



 Ce devoir comporte un exercice et deux problèmes, totalement indépendants.

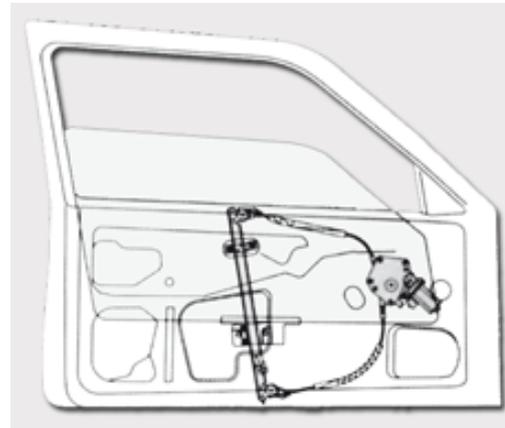
■ L'exercice est inspiré d'un système automatisé d'estampillage. Il permet de travailler diverses notions liées aux systèmes logiques.

**2 points.**



■ Le 1<sup>er</sup> problème est extrait du sujet du concours CCINP PSI 2017, relatif à une commande de lève-vitre de véhicule automobile. Il aborde des aspects mécaniques (modélisation des frottements), des problèmes de codage, ainsi qu'une description par diagramme d'états.

**8 points.**



■ Le 2<sup>e</sup> problème est extrait du sujet du concours CCINP PSI 2021 qui s'intéresse à un robot de transport de pots utilisé en horticulture. Il aborde des aspects mécaniques (cinématiques et statiques), ainsi qu'une description par diagramme d'états.

**10 points**



*La durée de ce devoir est de 4h.*

*Aucun document n'est autorisé.*

*Toute calculatrice autonome est autorisée.*

**Il sera tenu compte de la qualité de la présentation dans la notation.**

*Bon courage.*

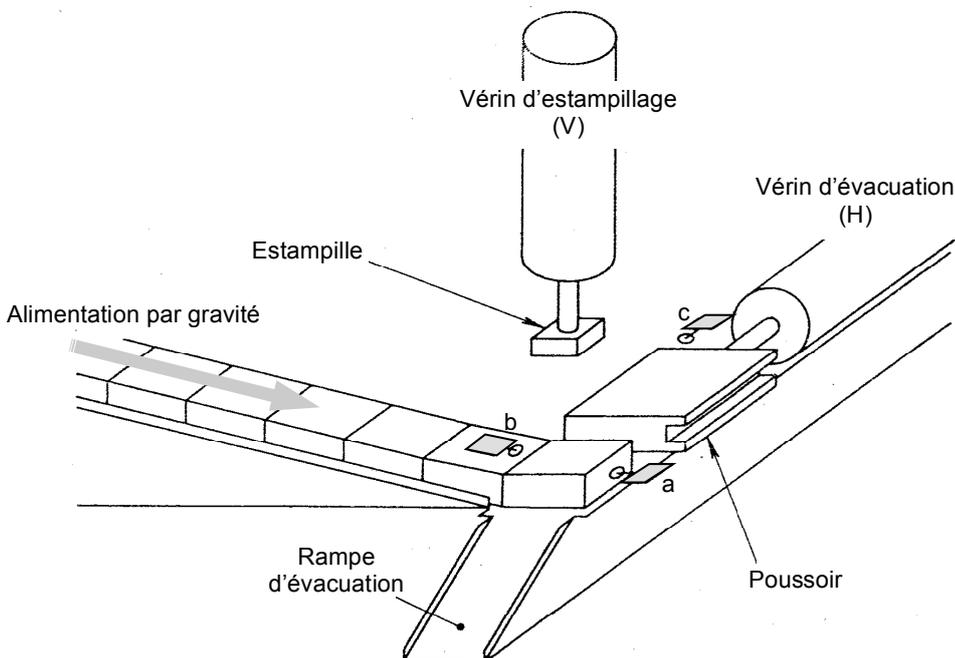
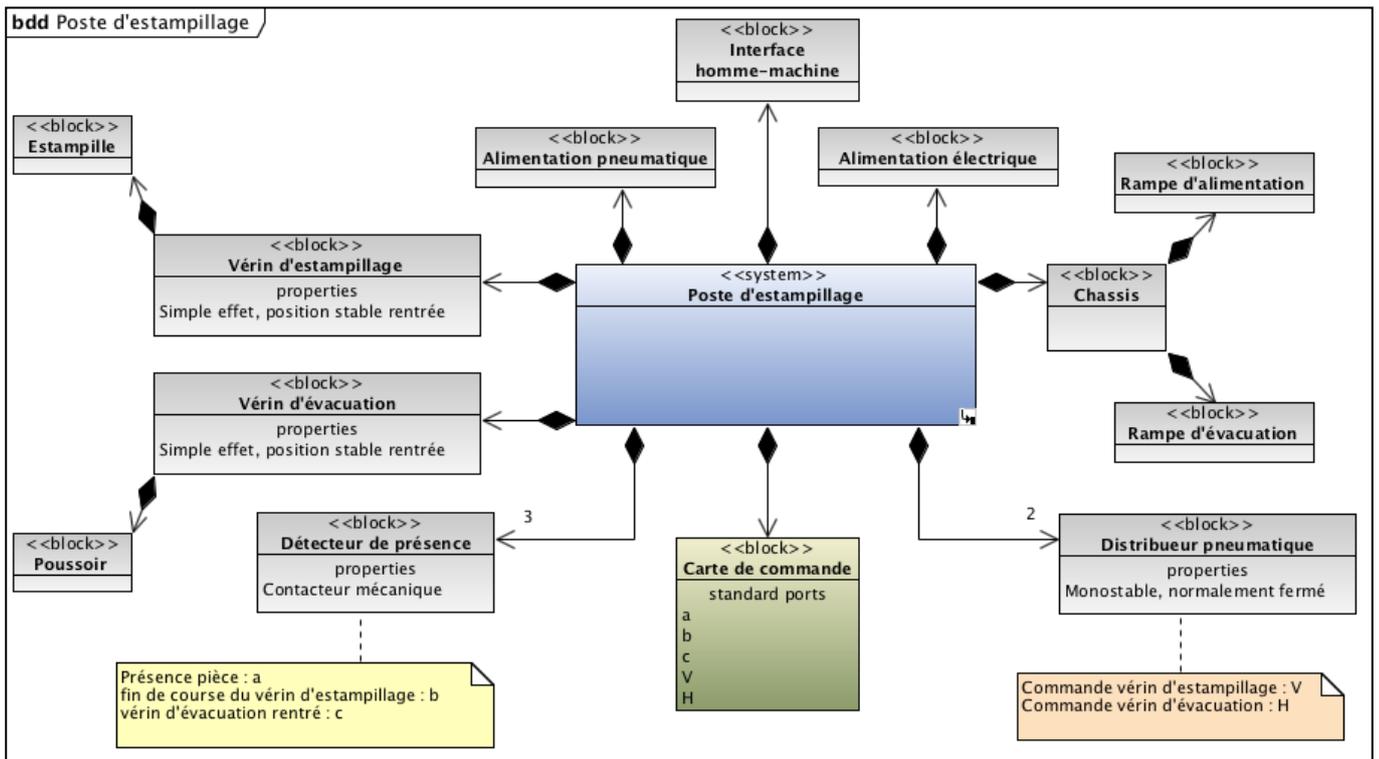
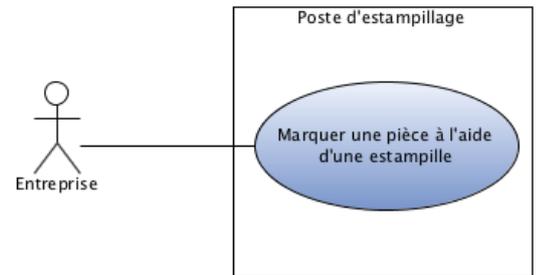
# EXERCICE POSTE D'ESTAMPILLAGE



Le dispositif étudié, décrit sommairement ci-dessous, est utilisé pour estampiller des pièces.

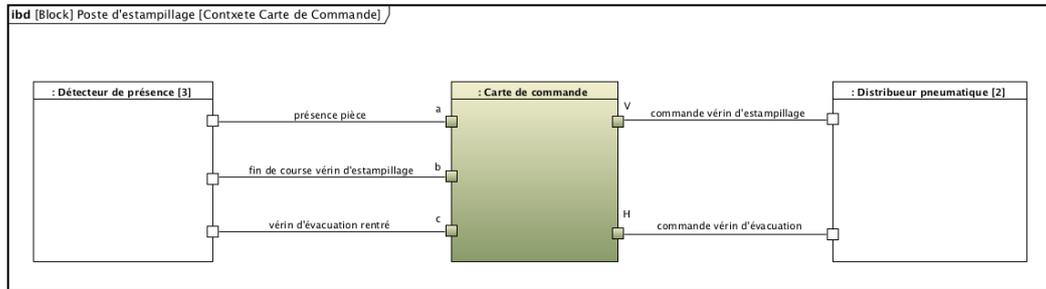
Les pièces arrivent au poste de marquage par gravité, en étant guidées dans une rampe, puis sont évacuées perpendiculairement après marquage.

