

Robot haptique

Livret de présentation pédagogique Bac général spé-SI CPGE



UN PRODUIT TECHNOLOGIQUE REEL

Le robot haptique proposé par SET est issu de l'univers du jeu en réalité virtuelle sur ordinateur. Son concept, ses performances et sa souplesse d'emploi en ont fait très rapidement un outil très prisé, en particulier dans la recherche, dans des domaines tels que l'entraînement en réalité virtuelle ou en réalité augmentée pour des applications médicales ou de téléopération.

ADAPTE AUX ENSEIGNEMENTS DE SCIENCES DE L'INGENIEUR EN BACCALAUREAT GENERAL, EN CLASSE PREPARATOIRE AUX GRANDES ECOLES.

Sa conception originale, de type robot delta comportant 3 chaînes cinématiques fermées, avec moteurs + codeurs, asservies en position ou en effort, lui permet de fonctionner aussi bien en interface haptique qu'en robot.

Il offre ainsi de nombreuses potentialités pédagogiques dans les différents niveaux de formation visés, tant en activités d'investigation qu'en activités de projet, grâce à des ensembles de didactisation spécifiques.

Afin de donner un aperçu des potentialités pédagogiques du produit "Robot haptique", ce livret présente des extraits des activités pratiques ou dirigées incluses dans la fourniture de la société SET, intégrant les corrigés, les fichiers de modèles et applicatifs logiciels liés aux activités.

Le produit "Robot haptique" est actualisé régulièrement, les activités et les éléments matériels livrés peuvent légèrement différer par rapport aux aperçus de ce livret.

Compétences et connaissances visées

Exemples d'activités pédagogiques proposées

ROBOT_Grandeurs-MECA-FLUX

Première partie : Identifier les grandeurs mécaniques d'entrée et de sortie.

Les pièces	Les mouvements
Bras 1	Mouvement de rotation autour de l'axe 1
Bras 2	Mouvement de rotation autour de l'axe 2
Bras 3	Mouvement de rotation autour de l'axe 3
Effecteur	Translation suivant les axes x, y et z

Expliquer la transformation de mouvement entre l'entrée et la sortie du mécanisme.

Le mécanisme transforme avec les trois chaînes de transmission les trois rotations des trois bras en une translation de l'effecteur sur les trois axes (x, y, z).

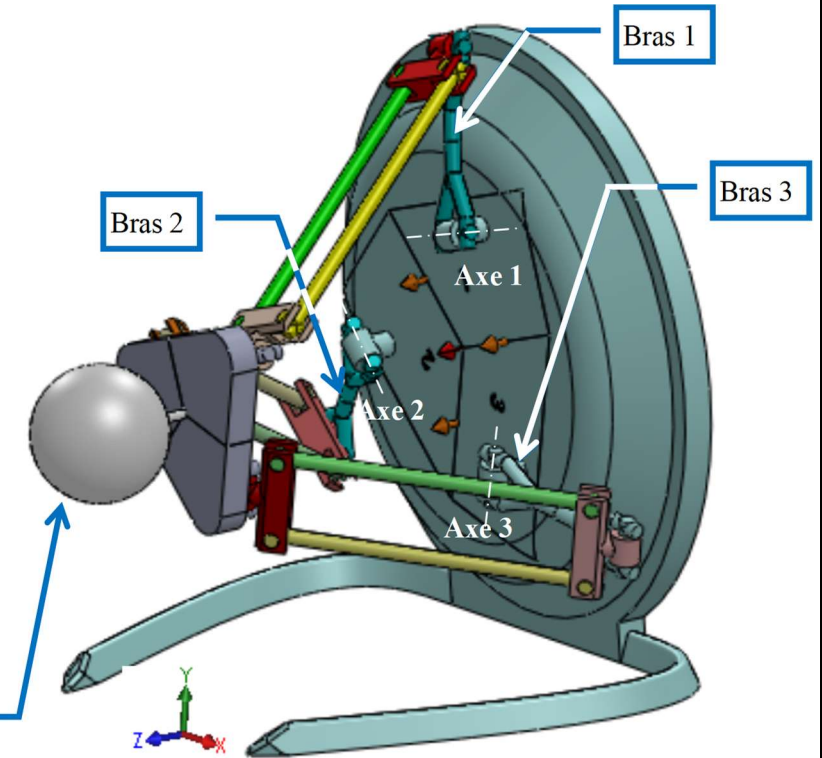
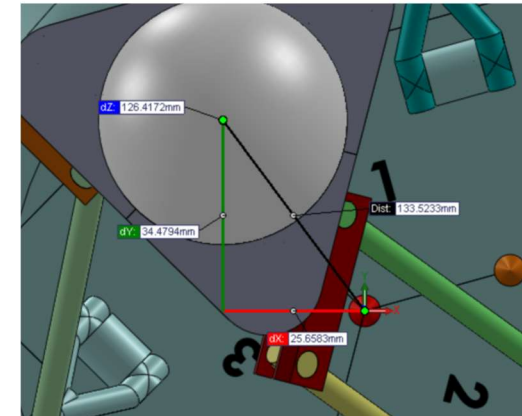
Deuxième partie : Rechercher la position de la pointe de l'effecteur en fonction de la géométrie d'une chaîne de transmission et des positions angulaires θ_{1i} , θ_{2i} , θ_{3i} .

Avec l'aide du schéma ci-dessous représentant une chaîne de transmission, déterminer les formules littérales pour obtenir la cote « p » sur les axes choisis.

La cote P sur l'axe U_i	La cote P sur l'axe V_i	La cote P sur l'axe W_i
$P_{U_i} = a \cdot \cos(\theta_{1i}) + (d + e + b \cdot \sin(\theta_{3i})) \cdot \cos(\theta_{2i}) + r - c$	$P_{V_i} = b \cdot \cos(\theta_{3i}) - s + f$	$P_{W_i} = a \cdot \sin(\theta_{1i}) + (d + e + b \cdot \sin(\theta_{3i})) \cdot \sin(\theta_{2i})$
La cote $P = \sqrt{P_{U_i}^2 + P_{V_i}^2 + P_{W_i}^2}$		

Déterminer les cotes du point P dans le repère (x, y, z)
 Pour le moteur 1 ($\phi_1 = 105,56^\circ$), prenez θ_{11} , θ_{21} , θ_{31} les angles de la chaîne n°1
 Pour le moteur 2 ($\phi_2 = 225,56^\circ$), prenez θ_{12} , θ_{22} , θ_{32} les angles de la chaîne n°2
 Pour le moteur 3 ($\phi_3 = -14,44^\circ$), prenez θ_{13} , θ_{23} , θ_{33} les angles de la chaîne n°3

