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 2026

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

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

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 21 pages numérotées de 1/21 à 21/21.

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

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

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

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Autoguidage pour tracteur agricole



Constitution du sujet

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

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

Autoguidage pour tracteur agricole

Le monde agricole est en permanente évolution et fait appel à des technologies rendant les entreprises agricoles modernes de plus en plus performantes.

Dans un souci d'optimisation des ressources et d'une amélioration des conditions de travail, le guidage automatique des tracteurs agricoles apporte une aide non négligeable. L'autoguidage permet de suivre des trajectoires avec une précision allant jusqu'à 2,5 cm lors du passage dans un champ de culture et d'éviter des chevauchements entre les passages. Cela génère ainsi des économies de carburant, de semences, d'engrais et de produits phytosanitaires. La trajectoire à suivre est préenregistrée avant de commencer la tâche. Le confort du conducteur en est amélioré puisqu'il n'a plus à la gérer.

Aujourd'hui, le système d'autoguidage est proposé dans les équipements à l'achat du tracteur. Pour permettre la transition dans l'évolution de l'entreprise, il est aussi proposé d'équiper les tracteurs qui n'en sont pas dotés. C'est sur ce matériel que l'étude est menée. Il est constitué d'un contrôleur de guidage, d'une console tactile de contrôle et d'un volant électrique comme le montre la figure 1.

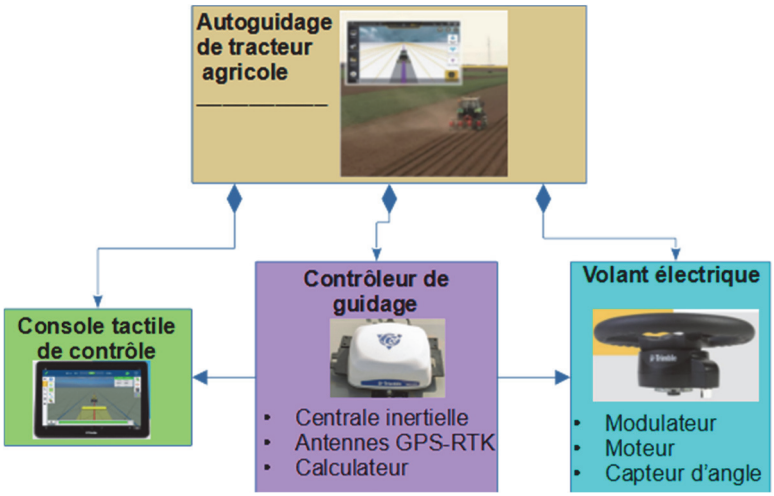


Figure 1 : système d'autoguidage avec volant électrique

Le système s'appuie sur un réseau GPS satellitaire indépendant de la téléphonie et d'un réseau d'antennes terrestres dit RTK.

Le tracteur à équiper possède une direction hydraulique. La rotation du volant commande un organe hydraulique appelé orbitrol. Ce dernier agit comme un distributeur hydraulique qui commande la sortie ou la rentrée de tige des deux vérins de commande des roues gauche et droite et ainsi l'orientation des roues.

Pour la compréhension de l'ensemble, le diagramme de blocs internes est donné figure 2. Le diagramme des exigences proposé figure 3 permet de préciser certaines des performances attendues du système d'autoguidage.