On distingue tout particulièrement deux vérins pneumatiques (simple effet à rappel par ressort) commandés par les variables V et H, ainsi que trois détecteurs à contact générant les variables binaires a, b et c.



L'affectation des variables aux ports de la carte de commande est la suivante :

- V commande la sortie du vérin d'estampillage
- H commande la sortie du vérin d'évacuation
- a signifie la présence d'une pièce
- b signifie la fin de course du vérin d'estampillage
- c signifie la position quasi-entrée du vérin d'évacuation.



### Comportement attendu

À partir de l'état initial de repos où les deux vérins sont rentrés et aucune pièce présente sur la rampe d'alimentation, le comportement doit être le suivant :

- Lorsqu'une pièce est détectée (a), le vérin d'estampillage est alimenté (V) : **phase 1**.
- En fin de course (b), le vérin d'estampillage reste en position et le vérin d'évacuation est alimenté (H), sans libérer immédiatement c dont la course est assez longue : **phase 2**.
- Dès que le poussoir est suffisamment sorti pour libérer c, l'alimentation de V est coupée et l'avancée du vérin d'évacuation se poursuit jusqu'à ce que la pièce soit évacuée : **phase 3**.
- La **phase 4** est la phase de retour à l'état de repos.

Répondre aux questions suivantes, exclusivement sur le document réponse.

1) Compléter le diagramme d'états de la carte de commande ébauché sur le document réponses en indiquant les différentes transitions manquantes afin de spécifier le comportement attendu.

2) Établir un chronogramme des entrées/sorties pour un cycle d'estampillage (les durées seront arbitraires). *Important : on peut considérer que le retour du vérin d'estampillage est suffisamment rapide pour libérer immédiatement b.*

3) Compléter la table de vérité de ce système.

4) On lit sur cette table que les expressions logiques des fonctions V et H peuvent être :

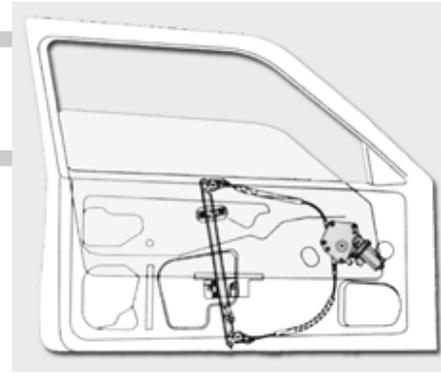
$$V = a.c$$

$$H = b + a.\bar{c}$$

Compléter le schéma du document-réponse en faisant figurer la structure de la carte de commande selon un logigramme utilisant une cellule OU à deux entrées, deux cellules ET à deux entrées et une cellule NON.

## PROBLÈME 1

### Lève vitre automatique de véhicule automobile



Attention : certaines réponses sont à apporter sur le document fourni à cet effet.

## COMMANDE GÉNÉRIQUE D'OUVRANTS PILOTÉS AUTOMOBILES

Les constructeurs automobiles sont sans cesse dans l'obligation d'innover pour rester attractifs vis-à-vis du client. Les ouvrants pilotés automobiles font partie des atouts différenciateurs. Le terme ouvrant désigne à la fois les lève-vitres électriques, les toits ouvrants, les toits escamotables, les coffres motorisés et les portes latérales coulissantes. Tous ces ouvrants sont une source d'attrait pour le client, de par leur praticité ou encore par leurs facteurs de différenciation importants.



Figure 1 – Différents types d'ouvrants du groupe PSA

Il existe deux types de pilotage des ouvrants :

- le premier est un système classique et/ou d'assistance. L'utilisateur gère complètement le déplacement de l'ouvrant. Dès qu'il arrête son action sur la commande, l'ouvrant s'immobilise, c'est le cas par exemple du lève-vitre électrique non séquentiel. Ainsi, avec un système classique et/ou d'assistance, le déplacement de l'ouvrant est entièrement imputable aux actions de l'utilisateur ;
- le second type est le pilotage automatisé des ouvrants. Ici, l'utilisateur demande simplement à ce que l'ouvrant se déplace jusqu'à une position prédéfinie. Une brève action de sa part entraîne le déplacement complet de l'ouvrant. Pour le lève-vitre électrique séquentiel, l'utilisateur demande à ce que la vitre remonte complètement, par une courte action sur l'interrupteur. Dès lors, le système de contrôle/commande gère le déplacement de l'ouvrant dans le cas normal, mais aussi en cas de dysfonctionnement (perte de fonctionnalité ou présence d'un obstacle sur le trajet de la vitre). Il faut donc assurer un fonctionnement sûr et robuste du système d'ouvrant piloté automatisé pour éviter que le système blesse un occupant.

## Objectif

L'objectif du travail proposé dans ce sujet est de mettre en place différentes stratégies de commande d'un lève-vitre électrique de Peugeot 308 de manière à pouvoir extrapoler les résultats à une porte coulissante électrique. Cette étude nécessite :

- une analyse de l'architecture du lève-vitre (partie I) ;
- une modélisation multiphysique du système (partie II) ;
- la mise en place d'un modèle de commande tout ou rien (partie III) ;
- ~~le développement d'un modèle de commande de type asservissement continu (partie IV).~~

Le diagramme des exigences de la **figure 3** liste quelques performances attendues pour le lève-vitre électrique.

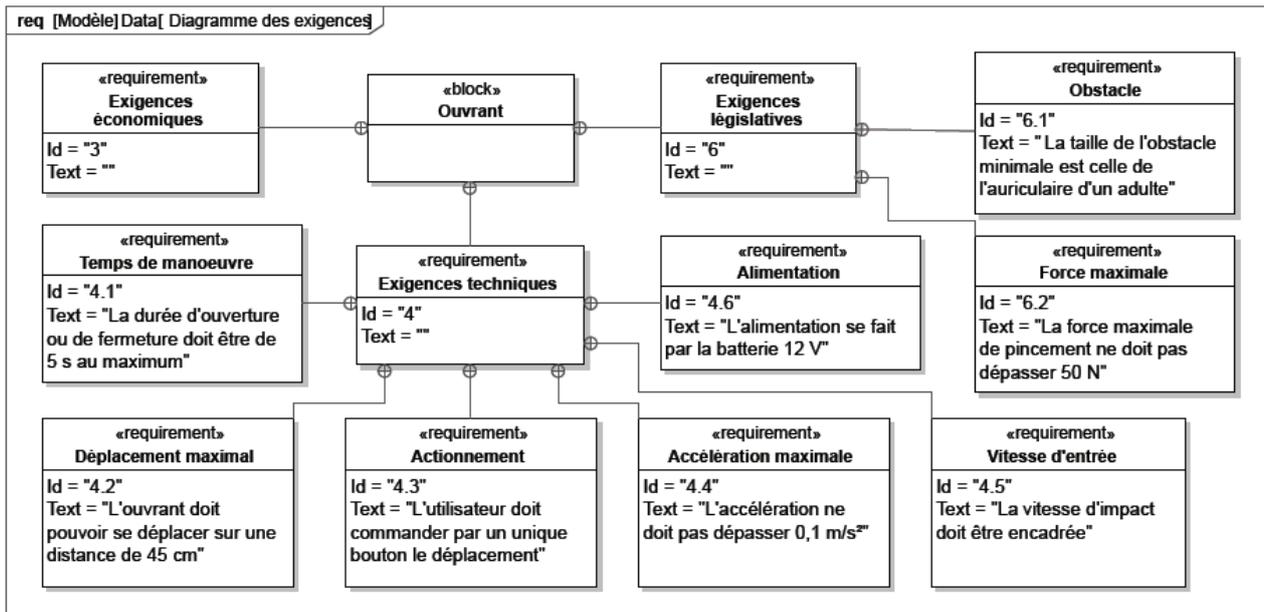


Figure 3 – Diagramme des exigences

## I Architecture du lève-vitre

Pour le développement et la mise en œuvre d'une architecture de commande, il est nécessaire de disposer d'un modèle de simulation fiable et précis, tout en connaissant ses limites de validité. L'élaboration d'un tel modèle nécessite de décrire l'implantation de la chaîne d'énergie et de la chaîne d'informations de l'ouvrant.

Le diagramme de définitions de blocs de la **figure 4**, page suivante, liste l'ensemble des constituants principaux du lève-vitre électrique. La plupart des constituants sont repérés sur les vues tri-dimensionnelles données en **annexe VI.1**, page 15.

**Q1.** Compléter, à l'aide des noms disponibles sur le diagramme de la **figure 4**, le schéma des chaînes fonctionnelles du document réponse **DR1**.

Le réducteur du lève-vitre est constitué d'un dispositif roue et vis sans fin. La roue possède  $Z = 53$  dents et la vis est constituée d'un filet (**figure 19**, page 16). Le câble s'enroule sur le tambour de diamètre  $D = 41,5$  mm, solidaire de la roue. Le câble est solidaire du coulisseau sur lequel est fixée la vitre.

