Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2016, filière MP

Sciences industrielles

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : validation des capacités de déplacement du robot dans son environnement
- Partie II : validation du déplacement du robot dans la rangée de cultures
- Partie III : amélioration du déplacement du robot dans la rangée de cultures
- Partie IV : gestion du demi-tour en bout de rangée

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/mp/2016/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE MP

SCIENCES INDUSTRIELLES

Jeudi 5 mai : 14 h - 18 h

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Les calculatrices sont autorisées

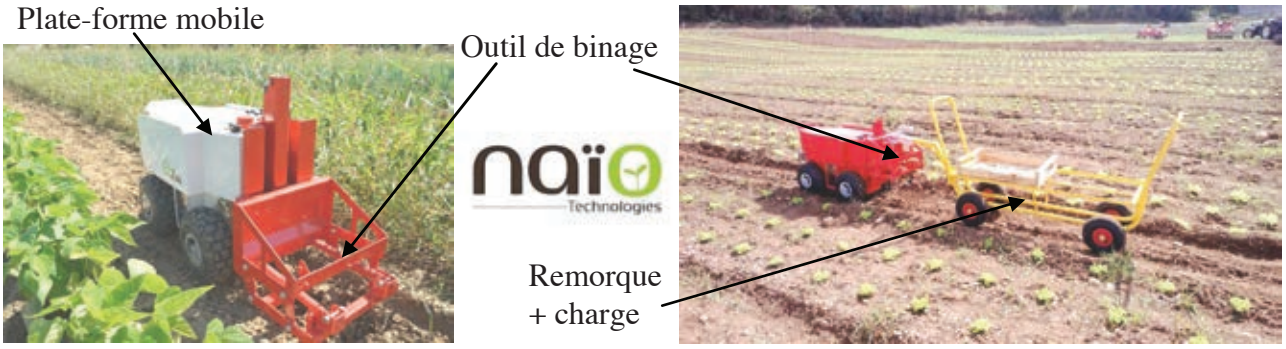
Le sujet comporte 18 pages dont :

- 16 pages d'énoncé,
- 2 pages de document réponse.

Toute documentation autre que celle fournie est interdite.

Robot de maraîchage Oz 440

Le robot de maraîchage Oz 440 développé par la société Naïo Technologies est un outil autonome agricole, alliant robustesse et écologie, 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.



Ce robot est constitué d'une plate-forme mobile électrique à **4 roues motrices** sur laquelle sont fixés divers outils et capteurs. La **figure 1** donne la structure du robot sous la forme d'un diagramme de définition de blocs (BDD) avec les propriétés principales de chaque constituant, utiles pour la résolution du problème.

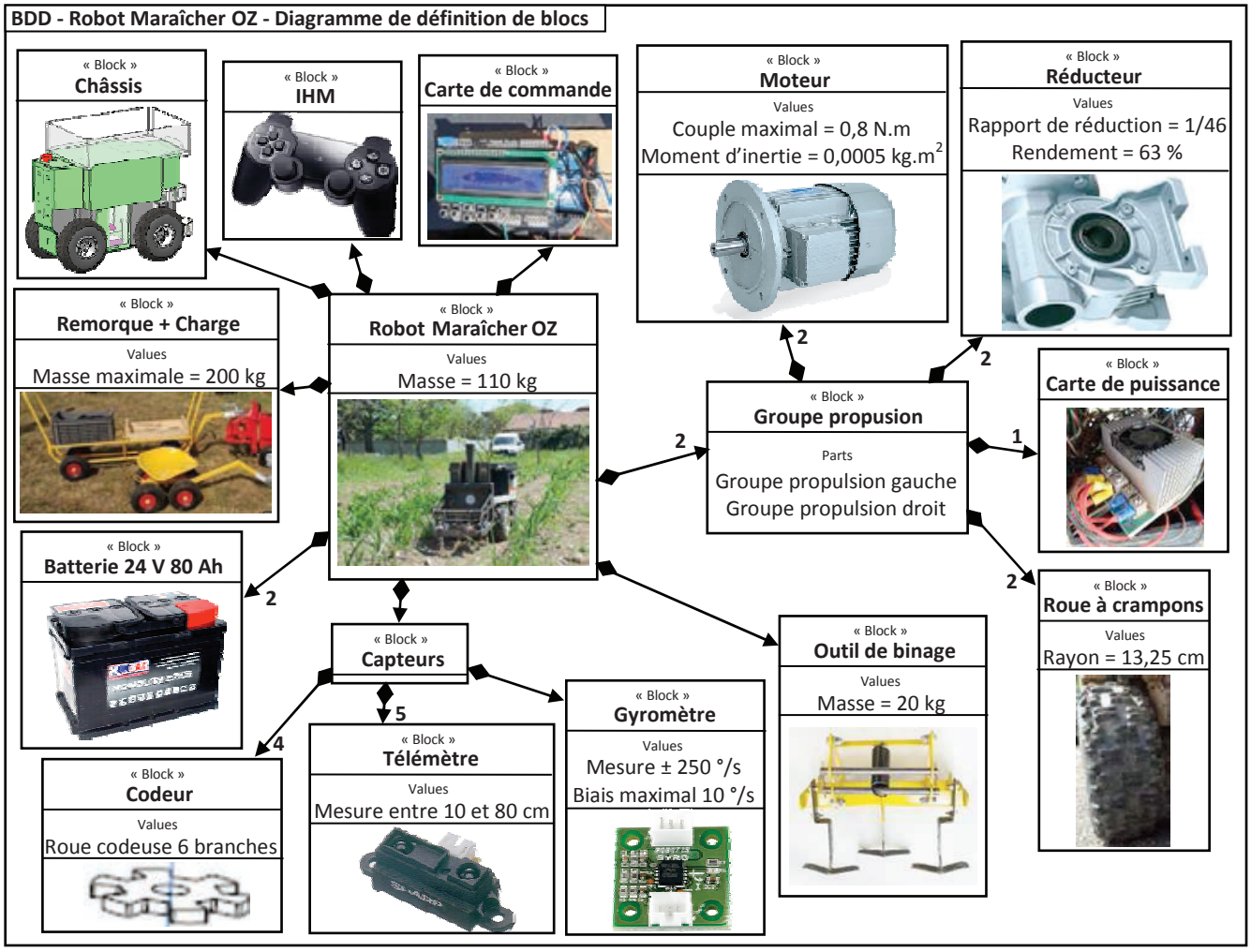


Figure 1 - Diagramme de définition de blocs.

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. Selon le vieil adage « un binage vaut deux arrosages », le fait de pouvoir utiliser ce robot régulièrement, sans perte de temps, permet de toujours avoir un sol parfaitement biné et ainsi de diminuer les effets d'évaporation de l'eau.

La **figure 2** donne le diagramme partiel des exigences du robot. Les exigences étudiées dans chaque partie du sujet y sont repérées.

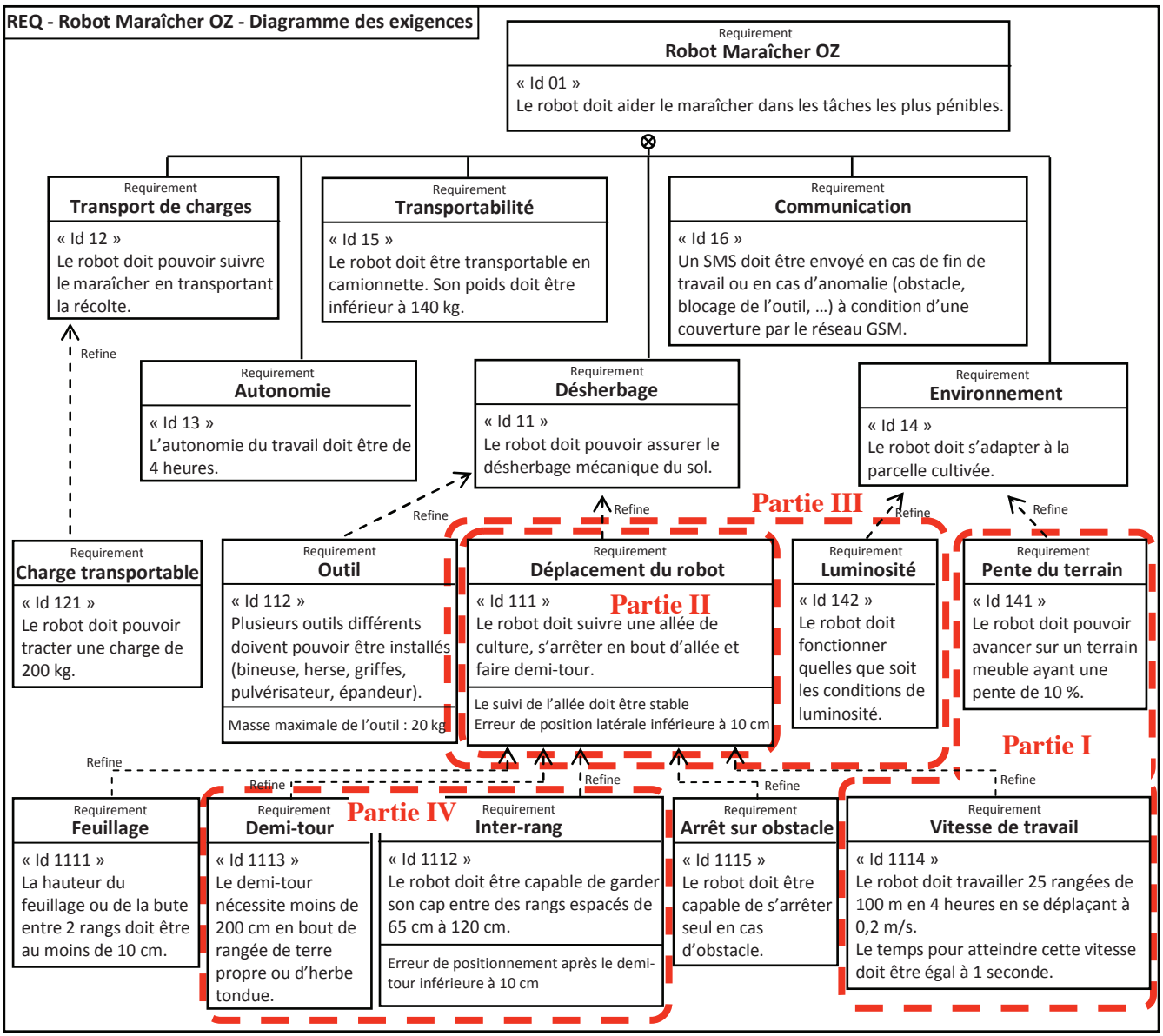


Figure 2 - Diagramme partiel des exigences.