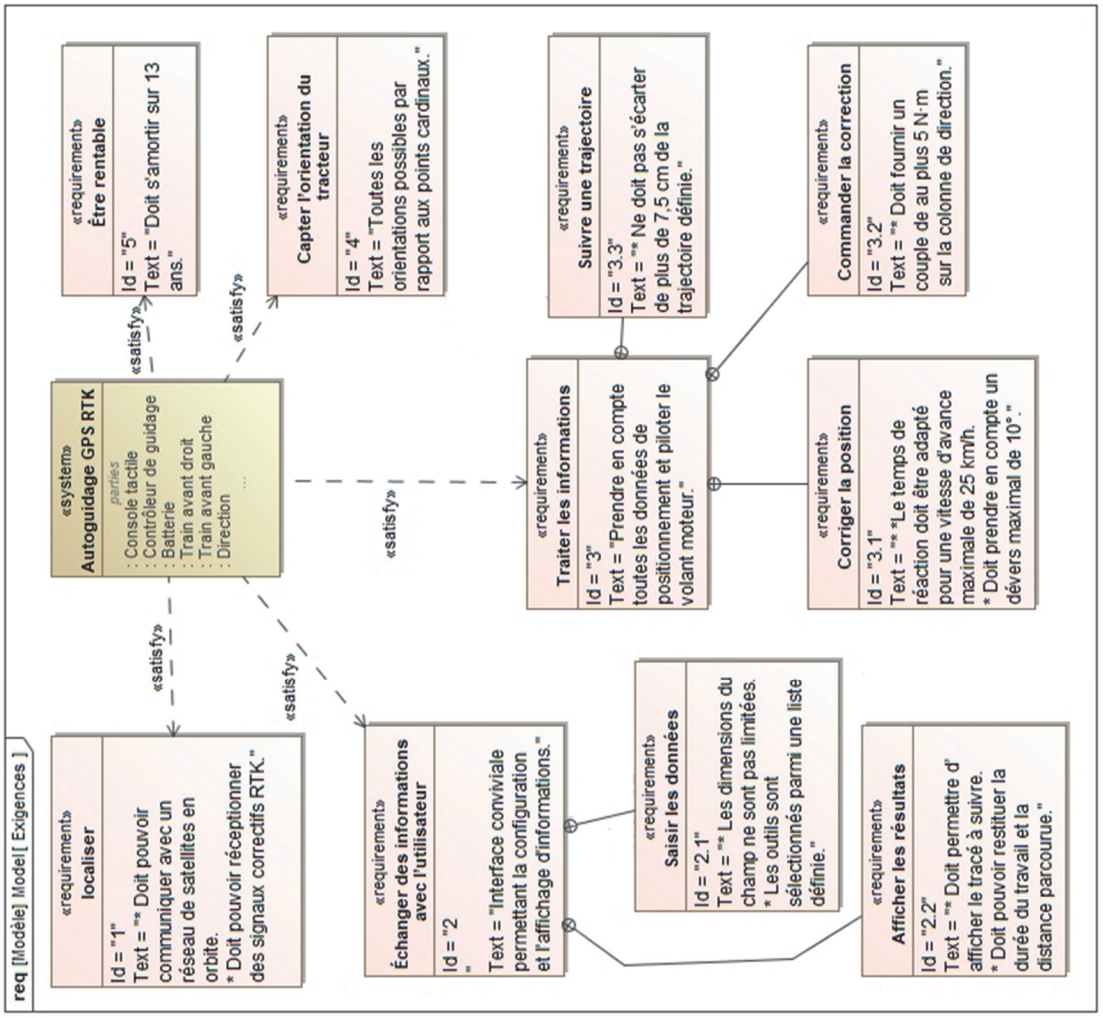


Figure 3 : diagramme des exigences

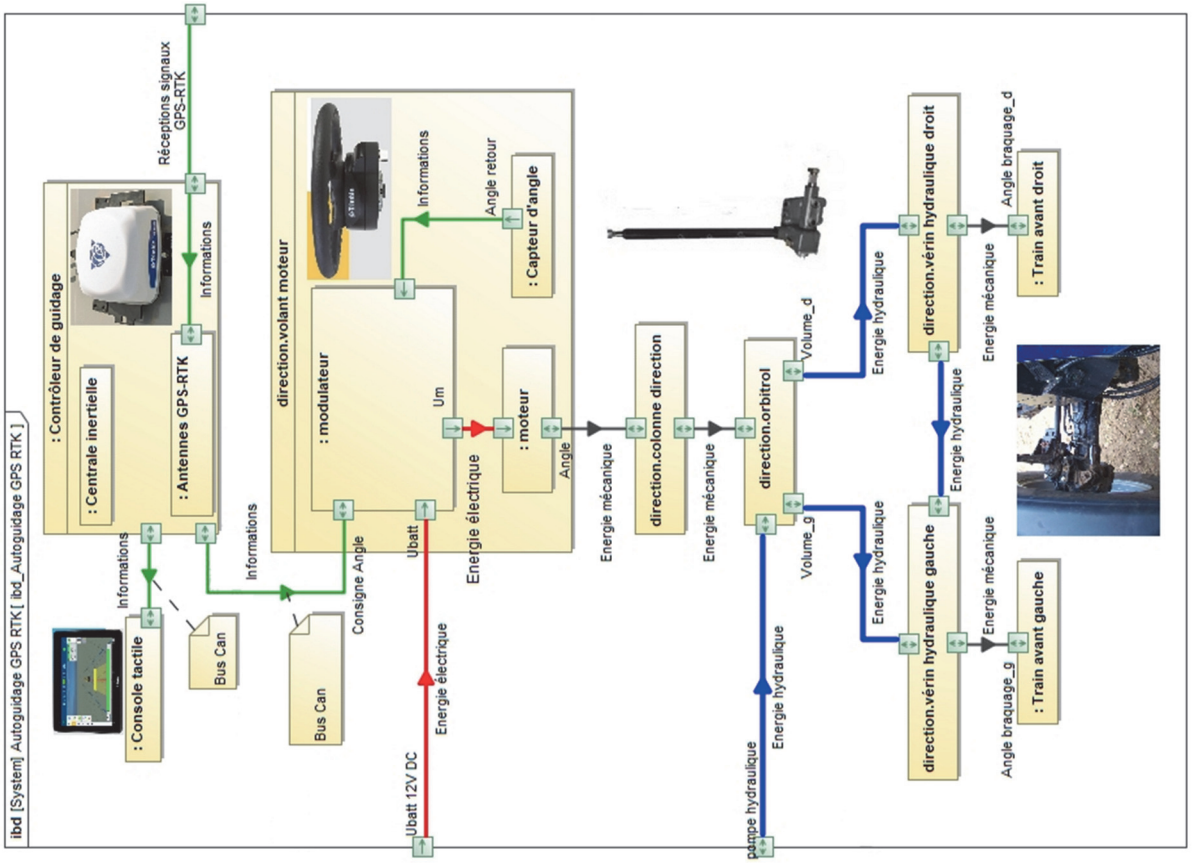


Figure 2 : diagramme de définition des blocs internes

Sous-partie 1

Efficacité du système d'autoguidage et justification du contrôle de l'orientation des roues

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier l'efficacité du suivi de trajectoire du système d'autoguidage dans un champ incliné.

Question 1.1 Après lecture de la présentation du système, **donner** au moins deux arguments permettant de répondre à l'exigence Id.5.

Le nombre de passages à effectuer dans un champ dépend du type de travail à réaliser et de l'outil situé à l'arrière du tracteur. Ces passages sont effectués en ligne droite et suivis en autoguidage (figure 4). Les demi-tours ne sont pas autoguidés.

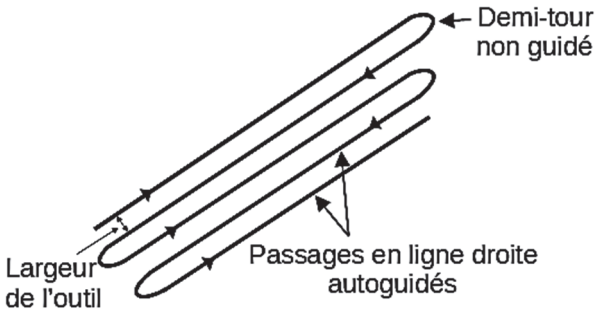


Figure 4 : réalisation des passages

Après réception des coordonnées données par les signaux GPS-RTK, le contrôleur de guidage détermine l'angle de braquage α (°) à donner aux roues en fonction de la trajectoire suivie et l'angle de rotation du volant électrique θ (°) correspondant.

La figure 5 représente le paramétrage de la rotation θ du volant qui génère une rotation α (angle de braquage) des roues et donne la caractéristique α = f(θ).

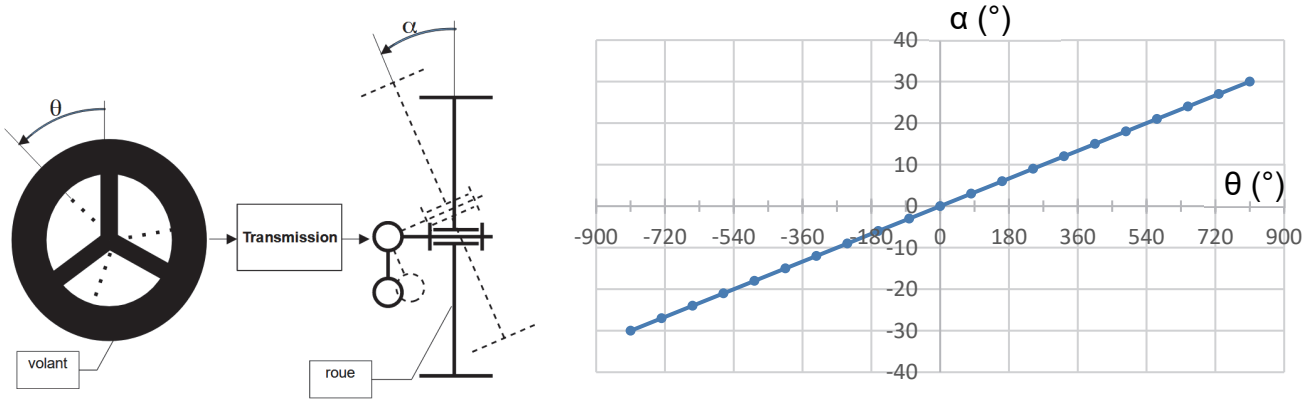


Figure 5 : schéma cinématique de l'orientation des roues et caractéristique α = f(θ)

Question 1.2 **Indiquer** la valeur de α pour que le tracteur suive une ligne droite. En considérant qu'autour de cette valeur, la caractéristique α = f(θ) est linéaire ($\alpha = k_\alpha \cdot \theta$), **calculer** le coefficient k_α.

Un essai est réalisé sans autoguidage pour observer le comportement du tracteur sur un champ incliné (dévers d'environ β = 10° par rapport à la verticale) en maintenant l'angle de braquage α à 0° et en relevant les coordonnées de la trace laissée par la roue au sol sur une distance de 30 m.

La figure 6 illustre la réalisation de l'essai et la figure 7 les résultats pour la trajectoire.