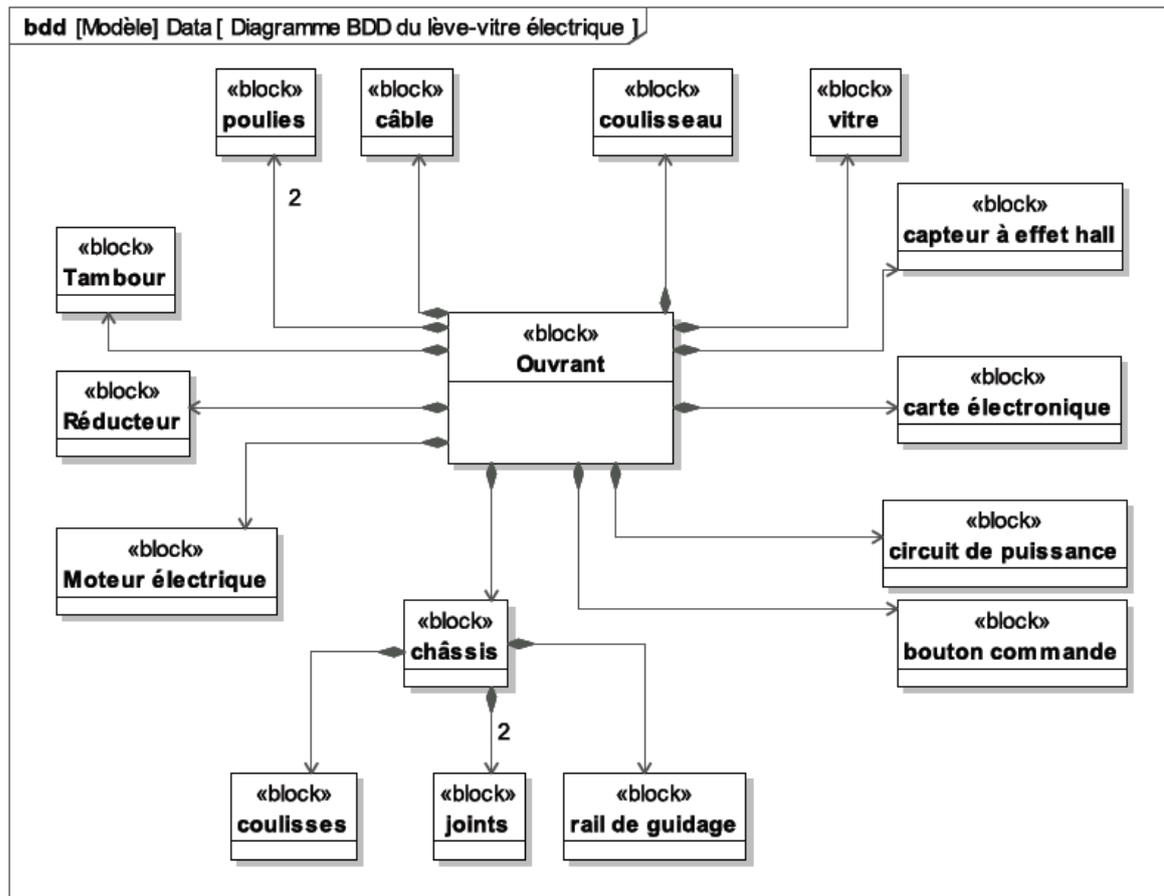


Figure 4 – Diagramme de définitions de blocs (BDD) du lève-vitre électrique

On note  $v(t)$  la vitesse de déplacement en translation de la vitre et  $\omega_m(t)$  la vitesse angulaire du moteur.

Q2. Déterminer l'expression littérale du rapport de réduction  $r$  (roue et vis + poulie) tel que  $v(t) = r\omega_m(t)$ . Effectuer l'application numérique.

On prendra dans la suite la valeur  $r = 0,39 \text{ mm rad}^{-1}$ .

Q3. Déterminer le nombre de tours que doit faire le moteur pour obtenir le déplacement de la vitre indiqué dans le diagramme des exigences.

Q4. Sachant que le régime nominal du moteur est de 4 000 tours/minute, en déduire la durée (en s) d'ouverture/fermeture de la fenêtre. Conclure quant à l'exigence correspondante du diagramme des exigences.

## II Modélisation multiphysique du système

Un modèle multiphysique doit être mis en place pour pouvoir prendre en compte tous les phénomènes qui apparaissent lors du fonctionnement de la vitre sans et avec obstacle.

Le schéma-blocs est donné sur la **figure 5**, page suivante.

Les différents éléments intervenant dans ce modèle doivent être caractérisés séparément pour obtenir une représentation la plus fidèle possible de la réalité.

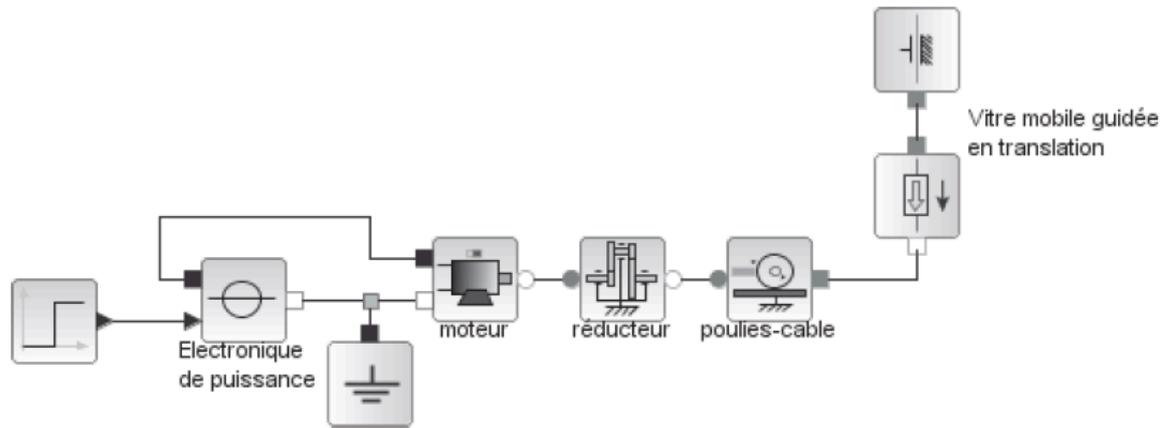


Figure 5 – Schéma-blocs du lève-vitre sans obstacle

## II.1 Modélisation du guidage

### II.1.1 Guidage d'une vitre

Le guidage de la vitre est réalisé par un coulisseau en contact avec un rail parallélépipédique et par des coulisses en contact avec la vitre (**annexe VI.1**, page 15). Les joints latéraux et intérieur sont également en contact avec la vitre (**figure 6**).

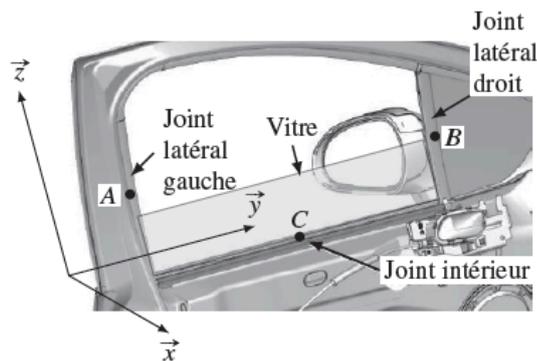


Figure 6 – Implantation et repère des joints

On modélise la liaison glissière entre la vitre et le châssis par le graphe des liaisons de la **figure 7**.

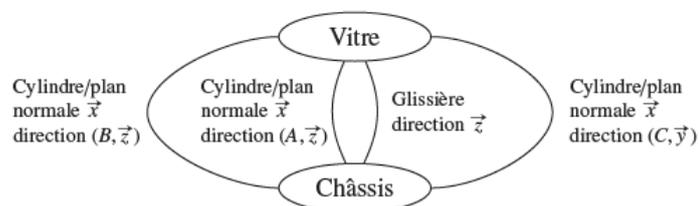


Figure 7 – Graphe des liaisons entre la vitre et le châssis

Questions 5 à 9 supprimées

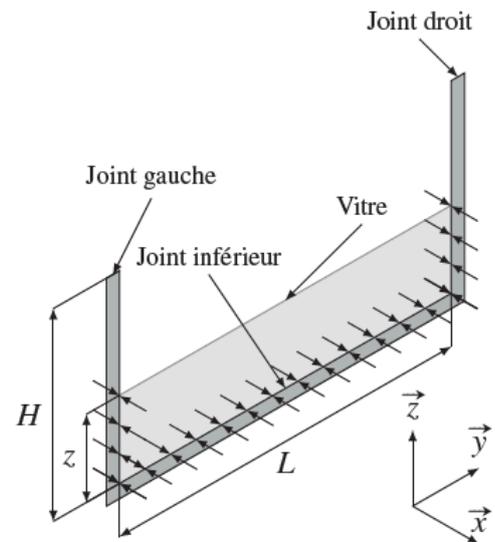
## II.2 Modélisation des efforts de frottement

D'un point de vue des actions mécaniques, les joints jouent fortement sur le comportement de la motorisation au cours du temps. C'est pourquoi il est important d'évaluer l'impact des frottements entre les joints et la vitre sur le comportement du système. Les joints appliquent une action de part et d'autre de la vitre. Il s'agira de justifier si un modèle simplifié peut être utilisé pour l'élaboration de la commande à la fin de la **partie II**.

