BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mercredi 17 juin 2026

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

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 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 14 et 15) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Robot caddie

Constitution du sujet

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

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 14 à 15) sont à rendre avec la copie.

Robot caddie

Le robot caddie Gita est comparable à un coffre intelligent : il suit son propriétaire, qu'il soit à pied ou à vélo. Destiné à un large public, le robot peut s'avérer particulièrement utile pour les personnes à mobilité réduite en les aidant à transporter et stocker leurs courses par exemple. Il est capable de se déplacer de manière autonome en suivant un itinéraire programmé à l'avance. Équipé de capteurs visuels, le robot peut détecter et éviter les obstacles sur son chemin. Il est capable de franchir des pentes allant jusqu'à 16 %.

La figure 1 représente le diagramme de cas d'utilisation du robot.

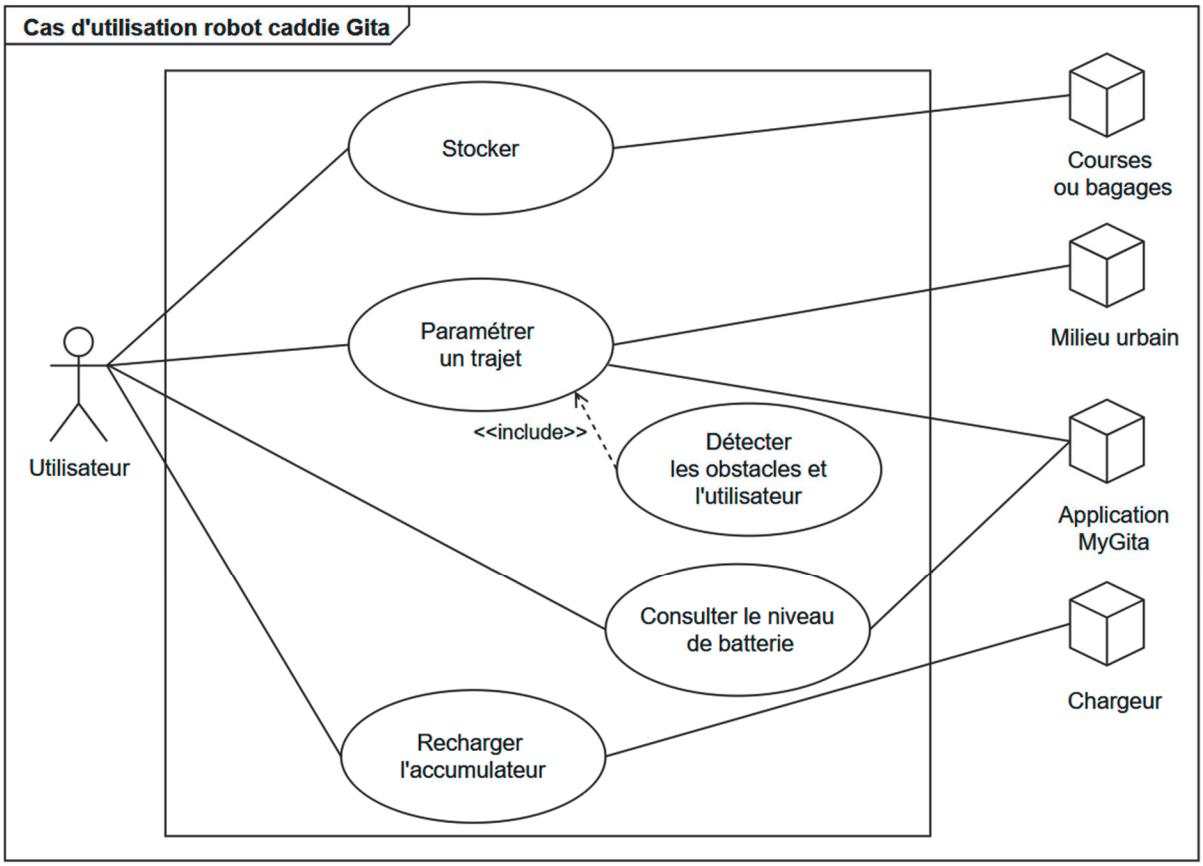


Figure 1 : diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme partiel de la figure 2 permet d'exprimer certaines exigences concernant le robot.