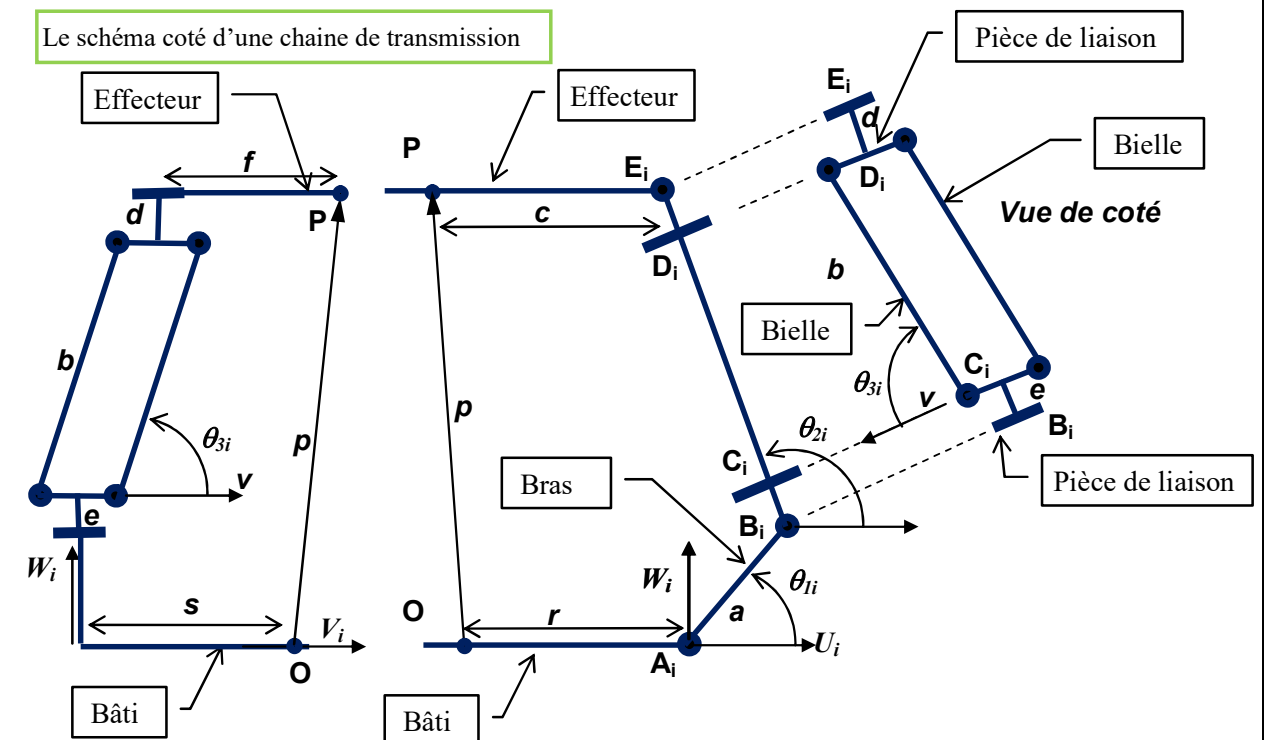
La cote P sur l'axe X	La cote P sur l'axe Y	La cote P sur l'axe Z
$P_X = P_{U_i} \cdot \cos(\phi_i) - P_{V_i} \cdot \sin(\phi_i)$	$P_Y = P_{U_i} \cdot \sin(\phi_i) + P_{V_i} \cdot \cos(\phi_i)$	$P_Z = P_{W_i}$
La cote $P = \sqrt{P_X^2 + P_Y^2 + P_Z^2}$		



Les cotes indispensables

a =	60
b =	102,5
c =	14
d =	11,25
e =	11,25
f =	25
r =	37,23
s =	27,33
Décalage phi moteur 1 =	105,56 °
Décalage phi moteur 2 =	225,56 °
Décalage phi moteur 3 =	-14,44 °

Le schéma coté d'une chaîne de transmission



Le détail des cotes peut être consulté dans le dossier technique

Compétences et connaissances visées

Thème : ANALYSER-MODELISER UN MECANISME

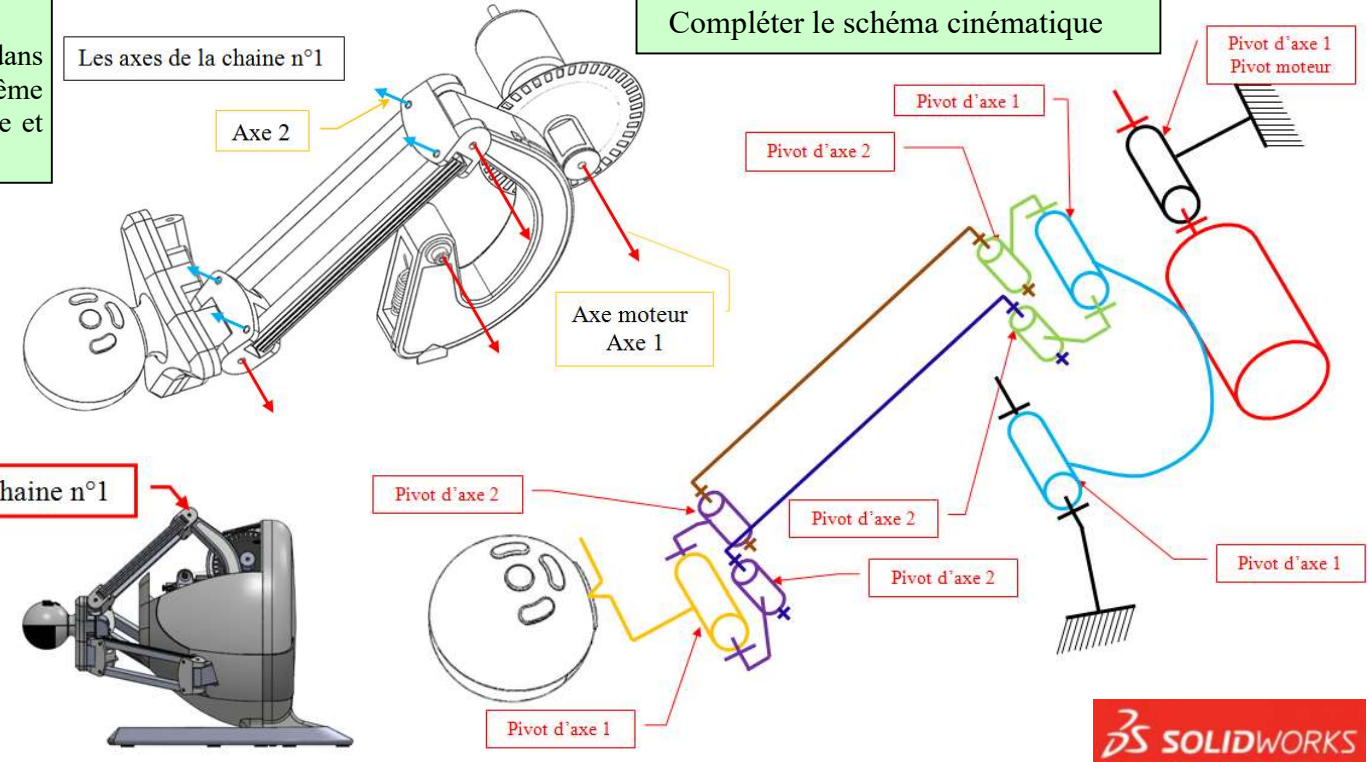
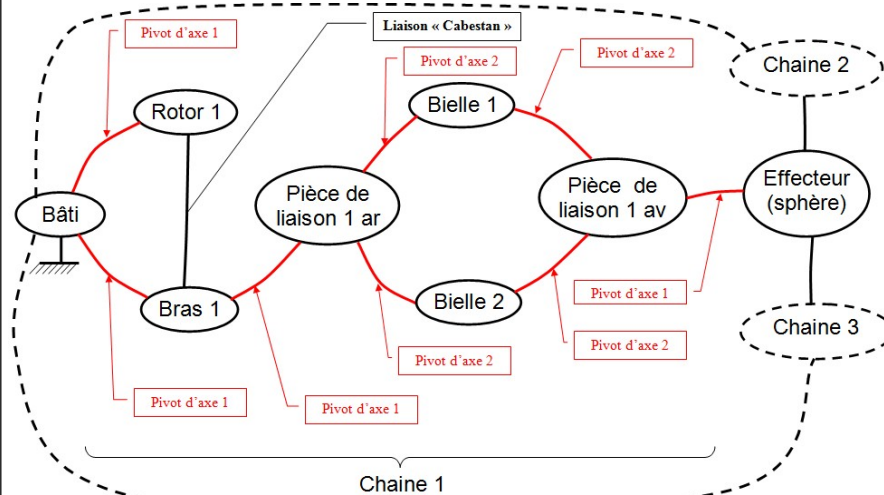
Modéliser sous une forme graphique un mécanisme :