Le paramétrage est donné sur la **figure 10** où seules les actions normales sont représentées. Le contact entre le joint inférieur et la vitre est permanent et se fait approximativement sur un segment de longueur  $L = 776$  mm.

Le contact entre les joints latéraux (gauche et droit) se fait progressivement au cours du déplacement de la vitre. La hauteur des deux joints, supposés identiques, est  $H = 450$  mm.

Le coefficient de frottement entre un joint et la vitre est pris égal à  $f = 0,5$ . Les zones de contact sont supposées être linéiques et la densité linéique d'effort au contact entre un joint et la vitre est supposée constante et égale à  $p = 25$  N m<sup>-1</sup>.



**Figure 10** – Paramétrage et représentation des efforts normaux uniquement

**Q10.** Déterminer l'expression littérale de la résultante selon  $\vec{z}$  de l'action mécanique du joint inférieur sur la vitre au cours du déplacement de celle-ci.

On suppose que la vitesse de déplacement de la vitre est constante et que le temps du déplacement complet est de 4 s.

**Q11.** Représenter l'évolution au cours du temps de la résultante des efforts résistants selon  $\vec{z}$  de l'ensemble des joints sur la vitre (2 joints verticaux de hauteur  $H$  et un joint horizontal de longueur  $L$ ). Donner les valeurs numériques minimale et maximale de cet effort.

Sur le schéma-blocs du document réponse **DR3**, apparaissent les actions de frottements qui sont exercées sur la vitre.

**Q12.** Indiquer sur ce schéma l'action du joint horizontal inférieur et l'action des joints verticaux latéraux.

## II.3 Modélisation du contact avec un obstacle

Dans le cas d'un ouvrant piloté, l'obstacle est souvent une main. Des études montrent que les phalanges sont très résistantes et peuvent supporter des efforts allant de 250 à 1 150 N en fonction des différentes phalanges.

On modélise donc l'obstacle entre le châssis et la vitre par une raideur  $k$  (cette raideur peut varier de 10 à 50 N/mm).

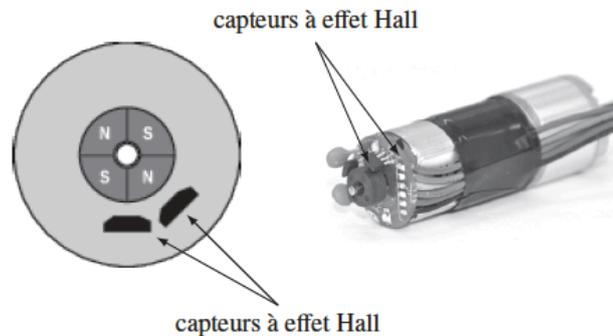
Questions 13 à 15 supprimées

### III Commande tout ou rien

#### III.1 Mesure de la position de la vitre

La position de la vitre est détectée à l'aide de capteurs à effet Hall situés près du moteur (**figure 13, page suivante**). Une roue magnétique possédant 2 paires de pôles Nord/Sud est solidaire de l'axe du rotor du moteur. Deux capteurs à effet Hall sont placés en quadrature et repèrent les changements de champ magnétique (fronts montants et descendants) de la roue en fonction de la rotation du moteur.

**Q16.** Quels sont les intérêts d'utiliser deux capteurs à effet Hall placés en quadrature ?



**Figure 13** – Principe du capteur à effet Hall

Compte-tenu des capteurs utilisés, il est possible d'obtenir une précision de  $1/8^e$  de tour du moteur.

**Q17.** Déterminer le plus petit déplacement de la vitre en mm qu'il est possible de mesurer avec ce capteur.

**Q18.** En prenant une raideur d'obstacle  $k = 20 \text{ N/mm}$  correspondant à la dernière phalange de l'auriculaire, combien d'impulsions auront été comptées à partir du moment où la phalange commence à être écrasée jusqu'à ce que l'effort dans la phalange soit de 50 N (diagramme des exigences, **figure 3**) ?

#### III.2 Analyse de la qualité de la mesure de la vitesse

Pour détecter un obstacle, une solution envisagée est d'utiliser la mesure de la vitesse dont les variations sont plus grandes que celles du courant. La vitesse de rotation du moteur est tout d'abord calculée. Lorsque la variation de cette vitesse est supérieure à une valeur donnée, on indique qu'un obstacle est rencontré et le moteur est stoppé.

Les simulations de la partie précédente montrent qu'il faut détecter rapidement la variation de vitesse, ce qui impose de prendre une période d'échantillonnage de 10 ms au maximum. Ainsi, toutes les 10 ms, le programme va calculer la vitesse en prenant le nombre d'impulsions comptées depuis le dernier calcul et en le divisant par la période d'échantillonnage.

**Q19.** En supposant que le moteur tourne parfaitement à la vitesse nominale de 300 rad/s, déterminer le nombre d'impulsions moyen  $N_{\text{moy}}$  mesuré à chaque période d'échantillonnage.

Le nombre  $N$  réellement utilisé par le programme est un entier égal, soit à l'entier immédiatement inférieur à  $N_{\text{moy}}$ , soit à l'entier immédiatement supérieur. Par conséquent, il y a deux valeurs possibles pour la vitesse de rotation du moteur.

**Q20.** Déterminer les deux valeurs extrêmes de rotation du moteur en tours/min.

**Q21.** Conclure quant à la pertinence de l'utilisation de la variation de la vitesse pour obtenir un résultat fiable pour la détection.

### III.3 Mise en place de l'algorithme de commande

L'algorithme finalement mis en place se base sur la variation des temps mesurés entre deux impulsions successives. Après la détection d'une impulsion, un prédicteur temporel permet de déterminer le temps auquel la prochaine impulsion est attendue. Si la nouvelle impulsion intervient avant le temps prédit, alors il n'y a pas de blocage, sinon un blocage est détecté et une alarme est déclenchée.

En réalité, cette technique conduit à de fausses détections et une modification permettant d'améliorer la robustesse est de ne déclencher l'alarme qu'au bout de 3 dépassements du temps prédit.

Cet algorithme est résumé sur la **figure 14** pour lequel :

- **appui bouton haut** est un évènement qui survient quand le bouton « monter la vitre » est actionné,
- **M+** est la variable permettant de faire tourner le moteur dans le sens de la montée de la vitre, ~~M0 permet d'arrêter le moteur,~~
- **impulsion** est un évènement qui survient à chaque nouvelle impulsion envoyée par les capteurs,
- **fin course haut** est un évènement permettant de détecter l'arrivée en position haute de la vitre,
- **prediction()** est une fonction qui renvoie le temps auquel la prochaine impulsion est attendue,
- **alarme** permet d'activer l'alarme.

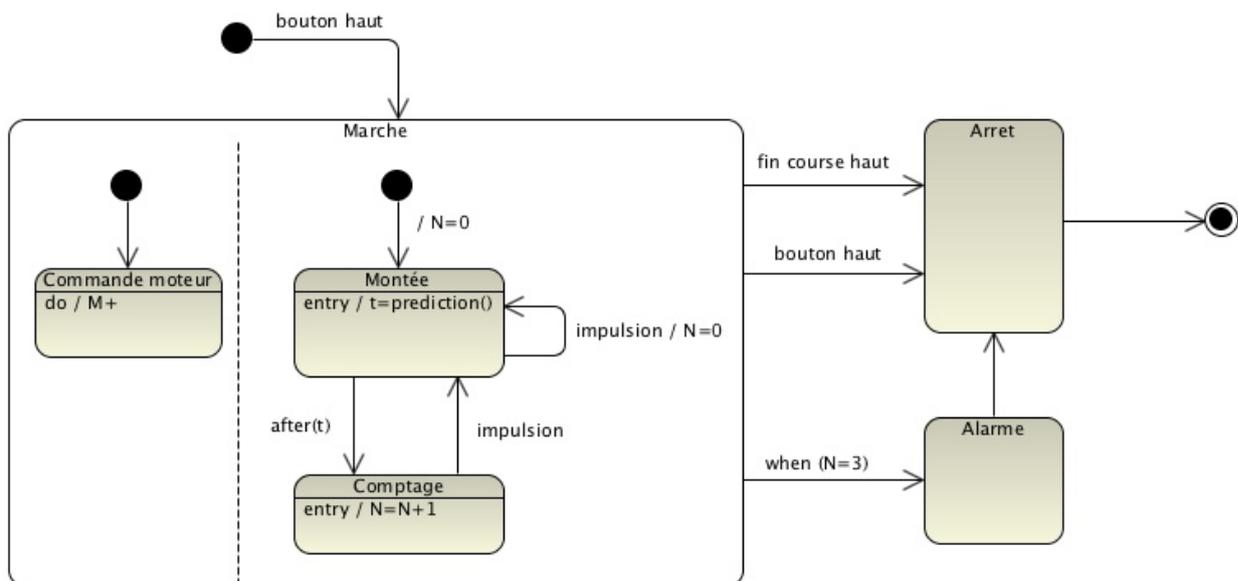


Figure 14 – Diagramme d'état de l'algorithme en version simplifiée

**Q23.** Compléter le chronogramme du document réponse **DR4** en indiquant par des créneaux les durées pendant lesquelles un état est activé et l'évolution du contenu de la variable **N**. La durée de l'alarme et de l'arrêt est supposée très faible et sera représentée par un dirac (une impulsion).

