

Proposition de corrigé

Concours : Banque PT

Année : 2022

Filière : PT

Épreuve : Sciences Industrielles C

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'[UPSTI](https://www.upsti.fr) (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

<https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours>

A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

Licence et Copyright

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : corrigesconcours@upsti.fr.

Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les [Sciences de l'Ingénieur](#), l'[orientation](#), les [Grandes Ecoles](#) ainsi que sur les [Olympiades de Sciences de l'Ingénieur](#) et sur les [Sciences de l'Ingénieur au Féminin](#) sur notre site : www.upsti.fr

L'équipe UPSTI

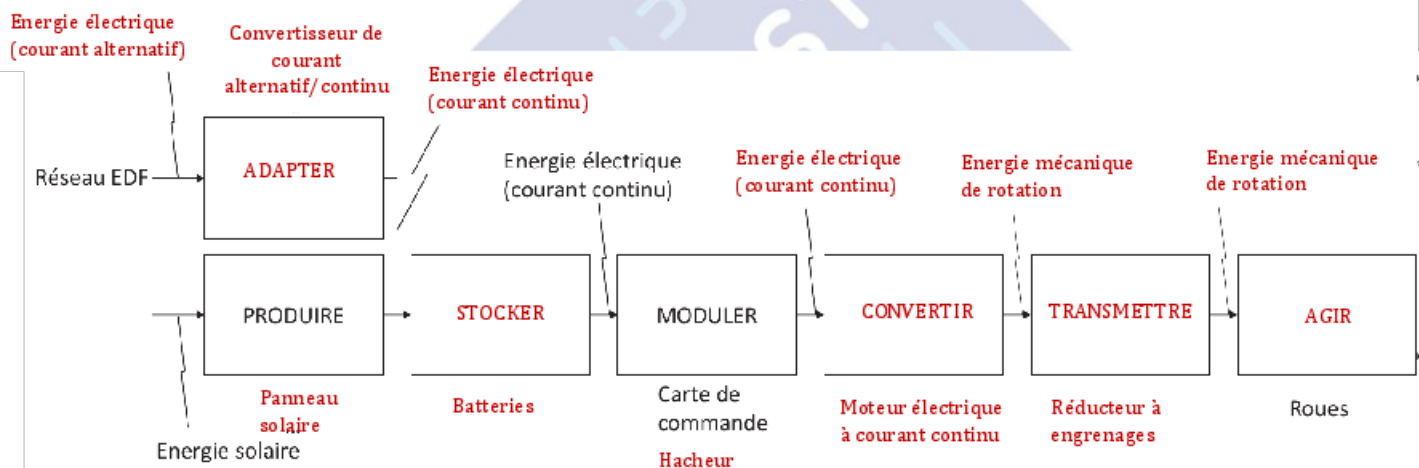
Robot autonome pour l'entretien des parcelles de vignoble.

Corrigé UPSTI

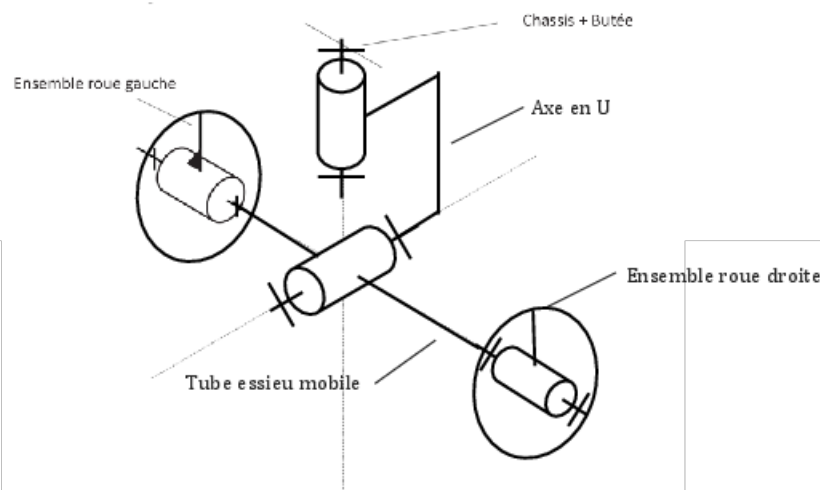
I. ANALYSE DU ROBOT

Objectif : Comprendre le fonctionnement du robot Vitrover et étudier certains choix de conception.

Question 1 Compléter sur le document réponse la chaîne d'énergie proposée permettant au robot Vitrover de pouvoir mettre en mouvement ses roues et ainsi se déplacer. Indiquer également entre chaque bloc fonctionnel le type d'énergie lorsqu'il n'est pas indiqué.



Question 2 Compléter le schéma cinématique 3D en faisant apparaître le U, l'essieu et la butée fixée à la coque.



Question 3 A partir du document ressource, indiquer quelle est la combinaison choisie pour obtenir le rapport de réduction de 236.

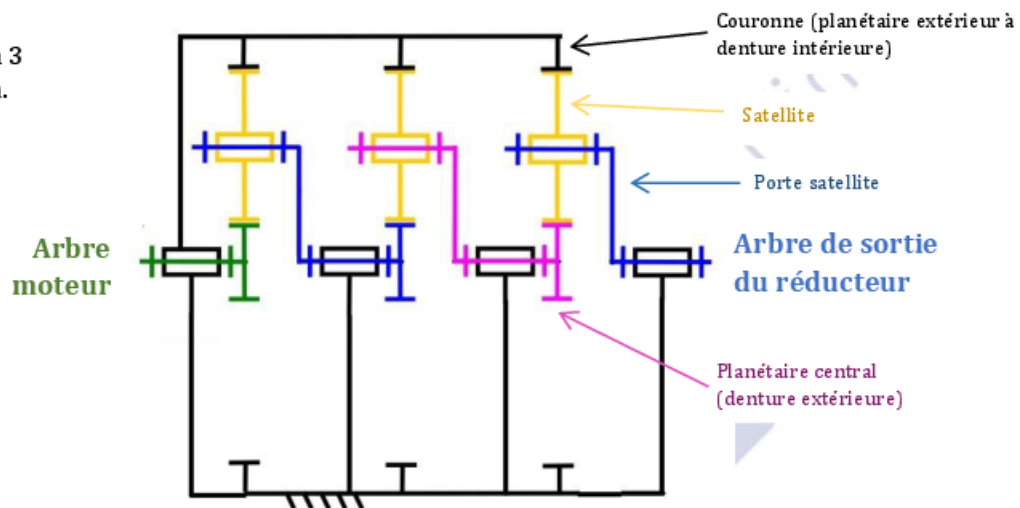
Le calcul du rapport de réduction pour trois étages donne : $r_{123} = r_1 r_2 r_3 \Rightarrow r_2 r_3 = \frac{r_{123}}{r_1} \Rightarrow r_2 r_3 = \frac{236,09}{6,75} = 34,98$

On en déduit le rapport de réduction pour le dernier étage : $r_{23} = r_2 r_3 \Rightarrow r_2 = \frac{r_{23}}{r_3} \Rightarrow r_2 = \frac{34,98}{6,75} = 5,18$

On en déduit que : $r_{123} = 6,75 \cdot 5,18 \cdot 6,75 = 236,09$ (sans unité).

Question 4 Sans prendre en compte le nombre de dents des engrenages, compléter sur le document réponse le schéma cinématique du réducteur.

Train épicycloïdal à 3 étages de réduction.



Question 5 A partir des dessins fournis sur le DOCUMENT RESSOURCE III, déterminer le débattement angulaire pour l'orientation en lacet de l'essieu arrière : débattement angulaire maximal entre la butée et l'axe en U autour de l'axe $\vec{z}$. Vous accompagnerez votre démarche d'un schéma explicatif. Analyser enfin votre résultat par rapport à l'angle de dépouille de 17° .

