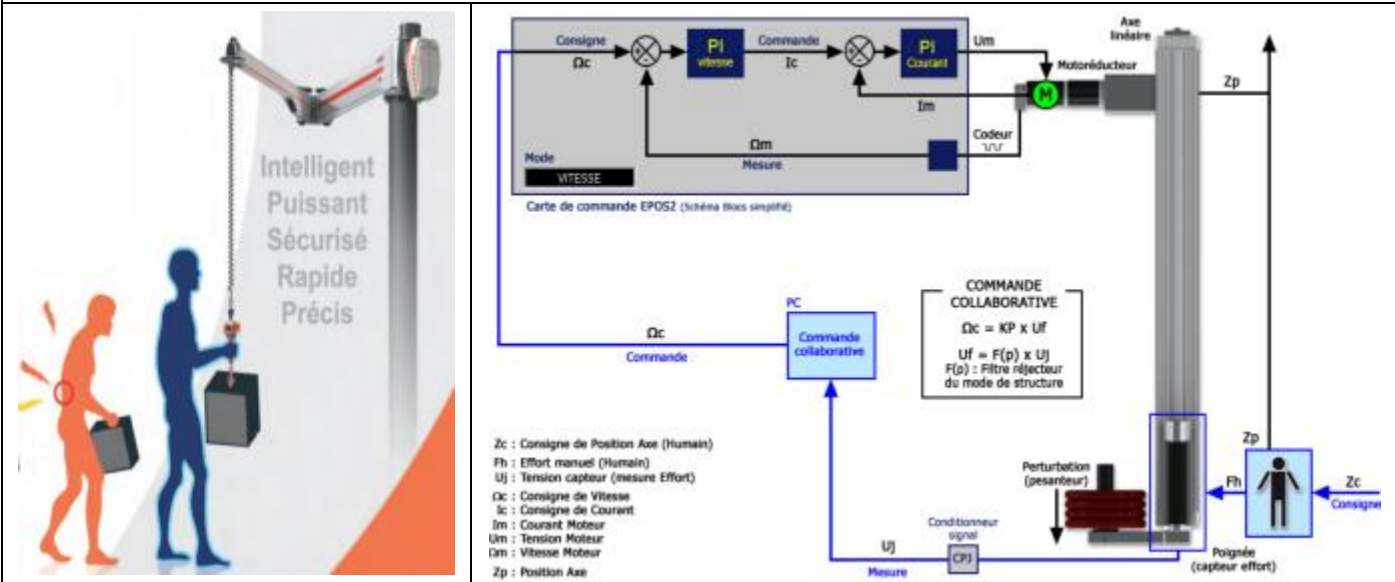


Précision de positionnement dans une application de type robotique
Robot collaboratif COMAX

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

Le contrôle de la position de dépose d'un objet par un système de levage nécessite de maîtriser la position en extrémité du bras articulé.



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, le bras COMAX.
- 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 C120 C125 (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 C124 C126 (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

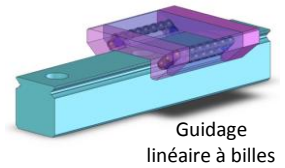
L'impact des actions mécaniques sur la structure générale (pièces, liaisons mécaniques) peut apporter des conséquences non négligeables sur la précision de la position demandée du système.

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

Influence du jeu dans les guidages entre la sortie du réducteur et l'axe linéaire vertical

Ressources : « COMAX dossier technique » (p. 29) et vue éclatée dans « Motorisation linéaire COMAX » (p. 44).

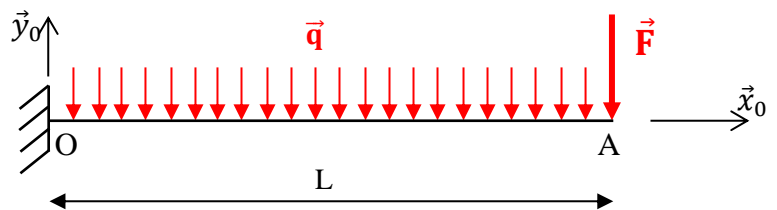
1. A partir des documents ressources et/ou du système, **définir** les solutions constructives mises en œuvre pour réaliser : l'accouplement de la poulie sur l'axe de sortie du réducteur, le guidage vertical de l'axe linéaire. **Justifier** ces choix de solution (**réaliser** des croquis 3D à main levée).
2. On peut trouver des solutions de guidage par « contact direct » entre les pièces, par interposition de palier lisse ou avec des éléments roulants (roulements à billes, à rouleaux, ...). **Justifier** qualitativement l'impact de ces solutions sur la précision de l'axe linéaire, 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 COMAX.

