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 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 règlementation 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



figure 1 : robot VITIROVER en situation dans la vigne

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.

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 entrainée 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 entrainés 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).

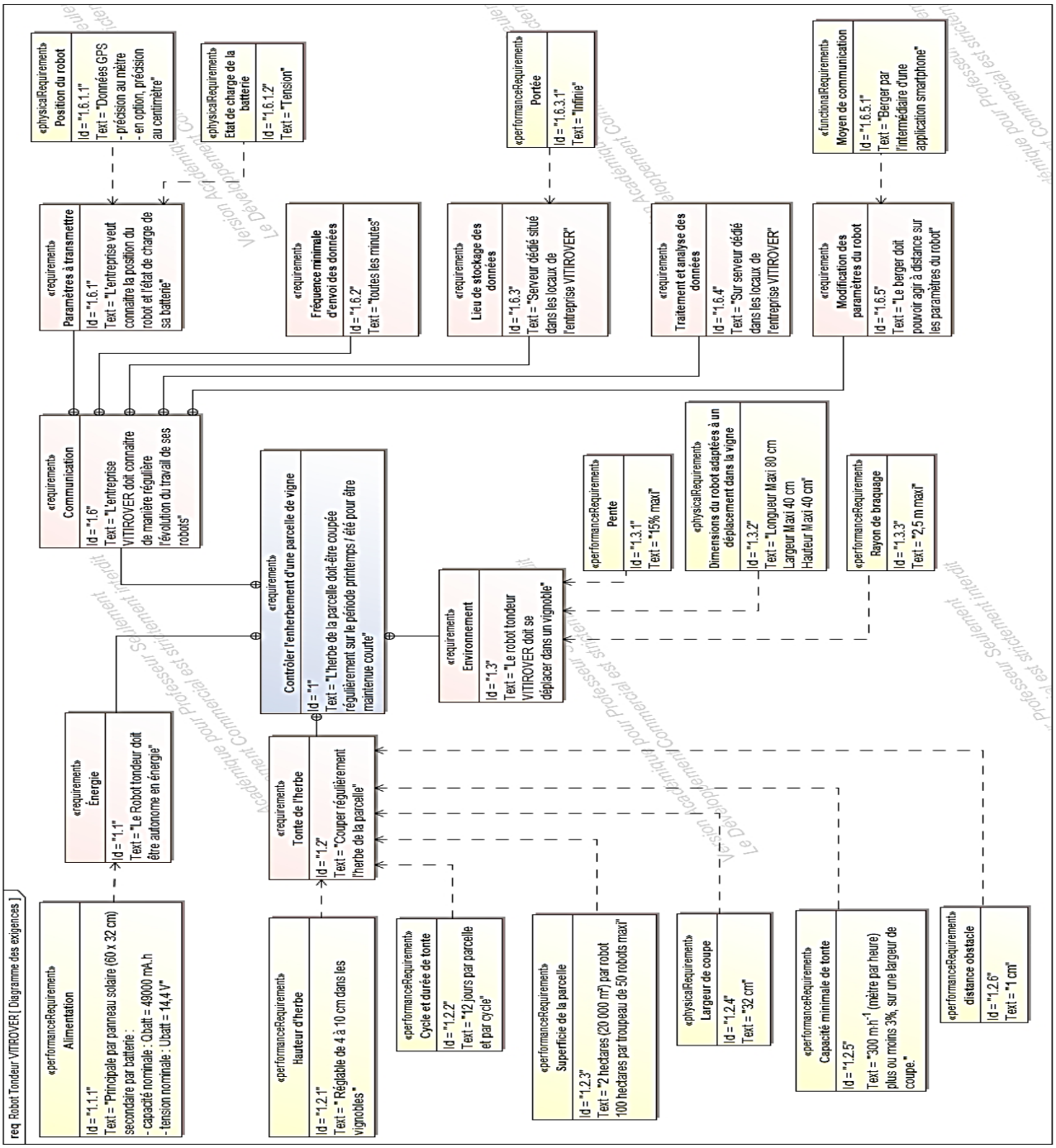


figure 2 : diagramme partiel des exigences

La problématique abordée dans ce sujet est la suivante :

comment contrôler l'enherbement d'une parcelle de vigne avec le robot VITIROVER ?