A partir de la figure tracée sur la page suivante, pour calculer le débattement angulaire maximal entre l'axe en U et la butée, il faut déterminer la valeur de l'angle d'orientation du vecteur $\overrightarrow{AB}$ par rapport à la direction $\vec{x}$. Les coordonnées des points O et A sont données dans le repère par l'intermédiaire des vecteurs suivants :

$$\overrightarrow{OA} = \begin{pmatrix} -14 \\ 20 \end{pmatrix}_{(x,y)} \text{ (mm)} \text{ et } \overrightarrow{OB} = \begin{pmatrix} 15 \sin(17^\circ) \\ 15 \cos(17^\circ) \end{pmatrix}_{(x,y)} \text{ (mm)} \text{ (Voir le triangle OCB rectangle en C).}$$

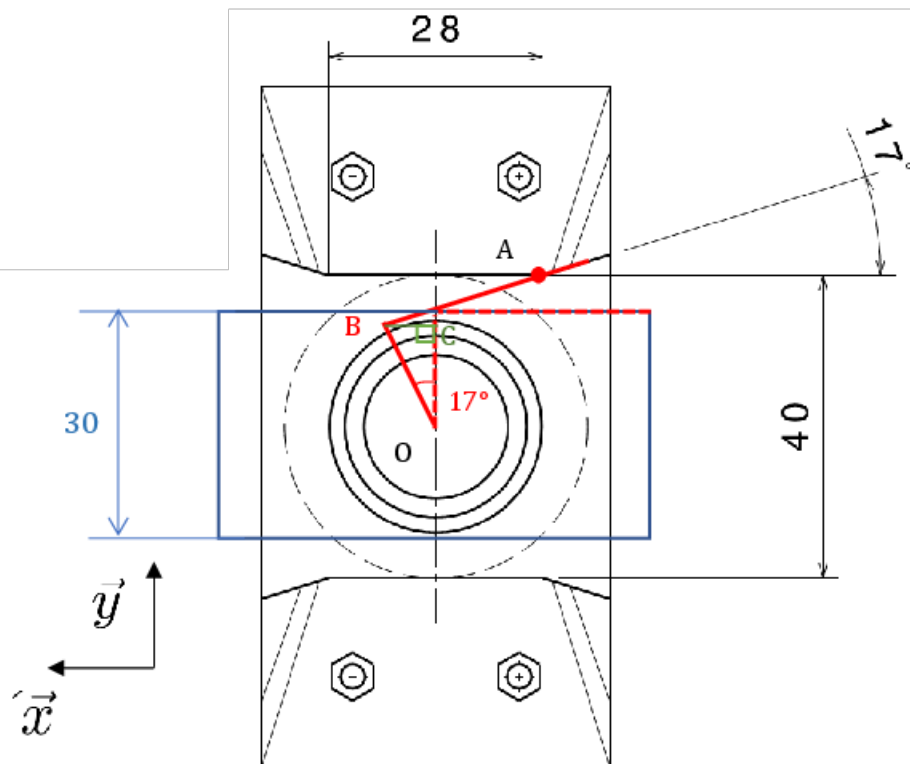
$$\text{On peut alors calculer le vecteur } \overrightarrow{AB} : \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA} = \begin{pmatrix} 15 \sin(17^\circ) + 14 \\ 15 \cos(17^\circ) - 20 \end{pmatrix}_{(x,y)} \text{ (mm).}$$

On en déduit que :

$$\begin{cases} \vec{y} \cdot \overrightarrow{AB} = \|\overrightarrow{AB}\| \sin(\vec{x}, \overrightarrow{AB}) = 15 \cos(17^\circ) - 20 \\ \vec{x} \cdot \overrightarrow{AB} = \|\overrightarrow{AB}\| \cos(\vec{x}, \overrightarrow{AB}) = 15 \sin(17^\circ) + 14 \end{cases} \Rightarrow \tan(\vec{x}, \overrightarrow{AB}) = \frac{15 \cos(17^\circ) - 20}{15 \sin(17^\circ) + 14} \approx \frac{15,0,956 - 20}{15,0,292 + 14}$$

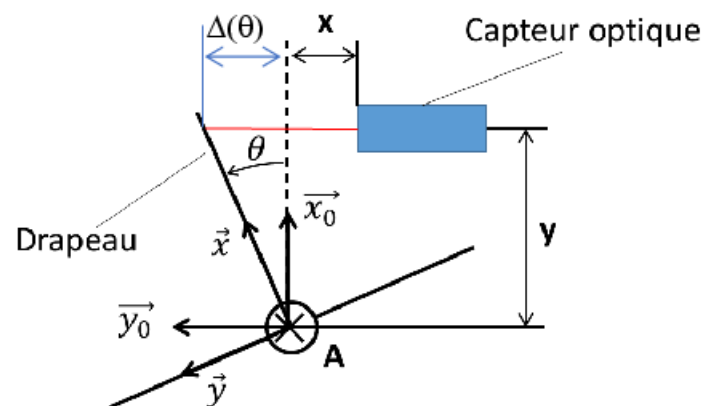
$$\text{D'où : } \tan(\vec{x}, \overrightarrow{AB}) \approx \frac{14,3 - 20}{4,4 + 14} = \frac{-5,7}{18,4} \approx -0,3 \approx -\tan(17^\circ) \text{ (Voir table trigonométrique - document ressource 0).}$$

L'angle de débattement obtenu est de -17° pour cette position en butée. Pour la position opposée, l'angle obtenu sera de 17° par symétrie. Le débattement angulaire total sera de 34° .



Question 6 A partir DU DOCUMENT RESSOURCE IV, pour une position de capteur (x, y) donnée, établir la relation entre la variation de la distance capteur - drapeau et de l'angle θ .

On note $\Delta(\theta)$ la distance entre le point cible du faisceau sur le drapeau et l'axe $(A, \vec{x})$.



On a : $\tan(\theta) = \frac{\Delta(\theta)}{y} \Rightarrow \Delta(\theta) = y \tan(\theta)$.

On en déduit la distance $d(\theta)$ entre le drapeau et le capteur : $d(\theta) = \Delta(\theta) + x \Rightarrow d(\theta) = y \tan(\theta) + x$

Question 7 A partir DU DOCUMENT RESSOURCE IV, détailler alors la démarche pour positionner le capteur (distance x et y) afin de limiter l'incertitude sur l'estimation angulaire.

Pour limiter l'incertitude de la mesure angulaire, il faut pouvoir utiliser l'intégralité de l'étendue de mesure du capteur de position. D'après le document ressource IV, le capteur peut être utilisé pour mesurer des distances comprises entre $d_{\min}=40\text{mm}$ et $d_{\max}=400\text{mm}$. L'angle à mesurer peut varier de $-\theta_{\max}$ à $\theta_{\max}$ ($\theta_{\max} = 17^\circ$).

On a :
$$\begin{cases} d(\theta_{\max}) = d_{\max} \\ d(-\theta_{\max}) = d_{\min} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y \tan(\theta_{\max}) + x = d_{\max} \\ y \tan(-\theta_{\max}) + x = d_{\min} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y \tan(\theta_{\max}) + x = d_{\max} \quad (1) \\ -y \tan(\theta_{\max}) + x = d_{\min} \quad (2) \end{cases}$$

D'où :
$$\begin{cases} (1) + (2) \\ (1) - (2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2x = d_{\max} + d_{\min} \\ 2y \tan(\theta_{\max}) = d_{\max} - d_{\min} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} \\ y = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2 \tan \theta_{\max}} \end{cases}$$

Application numérique :

$$\begin{cases} x = \frac{400 + 40}{2} = \frac{440}{2} \\ y = \frac{400 - 40}{2 \tan(17^\circ)} \approx \frac{360}{2.0,3} = \frac{360}{6.0,1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 220\text{mm} \\ y \approx 600\text{mm} \end{cases}$$

Question 8 Dire pourquoi cette incertitude est suffisante dans le cas du robot.

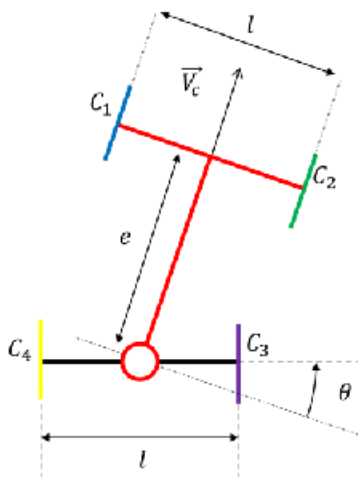
- Le terrain est accidenté.
- Le robot est équipé d'une centrale inertielle.
- Le robot peut détecter les obstacles situés à proximité en allant au contact.

II. CINEMATIQUE DU ROBOT

Objectif : Analyser la cinématique du robot, puis la stratégie de déplacement du troupeau.

1. Loi de commande des moteurs

Question 9 A partir de la situation représentée sur le DOCUMENT RESSOURCE V, et sans calcul, indiquer quel pilotage mettre en place pour amorcer un virage à droite le plus serré possible en marche avant en évitant le glissement des roues.



Pour effectuer un virage à droite le plus serré possible, il faut imposer à l'angle θ une valeur positive la plus élevée possible soit $+17^\circ$.

Pour assurer le non glissement des roues, il faut que les axes de rotation des roues par rapport au châssis s'intersectent en un point unique. La structure à essieu arrière orientable permet d'obtenir cette condition.

Ce point d'intersection est à l'intersection des axes (C_1C_2) et (C_3C_4) . Ce point est le centre instantané I_{virage} de rotation du châssis par rapport au sol.

Il faut imposer à chaque roue une vitesse de rotation : $\omega_i = \frac{V_{C_i}}{R}$

calculée à partir de la vitesse de C_i du châssis par rapport au sol.

On note R le rayon de la roue, ω_i la vitesse de rotation de la roue i par rapport au sol et $V_{C_i} = \|\vec{V}_{C_i, Robot / sol}\|$.

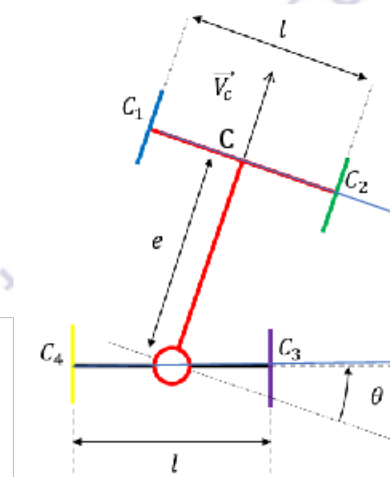
Question 10 Sur le document réponse, placer le centre instantané de rotation I_{virage} puis donner la relation entre $\|\vec{V}_{C_i, Robot / sol}\|$ et $\|\vec{V}_C\|$. On notera R_{C_i} la distance entre le point C_i et le centre instantané de rotation, et R_C la distance entre le point C et ce même centre.

