

## Contrôle continu de statique

### Étude du robot TROOPER

En culture hors-sol, il faut constamment déplacer les pots pour profiter de la lumière, pour regrouper les cultures, isoler celles qui posent problème, ...

Ce travail est pénible physiquement et les pépiniéristes peinent à trouver de la main d'oeuvre pour réaliser ces tâches quotidiennes difficiles.

La Startup INSTAR ROBOTICS, spécialisée dans le développement de robots d'assistance, a conçu le robot TROOPER qui permet de répondre à ce besoin



### Prise des pots

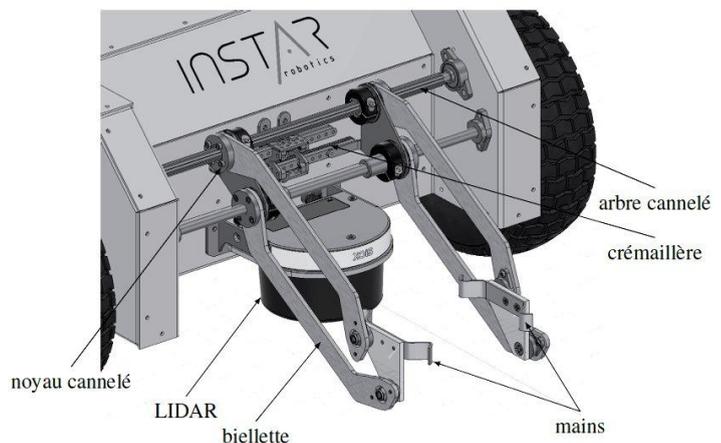
Une des fonctions principales du robot est de pouvoir prendre et déposer des pots d'une taille donnée. L'objectif de cette étude est d'analyser le mécanisme de prise et dépose des pots.

#### Solution brevetée

La société INSTAR ROBOTICS a déposé un brevet concernant la solution permettant de prendre les Pots (figure ci-après). Cette solution utilise deux moteurs, l'un pour rapprocher les bras et l'autre pour les lever et placer un pot dans une zone pouvant contenir 6 pots (magasin). Des capteurs permettent de détecter lorsque les bras sont en position ouverte (bras complètement écartés) ou en position fermée (pinces en contact l'une avec l'autre). De même, des capteurs permettent de détecter la position haute et la position basse des bras.

En position haute, il suffit d'ouvrir les bras pour que le pot soit bien placé dans la zone de stockage des pots.

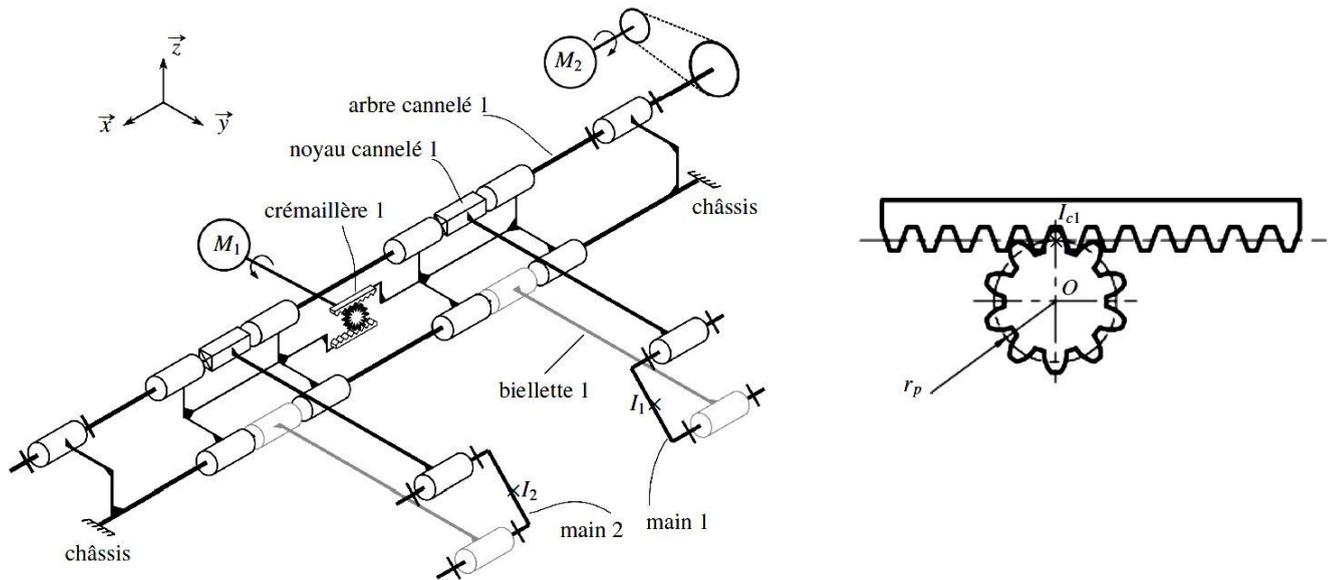
Pour détecter qu'il est possible de lever un pot, le courant  $i$  parcourant les moteurs est utilisé. S'il dépasse une valeur  $i_0$ , cela veut dire que le pot est serré suffisamment fort entre les deux mains et qu'il est possible de le lever.



