimée pour la réalisation du parcours est de 155 Wh. Afin d'assurer une marge de sécurité, il faut conserver un état de charge minimal de 30 %.

Question 1.19 **Déterminer** l'état de charge estimé à la fin du parcours. **Conclure** quant à la capacité du transporteur à effectuer cette promenade tout en assurant la marge de sécurité attendue.

Question 1.11 – choix A



Questions 1.12 et 1.13 – choix A

Répartition du poids	Transporteur seul 48 kg	Transporteur et passager de 40 kg	Transporteur et passager de 90 kg
Poids total P (N)			
Effort en A ou B (N)	180	180	180
Effort en C ou D (N)			
Pourcentage du poids en A ou B			
Pourcentage du poids en C ou D			

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

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

Né(e) le :



Question 1.15 – choix B

<i>point</i>	<i>latitude</i>	<i>longitude</i>	<i>élévation</i>	<i>tronçon</i>	Distance projetée (m)	pen- te %	Distance réelle (m)
1	48,884334	2,33861	87	1→2	17,47	.....	.....
2	48,884443	2,338782	89	2→3	19,58	5,11	19,61
<i>Pt i</i>				Pt (i → i+1)			
174	48,884372	2,343281	83	174→175	49,0	12,24	49,4
175	48,884316	2,342616	89				

Question 1.16 – choix B

```

Def calc_P_absorbee(pente[i]):
    If .....> 0 :
        P_absorbee[i] = .....
    Else :
        P_absorbee[i] = .....
    Return P_absorbee[i]

```

Questions 1.16 et 1.17 – choix B

tronçon	P_absorbee[i] (W)	temps t[i] (s)	E_conso[i] (Wh)	E_conso_totale (Wh)
Point (i → i+1)				
173→174	259,5	36,1	2,6	150
174→175				

Remarque : la colonne E_conso_totale de la ligne (i → i+1) contient l'énergie consommée associée au parcours des tronçons allant du point 1 au point i+1.

Partie 2 : Sciences physiques

Vous traiterez deux exercices au choix parmi les trois proposés.

Vous indiquerez sur votre copie **les deux exercices choisis** : exercice A ou exercice B ou exercice C.

EXERCICE A – La panenka (10 points)

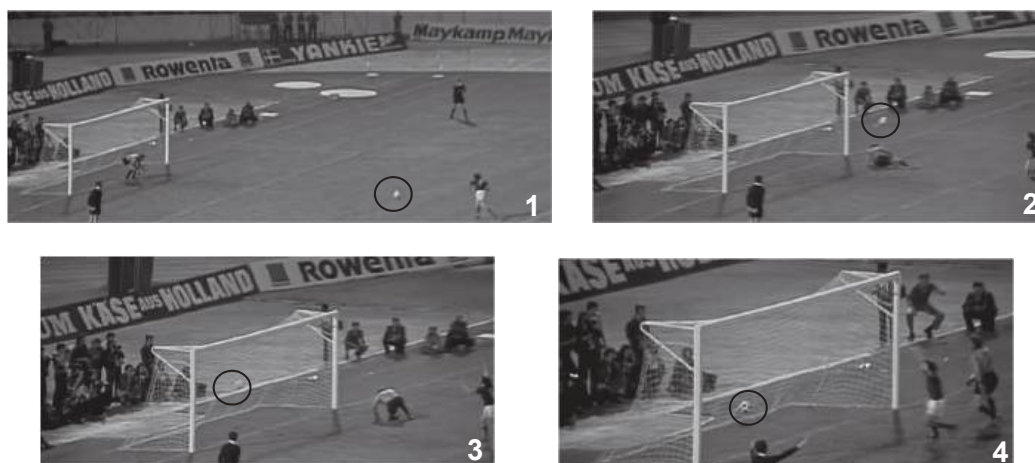
Mots-clés : chute ; champ de pesanteur ; équations horaires.