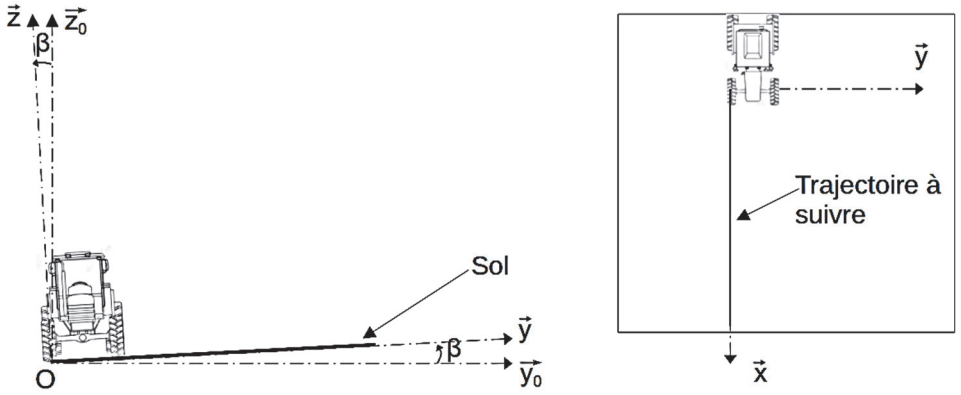


Figure 6 : schémas illustrant la réalisation de l'essai

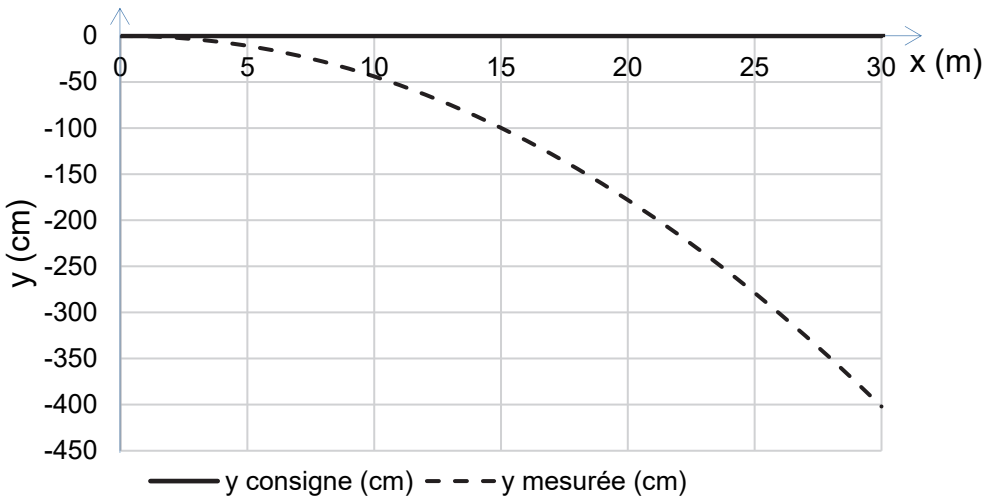


Figure 7 : résultats de l'essai en dévers avec α = 0° sans autoguidage

Question 1.3 À l'aide de la figure 7 et de l'exigence 3.3 du diagramme des exigences de la figure 3, **justifier** l'obligation de réaliser un asservissement de la position en boucle fermée à l'aide des données GPS-RTK.

Le modèle multiphysique de la figure 8 représente la commande de l'angle de braquage demandé par le contrôleur de guidage.

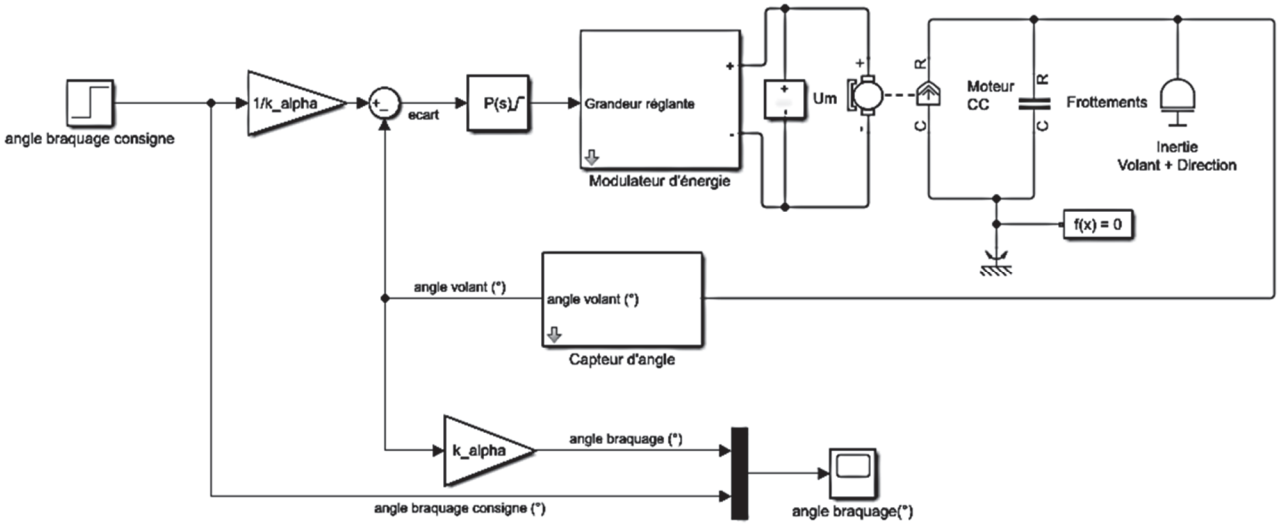


Figure 8 : modèle multiphysique du volant électrique

Pour permettre de réaliser des simulations et de vérifier l'efficacité de l'asservissement, il est nécessaire de modéliser le moteur à courant continu (MCC).

Des mesures sur le moteur à courant continu en fonctionnement à vide et avec le rotor bloqué sont données sur la figure 9 et les modèles simplifiés sont présentés sur la figure 10.

vide			Rotor bloqué	
U_0 (V)	N_0 (tr·min^{-1})	I_0 (A)	U (V)	I (A)
12	970	3,83	4	19,13

Figure 9 : mesures à vide et rotor bloqué du moteur à courant continu

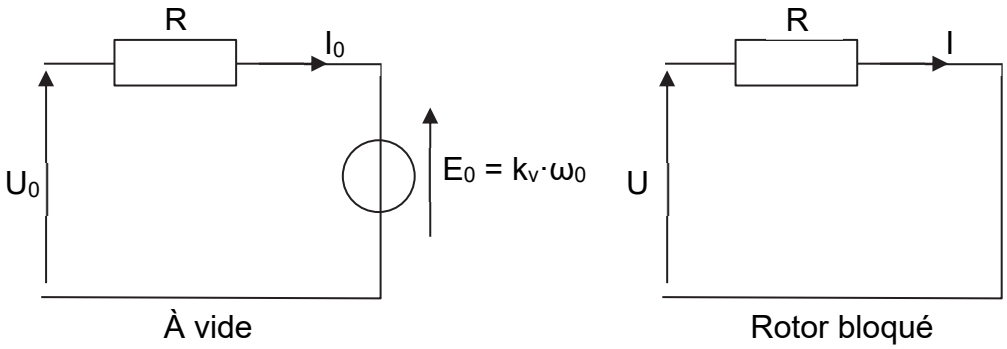


Figure 10 : modèles simplifiés du moteur à courant continu

Question 1.4 À l'aide du modèle simplifié Rotor bloqué de la figure 10, **donner** l'expression littérale de la tension U en fonction de la résistance R et du courant I. En **déduire** la valeur numérique de R à l'aide des données de la figure 9.

Question 1.5 DR1	À l'aide du modèle simplifié « À vide » de la figure 10, **donner** l'expression littérale de k_v en fonction de la résistance R, de la tension U_0, du courant I_0 et de la vitesse angulaire ω_0. En **déduire** la valeur numérique de la constante de vitesse k_v en $V \cdot s \cdot rad^{-1}$ avec les données de la figure 9. **Remplir** les informations manquantes dans le bloc de paramétrage du moteur à courant continu du document réponse DR1.

Afin de guider correctement le tracteur sur la trajectoire souhaitée, les performances attendues de l'asservissement sont les suivantes :

- l'erreur statique (ε_s) doit être inférieure à 5 % de la consigne ;
- le premier dépassement (d %) doit être inférieur à 20 % de la valeur atteinte.