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 $W \cdot m^{-2}$ chaque jour.

La figure 3 représente les courbes $I_p = f(U_p)$ en fonction de l'irradiance (en $W \cdot m^{-2}$) 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 $W \cdot m^{-2}$ (en pointillés).

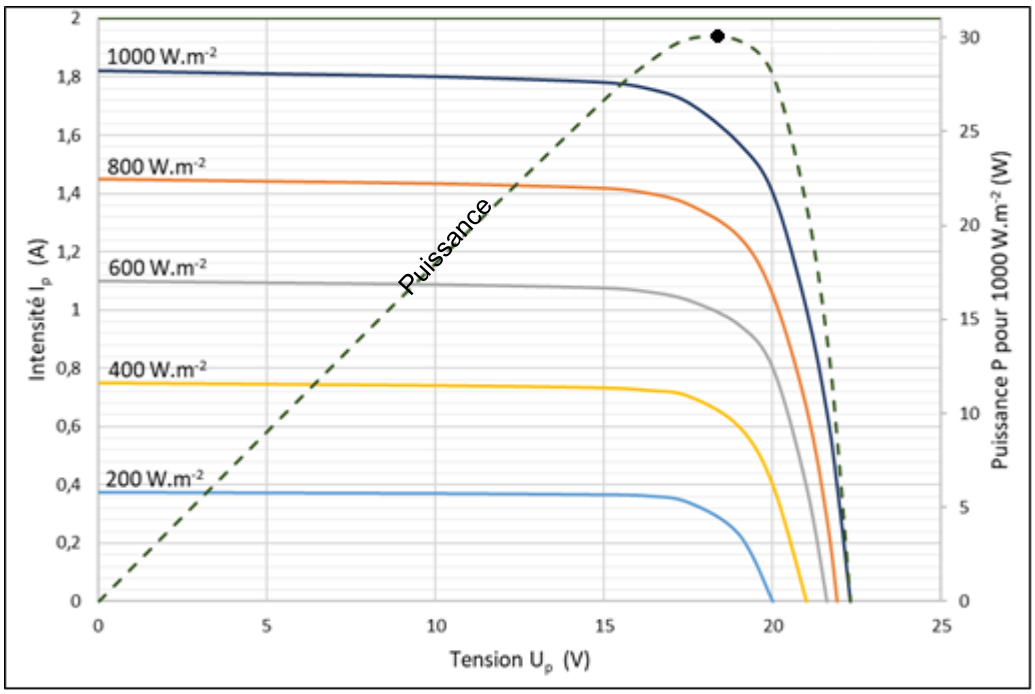


figure 3 : courbes caractéristiques en fonction de l'irradiance

Dans tout le sujet, les énergies seront exprimées en W·h.

Question 1. figure 3	Pour les conditions maximales d'ensoleillement, relever la puissance maximale fournie par le panneau photovoltaïque. 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. figure 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.

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 :

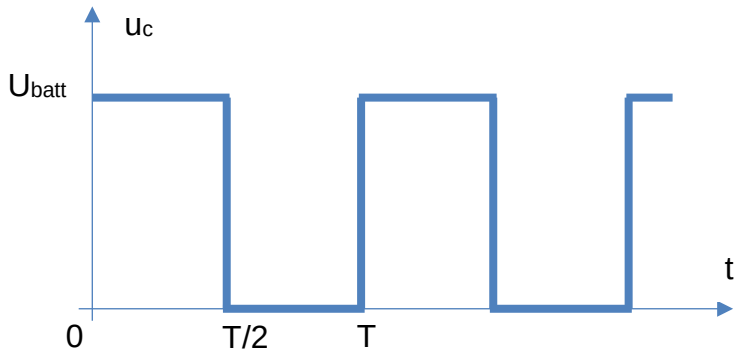


figure 4 : relevé de U_c (rapport cyclique de 50%)

Question 3. figure 4	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.