En 1976, lors de la finale de l'Euro, le match est serré et doit se décider aux tirs aux buts. Antonín Panenka, joueur tchécoslovaque, doit effectuer un tir décisif. Il prend une longue course d'élan et frappe... mollement et en plein milieu du but. Le gardien allemand Sepp Maier, qui a plongé sur sa gauche, regarde impuissant ce ballon qui retombe doucement dans ses filets. Panenka vient de donner à la fois le titre à son équipe et naissance à une véritable œuvre d'art : « la panenka ».

En 2015 Panenka raconte comment lui est venue cette idée : « Une nuit où je ne dormais pas, je me suis dit que les gardiens choisissaient généralement de partir sur un côté. Mais si on frappait très fort au centre, ils pouvaient quand même arrêter la balle en tendant le pied. En revanche, si le contact avec le ballon était plus léger, il serait impossible au gardien de faire demi-tour pour repousser le ballon. » En effet, il est alors trop tard et le gardien a déjà plongé trop loin pour arrêter le tir.

Cette technique demeure longtemps confidentielle car le championnat tchécoslovaque reste secret, cloîtré derrière le « rideau de fer ». La spéciale de Panenka est donc totalement inconnue des Occidentaux, d'où la surprise totale en finale de l'Euro 76 !

D'après Jérôme BERGOT, *La dure épreuve du penalty : Antonin Panenka, un geste caché derrière le rideau*, Ouest France 2021



Captures d'écran du tir de Panenka

On cherche à étudier la trajectoire du ballon lors du tir au but à partir de la vidéo de la finale de 1976. Malheureusement, le zoom progressif de la vidéo ne permet pas de faire des mesures de vitesse très précises. En revanche on peut faire des chronométrages à l'aide d'un logiciel de pointage. On étudie le mouvement à partir de l'instant, choisi comme origine des temps, où le ballon ne touche plus ni le sol ni le pied de Panenka.

Les informations extraites de la vidéo sont les suivantes :

- le ballon traverse la ligne de but à $t_b = 0,96$ s ;
- le ballon semble traverser la ligne de but en plein milieu de la cage à la fois dans le sens de la hauteur et de la largeur.

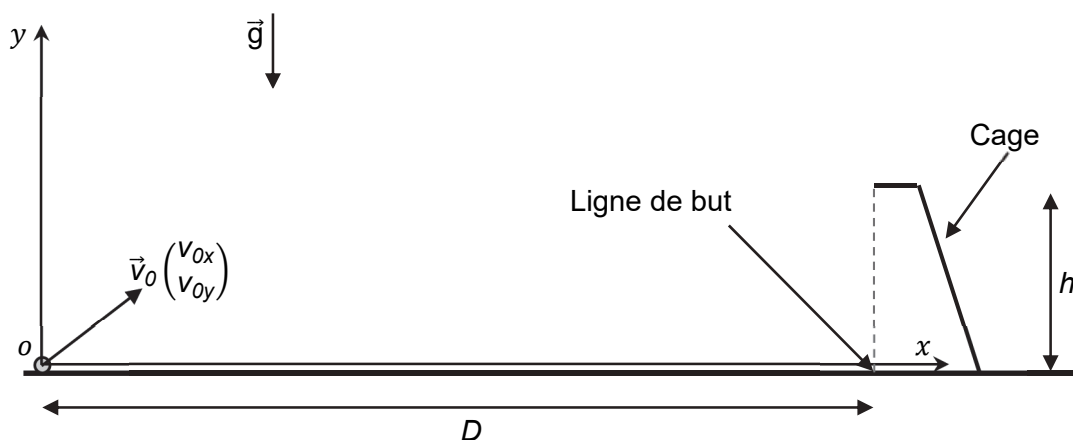


Figure 1. Schéma de la situation

Données :

- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$;
- distance jusqu'à la ligne de but lors d'un tir au but : $D = 11 \text{ m}$;
- dimensions de la cage de but : $L = 7,32 \text{ m}$ en largeur et $h = 2,44 \text{ m}$ en hauteur ;
- vitesse initiale moyenne d'un tir au but lors d'un penalty « classique » : 120 km.h^{-1} ;
- le ballon traverse la ligne de but à $t_b = 0,96 \text{ s}$.

Le ballon est choisi comme système d'étude. Le référentiel d'étude est décrit sur la figure ci-dessus. Il est supposé galiléen.

