

Durée de l'épreuve : 2h00

Aucun document autorisé - Calculatrice interdite

Cet énoncé comporte 7 pages numérotées de 1 à 7.

Les réponses se feront exclusivement sur le document réponses – Aucun autre document ne sera corrigé.

La notation tiendra compte de la justesse des résultats ainsi que de la rédaction et du soin apporté à la composition.

Robot de maraîchage Oz 440

On s'intéresse à un robot de maraîchage Oz 440 développé par la société Naïo Technologies dont on donne une description structurelle **figure 1** ainsi qu'un extrait de cahier des charges **figure 2**. Ce robot est un outil autonome agricole capable d'assister les maraîchers dans les tâches les plus pénibles comme le transport de charges lors des récoltes et le désherbage mécanique à l'aide d'un outil de binage.

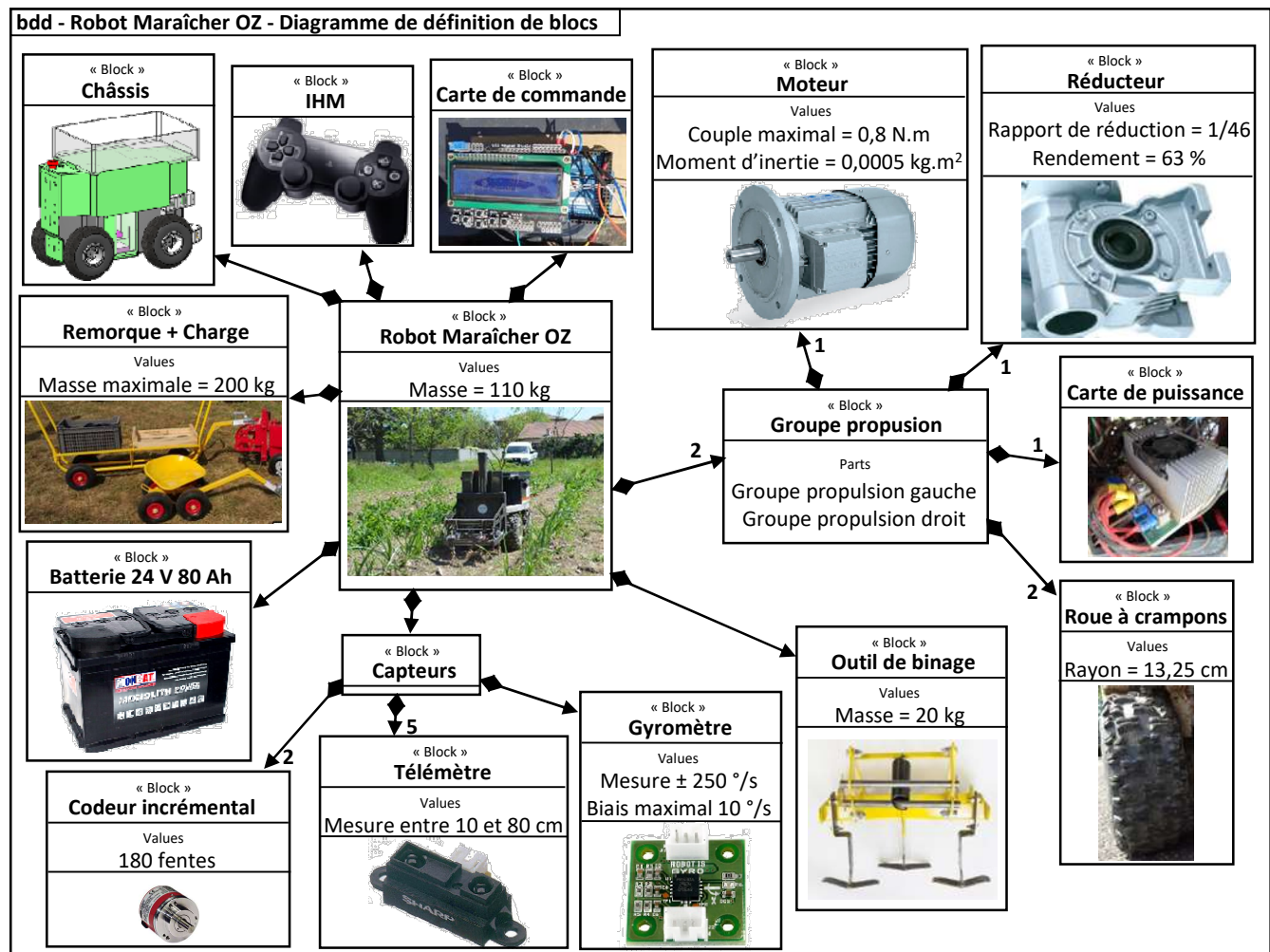
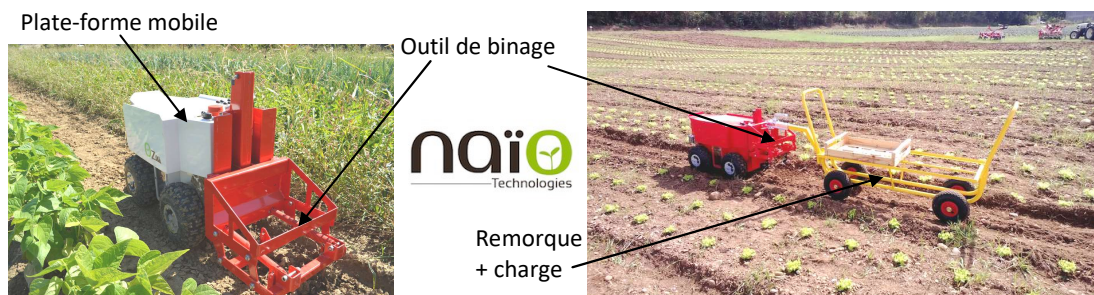