- Schéma cinématique
- Graphe de liaisons et des actions mécaniques

Exemples d'activités pédagogiques proposées

ROBOT_SCHEMA1 Etude de chaîne cinématique

En vous aidant du système pour déplacer la sphère comme vous le souhaitez (dans la limite du fonctionnement du robot) et des vidéos proposées (toutes avec le même mouvement), identifier les liaisons entre les différentes classes d'équivalence et compléter le graphe des liaisons



Thème : VALIDER LES PERFORMANCES D'UN PRODUIT (VOLUME DE TRAVAIL)

Déterminer les grandeurs géométriques et cinématiques d'un mécanisme

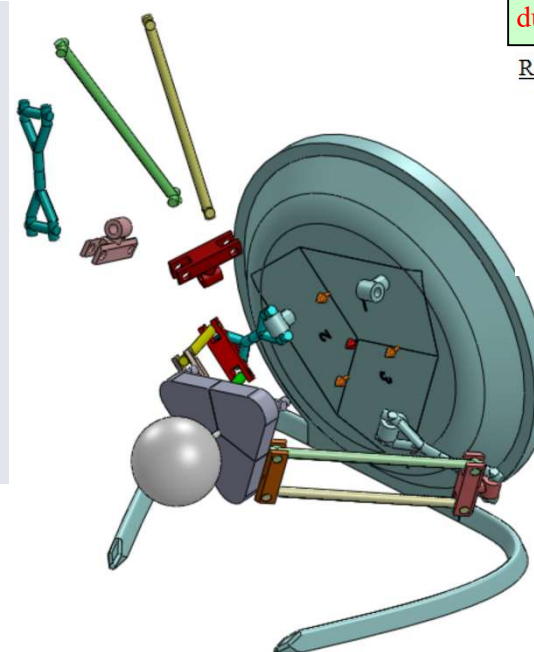
Quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues et les valeurs obtenues par simulation

ROBOT_SCHEMA2 Vérifier le volume de travail du robot

Ouvrir le modèle Solidworks simplifié et assembler la chaîne 1
Identifier le mouvement de l'effecteur

Le mouvement de l'effecteur est une translation dans l'espace (théoriquement un cube de 101mm de côté d'après le fabricant)

- ✗ Coincidente26 (BRAS<2>,pièce de liaison<6>)
- ⊙ Coaxiale20 (EFFECTEUR<1>,pièce de liaison<4>)
- ✗ Coincidente14 (EFFECTEUR<1>,pièce de liaison<4>)
- ⊙ Coaxiale21 (BIELLE<4>,pièce de liaison<4>)
- ⊙ Coaxiale22 (BIELLE<4>,pièce de liaison<6>)
- ⊙ Coaxiale23 (BIELLE<3>,pièce de liaison<4>)
- ⊙ Coaxiale24 (BIELLE<3>,pièce de liaison<6>)
- ✗ Coincidente29 (BIELLE<4>,pièce de liaison<6>)
- ✗ Coincidente15 (BIELLE<3>,pièce de liaison<6>)
- ✗ Coincidente16 (BIELLE<3>,pièce de liaison<4>)
- ✗ Coincidente17 (BIELLE<4>,pièce de liaison<4>)
- ✗ Coincidente32 (BRAS<2>,pièce de liaison<6>)
- ⊙ Coaxiale26 (BATI<1>,BRAS<2>)
- ⊙ Coaxiale28 (BRAS<2>,pièce de liaison<6>)
- ⊙ Coaxiale25 (BATI<1>,BRAS<3>)
- ✗ Coincidente19 (BRAS<1>,pièce de liaison<1>)
- ✗ Coincidente20 (BATI<1>,BRAS<2>)



Vérifier que le déplacement effectué par l'effecteur est compatible avec les caractéristiques données par le fabricant, cad un cube de cotes intérieures 101mm.

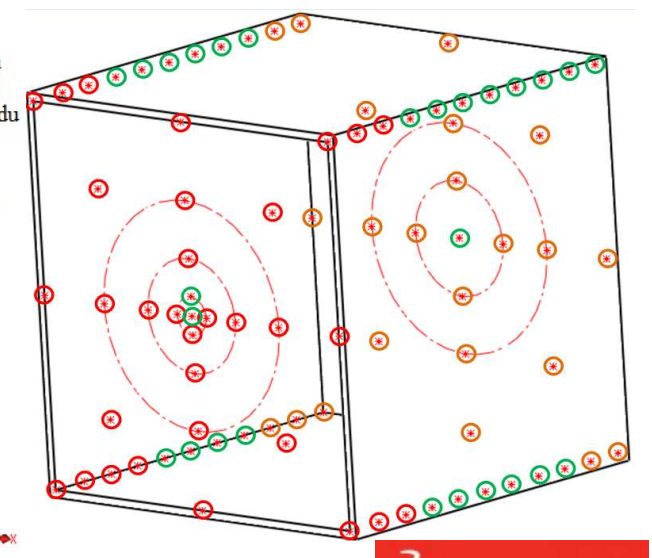
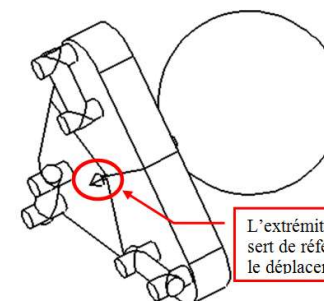
Dans un premier temps, vous pouvez déplacer manuellement l'effecteur et vérifier la position qu'il peut prendre par rapport aux limites du cube. Que constatez-vous ?

