

# 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 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.**

<b>Partie 1 - Sciences de l'ingénieur</b>	20 points
<b>Partie 2 - Sciences Physiques</b>	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.



Figure 1 : robot Bobby

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.

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.

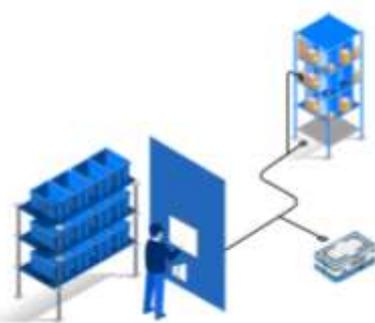
En cas d'inactivité prolongée ou d'un niveau critique de décharge de la batterie, le robot se déplace jusqu'à la station de recharge et s'y connecte automatiquement. L'algorithme de charge intelligent adapte la mise en charge en fonction des missions. La capacité de rechargement autonome sur borne dédiée 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  $90^\circ$  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.

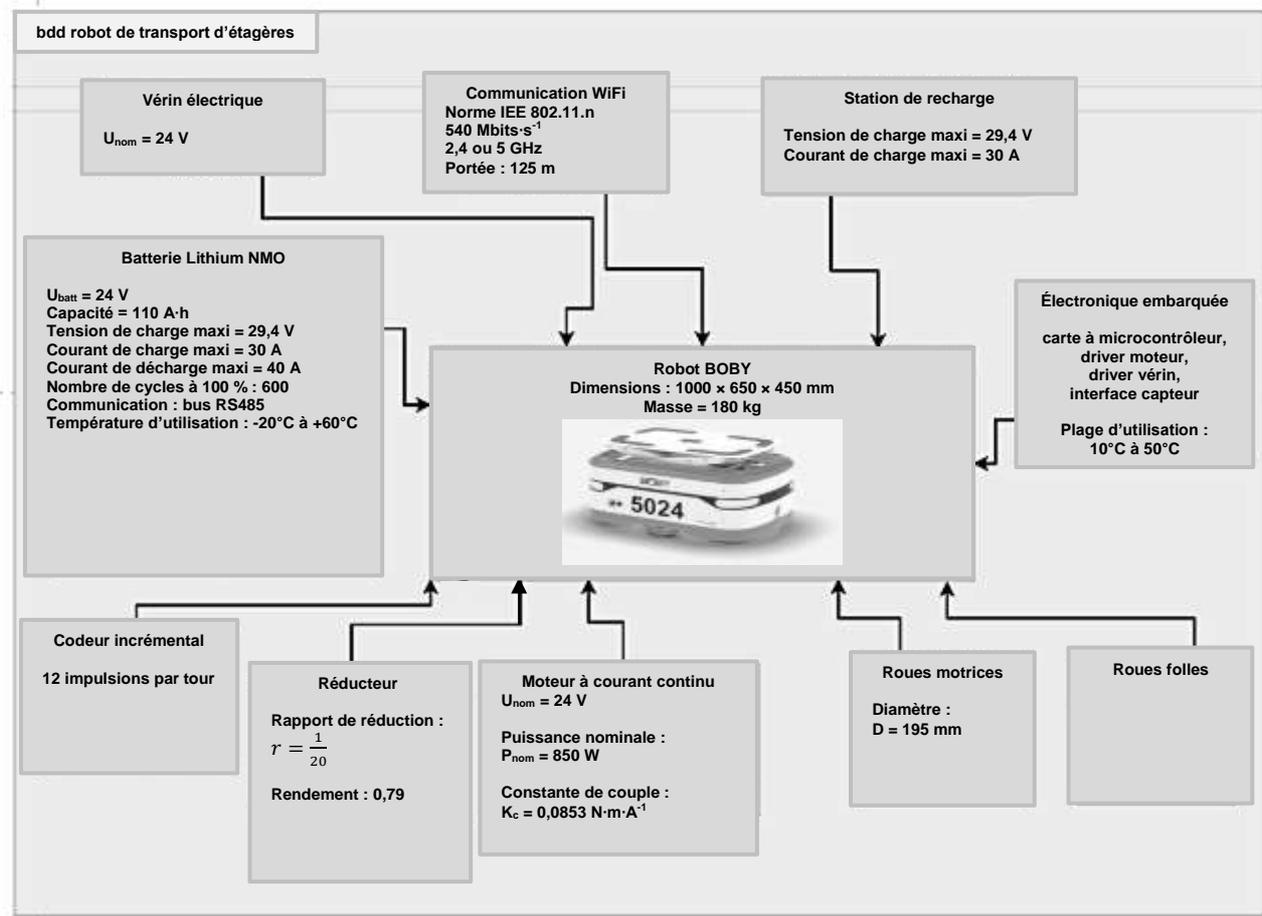


Figure 3 : diagramme de définition de blocs

Question 1.3 À l'aide du diagramme de définition de blocs figure 3, **calculer** la vitesse de rotation d'une roue motrice notée  $\omega_{\text{roue}}$  (en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ), puis la vitesse de rotation du moteur notée  $\omega_m$  (en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

**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  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

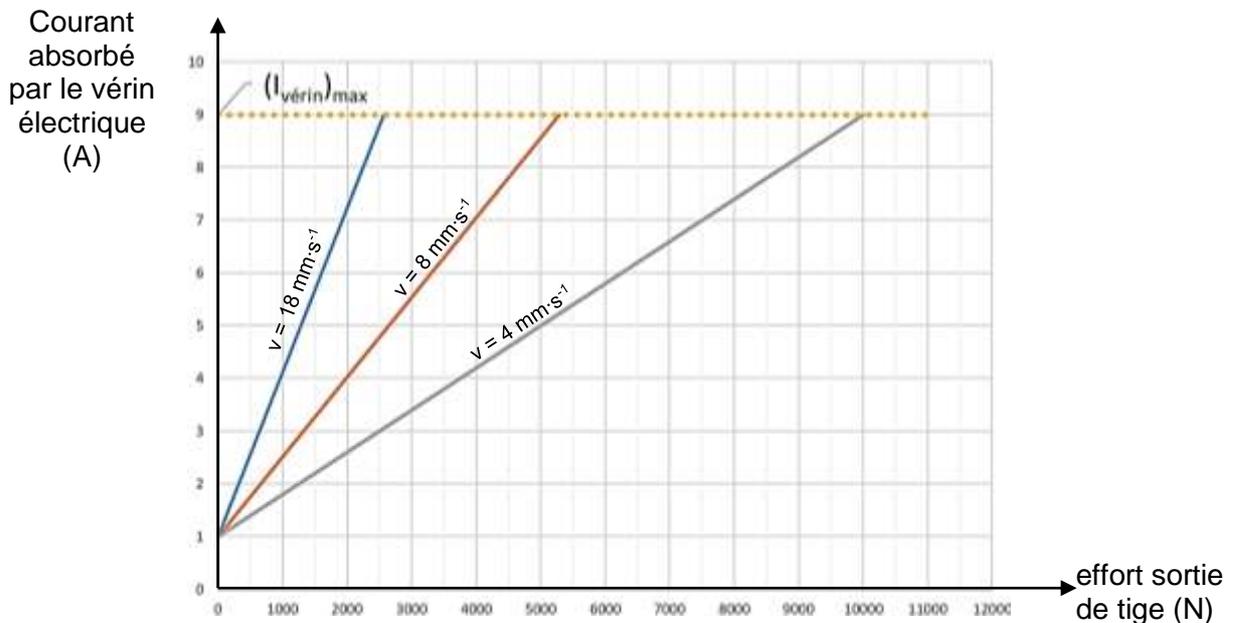


Figure 4 : courant absorbé par le vérin électrique en fonction de l'effort de sortie de la tige pour différentes vitesses de sortie de tige

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.