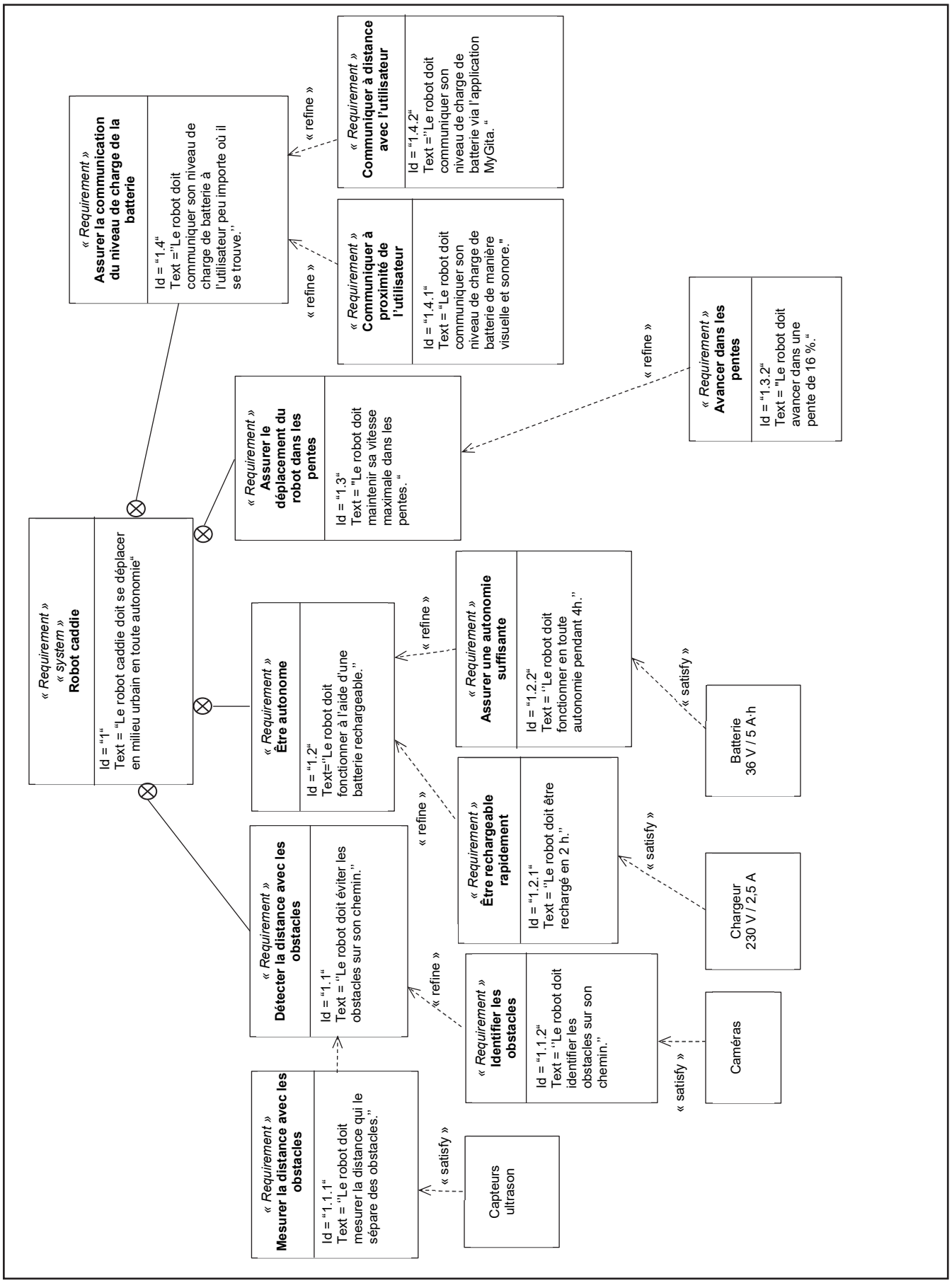


Figure 2 : diagramme partiel des exigences du robot caddie Gita

Sous-partie 1

Étude de l'avancement du robot

L'objectif de cette sous-partie est de valider la transmission de puissance permettant l'avancement du robot au regard des exigences attendues.

Le robot est composé de deux roues motrices entraînées chacune par un moteur indépendant. Il suit un utilisateur à une vitesse maximale de 2,1 $m \cdot s^{-1}$. Il se déplace sur différentes surfaces (bitume, planches de bois) et peut transporter une charge allant jusqu'à 18 kg. La masse totale (robot + charge) est alors de 41 kg.

La transmission de puissance permettant l'avancement du robot est étudiée lors d'une phase d'accélération rectiligne sur une pente.

Une pente de x % correspond à un dénivelé de x mètres pour une distance horizontale de 100 m (figure 3).

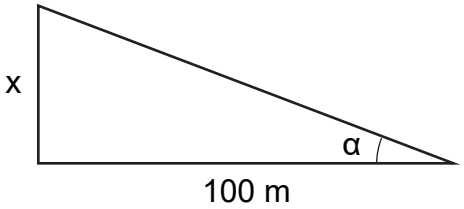


Figure 3 : définition d'une pente

Question 1.1	**Relever** la pente maximale à l'aide du diagramme des exigences figure 2. **Montrer** qu'elle correspond à un angle α de 9,1°.

L'étude du robot est menée lorsque son déplacement s'effectue en ligne droite.

La chaîne de puissance associée à chacun des deux moteurs est représentée par le schéma-blocs de la figure 4.

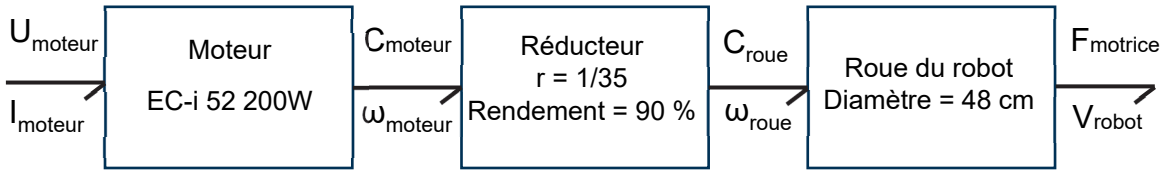


Figure 4 : chaîne de puissance partielle associée à un moteur

Question 1.2	**Déterminer** la vitesse angulaire ω_{roue} des roues lorsque le robot atteint V_{max} = 2,1 $m \cdot s^{-1}$.

Afin de vérifier que le robot peut monter des pentes de 16 %, il faut s'assurer que le moteur choisi possède un couple suffisant pour permettre ce déplacement.

L'ensemble des actions mécaniques s'exerçant sur le robot est représenté sur la figure 5.
Hypothèses :

- l'étude est réalisée dans le plan $(O,\vec{x},\vec{y})$;
- l'étude est faite dans le cas d'une pente de 16 % (équivalente à 9,1°) ;
- l'accélération du robot est de 0,2 $m \cdot s^{-2}$;
- le coefficient de résistance au roulement est noté $C_r = 0,02$;
- le coefficient de traînée aérodynamique est noté $C_x = 0,7$;
- la surface frontale vaut $S = 0,363$ m² ;
- la densité de l'air vaut $\rho = 1,2$ $kg \cdot m^{-3}$;
- l'accélération de la pesanteur vaut $g = 9,81$ $m \cdot s^{-2}$.

