



TRAVAUX PRATIQUES SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR



Précision de positionnement dans une application de type robotique

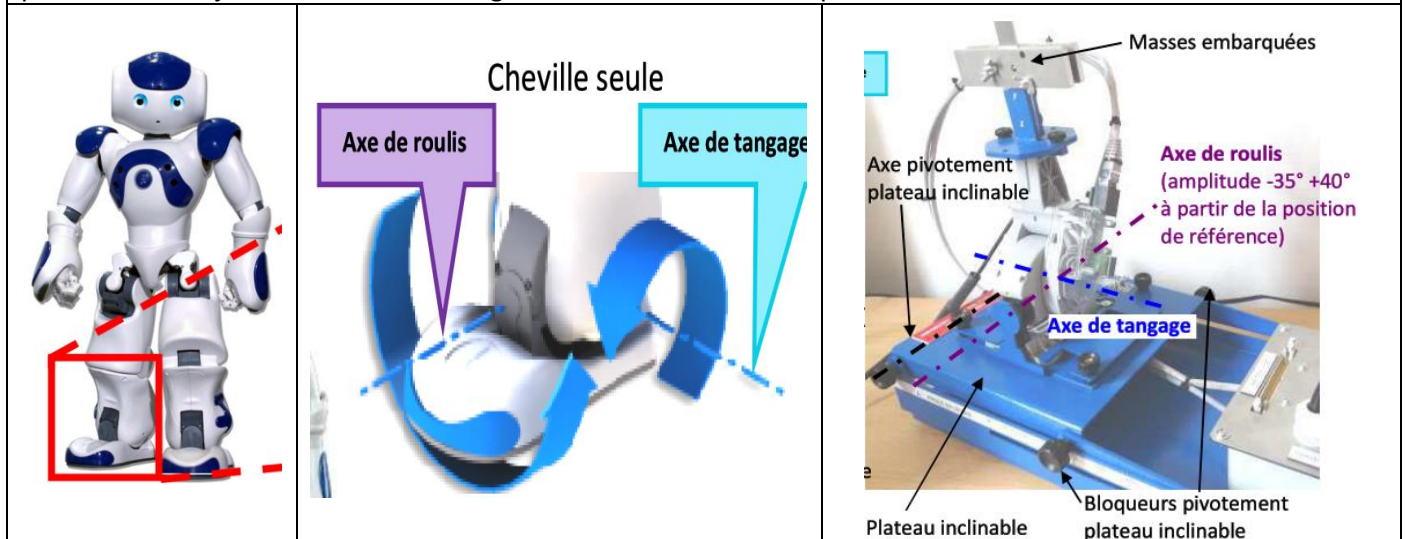
CI24 CI25
CI26

Cheville du robot (NAO)

Problématique :

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

Le contrôle d'un robot humanoïde nécessite de maîtriser la position d'extrémités de bras articulés pour la préhension d'objet et de son centre de gravité afin d'assurer son équilibre lors de la marche.



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, une cheville de robot humanoïde NAO.
- 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 (2H) : Influence du guidage et de la rigidité des pièces sur la précision de position

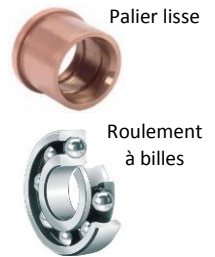
Contexte de l'étude

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 entre le tibia et la cheville du robot Nao

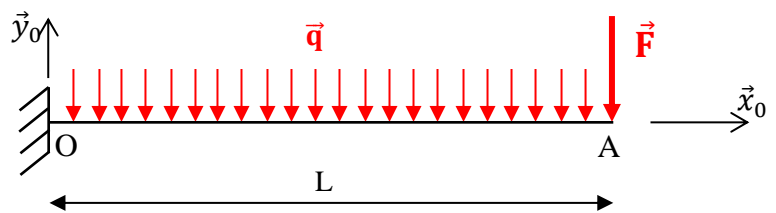
- Manipuler** avec précaution l'articulation de la cheville de la maquette du robot. A quoi est dû le « léger » jeu ressenti. Donner votre avis sur la précision et la rigidité de la liaison.
- A partir du modèle numérique de la cheville et/ou du système, **définir** la solution constructive mise en œuvre pour réaliser le guidage de la liaison pivot sur l'axe de tangage de la cheville. **Réaliser** un croquis 3D à main levée.
- 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 vous servirez de cette analyse pour l'adapter à la cheville du robot.

