Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + SI, veuillez visiter :
bac-maths-si.fr/annales-sujets-et-corriges

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 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 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 Boby (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 Boby

Le pilotage des robots est optimisé et permet :

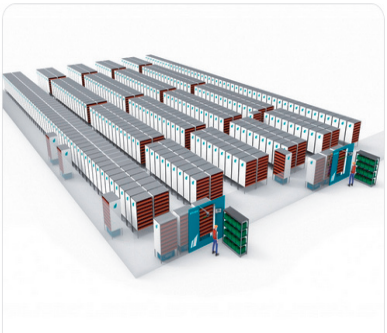
- une centralisation du pilotage d'une flotte de robots ;
- une optimisation des trajets des robots grâce à des algorithmes dédiés ;
- une répartition de leurs missions en temps réel.

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.

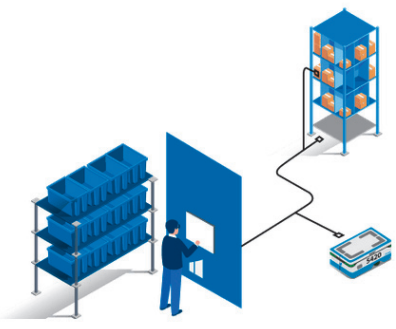
En cas d'inactivité prolongée ou d'un niveau critique de décharge de la batterie, le robot se déplace jusqu'à la station de recharge et s'y connecte automatiquement. L'algorithme de charge intelligent adapte la mise en charge en fonction des missions. La capacité de rechargement autonome sur borne dédiée 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_{moy} = 1,2 m·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_{moy} = 1,2 m·s^{-1} et les moteurs de déplacement fonctionnent à 25 % de leur puissance nominale.