L'effecteur peut se déplacer en traversant le cube => les limites du cube sont donc inférieures aux possibilités de déplacement de l'effecteur.

Conclusion : Nous constatons que les données du constructeur ne sont pas exactes. L'effecteur ne peut pas atteindre tous les points du cube, mais en contre partie, il peut certainement atteindre des points à l'extérieur du cube. La forme du volume balayé par la pointe de l'effecteur demande un travail plus poussé.

Remarque : vous trouverez trois catégories de points

- Les points qui seront coïncidents avec l'extrémité de la pointe.
 - ⊙ Dans une position compatible avec le fonctionnement du robot (ce devrait être le cas pour tous les points du cube)
 - ⊙ Dans une position incompatible avec le fonctionnement du robot (il y a des interférences entre les pièces)
- Les points qui ne seront pas coïncidents avec l'extrémité de la pointe (La pointe de l'effecteur ne peut pas atteindre ces points).



Compétences et connaissances visées

Thème : VALIDER LES PERFORMANCES D'UN PRODUIT (EFFORTS) PAR LES EXPERIMENTATIONS

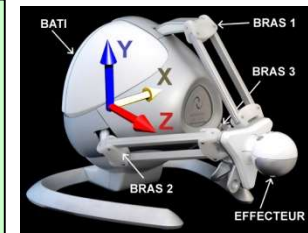
- Conduire des essais en toute sécurité
- Analyser des résultats d'expérimentation
- Quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues, les valeurs mesurées
- Rechercher et proposer des causes aux écarts de performances constatés

Exemples d'activités pédagogiques proposées

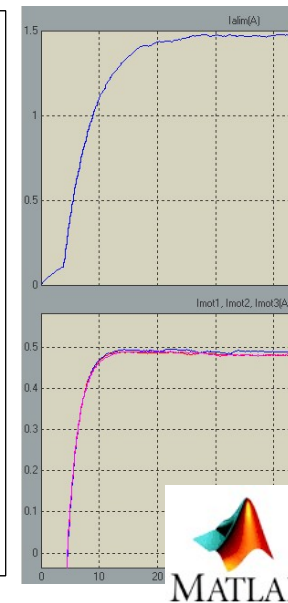
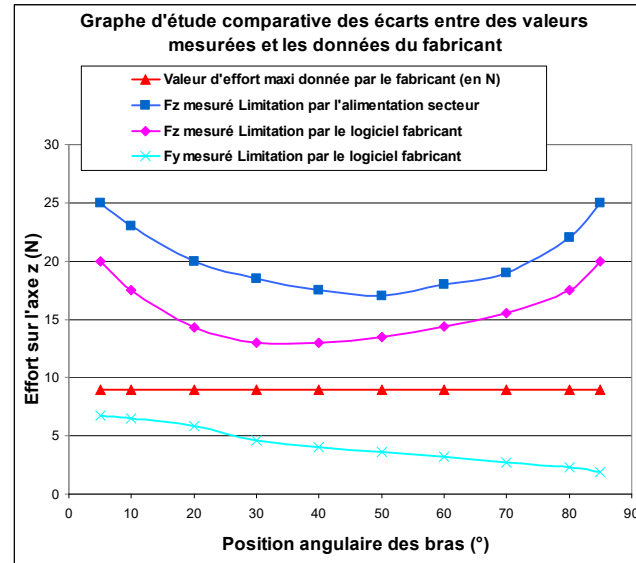
ROBOT_MESURES_PERFORMANCES_EFFORT

Première partie : Mesure, à l'aide d'un dynamomètre, des efforts résistants pouvant être fournis par le robot en fonction de l'angle des bras et avec un effort de traction selon l'axe Z puis selon l'axe Y

- lorsque l'alimentation du robot haptique fournit son intensité maximale
 - lorsque le robot haptique est géré par le logiciel pilote du fabricant
- Nota : visualiser le courant fourni par l'alimentation et les courants dans les moteurs



Angle des bras (en degré)	Fz mesuré (N)		Fy mesuré (N)
	Limitation par l'alimentation secteur	Limitation par le logiciel fabricant	Limitation par le logiciel fabricant
5°	28	18	6.7
10°	26.5	17	6.5
20°	24.5	15	5.8
30°	21.8	13	4.6
40°	21.7	12	4
50°	18	13	3.6
60°	22	13	3.2
70°	26	14.5	2.7
80°	33	17	2.3
85°	35	19	1.9



Deuxième partie : Analyse des résultats expérimentaux

Constatez-vous des écarts entre les valeurs attendues et les valeurs mesurées ? Commentez vos observations en essayant de proposer des causes aux éventuels écarts et concluez.

La donnée fabricant est une constante de valeur 9N.

Mesures :

- **En traction selon l'axe Z** on observe que les valeurs mesurées sont en forme de courbe en cuvette dont le minimum est toujours supérieur à la valeur fabricant. La courbe de l'effort avec limitation par le module d'alimentation est au-dessus de la courbe avec limitation par le logiciel fabricant : on en conclut que le fabricant ne souhaite pas pousser les moteurs à leur maximum, sans doute pour les protéger d'une surchauffe en cas de blocage du déplacement. L'effort mesuré est supérieur à la donnée fabricant car les 3 moteurs agissent.

- **En traction selon Y** la courbe avec limitation par le logiciel fabricant est nettement inférieure à la donnée fabricant. Cela semble normal puisqu'un seul moteur agit.

Conclusion : l'effort maxi que peut fournir le système dépend de la direction de l'effort et de la position de l'effecteur. En fonction de ces paramètres la donnée fabricant est partiellement respectée

Thème : VALIDER LES PERFORMANCES D'UN PRODUIT (EFFORTS) PAR LA MODELISATION

- Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé
- Quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues, les valeurs mesurées et les valeurs simulées
- Rechercher et proposer des causes aux écarts de performances constatés

ROBOT_EFFORTS_SIMUL

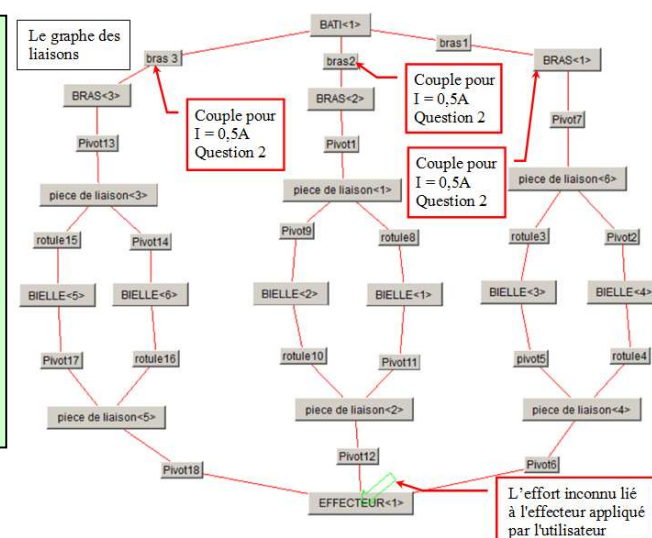
Première partie : les paramètres de la simulation On a vu dans le TD de préparation que, lorsque la limitation de courant est assurée par l'alimentation secteur, le courant maxi dans chaque moteur vaut 0,5A et il s'ensuit que le couple maxi fourni par chacun des moteurs vaut 0,057Nm.