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.



- Exprimer** simplement \vec{OA} en fonction de L dans le repère R_0 avant son chargement (avant la mise en place des AM extérieures).
- Tracer** l'allure de sa déformée après son chargement.
- Exprimer** désormais $\vec{OA'}$ dans le cas d'une petite déformation. (A' point extrémité poutre après déformation). **Préciser** les hypothèses que vous aurez faites.
- Exprimer** la charge linéique \vec{q} en fonction de \vec{P} et des données géométriques. **Préciser** son unité.

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

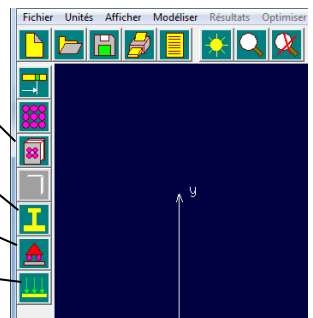
$$\|\vec{F}_{\text{ext} \rightarrow \text{poutre}}\| = \|\vec{F}\| = 100 \text{ N} \quad L = 0,8 \text{ m}$$

- 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

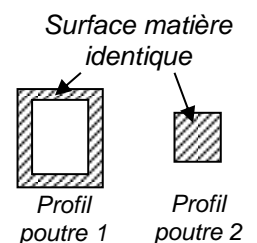
Bibliothèque de matériaux
Sections de la poutre
Liaisons
Actions mécaniques exercés sur la poutre



- Vérifier** l'allure de la déformée avec celle proposée à la question 5 et **préciser** la valeur de la flèche maxi.
- Relever** la masse de matière correspondant à ce profil (Fichier / éditer).

- Relever** également l'aire de la section de matière.

- 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 ?



- Déterminer** la flèche (déformée maxi) de cette nouvelle poutre.

- Renouveler** la démarche avec : base = 60 mm, hauteur = 40 mm et épaisseur = 5 mm.

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

- 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).

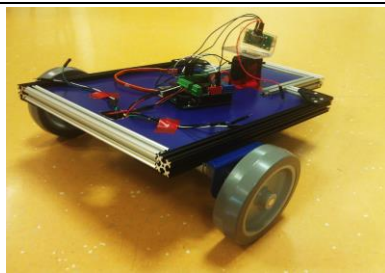
Application à la cheville Nao / Synthèse de l'activité

- Quelle conséquence la déformation des pièces peut-elle avoir sur le comportement du robot Nao ?
- Analyser** les formes géométriques, dimensions, épaisseur et type de matériau de la structure du tibia.
- Définir** les éléments principaux qui influent sur la rigidité du tibia.
- Citer** le procédé d'obtention associé à la fabrication de ces pièces.
- Proposer** (ne pas la mettre en œuvre) une démarche expérimentale ou de simulation permettant de mesurer (quantifier) les déformations maximales du tibia dans le contexte du robot humanoïde Nao.

ACTIVITE 3 CI24 CI26 (2H) : Caractéristiques d'une mesure de position et mise en œuvre**SYSTEME REEL (CHEVILLE DU ROBOT NAO) : Mesure de la position angulaire de l'axe de tangage**

AVERTISSEMENT IMPORTANT : Ne jamais agir manuellement sur la cheville alors que le système de positionnement est activé, ceci entraîne une dégradation mécanique de l'entraînement extrêmement fragile.

