


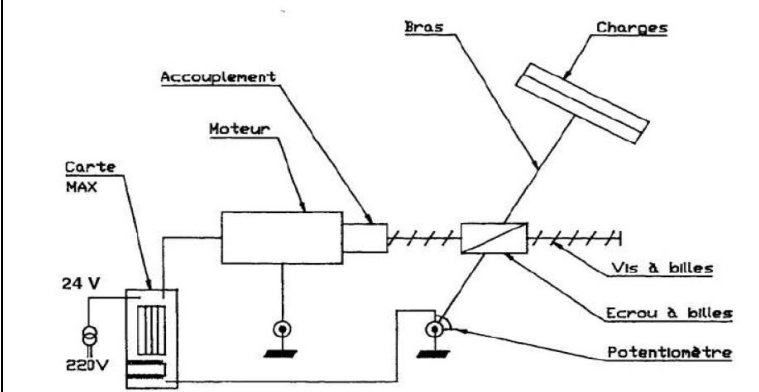
Précision de positionnement dans une application de type robotique
Bras de robot cueilleur (MAXPID)

Problématique :
Comment maîtriser les paramètres influents sur la précision de position d'un robot ?

Le contrôle de la position en extrémité d'un bras articulé est utile pour tout robot de manipulation y compris ici pour un robot agricole de type cueilleur.



Robot de récolte d'oranges : « Citrus »



Vue d'ensemble

La résolution de la problématique proposée est faite sous forme collaborative en trois activités autour du même support.

ACTIVITE 1 (Tous CI TSI) (2H15) : Approche globale des problèmes de positionnement en robotique et transposition dans le cadre du système étudié.

- apporter au sein du trinôme un point de vue global sur la problématique posée, et la transposer au système étudié, la position de l'extrémité du bras articulé MAXPID.
- fournir des indications et informations utiles aux expérimentateurs des activités 2 et 3,
- faire un bilan du travail collectif relatif au support sous forme d'une présentation orale en fin de séance.

Chef de projet

ACTIVITE 2 CI20 CI25 (2H15) : Influence du guidage et de la rigidité des pièces sur la précision de position

- Imperfections des guidages et solutions techniques retenues pour le système réel,
- Modélisation d'une poutre en flexion et mise en évidence d'une erreur de position due à la déformation,
- Transposition au système étudié.

**Expérimentateur 1 :
Éléments mécaniques**

ACTIVITE 3 CI24 CI26 (2H15) : Caractéristiques d'une mesure de position et mise en œuvre



- Caractéristique de la mesure de la position pour le système réel et évaluation de la précision,
- Mise en œuvre d'une mesure standard par codeur incrémental à l'aide d'une interface d'acquisition et traitement numérique (carte ARDUINO méga),
- Synthèse sur les sources d'erreur possibles de la mesure de position

**Expérimentateur 2 :
Information numérique**

BILAN DES 3 ACTIVITES ET COMMUNICATION ORALE (30 min) :

Le chef de projet (activité 1) anime les échanges et fait un bilan des activités de l'équipe sous forme d'une synthèse orale de 5 minutes, devant un professeur et en utilisant un document numérique de présentation.

ACTIVITE 1 CI25 (2H15) : Approche globale des problèmes de positionnement en robotique et transposition dans le cadre du système étudié

	
<p>Le robot médical « Da Vinci » reproduit les gestes du chirurgien et les traduit en actions plus précises d'un facteur 10 environ ce qui permet une chirurgie peu invasive.</p>	<p>Les robots industriels (1,5 million dans le monde en 2015) permettent la peinture, l'assemblage, le soudage, le vissage... avec une précision standard de l'ordre du mm.</p>

Avec un vocabulaire scientifique et technique approprié et en exploitant les connaissances et compétences acquises lors de votre formation en TSI, vous devez répondre à la problématique suivante.

Quels sont les principaux paramètres influents sur la précision de position d'un robot ?

Vous avez à disposition les documents :

- Approche globale des problèmes de positionnement d'un bras robotique,
- La carte mentale et les documents techniques relatifs à votre système accessible sur FLTSl.
- Un document réponse sous forme numérique que vous complétez en permanence et qui servira à votre présentation orale.

Vous êtes chargé en tant que chef de projet :

- De fournir aux expérimentateurs un point de vue global sur la problématique et de guider leurs expérimentations,
- de collecter les informations et données numériques issues des activités 2 et 3,
- de faire un bilan et une présentation orale en fin de séance.

1. Après avoir pris connaissance du document ressource de l'activité 1, et pour le système étudié (compléter le document réponse numérique au fur et à mesure).