Fin de l'extrait



Numéro	Désignation
01	support glissière
02	support tambour
03	carter réducteur
04	coulisseau
05	accroche vitre
06	tambour
07	câble
08	poulie
09	axe
10	serre câble tambour
11	serre câble coulisseau
12	ressort

Numéro	Désignation
13	support rotor
14	vis d'assemblage
15	axe réducteur
16	vis d'assemblage
17	écrou soudé M5
18	carter moteur
19	vitre
20	attache vitre
21	vis rondelle à tôle
22	butée caoutchouc
23	cannelures

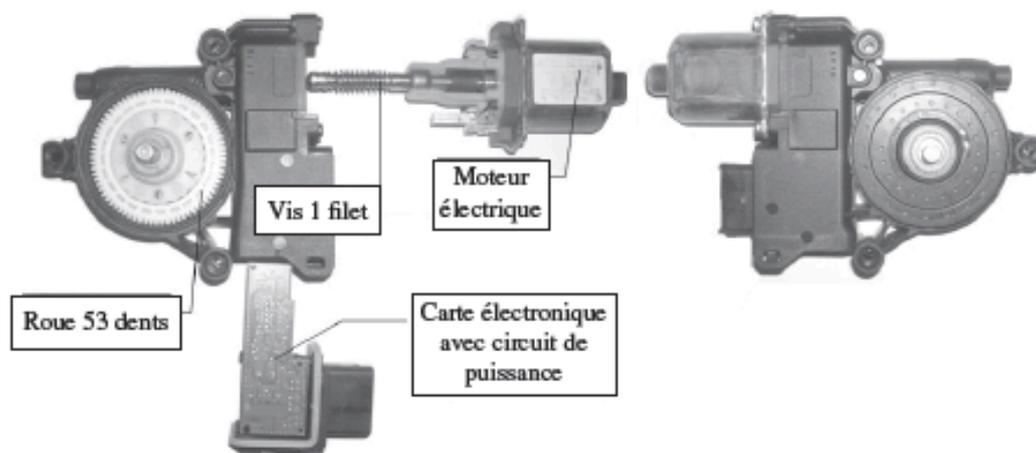


Figure 19 – Eclaté du moto-réducteur

## VI.2 Palette d'éléments pour la modélisation

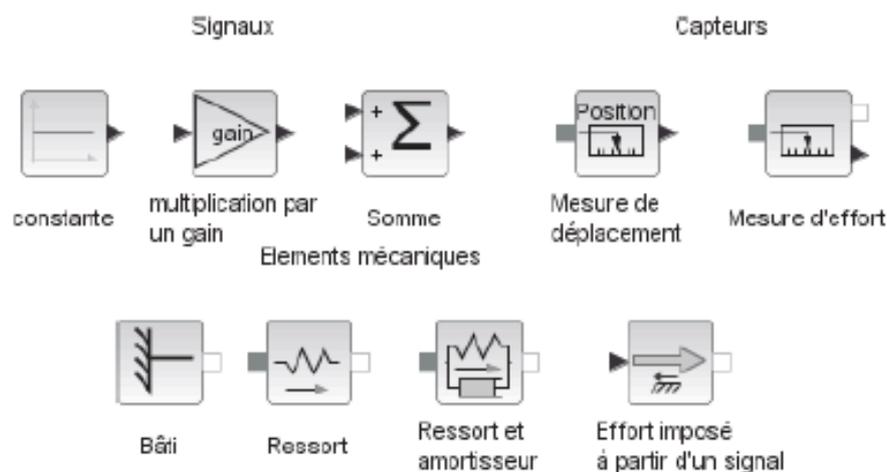


Figure 20 – Palette de constituants ou fonctions standards

FIN

## PROBLÈME 2

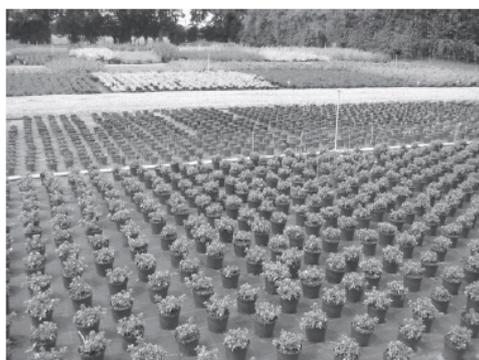
### Robot TROOPER



Attention : certaines réponses sont à apporter sur le document fourni à cet effet.

### Partie I - Problématique et objectif

En culture hors-sol (**figure 1**), 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.



**Figure 1** - Exemple de culture hors-sol



**Figure 2** - Robot TROOPER de la société INSTAR ROBOTICS

La Startup INSTAR ROBOTICS, spécialisée dans le développement de robots d'assistance, a conçu le robot TROOPER qui permet de répondre à ce besoin (**figure 2**).

L'objectif du travail proposé dans cette épreuve est de justifier les solutions techniques retenues par la société INSTAR ROBOTICS dans le but de respecter le cahier des charges élaboré en partenariat avec des pépiniéristes.

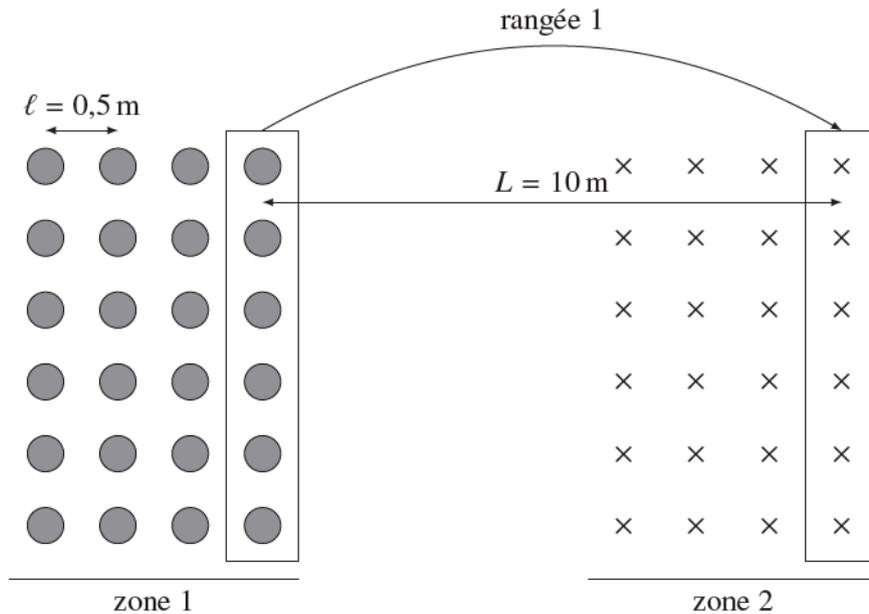
### Partie II - Cahier des charges

Les spécifications que doit respecter le robot sont directement liées aux contraintes imposées par la culture hors-sol.

Une des contraintes majeures est la vitesse à laquelle le robot doit se déplacer et réaliser les opérations de prise/dépose de pots afin d'être si possible aussi rapide qu'une personne.

Un exemple de tâche à réaliser consiste à déplacer 4 rangées de 6 pots d'une zone à une autre. Le robot doit prendre les 6 pots de la rangée 1 de la zone 1, puis les déplacer dans la rangée 1 de la zone 2, de même pour les autres rangées.

On note  $T_p$  le temps de prise d'une rangée de 6 pots, égal au temps de dépose (ce temps inclut toutes les manoeuvres et est estimé à 30 s). On suppose que le robot se déplace à la vitesse constante  $V$  en ligne droite sur une distance  $L = 10$  m séparant les rangées de chaque zone (**figure 3**). La distance entre deux rangées d'une zone est notée  $\ell = 50$  cm.



**Figure 3** - Tâche à effectuer par le robot

Un employé qui utilise un chariot à pousser (pour déplacer 6 pots à chaque fois) met un temps total  $T_m$  pour réaliser cette tâche de repositionnement de 4 rangées de pots.

- Q1.** Déterminer la vitesse  $V$ , supposée constante, à laquelle doit se déplacer le robot en ligne droite pour réaliser la tâche au maximum en  $T_m$  secondes en fonction de  $L$ ,  $\ell$ ,  $T_m$  et  $T_p$ .  
Faire l'application numérique pour une durée  $T_m$  de 320 secondes.

Les autres éléments du cahier des charges pourraient être justifiés de la même manière. Le diagramme des exigences de la **figure 4** liste les éléments principaux utiles pour le dimensionnement du robot.