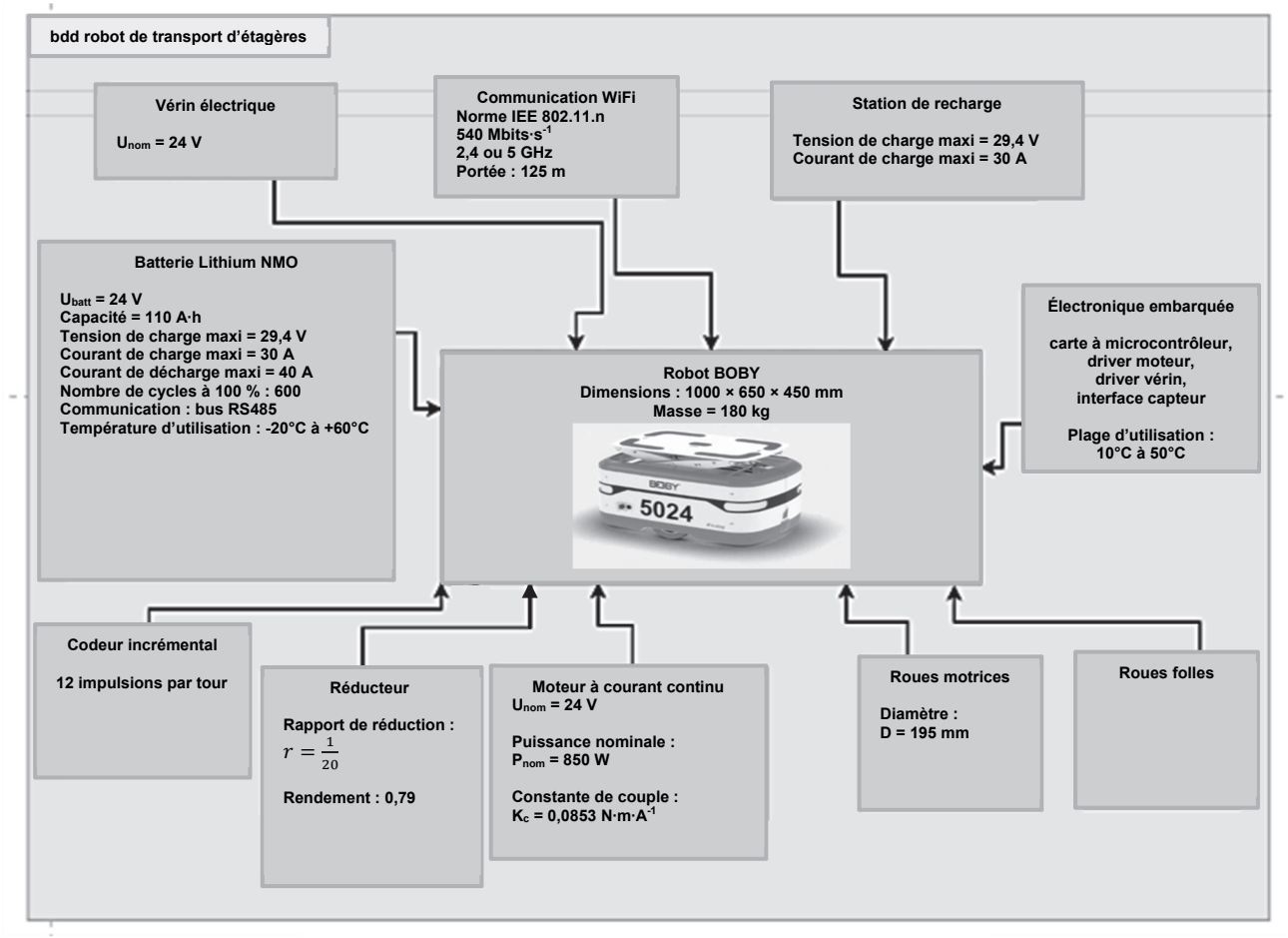


Figure 3 : diagramme de définition de blocs

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 m·s^{-2}.

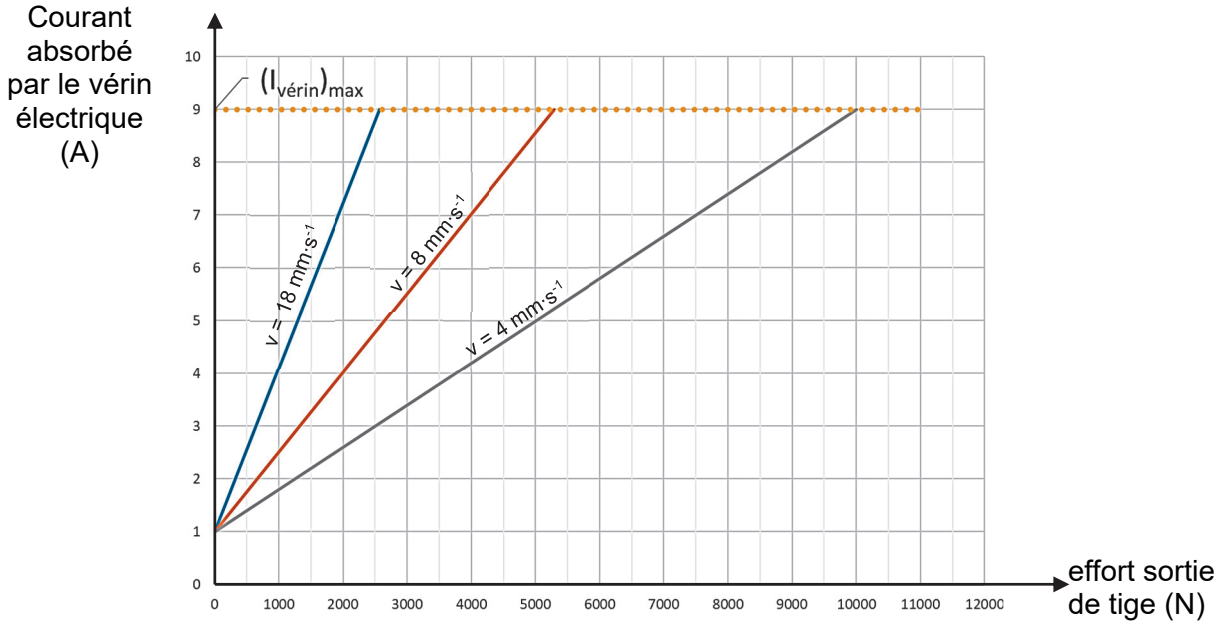


Figure 4 : courant absorbé par le vérin électrique en fonction de l'effort de sortie de la tige pour différentes vitesses de sortie de tige

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 $v_{vérin}$ en mm·s^{-1} et le courant consommé $I_{vérin}$ 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 W·h pour un des deux moteurs de déplacement ;
- E_{vm} = 1 W·h pour le vérin électrique de levage à la montée ;
- E_{vd} = 0,5 W·h pour le vérin électrique de levage à la descente ;
- E_{em} = 0,5 W·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.