- Décrire sa cinématique : nombre de degrés de libertés, types de mouvement (rotation, translation), type et qualité des guidages...
- Décrire sa statique : nature des charges et répartition dans l'espace, influence du poids propre et de la charge à déplacer...
- Décrire sa structure du point de vue résistance des matériaux : forme, dimensions et géométrie des pièces principales, nature des sollicitations, matériaux...
- Décrire sa dynamique : importance et origine de l'énergie cinétique lors de la mise en mouvement ou de son arrêt, nature et importance des puissances extérieures et de ces pertes internes...
- Décrire le moyen d'acquisition de la position (capteur, forme et transport de l'information) et le traitement de l'information pour le contrôle de la position (analogique, numérique, asservissement),
- Décrire sa source d'énergie et le contrôle de puissance motrice (modulateurs).

2. Pour l'ensemble motoréducteur à disposition, (fonction convertir et transmettre) :

- Vérifier expérimentalement s'il existe un jeu et un couple de frottement sec en augmentant progressivement sa tension d'alimentation et en trouvant son courant de décollage pour les 2 sens de rotation du moteur.
- Déduire le couple résistant rapporté au moteur en utilisant sa constante de couple et donner une représentation sous forme de graphe couple vitesse de ce couple résistant
- Indiquer dans quel type d'erreur ce phénomène est classé.

3. Faire le bilan (30min) avec les 2 expérimentateurs (activité 2 et 3) sur les résultats qu'ils ont établis et enrichir la description de votre système d'un point de vue des erreurs de précision.**4. Présenter** oralement le bilan du travail de votre équipe (5min) en vous appuyant sur votre document numérique.

ACTIVITE 2 CI25 (2H15) : Influence du guidage et de la rigidité des pièces sur la précision de position

Contexte de l'étude

L'impact des actions mécaniques sur la structure générale (pièces, liaisons mécaniques) peut apporter des conséquences non négligeables sur la précision de la position demandée du système.

Votre activité consiste à établir et justifier les solutions techniques mises en œuvre pour maîtriser cet impact.

Influence du jeu dans le guidage de la liaison pivot entre le bras et le bâti

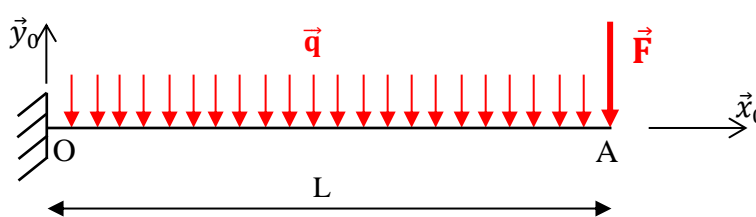
1. A partir du modèle numérique et/ou du système, **définir** la solution constructive mise en œuvre pour réaliser le guidage de cette liaison pivot. **Réaliser** un croquis 3D à main levée.
2. On peut trouver des solutions de guidage par « contact direct » entre les pièces, par interposition d'un palier lisse ou d'éléments roulants (roulements à billes, à rouleaux, ...). **Justifier** qualitativement l'impact de ces solutions sur la précision du guidage, en fonction de critères comme la vitesse de rotation et les actions mécaniques transmises.



Autre source d'imprécision de la position : la déformation des pièces. L'étude qui suit permet d'établir les facteurs influents sur la déformation d'une poutre. Vous devrez vous servir de cette analyse pour l'adapter au robot MAXPID.

Facteurs d'influence sur la déformation d'une poutre

Modèle proposé : poutre encastree en un point O et subissant l'action d'une charge \vec{P} (répartie uniformément sur la longueur) et d'une force extérieure \vec{F} en A.

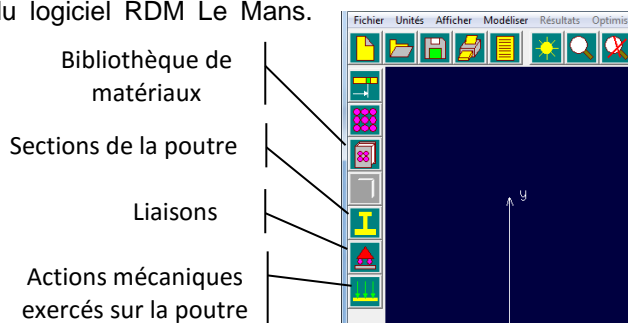


3. **Exprimer** simplement \vec{OA} en fonction de L dans le repère R_0 avant son chargement (avant la mise en place des AM extérieures).
4. **Tracer** l'allure de sa déformée après son chargement.
5. **Exprimer** désormais \vec{OA}' dans le cas d'une petite déformation. (A' point extrémité poutre après déformation). **Préciser** les hypothèses que vous aurez faites.
6. **Exprimer** la charge linéique \vec{q} en fonction de \vec{P} et des données géométriques. **Préciser** son unité.
7. **Ouvrir** une nouvelle étude dans le module « flexion » du logiciel RDM Le Mans.