Au regard de la fréquence élevée du hacheur, la puissance moyenne consommée du moteur est considérée comme constante Ic=Icmoy=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 $W \cdot m^{-2}$ par jour est-elle judicieuse compte tenu de la période d'utilisation du robot ?

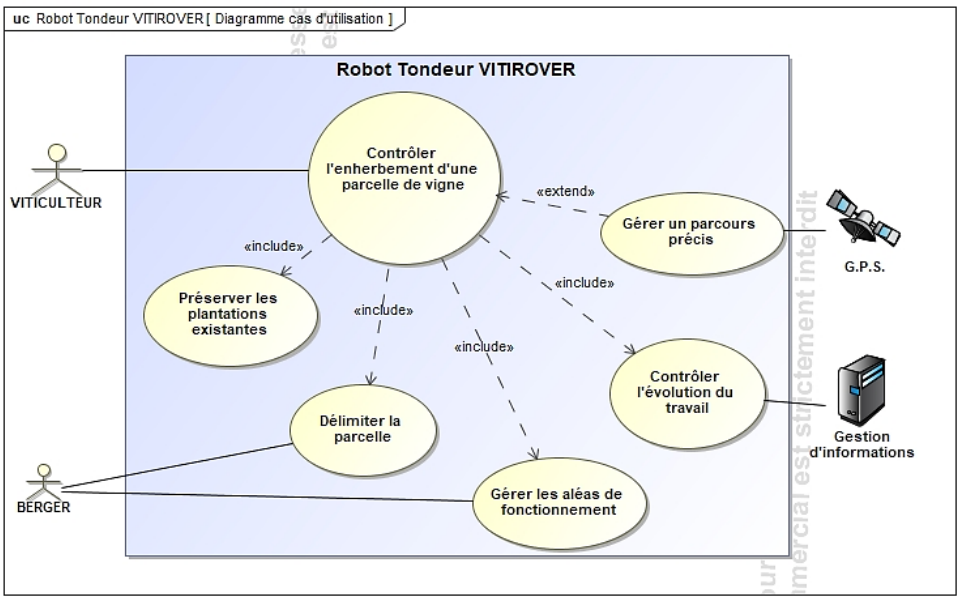


figure 5 : diagramme des cas d'utilisation

Question 9. figure 5	Déduire de la question précédente l'intérêt de l'intervention du berger pendant la période de tonte.

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 entrainées 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.