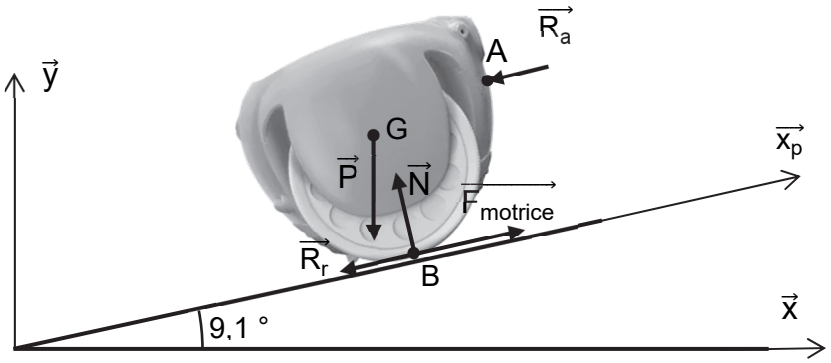


Figure 5 : représentation des actions mécaniques

La résistance au roulement et la trainée aérodynamique sont définies par les relations suivantes :

$$R_r = C_r \cdot m \cdot g \quad \text{et} \quad R_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2$$

Question 1.3	En utilisant le théorème de la résultante dynamique, **déterminer** l'expression de la force motrice du robot $F_{motrice}$ puis **calculer** sa valeur.

Pour la suite, la force motrice $F_{motrice}$ est de 80 N.

Question 1.4	**Montrer** que la puissance motrice pour déplacer le robot est de 168 W.

L'étude porte sur la chaîne de transmission de chacune des deux roues.

Question 1.5	À l'aide de la figure 4, **déterminer** le couple en sortie du réducteur C_{roue}. **Montrer** que le couple fourni par le moteur vaut alors C_{moteur} = 0,3 N·m.

Les caractéristiques techniques du moteur utilisé sont fournies figure 6.

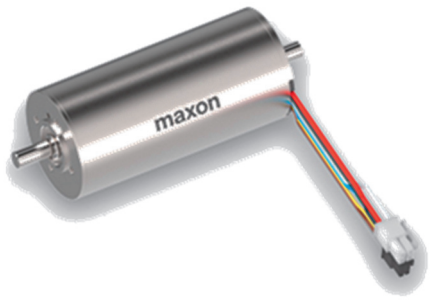
	• Tension nominale : 36 V • Vitesse à vide : 3 660 tr·min^{-1} • Puissance nominale : 200 W • Couple maximal constant : 0,655 N·m • Rendement : 90 %

Figure 6 : caractéristiques du moteur

Question 1.6	**Conclure** quant à la possibilité du robot à avancer dans une pente de 16 %.

Sous-partie 2

Validation des performances de la batterie

L'objectif de cette sous-partie est de valider les performances de la batterie utilisée dans le robot.

Afin de vérifier les performances du robot, l'étude est réalisée dans un cas d'utilisation en ligne droite. Les deux moteurs sont alors ramenés à un moteur équivalent. La figure 7 représente le modèle multi-physique du système.

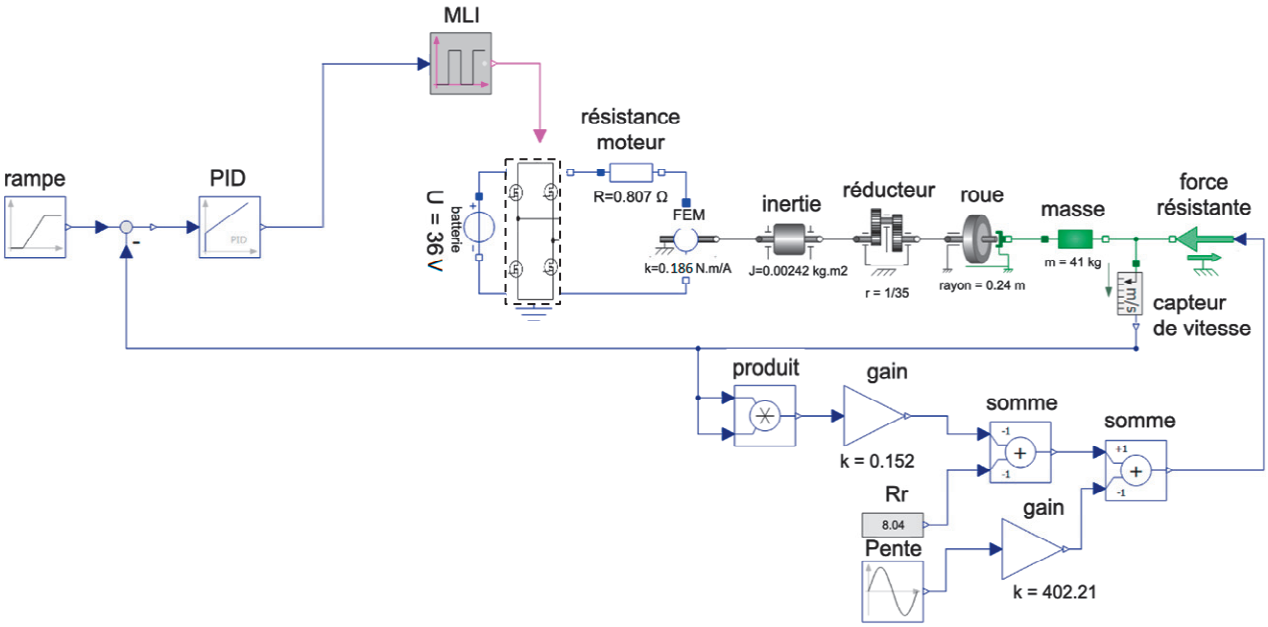


Figure 7 : modèle multi-physique du robot

Question 1.7 DR1	D'après le modèle multi-physique, **déterminer** les grandeurs d'efforts et de flux ainsi que leurs unités sur le document DR1.