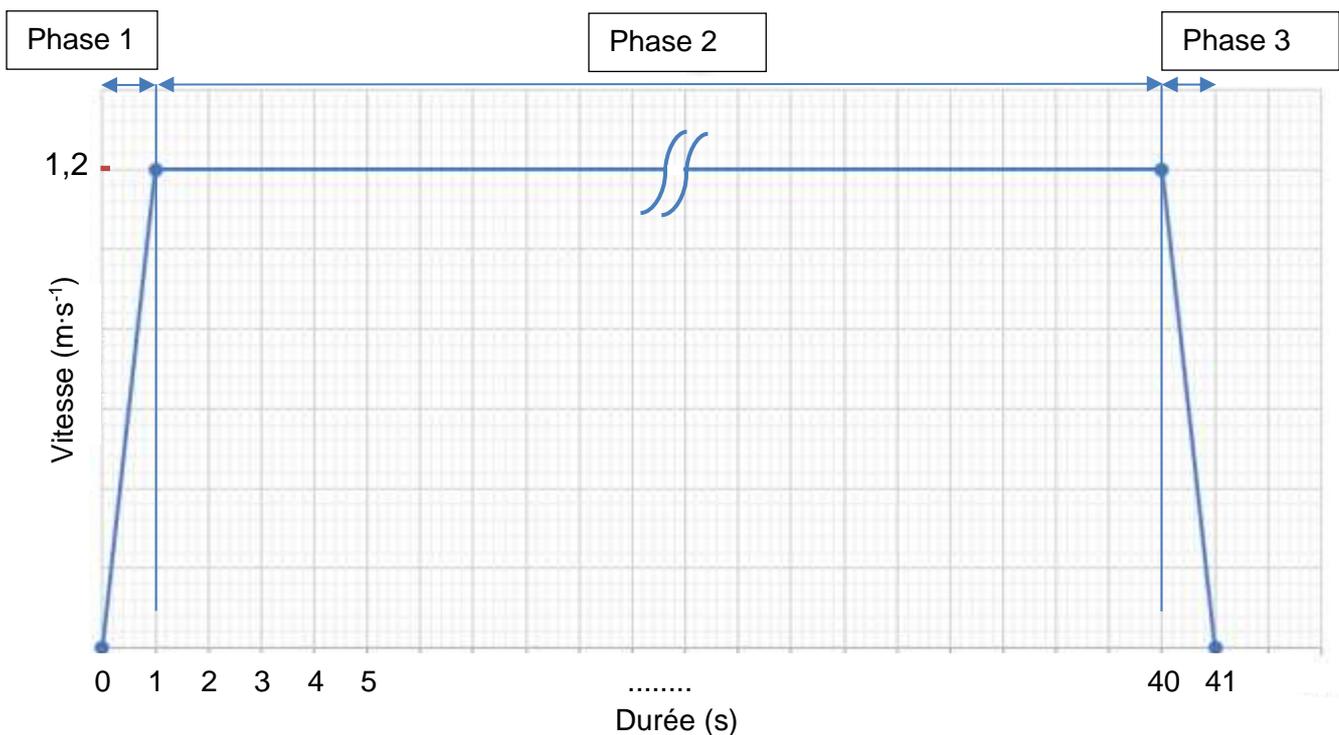


Figure 5 : évolution de la vitesse du chariot en fonction du temps pendant le trajet, étagère chargée

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.