Déterminer l'équivalent du couple moteur appliqué sur les liaisons pivot "bras...".

Rapport de réduction entre le moteur et le bras : $(56+0,25) / ((14,25+0,5)/2) = 7,627$

Le couple moteur transporté sur les liaisons pivot « bras... » $C_{mot\ tr} = 0,057 \times 7,627 = 0,435 \text{ N.m}$

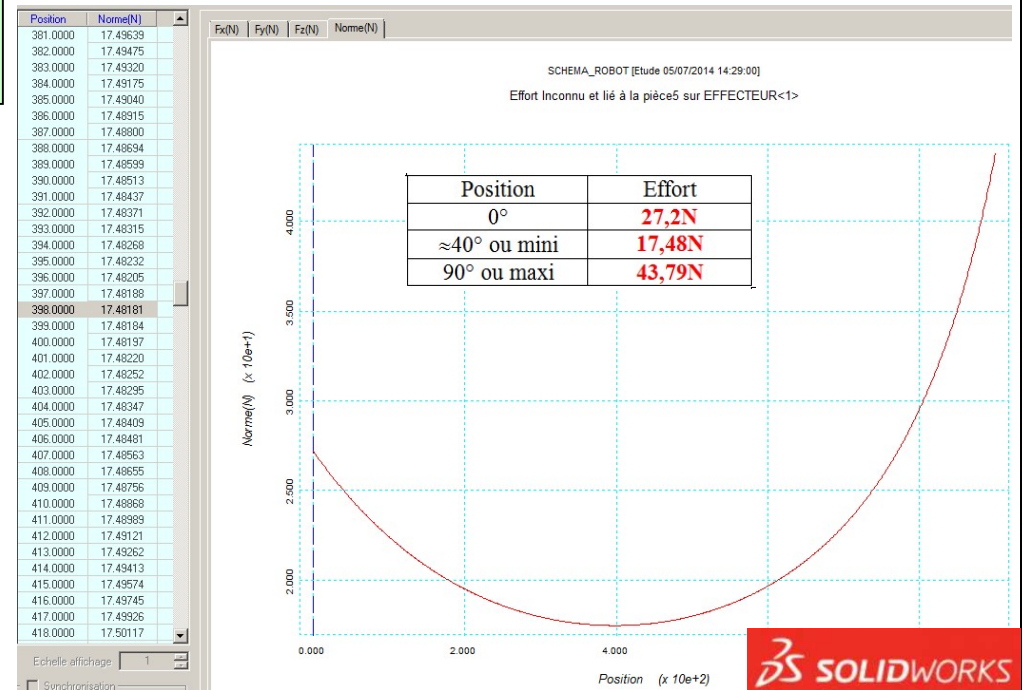
Ajouter les efforts (les trois couples connus et l'effort de réaction inconnu appliqué par l'opérateur sur l'axe Z de l'effecteur)



Le constructeur indique que l'effort maximal que l'on peut exercer avec l'effecteur est d'environ 9N, mais il n'indique pas la direction de cet effort ni les conditions d'utilisation du robot (limitation de courant ...). Le résultat de l'étude montre que l'effort sur l'axe z n'est pas constant, cette variation est due à la géométrie du mécanisme. Pour cette étude, l'effort minimal simulé avec Méca3D est supérieur (environ le double) à celui donné par le constructeur. Pour l'effort maximal, le rapport est de plus de 4 ($\approx 43\text{N}$).

Deuxième partie : Vérification de l'effort sur l'effecteur

Afficher la courbe de l'effort de l'opérateur sur l'effecteur et expliquer les différences.



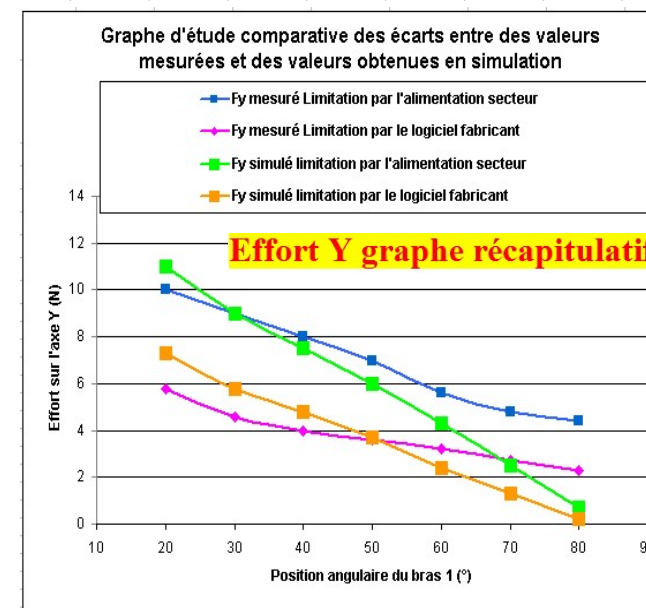
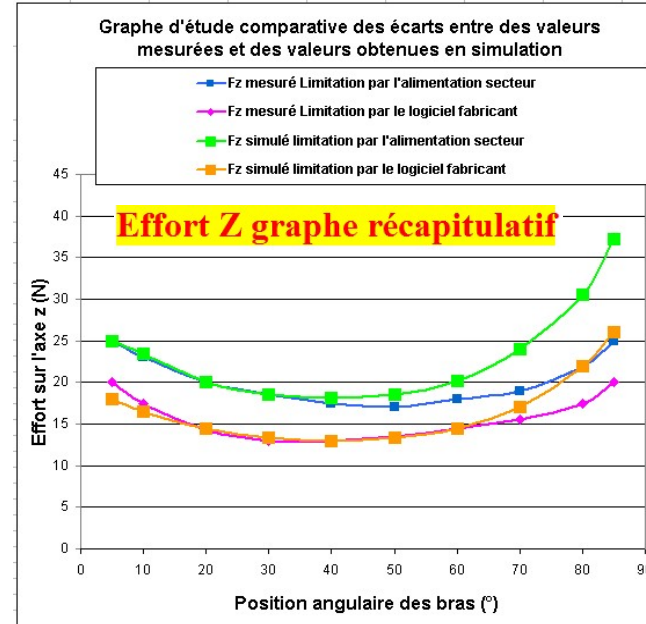
Compétences et connaissances visées