Figure 1 - Diagramme de définition de blocs.

Ce robot de petite taille évolue directement entre les rangées de cultures pour un travail de précision. Il peut, par exemple, désherber et aussi suivre des personnes lors de la récolte tout en transportant des charges. Bien plus petit qu'un tracteur classique, il ne casse pas la structure naturelle du sol et évite ainsi le phénomène de compaction des sols provoqué habituellement par les tracteurs ou le piétinement de l'homme. Il roule lentement et passe au plus près des cultures sans risquer de les abîmer.

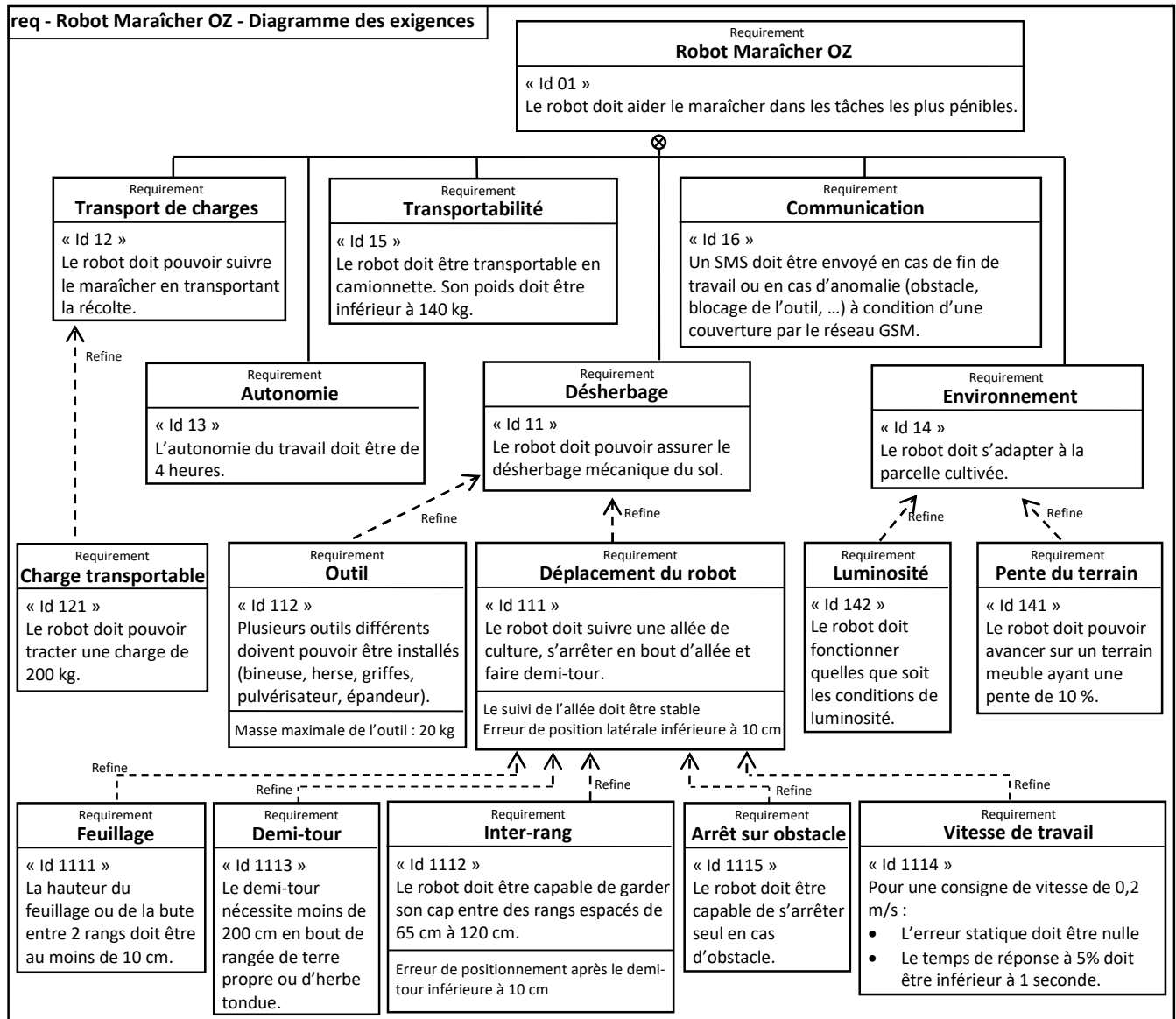


Figure 2 - Diagramme des exigences.

Le robot est constitué d'une plate-forme mobile électrique à **4 roues motrices** sur laquelle sont fixés divers outils et capteurs. Le moteur du groupe propulsion gauche actionne