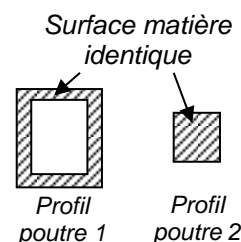
$$\begin{aligned} \|\vec{P}_{\text{ext} \rightarrow \text{poutre}}\| &= \|\vec{P}\| = 150 \text{ N} \\ \|\vec{F}_{\text{ext} \rightarrow \text{poutre}}\| &= \|\vec{F}\| = 100 \text{ N} \end{aligned} \quad L = 0,8 \text{ m}$$

Créer le modèle de la poutre (profil poutre 1) étudiée :

- Nombre de nœuds = 2 (point O et point A)
 - Choix du matériau : alliage d'aluminium AU 4 G (norme actuelle : 2017 A)
 - Section : « rectangle creux » avec hauteur = 60 mm, base = 40 mm, épaisseur = 5 mm
8. **Vérifier** l'allure de la déformée avec celle proposée à la question 5 et **préciser** la valeur de la flèche maxi.
 9. **Relever** la masse de matière correspondant à ce profil (Fichier / éditer).



10. **Relever** également l'aire de la section de matière.
11. Pour une surface de matière identique, **dimensionner** précisément une deuxième poutre (profil poutre 2) avec un profil de section « rectangle plein ». la masse de matière a-t-elle évolué ?
12. **Déterminer** la flèche (déformée maxi) de cette nouvelle poutre.
13. **Renouveler** la démarche avec : base = 60 mm, hauteur = 40 mm et épaisseur = 5 mm.
14. **Nommer** ce paramètre qui conditionne la rigidité d'une poutre. **Préciser** son unité.



La flèche d'une poutre en flexion est déterminée grâce à la relation : $\text{Flèche} = \frac{d^2(v(x))}{dt^2} = v''(x) = \frac{|M_{fz}|}{E \cdot I_{Gz}}$

15. **Préciser** l'origine de chacun des 3 paramètres (M_{fz} , E et I_{Gz}) en fonction des différentes caractéristiques que vous venez de mettre en œuvre (dimensions géométriques, matériau, actions mécaniques, répartition de la surface autour de l'axe).

Application au robot MAXPID / Synthèse de l'activité

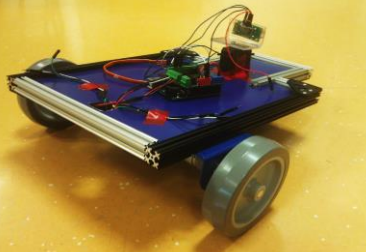
16. **Repérer** sur le robot MAXPID les pièces dont leur déformation serait préjudiciable à la précision du positionnement (voire problématique posée).
17. **Proposer** un protocole expérimental et/ou de simulation permettant de montrer l'influence de la déformation du bras sur la précision ($\pm 1\%$) de positionnement angulaire demandée dans le CdCF.
18. **Justifier** les orientations des formes du bras de la maquette. En profiter pour **définir** le matériau et le procédé d'obtention.



ACTIVITE 3 CI24 CI26 (2H15) : Caractéristiques d'une mesure de position et mise en œuvre
SYSTEME REEL (ROBOT MAXPID) : Mesure de la position atteinte en extrémité de bras