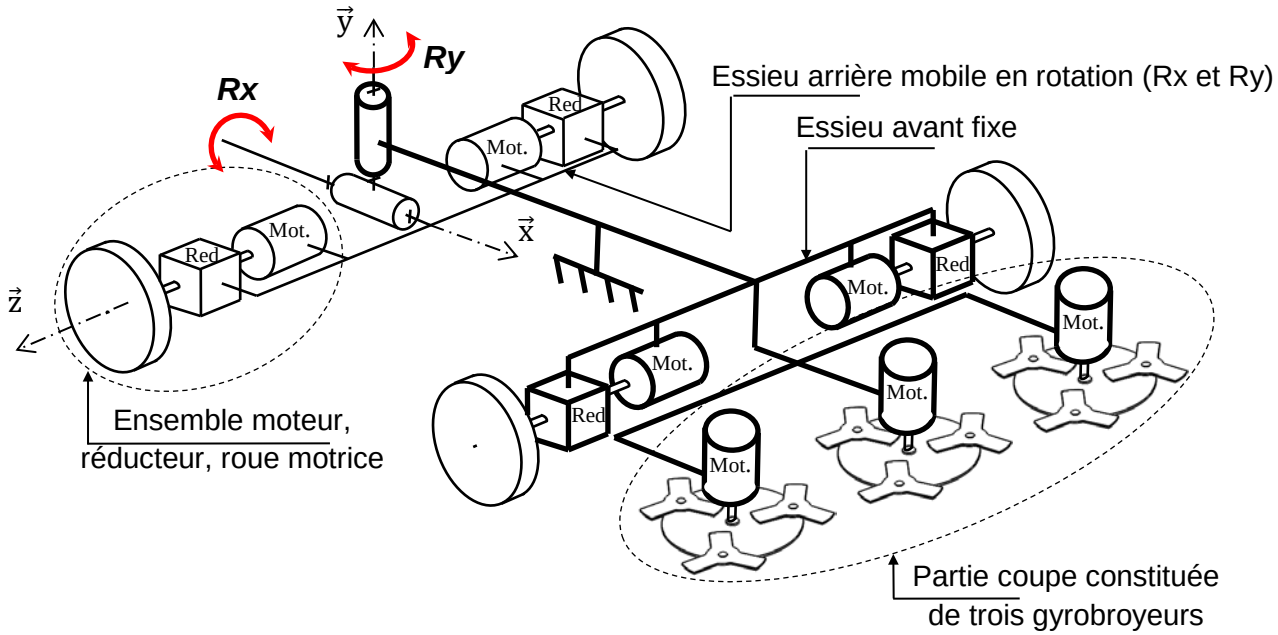


figure 6 : représentation schématique partielle du robot

La figure 7 représente le déplacement idéal du robot tondeur pour une couverture optimale de la zone à entretenir.

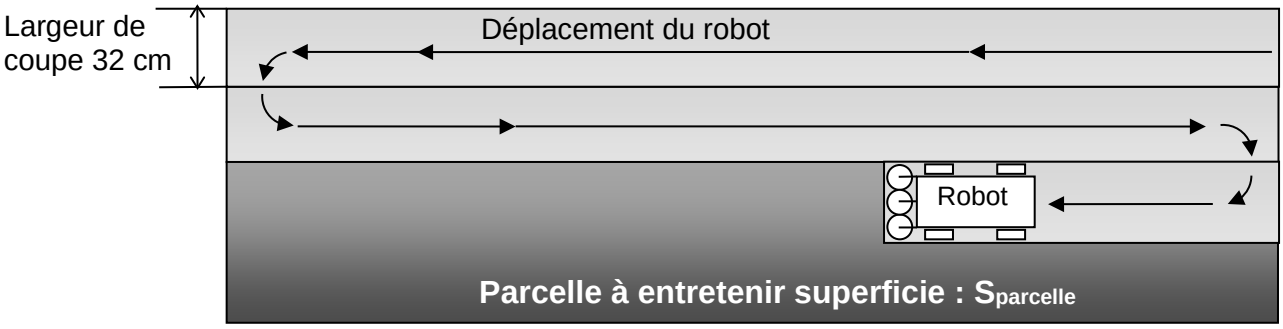


figure 7 : représentation simplifiée d'un parcours optimal sur une parcelle rectangulaire

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 $m \cdot h^{-1}$ (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 $\left\|\overrightarrow{V_{Robot/sol}}\right\| = 500 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$.