On a :

$$\omega_{Robot/Sol} = \frac{\|\dot{V}_{C, Robot / sol}\|}{R_C} = \frac{\|\dot{V}_{C_i, Robot / sol}\|}{R_{C_i}}$$

D'où :

$$\|\vec{V}_{C_i, Robot / sol}\| = \frac{R_{C_i}}{R_C} \|\vec{V}_C\|$$



Question 11 En s'appuyant sur les hypothèses et sur les schématisations présentées sur le DOCUMENT RESSOURCE V, donner les vitesses des points $C_i, i \in [1, 2, 3, 4]$ appartenant au châssis par rapport au sol.

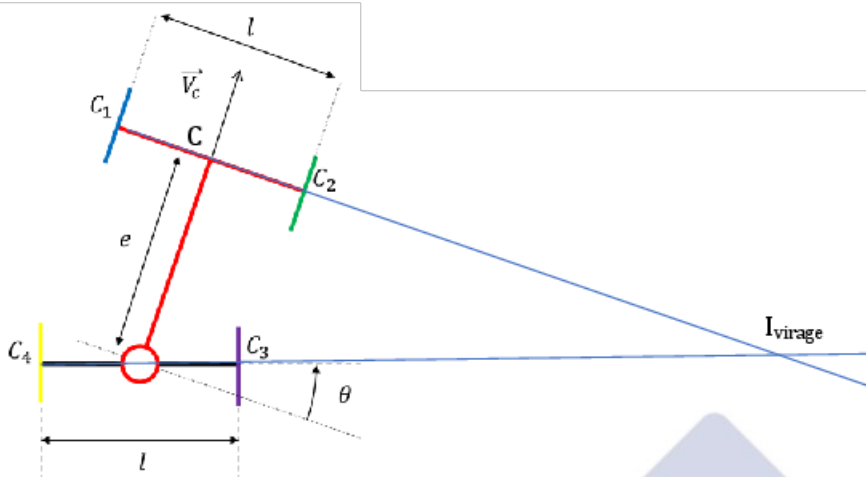
On a :

$$R_{C_1} = R_C + \frac{l}{2}$$

$$R_{C_2} = R_C - \frac{l}{2}$$

$$R_{C_4} = \sqrt{R_C^2 + e^2} + \frac{l}{2}$$

$$R_{C_3} = \sqrt{R_C^2 + e^2} - \frac{l}{2}$$



On a : $\|\vec{V}_{C_i, Robot/sol}\| = \frac{R_{C_i}}{R_C} \|\vec{V}_C\|$

On en déduit que :

$$\|\vec{V}_{C_1, Robot/sol}\| = \left(1 + \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\|, \quad \|\vec{V}_{C_2, Robot/sol}\| = \left(1 - \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\|,$$

$$\|\vec{V}_{C_4, Robot/sol}\| = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{e}{R_C}\right)^2} + \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\| \quad \text{et} \quad \|\vec{V}_{C_3, Robot/sol}\| = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{e}{R_C}\right)^2} - \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\|$$

Question 12 Dédurre des deux questions précédentes, les lois de commande des moteurs de l'essieu avant et arrière $\omega_i, i \in [1, 2, 3, 4]$, avec une vitesse de consigne $\vec{V}_C$ et un rayon de courbure R_C .

On a : $\|\vec{V}_{C_i, Robot/sol}\| = R \cdot \omega_i \Rightarrow \omega_i = \frac{\|\vec{V}_{C_i, Robot/sol}\|}{R}$ où R est le rayon commun de toutes les roues.

On en déduit que :

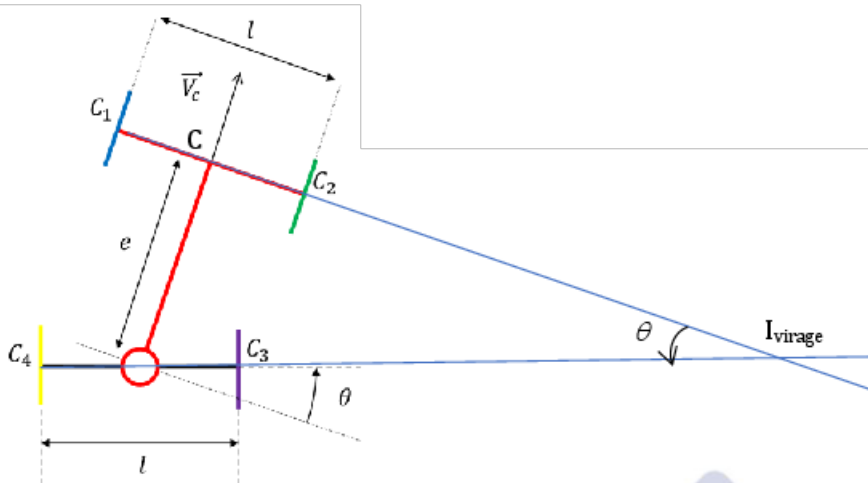
$$\omega_1 = \frac{1}{R} \left(1 + \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\|, \quad \omega_2 = \frac{1}{R} \left(1 - \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\|,$$

$$\omega_4 = \frac{1}{R} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{e}{R_C}\right)^2} + \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\| \quad \text{et} \quad \omega_3 = \frac{1}{R} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{e}{R_C}\right)^2} - \frac{l}{2R_C}\right) \|\vec{V}_C\|$$

Question 13 A l'aide de la géométrie du robot et des butées de l'essieu arrière libre de $[-17^\circ, 17^\circ]$, donner le rayon de courbure minimal atteignable par le robot.

On a : $\tan \theta = \frac{e}{R_C}$

D'où : $R_C^{\min} = \frac{e}{\tan \theta_{\max}}$



Application numérique :

$$R_C^{\min} = \frac{0,39}{\tan(17^\circ)} \approx \frac{0,39}{0,3} = \frac{39}{30} \Rightarrow R_C^{\min} = 1,3 \text{ m}$$

2. Modèle de gestion de la flotte de robots

a. Calcul des potentiels attractifs

Question 14 Déterminer la force agissant sur le robot à partir du potentiel donné.

On a : $U_i(q) = \frac{k_i}{2} |q_i - q|^2 = \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]$

La force agissant sur le robot est donnée par : $\vec{F}_i(q) = -\text{grad}(U_i(q)) = -\left[\frac{\partial U_i(x, y)}{\partial x} \vec{x} + \frac{\partial U_i(x, y)}{\partial y} \vec{y} \right]$

Or : $\frac{\partial U_i(x, y)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2] = \frac{\partial}{\partial x} \frac{k_i}{2} (x_i - x)^2 = \frac{k_i}{2} 2(x_i - x)(-1) = -k_i(x_i - x)$

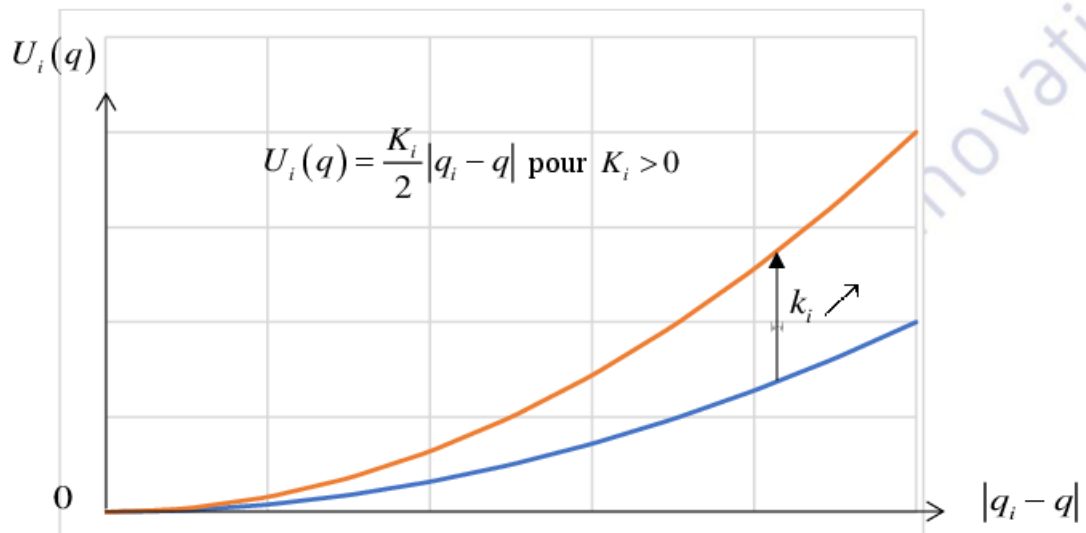
Et $\frac{\partial U_i(x, y)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2] = \frac{\partial}{\partial y} \frac{k_i}{2} (y_i - y)^2 = \frac{k_i}{2} 2(y_i - y)(-1) = -k_i(y_i - y)$

D'où : $\vec{F}_i(q) = -[-k_i(x_i - x)\vec{x} - k_i(y_i - y)\vec{y}] \Rightarrow \vec{F}_i(q) = k_i[(x_i - x)\vec{x} + (y_i - y)\vec{y}]$

Question 15 Par analogie, quel composant mécanique possède le même modèle de potentiel, et donc la même forme de force ? Sur le document réponse, tracer la forme du potentiel et indiquer l'influence du paramètre k_i sur ce tracé ?