les 2 roues gauches ensemble et le moteur du groupe propulsion droit actionne les 2 roues droites ensemble, de façon à reproduire un comportement de type « chenilles ».

Q1. Compléter sur le document réponse le diagramme chaîne de puissance/chaîne d'information correspondant au robot Oz 440.

Q2. Repasser en bleu sur le document réponse les flèches correspondant à de la puissance électrique. Ajouter en rouge les flèches permettant de connecter la chaîne de puissance à la chaîne d'information du système.

On s'intéresse par la suite à l'asservissement de position du robot suivant la ligne moyenne à suivre dans l'allée (**figure 3**). On donne les différents modèles de connaissance associés à cet asservissement.

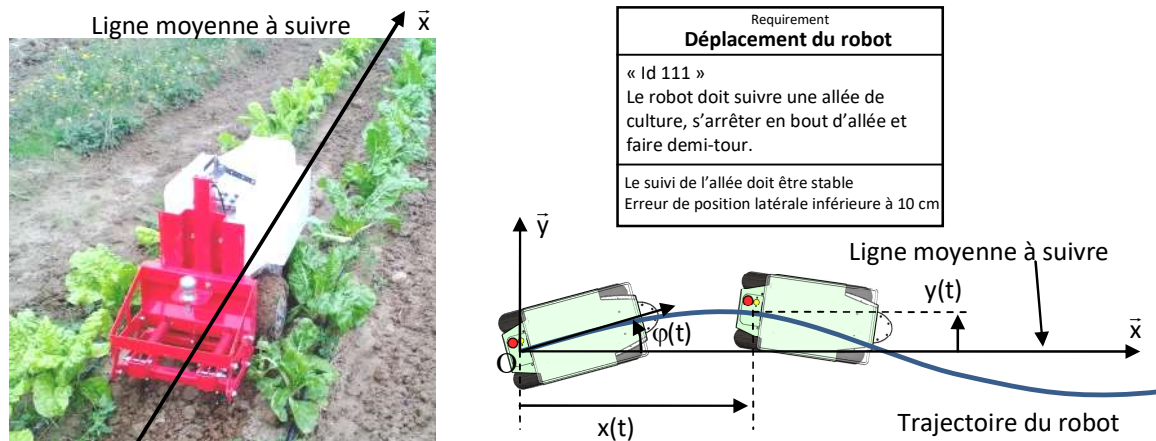


Figure 3 - Ligne moyenne à suivre dans l'allée.