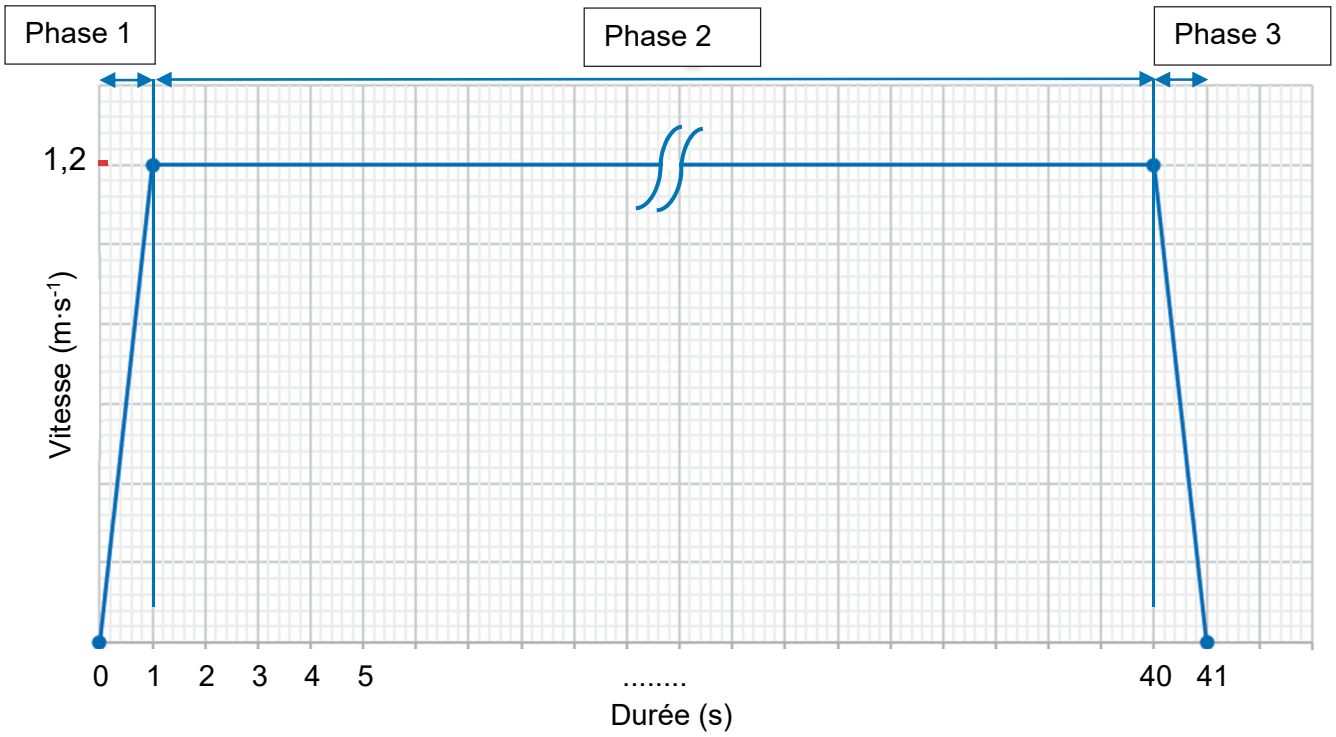


Figure 5 : évolution de la vitesse du chariot en fonction du temps pendant le trajet, étagère chargée

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.