1. **Identifier** l'axe de tangage directement sur la cheville, puis **mettre** en service le système.
2. **Accéder** au réglage du correcteur PID de l'angle de tangage et **régler** la valeur du correcteur PID tel que **Kp = 100, Ki et Kd = 0**. **Faire** un essai indiciel d'environ 15° à partir de la position verticale, dans un sens puis dans l'autre. **Vérifier** au mieux la position atteinte et **commenter**.
3. **Exploiter** la documentation fournie (**Annexe 1**) et **décrire** la façon dont est déterminée la position angulaire de la cheville selon l'axe de tangage. **Fournir** le nom et les caractéristiques des éléments permettant de contrôler la position angulaire en tangage.
 - **Préciser** si la mesure du capteur est faite directement ou non sur l'axe de tangage.
 - **Indiquer** si la technique de positionnement mise en œuvre est de type absolu ou relatif. **Justifier** votre réponse et **déterminer** la résolution angulaire obtenue en degré (°) sur l'axe de tangage.
 - **Montrer** que dans ce type d'application un codage absolu est préférable, **illustrer** par une situation précise.
4. Pour vérifier la position du genou du robot, **estimer** sur le robot complet la longueur du tibia et **déduire** la résolution de positionnement en mm au niveau du genou du robot dans le plan horizontal autour de la verticale.
5. Expliquer ce qui se passe si le « tibia » du robot est assimilé à une poutre déformable pour la position du genou.

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

Connexions 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 NAO) et l'étude du robot mobile,

ANNEXE 1 : Acquisition de l'angle de l'axe de tangage (CHEVILLE NAO)

Les mesures de positions sont effectuées par 4 capteurs magnétiques AS5045. Pour chaque axe (Pitch et Roll), il y a un capteur sur l'axe du moteur et un capteur sur l'axe en sortie du réducteur.

Ce circuit est un codeur rotatif magnétique sans contact (fig.1). Il combine un DSP et des capteurs à effet Hall intégrés. Pour mesurer un angle, un aimant circulaire centré au-dessus du composant est nécessaire.

La position absolue de l'aimant est codée sur 12 bits pour un tour (360°).

L'information peut être transmise sous forme analogique (signal PWM dont le rapport cyclique est proportionnel à l'angle) ou sous forme numérique (flot série de bits).

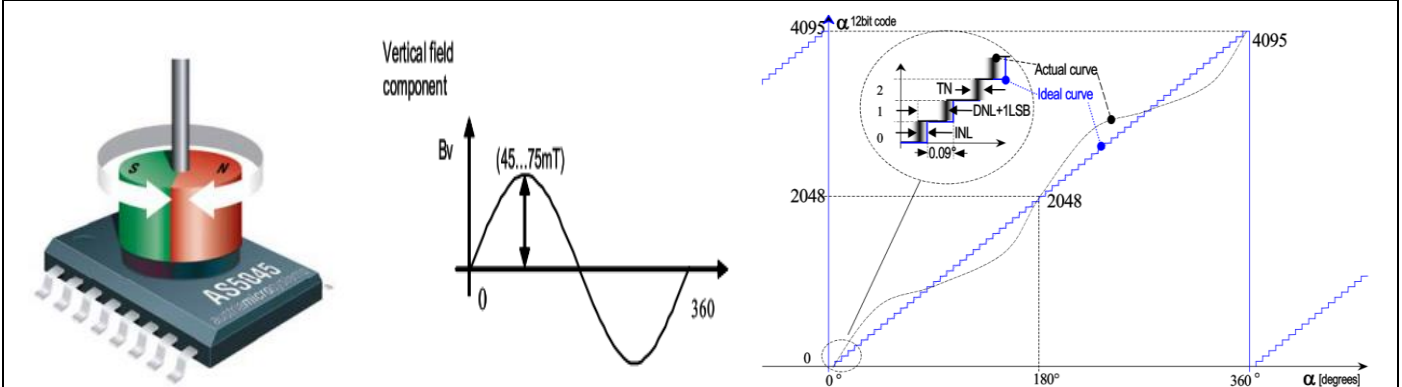
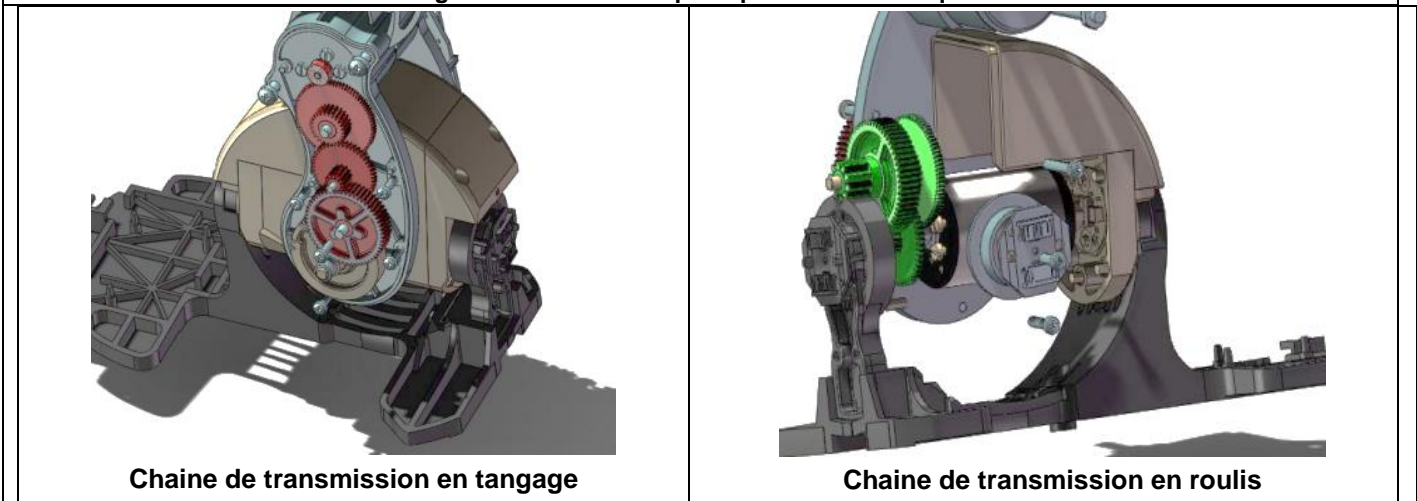