Sur terrain plat, le robot consomme une puissance électrique de 20 W à 1,8 $m \cdot s^{-1}$ ce qui correspond à une tension moyenne en sortie du modulateur de puissance (MLI) de 30 V.

Question 1.8	**Déterminer** le courant théorique circulant dans le moteur équivalent sur terrain plat.

La figure 8 donne l'évolution du courant dans le moteur équivalent au démarrage sur terrain plat, obtenu à l'aide du modèle multi-physique.

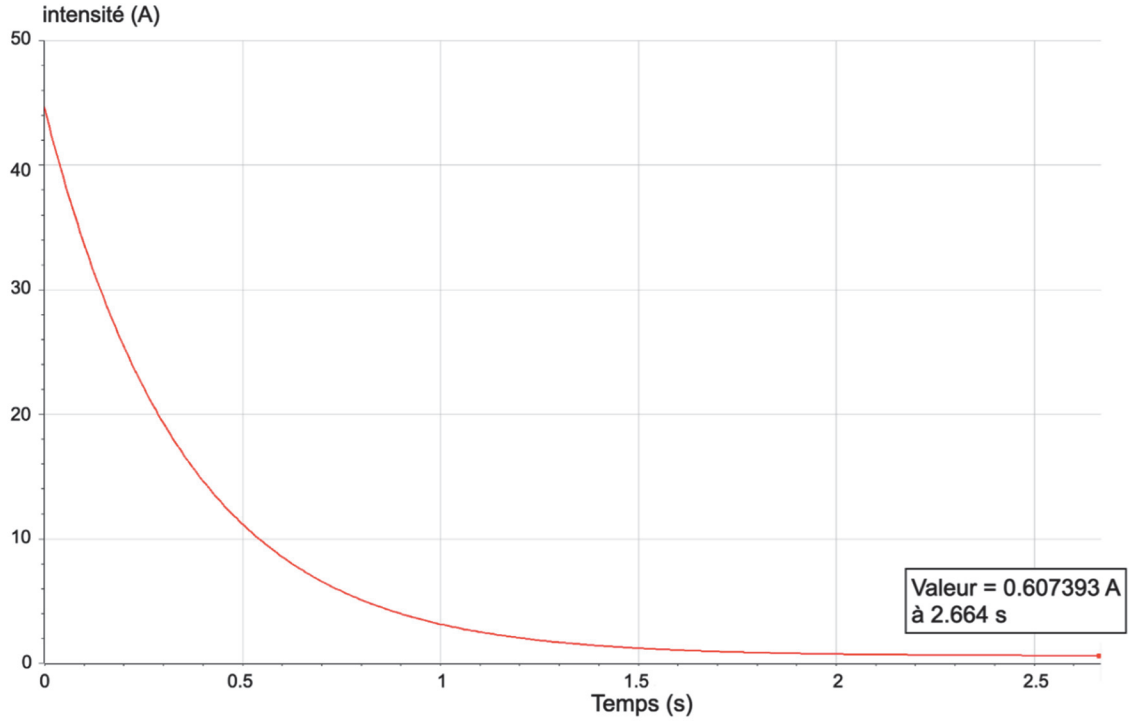


Figure 8 : courant dans le moteur équivalent

Question 1.9	**Justifier** l'allure du courant dont l'évolution est représentée figure 8. **Relever** en régime permanent le courant dans le moteur équivalent simulé par le modèle multi-physique puis **comparer** avec celui déterminé précédemment.

À l'aide du modèle multi-physique, un parcours type du robot d'une durée d'une heure est simulé. La puissance consommée pendant ce parcours est représentée figure 9.

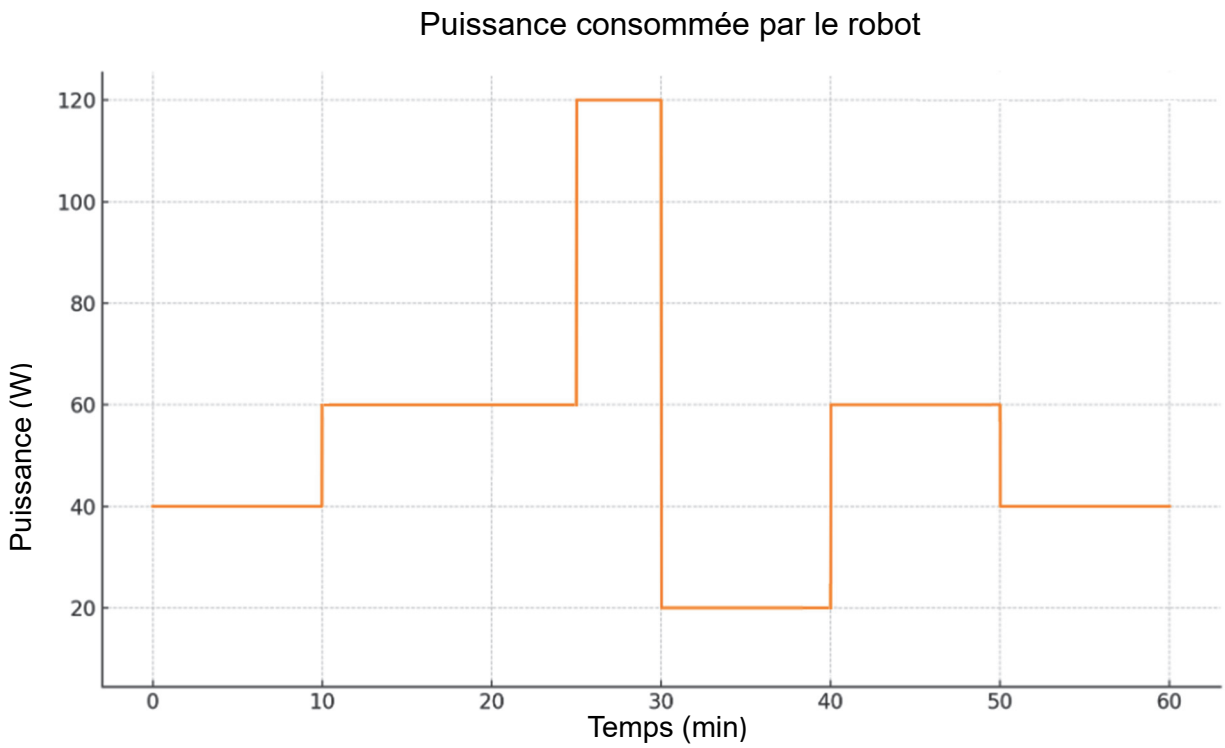


Figure 9 : parcours type d'une heure

Question 1.10	**Montrer** que l'énergie nécessaire pour réaliser le parcours type présenté figure 9 est de 51,7 W·h.