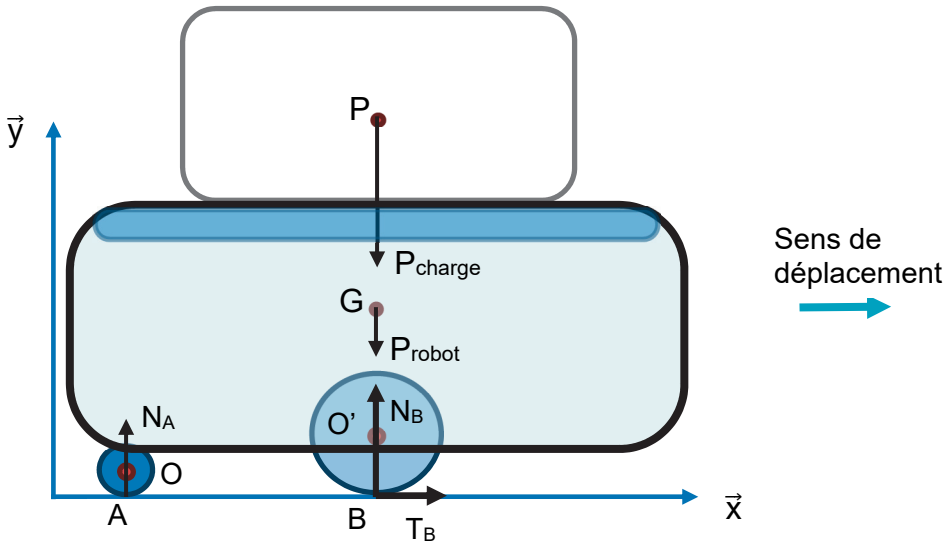


Figure 6 : modélisation plane du robot et des actions mécaniques

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 : $\vec{P}_{robot} = -M_{robot} \cdot g \cdot \vec{y}$ avec M_{robot} la masse du robot ;
- en P, le poids de l'étagère transportée : $\vec{P}_{charge} = -M_{charge} \cdot g \cdot \vec{y}$ avec M_{charge} la masse de l'étagère ;
- en A, l'action du sol sur les deux roues folles arrière : $\vec{A}_{sol \to S} = N_A \cdot \vec{y}$;
- en B, l'action du sol sur les deux roues motrices : $\vec{B}_{sol \to S} = N_B \cdot \vec{y} + T_B \cdot \vec{x}$.

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 $a_x = 1{,}2\ m \cdot s^{-2}$ et la masse du robot vaut $M_{robot} = 180$ kg. L'analyse se fait dans le cas de la charge limite admissible soit $M_{charge} = 600$ 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.

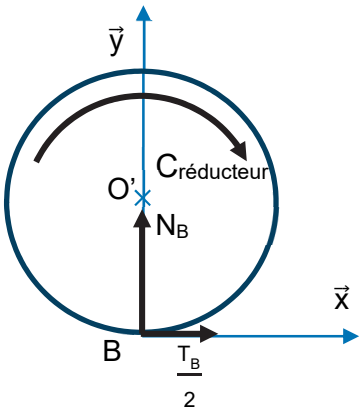


Figure 7 : actions mécaniques extérieures s'exerçant sur la roue isolée

Le rayon de la roue est noté R = 97,5 mm. Le théorème du moment dynamique appliqué en O' permet d'obtenir la relation suivante : $C_{réducteur} = R \cdot \frac{T_B}{2}$. La figure 8 illustre une partie de la chaîne de puissance reliant un moteur de déplacement à la roue. L'effort tangentiel vaut $T_B = 936$ N. Pour une vitesse de déplacement du robot V = 1,2 m·s^{-1}, la fréquence de rotation du moteur est de $\omega_m = 246$ rad·s^{-1}.

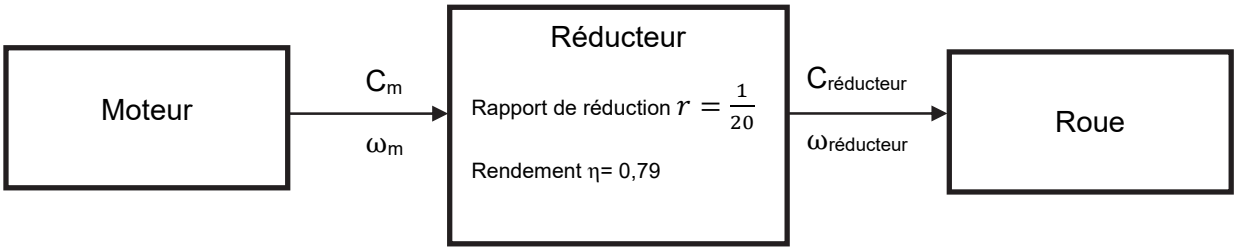


Figure 8 : chaîne de puissance partielle

Question 1.11 À l'aide de la figure 8, **calculer** le couple $C_{réducteur}$ 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 m·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.

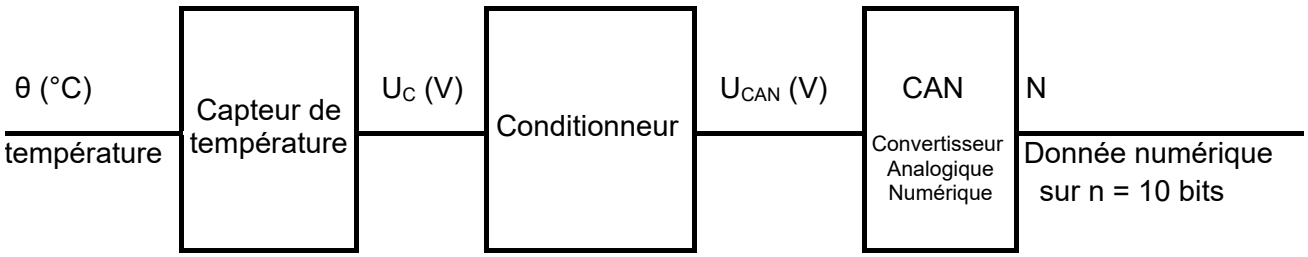


Figure 9 : chaîne d'acquisition de la température

La caractéristique du capteur de température est donnée sur la figure 10.