Fig.1 : Codeur AS5045 principe et caractéristiques



Les rapports de réduction sont donnés ci-dessous roulis (Roll) et tangage (pitch) :

SPEED REDUCTION RATIO
ANKLEPITCH

Reduction ratio 130.85

SPEED REDUCTION RATIO
ANKLEROLL

Reduction ratio 201.3

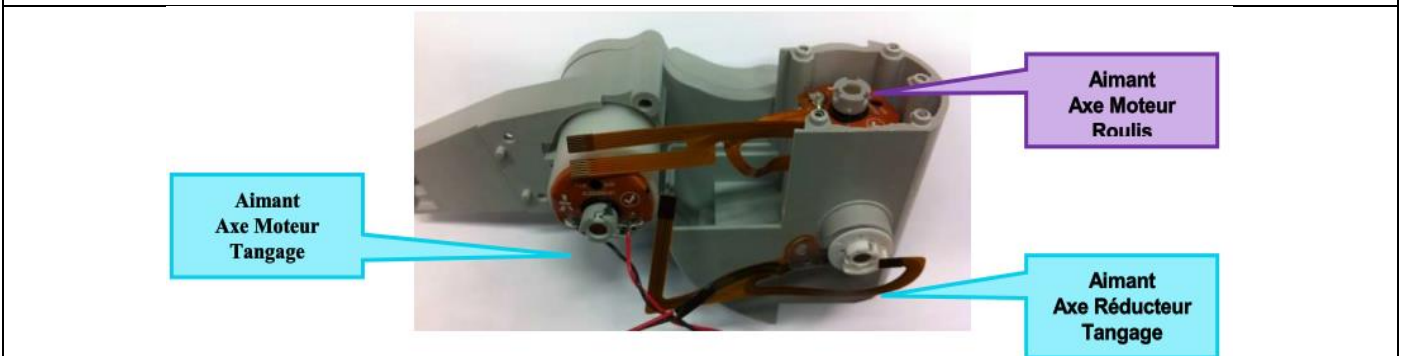


Figure 2 : Les aimants sont positionnés « en force » en extrémité des axes le composant AS5045 sera en vis-à-vis.