La variable $y(t)$ correspond à la distance d'un point particulier du robot par rapport à la ligne moyenne dans le rang de culture. Le modèle de l'asservissement de suivi de l'allée du robot est donné par le schéma-bloc **figure 4** :

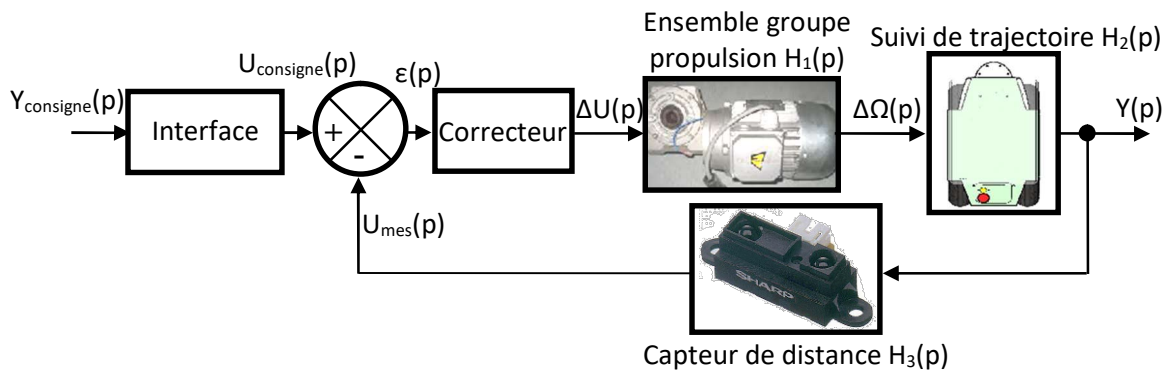


Figure 4 - Schéma-bloc de l'asservissement de suivi de l'allée.

Détermination de la fonction de transfert $H_1(p)$ du groupe propulsion :

On donne dans un premier temps le modèle de connaissance du groupe **propulsion gauche**. On supposera que toutes les conditions initiales sont nulles et que J , R_m , r , K_i , K_e sont des coefficients constants.

	Modèle de connaissance
Le réducteur, de rapport de réduction r , permet de réduire la vitesse angulaire du moteur $\omega_m(t)$ en une vitesse $\omega_g(t)$ disponible pour la roue gauche	$\omega_g(t) = r \cdot \omega_m(t)$
La force électromotrice $e_m(t)$ du moteur est couplée à la vitesse de rotation de l'arbre moteur $\omega_m(t)$ grâce à la constante de force électromotrice K_e	$e_m(t) = K_e \omega_m(t)$
L'équation mécanique du moteur tournant à la vitesse angulaire $\omega_m(t)$ permet de lier l'inertie J de l'arbre en rotation, le couple moteur $C_m(t)$ et le couple résistant $C_r(t)$.	$J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$
L'équation électrique au niveau de l'induit du moteur permet de lier la tension $u_g(t)$, le courant $i_m(t)$, la résistance de l'induit R_m	$u_g(t) = R_m \cdot i_m(t) + e_m(t)$
Le couple moteur $C_m(t)$ est couplé à l'intensité $i_m(t)$ dans la bobine du moteur grâce à la constante de couple K_i .	$C_m(t) = K_i \cdot i_m(t)$

Q3. Appliquer la transformée de Laplace sur les différentes équations du modèle de connaissance. Compléter la 2ème colonne du tableau du document réponse.

Q4. Dédurre des questions précédentes le schéma-bloc correspondant à chacune des équations du modèle de connaissance. Compléter la 3ème colonne du tableau du document réponse en dessinant le schéma bloc (bloc avec variable d'entrée + variable de sortie + fonction de transfert) correspondant à chaque équation.

Q5. Compléter le schéma bloc complet correspondant au groupe propulsion gauche seul. Indiquer les variables d'entrée et de sortie de chaque bloc.