Le robot est constitué de plusieurs chaînes d'énergie et d'information. Nous analyserons dans un premier temps les chaînes d'énergie et d'information relatives au déplacement du robot, puis, dans un second temps, celles relatives à la prise et dépose des pots.

Pour se déplacer, le robot utilise deux roues motorisées indépendantes à l'avant et deux roues folles à l'arrière. Le robot embarque une batterie pouvant délivrer jusqu'à 100 Volts. Une carte de commande dédiée à chaque moteur utilise l'information d'un codeur incrémental monté sur chaque axe moteur pour donner des ordres au hacheur pilotant ce même moteur. Un réducteur permet d'adapter la vitesse de rotation du moteur pour la transmettre à la roue. Pour permettre au robot de se diriger correctement, un dispositif LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging : émetteur/récepteur infrarouge) fournit des informations sur l'environnement à un micro-ordinateur qui se charge d'envoyer des consignes aux cartes de commande des moteurs. L'utilisateur peut communiquer avec le robot à l'aide d'une tablette en Bluetooth.

- Q2.** À l'aide des informations ci-dessus, compléter les chaînes d'énergie et d'information pour le déplacement du robot.

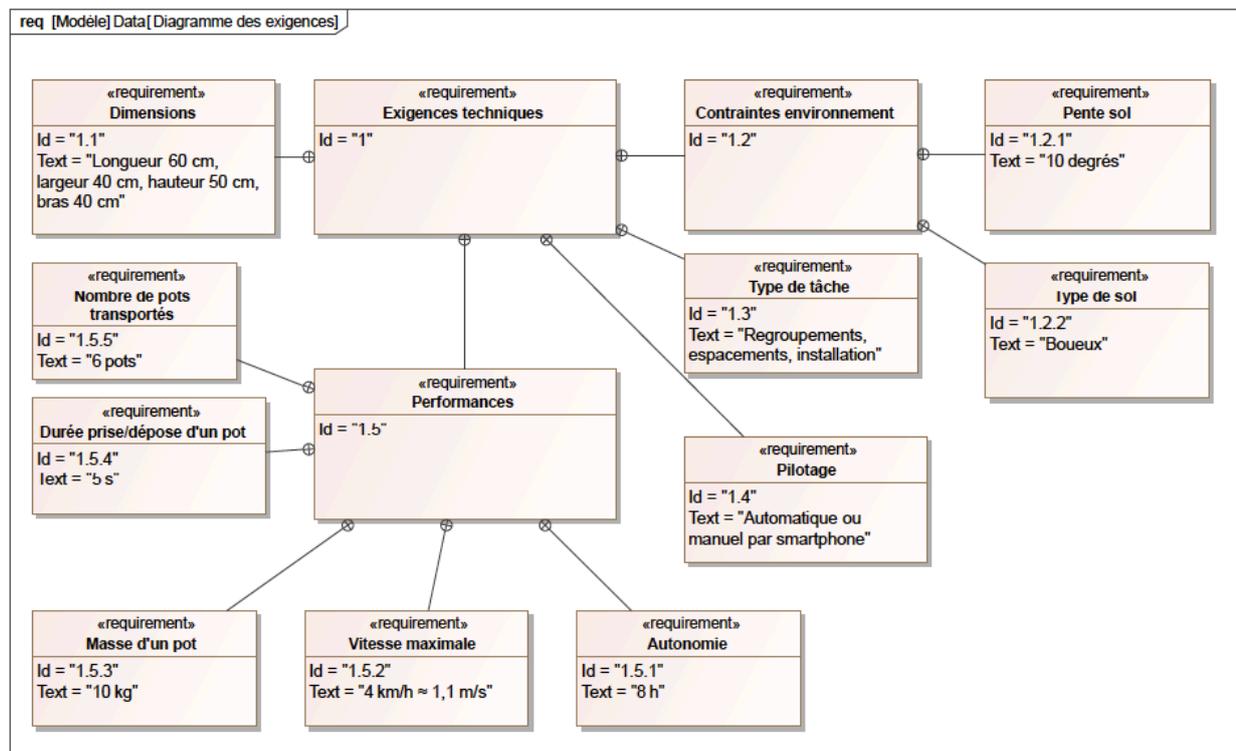


Figure 4 - Diagramme des exigences du robot Trooper

## Partie III - Déplacement du robot

Nous allons montrer tout d'abord la nécessité d'asservir en vitesse les moteurs pour assurer un déplacement correct du robot.

### III.1 - Nécessité d'un asservissement en vitesse

Chaque roue motorisée du robot a pour rayon  $r = 15 \text{ cm}$  et le rapport de réduction du réducteur associé à chaque moteur vaut  $k_r = 1/40$ .

Les caractéristiques d'un moteur sont :

- $J_m = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  moment d'inertie de l'ensemble motoréducteur ramené sur l'arbre moteur,
- $k_m = 0,2 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$  constante de couple (égale à la constante de vitesse),
- $R_m = 1 \Omega$  résistance interne du moteur,
- vitesse maximale du moteur égale à  $3000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

**Q3.** Vérifier que les éléments choisis permettent de respecter le critère de vitesse maximale défini dans le diagramme des exigences.

Questions 4 à 14 supprimées

### III.3 - Pilotage du robot

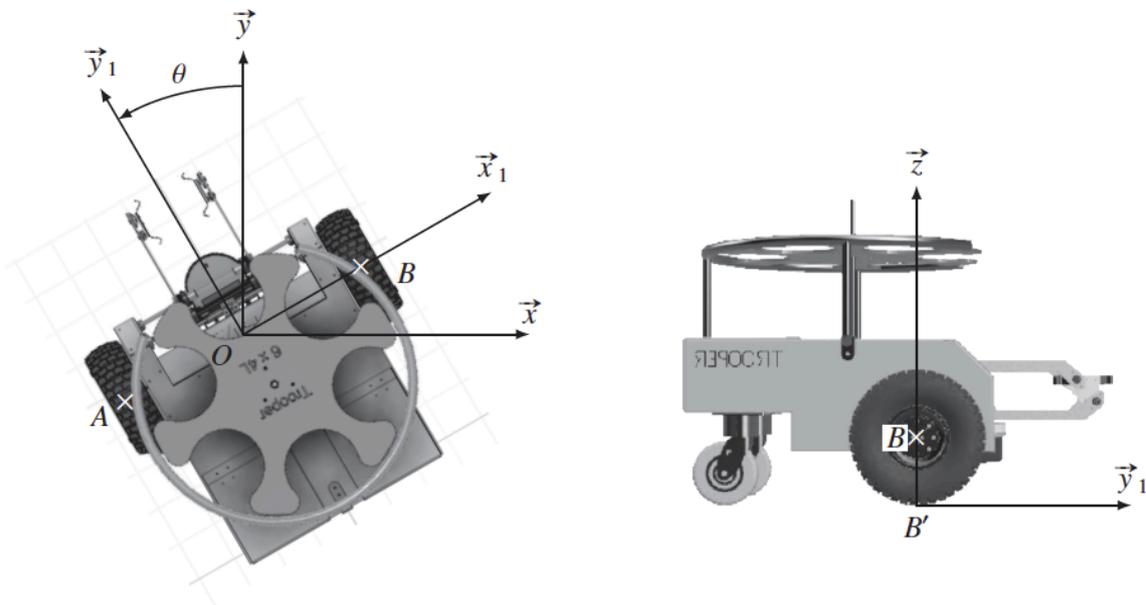
La société qui développe le robot propose une application sur tablette qui permet, soit de piloter manuellement le robot, soit de lui faire réaliser des tâches automatisées. Pour cela, le robot utilise le LIDAR qui détermine la position des pots environnants par rapport au robot.

Pour pouvoir se déplacer dans toutes les directions, il faut contrôler le comportement du robot et notamment définir correctement les consignes de vitesse de chaque roue motorisée.

Le paramétrage du robot est donné sur la **figure 8**.

La distance séparant les centres des roues motrices au point  $O$  est notée  $e = AO = OB$ . Le rayon d'une roue est noté  $r$ .

On suppose que le mouvement du robot noté 1 par rapport au sol noté 0 est défini par le torseur cinématique  $\{\mathcal{V}_{1/0}\} = \begin{Bmatrix} \dot{\theta} \vec{z} \\ V \vec{y}_1 \end{Bmatrix}_O$ . On note  $A'$  le point de contact de la roue gauche avec le sol et  $B'$  le point de contact de la roue droite avec le sol. On note  $\omega_d$  (respectivement  $\omega_g$ ) les vitesses de rotation des roues droite (notée d) et gauche (notée g) par rapport au robot 1.