Objectif

L'objectif du sujet, qui comporte 4 parties, sera d'analyser si les solutions techniques retenues sur le système permettent de vérifier ou non les exigences du cahier des charges identifiées sur le diagramme des exigences donné **figure 2**.

Partie I - Validation des capacités de déplacement du robot dans son environnement

Objectif
Dans cette partie, on souhaite vérifier que les couples fournis par les moteurs ont une valeur suffisante pour assurer le déplacement correspondant aux exigences ci-contre.

Requirement **Pente du terrain**
« Id 141 » Le robot doit pouvoir avancer sur un terrain meuble ayant une pente de 10 %.

Requirement **Vitesse de travail**
« Id 1114 » Le robot doit travailler 25 rangées de 100 m en 4 heures en se déplaçant à 0,2 m/s. Le temps pour atteindre cette vitesse doit être égal à 1 seconde.

Question 1. A l'aide du diagramme de définition de blocs disponible (**figure 1**, **page 2**), compléter sur le **document réponse DR1** le diagramme correspondant à la chaîne d'énergie de l'ensemble groupe propulsion droit du robot.

Hypothèses de modélisation
- Le robot se déplace en ligne droite en montée sur une pente de 10 %.
- Le robot est équipé d'un outil de binage et tracte la charge maximale spécifiée dans les exigences du cahier des charges (**figure 2**, **page 3**).
- On suppose qu'il n'y a pas de glissement des roues sur le sol et une équi-répartition des charges sur les roues.
- Les 4 moteurs sont parfaitement équilibrés et délivrent la même puissance.
- Conformément à l'exigence « id 1114 », le robot est commandé en trapèze de vitesse (c'est-à-dire une phase uniformément accélérée, une longue phase de mouvement uniforme et une phase uniformément décélérée). **On se placera dans la partie la plus défavorable du trapèze de vitesse pour le calcul des couples moteurs.**
- Seul le rendement du réducteur de type roue/vis sans fin sera pris en compte. Les autres composants seront supposés parfaits.

Notations
Masse du robot sans outil (Plate-forme mobile + 4 roues + 4 moteurs + 4 réducteurs) : $\mathbf{M}$.
Rayon des roues : $\mathbf{r}$.
Vitesse de rotation de l'arbre moteur : $\boldsymbol{\omega_m}$.
Moment d'inertie arbre moteur seul suivant l'axe de rotation du moteur : $\mathbf{J_m}$.
Pente du terrain : $\boldsymbol{\alpha}$ avec $\alpha = 0{,}1$ rad.
Masse tractée : $\mathbf{m_t}$.
Masse de l'outil de binage : $\mathbf{m}$.
Vitesse du robot par rapport au sol lors de la phase de mouvement uniforme du trapèze de vitesse : $\mathbf{V}$.
Accélération du robot par rapport au sol : $\mathbf{a}$.
Vitesse de rotation des roues : $\boldsymbol{\omega_r}$.
Rendement du réducteur : $\boldsymbol{\eta}$.
Moment d'inertie de l'ensemble E = (1 roue + son réducteur associé) suivant l'axe de rotation de la roue : $\mathbf{J_r}$ avec $J_r = 0{,}38.10^{-1}$ kg.m^2.
Couple fourni par un seul moteur : $\mathbf{C_m}$.
Rapport de réduction du réducteur : $\boldsymbol{\rho}$ $\left(\rho = \dfrac{\omega_r}{\omega_m}\right)$.

Pour déterminer les couples moteurs, on applique le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble robot + outil de binage + charge tractée.

Question 2. Donner l'expression de l'énergie cinétique du robot avec l'outil de binage et la charge tractée dans son mouvement par rapport au sol.

Question 3. En déduire l'expression de l'inertie équivalente J_{eq} ramenée sur l'arbre moteur.

Question 4. Calculer la valeur de J_{eq} en utilisant les données fournies dans le diagramme de définition de blocs (**figure 1**, **page 2**).

Question 5. Déterminer l'expression littérale des puissances des actions mécaniques extérieures.

Question 6. Déterminer l'expression de la puissance d'inter-effort en fonction de C_m, η et ω_m.

Question 7. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique et en déduire l'expression du couple moteur C_m nécessaire pour déplacer le robot en fonction de la pente du terrain, de l'accélération du robot et en fonction des caractéristiques définies dans le diagramme de définition de blocs (**figure 1**, **page 2**) ou dans la partie notations (**page 4**).

Question 8. Calculer la valeur du couple C_m et conclure vis-à-vis des exigences du cahier des charges.

Partie II - Validation du déplacement du robot dans la rangée de culture

Objectif

Dans cette partie, on souhaite valider le comportement du robot vis-à-vis du critère de précision lorsqu'il suit une allée de culture. On s'intéresse donc à l'asservissement de position du robot suivant la ligne moyenne à suivre dans l'allée (**figure 3**).

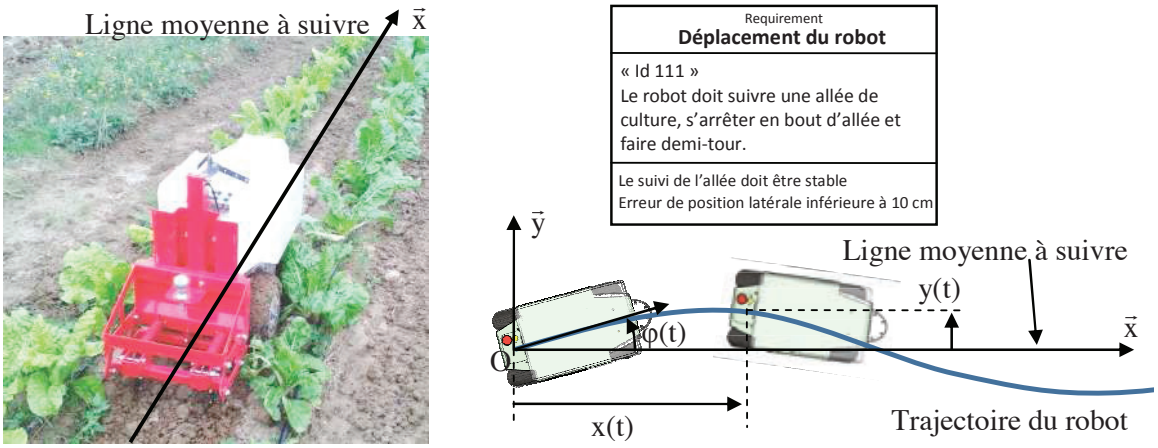


Figure 3 - Ligne moyenne à suivre dans l'allée.

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**.

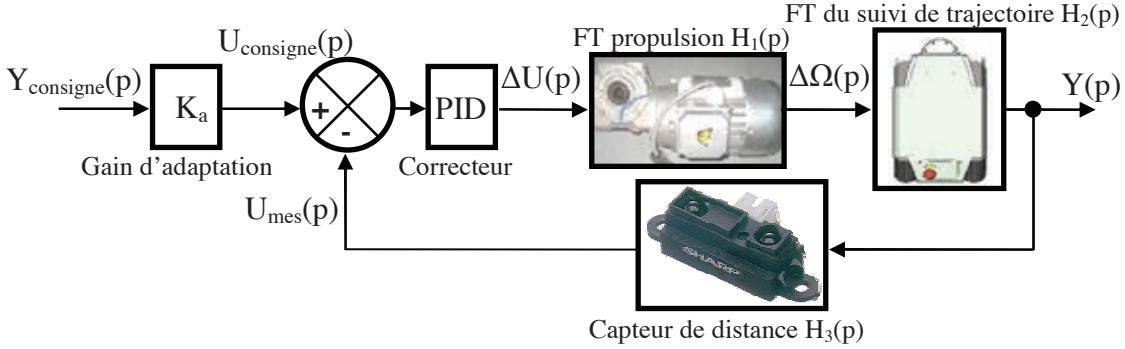


Figure 4 - Schéma-bloc de l'asservissement de suivi de l'allée.