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

Question 1.11	**Calculer** l'énergie disponible dans la batterie en W·h à partir de l'exigence id 1.2.2. En **déduire** le nombre de parcours type que peut réaliser le robot en tenant compte de la profondeur de décharge.

Question 1.12	D'après l'exigence 1.2.2, **conclure** sur l'autonomie du robot sur ce parcours.

Sous-partie 3

Gestion de la batterie

L'objectif de cette sous-partie est de valider la communication du niveau de charge de la batterie du robot.

Le robot communique à distance sur le niveau de charge de sa batterie via l'application « MyGita app ». Il informe également par l'éclairage de ses roues au moyen de trois bandeaux de diodes électroluminescentes (DEL) et d'une DEL bicolore au niveau du bouton sur le dessus du robot (figure 10). L'éclairage peut être complété par un signal sonore.

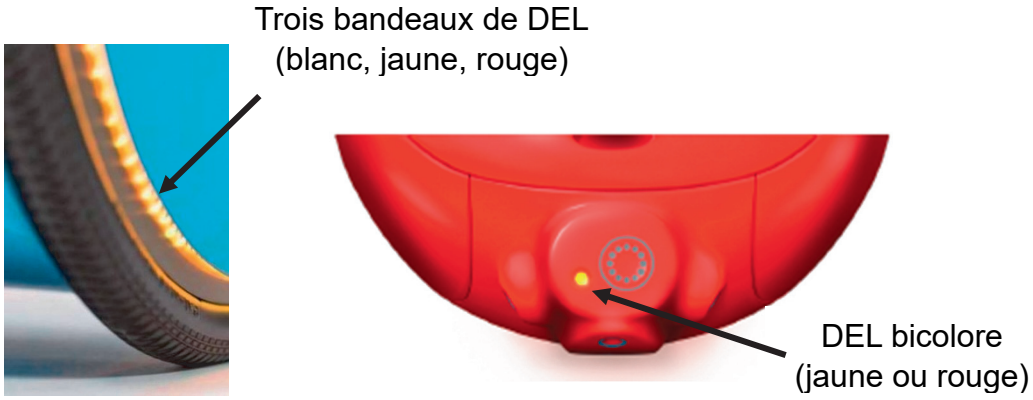


Figure 10 : indicateurs du niveau de charge de la batterie

La gestion de l'éclairage est la suivante :

- quand le niveau de la batterie est supérieur à 50 % de sa charge totale, la roue est de couleur blanche ;
- quand le niveau de la batterie atteint 50 % de sa charge totale, la roue passe du blanc au jaune ;
- quand le niveau de la batterie atteint 10 % de sa charge totale, la roue et le bouton clignotent en jaune et un son discontinu est émis ;
- quand le niveau de la batterie atteint 5 % de sa charge totale, la roue et le bouton deviennent rouge en continu.

Le niveau de charge de la batterie du robot est contrôlé en surveillant la tension U_{bat} qui diminue au cours de la décharge.

La chaîne d'information associée à la surveillance du niveau de charge de la batterie (figure 11) comporte un pont diviseur de tension pour réaliser l'adaptation de la tension, un convertisseur analogique numérique (CAN), une unité de contrôle qui gère les DEL et la sonnerie.

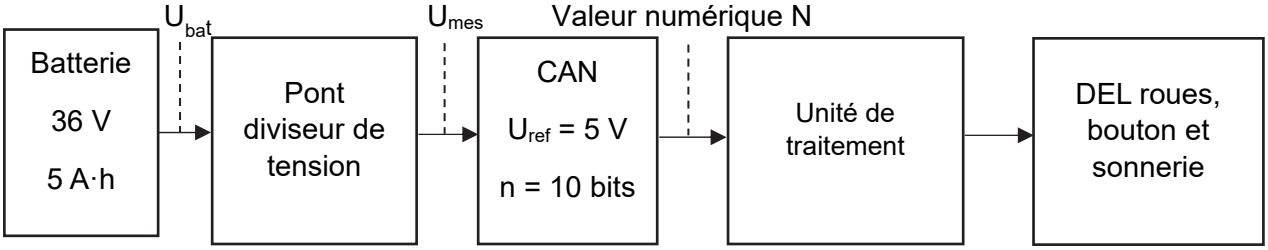


Figure 11 : chaîne d'information associée au niveau de charge de la batterie

Le pont diviseur de tension (figure 12) est composé de deux résistances R_1 et R_2.

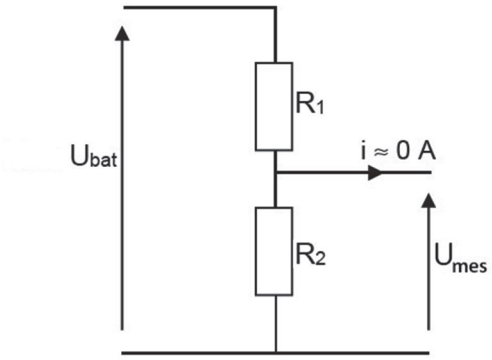


Figure 12 : pont diviseur de tension

La batterie du robot atteint une tension de 41,92 V lorsqu'elle est chargée à 100 %.