Thème :
VALIDER LES PERFORMANCES D'UN PRODUIT (EFFORTS) PAR SIMULATION NUMERIQUE : modélisation multi-physique de la chaîne de puissance complète

- Mettre en oeuvre une simulation numérique à partir d'un modèle multi-physique pour qualifier et quantifier les performances d'un objet réel
- Valider un modèle numérique de l'objet simulé
- Modifier les paramètres influents et le programme de commande en vue d'optimiser les performances du produit

ROBOT_EFFORTS_EXPLOITATION_MODELE

Validation du modèle de connaissance fourni :
- Essai de simulation avec effort de traction dans l'axe Z puis dans l'axe Y
- Analyse des résultats et conclusion



Que ce soit dans l'axe Z ou dans l'axe Y on constate que l'allure des efforts obtenus en simulation est très voisine de l'allure des efforts mesurés : en cuvette pour traction dans l'axe Z et linéaire pour l'axe Y. Les écarts sont assez faibles entre le simulé et le réel sauf lorsque les angles dépassent 50°.
Au-delà de 50° la modélisation en traction dans l'axe Z montre une augmentation "exponentielle" de l'effort que l'on retrouve dans le réel .../.... La modélisation "Solidworks-Meca3D" .../....
Le réel diffère car les modèles n'intègrent pas des défauts tels que les jeux, les déformations .../....
En conclusion on peut dire que le modèle de connaissance Matlab-Simulink est validé. Ses résultats seront directement transposables sur le système réel pour des angles de bras inférieurs à 50°.

Exemples d'activités pédagogiques proposées

Exploitation du modèle de connaissance fourni :

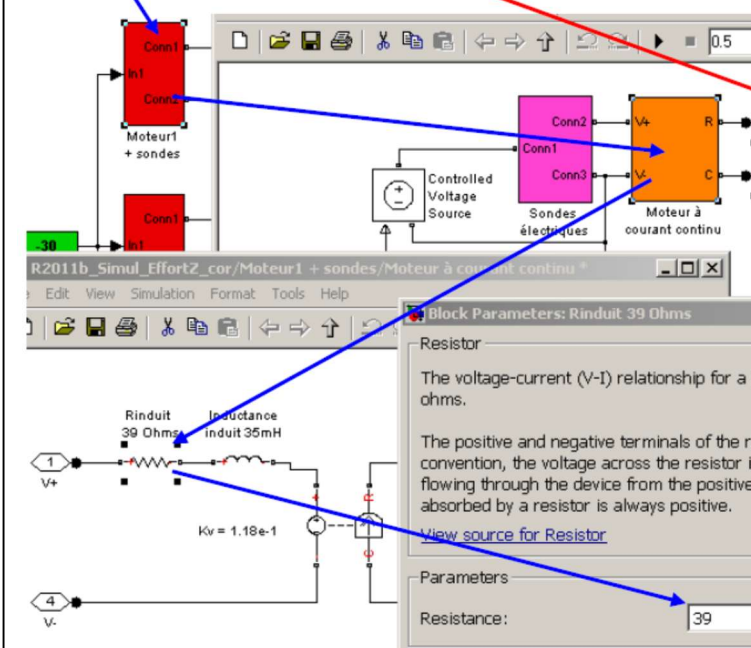
On a vu en TD de préparation que le système, dans son utilisation originelle en tant qu'interface haptique, fournit des efforts globalement suffisants. En revanche pour une utilisation en robot, ces efforts peuvent s'avérer insuffisants.

Sachant que les modifications de la partie mécanique imposeraient de reprendre entièrement la conception du produit et donc induiraient des coûts importants, on va rechercher quels constituants et quelles caractéristiques de ces constituants on peut modifier pour tripler l'effort minimal. On commencera par la modification la plus simple, donc la moins coûteuse.

On a vu dans la première partie que l'effort sur l'effecteur dépend du couple rotor bloqué des moteurs donc de l'intensité du courant qui les traverse. Sachant que cette intensité dépend de la tension d'alimentation et de la résistance d'induit, on peut agir sur la tension en l'augmentant, sachant qu'on est limité à 30V, et sur la résistance d'induit en la diminuant, sachant que cela impose de remplacer les moteurs.

Il faut que l'effort minimal passe de 18N à $18 \times 3 = 54N$
Avec Umoteurs porté au maximum, cad à 30V, on constate que l'effort minimal passe de 18N à 28N, ce qui reste insuffisant

En conservant Umoteurs = 30V, pour passer de 28N à 54N il faut diviser Rinduit par 2 autrement dit de passer de 39Ω à 20Ω (il faut aller faire ces modifs dans les blocs moteurs)



Conclusion : le modèle validé permet de tester facilement et avec des résultats fiables des idées de modifications sans toucher au système réel et donc sans risque. La modélisation-simulation est donc un outil puissant de conception.

Compétences et connaissances visées

Thème :
ANALYSER LE COMPORTEMENT D'UN SYSTEME ASSERVI
ANALYSER DES RESULTATS D'EXPERIMENTATION ET DE SIMULATION (MODELE MULTI-PHYSIQUE/JUMEAU NUMERIQUE)

Champ de connaissances :
Systèmes asservis linéaires en régime permanent :
- structures par chaîne directe ou bouclée,
- perturbation,
- comparateur,
- correcteur proportionnel, précision (erreur statique)

Exemples d'activités pédagogiques proposées

ROBOT_ASSERVISSEMENT

Deuxième partie : Justification du choix de la structure en boucle fermée à l'aide d'une simulation.

Question 5 :

Il est évidemment risqué de faire des modifications sur le système réel, aussi nous allons utiliser le modèle multiphysique de ce système pour mettre en évidence la nécessité d'utiliser la structure de commande adéquate.

Placer le modèle en boucle ouverte en supprimant les 3 liaisons de retour des codeurs et lancer une simulation. Observer le comportement (consigne = 80mm) et conclure.

On constate que le déplacement n'est pas du tout conforme à l'attendu, on peut même dire que le système dysfonctionne complètement. Conclusion : pour que la commande en position fonctionne il est nécessaire que le système soit bouclé par une mesure de la position de chacun des 3 bras.