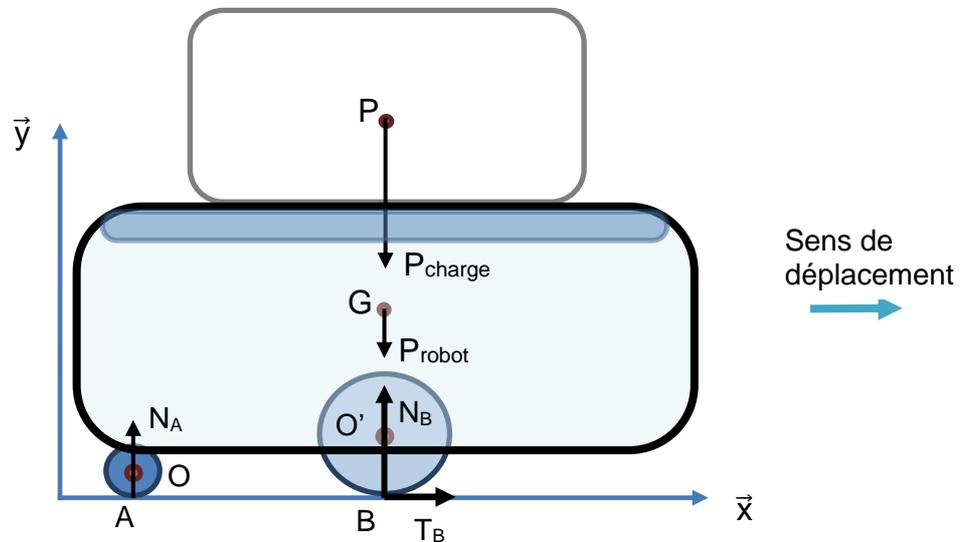


Figure 6 : modélisation plane du robot et des actions mécaniques

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  $M_{\text{robot}}$  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  $M_{\text{charge}}$  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  $M_{\text{charge}}$ ,  $M_{\text{robot}}$  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  $T_B$ .

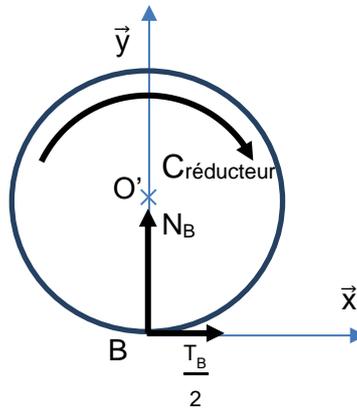


Figure 7 : actions mécaniques extérieures s'exerçant sur la roue isolée

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  $\omega_m = 246 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

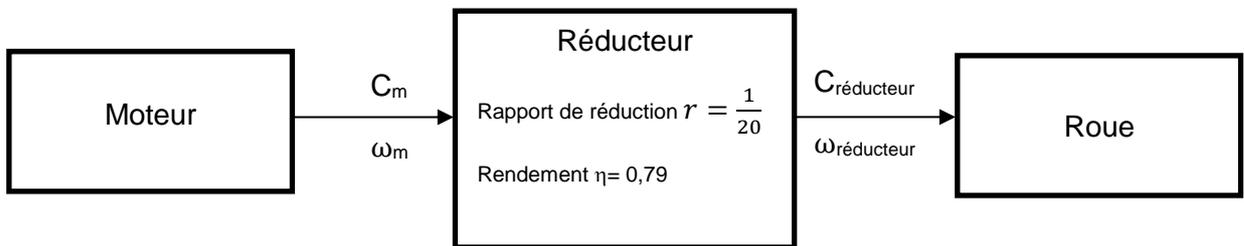


Figure 8 : chaîne de puissance partielle

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  $850 \text{ W}$ .

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.

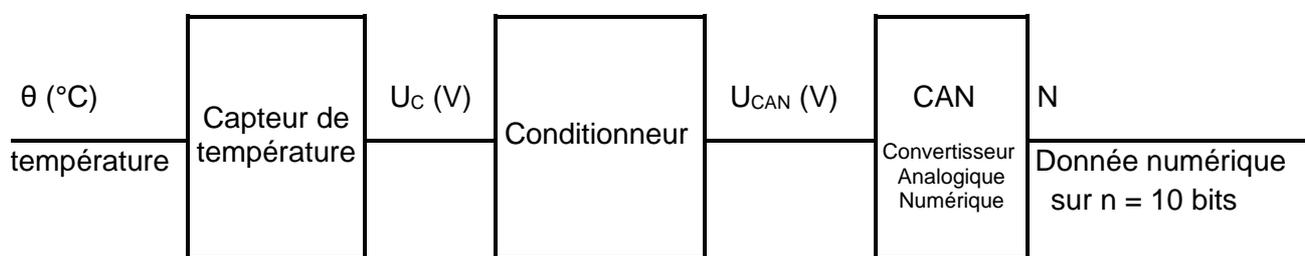


Figure 9 : chaîne d'acquisition de la température

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  $S_\theta$  du capteur en  $\text{mV}\cdot\text{C}^{-1}$  et les tensions de sortie du capteur  $U_{\text{cmin}}$  et  $U_{\text{cmax}}$  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  $U_{\text{CAN}}$  doit être comprise en 0 V et 5 V pour un fonctionnement du capteur dans sa plage d'utilisation de  $10^\circ\text{C}$  à  $50^\circ\text{C}$ .