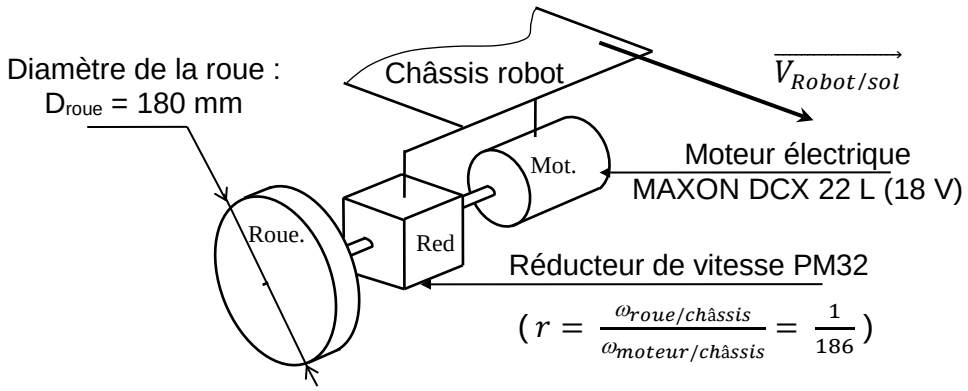


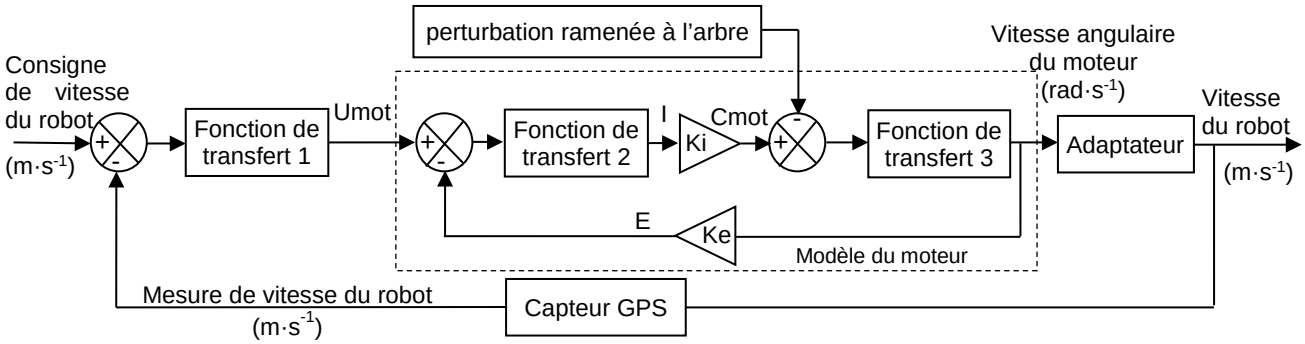
figure 8 : transmission de puissance pour l'avancement du robot

Question 11.	À partir des données sur la transmission de puissance, déterminer : • la vitesse angulaire $\omega_{roue/châssis}$ (en rad·s^{-1}) de chaque roue ; • la fréquence de rotation N_{mot} (en tr·min^{-1}) du moteur.
figure 8	

Pour ce qui suit, la fréquence de rotation du moteur est fixée à : $\underline{N_{mot} = 2800 \text{ tr·min}^{-1}}$.

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 tr·mn^{-1}. Le modèle partiel d'asservissement en régulation de vitesse du robot est donné figure 9.



Umot : tension d'alimentation du moteur à courant continu en V
I : courant dans l'induit du moteur à courant continu en A
Cmot : couple moteur en N·m
E : force électromotrice (ou fem) en V

Ki : constante de couple moteur en N·m·A^{-1}
Ke : constante de fem en V·rad^{-1}·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	gcm²	9.82	9.00	9.26	8.85

figure 10 : caractéristiques du moteur pour l'entrainement de chaque roue

Question 12. figures 8, 9 et 10	Préciser quel type de grandeur physique est appliqué sur l'entrée nommée « pertubation ramenée à l'arbre » du modèle partiel. Déterminer les valeurs à affecter aux paramètres Ke et Ki pour le moteur choisi de tension nominale 18 V.

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.