Le comportement de l'asservissement a été simulé avec trois réglages différents du correcteur pour un échelon de consigne d'angle de braquage de $\alpha = 3°$ (la consigne varie de - 3° à + 3° en fonction de la correction à apporter pour suivre une ligne droite). Les courbes de réponse sont données sur le document réponse DR1.

Question 1.6 DR1	**Choisir** le meilleur réglage du correcteur parmi les trois en l'entourant dans le document réponse DR1. **Justifier** ce réglage et **conclure** sur la capacité du système à suivre une trajectoire, même sur terrain accidenté.

Sous-partie 2

Validation du choix du volant électrique

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le moteur du volant permet d'assurer la correction de trajectoire.

Pour assurer l'autoguidage, les roues doivent être orientées automatiquement. La solution proposée consiste à motoriser le volant. Le moteur doit fournir un couple suffisant et réagir rapidement afin d'assurer la correction demandée par l'asservissement.

Le système d'orientation du tracteur est constitué d'un volant motorisé manœuvré par le conducteur et d'une colonne de direction qui est accouplée à un système hydraulique appelé orbitrol. Celui-ci distribue l'huile sous pression aux vérins hydrauliques qui orientent les roues avant du tracteur.

Sans motorisation, le conducteur doit exercer un effort sur le volant de diamètre extérieur D = 400 mm pour vaincre les actions résistantes. La figure 11 illustre les actions auxquelles est soumise la colonne de direction. À vitesse de rotation du volant constante, l'effort tangentiel exercé sur le volant est de 6 N. Les actions résistantes $\vec{C}_{résistant}$ se résument à un couple de frottement $\vec{C}_{frottement}$ dans les guidages et un couple nécessaire pour actionner l'orbitrol $\vec{C}_{orbitrol}$. Il en résulte la relation suivante :

$$\vec{C}_{résistant} = \vec{C}_{frottement} + \vec{C}_{orbitrol}$$

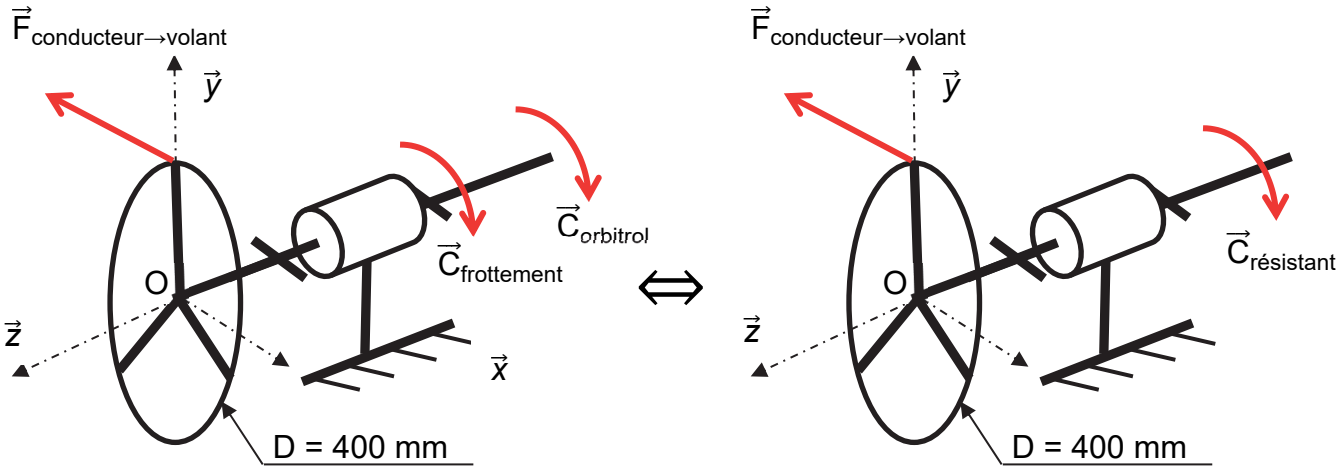


Figure 11 : équilibre de la colonne de direction

Question 1.7	À l'aide du théorème du moment statique en projection sur $\vec{z}$, **donner** l'expression littérale du couple résistant $\|\|\vec{C}_{résistant}\|\|$ en fonction de l'effort du conducteur sur le volant $\vec{F}_{conducteur→volant}$. **Donner** sa valeur numérique.

Pour assurer l'autoguidage, le volant est motorisé. Le moteur ne cesse de corriger et il doit donc fournir un couple variable sur l'ensemble E = {colonne ; volant}.

La correction de trajectoire s'effectue sur de petites variations d'orientation des roues avant, souvent inférieures à 3°, ce qui correspond à une rotation du volant de 80°.

Le moteur est asservi en position. Une simulation a été réalisée afin de vérifier les caractéristiques du moteur. La figure du document réponse DR2 donne l'évolution de la vitesse de rotation du moteur à la suite d'une consigne d'angle de braquage en échelon $\alpha = 3°$.

Question 1.8 DR2	**Tracer**, sur la courbe de vitesse de rotation du document réponse DR2, la modélisation simplifiée en 3 phases de l'évolution de la vitesse du volant en fonction du temps de 0 à 0,2 s. **Caractériser** le mouvement de chacune des phases modélisées Ph1, Ph2 et Ph3.

Au cours de la phase Ph1, la vitesse du moteur du volant est assimilée à une droite évoluant de 0 à 75 $tr \cdot min^{-1}$ en 0,046 s.

Question 1.9	**Montrer** que l'accélération angulaire du volant au cours de la phase Ph1 est $\theta''_{max} = 171\ rad \cdot s^{-2}$.

Le théorème du moment dynamique appliqué à l'ensemble E = {colonne ; volant} en rotation autour de l'axe $(O,\vec{z})$, s'écrit :

$$\sum \overrightarrow{M}_{O,ext \rightarrow E} \cdot \vec{z} = J_{z\,E} \cdot \theta''(t)$$

avec $J_{z\,E} = 19 \times 10^{-3}\ kg \cdot m^2$.

Le moteur applique un couple C_{moteur} sur le volant, qui remplace l'effort appliqué le conducteur.

Question 1.10	À partir du théorème du moment dynamique, lors du démarrage du moteur en phase Ph1, **écrire** la relation entre C_{moteur_Ph1}, $C_{résistant}$, θ''_{max} et $J_{z\,E}$. **Déterminer** le couple C_{moteur_Ph1} à fournir par le moteur du volant au démarrage.

Au cours de la phase 2, la vitesse du moteur est constante et vaut $N_{moteur} = 75\ tr \cdot min^{-1}$. Le moteur fournit un couple C_{moteur} de 1,2 N·m.

Question 1.11	**Déterminer** la vitesse de rotation ω_{moteur} du moteur en $rad \cdot s^{-1}$. En **déduire** la puissance mécanique fournie par le moteur.

Le constructeur donne les caractéristiques du moteur intégré au volant dans le tableau de la figure 12.

Référence	$C_{nominal}$ (N·m)	C_{max} (N·m)	$N_{nominal}$ (tr·min^{-1})	$P_{nominal}$ (W)
SAM 200	2	6,1	630	135

Figure 12 : caractéristiques du moteur du volant

Question 1.12 **Valider** le choix de ce moteur pour les phases Ph1 et Ph2.

Sous-partie 3

Précision des données de positionnement en fonction du relief et transmission de l'angle au volant

L'objectif de cette sous-partie est d'élaborer une solution programmée permettant une amélioration des données de position GPS-RTK en fonction du relief et d'étudier la transmission de l'angle au volant.