- Positionner** le bras pour un mouvement dans le plan vertical et le **charger** avec une masse de 650g. **Mettre** en service le système et **procéder** à l'étalonnage du capteur de position (suivre la procédure fournie).
- Accéder** au réglage du correcteur PID et **régl**er la valeur de Kp à 70, celles de Ki et Kd à la valeur « 0 » et **faire** un essai indiciel d'environ 30°, de la position 40° à la position 70° environ, dans un sens puis dans l'autre. **Vérifier** les positions atteintes sur le rapporteur gradué vis-à-vis de la consigne fixée. **Commenter et donner** le rôle du correcteur sur la précision de position.
- Exploiter** la documentation fournie (**Annexe 1**) et **décrire** la façon dont est déterminée la position angulaire du bras. **Fournir** le nom et les caractéristiques des éléments permettant d'acquérir la position angulaire du bras.
 - Relever** la linéarité du capteur fournie pour EM (étendue de mesure) et **calculer** l'erreur maxi en degré qui lui correspond
 - Préciser** si la mesure du capteur donne directement ou non la position que l'on désire contrôler en extrémité de bras,
 - Indiquer** si le principe de mesure de position mis en œuvre est de type absolu ou relatif et **justifier** la procédure d'étalonnage initial.
- Après numérisation, **déterminer** la résolution angulaire théorique obtenue en ° pour la rotation du bras (calcul du quantum).
- Expliquer** ce qui se passe en extrémité d'un bras d'une grande longueur soumis à une charge variable même si l'asservissement de position maintient la position angulaire au niveau de la liaison pivot avec le bâti.

SOLUTION STANDARD PAR CODEUR INCREMENTAL : Mesure de position d'un robot mobile à roues

	<p>De nombreuses applications de type contrôle ou asservissement de position, font appel à un codeur de type incrémental. L'exploitation de ce capteur dans une boucle de positionnement numérique nécessite un certain nombre de précautions qu'il faut connaître et solutionner.</p> <p>L'approche proposée se fait à l'aide d'un sous-système d'entraînement de roue de robot mobile autonome comprenant un motoréducteur à machine à courant continu (MCC) + codeur incrémental à 2 voies A et B monté sur l'arbre du moteur.</p> <p>Le moteur est alimenté au travers d'un hacheur 4 quadrants commandés en mode PWM ou MLI associé à une carte ARDUINO.</p>
--	---

		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Wire colour</th> <th>Connection</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Purple (1)</td> <td>Hall Sensor B Vout</td> </tr> <tr> <td>Blue (2)</td> <td>Hall sensor A Vout</td> </tr> <tr> <td>Green (3)</td> <td>Hall sensor ground</td> </tr> <tr> <td>Brown (4)</td> <td>Hall sensor Vcc</td> </tr> <tr> <td>Red (5)</td> <td>+ Motor</td> </tr> <tr> <td>Black (6)</td> <td>- Motor</td> </tr> </tbody> </table> <p>Le codeur accepte des tensions comprises entre 3.5v et 20V. Ses sorties sont de type collecteur ouvert et requièrent des résistances de tirages au niveau haut.</p>	Wire colour	Connection	Purple (1)	Hall Sensor B Vout	Blue (2)	Hall sensor A Vout	Green (3)	Hall sensor ground	Brown (4)	Hall sensor Vcc	Red (5)	+ Motor	Black (6)	- Motor
Wire colour	Connection															
Purple (1)	Hall Sensor B Vout															
Blue (2)	Hall sensor A Vout															
Green (3)	Hall sensor ground															
Brown (4)	Hall sensor Vcc															
Red (5)	+ Motor															
Black (6)	- Motor															

<p>Motoréducteur MG30 12V ; réducteur r = 1/30 entraînant une roue de diamètre D = 100 mm</p>	<p>Connections du moteur et du codeur incrémental</p>
--	--

- Prendre** connaissance du document « **CI26_Codeurs de position.pdf** », et **indiquer** quelle est la nature de l'information délivrée par un codeur incrémental.
- Mettre** sous tension la carte Arduino, **raccorder** un oscilloscope sur les 2 voies A et B du codeur, **faire tourner** la roue à la main et **observer** ces signaux, **vérifier** leur qualité. **Représenter** les signaux A et B sur feuille pour 2 vitesses de rotation dans un rapport 2.
- Indiquer** le traitement de l'information issue des signaux A et B que doit effectuer le microcontrôleur « Arduino » afin de connaître à tout moment la position angulaire et le sens de rotation de l'axe de sortie du réducteur.
- Ouvrir** le fichier « **TP5_codeur.ino** » et le « téléverser » dans la carte Arduino. **Ouvrir** le moniteur série et **agir** sur la roue, **observer** l'évolution des variables « positionActuelle » et date « t » en ms.
- Proposer** un protocole, pour **déterminer** directement le nombre de points par tour de roue en minimisant l'erreur. La **mettre** en œuvre et **déterminer** la résolution angulaire dont vous disposez au niveau de la roue.
- Déduire** la résolution de positionnement du robot en translation horizontale en mm en l'absence de glissement au contact roue/sol et en ligne droite
- Vérifier** dans le programme le type de variable associée à « positionActuelle », **donner** sa taille en nombre de bits et la plage décimale balayée. **Vérifier** cette plage en agissant sur la roue et **indiquer** ce qui se passe aux frontières de cette plage.
- Calculer** dans le cas du robot mobile la distance maximale en ligne droite pour laquelle la position est connue
- Changer** le type de variable associée à la position par un type « Float », et **vérifier** le changement de comportement de l'acquisition de position. **Déterminer** la nouvelle plage de distance mesurable en km.