Le théorème de superposition permet d'exprimer $\Omega_g(p)$ sous la forme :

$$\Omega_g(p) = F_1(p) \cdot U_g(p) + F_2(p) \cdot C_r(p)$$

avec $F_1(p) = \frac{\Omega_g(p)}{U_g(p)}$ quand $C_r(p) = 0$ et $F_2(p) = \frac{\Omega_g(p)}{C_r(p)}$ quand $U_g(p) = 0$

Pour les questions Q6 et Q7, détailler les différentes étapes du raisonnement en simplifiant le schéma bloc selon les cas.

Q6. Déterminer l'expression de la fonction de transfert du système $F_1(p)$ en fonction de r , K_i , K_e , J et R_m . Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'un système du premier ordre $F_1(p) = \frac{K_1}{1+\tau.p}$ où K_1 et τ sont 2 constantes à déterminer. Donner les unités de K_1 et τ .

Q7. Déterminer l'expression de la fonction de transfert du système $F_2(p)$ en fonction de r , K_i , K_e , J et R_m . Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'un système du premier ordre $F_2(p) = -\frac{K_2}{1+\tau.p}$ où K_2 et τ sont 2 constantes à déterminer. Donner l'unité de K_2 .

Q8. En absence de couple résistant, exprimer $\omega_g(+\infty)$ en régime permanent lorsque la tension de consigne $u_g(t)$ est un échelon d'amplitude U_0 .

Q9. Exprimer alors la chute de vitesse $\Delta\omega_g(+\infty)$ à l'apparition d'un couple résistant $C_r(t)$, modélisé par un échelon d'amplitude C_{r0} .

Pour la suite, on néglige le couple résistant sur les différents moteurs : $C_r(p) = 0$, par conséquent, la fonction de transfert du groupe propulsion gauche s'écrit $H_g(p) = \frac{\Omega_g(p)}{U_g(p)} = \frac{K}{1+\tau.p}$ avec $K = K_1$.

Le groupe propulsion droit est architecturé de la même manière que le groupe propulsion gauche, par conséquent la fonction de transfert du groupe propulsion droit s'écrit $H_d(p) = H_g(p) = \frac{K}{1+\tau.p}$.

Pour faire pivoter le robot d'un angle $\phi(t)$ autour de l'axe vertical ascendant, il est nécessaire de faire tourner les roues droites et gauches avec 2 vitesses angulaires différentes de façon à reproduire un comportement de type « chenilles ».

Notations :

Vitesse angulaire moyenne de rotation des roues : $\omega_r(t)$.

Différence de vitesse de rotation angulaire entre roues droites et roues gauches : $\Delta\omega(t)$ avec $\Delta\omega(t) = \omega_d(t) - \omega_g(t)$.

Vitesse de rotation des roues gauches et droites : $\omega_g(t)$ et $\omega_d(t)$ avec $\omega_g(t) = \omega_r(t) - \frac{\Delta\omega(t)}{2}$ et $\omega_d(t) = \omega_r(t) + \frac{\Delta\omega(t)}{2}$.

La différence de vitesse de rotation entre roues droites et roues gauches, représentée par $\Delta\omega(t)$, permet de contrôler l'orientation du robot, alors que la vitesse moyenne de rotation des roues $\omega_r(t)$ permet de contrôler la vitesse $V(t)$ de déplacement en translation du robot.

Tension de consigne utile pour la rotation : $\Delta u(t)$ avec $\Delta u(t) = u_d(t) - u_g(t)$.

Tension de consigne des moteurs gauches et droites : $u_g(t)$ et $u_d(t)$ avec $u_g(t) = u_m(t) - \frac{\Delta u(t)}{2}$ et $u_d(t) = u_m(t) + \frac{\Delta u(t)}{2}$.

Transformées de Laplace des tensions : $U_g(p)$, $U_d(p)$ et $\Delta U(p)$.

Transformées de Laplace des vitesses de rotation : $\Omega_g(p)$, $\Omega_d(p)$ et $\Delta\Omega(p)$.

Q10. A l'aide des relations ci-dessus, déterminer la fonction de transfert en boucle fermée du groupe propulsion $H_1(p) = \frac{\Delta\Omega(p)}{\Delta U(p)}$. Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'un système du premier ordre.