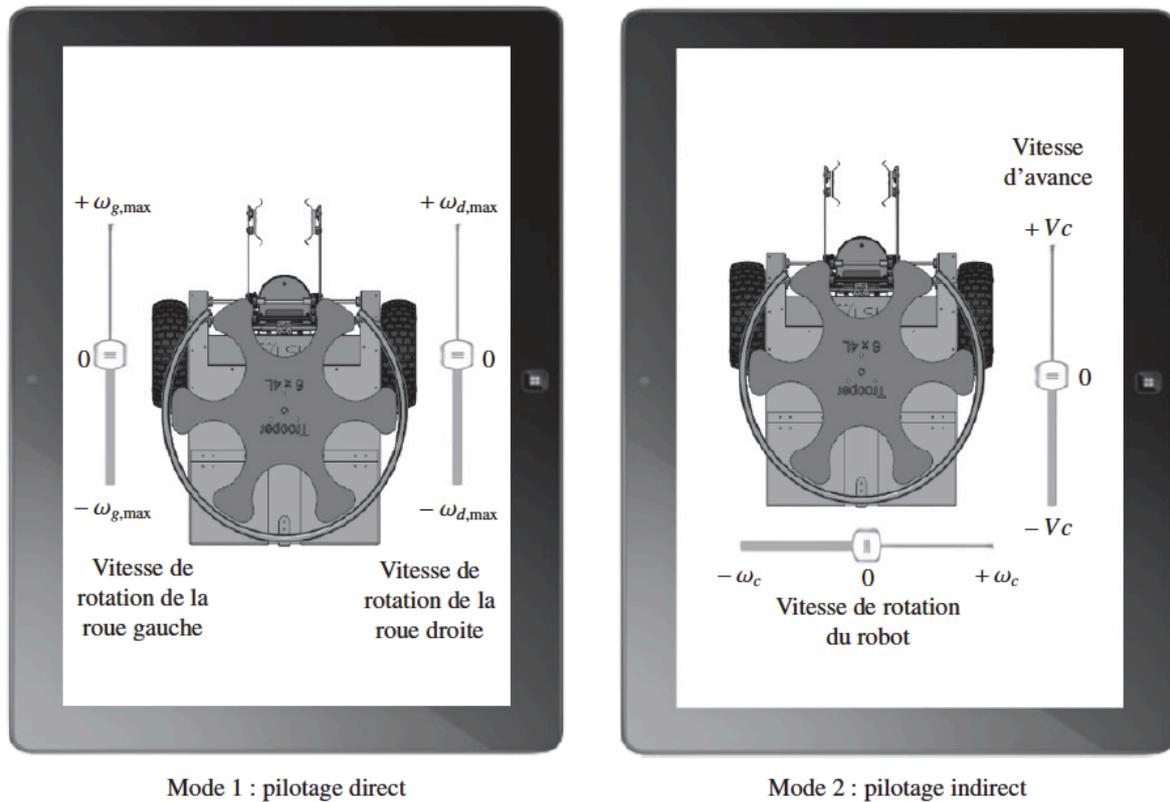
**Figure 8** - Paramétrage du robot en virage

- Q15.** Déterminer la vitesse  $\vec{V}(A' \in g/0)$  en fonction de  $V$ ,  $\omega_g$ ,  $\dot{\theta}$ ,  $e$  et  $r$ . De même, sans détailler les calculs, donner l'expression de  $\vec{V}(B' \in d/0)$  en fonction de  $V$ ,  $\omega_d$ ,  $\dot{\theta}$ ,  $e$  et  $r$ .
- Q16.** En utilisant l'hypothèse de roulement sans glissement en  $A'$  et en  $B'$ , montrer que  $\dot{\theta} = C_1(\omega_g - \omega_d)$  et  $V = -C_2(\omega_d + \omega_g)$  où  $C_1$  et  $C_2$  sont des constantes positives à exprimer en fonction des données.

Il existe deux modes de pilotage manuel (**figure 9**).

Dans le premier cas (pilotage direct), on contrôle la vitesse de chaque roue grâce à deux curseurs : le robot est difficile à déplacer.

Dans le second cas (pilotage indirect), un premier curseur permet de spécifier la vitesse du centre du robot entre  $-V_c$  et  $+V_c$  et un autre curseur permet de contrôler la vitesse de rotation du robot  $\dot{\theta}$  entre  $-\omega_c$  et  $+\omega_c$  (rotation autour de l'axe  $(O, \vec{z})$ ). En utilisant le curseur de vitesse d'avance uniquement on peut faire avancer ou reculer le robot. Si on utilise uniquement le deuxième curseur (vitesse de rotation du robot), on peut le faire tourner sur place vers la gauche ou vers la droite.



**Figure 9** - Application de pilotage du robot

**Q17.** Indiquer les consignes qu'il faut imposer à chaque roue pour obtenir les quatre déplacements souhaités en fonction de  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $V_c$  et  $\omega_c$ .

Le LIDAR donne la distance qui sépare un pot du robot ainsi que l'angle par rapport à la direction d'avance du robot. Avec ces informations, pour aller récupérer un pot, il suffit de faire tourner le robot sur lui-même (en faisant tourner une roue dans un sens et l'autre dans le sens inverse avec  $V = 0$ ) d'un angle  $\theta_c$  pendant un temps  $t_c$  à une vitesse angulaire donnée  $\omega_c$  pour l'orienter correctement (pour ce déplacement, on notera  $\pm \omega_1$  la vitesse de rotation des roues). Puis, on fait avancer le robot vers le pot en ligne droite (pour ce déplacement, les vitesses des roues sont notées  $\pm \omega_2$ ). Lorsque la distance  $\ell$  renvoyée par le LIDAR est inférieure ou égale à une distance donnée  $\ell_c$ , le robot s'arrête pour pouvoir prendre le pot.

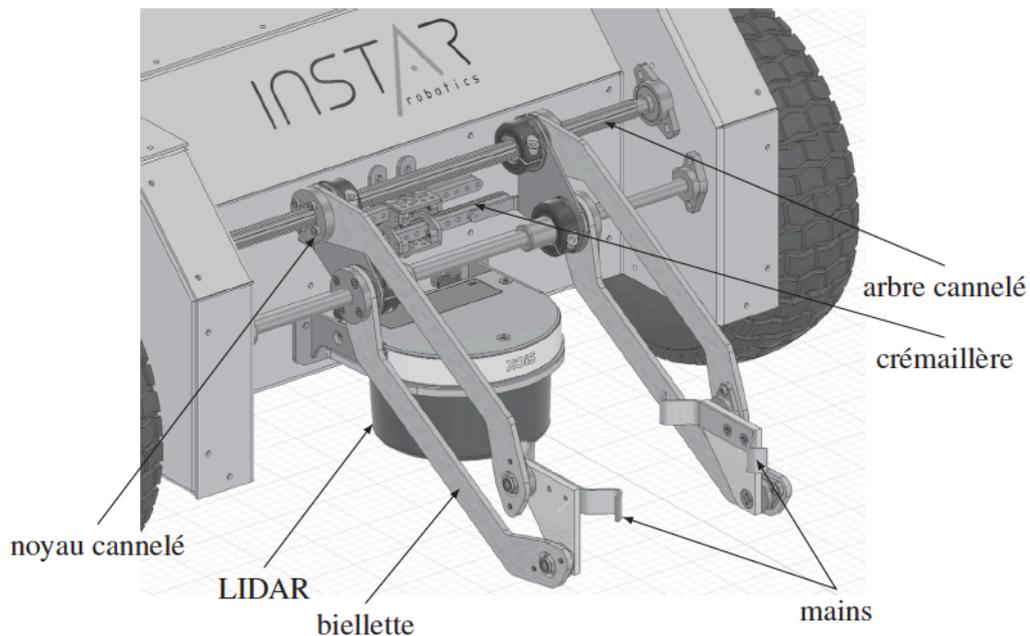
**Q18.** Compléter les info-bulles du diagramme d'état qui décrit le comportement du robot avec les valeurs de  $\omega_d$  et  $\omega_g$ , ainsi que les deux transitions manquantes.

## Partie IV - Prise des pots

La deuxième fonction principale du robot est de pouvoir prendre et déposer des pots d'une taille donnée. L'objectif de cette partie est d'analyser le mécanisme de prise et dépose des pots.

### IV.1 - Solution brevetée

La société INSTAR ROBOTICS a déposé un brevet concernant la solution permettant de prendre les pots (**figure 10**). 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 (pincés 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.



**Figure 10** - Description du mouvement bras

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.