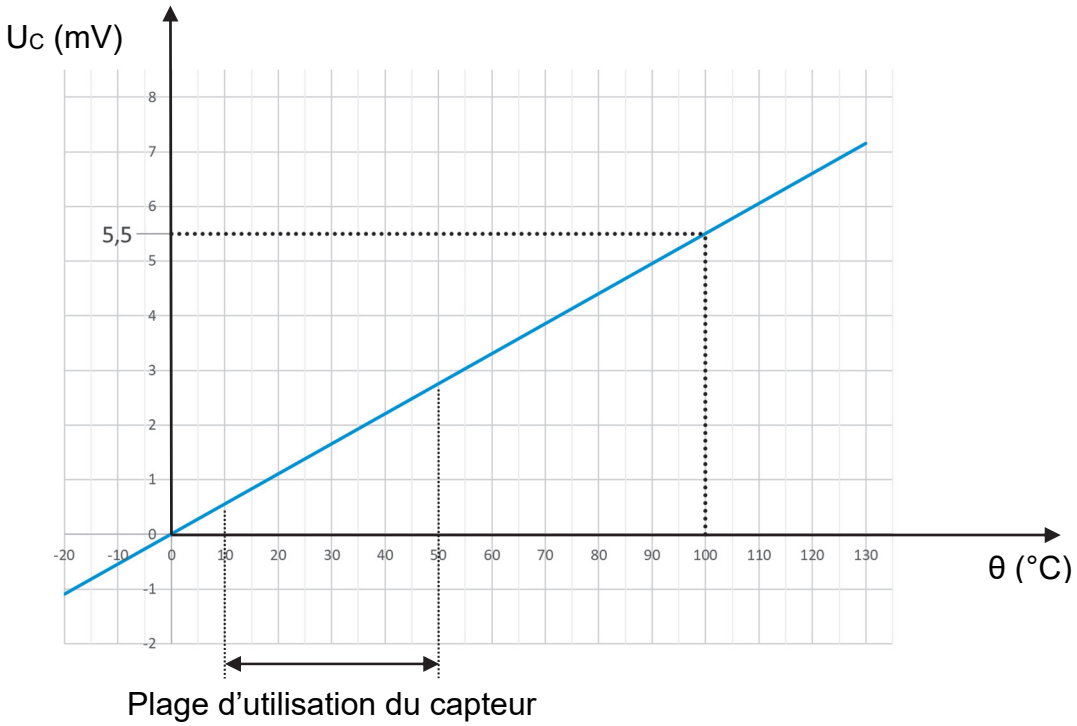


Figure 10 : caractéristique tension-température $U_C = f(\theta)$

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 $mV \cdot °C^{-1}$ 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 $U_{CAN} = U_0 + A_V \times U_C$ 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 :

$U_{CAN} = 2273 \cdot U_C - 1{,}25$.

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 DR1 Sur le document réponse DR1, **compléter** le tableau « acquérir 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 °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 DR1 **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.

Question 1.20 DR2 **Compléter** l'algorigramme sur le document DR2 répondant au comportement attendu pour le suivi de la bande de guidage.