On se propose dans cette partie de déterminer successivement les 3 fonctions de transfert $H_1(p)$ du groupe de propulsion, $H_2(p)$ du suivi de la trajectoire et $H_3(p)$ du bloc « capteur de distance », puis de régler le correcteur de l'asservissement pour respecter l'exigence « id 111 ».

II-1 Identification de la fonction de transfert $H_1(p)$ de l'ensemble groupe propulsion

Les 4 moteurs (**figure 5**) du robot sont commandés par paire : les 2 roues droites ensemble et les 2 roues gauches ensemble, de façon à reproduire un comportement de type « chenilles ».

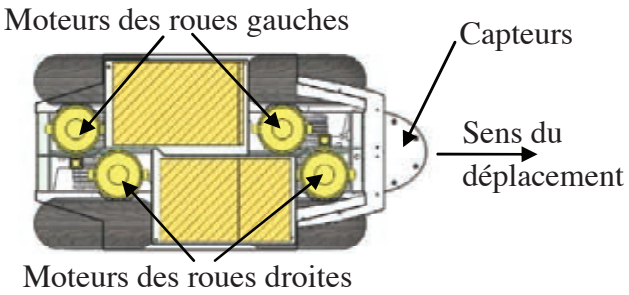


Figure 5 - Localisation des moteurs.

Notations

Vitesse angulaire moyenne de rotation des roues : $\boldsymbol{\omega_r}$.

Différence de vitesse de rotation angulaire entre roues droites et roues gauches : $\boldsymbol{\Delta\omega} = \omega_d - \omega_g$.

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

La différence de vitesse de rotation entre roues droites et roues gauches, représentée par $\boldsymbol{\Delta\omega}$, permet de contrôler l'orientation du robot, alors que la vitesse moyenne de rotation des roues $\boldsymbol{\omega_r}$ permet de contrôler la vitesse **V** de déplacement du robot.

Tension d'alimentation moyenne des 4 moteurs : $\mathbf{U_m}$.

Tension de consigne utile pour la rotation : $\boldsymbol{\Delta U} = \mathbf{U_d} - \mathbf{U_g}$.

Tension de consigne des moteurs gauches et droits : $\mathbf{U_g} = U_m - \Delta U/2$ et $\mathbf{U_d} = U_m + \Delta U/2$.

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

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

On donne (**figure 6**) les tracés de la réponse à un échelon des chaînes de propulsion gauche et droite.

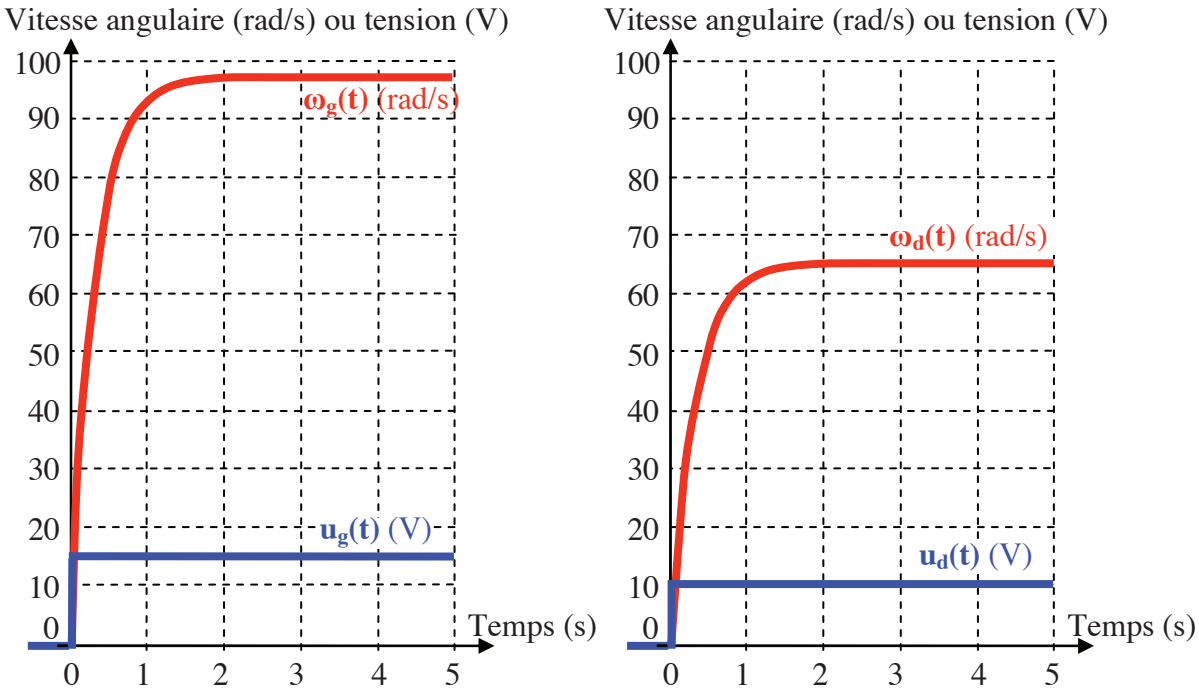


Figure 6 - Réponses temporelles des chaînes de propulsion gauche et droite.

Question 9. Identifier les expressions des fonctions de transfert $H_g(p) = \dfrac{\Omega_g(p)}{U_g(p)}$ et $H_d(p) = \dfrac{\Omega_d(p)}{U_d(p)}$.
Donner les valeurs numériques des coefficients de ces fonctions de transfert. En déduire l'expression de la fonction de transfert $H_1(p) = \dfrac{\Delta\Omega(p)}{\Delta U(p)}$.

II-2 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 7**. Conformément à la **figure 3**, **page 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 du robot avec la ligne moyenne φ(t).

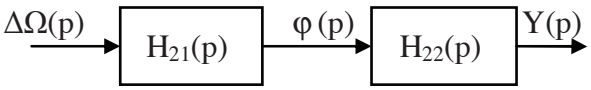


Figure 7 - Schéma bloc du suivi de trajectoire.

Le paramétrage complet du robot est donné **figure 8**.

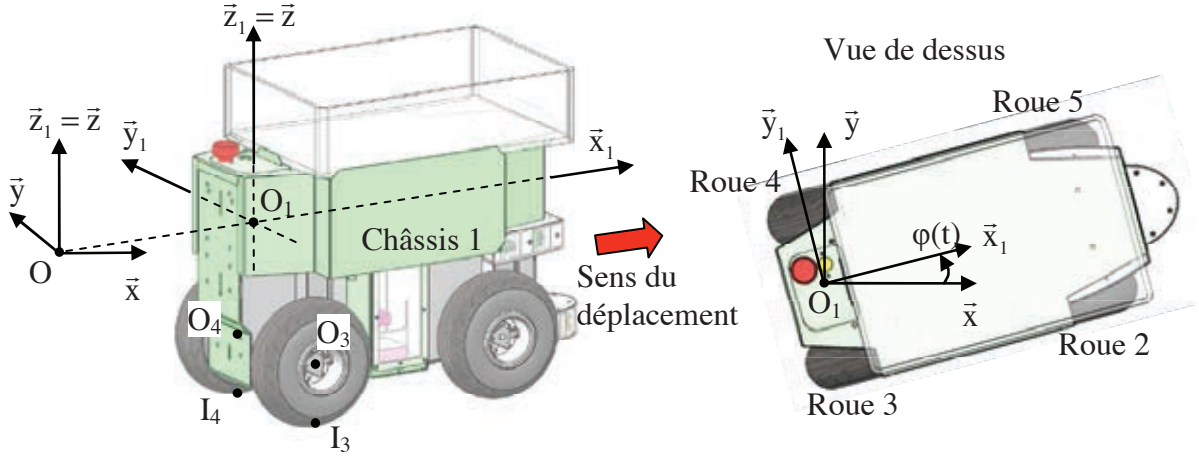


Figure 8 - Repérage et paramétrage du robot.

Référentiel fixe : $R_0(O,\vec{x},\vec{y},\vec{z})$.
Référentiel lié au robot : $R_1(O_1,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1=\vec{z})$.
Référentiel lié à la roue arrière droite : $R_3(O_3,\vec{x}_3,\vec{y}_3=\vec{y}_1,\vec{z}_3)$.
Référentiel lié à la roue arrière gauche : $R_4(O_4,\vec{x}_4,\vec{y}_4=\vec{y}_1,\vec{z}_4)$.
$\overrightarrow{\Omega_{R_1/R_0}} = \dfrac{d\varphi}{dt}.\vec{z}$; $\overrightarrow{\Omega_{R_3/R_1}} = \omega_d.\vec{y}_1$; $\overrightarrow{\Omega_{R_4/R_1}} = \omega_g.\vec{y}_1$; $\overrightarrow{V_{O_1\in R_1/R_0}} = V.\vec{x}_1$ lors du déplacement dans l'allée.

I_3 et I_4 sont les points de contact de la roue arrière droite et de la roue arrière gauche avec le sol.
$\overrightarrow{I_3O_3} = \overrightarrow{I_4O_4} = r.\vec{z}$ avec r correspondant au rayon des roues ;
$\overrightarrow{O_3O_1} = e.\vec{y}_1 + h.\vec{z}$; $\overrightarrow{O_4O_1} = -e.\vec{y}_1 + h.\vec{z}$ avec e = 0,15 m ; $\overrightarrow{OO_1} = x(t).\vec{x} + y(t).\vec{y}$.