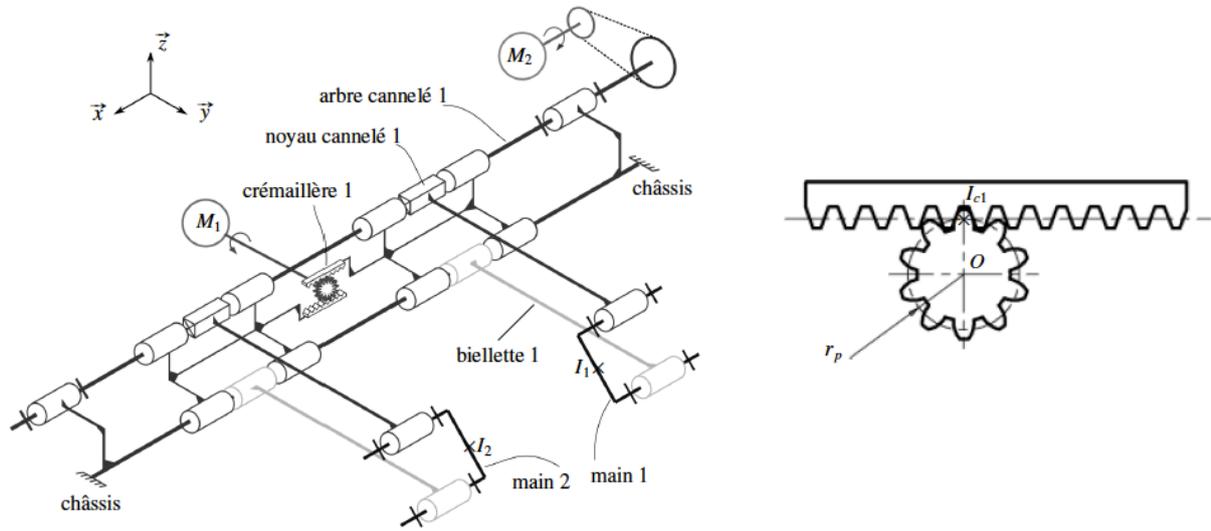
On lit sur les **figures 11 et 13** page suivante que :

Le moteur  $M_1$  permet le rapprochement des mains (il agit sur l'engrenage pignon-crémaillère).

Le moteur  $M_2$  permet le levage des pots.

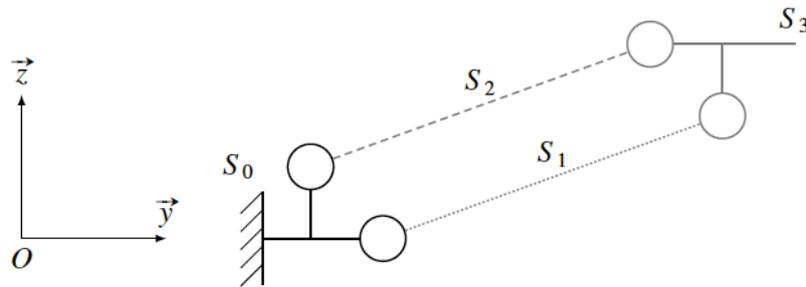
Le mouvement des mains par rapport au châssis est assuré par un mécanisme à 4 barres formant un parallélogramme déformable : on a alors un mouvement de translation circulaire ce qui permet aux pots de rester parallèles au sol lors du mouvement.

Questions 19 à 22 (et figure 12) supprimées



**Figure 11 - Cinématique du système de prise des pots**

Le mouvement d'élévation d'une main est réalisé par un mécanisme qui peut être modélisé comme sur la **figure 13**.



**Figure 13 - Modélisation simplifiée du mécanisme d'élévation**

Les motoréducteurs retenus pour prendre et soulever les pots délivrent un couple maximal de  $12 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Leur vitesse maximale est égale à  $200 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ . Le pignon du dispositif pignon-crémaillère possède  $Z = 20$  dents. Le pas entre les dents sur la crémaillère est égal à  $p = 10 \text{ mm}$ . Le rayon du pignon vaut ainsi  $r_p = \frac{Zp}{2\pi}$ . On suppose que les pinces sont en contact ponctuel avec un pot de masse  $m = 10 \text{ kg}$  sans contact avec le sol. Le coefficient de frottement entre les pinces et le pot est pris égal à  $f_p = 0,3$ . L'accélération de la pesanteur est notée  $-g\vec{z}$  avec  $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

On note :

$$\begin{aligned}
 - \{T_{\text{main1} \rightarrow \text{pot}}\} &= \left\{ \begin{array}{c} N_1 \vec{x} + T_1 \vec{z} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{I_1} \quad \text{l'action mécanique de la main 1 sur le pot;} \\
 - \{T_{\text{main2} \rightarrow \text{pot}}\} &= \left\{ \begin{array}{c} -N_2 \vec{x} + T_2 \vec{z} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{I_2} \quad \text{l'action mécanique de la main 2 sur le pot.}
 \end{aligned}$$

L'action mécanique d'une crémaillère sur le pignon est simplement modélisée par un glisseur de résultante portée par  $\vec{x}$  appliquée en un point  $I_{ci}$  ( $i = 1$  ou  $i = 2$ ). On suppose l'ensemble à l'équilibre.

**Q23.** En isolant le pot, déterminer les composantes normales minimales  $N_1$  et  $N_2$  à appliquer de chaque côté du pot.

**Q24.** Préciser la démarche de résolution permettant de déterminer le couple exercé par le motoréducteur pour maintenir à l'équilibre le pot (isolements et théorèmes). En déduire que le couple minimal vaut  $C = r_0 m g$  en donnant l'expression de  $r_0$  en fonction de  $r_p$  et  $f_p$ . Sachant que  $r_0 = 106 \text{ mm}$ , vérifier si le motoréducteur retenu est satisfaisant.

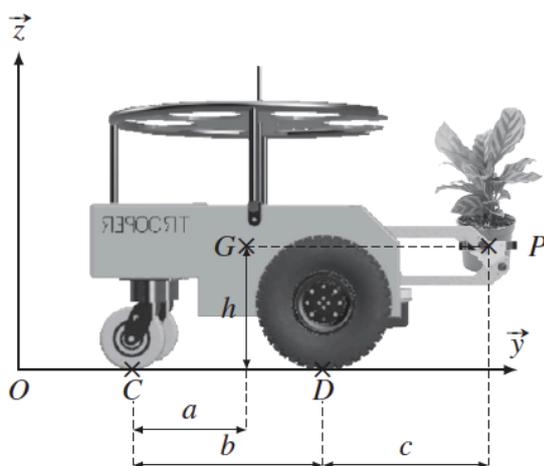
## IV.2 - Basculement

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.

**Q25.** Décrire la situation la plus défavorable en fonction de la position des bras et du nombre de pots sur le robot.

On utilise le paramétrage de la **figure 14**. 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  $m/2$ .



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

**Figure 14** - Paramétrage pour l'étude du basculement

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

$$\vec{F}(\text{sol} \rightarrow \text{roue arrière}) = N_C \vec{z} + T_C \vec{y} \text{ et } \vec{F}(\text{sol} \rightarrow \text{roue avant}) = N_D \vec{z} + T_D \vec{y}.$$

**Q26.** En précisant le système isolé et en choisissant une seule équation issue du principe fondamental de la statique, déterminer l'expression de l'effort normal sur la roue arrière  $N_C$  en fonction de  $g$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $M$  et  $m$ .

**Q27.** Déterminer la masse maximale d'un pot qui entraîne le basculement du robot. Conclure vis-à-vis du diagramme des exigences.

On note  $\gamma$  l'accélération longitudinale du robot,  $C_{mr}$  le couple induit par les motoréducteurs sur les roues avant,  $r$  le rayon des roues avant,  $f = 0,5$  le facteur de frottement des roues sur le sol. On néglige le moment d'inertie des roues selon leur axe de rotation.

Le problème est toujours 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. On se place dans le cas où le robot ne porte pas de pot. On peut montrer que :

$$\frac{M}{2} \gamma = T_C + T_D \quad (5)$$

$$\frac{M}{2} g = N_C + N_D \quad (6)$$

$$-bN_C + (b-a)\frac{M}{2}g = -h\frac{M}{2}\gamma. \quad (7)$$

**Q29.** Sachant que seule la roue avant est motrice (contact en  $D$ ), en déduire l'expression littérale de  $T_D$ .

On retient une accélération égale à celle spécifiée en deuxième partie :  $\gamma = 1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

**Q30.** Déterminer numériquement  $T_D$  puis  $N_D$  pour les valeurs retenues et indiquer si la roue avant glisse ou non dans cette situation.

**Q31.** En se plaçant à la limite du glissement en  $D$ , donner l'expression et la valeur de l'accélération maximale qu'il est possible d'avoir pour éviter le glissement. En déduire la durée de la phase d'accélération permettant d'atteindre la vitesse maximale dans ces conditions.

## Partie V - Synthèse

Le diagramme d'état donné dans le **Document Réponse** propose une description possible des différentes tâches réalisées par le robot pour la configuration décrite au départ (**Q1**). Pendant tout le fonctionnement, le LIDAR fournit la distance entre le robot et le pot à prendre. Au départ, l'utilisateur amène le robot manuellement en position initiale (les bras sont en bas et écartés). Ensuite, le bouton start est actionné, le cycle peut commencer. On rappelle que la description des capteurs à disposition est donnée dans le paragraphe introductif de la sous-partie **IV.1**.

**Q32.** En vous aidant des informations données tout au long du sujet, compléter les états à l'aide des propositions suivantes : " rapprochement des bras ", " écartement des bras ", " élévation des bras ", " abaissement des bras " et " rotation magasin de  $60^\circ$  ".

**Q33.** Compléter les 6 transitions en pointillées du diagramme d'état représentant l'état composite " prise d'un pot ". Vous utiliserez notamment les évènements " haut ", " bas ", " écartés ".  
Ne pas oublier de prendre en compte le compteur de pots  $N$ .