Q1. Représenter sur un schéma le ballon et la ou les force(s) qui s'exercent sur lui entre l'instant de la frappe et celui de l'impact avec le sol (on néglige l'influence de l'air).

Q2. Déterminer l'expression des coordonnées du vecteur accélération dans le repère proposé sur la figure 1.

Q3. Montrer que les équations horaires du mouvement sont les suivantes :

$$x(t) = v_{0x}t$$

$$y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t$$

Q4. Recopier le schéma de situation de la figure 1 et tracer l'allure de la trajectoire du ballon.

Q5. En utilisant les équations horaires et les données fournies, déterminer les valeurs de v_{0x} et de v_{0y} .

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

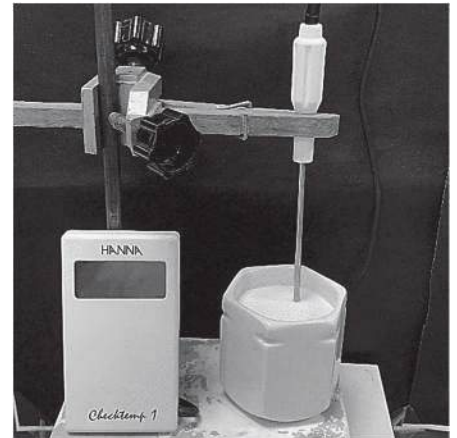
Q6. Vérifier que Panenka frappe effectivement « mollement » (c'est-à-dire faiblement) dans le ballon.

EXERCICE B – La fermentation lactique du yaourt (10 points)

Mots-clés : transfert thermique ; énergie interne ; évolution temporelle.

Le yaourt est un produit issu de la fermentation du lait grâce à l'action de deux ferments : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. Cette étape décisive assure la transformation du lait liquide en un yaourt.

L'objectif de l'exercice est d'étudier une condition sur la grandeur température nécessaire pour le bon déroulement de la fermentation. Pour cela, on réalise l'expérience qui consiste à mesurer l'évolution de la température du lait au cours du temps lors de la phase de fermentation.



Mesure de la température lors de la fabrication d'un yaourt

Description de l'expérience

Le lait est chauffé puis versé dans un récipient contenant les deux ferments. On mesure la température du système {récipient + lait} à l'aide d'une sonde (voir photo ci-dessus).

La température est relevée régulièrement au cours du temps à partir d'une température initiale qui sera notée T_0 jusqu'au retour à la température ambiante notée T_{ext} .

Lors de cette étude, le transfert thermique reçu par le système entre les instants t et $t + \Delta t$ est noté Q , il est modélisé par la loi de Newton :

$$Q = h \times S \times (T_{\text{ext}} - T(t)) \times \Delta t$$

avec h le coefficient d'échange thermique surfacique, S l'aire de la surface extérieure du récipient, T_{ext} la température ambiante, $T(t)$ la température du système {récipient + lait} et Δt la durée. On suppose Δt faible devant la durée typique d'évolution de la température du système étudié.

Q1. Déterminer le sens du transfert thermique dans cette expérience. Justifier.

Q2. Exprimer la variation d'énergie interne ΔU du système étudié entre les instants t et $t + \Delta t$ en fonction de sa capacité thermique C supposée constante, de la température à l'instant t notée $T(t)$ et de celle à l'instant $t + \Delta t$ notée $T(t + \Delta t)$. En déduire le signe de ΔU dans le cadre de cette expérience.

Q3. Établir l'équation différentielle suivante qui caractérise l'évolution temporelle de la température du système :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T(t)}{\tau} = \frac{T_{\text{ext}}}{\tau}$$

où τ est la durée caractéristique de l'évolution de la température du système dont on donnera l'expression, en fonction de h , C et S .

La solution de cette équation différentielle est de la forme : $T(t) = (T_0 - T_{\text{ext}}) \times e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{\text{ext}}$.