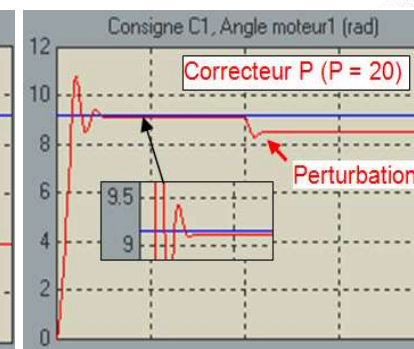
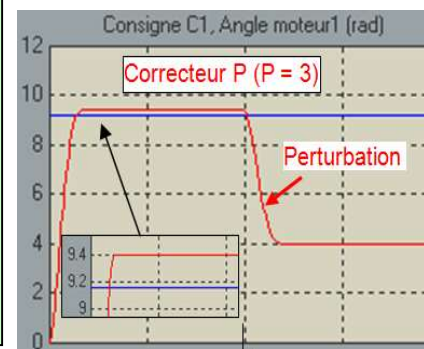
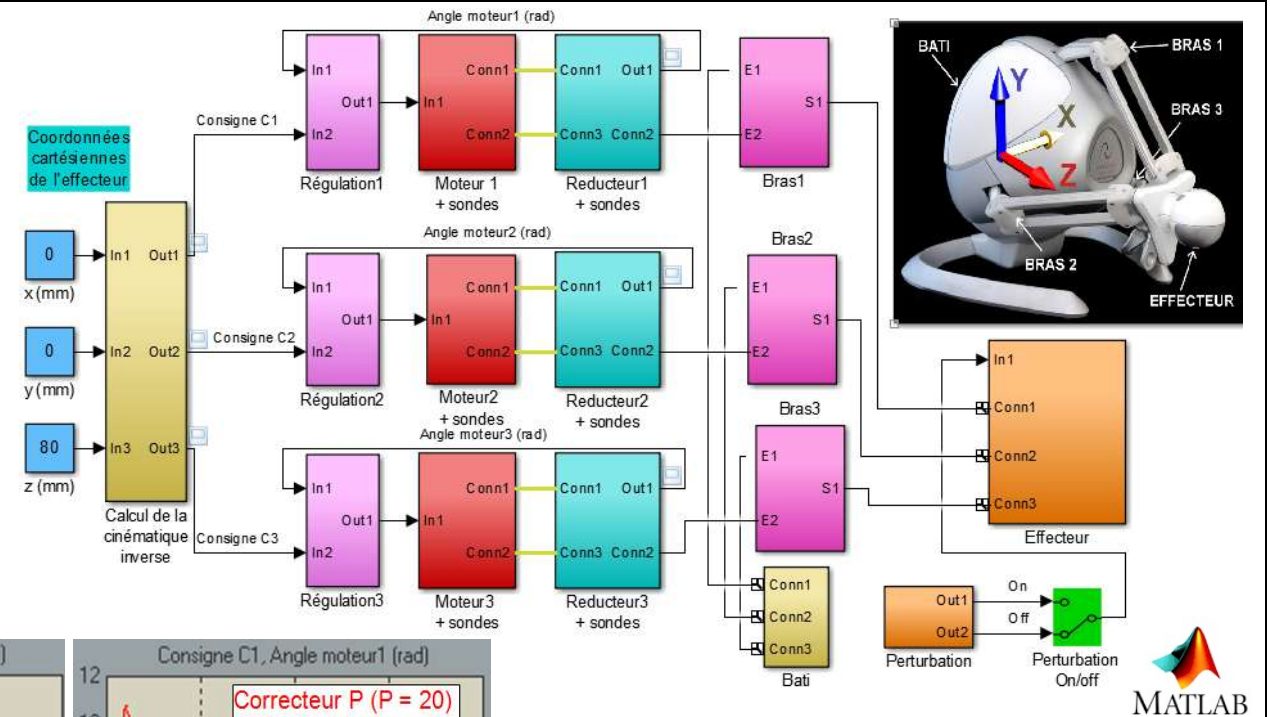
Troisième partie : Etude en simulation de l'influence de la configuration et des réglages sur le comportement du système

Question 6 :

On testera 4 configurations possibles des correcteurs :

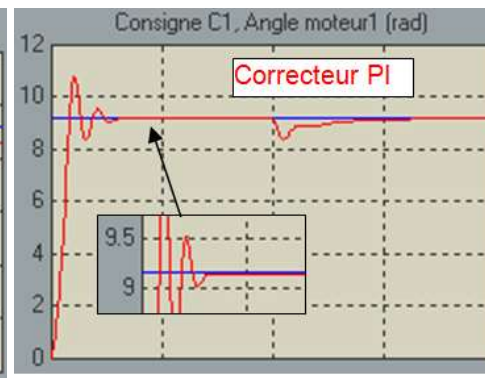
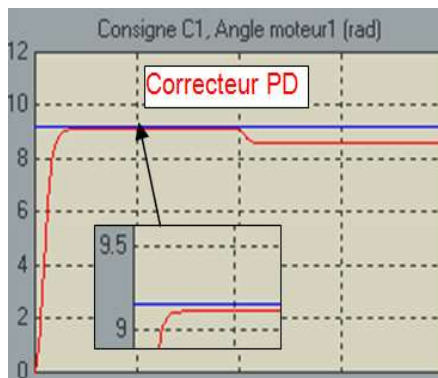
- P (proportionnelle) avec 2 valeurs de P
- PD (proportionnelle-dérivée)
- PI (proportionnelle-intégrale)
- PID (proportionnelle-intégrale-dérivée)

Nota : une perturbation de type effort de poussée sur l'effecteur est automatiquement appliquée au bout d'1s

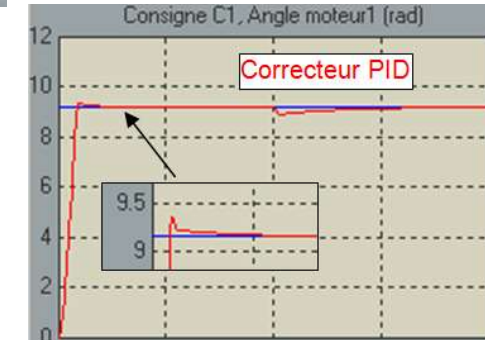


Le correcteur proportionnel permet une rapidité correcte avec l'augmentation de P, mais la précision pose problème, en particulier lors de l'apparition d'une perturbation de la grandeur de sortie. L'augmentation de l'action P améliore la réponse à la perturbation mais en dégradant la stabilité donc le correcteur P ne permet donc pas d'obtenir un bon compromis précision-stabilité-rapidité et procure une faible raideur

Conclusion sur les essais en simulation : Le correcteur P seul a des performances limitées, notamment en terme de précision. Le correcteur I permet d'obtenir une bonne précision, et une bonne raideur lors d'une perturbation. Le correcteur D améliore la stabilité. Conclusion : le meilleur compromis précision-rapidité-stabilité et raideur s'obtient avec un correcteur PID.