La fixation de l'outil à l'arrière du robot apporte une charge supplémentaire sur les roues arrières, ce qui permet de considérer que les roues arrières **roulent sans glisser** sur le sol.

Question 10. Donner la condition vectorielle de roulement sans glissement en I_3. A partir de cette condition, déterminer l'équation scalaire liant V, $\dfrac{d\varphi}{dt}$ et ω_d. Donner ensuite la condition de

roulement sans glissement en I_4 puis, à partir de cette condition, déterminer l'équation scalaire liant V, $\frac{d\varphi}{dt}$ et ω_g.

Question 11. A partir des équations précédentes, déterminer la relation liant $\Delta\omega$ et $\frac{d\varphi}{dt}$, puis la fonction de transfert $H_{21}(p) = \frac{\Phi(p)}{\Delta\Omega(p)}$ où $\Phi(p)$ représente la transformée de Laplace de l'angle $\varphi(t)$ (on supposera par ailleurs la condition initiale nulle $\varphi(0) = 0$).

Pendant une petite variation de temps dt, le déplacement longitudinal du robot est noté dx(t) et le déplacement latéral dy(t). De plus, on suppose que l'angle du robot avec la ligne moyenne $\varphi(t)$ ne varie pas pendant l'intervalle de temps dt.

Question 12. Faire un schéma puis déterminer la relation liant dy(t), dx(t) et l'angle $\varphi(t)$.
En déduire l'expression de $\dot{y}(t) = \frac{dy(t)}{dt}$ en fonction de V et de $\varphi(t)$ en linéarisant l'expression à l'ordre 1 dans l'hypothèse où l'angle $\varphi(t)$ reste petit.

Question 13. En déduire l'expression de la fonction de transfert $H_{22}(p) = \frac{Y(p)}{\Phi(p)}$ où Y(p) représente la transformée de Laplace du déplacement latéral du robot y(t) (on supposera toujours, par ailleurs, la condition initiale nulle $y(0) = 0$). En déduire la fonction de transfert $H_2(p)$ du suivi de trajectoire à partir des résultats trouvés précédemment.

II-3 Détermination de la fonction de transfert $H_3(p)$ correspondant au « capteur de distance »

Les 5 capteurs utilisés (**figure 9**) pour le guidage dans le rang de culture sont installés sur un demi-cercle à l'avant du robot :
- capteur avant pour la détection des obstacles,
- capteurs latéraux pour la mesure de distance avec les cultures,
- capteurs à 45° pour la mesure de distance avec anticipation.

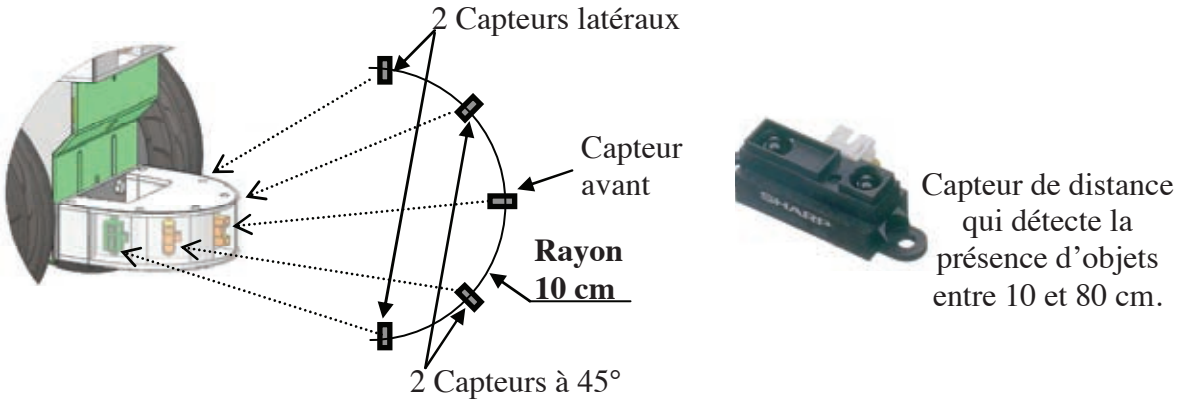


Figure 9 - Localisation des capteurs de distance.

Ces 5 capteurs de distance sont des capteurs infrarouges type « télémètre ». Ils ont une courbe de réponse $u_{cap}(t) = f(L)$ non linéaire donnée **figure 10**, **page 9**.

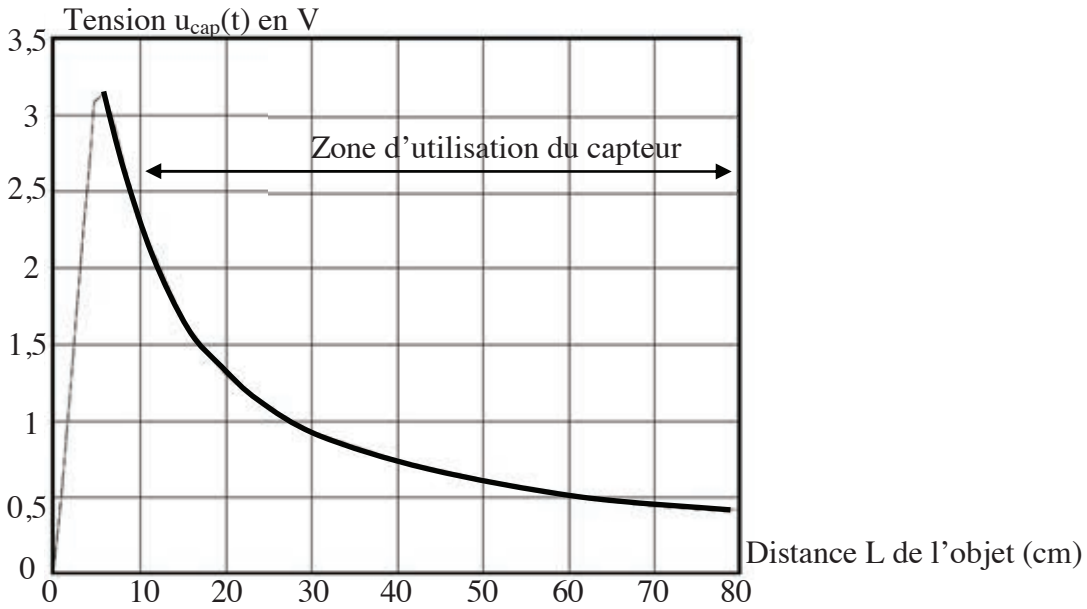


Figure 10 - Courbe de réponse $u_{cap}(t) = f(L)$.

On suppose que seuls les 2 capteurs latéraux sont utilisés pendant le déplacement en ligne droite. Ils sont utilisés en différentiel tel que :

$$u_{mes}(t) = u_{capt_gauche}(t) - u_{capt_droit}(t).$$

Notation : transformée de Laplace de la tension $u_{mes}(t)$: $\mathbf{U_{mes}(p)}$

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

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

Question 14. Quelle est la valeur de la tension $u_{capt\text{-}0}$ à 0,1 V près ? Quelle est la tension $u_{capt_droit}(t)$ lorsque le robot est décalé de y = 5 cm entre ces 2 rangs de culture ? Quelle est la tension $u_{capt_gauche}(t)$ à ce même instant ?

Question 15. En déduire le gain K_c du bloc « capteur de distance » autour de ce point de fonctionnement et préciser son unité.

II-4 Réglage du correcteur proportionnel et conclusion vis-à-vis de l'exigence du cahier des charges

On considère que le correcteur correspondant au bloc noté PID sur la **figure 4, page 5** est un correcteur proportionnel pur de gain $\mathbf{K_{cor}}$.

Pour une valeur de $K_{cor} = 1$ et à partir des différentes expressions obtenues précédemment, l'application numérique de la fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement étudié, égale à $H_{BO}(p) = K_{cor}.H_1(p).H_2(p).H_3(p)$, vaut $H_{BO}(p) = \dfrac{4}{p^2.(1+0{,}3.p)}$.

Question 16. Tracer sur le **document réponse DR2** les diagrammes asymptotiques de Bode (amplitude et phase) de la fonction $H_{BO}(p)$.

Question 17. Etudier la stabilité de l'asservissement de suivi de l'allée en fonction de la valeur du gain K_{cor}.

Au lieu de modifier le correcteur, les concepteurs du robot ont choisi d'utiliser les 2 capteurs situés à 45° vers l'avant pour mesurer la distance avec anticipation plutôt que les 2 capteurs latéraux.

Question 18. Expliquer en 2 lignes et sans calcul comment l'utilisation de ces 2 capteurs à 45° permettra d'améliorer la stabilité de la boucle d'asservissement.

Question 19. A partir du schéma proposé **figure 11**, donner une estimation du temps d'avance procuré par ces capteurs à 45° lorsque le robot se déplace à vitesse constante V = 0,2 m/s.

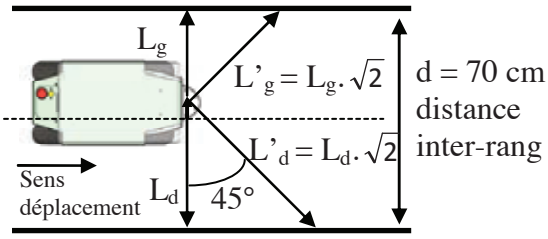


Figure 11 - Position robot question 19.