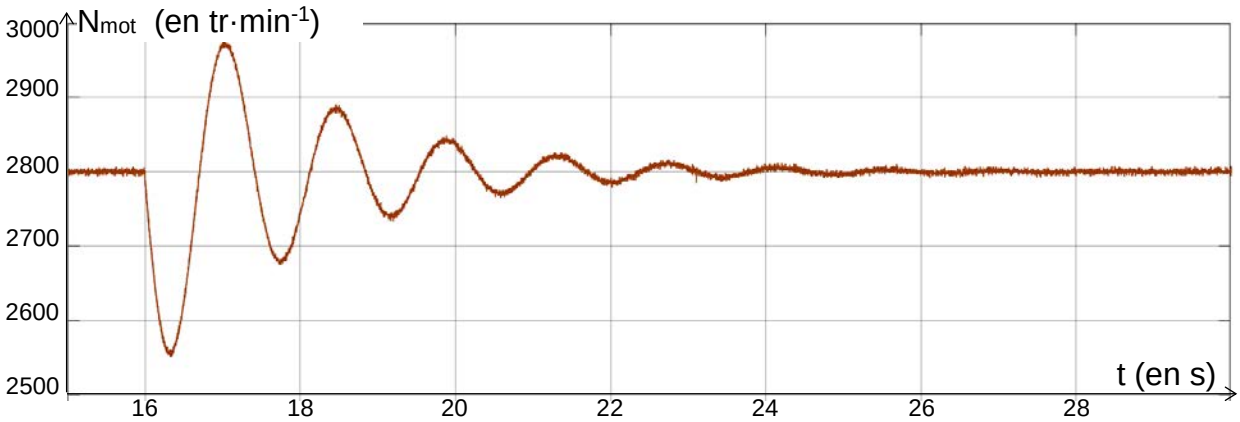


figure 11 : fréquence de rotation du moteur en tr·min^{-1}

Question 13. figure 11	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.

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°) ;
- 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 :

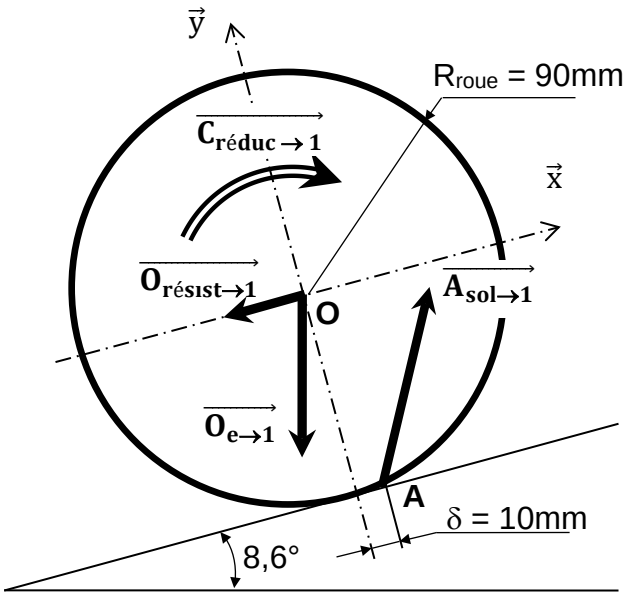


figure 12 : roue 1 isolée,

représentation des actions mécaniques

- $\overrightarrow{C_{réduc\to1}}$, couple appliqué sur l'axe de la roue

$$\{\tau_{réduc\to1}\} = \left\{\begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -C_{roue} \end{array}\right\}_{(O,\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

- $\overrightarrow{O_{e\to1}}$, action de l'essieu sur la roue 1 au point O, résultant du poids du robot (en N)

$$\{\tau_{e\to1}\} = \left\{\begin{array}{c|c} -15 & 0 \\ -98 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{(O,\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

- $\overrightarrow{O_{résist\to1}}$, résistance à l'avancement due aux frottements du robot ramenée au point O ; intensité mesurée 8 N

$$\{\tau_{résist\to1}\} = \left\{\begin{array}{c|c} -8 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{(O,\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

- $\overrightarrow{A_{sol\to1}}$, action du sol sur la roue 1. L'écrasement du pneu sur le sol décale le point A vers l'avant de δ = 10 mm

$$\{\tau_{sol\to1}\} = \left\{\begin{array}{c|c} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{(A,\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

Le principe fondamental de la dynamique se traduit ici par :

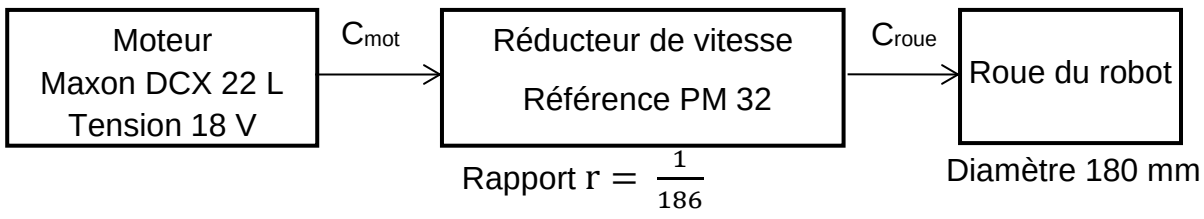
résultante dynamique : $\overrightarrow{\mathrm{O}_{\mathrm{résist}\to 1}} + \overrightarrow{\mathrm{O}_{\mathrm{e}\to 1}} + \overrightarrow{\mathrm{A}_{\mathrm{sol}\to 1}} = \vec{0}$

moment dynamique au point O en projection sur $\vec{z}$

$$-C_{roue} + (R_{roue} \times X_A) + (\delta \times Y_A) = 0$$

Question 14. figure 12	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 %.