Les deux résistances utilisées ont pour valeur R_1 = 910 Ω et R_2 = 120 Ω.

Question 1.13	**Donner** l'expression de U_{mes} en fonction U_{bat}, R_1 et R_2 puis sa valeur lorsque la tension de la batterie est maximale. **Conclure** vis-à-vis de la tension de référence du CAN.

La courbe de décharge de la batterie est donnée figure 13.

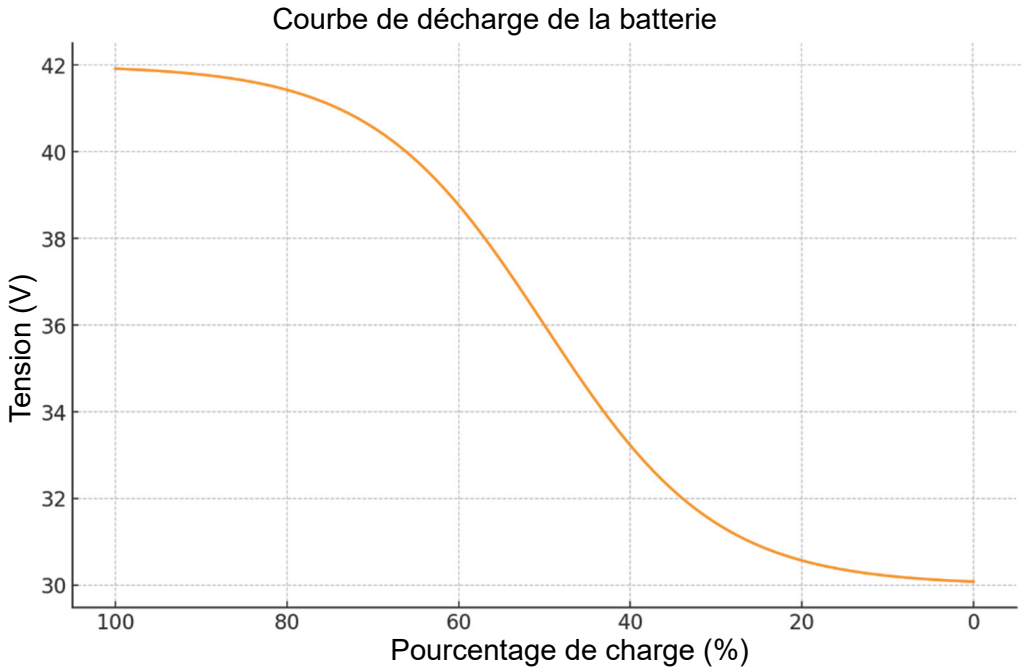


Figure 13 : décharge de la batterie

Question 1.14 DR2	Sur le document réponse DR2, **compléter** la valeur de U_{bat} à partir de la figure 13 puis **compléter** U_{mes}.

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

Question 1.15 DR2	**Déterminer** la valeur du quantum q en Volt (V) du convertisseur analogique numérique (CAN). **Compléter** la valeur manquante de N sur le document réponse DR2.

Les trois bandeaux de DEL, la DEL bicolore au niveau du bouton et la sonnerie sont reliés au microcontrôleur de la façon suivante :

- la borne 2 commande l'allumage et l'extinction du bandeau blanc sur la roue ;
- la borne 3 contrôle le bandeau jaune de la roue ;
- la borne 4 agit sur la couleur jaune de la DEL bicolore ;
- la borne 5 pilote le bandeau rouge et la couleur rouge de la DEL bicolore ;
- la borne 6 est dédiée à la commande de la sonnerie.

Question 1.16 DR2	**Compléter** l'algorithme sur le document réponse DR2 en utilisant les données précédentes.

Le robot communique le niveau de charge de sa batterie à distance à son utilisateur via l'application « MyGita app ».

Le protocole de communication utilisé pour l'envoi de données est l'IPV4. La trame de communication est sous forme de datagramme IP (figure 14).

En-tête IP							**DATA**
1 octet		1 octet	2 octets	8 octets	4 octets	4 octets	n octets
VER	HLEN	TOS	LT	Non étudié	IP source	IP destination	Données
4	5	0	0.X		192.168.10.2	10.41.125.115	a

Figure 14 : datagramme

LT est la longueur totale du datagramme (en-tête IP + DATA) en nombre d'octets. LT est de la forme 0.X avec X le nombre d'octets de l'en-tête + données.

Question 1.17	**Déterminer** le nombre d'octets n nécessaires pour l'envoi de l'information du niveau de charge de la batterie codé sur 10 bits. **Déterminer** la valeur décimale des éléments manquants a et X du datagramme de la figure 14 lorsque le robot envoie un niveau de charge de 75 % de la batterie au téléphone de l'utilisateur.