Pour prendre en compte le temps d'avance introduit par l'information des capteurs à 45° et limiter son influence en haute fréquence, on retient le nouveau modèle suivant pour le bloc « capteur de distance » : $H'_3(p) = K_c.\frac{1+1{,}75.p}{(1+0{,}1.p)^2}$.

On donne **figure 12** le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte avec cette nouvelle modification : $H'_{BO}(p) = K_{cor}.H_1(p).H_2(p).H'_3(p)$ pour une valeur de $K_{cor} = 1$.

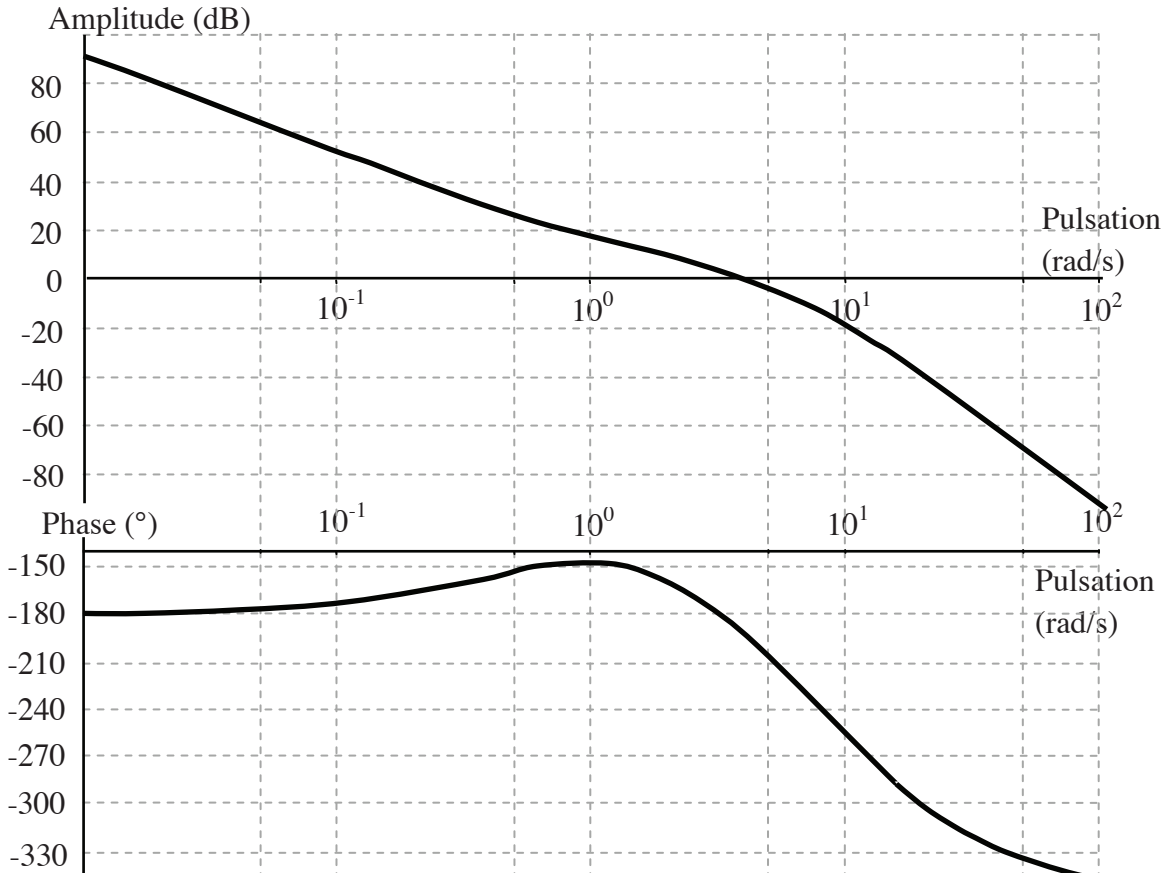


Figure 12 - Diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $H'_{BO}(p)$.

Question 20. Déterminer la valeur du gain K_{cor} permettant d'assurer la stabilité de l'asservissement de suivi de l'allée avec la marge de phase la plus grande possible.

Question 21. Pour ce réglage, conclure vis-à-vis de l'ensemble des exigences « id 111 » : pour la stabilité en précisant les marges de gain et de phase et pour la précision en justifiant votre réponse à partir d'une caractéristique de la fonction de transfert boucle ouverte.

Partie III - Amélioration du déplacement du robot dans la rangée de culture

L'utilisation de capteurs de distance infrarouges n'est pas suffisante pour réaliser un bon guidage du robot dans la rangée de culture. En effet, ces capteurs sont sensibles aux variations de luminosité et ne permettent pas d'assurer un bon guidage lorsque les rangs de culture ne sont pas uniformes. Par exemple, lorsqu'il y a des pieds arrachés ou trop petits, il peut exister des espaces de plusieurs mètres sans culture laissant croire qu'on est en bout de rangée. Le robot commencerait alors son demi-tour en écrasant les plantations... Par conséquent, il est nécessaire d'intégrer une solution complémentaire afin d'obtenir un bon déplacement du robot dans la rangée. La solution retenue ici est d'utiliser les informations obtenues à partir d'images filmées par une caméra embarquée.

Objectif
Dans cette partie, on se propose donc de réaliser les algorithmes de traitement des images permettant de valider les critères du cahier des charges lorsque le robot suit une allée de plans de poireaux (**figure 13**).

Requirement **Déplacement du robot**	Requirement **Luminosité**
« Id 111 » Le robot doit suivre une allée de culture, s'arrêter en bout d'allée et faire demi-tour.	« Id 142 » Le robot doit fonctionner quelles que soit les conditions de luminosité.
Le suivi de l'allée doit être stable Erreur de position latérale inférieure à 10 cm	

L'image initiale provenant de la caméra (image 1, **figure 13**) est une image bitmap (bmp) en RVB (Rouge - Vert - Bleu). Elle est stockée dans la mémoire du robot dans un tableau IM de dimension 700 × 393 pixels. Chaque case du tableau, qui correspond à un pixel, contient une liste de 3 entiers représentant les 3 composantes de couleur RVB. Chaque composante de couleur est stockée sur un entier de 8 bits.

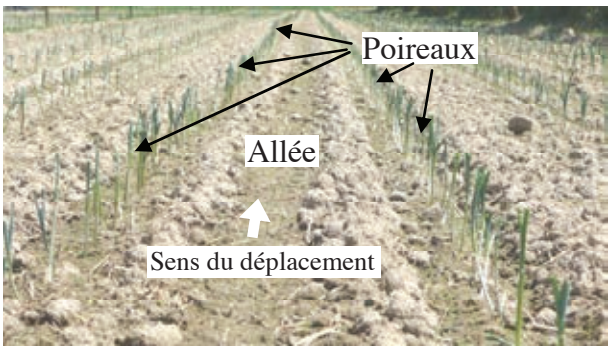


Figure 13 - Image 1 en couleur : format bmp, 700 × 393, RVB.

Question 22. Déterminer la taille mémoire en kilo-octets (ko) nécessaire pour stocker cette image initiale.

III-1 Manipulation de l'image bitmap RVB d'origine pour passer en niveaux de gris puis en monochrome

Le traitement de détection des rangs de poireaux est réalisé à partir d'une image monochrome (image 3, **figure 15, page 12**). Cette image monochrome est obtenue par le passage de l'image RVB (image 1, **figure 13**) en niveaux de gris (image 2, **figure 14**, **page 12**) puis en monochrome.

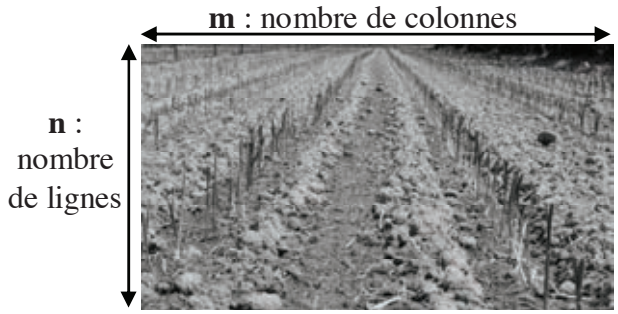


Figure 14 - Image 2 : format bmp, 700 × 393, niveaux de gris.



Figure 15 - Image 3 : format bmp, 700 × 393, monochrome.

Dans cette partie, le candidat est libre de choisir entre les langages Python et Scilab pour l'écriture des fonctions demandées. On désigne par tableaux les éléments qui pourraient être de type list ou ndarray sous Python ou matrice sous Scilab.

Commandes et notations utiles

Python	Scilab	
`pix = IM[i,j]`	`pix = IM(i,j)`	: permet d'accéder au pixel de la colonne i et de la ligne j.
`pix[0]`	`pix(0)`	: permet d'accéder à la valeur de la composante rouge.
`pix[1]`	`pix(1)`	: permet d'accéder à la valeur de la composante verte.
`pix[2]`	`pix(2)`	: permet d'accéder à la valeur de la composante bleue.

Numérotation des pixels : le point supérieur gauche de l'image a pour coordonnées `[0,0]`, le point inférieur droit `[m-1,n-1]=[699,392]` en Python et respectivement `(1,1)` et `(m,n)=(700,393)` en Scilab.