Un ressort linéaire, de raideur k_i , possède le même modèle de potentiel.

La forme du potentiel $U_i(q)$ en fonction de $|q_i - q|$ est donné à la figure suivante. L'augmentation de la valeur de k_i entraîne une augmentation de la valeur du potentiel pour un même écart de position $|q_i - q|$.

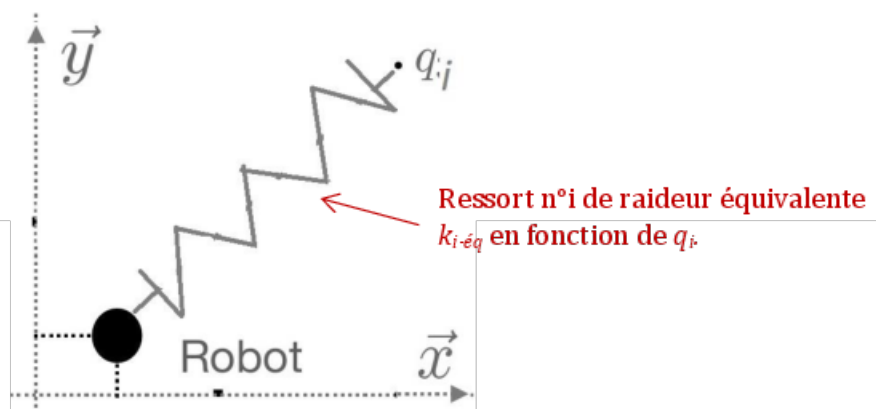


Question 16 Donner deux paramètres relatifs au robot, à son environnement et aux données envoyées par les autres membres du troupeau qui pourront être utilisées pour identifier le paramètre k_i dans le cas d'un robot travaillant sur une parcelle (constituée de plusieurs zones) ?

- La position des autres robots : Pour conduire le robot dans les zones non occupées.
- La position des obstacles détectés par les robots : Pour conduire le robot dans une zone non traitée.

b. Calcul de la direction après collision avec un pied de vigne

Question 17 En utilisant l'analogie trouvée à la question Q15, faire une représentation du modèle mécanique associé sur le document réponse.



Question 18 Calculer les forces agissant sur le robot situé à la position $q = [x; y]^T$ par chacune des huit parcelles adjacentes.

$$\vec{F}_i(q) = k_i [(x_i - x)\vec{x} + (y_i - y)\vec{y}]$$

On a :

$$q_1 = [-10, 10]^T \Rightarrow \vec{F}_1(q) = k_1 [(-10 - x)\vec{x} + (10 - y)\vec{y}]$$

$$q_2 = [0, 10]^T \Rightarrow \vec{F}_2(q) = k_2 [-x\vec{x} + (10 - y)\vec{y}]$$

$$q_3 = [10, 10]^T \Rightarrow \vec{F}_3(q) = k_3 [(10 - x)\vec{x} + (10 - y)\vec{y}]$$

$$q_4 = [-10, 0]^T \Rightarrow \vec{F}_4(q) = k_4 [(-10 - x)\vec{x} - y\vec{y}]$$

$$q_5 = [10, 0]^T \Rightarrow \vec{F}_5(q) = k_5 [(10 - x)\vec{x} - y\vec{y}]$$

$$q_6 = [-10, -10]^T \Rightarrow \vec{F}_6(q) = k_6 [(-10 - x)\vec{x} + (-10 - y)\vec{y}]$$

$$q_7 = [0, -10]^T \Rightarrow \vec{F}_7(q) = k_7 [-x\vec{x} + (-10 - y)\vec{y}]$$

$$q_8 = [10, -10]^T \Rightarrow \vec{F}_8(q) = k_8 [(10 - x)\vec{x} + (-10 - y)\vec{y}]$$

Question 19 Donner la valeur du potentiel total $U_T(q)$ (somme des potentiels attractifs de chacune des 8 zones) en ce point.

$$U_T(q) = \sum_{i=1}^8 U_i(q) \Rightarrow U_T(q) = \sum_{i=1}^8 \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]$$

Question 20 Calculer la direction du robot en fonction des amplitudes k_i des potentiels de chaque zone.

$$\text{grad}_x U_T(q) = \frac{\partial}{\partial x} U_T(q) = \frac{\partial}{\partial x} \sum_{i=1}^8 \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2] = \sum_{i=1}^8 \frac{\partial}{\partial x} \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2] = \sum_{i=1}^8 k_i (x_i - x)$$

$$\text{grad}_y U_T(q) = \frac{\partial}{\partial y} U_T(q) = \frac{\partial}{\partial y} \sum_{i=1}^8 \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2] = \sum_{i=1}^8 \frac{\partial}{\partial y} \frac{k_i}{2} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2] = \sum_{i=1}^8 k_i (y_i - y)$$

On en déduit que :

$$\vec{D} = \left[-\sum_{i=1}^8 k_i (x_i - x), -\sum_{i=1}^8 k_i (y_i - y) \right]$$

Question 21 On considère maintenant que le robot se trouve dans la position $q = [0; 0]^T$ et que tous les potentiels ont le même paramètre k_i . Expliquer la situation et si besoin, proposer une solution pour permettre au robot de continuer l'entretien.

On suppose que : $\forall i \in \{1, 8\}, k_i = k$ et que : $q = [0, 0]^T$.

On en déduit que : $\vec{D} = \left[-k \sum_{i=1}^8 x_i, -k \sum_{i=1}^8 y_i \right]$. Par symétrie, on obtient : $\boxed{\vec{D} = \vec{0}}$.

Si le robot atteint la position $q = [0, 0]^T$, la direction que doit prendre le robot devient indéterminée. On peut envisager de lui imposer une direction aléatoire dans cette position.

for innovation



teaching sciences

III. ÉTUDE ÉNERGETIQUE DU ROBOT

Objectif : Etudier la consommation / production énergétique au cours d'un cycle d'entretien pour valider le critère d'autonomie.

1. Consommation énergétique pour la mobilité du robot

Question 22 Calculer l'énergie consommée par ce temps de glissement lors de la collision (notée E_{coll}).

L'énergie consommée est : $E_{coll} = P_{coll} \cdot \Delta t_{coll}$ avec Δt_{coll} la durée de la collision et P_{coll} la puissance absorbée par le moteur.
 $(J) \quad (W)(s)$

L'effort normal du sol sur les roues est opposé au poids du robot. En appliquant la loi de Coulomb pour le glissement au contact entre le sol et les roues, on peut déterminer la composante tangentielle : $f_{ph} \cdot M_{robot} \cdot g$ où f_{ph} est le facteur de frottement entre le sol et les roues.

Pour calculer la puissance développée par la composante tangentielle, il faut calculer la vitesse de glissement entre les roues et le sol : $v_g = R \cdot \omega_{coll} = R \cdot r \cdot \omega_m$ où r désigne le rapport de réduction cinématique des réducteurs, R le rayon des roues, ω_{coll} la vitesse de rotation des roues par rapport au châssis et ω_m celle des moteurs.

On peut alors écrire que : $P_{coll} = f_{ph} \cdot M_{robot} \cdot g \cdot v_g$.

Pendant la phase de collision, la fréquence de rotation des moteurs est N . On en déduit que : $\omega_m = \frac{2\pi N}{60}$

On obtient : $E_{coll} = \frac{2\pi N}{60} r \cdot R \cdot f_{ph} \cdot M_{robot} \cdot g \cdot \Delta t_{coll}$.

Application numérique : On a : $N = 9940 \text{ tr/min}$, $r = 1/236$ sans unités, $R = 0,09 \text{ m}$, $f_{ph} = 0,3$ sans unité, $M_{robot} = 23 \text{ kg}$, $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$, $\Delta t_{coll} = 2 \text{ s}$

$$E_{coll} = \frac{2\pi \cdot 9940}{60} \cdot 0,09 \cdot \frac{1}{236} \cdot 0,3 \cdot 23 \cdot 10 \cdot 2 = \frac{2\pi \cdot 497}{60} \cdot 9 \cdot 10^{-2} \cdot 0,3 \cdot 23 \cdot 2 \approx \frac{\pi \cdot 248}{60} \cdot 10^{-2} \cdot 23 \approx \pi \cdot 248 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 23$$

$$E_{coll} \approx 9,50,25 \cdot 23 \Rightarrow E_{coll} \approx 54,5 \text{ J}$$

Question 23 Calculer la consommation énergétique moyenne du robot pour travailler 5h sur une parcelle. Pour cela, calculer l'énergie consommée lors des phases de déplacement (notée E_{depl}) puis la consommation énergétique totale liée à la mobilité du robot (notée E_{tot}).