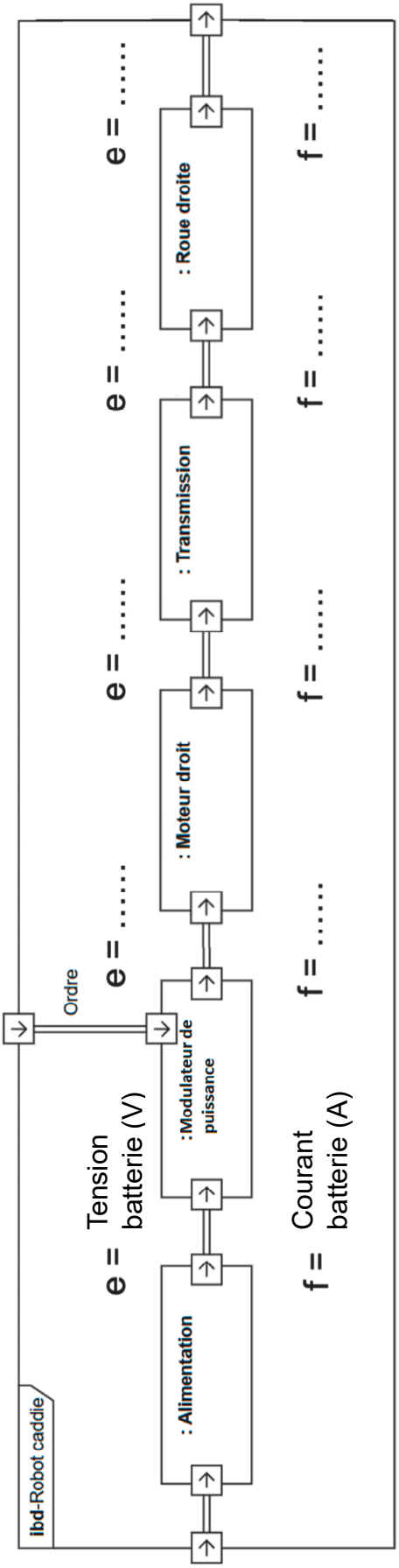
Question 1.18	**Conclure** sur le respect des exigences 1.4.1 et 1.4.2 .

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

Document réponse DR1

Question 1.7



Modèle CCYC : ©DNE

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

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Document réponse DR2

Questions 1.14 et 1.15

Batterie	100 %	75 %	50 %	25 %	10 %	5 %	0 %
U_{bat} (V)	41,92	41,09	36		30,22	30,13	30,08
U_{mes} (V)	4,88	4,79	4,19		3,52	3,51	3,50
N	1000	980	859		721	719	718

Question 1.16

```
# Configuration des DEL et du buzzer
DEL_2 = pin2  # bandeau DEL blanches roue
DEL_3 = pin3  # bandeau DEL jaune roue
DEL_4 = pin4  # DEL jaune bouton
DEL_5 = pin5  # bandeau DEL rouge roue et DEL bouton rouge
BUZZER = pin6  # Buzzer (sonnerie)
while True:
    Batterie = pin0.read_analog()  # Lire la batterie (0-1023)
    display.clear()  # Effacer l'écran DEL du micro:bit
    DEL_5.write_digital(0)
    DEL_4.write_digital(0)
    DEL_3.write_digital(0)
    DEL_2.write_digital(0)
    BUZZER.write_digital(0)
    if Batterie >= 859:  # Batterie au-dessus de 50%
        DEL_2.write_digital(1)
    if ....... < Batterie < 859:  # Batterie entre 10% et 50%
        DEL_3.write_digital(.......)
    elif ....... < Batterie <= .......:  # Batterie entre 5% et 10%
        DEL_........write_digital(1)
        DEL_........write_digital(1)
        BUZZER.write_digital(1)  # Activer le buzzer
        sleep(500)
        DEL_3.write_digital(0)
        DEL_4.write_digital(0)
        BUZZER.write_digital(0)  # Désactiver le buzzer
        sleep(500)
    elif Batterie <= .......:  # Batterie critique moins de 5%
        DEL_5.write_digital(1)
        BUZZER.write_digital(1)  # Buzzer en continu
        display.scroll("Batterie faible")  # Afficher le message
                                           # "Batterie faible"
    sleep(100)
```

Modèle CCYC : ©DNE

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

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Niveau sonore dans une salle de classe

On s'intéresse à une salle de classe dont le niveau d'intensité sonore ambiant a été mesuré à la valeur $L_{amb} = 35$ dB lorsque les élèves sont totalement silencieux. L'enseignante fait cours, le niveau d'intensité sonore moyen de sa voix est de 70 dB à 1,0 m d'elle. On cherche à savoir si un élève situé au fond de la classe peut suivre le cours correctement.

Données :

- seuil théorique d'audition de l'oreille humaine : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2} ;
- relation entre le niveau d'intensité sonore L et l'intensité sonore I : $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0}\right)$;
- l'intensité I d'une onde sonore issue d'une source ponctuelle s'atténue lors de l'éloignement de la source, en vérifiant à une distance d de la source la relation :

$$I = \frac{k}{d^2},$$

  où k est une constante qui dépend de la puissance de la source et de la géométrie de son émission ;
- le dernier rang se trouve à 8,0 m de l'enseignante ;
- pour que la voix de l'enseignante soit audible et se distingue correctement du bruit ambiant, il faut que son niveau d'intensité sonore soit de 15 dB supérieur au niveau d'intensité sonore du bruit ambiant.

Q1. À l'aide du texte introductif et des données, montrer que la valeur de l'intensité sonore reçue à 1,0 m de l'enseignante lorsqu'elle parle vaut $I_{1m} = 1{,}0 \times 10^{-5}$ W·m^{-2}.

Q2. En utilisant la relation fournie dans les données, déduire que la valeur de l'intensité sonore émise par l'enseignante à 8,0 m, est environ $I_{8m} = 1{,}6 \times 10^{-7}$ W·m^{-2}.

Q3. Rappeler comment se nomme ce type d'atténuation sonore.

Q4. Montrer que le niveau d'intensité sonore de la voix de l'enseignante à 8,0 m vaut environ $L_{8m} = 52$ dB et conclure quant à l'audibilité de la voix de l'enseignante au dernier rang dans cette salle de classe lorsque les élèves sont silencieux.

Les élèves commencent à bavarder, ce qui engendre un surplus d'intensité sonore $I_{bavardage} = 1{,}0\times10^{-8}$ W·m^{-2} qui s'ajoute au bruit ambiant lorsque les élèves étaient silencieux (lorsque le niveau d'intensité sonore valait 35 dB).

Q5. Montrer que le bruit ambiant et les bavardages représentent désormais une intensité sonore d'environ $I_{tot} = 1{,}3\times10^{-8}$ W·m^{-2}.

Q6. L'enseignante ne change pas son niveau d'intensité sonore. Déterminer si l'élève au dernier rang peut encore suivre le cours.