La représentation partielle sous forme de schéma-bloc d'une partie de la chaîne de puissance est la suivante :



Rendement $\eta_{réduct.} = 0{,}75$

Question 15. figure 10	À partir des caractéristiques du réducteur de vitesse, calculer le couple moteur minimum C_{mot} nécessaire sur chaque roue. 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).

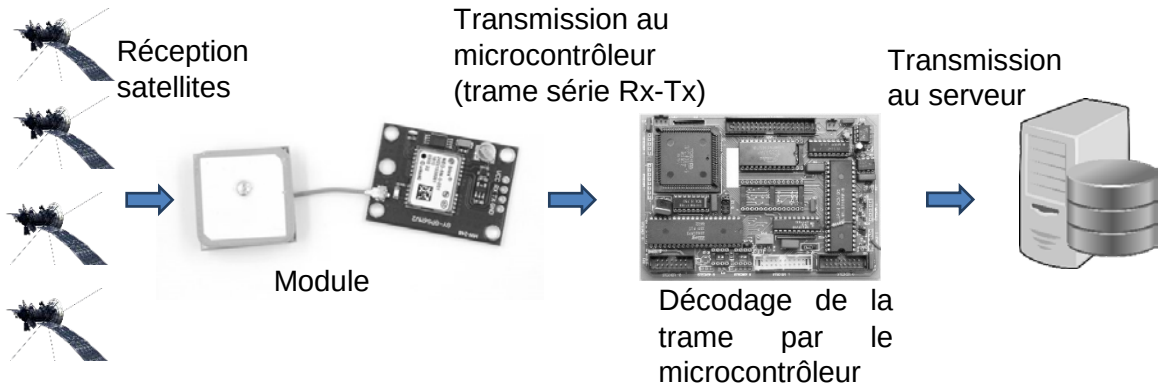


figure 13 : chaîne d'acquisition du GPS

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 .

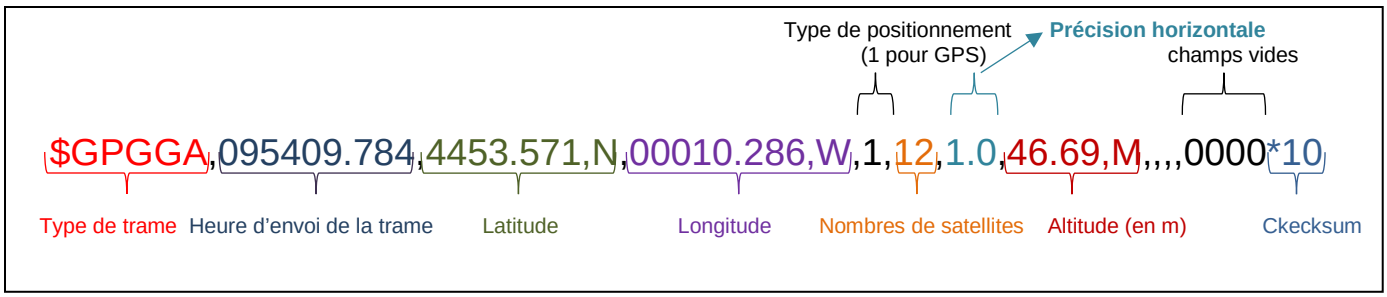


figure 14 : exemple de trame NMEA

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. figure 14, DR1	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.