L'énergie consommée pendant les phases de déplacement est : $E_{depl} = P_{depl} \Delta t_{depl}$ avec Δt_{depl} la durée des phases de déplacement et P_{depl} la puissance absorbée par le moteur pendant ces phases.

La puissance est donnée par : $P_{depl} = F_R \cdot v_c$ où v_c désigne la vitesse de déplacement du robot et F_R l'effort résistant du sol sur les roues.

D'autre part, on a : $F_R = C_{rr} \cdot M_{robot} \cdot g$. On en déduit que : $P_{depl} = C_{rr} \cdot M_{robot} \cdot g \cdot v_c$ et que :

$$E_{depl} = C_{rr} \cdot M_{robot} \cdot g \cdot v_c \cdot \Delta t_{depl} \quad \text{avec : } \Delta t_{depl} = \Delta t_{total} - \Delta t_{coll} \left(\frac{K \cdot \Delta t_{total}}{3600} \right) \quad \text{et } K = 40 \text{ collisions/heure.}$$

(s) (s) (s) (h)

La consommation énergétique totale est donnée par : $E_{tot} = E_{depl} + E_{coll} \left(\frac{K \cdot \Delta t_{total}}{3600} \right)$

Application numérique :

On a : $\Delta t_{depl} = 5.3600 - 2 \cdot (40.5) = 18000 - 40.10 = 18000 - 400 = 17600 \text{ s}$

On a : $C_{rr} = 0,05$ sans unité , $M_{robot} = 23 \text{ kg}$, $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$, $v_c = 600 \text{ m/h} = \frac{600}{3600} = \frac{1}{6} \approx 0,17 \text{ m/s}$

$$E_{depl} = 0,05 \cdot 23 \cdot 10 \cdot 0,17 \cdot 17600 = 0,5 \cdot 23 \cdot 17 \cdot 176 = 23 \cdot 17 \cdot 88 = 17 \cdot 2024 \Rightarrow E_{depl} \approx 34400 \text{ J} = 34,4 \text{ kJ}$$

$$E_{tot} = 34400 + 54,5(40.5) = 34400 + 10900 \Rightarrow E_{tot} = 45300 \text{ J} = 45,3 \text{ kJ}$$

Question 24 Donner la surconsommation énergétique engendrée par une telle pente pour une distance de 1m parcourue dans le sens de plus grande pente (en montée).

La surconsommation énergétique correspond au travail du poids du robot sur ce déplacement de $d=1\text{m}$.

On en déduit que : $E = M_{robot} \cdot g \cdot h$

(J) (kg) (m/s²) (m)

Pour cette distance, la variation d'altitude est : $h = d \cdot \sin(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2} d$

Application numérique : On a : $d = 1 \text{ m}$, $M_{robot} = 23 \text{ kg}$, $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

$$E_{montée} = 23 \cdot 10 \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 23 \cdot 10 \cdot 0,7 = 23 \cdot 7 \Rightarrow E_{montée} \approx 161 \text{ J} \quad \text{pour un mètre parcouru.}$$

Question 25 Pour une séquence de travail de 5h, quelle démarche mettre en place pour évaluer le pourcentage de surconsommation engendrée par le dénivelé du terrain.

On estime la distance parcourue par le robot pendant la durée d'utilisation : $d \approx v_c \cdot \Delta t_{tot}$. Elle permet de calculer l'énergie nécessaire au robot pour fonctionner sur 1m en terrain plat : $E_{plat} = E_{tot} / d$ (d'après le résultat de la question 23).

Le robot fonctionne 20% du temps en montée avec une consommation de $E_{plat} + E_{montée}$ et 40% à plat avec une consommation de E_{plat} .

Le rapport à calculer est :
$$\frac{(1/3) \cdot (E_{plat} + E_{montée}) + (2/3) \cdot E_{plat}}{E_{plat}} = \frac{E_{plat} + E_{montée} / 3}{E_{plat}} = 1 + \frac{E_{montée}}{3 \cdot E_{plat}}$$

2. Consommation énergétique autre

Question 26 Sur une séquence de tonte de 5h, des variations de +/-10% peuvent être observées dans la consommation des moteurs de gyrobroyage. Donner deux causes pouvant expliquer ces variations.

Ces variations peuvent être dues à des variations de hauteur ou de densité de l'herbe ainsi qu'à la présence d'obstacles dans l'herbe (cailloux, branches).

Question 27 Des variations encore plus importantes sont observées à plus long terme, lorsqu'on regarde l'évolution de la consommation quotidienne moyenne sur plusieurs mois (entre mars et octobre). Donner deux causes possibles de ces variations.

Entre mars et octobre, les végétaux ont une croissance plus rapide que durant les mois d'hiver. Les quantités coupées sont plus importantes pour une même surface balayée.

Durant les mois d'automne, la présence de feuilles mortes et d'humidité dans l'herbe peut induire une surconsommation.

Question 28 Outre la consommation énergétique pour la mobilité et celle pour le gyrobroyage, quelle(s) autre(s) source(s) de consommation énergétique est-il nécessaire de prendre en compte ?

Il faut alimenter les chaînes d'acquisition (capteurs, conditionneurs), les composants de communication et les composants de traitement de l'information.

3. Production du panneau photovoltaïque

Question 29 En vous aidant des indications du DOCUMENT RESSOURCE VIII, calculer la puissance crête fournie par le panneau.

On a :
$$P_{\text{crête}} = P_{\text{surfacique}} \cdot S_{\text{panneau}}$$

$$(W_c) \quad (W_c / m^2) \quad (m^2)$$

Application numérique :
$$P_{\text{crête}} = 175.0,63.0,32 = \frac{175.32.63}{100.100} = \frac{56.63}{100} = \frac{3528}{100} \Rightarrow P_{\text{crête}} \approx 35,3 \text{ Wc}$$

Question 30 En vous aidant des indications du DOCUMENT RESSOURCE VIII, donner la démarche permettant de calculer la puissance maximale fournie par le panneau dans le cas d'une séquence de 6 mois dans le vignoble Bordelais. La calculer.

A partir de la situation géographique, on a une capacité de production moyenne de : $1200 \text{ kWh} / \text{kWc}$.

Pour une inclinaison de 0° du panneau, le coefficient de pondération est de 93%.

La puissance crête du panneau calculé à la question précédente est : $P_{\text{crête}} \approx 35,3.10^{-3} \text{ kWc}$.

La puissance maximale fournie par le panneau est : $P_{\text{max}} (\text{en kWh/an}) = P_{\text{moy}} (\text{en kWh/kWc}) \cdot P_{\text{crête}} (\text{en kWc})$

$$P_{\text{max}} = 1200.0,93.35,3.10^{-3} = 12.93.35,3.10^{-3} = 1116.35,3.10^{-3} \approx 1,12.35,3 \approx 39,4 \text{ kWh/an}$$

Soit pour 6 mois : $P_{\text{max}} \approx 19,7 \text{ kWh} / 6 \text{ mois}$

Question 31 Discuter de la validation du choix du panneau solaire pour assurer l'autonomie du robot sur une séquence de travail de 6 mois (24 semaines), 5h par jour, 5 jours par semaine.

La durée d'utilisation est de : $\Delta t = 24.5.5 = 6.4.5.5 = 120.5 \text{ h}$ soit 120 jours d'utilisation.

Pour 5h d'utilisation, le robot consomme : $E_{\text{tot}} = 45300 \text{ J} = 45,3 \text{ kJ}$ pour son déplacement (Voir réponse de la question 23).

Pour 6 mois, on obtient : $45,3 \text{ kJ} \cdot 120 = 5436 \text{ kJ}$ soit $5436 \text{ kJ} / 3,6 = 1510 \text{ Wh} = 1,51 \text{ kWh}$ pour 6 mois pour son déplacement.

D'après le texte du sujet, $E_{\text{tot}} = 50\%$ de la consommation du robot pendant la séquence d'entretien. Avec les phases d'entretien, la consommation totale est de $3,02 \text{ kWh}$ pour 6 mois.

L'énergie fournie en 6 mois par le panneau solaire ($19,7 \text{ kWh}$) est suffisante pour couvrir la consommation énergétique du robot.

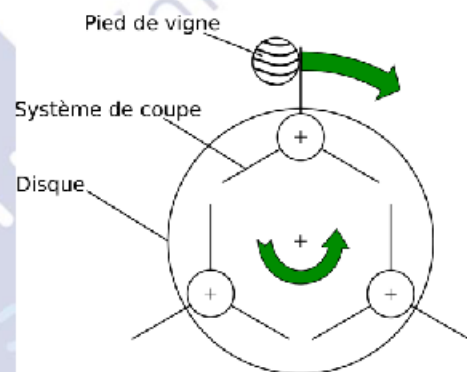
IV. CONCEPTION DU SYSTEME DE COUPE

Objectif : Analyser puis concevoir une solution technologique permettant d'assurer la coupe de l'herbe et l'étanchéité dans le système de coupe.

1. Dimensionnement du système de coupe

Question 32 . Justifier le fait que les systèmes de coupe soient montés libres sur le disque. En particulier, donner dans quelle situation ce montage permet de respecter une des exigences importantes de l'offre de Vitirover.