Le contrôleur de guidage intègre une centrale inertielle composée d'un accéléromètre 3 axes et d'un gyroscope 3 axes. L'accéléromètre mesure les accélérations en $m \cdot s^{-2}$ et le gyroscope les vitesses angulaires en $rad \cdot s^{-1}$.

Cette centrale inertielle permet de définir les inclinaisons du tracteur suivant les 3 axes définis sur la figure 13 ainsi que sa vitesse linéaire de déplacement et sa position. L'estimation de la position est relative à un point de départ ou à la dernière position calculée. Elle vient donc en complément des informations de position des signaux GPS-RTK en cas de perte des signaux ou de zone non couverte, et permet de corriger ces informations en fonction du relief du terrain.

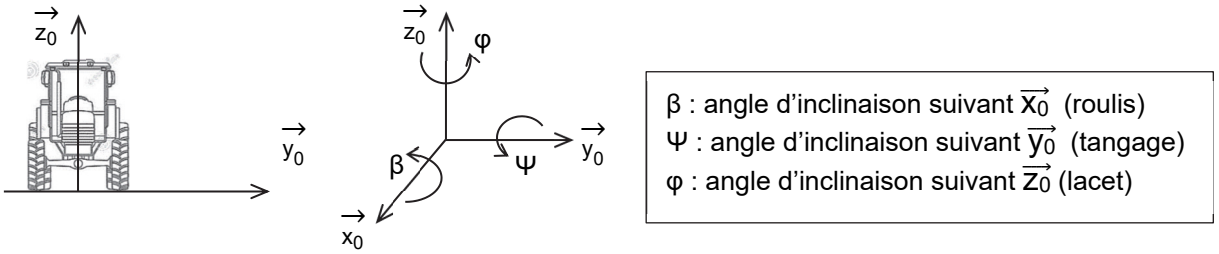


Figure 13 : définition des différents angles d'inclinaison

Les signaux GPS-RTK donnent la position du contrôleur de guidage en latitude et longitude. Celui-ci est situé généralement sur la cabine du tracteur à l'arrière et centré par rapport au train arrière. Les données de son positionnement sur le tracteur ainsi que les dimensions de ce dernier sont définies dans la console tactile et utilisées pour les calculs du positionnement.

Dans le cas d'un dévers, le tracteur s'incline par rapport à l'axe $\vec{x_0}$ d'un angle β, la position centrale du train arrière au sol n'est plus donnée correctement par les signaux GPS-RTK. Une erreur de positionnement ΔL intervient. Elle est repérée sur la figure 14.

A : centre du train arrière repéré par le GPS

A_C : centre réel du train arrière

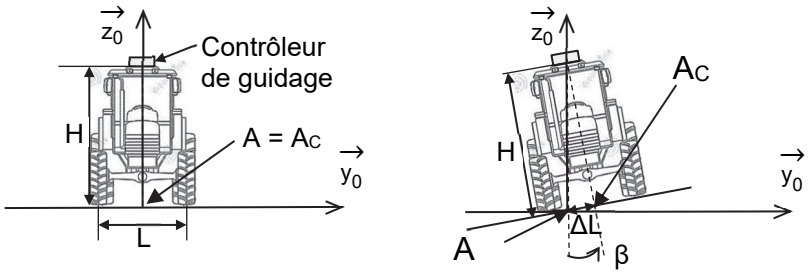
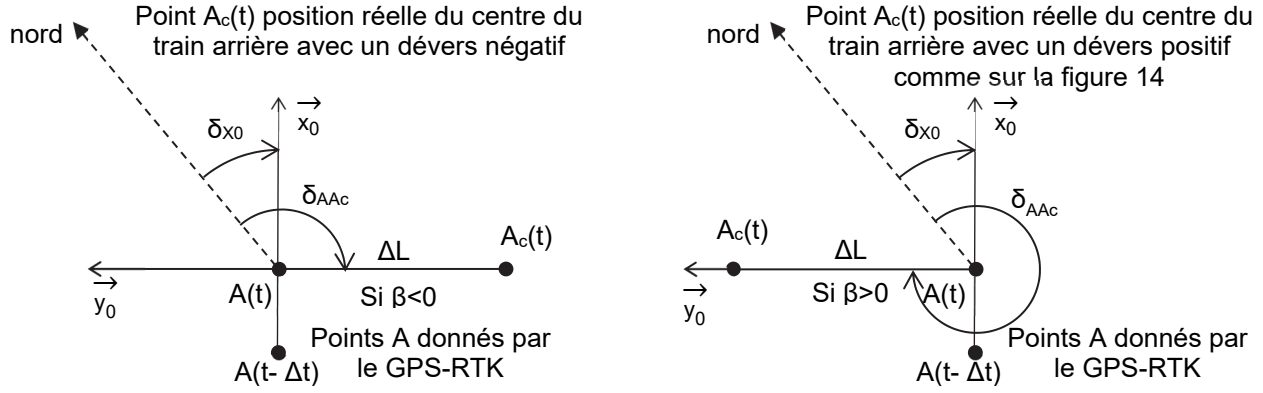


Figure 14 : erreur de positionnement dans le cas d'un dévers

Question 1.13 En prenant H = 2,85 m, **Montrer** que l'erreur de positionnement dans le cas d'un dévers maximal de β = 10° vaut ΔL = 50,3 cm. À l'aide de l'exigence Id.3.3 figure 3, **justifier** l'obligation de corriger la position donnée par le signal GPS-RTK à l'aide de la centrale inertielle.

L'erreur de positionnement due au dévers doit être corrigée en modifiant les coordonnées GPS-RTK avant de déterminer l'angle de braquage des roues. Pour effectuer cette correction, il faut connaître dans un premier temps la direction de la trajectoire suivie par le tracteur $\overrightarrow{x_0}$. La direction $\overrightarrow{x_0}$ peut être déterminée en connaissant deux points GPS-RTK : la position actuelle A(t) et la position précédente A(t- Δt) mémorisées non corrigées. Une fois celle-ci déterminée, avec l'angle de roulis β et la hauteur du tracteur H, l'orientation entre A(t) et $A_c(t)$ suivant le signe de l'angle β est calculée ainsi que la distance ΔL. À partir de ces informations, les coordonnées GPS-RTK de la position réelle du centre du train arrière $A_c(t)$ peuvent être calculées. Un croquis explicatif est donné figure 15.



Les angles δ_{X0} et δ_{AAc} sont donnés de 0 à 360° en partant du nord et en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

Figure 15 : croquis correction dévers

Question 1.14 En prenant appui sur le croquis figure 15, **exprimer** l'angle δ_{AAc} en degré en fonction de l'angle δ_{X0} pour les deux cas : β > 0 et β < 0.

Un programme Python est donné sur le document réponse DR3 pour effectuer la correction de position :

- la fonction `delta(lat1,lon1,lat2,lon2)` permet de déterminer l'angle δ entre 0 et 360° par rapport au nord à partir de deux positions (`lat1` : latitude en degré décimal position 1, `lon1` : longitude en degré décimal position 1, `lat2` : latitude en degré décimal position 2, `lon2` : longitude en degré décimal position 2) ;

- la fonction `nouvelle_position(lat1,lon1,delta1,dist1)` permet de calculer les coordonnées de la nouvelle position corrigée et de les stocker sous forme d'une liste de deux valeurs [`latitude, longitude`] en degré décimal où `lat1` représente la latitude en degré décimal de la position de départ, `lon1` la longitude

en degré décimal de la position de départ, `delta1` l'angle δ en degré, `dist1` la distance en centimètres entre la position de départ et d'arrivée

Ces deux fonctions font intervenir des calculs complexes à l'aide de la trigonométrie sphérique reprenant les grandeurs δ_{X0} appelée `delta_X0` et δ_{AAc} appelée `delta_AAc`.