La zone de stockage des pots est mise en mouvement par un moteur asservi en position qui réalise  $1/6$ e de tour lorsqu'un pot est correctement positionné.

La solution retenue pour prendre les pots est donnée sur le **schéma cinématique de la figure page suivante**.

1) Indiquer quel moteur entraîne le rapprochement des bras ( $M_1$  ou  $M_2$ ) et celui qui permet de soulever le pot. Justifier pourquoi les " mains " se déplacent toujours parallèlement au sol et ce que cela implique sur les pots.



Les motoréducteurs retenus pour prendre et soulever les pots délivrent **un couple maximal de 12 N.m**. Leur **vitesse maximale** est égale à **200 tr/min**.

Le pignon du dispositif pignon-crémaillère possède  $Z = 20$  dents. Le pas entre les dents sur la crémaillère est égal à  $p = 10$  mm. Le rayon du pignon vaut ainsi  $r_p = \frac{Z \cdot p}{2\pi}$

On suppose que les pincers sont en contact ponctuel avec un pot de masse  $m = 10$  kg sans contact avec le sol. P : centre de gravité du pot et tel que  $I_1P = I_2P$

Le coefficient de frottement entre les pincers et le pot est pris égal à  $fp = 0,3$ .

L'accélération de la pesanteur est notée  $-g \cdot \vec{z}$  avec  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Le système présente un plan de symétrie ( $yOz$ ) (répartition des efforts et géométrie)

On note :

$$\{\mathcal{T}_{\text{main 1} \rightarrow \text{pot}}\}_{I_1} = \left\{ \begin{array}{c} N_{1x} \cdot \vec{x} + T_{1z} \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{l'action mécanique de la main 1 sur le pot}$$

$$\{\mathcal{T}_{\text{main 2} \rightarrow \text{pot}}\}_{I_2} = \left\{ \begin{array}{c} N_{2x} \cdot \vec{x} + T_{2z} \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{l'action mécanique de la main 2 sur le pot}$$

$$\{\mathcal{T}_{\text{cremaillere 1} \rightarrow \text{pignon}}\}_{I_{c1}} = \left\{ \begin{array}{c} F_{IC1x} \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{l'action de la crémaillère 1 sur le pignon en } I_{c1}$$

$$\{\mathcal{T}_{\text{cremaillere 2} \rightarrow \text{pignon}}\}_{I_{c2}} = \left\{ \begin{array}{c} F_{IC2x} \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{l'action de la crémaillère 2 sur le pignon en } I_{c2}$$

On suppose l'ensemble à l'équilibre.