En cas de problème de détection du pied de vigne, les systèmes de coupe peuvent endommager celui-ci si le montage est rigide.



a. Modélisation du chargement.

Question 33 . Calculer (avec application numérique) cette charge F_p due à l'action de l'herbe sur une étoile pour le calage moteur. On notera C_m le couple fourni par le moteur.

On isole l'arbre. Il est soumis :

- à l'action du rotor du moteur modélisée par un couple C_m ,
- à l'action du châssis par l'intermédiaire d'une liaison pivot supposée sans frottements
- à l'action de l'herbe modélisée par une force dont le support passe par le point P et de résultante $F_p \vec{z}$.

On applique le Principe Fondamental de la Statique, équation de moment au point B en projection suivant $\vec{x}$:

$$\underbrace{\vec{x} \cdot \dot{M}_{B, \text{moteur} \rightarrow \text{arbre}}}_{C_m} + \underbrace{\vec{x} \cdot \dot{M}_{B, \text{châssis} \rightarrow \text{arbre}}}_0 + \underbrace{\vec{x} \cdot \dot{M}_{B, \text{moteur} \rightarrow \text{arbre}}}_{-c \cdot F_p} = 0 \Rightarrow C_m = c \cdot F_p \Rightarrow \boxed{F_p = \frac{C_m}{c}}$$

Pour obtenir la valeur de C_m , on connaît la puissance P que peut fournir le moteur à une fréquence de rotation N .

On obtient la vitesse de rotation correspondante par la relation : $\omega_m = \frac{2\pi N}{60}$ et la puissance développée par C_m

à l'aide de la relation : $P = C_m \cdot \omega_m \Rightarrow P = C_m \frac{2\pi N}{60} \Rightarrow C_m = \frac{60 \cdot P}{2\pi N} \Rightarrow F_p = \frac{60 \cdot P}{2\pi \cdot N \cdot c}$

Application numérique : On a : $P=45 \text{ kW}$, $N=60 \text{ tr/min}$, $c=0,05 \text{ m}$.

$$F_p = \frac{60 \cdot 45 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 60 \cdot 0,05} = \frac{45 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2}} \approx \frac{45 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 10^{-1}} = \frac{45 \cdot 10^4}{3 \cdot (1+0,05)} \approx 15 \cdot 10^4 (1-0,05) = (15-0,75) \cdot 10^4 \Rightarrow F_p \approx 14,3 \cdot 10^4 \text{ N}$$

b. Efforts intérieurs dans l'arbre.

Question 34. Déterminer, en utilisant le résultat précédent, la réaction à l'appui R_A .

On isole l'arbre. Il est soumis :

- à l'action du rotor du moteur modélisée par un couple C_m ,
- à l'action du châssis par l'intermédiaire d'une liaison pivot supposée sans frottements
- à l'action de l'herbe modélisée par une force dont le support passe par le point P et de résultante $F_p \vec{z}$.

On applique le Principe Fondamental de la Statique, équation de résultante en projection suivant $\vec{z}$:

$$\underbrace{\vec{z} \cdot \vec{R}_{\text{moteur} \rightarrow \text{arbre}}}_0 + \underbrace{\vec{z} \cdot \vec{R}_{\text{châssis} \rightarrow \text{arbre}}}_{R_A} + \underbrace{\vec{z} \cdot \vec{R}_{\text{herbe} \rightarrow \text{arbre}}}_{F_p} = 0 \Rightarrow R_A = -F_p$$

Question 35. Déterminer (littéralement) en G , centre de surface de la section droite du rotor, dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, les composantes du torseur des efforts de cohésion le long de l'arbre du rotor en fonction du chargement extérieur.

On isole la partie II de la poutre située entre G et B .

On a : $\{T_{coh}\} = + \{T_{\text{extérieur} \rightarrow \text{partie II}}\} \Rightarrow \{T_{coh}\} = \begin{Bmatrix} 0 & -C_m \\ 0 & 0 \\ F_p & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)} \quad \text{avec : } C_m = c \cdot F_p$

D'après la relation de moment entre B et G du torseur d'action mécanique de cohésion, on en déduit que :

$$\vec{M}_{G,coh} = \underbrace{\vec{M}_{B,coh}}_{-C_m \vec{x}} + \underbrace{\vec{GB}}_{(L-x)\vec{x}} \wedge \underbrace{\vec{R}_{coh}}_{F_p \vec{z}} = -C_m \vec{x} - F_p (L-x) \vec{y}$$

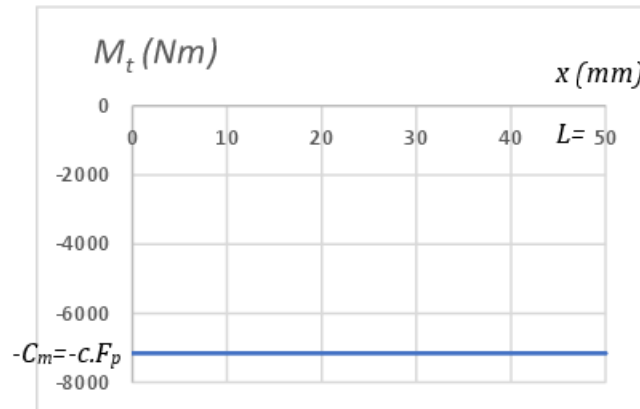
On en déduit que : $\{T_{coh}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & -C_m = -c \cdot F_p \\ 0 & -F_p (L-x) \\ F_p & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$

Question 36. Tracer les évolutions de la composante $M_t(x)$ de ce torseur.

On a : $M_t(x) = -C_m = -c.F_p$

Application numérique : $F_p \approx 14,3.10^4 \text{ N}$ et $c = 0,05 \text{ m}$.

On a : $M_t(x) = -5.10^{-2}.14,3.10^4 = -71,5.10^2 = -7150 \text{ Nm}$



c. Dimensionnement.

Question 37. Calculer (avec application numérique) la contrainte de cisaillement due à la torsion. Est-ce la seule sollicitation créant du cisaillement ?

Pour la sollicitation de torsion, la composante de contrainte de cisaillement est dans la direction ortho-radiale et est donnée par la relation :

$\tau(x, r) = \frac{M_t(x)}{I_{Gx}(x)} r$ où $I_{Gx}(x)$ est le moment quadratique de la section, d'abscisse x , autour de l'axe C , r est la distance d'un point de la section à l'axe $I_{Gx}(x)$ et $M_t(x)$ la composante de moment de torsion qui s'applique à la section d'abscisse x .

Pour une section circulaire pleine de diamètre D , on a : $I_{Gx}(x) = \frac{\pi D^4}{32}$ et $M_t(x) = -C_m = -c.F_p$.

Pour dimensionner, on cherche le maximum de $|\tau(x, r)|$ qui est obtenu pour $r = \frac{D}{2}$ et pour toute section puisque toutes les sections sont identiques et sont sollicitées par une composante de moment de torsion constant.

On en déduit que : $|\tau(x, r)|_{\max} = \frac{32C_m}{\pi D^4} \frac{D}{2} \Rightarrow |\tau(x, r)|_{\max} = \frac{16C_m}{\pi D^3}$

Application numérique : $C_m = 7150 \text{ Nm} = 7150.10^3 \text{ Nmm}$ et $D = 20 \text{ mm}$.

$$|\tau(x, r)|_{\max} = \frac{16.7150.10^3}{\pi.20^3} = \frac{16.7150.10^3}{\pi.2^3.10^3} = \frac{2.7150}{\pi} \approx \frac{2.7150}{3,14} = \frac{2.7150}{3.(1+0,05)} \approx 2.2383(1-0,05) = 4767(1-0,05)$$

$$|\tau(x, r)|_{\max} \approx 4767 - 0,05.4767 = 4767 - 238 \Rightarrow |\tau(x, r)|_{\max} \approx 4528 \text{ MPa} \quad (4552 \text{ MPa à l'aide d'une calculatrice}).$$

L'effort tranchant $T_z(x) = F_p$ (ou effort tangentiel aux sections droites), suivant $\vec{z}$, produit une contrainte de cisaillement qui n'est pas uniforme dans chaque section droite. Cette composante de contrainte peut, en général être négligée vis-à-vis des autres composantes de contraintes. Sa valeur moyenne dans une section droite peut être estimée à l'aide de la relation :

$$|\tau_z(x)|_{\text{moy}} = \frac{|T_z(x)|}{S(x)} = \frac{4F_p}{\pi D^2}$$

Application numérique : $F_p \approx 14,3.10^4 \text{ N}$ et $D = 20 \text{ mm}$.

$$|\tau_z(x)|_{\text{moy}} = \frac{4.14,3.10^4}{\pi.20^2} \approx 456 \text{ MPa}$$

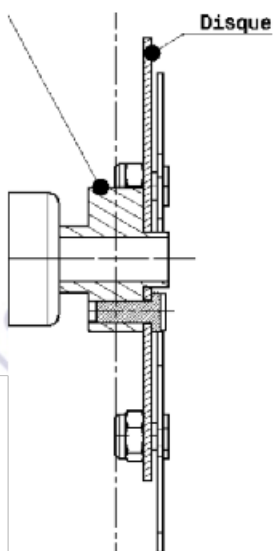
Question 38. Valider le dimensionnement du rotor pour faire face à la torsion engendrée par un bourrage dû à l'herbe.