SYNTHESE DE VOTRE ACTIVITE

15. Conclure en faisant le bilan des sources d'erreurs de position possibles pour le système support (bras MAXPID) et l'étude du robot mobile.

ANNEXE 1 : MESURE DE L'ANGLE DU BRAS ARTICULE MAXPID

La position angulaire du θ_B bras (0° à l'horizontale et 90° à la verticale) est acquise par un potentiomètre balayant 90° et alimenté sous 5 V (fig.1) et qui délivre une tension V_B image de la position du bras. La tension V_B de sortie est numérisée sur 10 bits (fig.1) par un convertisseur analogique numérique (CAN) 10 bits.



CAPTEURS DE DEPLACEMENT ANALOGIQUES POUR APPLICATIONS AUTOMOBILES

- Technologie potentiomètre à piste plastique
- Utilisation en compartiment moteur
- Entraînement par levier avec ressort de rappel
- Sorties par fils

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Course électrique :	$94^\circ \pm 2^\circ$
Linéarité pondérée :	$\pm 1,5 \%$
Résistance totale :	$3,85 \text{ k}\Omega \pm 20 \%$
Puissance dissipée à $+40^\circ\text{C}$:	0,5 W
à $+125^\circ\text{C}$:	0,05 W
Résistance de limitation du courant curseur (R_p) :	$1,7 \text{ k}\Omega \pm 20 \%$
Courant curseur conseillé :	$< 100 \mu\text{A}$
Courant curseur max :	15 mA pendant 1 minute
Régularité de la tension de sortie :	$< 0,1 \%$ (NFC 93 255)
Impédance de charge recommandée :	$\geq 100 \text{ Rn}$

CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Course mécanique :	$125^\circ \pm 4^\circ$
Couple de rappel du levier en début de course :	$\geq 1 \text{ N.cm}$
Couple de rappel du levier en fin de course :	$\leq 10 \text{ N.cm}$
Couple de butée :	60 N.cm
Rappel du levier :	sens anti-horaire
Couple de serrage des vis de fixation :	2,3 N.m max

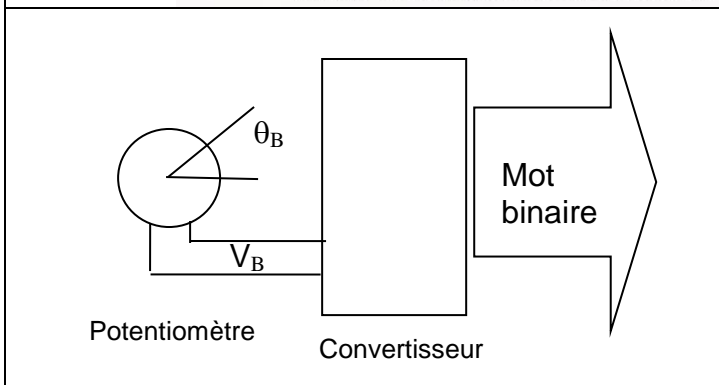


Fig.1 : Numérisation de la position du bras

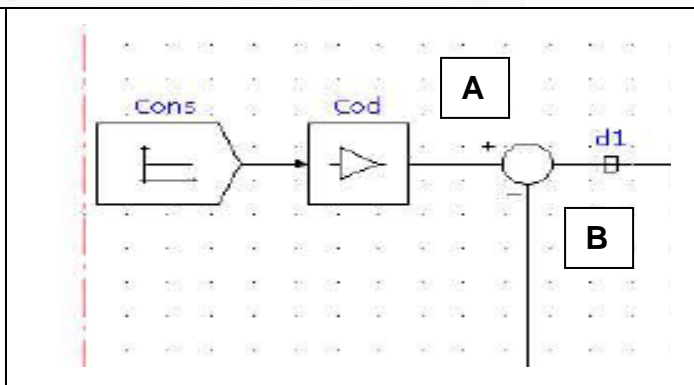


Fig.2 : Comparaison de 2 mots de 12 bits A et B

Tension V_B image de la position du bras numérisée sur 10 bits par un convertisseur analogique numérique (CAN).

L'asservissement de position nécessite la comparaison de 2 mots binaires de même taille notés ici A et B.