- 2) Isoler le pot et faire le bilan des actions appliquées.
- 3) Ecrire les équations d'équilibre du pot (on précisera les théorèmes utilisés)
- 4) En se plaçant à la limite du frottement ( $T = f_p \cdot N$ ), déterminer les composantes normales minimales  $N_{1x}$  et  $N_{2x}$  à appliquer de chaque côté du pot (exprimer  $N_{1x}$  et  $N_{2x}$  en fonction de  $m$ ,  $g$  et  $fp$ )

On cherche à déterminer le couple exercé par le motoréducteur ( C ) pour maintenir à l'équilibre le pot

5) Ecrire la relation qui exprime le couple exercé par le motoréducteur ( C ) en fonction de  $F_{IC1x}$ ,  $F_{IC2x}$  et  $r_p$  ( rayon du pignon )

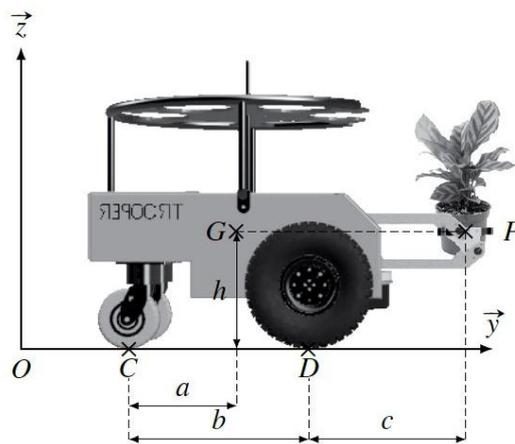
6) Préciser quels solides ou ensembles de solides il faut isoler pour déterminer  $F_{IC1x}$  et  $F_{IC2x}$

7) Réaliser ce ou ces isollements, puis préciser les théorèmes appliqués pour en déduire que le couple minimal vaut  $C = r_0 mg$  en donnant l'expression de  $r_0$  en fonction de  $r_p$  et  $f_p$ .

Sachant que  $r_0 = 106$  mm, vérifier si le motoréducteur retenu est satisfaisant.

### Basculement

Lors de la prise d'un pot, il est possible que le robot bascule. Pour éviter ce problème, la batterie a été placée à l'arrière pour décaler le centre de gravité. L'objectif des questions suivantes est de déterminer la masse d'un pot provoquant le basculement du robot.



Données :  
 $a = 30$  cm  
 $b = 45$  cm  
 $c = 40$  cm  
 $h = 30$  cm

Paramétrage pour l'étude du basculement

8) Décrire la situation la plus défavorable en fonction de la position des bras et du nombre de pots sur le robot sachant que l'on peut avoir de 0 à 5 pots dans le magasin lors de la prise d'un pot.

On note  $M = 60$  kg la masse du robot à vide et  $m = 10$  kg la masse d'un pot.

Le centre de gravité du robot à vide est noté G et le centre de gravité du pot est noté P.

**Le problème est supposé symétrique et plan, ce qui permet de considérer un demi-robot, de masse  $M/2$ , en contact en deux points C et D avec le sol et qui porte un demi-pot de masse  $m/2$ .**

On suppose que les actions mécaniques en C et D sont des glisseurs de résultantes :

$$\vec{F}_{(sol \rightarrow roue\ arriere)} = N_C \cdot \vec{z} + T_C \cdot \vec{y} \quad \text{et} \quad \vec{F}_{(sol \rightarrow roue\ avant)} = N_D \cdot \vec{z} + T_D \cdot \vec{y}$$

On cherche à déterminer l'expression de l'effort normal sur la roue arrière  $N_C$  en fonction de  $g$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $M$  et  $m$ .

9) Préciser le système à isoler ainsi que le point d'expression des torseurs pour appliquer le principe fondamental de la statique

Indiquer l'équation issue du principe fondamental de la statique, qui permet de déterminer l'expression de l'effort normal sur la roue arrière  $N_C$  en fonction de  $g$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $M$  et  $m$ .

10) Ecrire les équations d'équilibre du système isolé puis déterminer l'expression de l'effort normal sur la roue arrière  $N_C$  en fonction de  $g$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $M$  et  $m$ .

11) En cas de basculement, que vaut  $N_C$  ?

Déterminer la condition sur la distance  $c$  en fonction de  $a$ ,  $b$ ,  $M$  et  $m$  pour éviter le basculement

12) Déterminer la masse maximale d'un pot qui entraîne le basculement du robot. Conclure .