La contrainte de cisaillement maximale, $|\tau(x, r)|_{\max} \approx 4528 \text{ MPa}$, calculée à la question précédente est bien supérieure à la limite d'élasticité par glissement : $R_{ge} \approx \frac{R_e}{2}$, soit environ : $R_{ge} \approx \frac{290}{2} = 145 \text{ MPa}$.

Le dimensionnement du rotor pour la sollicitation de torsion n'est pas validé.

2. Etude de l'ensemble de coupe

Question 39. A partir du DOCUMENT RESSOURCE IX, indiquer comment est réalisé l'entrainement du support de disque et justifier le choix de cette solution.

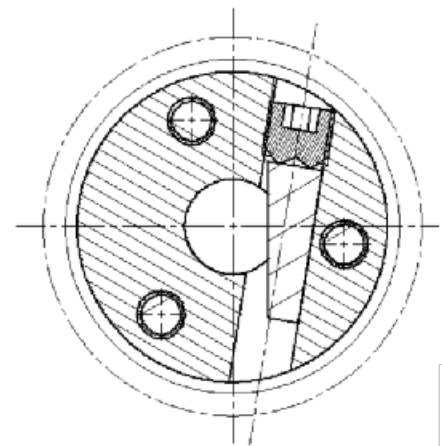


La solution d'assemblage est une solution à cylindre prépondérant.

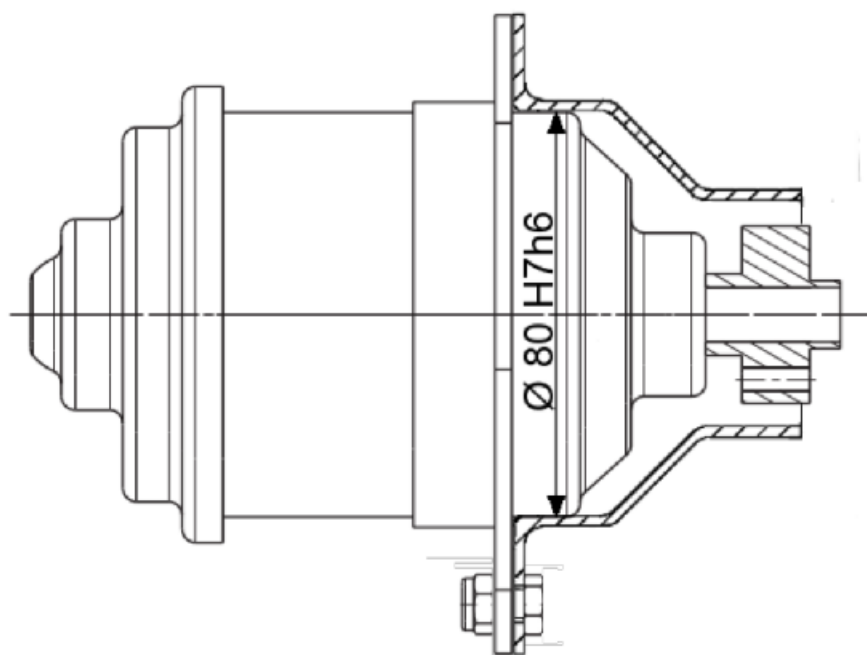
L'arrêt en rotation du support disque est réalisé par obstacle sur un méplat de l'arbre moteur par l'intermédiaire d'une cale pentée serrée par une vis de pression.

Cette solution permet :

- De réaliser un assemblage par obstacles sans jeu.
- De supprimer le degré de liberté en translation par adhérence.



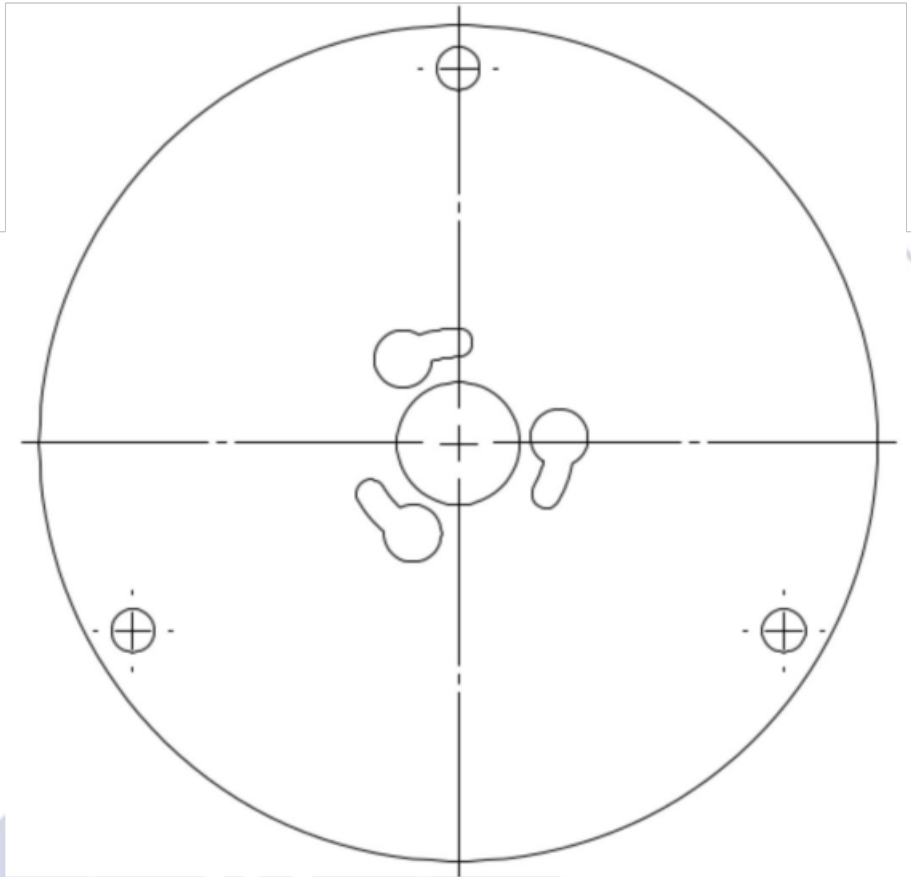
Question 40. Représenter une solution sur le document réponse qui permet d'éviter l'encrassement au niveau de l'arbre (pour simplifier, dessiner le disque sans les systèmes de coupe).



Question 41. Après avoir justifié l'emploi de tête de vis à empreinte fendue, représenter à main levée une nouvelle forme de disque qui permettrait de ne pas dévisser entièrement les vis.

Une tête de vis à empreinte fendue permet :

- de transmettre plus de couple de serrage pour un même encombrement.
- Pas besoin d'une clé plate ou d'une clé six pans de dimension particulière (un simple tournevis plat est suffisant).
- Hauteur de tête réduite par rapport aux têtes des vis H et CHC (réduction de la hauteur d'accrochage des herbes lors de la coupe).



V. INDUSTRIALISATION DU ROBOT

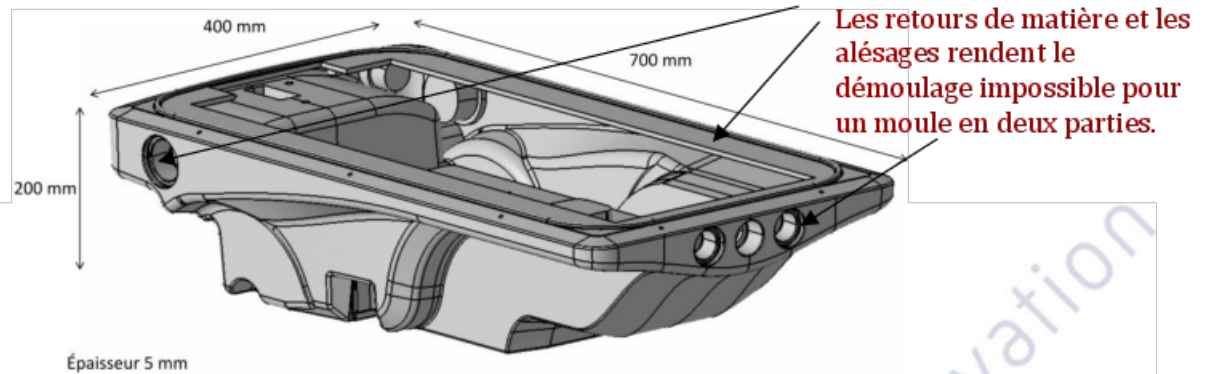
Objectif : Analyser l'industrialisation de plusieurs pièces et la mise en œuvre du contrôle d'une de ces pièces.

Question 42 . Donner deux arguments justifiant l'emploi de matière plastique pour la coque.

- La valeur de la masse volumique des matières plastiques permet de minimiser la masse de la coque et par conséquent, celle du robot.
- La réduction de la masse du robot permet la réduction de la consommation énergétique (réduction de l'inertie dans les phases transitoires, réduction du poids pour un terrain en pente).
- Les matières plastiques ont une bonne résistance aux chocs et à la corrosion.
- Pas d'utilisation de peintures.
- Le matériau peut être recyclé pour respecter l'environnement.