EXERCICE B – Mission JUICE : percer les secrets des lunes glacées de Jupiter

La mission européenne JUICE s'est envolée le 14 avril 2023 à bord d'une fusée Ariane 5 pour un long voyage de 8 ans. La sonde JUICE va explorer Jupiter et trois de ses plus grands satellites. En décembre 2034, JUICE effectuera son insertion orbitale autour de l'un d'entre eux, Ganymède. L'orbite elliptique initiale de JUICE sera suivie d'une orbite circulaire à 5 000 km d'altitude, puis d'une orbite circulaire à 500 km d'altitude.

D'après *https://reves-d-espace.com/juice-destination-jupiter-et-ses-lunes-glacees/*

Figure 1. Vue d'artiste de la sonde JUICE avec Jupiter en arrière-plan.

On se place dans un référentiel « ganymédocentrique » dont l'origine est le centre G de Ganymède et dont les trois axes pointent vers des étoiles lointaines de direction fixes. On suppose que JUICE n'est soumise qu'à la force d'attraction gravitationnelle de Ganymède et est modélisée par son centre de masse J.

L'objectif de cet exercice est de vérifier la cohérence de la description de la mission JUICE fournie en introduction avec les lois de Kepler.

Dans un premier temps on s'intéresse à la phase d'insertion durant laquelle l'orbite de J autour de G est elliptique. Les positions de J sont représentées par des points J_1 et J_2 à deux instants particuliers différents.

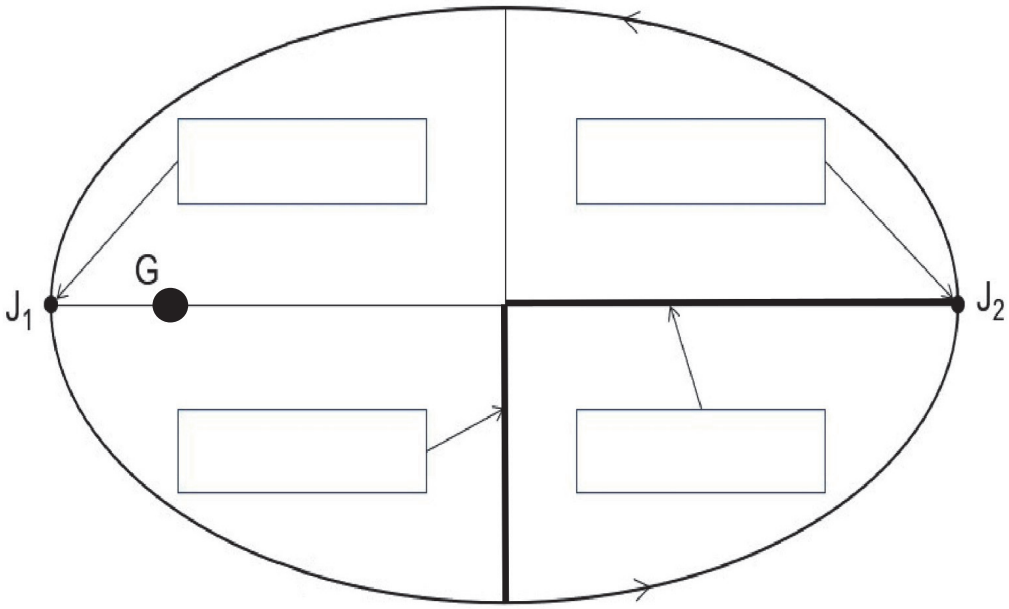


Figure 2. Schéma de la trajectoire de la sonde JUICE autour de Ganymède.

Données :

- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N·m²· kg⁻² ;
- masse de Ganymède : $M = 1{,}48 \times 10^{23}$ kg ;
- apoastre : point d'une orbite le plus éloigné du centre de masse de l'astre attracteur ;
- périastre : point d'une orbite le plus proche du centre de masse de l'astre attracteur.

Q1. Reproduire sur la copie le schéma de la figure 2 et le compléter avec les mots suivants : demi-grand axe, demi-petit axe, apoastre et périastre.

Q2. Énoncer la deuxième loi de Kepler puis l'illustrer pour l'orbite de J autour de G en représentant sur le schéma précédent les aires balayées par le rayon vecteur autour des points J_1 et J_2 pendant des intervalles de temps à peu près égaux.

Q3. Sur le schéma précédent, tracer les vecteurs vitesse en J_1 et J_2, sans souci d'échelle mais en respectant les tailles relatives de ces deux vecteurs.

Dans la suite de l'exercice, on s'intéresse aux orbites circulaires que JUICE effectuera par la suite autour de Ganymède.

Q4. En appliquant la deuxième loi de Newton à J, donner l'expression vectorielle de son accélération $\vec{a}$ de la sonde dans le repère de Frenet centré sur J en fonction du rayon d'une orbite circulaire R, de la masse M de Ganymède et des vecteurs unitaires $(\overrightarrow{u_n}, \overrightarrow{u_t})$ de la base de Frenet. On note m la masse de J.

Q5. En déduire l'expression de la vitesse v de J en fonction de G, M et R.

Q6. En déduire l'expression suivante de la troisième loi de Kepler appliquée, pour une orbite circulaire, à J :

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\,\pi^2}{G\,M}$$

avec T la période de révolution de J autour de G.

La sonde JUICE parcourra deux orbites circulaires autour de Ganymède, une orbite lointaine à une distance R_1 = 5 000 km et une orbite proche à R_2 = 500 km, pour notamment explorer les fonds océaniques et le champ magnétique de Ganymède.

Q7. À l'aide de la troisième loi de Kepler, calculer la période de révolution T_1 associée à l'orbite de rayon R_1 de J.

Q8. Proposer une méthode permettant de retrouver la valeur de la masse M de Ganymède à partir des mesures qui pourraient être effectuées par la sonde en 2034.

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.