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.

$$\|\vec{P}_{ext \rightarrow poutre}\| = \|\vec{P}\| = 150 \text{ N}$$

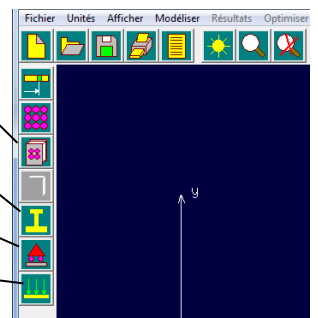
$$\|\vec{F}_{ext \rightarrow poutre}\| = \|\vec{F}\| = 100 \text{ N} \quad L = 0,8 \text{ m}$$

7. **Ouvrir** une nouvelle étude dans le module « flexion » du logiciel RDM Le Mans.

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

Bibliothèque de matériaux
 Sections de la poutre
 Liaisons
 Actions mécaniques exercés sur la poutre

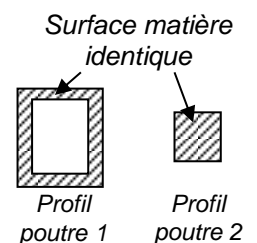


8. **Vérifier** l'allure de la déformée avec celle proposée à la question 5 et **préciser** la valeur de la flèche maxi.

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 : $Flèche = \frac{d^2(v(x))}{dt^2} = v''(x) = \frac{|M_{fz}|}{E \cdot I_{Gz}}$

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).

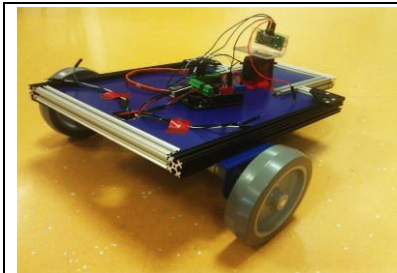
Application au robot COMAX / Synthèse de l'activité

16. **Repérer** sur le robot COMAX les pièces dont leur déformation serait préjudiciable à la précision du positionnement (voir problématique posée).

17. **Proposer** un modèle d'étude RdM de l'axe linéaire vertical (définir une poutre, mettre en place une liaison, implanter un modèle des actions mécaniques extérieures, ...).

ACTIVITE 3 CI24 CI26 (2H15) : Caractéristiques d'une mesure de position et mise en œuvre**SYSTEME REEL (ROBOT COLLABORATIF COMAX) : Mesure de la position verticale de l'axe**

1. **Vérifier** la présence des 3 masses additives et **mettre** en service le système à l'aide du logiciel en veillant à respecter les consignes de sécurité.
2. **Accéder** au mode « asservissement de position », **régler** le correcteur PID avec **Kp = 2420, Ki = 8340 et Kd = 3240**. **Noter** la procédure de positionnement initial du système. **Vérifier** la position atteinte et **commenter**.
3. **Exploiter** la documentation fournie (**annexe 1**) et **décrire** la façon dont est déterminée la position verticale du bras collaboratif. **Fournir** le nom et les caractéristiques des éléments permettant de déterminer la résolution verticale de positionnement.
 - **Préciser** si la mesure du capteur fournit directement ou non la position de la charge par rapport au sol.
 - **Indiquer** si la technique de positionnement mise en œuvre est de type absolu ou relatif. **Justifier** alors l'existence de la procédure de mise en position initiale.
 - **Expliquer** pour ce type d'application l'avantage que pourrait apporter un codage absolu, **illustrer** par une situation précise.
 - **Déterminer** la résolution théorique obtenue en mm/ incrément sur l'axe vertical.
4. **Montrer** expérimentalement et directement l'influence du poids sur le positionnement du bras dans le repère global. **Estimer** la valeur de l'erreur de position qui en résulte avec et sans charges additionnelles en mm et %.
5. Pour une charge de masse variable, **expliquer** ce qui se passe pour sa position (hauteur) vis-à-vis du sol même si l'asservissement maintient la position angulaire sans erreur au niveau de la liaison pivot avec le bâti.