Le passage de la couleur en niveau de gris s'obtient en combinant les 3 couleurs pour obtenir une unique valeur stockée sur un octet via la formule : $G = 0{,}299 \times R + 0{,}587 \times V + 0{,}114 \times B$.
G = 0 correspond à un pixel noir et G = 255 à un pixel blanc.

Question 23. Ecrire la fonction `Gris(IM)` renvoyant le tableau des pixels `IMG[i,j]` (ou `IMG(i,j)`) de l'image en niveau de gris (image 2, **figure 14**).

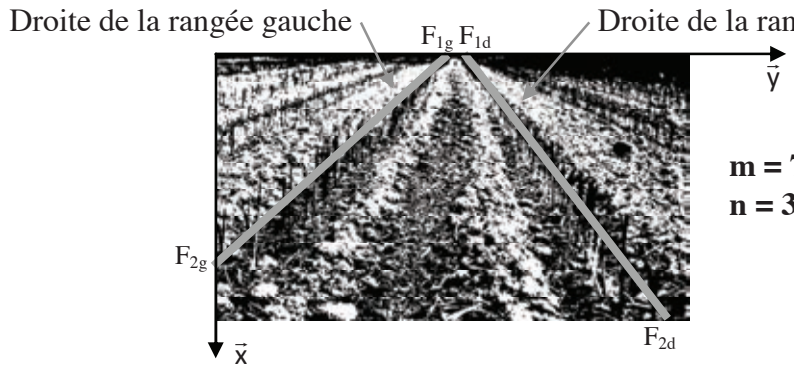
Lorsque l'image est en monochrome, le tableau ne contient plus que des 0 et des 1. Le seuil de basculement vers un pixel noir ou blanc sera fixé à 127.

Question 24. Ecrire la fonction `Noir(IM)` renvoyant directement le tableau des pixels `IMN[i,j]` (ou `IMN(i,j)`) de l'image monochrome (image 3, **figure 15**).

Question 25. Déterminer la complexité en temps de la fonction `Noir(IM)` en fonction des dimensions de l'image (paramètres n et m).

III-2 Traitement global pour chercher la position du robot dans le rang

Le principe de l'algorithme de traitement global pour chercher la position du robot dans le rang consiste à déterminer, à partir de l'image monochrome, deux droites qui correspondent à la rangée droite et la rangée gauche de culture (**figure 16**, **page 13**). Ces deux droites sont obtenues en faisant l'hypothèse qu'elles possèdent le maximum de pixels noirs sur l'image monochrome. Une fois ces droites déterminées, une fonction décalage permet de déterminer le positionnement du robot dans l'allée.



m = 700 : nombre de colonnes
n = 393 : nombre de lignes

Figure 16 - Définition des droites de rangées de culture.

L'objectif est d'écrire une fonction `detection_rang_droit(IMN)` renvoyant les coordonnées des points extrêmes F_{1d} et F_{2d} sous la forme `(xF1d,yF1d,xF2d,yF2d)`. Cette fonction doit détecter le segment $[F_{1d}, F_{2d}]$ possédant le maximum de pixels noirs (valeur 0 dans le tableau).

Question 26. Ecrire l'équation de la droite $[F_{1d}, F_{2d}]$ en fonction de `xF1d`,`yF1d`,`xF2d` et `yF2d`. Expliquer et commenter la méthode utilisée, puis écrire la fonction `detection_rang_droit(IMN)` en supposant que :

- l'ordonnée `yF1d` de F_{1d} varie entre le pixel d'ordonnée y = 250 = m / 2 – m / 7 et le pixel d'ordonnée y = m – 1 (on suppose ainsi que la fin du rang n'est pas trop décentrée), son abscisse `xF1d` est fixée sur la première ligne de pixels ;
- le point F_{2d} a une ordonnée `yF2d` strictement supérieure à celle de F_{1d} et son abscisse `xF2d` est fixée sur la dernière ligne de pixels.

Question 27. Exprimer approximativement la complexité en temps de la fonction `detection_rang_droit(IMN)` en fonction des dimensions de l'image.

De la même façon, une fonction `detection_rang_gauche(IMN)` renvoie les coordonnées des points extrêmes F_{1g} et F_{2g} sous la forme `(xF1g,yF1g,xF2g,yF2g)` en détectant le segment $[F_{1g}, F_{2g}]$ possédant le maximum de pixels noirs.

Question 28. Expliquer en 2 phrases maximum le rôle de la fonction suivante :

Version Python :
```
def f(IMN) :
   d=detection_rang_droit(IMN)[1]
   g=detection_rang_gauche(IMN)[1]
   return (d+g-IMN.shape[0])/2
```

Version Scilab :
```
function z=f(IMN)
   d=detection_rang_droit(IMN)(2)
   g=detection_rang_gauche(IMN)(2)
   z=(d+g-size(IMN)(1))/2
endfunction
```

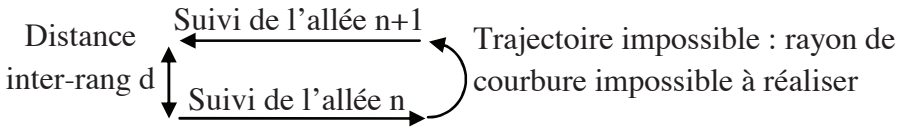
Avec ces algorithmes de traitement des images, le déplacement du robot est mieux assuré et le robot peut fonctionner en journée quelles que soient les conditions de luminosité.

Partie IV - Gestion du demi-tour en bout de rangée

Objectif
L'objectif de cette partie est de valider l'erreur de position après le demi-tour. Ceci permettra au robot de ne pas écraser les cultures.

Requirement **Demi-tour**	Requirement **Inter-rang**
« Id 1113 » Le demi-tour nécessite moins de 200 cm en bout de rangée de terre propre ou d'herbe tondue.	« Id 1112 » Le robot doit être capable de garder son cap entre des rangs espacés de 65 cm à 120 cm.
	Erreur de positionnement après le demi-tour inférieure à 10 cm

Avant d'entamer son demi-tour, le robot s'arrête en bout d'allée. Le rayon de courbure minimum de la trajectoire de 1,5 m est incompatible avec un demi-tour direct entre 2 allées distantes de 120 cm maximum.



La trajectoire finalement choisie est décrite sur le schéma **figure 17**.

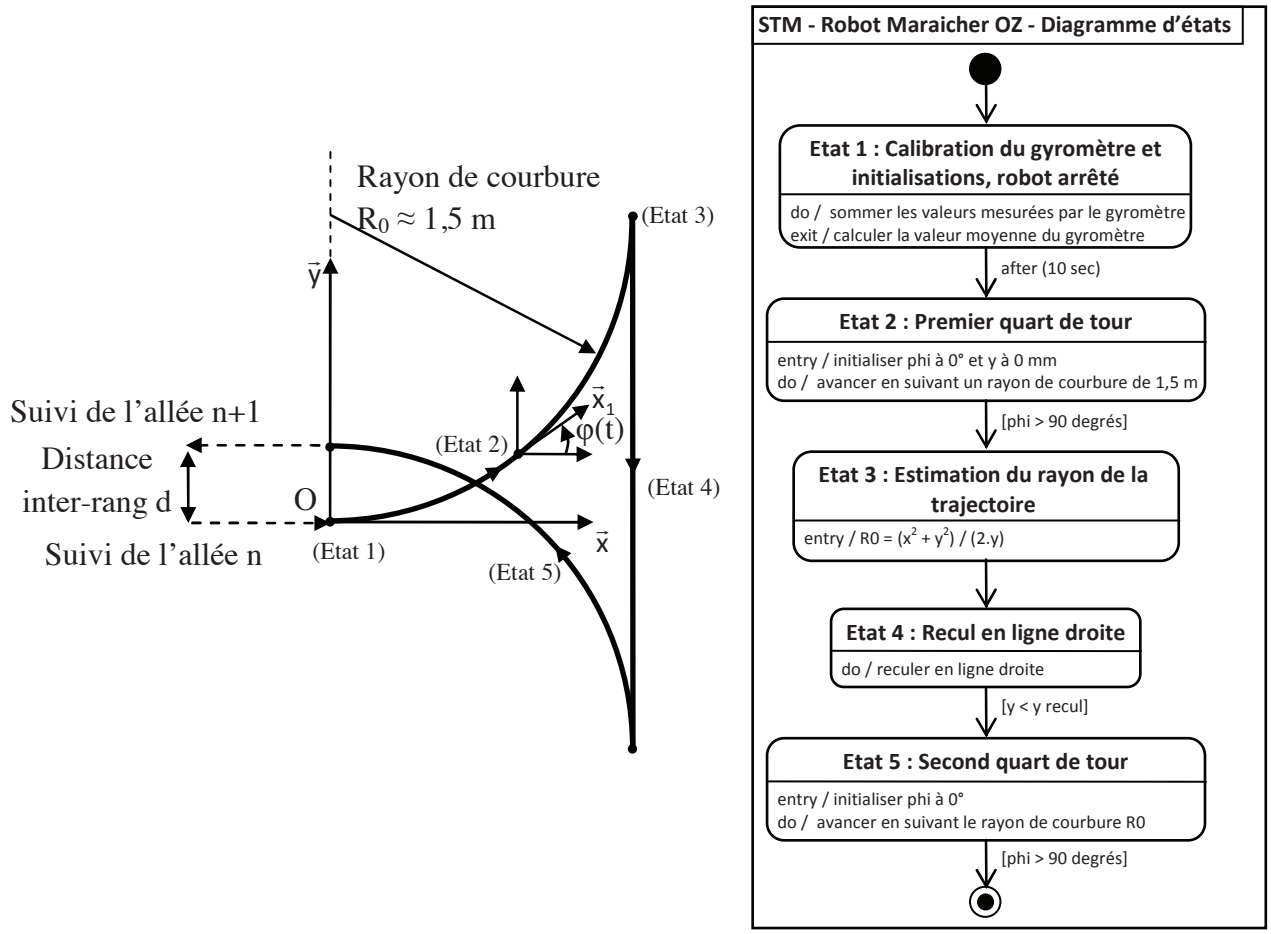


Figure 17 - Trajectoire du robot lors d'un demi-tour.