Question 1.15 DR3	À partir des informations données ci-dessus, **compléter** sur le document réponse DR3 la fonction Python `correction_devers` permettant de déterminer la position corrigée du centre du train arrière au sol en retournant celle-ci sous forme d'une liste de deux valeurs `[latitude,longitude]`.

Une fois la correction de position effectuée, le calculateur détermine l'angle de braquage ainsi que l'angle de rotation du volant en fonction de la position à atteindre. Ce dernier est transmis via le bus CAN comme consigne au volant moteur (voir diagramme de définition des blocs internes figure 2).

La trame d'échange est basée sur le format standard indiqué figure 16.

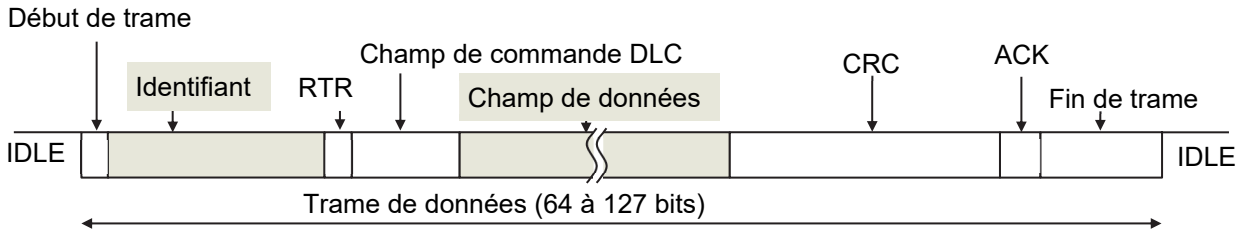


Figure 16 : champs de la trame bus CAN

L'identifiant permet de préciser l'appareil et la fonction. Le bit RTR indique si c'est une trame de requête ou de données. Le champ de commande DLC indique le nombre d'octets de données transmis. Le CRC est utilisé pour contrôler les erreurs de transmission. ACK permet d'accuser réception.

Les données sont transmises avec l'octet de poids fort en premier (dans le cas de plusieurs octets par donnée) et le bit de poids fort en premier. Un extrait des fonctions est présenté figure 17.

Fonction	Identifiant (hexadécimal)	Champ de données							
		1er octet	2ème octet	3ème octet	4ème octet	5ème octet	6ème octet	7ème octet	8ème octet
Commande volant moteur	0x0A4	Consigne angle volant 0 - 1800 (°)		Réglage courant maximal 5 – 800 (en 10^{-1} A)		0x00	0x00	0x00	Commande marche/arrêt Marche : 0x01 Arrêt : 0x00
État volant moteur en fonctionnement	0x0B6	Angle volant 0 - 1800 (°)		Courant 0 – 600 (en 10^{-1} A)		0x0000			Température 0 - 200 (en 0,5°C)

Figure 17 : Tableau partiel des fonctions et des données échangées

La consigne angle volant est en degré.

La position centrale du volant est initialisée à N_{angle} = 900°.

Une valeur inférieure à 900° indique un angle du volant vers la droite donc négatif et une valeur supérieure à 900° indique un angle du volant vers la gauche donc positif.

Le calculateur envoie une première trame permettant de mettre en marche le volant moteur avec une position centrale du train avant et une valeur de courant limitée à 60 A.

Question 1.16 **Déterminer** la valeur à transmettre N_{angle} pour l'angle de volant θ de 0° en décimal puis en hexadécimal. **Donner** l'identifiant et la valeur des 8 octets de données en hexadécimal de la première trame (commande volant moteur).

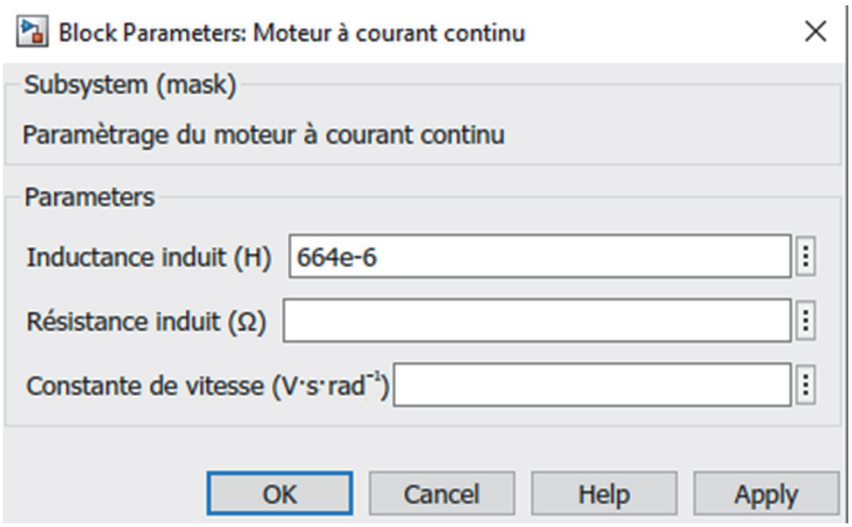
La fréquence de traitement de la centrale inertielle est de 200 Hz. La fréquence maximale pour l'envoi des consignes d'angle sur le bus est de 500 Hz.

Le constructeur indique que, pour effectuer un autoguidage performant, la vitesse du tracteur ne doit pas dépasser 25 $km \cdot h^{-1}$.

Question 1.17 **Indiquer** la fréquence limitant la performance d'autoguidage. **Donner** la distance minimale parcourue par le tracteur pour cette fréquence avant une nouvelle correction. **Conclure**.