Document réponse DR1

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							

Modèle CCYC : ©DNE

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

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

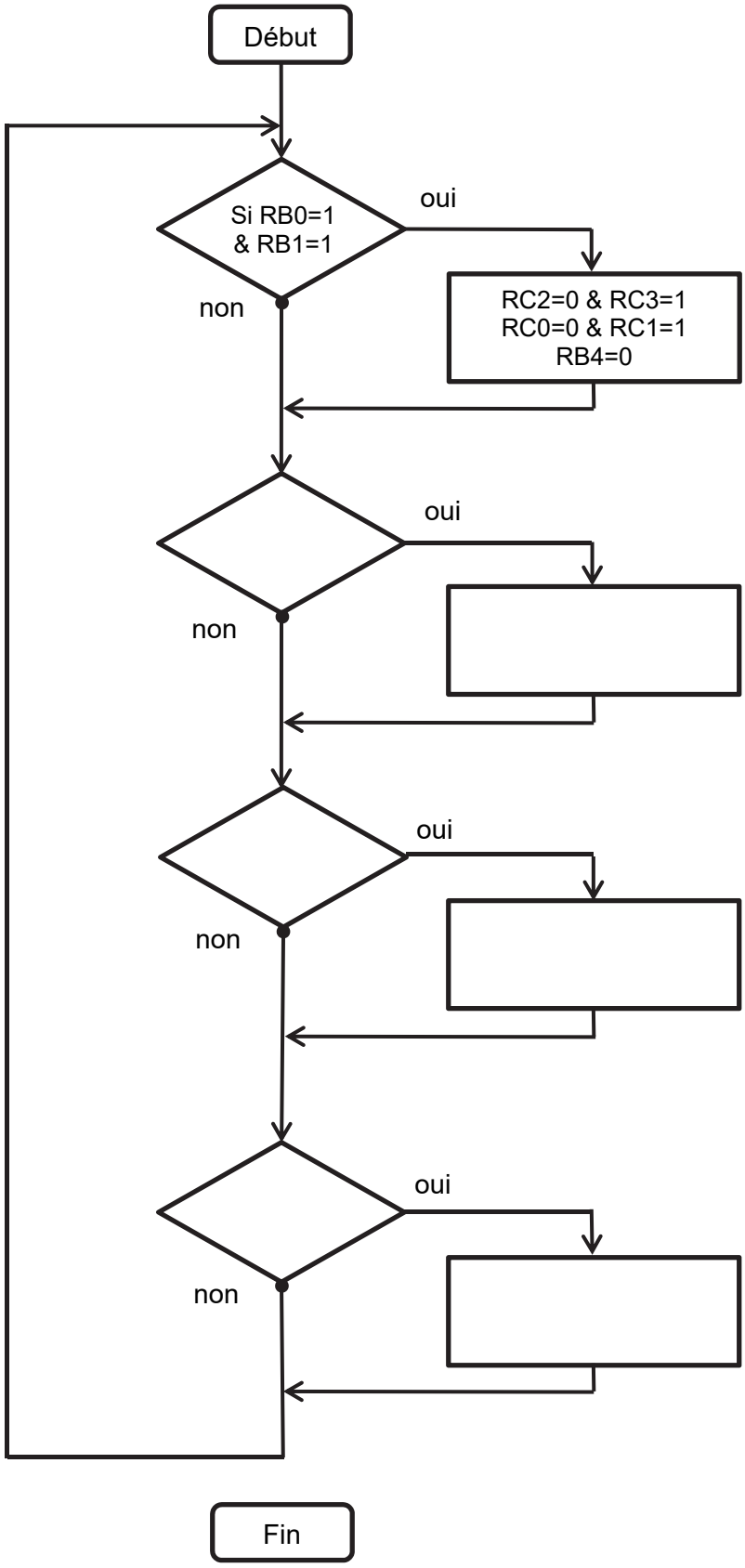
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Document réponse DR2

Question 1.20



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 – Le jeu du palet (10 points)



Image extraite du règlement du palet sur plomb de la FNSMR

C'est dans l'ouest de la France que le jeu du palet en fonte connait 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. *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 g ;
- accélération de la pesanteur : g = 9,81 m·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.

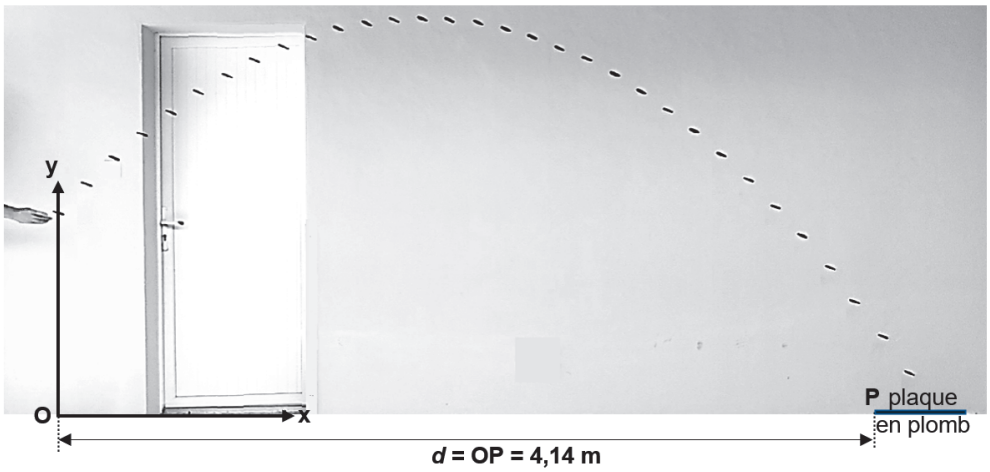


Figure 1. Chronophotographie du lancer du palet étudié

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 J pour y = 0 m. La courbe 3 est modélisée par une droite. On note v la norme du vecteur vitesse.