Question 1.15 **Montrer** que l'équation de  $U_{\text{CAN}}$  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

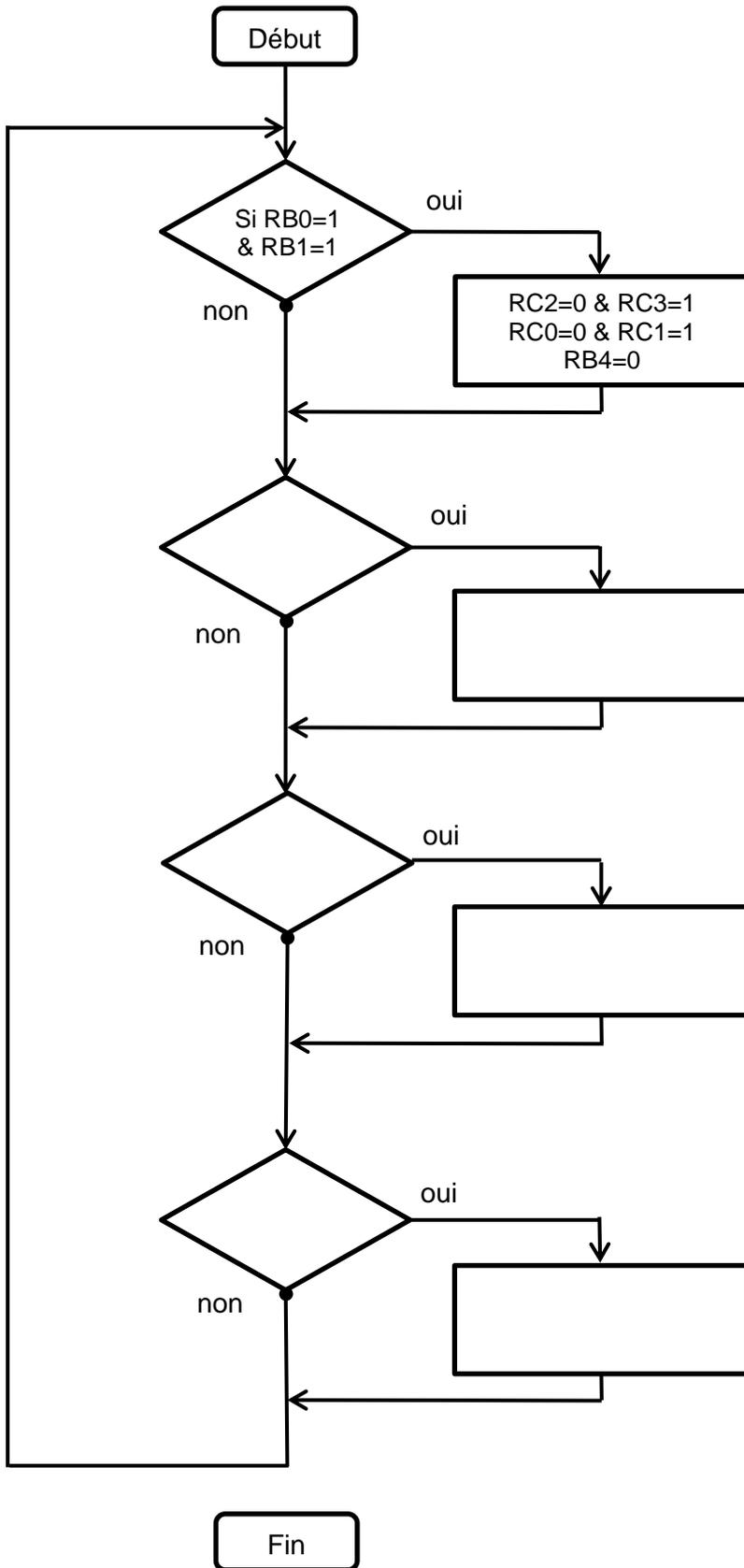
**Question 1.17 – Tableau « Acquérir Température »**

$\theta$ (°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**