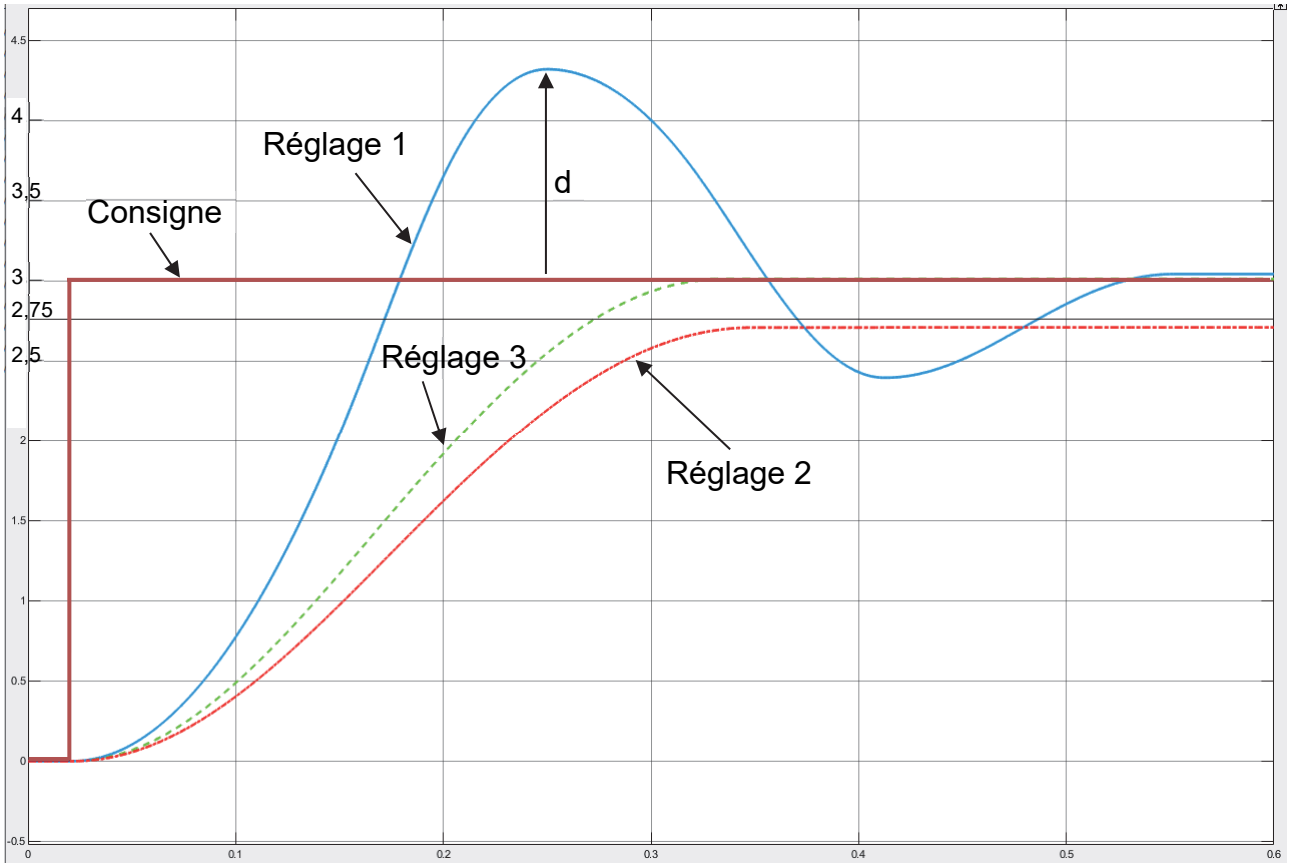
Document réponse DR1

Question 1.5



Question 1.6

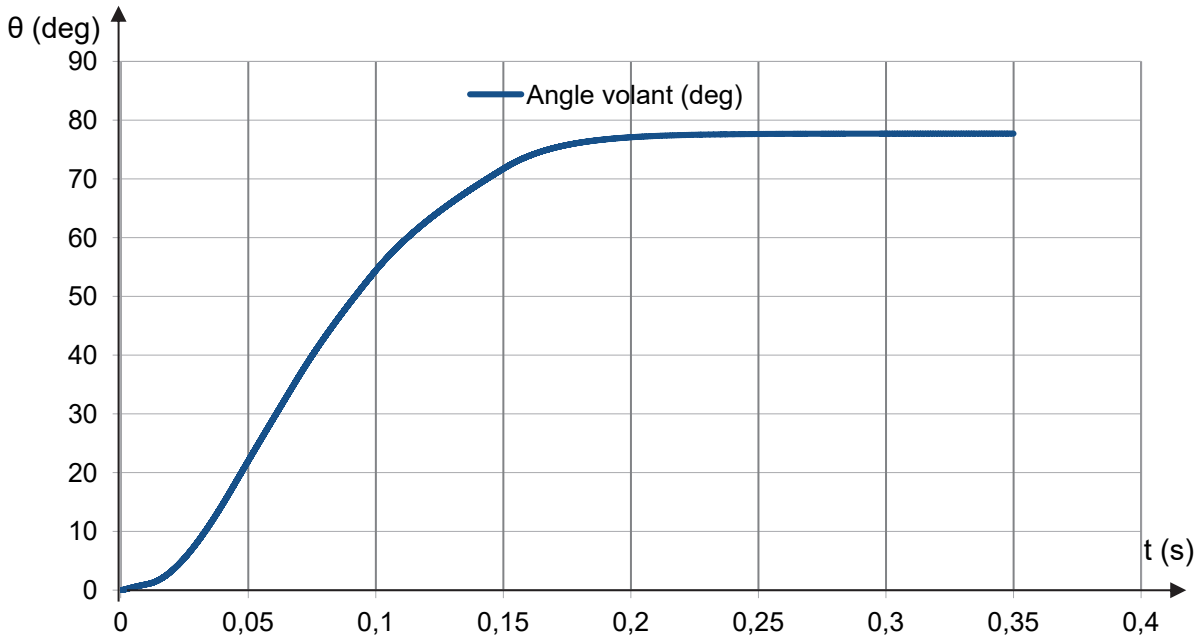
Angle braquage α (°)

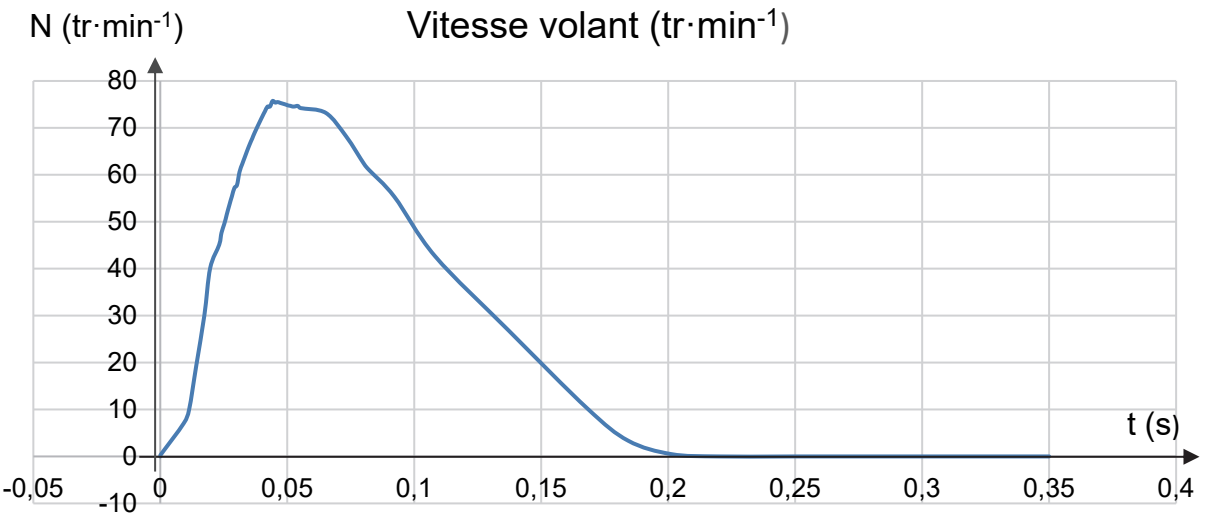


Temps (s)

Document réponse DR2

Question 1.8





Ph 1 : ……

Ph 2 : ……

Ph 3 : ……

Document réponse DR3

Question 1.15 Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (.....)

```
from math import *

def delta(lat1,lon1,lat2,lon2):
 φ1 = radians(lat1)
 φ2 = radians(lat2)
 Δλ = radians(lon2-lon1)
 y = sin(Δλ) * cos(φ2)
 x = cos(φ1) * sin(φ2)- sin(φ1) * cos(φ2) * cos(Δλ)
 θ = atan2(y, x)
 d = (degrees(θ) + 360) % 360 # en degrés
 return d

def nouvelle_position(lat1,lon1,delta1,dist1):
 p2 = [0,0]             # initialisation coordonnées position 2
 R = 6371e3             # rayon de la terre en mètres
 φ1 = radians(lat1)
 λ1 = radians(lon1)
 delta1 = radians(delta1)
 r = dist1/(100*R)            # rapport distance sur R
 φ2 = asin( sin(φ1)*cos(r)+cos(φ1)*sin(r)*cos(delta1))
 λ2=λ1+atan2(sin(delta1)*sin(r)*cos(φ1),cos(r)-sin(φ1)*sin(φ2))
 p2[0] = degrees(φ2)
 p2[1] = degrees(λ2)
 return p2

def correction_devers(latAt_Δt,lonAt_Δt,latAt,lonAt,beta,Hauteur):

 delta_X0 =.....

 ΔL = abs(tan(radians(beta)))*Hauteur*100 #ΔL en cm

 if beta>0:
   delta_AAc =.....
 else:
   delta_AAc =.....

 if delta_AAc>360:
   delta_AAc = delta_AAc-360

 Ac =.....

 return Ac

#Programme principal#

At_Δt = [48.4550000,0.0900000] # coordonnées GPS position A(t-Δt)
At = [48.4550001,0.0900001] # coordonnées GPS position A(t)
β = 10 # angle roulis en degré
H = 2.85 # hauteur tracteur en mètre
A_corrige = correction_devers(At_Δt[0],At_Δt[1],At[0],At[1],β,H)
print('Coordonnées A_corrige:',A_corrige)
```

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Une histoire de briques

Lors de la construction d'une maison, plusieurs matériaux peuvent être utilisés pour réaliser les murs extérieurs. L'objectif de cet exercice est de comparer les performances thermiques d'un mur en brique et d'un mur en béton.