Les valeurs expérimentales de la température en degré Celsius (y) et du temps en minutes (x) sont correctement modélisées par une courbe d'équation :

$$y = 29 \times e^{-\frac{x}{38}} + 27.$$

Q4. Identifier les valeurs numériques des grandeurs physiques T_0 , T_{ext} et τ dans le cadre de ce modèle.

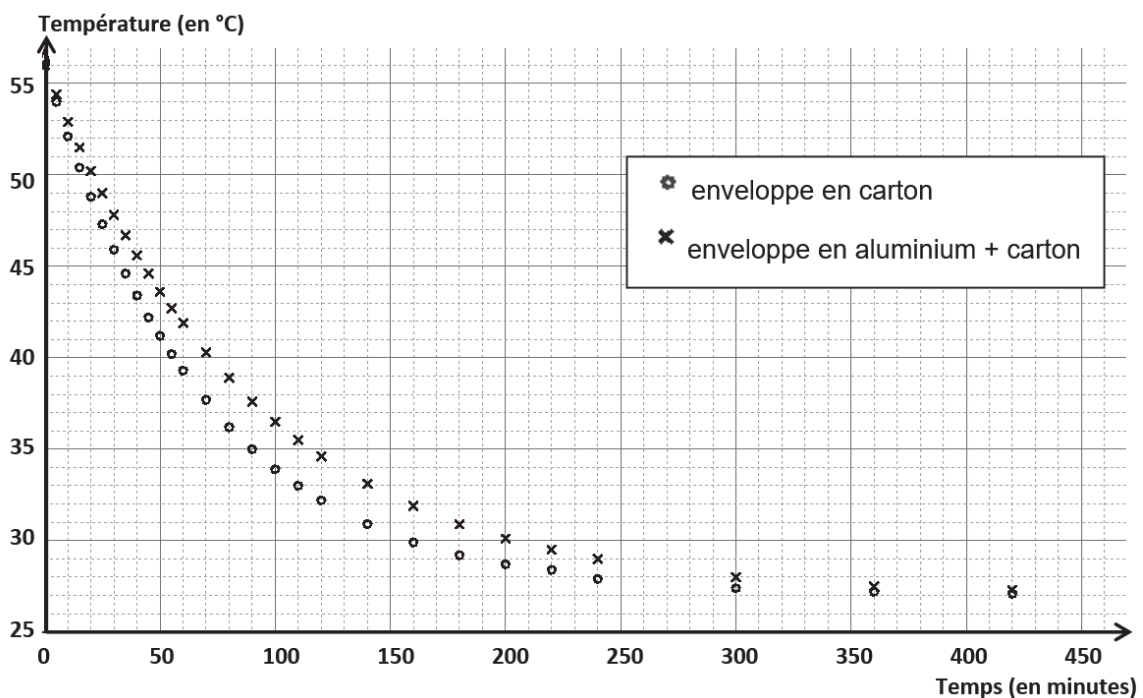
Lors de la fermentation, grâce à leur action conjointe, les populations des deux bactéries employées – *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* - croissent rapidement. Elles transforment le lactose en acide lactique. Cette étape de fabrication est optimale à une température comprise entre 42 °C et 45 °C et doit durer au minimum entre 3 et 4 heures.

Q5. Montrer que le processus de fermentation ne s'est pas réalisé correctement au cours de l'expérience décrite ci-dessus.

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

Pour ralentir le refroidissement, il est possible d'utiliser des matériaux différents. Dans les mêmes conditions, le système {récipient + lait} a cette fois-ci été enveloppé :

- dans une deuxième expérience, avec du carton ;
- dans une troisième expérience, avec du carton et une feuille d'aluminium intercalée entre le système {récipient + lait} et l'enveloppe en carton.



Q6. À partir d'une exploitation graphique effectuée sur le document donné en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, comparer les durées caractéristiques d'évolution de la température du système, associées à la deuxième et à la troisième expérience.

Q7. Interpréter qualitativement l'effet induit par la présence de la feuille d'aluminium.

Q8. Évaluer graphiquement la valeur de la durée optimale de fermentation dans le cas de la troisième expérience. Conclure.

Q9. Généralement, pour faire des yaourts maison, on utilise une yaourtière électrique. Expliquer.