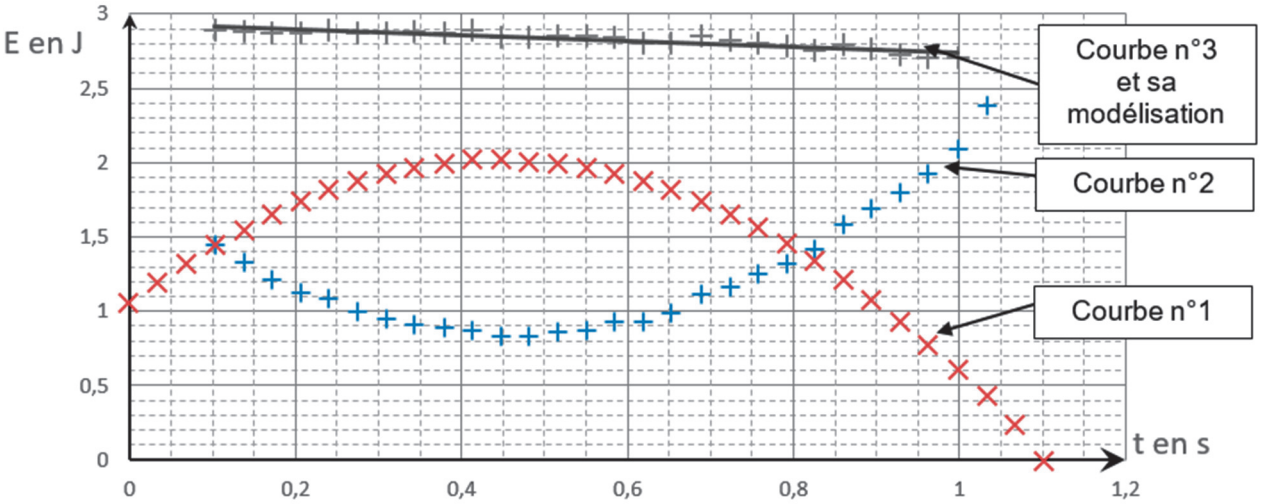


Figure 2. Évolution temporelle des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique du palet déterminées expérimentalement

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 $\alpha = -0{,}189$ J·s^{-1} et $\beta = 2{,}93$ 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 : $y(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ avec $a = -0{,}295$ m^{-1}, $b = 1{,}06$ et $c = 1{,}10$ m

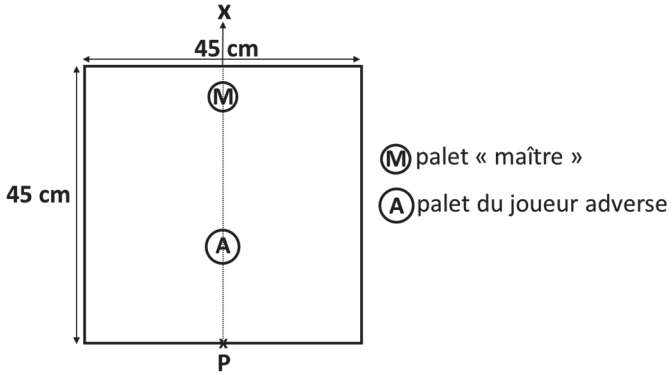


Figure 3. Schéma de la plaque en plomb donnant la position approximative du palet « maître » et celle du palet de l'équipe adverse en vue de dessus ; P est le point de la plaque le plus près du joueur

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.

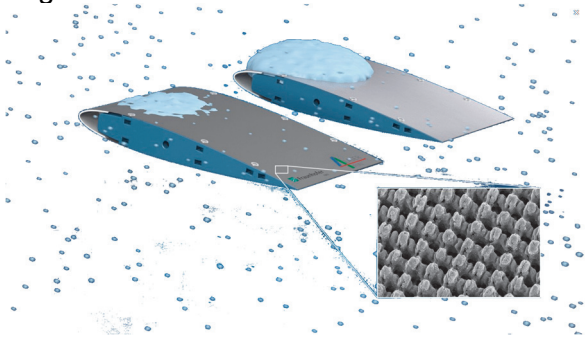


Figure 1. Comparaison de l'accumulation de glace entre une surface de référence et une surface micro-usinée par interférences laser (d'après https://optics.org/news/11/1/97)

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 (églement 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 $\lambda = 527$ nm.