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
chaine="un,deux,trois,quatre,cinq" *liste=chaine.split(",")* *print(liste)*	['un', 'deux', 'trois', 'quatre', 'cinq']

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 conversion_long 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 chaine 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
```

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 - 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 $T_i = 4$ °C et la température ambiante dans la pièce est $T_e = 22$ °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 : $h = 18\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$;
  S surface d'échange entre le système et le milieu extérieur : $S = 12{,}8 \times 10^{-4}\ m^2$.
- La capacité thermique massique du liquide du flacon : $c = 4{,}2 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.
- La masse du liquide présent dans le flacon : $m = 5{,}0$ 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 écoulé et la température du système sont liés par la relation :

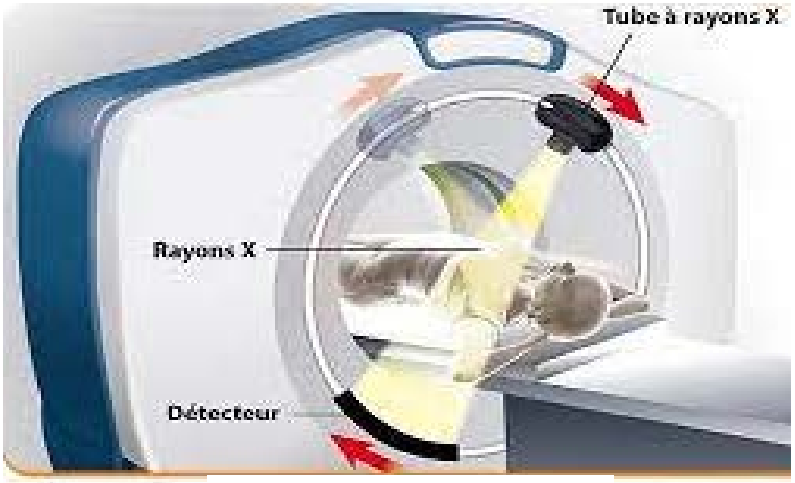
$$t = - \frac{m \times c}{h \times S} \times \ln\left(\frac{T - T_e}{T_i - T_e}\right)$$

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 °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.

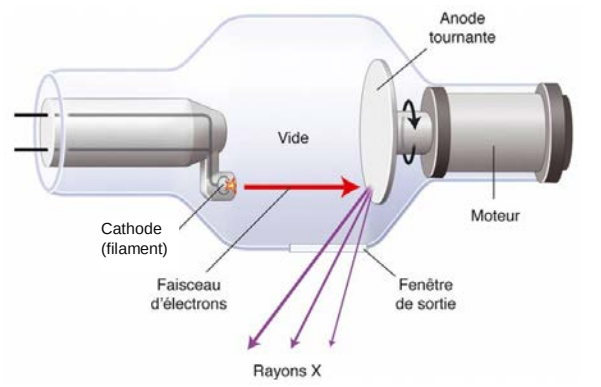


Figure 1 - Schéma représentatif du tube à rayons X (tube de Coolidge).
http://wiki.side-sante.fr

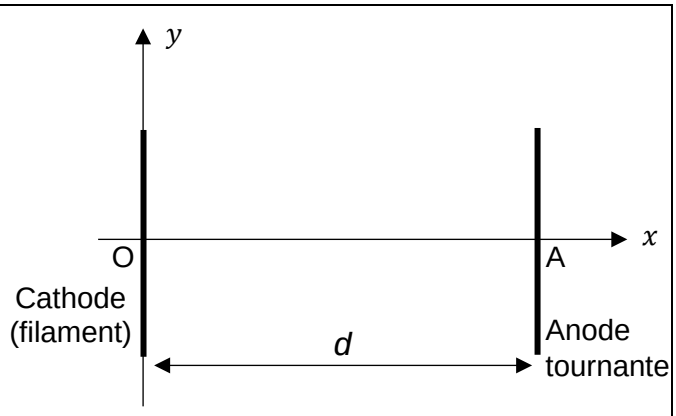


Figure 2 - Schéma simplifié

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 $v_{\mathrm{A}} = \sqrt{\frac{2 \times e \times U}{m}}$.

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 an 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.

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.