Détermination de la fonction de transfert $H_2(p)$ du suivi de la trajectoire :

La modélisation par schéma bloc du suivi de la trajectoire est donnée **figure 5**. La position du robot est repérée dans le plan $(O, \vec{x}, \vec{y})$ par ses coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ ainsi que par l'angle $\varphi(t)$ du robot avec la ligne moyenne à suivre conformément à la **figure 3**.

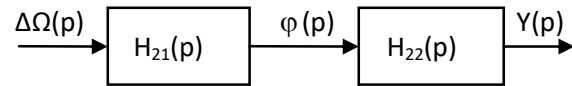


Figure 5 - Schéma-bloc du suivi de trajectoire.

On donne le modèle de connaissance du suivi de trajectoire obtenu à l'aide de modèles cinématiques. On supposera que toutes les conditions initiales sont nulles et que e et R sont des coefficients constants.

	Modèle de connaissance
La vitesse de rotation du robot $\frac{d\varphi(t)}{dt}$ par rapport à la verticale ascendante dépend du rayon des roues R , de la demi-largeur du robot noté e et de la différence de vitesse de rotation angulaire entre roues droites et roues gauches	$R \cdot \Delta\omega(t) = 2 \cdot e \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt}$
Pour des petits angles, la vitesse de déplacement latéral $\frac{dy(t)}{dt}$ dépend de la vitesse de translation du robot suivant l'axe $\vec{x}$ noté V et de l'angle de rotation du robot par rapport à la verticale ascendante $\varphi(t)$	$\frac{dy(t)}{dt} = V \cdot \varphi(t)$

Q11. Appliquer la transformée de Laplace sur les 2 relations cinématiques proposées.

Q12. En déduire l'expression des fonctions de transfert $H_{21}(p)$, $H_{22}(p)$ puis $H_2(p)$.

Détermination de la fonction de transfert $H_3(p)$ correspondant au « capteur de distance » :

Les 5 capteurs utilisés (**figure 6**) pour le guidage dans le rang de culture sont installés sur un demi-cercle à l'avant du robot :

- 1 capteur avant pour la détection des obstacles,
- 2 capteurs latéraux pour la mesure de distance avec les cultures,
- 2 capteurs à 45° pour la mesure de distance avec anticipation.

Ces 5 capteurs de distance qui détectent la présence d'objets entre 10 et 80 cm sont des capteurs infrarouges type « télémètre ». Ils ont une courbe de réponse $u_{cap}(t)$ en fonction de la distance L de l'objet donnée **figure 7**.

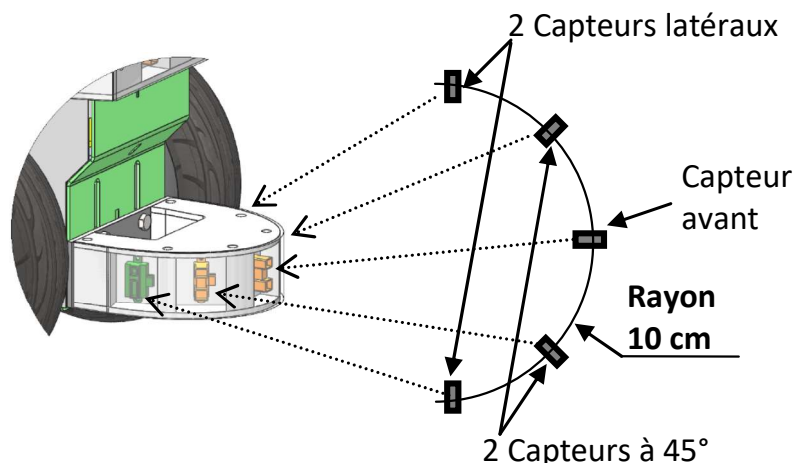
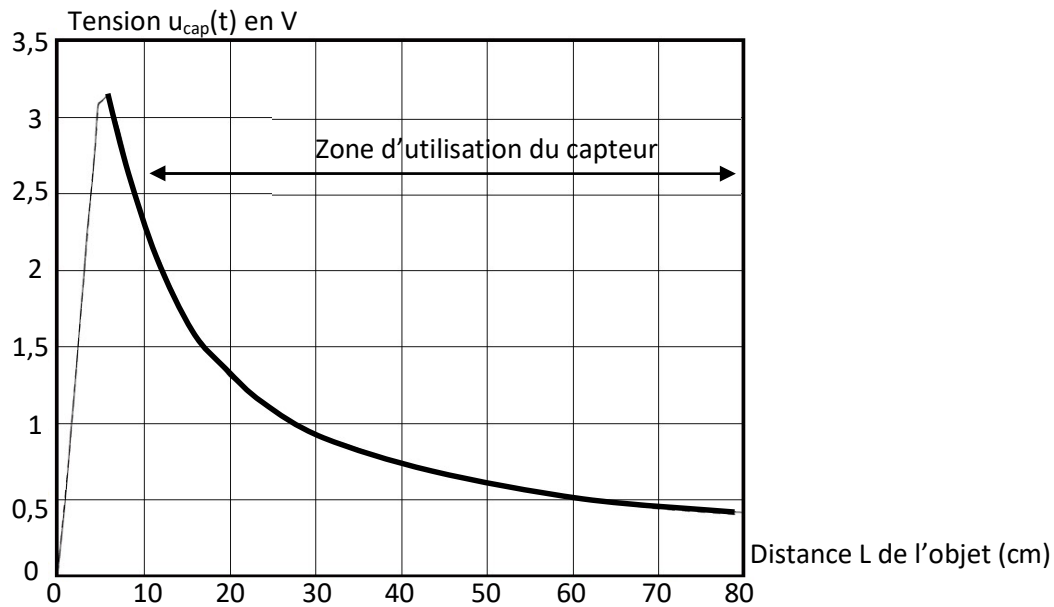