La position du robot est toujours repérée dans le plan $(O, \vec{x}, \vec{y})$ par ses coordonnées x(t) et y(t) et sa position angulaire est repérée par l'angle φ(t).

Question 29. Définir la distance y_{recul} intervenant dans la transition (Etat 4) → (Etat 5) du diagramme d'état à l'aide d'un schéma puis déterminer son expression en fonction de d et de R_0.

Le traitement est assuré par une carte Arduino Méga. Le schéma **figure 18**, **page 15** représente la liste des entrées/sorties utiles pendant le demi-tour à l'instant d'échantillonnage t_i. Les variables d'entrée dl_i et $d\varphi_i$ représentent les variations de position (linéaire en mètres et angulaire en degrés) du robot mesurées par le codeur et le gyromètre entre l'instant d'échantillonnage t_{i-1} et l'instant t_i.

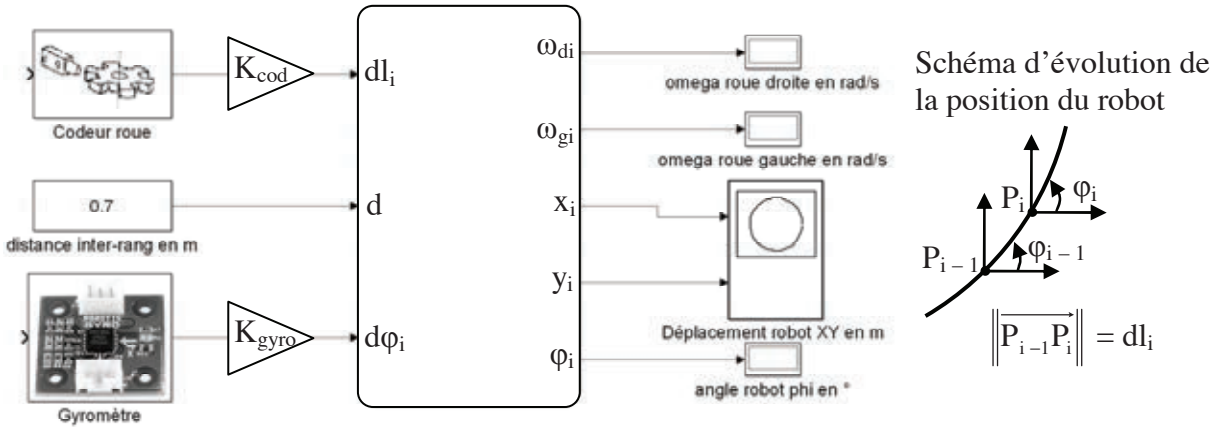


Figure 18 - Entrées/sorties carte Arduino Méga.

La position du robot est calculée à l'aide de codeurs incrémentaux implantés directement sur chaque roue (**figure 19**). Les roues codeuses sont solidaires des roues du robot.

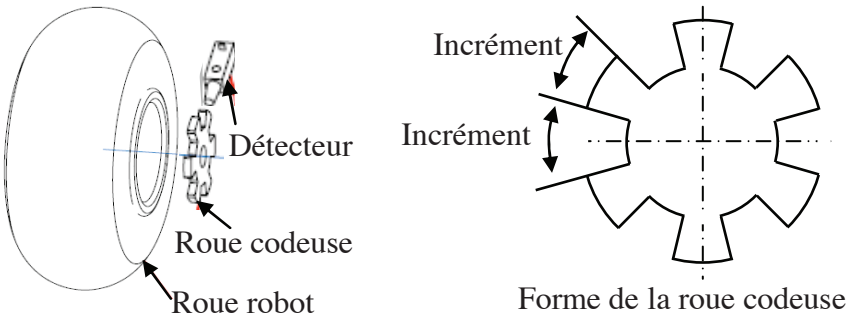


Figure 19 - Codeur incrémental équipant les roues.

Question 30. En utilisant la **figure 19**, déterminer la valeur du gain K_{cod} en m/incrément.

On donne **figure 20**, **page 16** les algorithmes simplifiés correspondant aux états 2, 4 et 5 lorsque le robot effectue son demi-tour. L'algorithme de calcul de la position du robot et de la commande des moteurs gauches et droits pendant le premier quart de tour (Etat 2) est représenté dans la partie gauche de la **figure 20**, **page 16**.

Question 31. En s'aidant du schéma d'évolution de la **figure 18**, établir les 3 équations de récurrence permettant de calculer la position du robot P_i en fonction de la position P_{i-1} et des acquisitions dl_i et $d\varphi_i$:
équation 1 : $\varphi_i = f(\varphi_{i-1}, d\varphi_i)$; équation 2 : $x_i = f(x_{i-1}, \varphi_{i-1}, dl_i)$; équation 3 : $y_i = f(y_{i-1}, \varphi_{i-1}, dl_i)$.

Pendant le premier quart de tour, le robot se déplace en arc de cercle de rayon 1,5 m environ. Certaines roues peuvent glisser sur la terre meuble et le rayon réel doit être actualisé à la fin du quart de tour (valeur R_0, calculée dans Etat 3). Lors de l'état 4, le robot recule ensuite à vitesse constante sans correction de trajectoire jusqu'à la valeur y_{recul}. Les moteurs des 4 roues, lors de cet état 4, tournent à une vitesse angulaire constante de 95 rad/s.

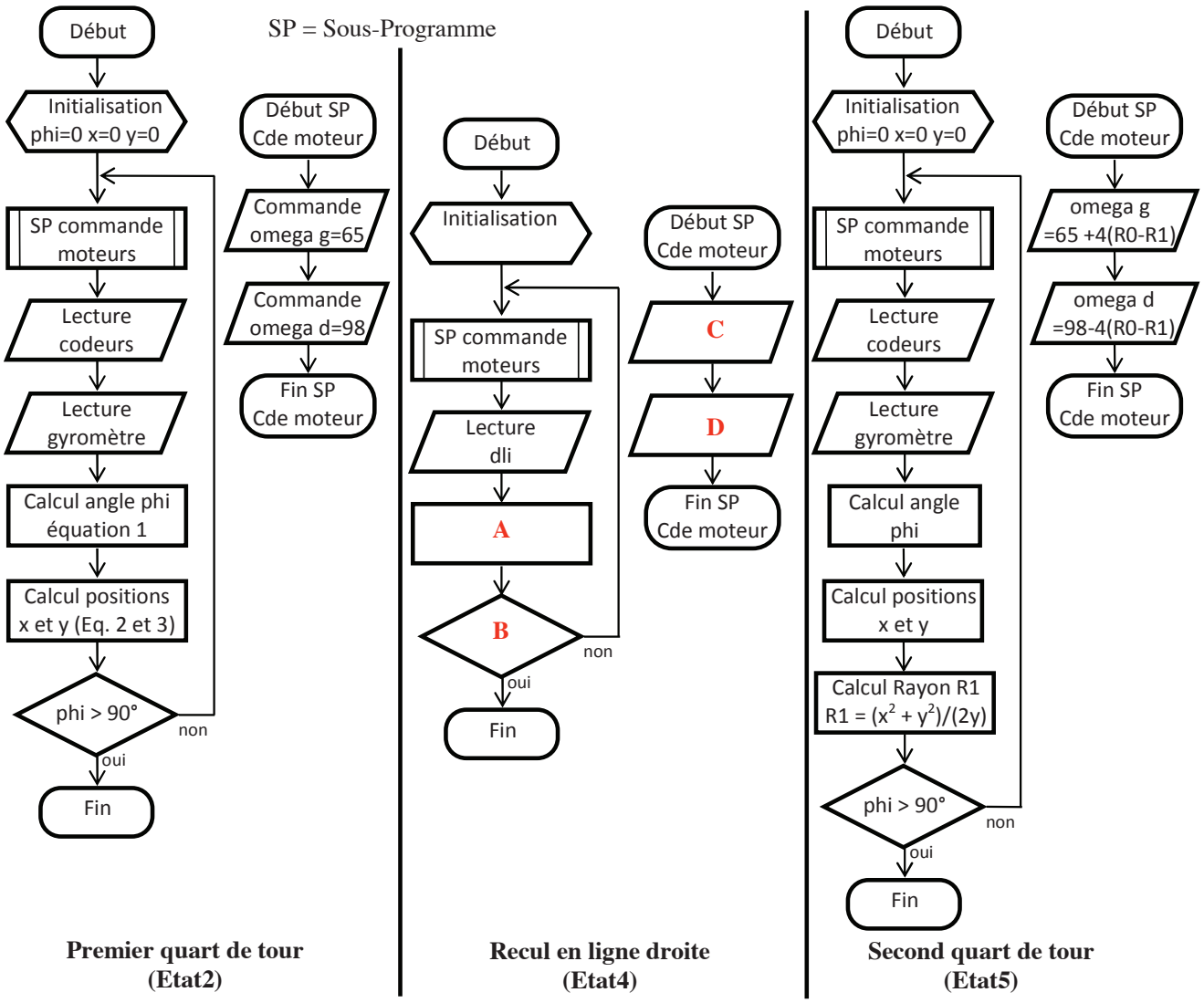


Figure 20 - Algorithmes simplifiés correspondant aux états 2, 4 et 5.