EXERCICE C – La physique du son sur un mobile multifonction (téléphone portable)

Mots-clés : ondes sonores ; intensité sonore ; niveau d'intensité sonore.

L'application phyphox® dispose de modules acoustiques très utiles pour mener des expériences sur les ondes à l'aide d'un téléphone portable. Le module *Générateur de son* permet de produire une onde sonore sinusoïdale à une fréquence déterminée, tandis que le module *Intensité sonore* permet de déterminer l'intensité sonore d'un son. Il s'agit dans cet exercice d'étudier des phénomènes ondulatoires à l'aide de téléphones portables munis de l'application phyphox®.

Données :

- intensité sonore de référence: $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- célérité des ondes sonores dans l'air : $c = 3,4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- directivité : le microphone et le haut-parleur d'un mobile multifonction sont directifs, c'est-à-dire qu'ils sont d'autant plus efficaces que la direction de propagation de l'onde reçue ou émise est perpendiculaire au microphone ou au haut-parleur.

Première expérience

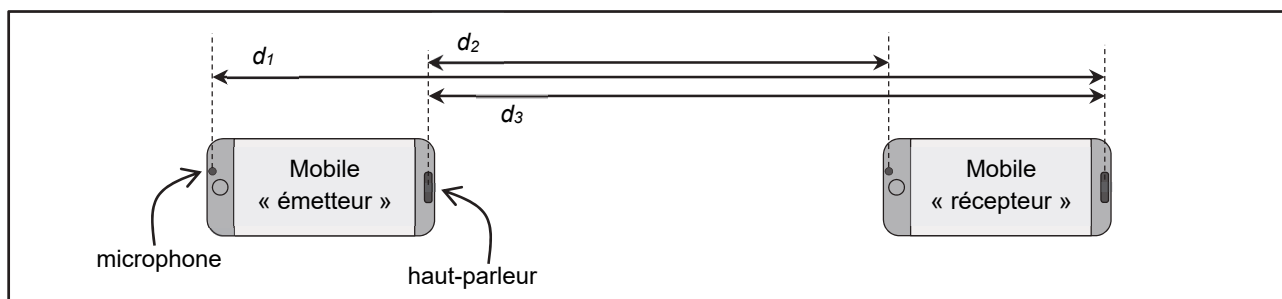


Figure 1. Mobiles multifonction émetteur et récepteur posés sur une table horizontale en vue de dessus.

Le mobile multifonction « émetteur » produit une onde sonore sinusoïdale de fréquence $f = 2,00 \times 10^3 \text{ Hz}$.

Q1. L'intensité sonore mesurée par le mobile « récepteur » vaut $I_1 = 2,0 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Calculer la valeur du niveau d'intensité sonore L_1 correspondant.

Dans le modèle d'atténuation géométrique de l'intensité sonore, on considère le cas d'une source sonore qui émet de la même manière dans toutes les directions. On montre alors que l'intensité sonore varie proportionnellement à l'inverse du carré de la distance à la source.

Q2. Dans le cadre du modèle d'atténuation géométrique et au moyen d'une approche énergétique, expliquer qualitativement à l'aide d'un schéma l'emploi du terme « géométrique » pour rendre compte de la baisse de l'intensité sonore lorsque la distance à la source augmente.

Q3. Identifier parmi les expressions suivantes celle qui exprime d' , distance pour laquelle l'intensité sonore vaut la moitié de celle mesurée à la distance d . Justifier.

a. $d' = \frac{d}{\sqrt{2}}$

b. $d' = 2 \times d$

c. $d' = \sqrt{2} \times d$

d. $d' = \frac{d}{2}$

e. $d' = 4 \times d$

Q4. Des mesures, non présentées ici, effectuées dans les conditions décrites dans la question Q3 sont en contradiction avec le modèle présenté en introduction de la question Q2. Proposer au moins une hypothèse expliquant l'écart entre les prévisions du modèle et les mesures.

Deux mobiles multifonction sont disposés côte à côte (numérotés 1 et 2) comme l'indique la figure 2. Chacun d'eux dispose du module « Générateur de son » de phyphox®. Les modules sont activés afin de produire un son sinusoïdal de fréquence $f = 2,00 \times 10^3 \text{ Hz}$.