Figure 6 - Localisation des capteurs (vue de dessus)

Figure 7 - Courbe de réponse $u_{cap}(t) = f(L)$.

On suppose que seuls les 2 capteurs latéraux sont utilisés pendant le déplacement en ligne droite. Ils sont utilisés en différentiel tel que : $u_{mes}(t) = u_{capt_gauche}(t) - u_{capt_droit}(t)$.

La fonction de transfert $H_3(p) = \frac{U_{mes}(p)}{Y(p)}$ du bloc « capteur de distance » est supposée réduite à un gain pur noté K_c .

On note u_{capt-0} la tension fournie par les **2 capteurs latéraux** lorsque le robot est centré entre les 2 rangs de culture distants de **70 cm**.

Q13. Réaliser un schéma en vue de dessus permettant de visualiser le robot positionné dans l'allée avec ses 2 capteurs latéraux. Indiquer sur ce schéma les distances entre les capteurs et les rangées de culture.

Q14. Quelle est la valeur de la tension u_{capt-0} à 0,1 V près ? Quelle est la tension $u_{capt_droit}(t)$ lorsque le robot est décalé de $y = +5$ cm suivant l'axe $\vec{y}$ entre ces 2 rangs de culture ? Quelle est la tension $u_{capt_gauche}(t)$ à ce même instant ?

Q15. En déduire le gain K_c du bloc « capteur de distance » autour de ce point de fonctionnement et préciser son unité.

Réglage du gain d'adaptation :

Le bloc d'adaptation (i.e. « Interface » sur la **figure 4**) est un gain proportionnel noté K_a qui permet de convertir la consigne $y_{consigne}(t)$ en une tension $u_{consigne}(t)$ image de la consigne.

Q16. Comment choisir le gain d'adaptation K_a pour que la position $y(t)$ en sortie de l'asservissement soit correctement asservie sur la position de consigne $y_{consigne}(t)$.

On considère dans un premier temps que le correcteur est un correcteur proportionnel. On note donc la fonction de transfert de ce dernier $C(p) = K_p$.

Q17. Déterminer la fonction de transfert boucle ouverte $FTBO(p) = \frac{U_{mes}(p)}{\varepsilon(p)}$. Donner la classe, l'ordre et le gain statique de cette fonction de transfert.

Analyse des performances obtenues :

Le **document réponses** propose une courbe donnant l'évolution du paramètre $y(t)$ sur une allée de 100 m pour un premier réglage de correcteur. On donne d'autre part la réponse du véhicule en vitesse de translation pour une consigne échelon de 0,2 m/s.

Q18. *A l'aide des courbes disponibles sur le document réponses, vérifier si ce réglage semble adapté vis-à-vis des exigences du cahier des charges (préciser lesquelles). Justifier votre réponse en laissant notamment apparaître les tracés utiles sur le document réponses.*