Lors de cet usinage, on souhaite obtenir des motifs régulièrement espacés d'une distance (interfrange) de valeur $i = 6{,}9$ µm, 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.

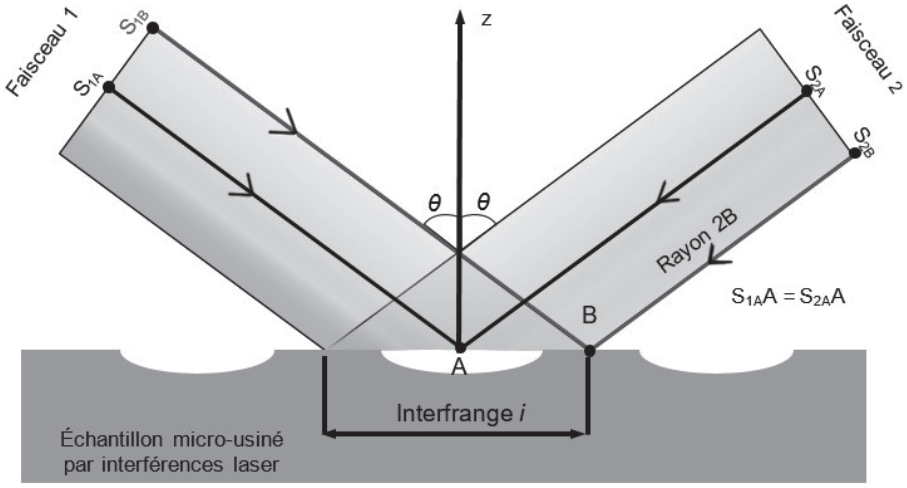


Figure 2. Schéma de principe de la création d'un motif par interférences de deux faisceaux

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.

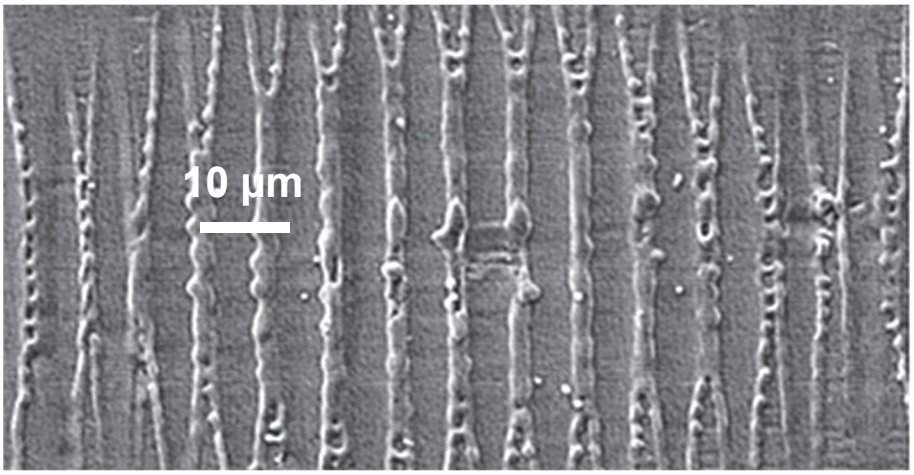


Figure 3. Observation au microscope électronique de la surface micro-usinée par interférences utilisant deux faisceaux (d'après https://doi.org/10.1002/adem.202001414)

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.

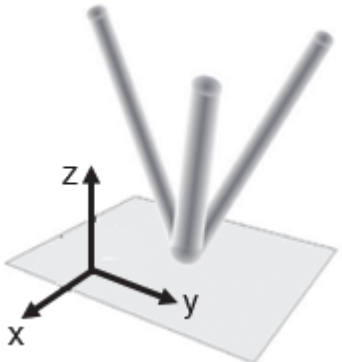


Figure 4. Principe de la création de motifs par usinage par interférences laser

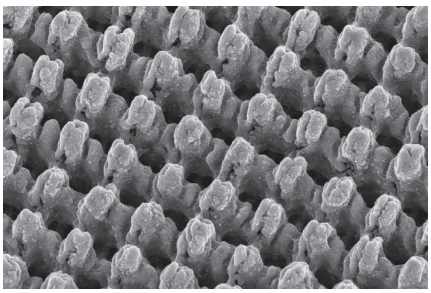


Figure 5. Observation au microscope électronique de la surface micro-usinée (d'après https://optics.org/news/11/1/97)

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).

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.