Le mobile multifonction 3 dispose quant à lui d'une application d'enregistrement sonore (figure 2).

Deuxième expérience

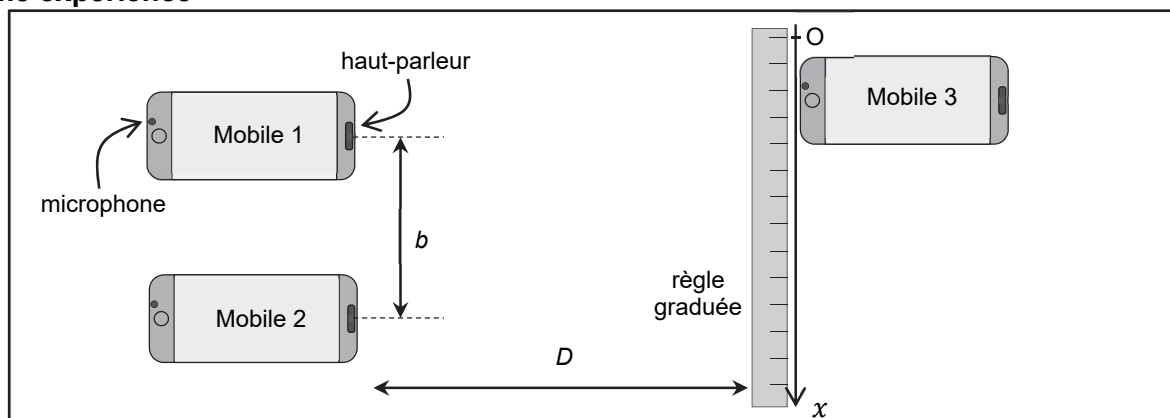


Figure 2. Disposition relative des trois mobiles multifonction. Les échelles sur le schéma ne sont pas respectées. On précise les valeurs de b et D : $b = 1,0 \text{ m}$ et $D = 1,0 \text{ m}$.

Q5. Déterminer la valeur de la longueur d'onde des ondes émises.

Q6. Identifier et nommer le phénomène physique en jeu lorsque les mobiles multifonction 1 et 2 émettent simultanément des ondes sonores sinusoïdales de même fréquence. Justifier à l'aide d'un schéma reprenant les éléments de la figure 2.

L'expérimentateur déplace le mobile multifonction 3 le long de la règle graduée (suivant l'axe Ox) à une vitesse constante d'environ $v = 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, pendant que le son est enregistré à l'aide du dictaphone. On constate que l'amplitude du son varie périodiquement comme l'indique la figure 3.

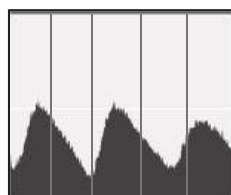


Figure 3. Amplitude du son (après traitement) au cours du temps pour le déplacement du mobile multifonction 3 : l'écart entre deux traits verticaux consécutifs correspond à une seconde.

Q7. L'interfrange i est définie comme la distance entre deux maxima le long de l'axe Ox . Estimer la valeur de l'interfrange à partir de la figure 3.

L'interfrange i est liée à la distance b entre les deux sources, à la distance D entre les deux sources et le récepteur et à la longueur d'onde λ du signal selon la relation : $i = \frac{\lambda \times D}{b} \sqrt{1 + \frac{b^2}{4D^2}}$

Q8. Établir le sens d'évolution de l'interfrange i lorsque la fréquence augmente et que les autres paramètres restant constants. En déduire l'évolution de la période temporelle de l'enregistrement de la figure 3 du mobile multifonction 3, pour la même vitesse de déplacement du mobile multifonction.

Q9. Calculer la valeur de l'interfrange à l'aide de la relation donnée ci-dessus et la comparer avec celle déterminée graphiquement à la question Q7. Conclure.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE B

Évolution de la température en fonction du temps lors du refroidissement du système {récipient+lait} dans une enveloppe en carton puis dans une enveloppe en aluminium et en carton