Question 43 . En vous appuyant sur la géométrie de la coque, donner deux raisons expliquant pourquoi l'injection plastique ne peut pas être utilisée pour l'obtention de la pièce.

La taille de la série est insuffisante par rapport au cout de conception et de fabrication du moule d'injection.



L'épaisseur de la pièce est incompatible avec le procédé.

Question 44. Compléter le document réponse afin d'analyser chaque spécification géométrique proposée.

Spécification : $\perp \varnothing 0,1 A$:

Type de spécification : Orientation, Perpendicularité.

Éléments non idéaux :

Élément(s) tolérancé(s) : Unique.

Une ligne réputée rectiligne axe du cylindre $\varnothing 40mm$.

Éléments de référence : Unique.

Une surface A réputée plane.

Éléments idéaux :

Référence(s) spécifiée(s) : Simple.

Plan A tangent du côté libre matière minimisant le critère min-max (Critère d'association de Tchebychev).

Zone de tolérance : Simple.

Volume compris dans un cylindre de diamètre $0,1mm$.

Contraintes :

L'axe du cylindre de la zone de tolérance est perpendiculaire au plan de référence A.

Spécification : $\square 0,1$:

Type de spécification : Forme, Planéité.

Éléments non idéaux : Néant.

Élément(s) tolérancé(s) : Unique.

Une surface réputée plane.

Éléments idéaux : Néant.

Zone de tolérance : Simple.

Volume compris entre deux plans distants de $0,1mm$.

Contraintes : Néant.

Spécification : $\varnothing 0,2 \text{ A B}$:

Type de spécification : Position, Localisation.

Éléments non idéaux :

Élément(s) tolérancé(s) : Groupe.

Éléments de référence : Quatre lignes réputées rectilignes axes des alésages $\varnothing 3,2 \text{ mm}$.

Multiples.

Une surface A réputée plane.

Une surface B réputée cylindrique.

Éléments idéaux :

Référence(s) spécifiée(s) : Système.

Référence primaire :

Plan A tangent du côté libre matière minimisant le critère min-max (Critère d'association de Tchebychev).

Référence secondaire :

Droite B axe du cylindre tangent du côté libre matière minimisant le critère min-max, contraint perpendiculaire à A.

Zone de tolérance : Composée.

Volume compris dans quatre cylindres de diamètre $0,2 \text{ mm}$.

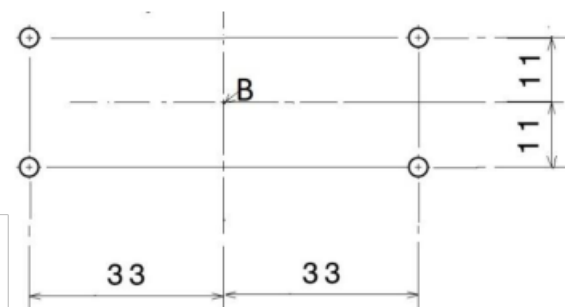
Contraintes :

Orientation :

Les axes des cylindres sont perpendiculaires au plan de référence A.

Position :

Les axes sont situés à des distances de 11 mm et de 33 mm par rapport à la référence B (Voir le schéma suivant en projection dans le plan A).



Question 45. Déterminer la dimension de l'état virtuel au maxi matière de la butée, ainsi que celui de la coque et représenter les résultats sous la forme de spécifications utilisant la norme NF EN ISO 2692 :2021.

La spécification dimensionnelle pour la butée est : $\phi 40 \pm 0,1 \text{ mm}$.

La dimension de l'état virtuel au maxi matière est, par conséquent : $\phi 40,1 \text{ mm}$.

Ce qui conduit à la spécification :

$\perp$	$\phi 0,1 \text{ (M)}$	$[\phi 40,1]$	A
---------	------------------------	---------------	---

La spécification dimensionnelle pour la coque inférieure est : $\phi 40^{+0,8}_{+0,6} \text{ mm}$.

La dimension de l'état virtuel au maxi matière est, par conséquent : $\phi 40,6 \text{ mm}$.

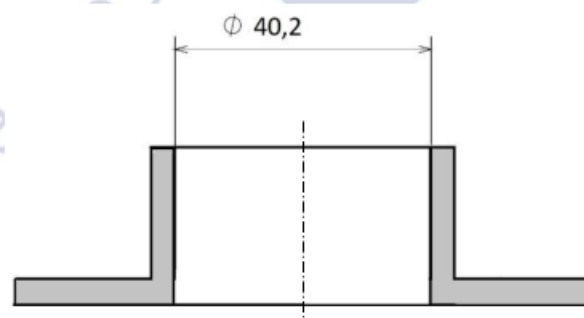
Ce qui conduit à la spécification :

$\perp$	$\phi 0,1 \text{ (M)}$	$[\phi 40,6]$	D
---------	------------------------	---------------	---

Question 46. Indiquer alors quelle est la valeur d'exigence de jeu mini voulu par le concepteur entre la surface cylindrique de la butée et l'alésage de la coque pour assurer la montabilité tout en assurant un appui plan prépondérant.

La valeur du jeu mini est donnée par : $J_{\min} = D_{\min}^{\text{Alésage}} - d_{\max}^{\text{Arbre}} = 40,6 - 40,1 \Rightarrow J_{\min} = 0,5 \text{ mm}$

Question 47. Afin de contrôler la perpendicularité de la butée, représenter la forme d'un gabarit de contrôle en indiquant les dimensions.



Question 48. Expliciter la démarche afin de vérifier la conformité de la spécification de perpendicularité au maximum de matière de la butée.

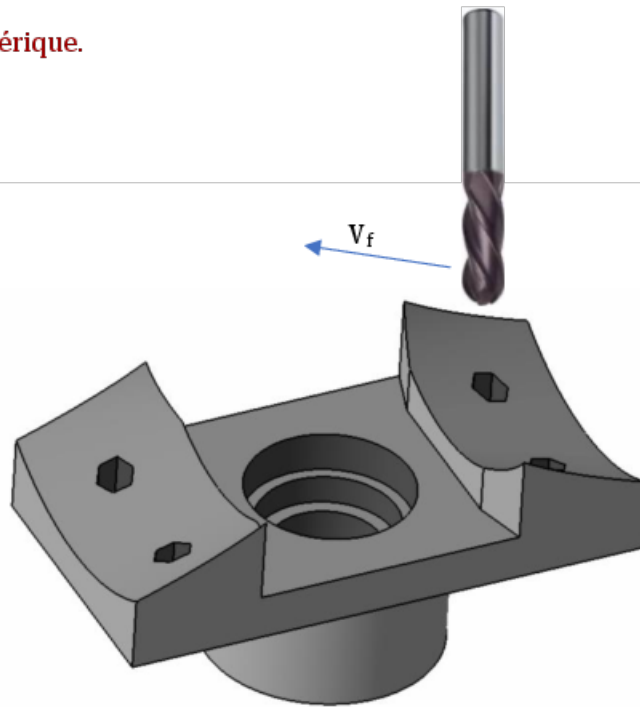
Palper les points sur la surface A $\rightarrow$ Associer le plan A tangent extérieur matière (Critère d'association de Tchebychev).

Palper les points sur la surface réputée cylindrique $\phi 40 \text{ mm}$ $\rightarrow$ Associer cylindre tangent extérieur matière (Critère d'association de Tchebychev) d'axe contraint perpendiculaire à A.

Si le diamètre de ce cylindre est inférieur à $40,2 \text{ mm}$ alors la spécification est vérifiée.

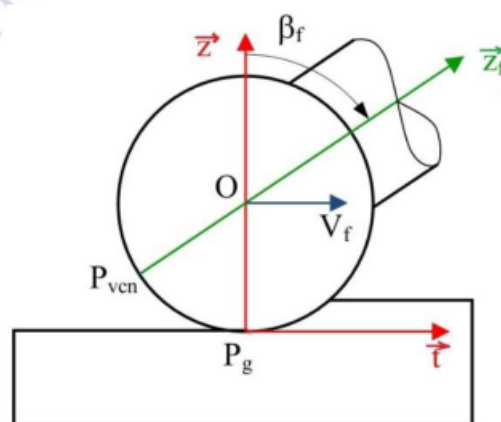
Question 49. Si on utilise la machine 3 axes, indiquer comment réaliser l'étape de finition des surfaces bombées en précisant l'outil choisi puis le dessiner en travail en représentant le vecteur vitesse d'avance.

On utilise une fraise hémisphérique.



Question 50. Indiquer quelles possibilités supplémentaires offre la cinématique de la machine 5 axes pour réaliser cette opération de finition.

La machine 5 axes permet d'orienter l'axe de rotation de la fraise orienté par la direction $\vec{z}_f$ par rapport à la normale $\vec{z}$ (locale) à la surface à usiner. Cette configuration permet d'extraire le point P_{ven} situé sur l'axe de rotation de la fraise et qui a une vitesse de coupe nulle de la matière à usiner.



Cette configuration permet de connaître les points de la fraise en contact avec la matière à usiner et de maîtriser la vitesse de coupe moyenne imposée à l'outil.