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

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.

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.

Le moteur est alimenté au travers d'un hacheur 4 quadrants commandés en mode PWM ou MLI associé à une carte ARDUINO.



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

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.

Motoréducteur MG30 12V ; réducteur r = 1/30 entraînant une roue de diamètre D = 100 mm

Connections du moteur et du codeur incrémental

6. **Prendre** connaissance du document « **CI26_Codeurs de position.pdf** », et **indiquer** quelle est la nature de l'information délivrée par un codeur incrémental.
7. **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.
8. **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.
9. **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.
10. **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.
11. **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
12. **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.
13. **Calculer** dans le cas du robot mobile la distance maximale en ligne droite pour laquelle la position est connue
14. **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.

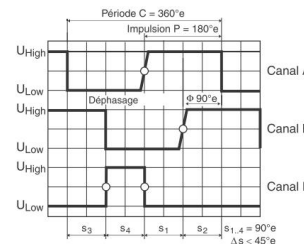
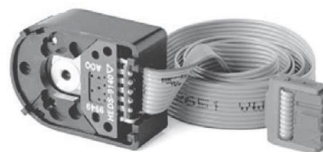
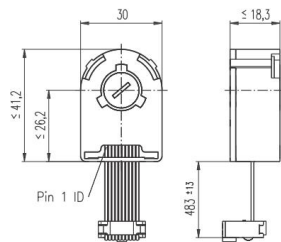
SYNTHESE DE VOTRE ACTIVITE

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

ANNEXE 1 : Acquisition de la position du bras selon l'axe vertical (robot COMAX)

L'information de position est donnée par un codeur incrémental monté sur l'arbre du moteur et délivrant 500 impulsions par tour.

Codeur HEDL 5540 500 impulsions, 3 canaux, avec Line Driver RS 422



Les caractéristiques du motoréducteur 24V/0016 sont données ci-dessous.

Version	Rapport de réduction	Nombre d'étages	Rendement	Vitesse à vide en tr/mn	Vitesse en charge en tr/mn	Couple nominal en Nm	Courant nominal en A
12V/0004	3.70	1	0.80	1024	862	0.54	6
12V/0016	15.88	2	0.75	239	203	2.00	6
12V/0025	25.01	2	0.75	152	129	3.20	5.8
12V/0051	50.89	3	0.70	74	63	6.00	5.8
12V/0100	99.5	3	0.70	38	32	11.80	5.8
12V/0169	168.84	3	0.70	22	20	15.00	4.3
12V/0252	252.24	4	0.65	15	14	15.00	3.2
24V/0004	3.70	1	0.80	2049	1896	0.50	5.8
24V/0016	15.88	2	0.75	477	442	2.00	5.8
24V/0025	25.01	2	0.75	303	280	3.20	5.8
24V/0051	50.89	3	0.70	149	138	6.00	5.8
24V/0100	99.5	3	0.70	76	70	11.80	5.8
24V/0169	168.84	3	0.70	45	42	15.00	4.3
24V/0252	252.24	4	0.65	30	29	15.00	3.2

Commutation	Graphite
Nombre de lames au collecteur	13
Aimant	Néodym Fer Bore
Type de réducteur	PLANETAIRE
Paliers	Roulement à billes
Charge axiale maximum	110 N
Charge radiale maximum	160 N
Force de chassage	320 N
Jeu angulaire en charge	0.90 °
Vitesse maximum d'entrée	3000 tr/mn
Température ambiante mini de	-20 °C
Température ambiante maxi de	100 °C
étage d'entrée	Delrin
étage de sortie	Acier
Poids minimum	1080 g

La cinématique de l'entraînement vertical est représentée ci-contre.

Le rapport de réduction entre l'axe du moteur et la poulie motrice qui entraîne la courroie est celui du modèle 24V/0016.

Le déplacement vertical est de 108mm pour un tour de poulie.