Données

- la résistance thermique, notée R_{th}, d'une paroi est liée aux grandeurs e, λ et A par la relation :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda A}$$

avec :
R_{th} : résistance thermique en $K \cdot W^{-1}$;
λ : conductivité thermique du matériau en $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$;
e : épaisseur de la paroi en m ;
A : aire de la paroi en m^2.

- conductivité thermique des deux matériaux :

Matériau	Béton	Brique
Conductivité thermique λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	1,5	0,69

Q1. Montrer que la résistance thermique R_{th} d'un mur en brique d'aire $A = 7{,}50\ m^2$ et d'épaisseur $e = 0{,}20$ m vaut environ $R_{th} = 3{,}9 \times 10^{-2}\ K \cdot W^{-1}$.

Le transfert thermique entre l'intérieur de l'habitation et l'extérieur se fait principalement par conduction thermique.

Q2. Rappeler les deux autres modes de transfert thermique.

Pour le mur, le flux thermique ϕ échangé entre l'intérieur de l'habitation à la température T_{int} et l'extérieur à la température T_{ext} à travers une paroi de résistance thermique R_{th} est donné par la relation : $\phi = \frac{(T_{int} - T_{ext})}{R_{th}}$.

Q3. Prévoir le sens du transfert thermique observé un jour d'hiver pour une température de la paroi intérieure $T_{int} = 19$ °C et une température de paroi extérieure $T_{ext} = 3{,}0$ °C.

Q4. Montrer que ce flux thermique ϕ vaut alors environ : $\phi = 4{,}1 \times 10^2$ W pour le mur en brique.

Il est possible d'utiliser un mur en béton plutôt qu'un mur de brique.

Q5. On considère un mur de béton de même aire que le mur de brique précédent. Calculer l'épaisseur de ce mur pour qu'il ait la même résistance thermique que le mur de brique.

EXERCICE B – Lancer de marteau



En athlétisme, le lancer du marteau consiste à lancer une boule massive attachée à un fil métallique. Ce lancer est apparu en 1900 aux Jeux olympiques de Paris pour les hommes uniquement (remporté avec un lancer à 51,01 m) puis en 2000 aux Jeux de Sydney pour les femmes (remporté avec un lancer à 71,16 m).

L'athlète doit lancer le marteau le plus loin possible sans sortir d'un cercle de lancement d'un diamètre de 2,5 m environ. Le concurrent fait d'abord prendre de la vitesse à son marteau en le faisant tourner deux à trois fois autour de sa tête, puis il l'accélère en tournant trois à quatre fois sur lui-même tout en restant dans le cercle. La taille et le poids du marteau sont réglementés : 7,26 kg pour les hommes et 4,00 kg pour les femmes. Dans l'exercice, l'athlète est une femme.

Données :

- norme de l'accélération de la pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ N{\cdot}kg^{-1}$;
- masse du marteau : m = 4,00 kg.



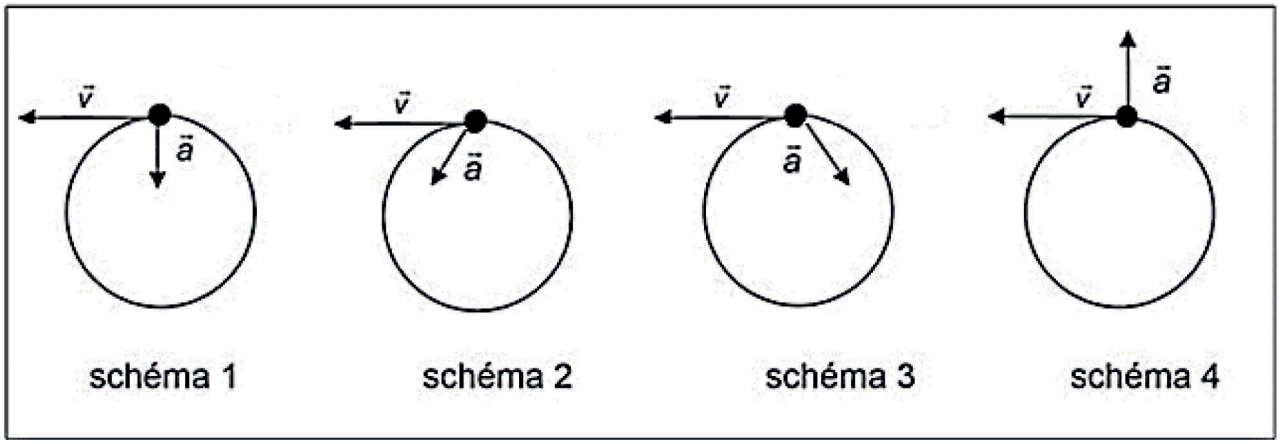
Figure 1. Chronophotographie de la vue du dessus du mouvement du centre de masse d'un marteau, lors d'un lancer dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Le marteau est lâché en position 49. La barre blanche indique l'échelle de longueur. La personne au milieu de l'image a les bras élancés vers la gauche et ses pieds orientés vers le haut. On distingue aisément sa chevelure noire.
Source : www.fizziq.org.

Q1. En effectuant une mesure de longueur sur la figure 1, montrer que la distance parcourue par le marteau entre les 2 dernières positions numérotées 49 et 50 est d'environ 1,0 m.

Q2. Sachant que la chronophotographie a été réalisée à 30 images par seconde, en déduire que la valeur de la vitesse du centre de masse G du marteau au moment du lâcher est d'environ 30 $m \cdot s^{-1}$.

Q3. Rappeler les coordonnées du vecteur accélération dans le cadre d'un mouvement circulaire dans le repère de Frenet $(\vec{u}_N ; \vec{u}_T)$.

Q4. Lors de la première phase, on choisit de modéliser le mouvement de G par un mouvement circulaire non uniforme. Indiquer, en justifiant, quel schéma ci-dessous correspond à cette situation.



Pour les questions Q5 à Q7, on ne prend pas en compte dans l'analyse le poids du marteau ni les forces de frottement de l'air : la seule force qui s'applique sur le marteau est supposée être la force de tension du fil. Par ailleurs on suppose que juste avant le lâcher, la valeur de la vitesse du centre de masse n'augmente plus : le mouvement est alors **circulaire uniforme**.

Q5. À l'aide de la 2e loi de Newton, montrer que la norme de la force de tension du fil a pour expression $T = m\frac{v^2}{R}$, avec R la distance entre le centre du cercle et G.

On estime que R = 2,0 m.

Q6. En déduire que T vaut environ $1{,}8 \times 10^3$ N au moment du lâcher. Vérifier que le choix de négliger le poids du marteau est pertinent.

Q7. Déterminer la masse d'un objet dont le poids aurait une norme $P = 1{,}8 \times 10^3$ N. Commenter le résultat.

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.