Question 32. Pour l'algorithme simplifié correspondant à l'état 4 « Recul en ligne droite », définir sur votre copie l'équation de récurrence à placer dans la case A puis la condition à satisfaire pour la case B, ainsi que les actions dans le sous-programme de commande des vitesses des moteurs gauches et droits, cases C et D.

L'algorithme de calcul du second quart de tour (Etat 5) est représenté dans la partie droite de la **figure 20**.

Question 33. Quels sont les blocs permettant d'affirmer que la trajectoire est asservie ? Quelle est la grandeur de consigne et le type de correcteur utilisé ? Ce type d'asservissement permet-il une bonne précision lorsque le robot subit des perturbations, en particulier lorsque le glissement des roues sur le sol boueux est important ?
Conclure vis-à-vis du critère de précision de l'exigence « id 1112 ».

Synthèse

Question 34. Rappeler les exigences analysées dans le sujet et indiquer celle qui est la plus difficile à réaliser et sur laquelle le constructeur doit porter ses efforts.

Fin de l'énoncé

IMPRIMERIE NATIONALE – 16 1217 – D'après documents fournis

DANS CE CADRE

Académie : Session :

Examen ou Concours : **Concours Communs Polytechniques** Série* : **MP**

Spécialité/option* : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve : **Sciences Industrielles**

NOM :
(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

Né(e) le

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

NE RIEN ÉCRIRE

Examen ou Concours : **Concours Communs Polytechniques** Série* : **MP**

Spécialité/option :

Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve : **Sciences Industrielles**
(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Si votre composition comporte plusieurs feuilles, numérotez-les et placez les intercalaires dans le bon sens.

Note : /20

Appréciation du correcteur :*

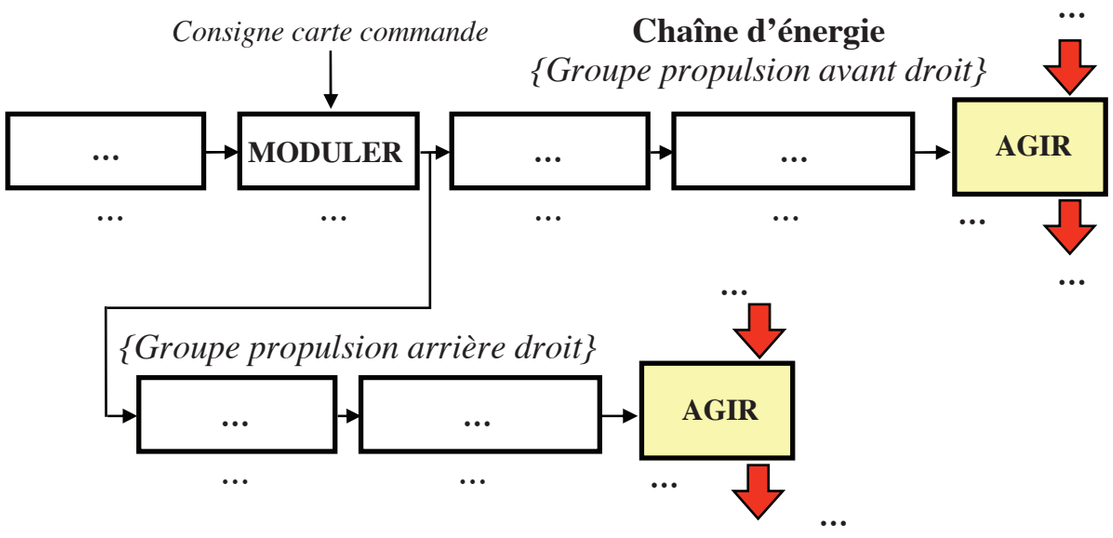
* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

MPSI007

Documents réponses

A rendre avec la copie

Document réponse DR1 (Question 1)

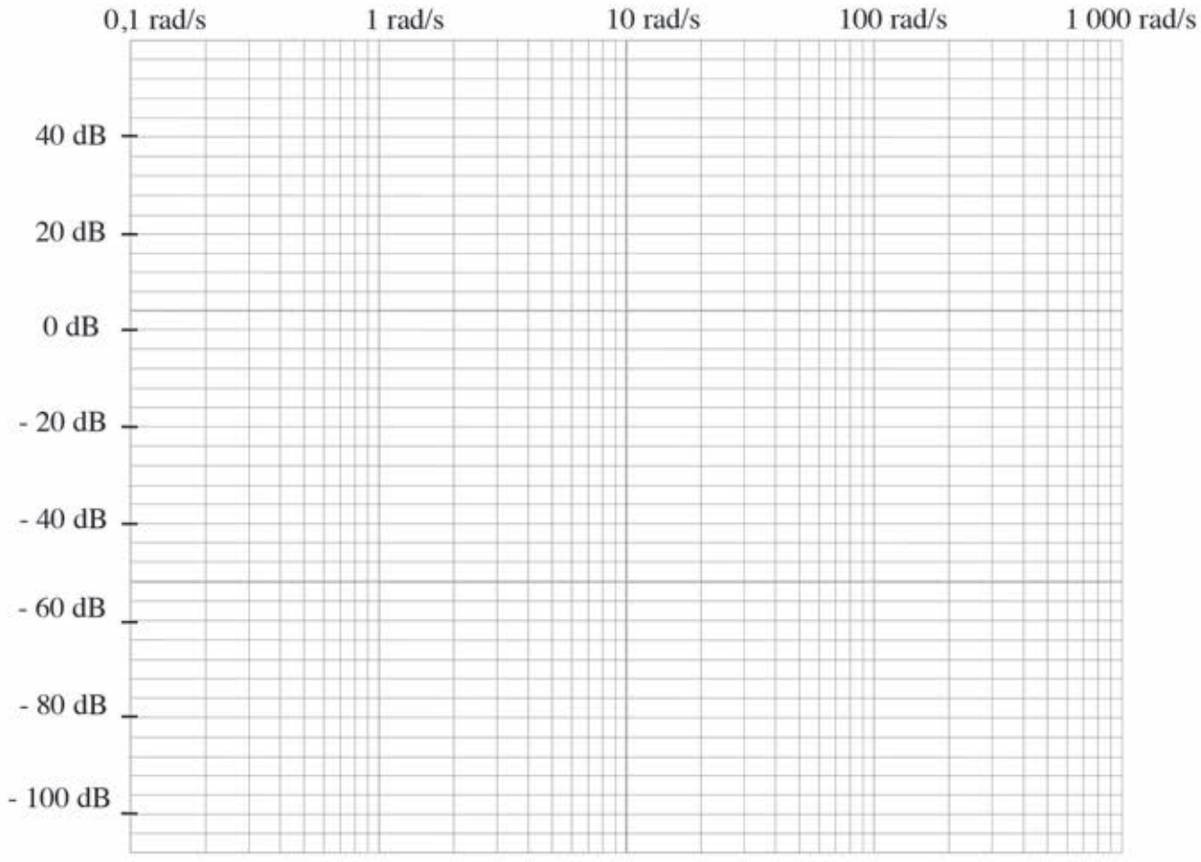


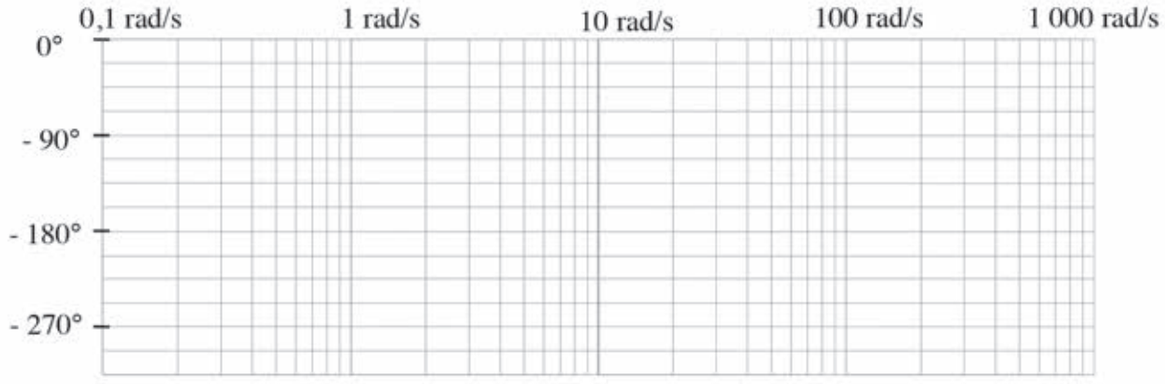
B

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

Document réponse DR2 (Question 16)





Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de MP chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Réponse fréquentielle et diagrammes de Bode
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Images : matrices de pixels, opérations, convolution

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/mp