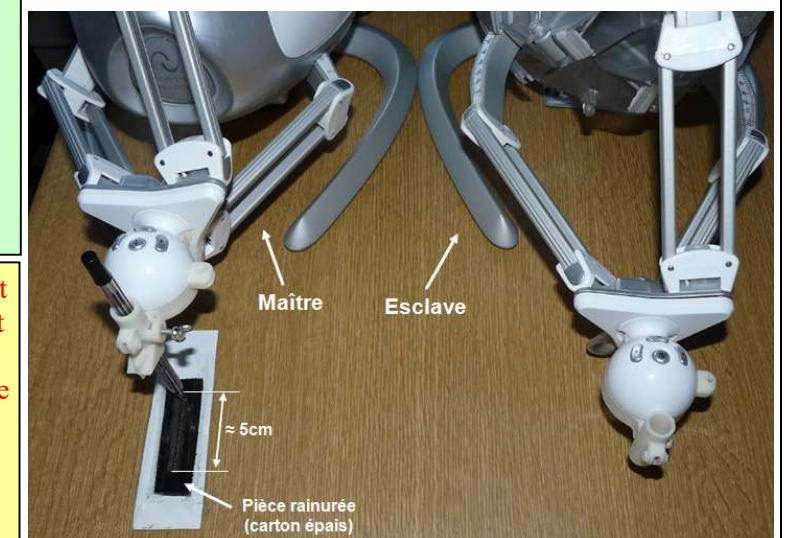
On voit que l'action D permet de supprimer les oscillations mais ne permet pas de supprimer l'erreur statique, en particulier lors de la perturbation. Cette action permet d'obtenir une bonne stabilité mais n'agit pas sur la précision statique et la raideur.



Quatrième partie : Essais sur le système

L'objet de cette partie est d'effectuer des essais du robot avec différents correcteurs et différents réglages des paramètres de ces correcteurs afin de comparer qualitativement les résultats expérimentaux avec les résultats simulés, interpréter les écarts éventuels et conclure.

Les essais en simulation et les essais réels donnent des résultats voisins en démontrant que le choix et les réglages des correcteurs d'un asservissement sont très influents sur le comportement du système. Le comportement observé avec correcteur PID répond qualitativement au cahier des charges. Il aurait fallu avoir des données quantitatives pour pouvoir conclure avec précision.





Compétences et connaissances visées

Thème Spé-SI : ANALYSER-MODELISER UN SYSTEME LOGIQUE EVENEMENTIEL

- Traduire le comportement attendu ou observé d'un objet
- Analyser le comportement d'un objet à partir d'une description à événements discrets (Diagramme états-transitions)
- Valider les performances d'un produit par simulation numérique

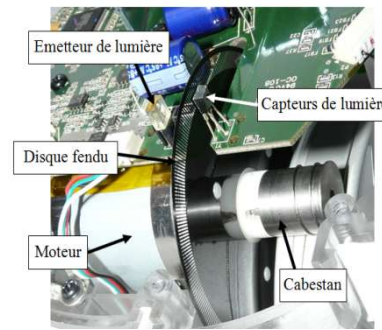
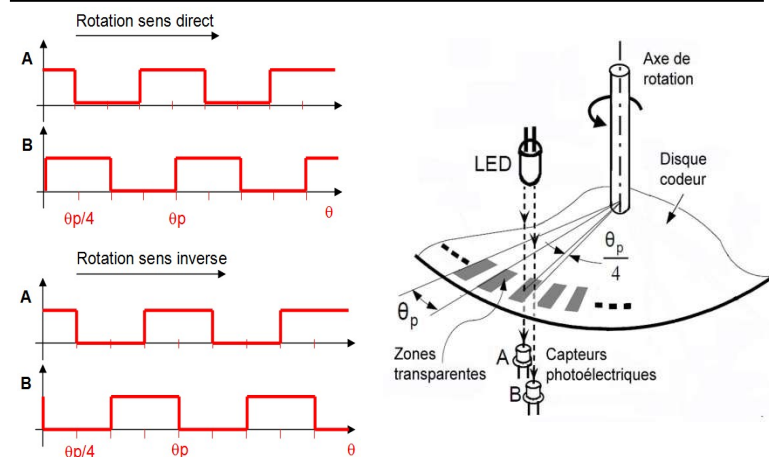
Exemples d'activités pédagogiques proposées

ROBOT_CODEURS_ACQUISITION_POSITION (ACTIVITE DIRIGEE)

Question : Principe du codeur incrémental

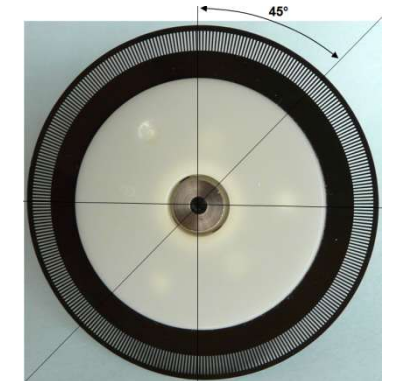
Partant du croquis ci-dessous, représenter les diagrammes des signaux A et B en fonction de l'angle de pas θ_p pour les deux sens de rotation du disque, sachant que :

- Le sens positif ou direct correspond au sens inverse des aiguilles d'une montre
- Les signaux A ou B sont à 1 lorsque le faisceau lumineux traverse une zone transparente



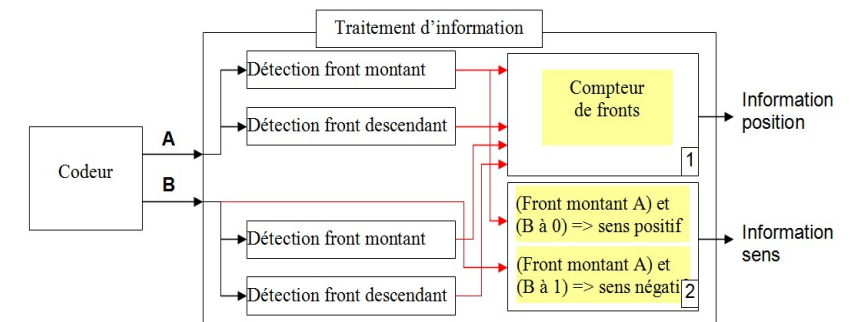
Question : Caractéristique technique Compter le nombre de fentes (ou zones transparentes) des codeurs du robot (cf photo d'un disque ci-contre). En déduire la valeur de θ_p .

Le disque comporte 320 fentes, donc θ_p vaut $360/320 = 1,125^\circ$



Question : Traitement de l'information Les signaux de sortie de chaque codeur sont traités afin de générer l'information de position angulaire du disque et l'information de sens de rotation

Comment procède-t-on pour obtenir l'information de position avec la meilleure précision (ou résolution) ? Pour obtenir l'information de position avec la meilleure précision (ou résolution) il faut détecter tous les fronts montants et descendants sur chacune des voies A et B, ce qui donne 4 fronts pour un déplacement égal à θ_p , soit $320 \times 4 = 1280$ impulsions par tour. L'information de position est obtenue par le comptage des fronts, d'où l'appellation incrémental et elle est de type numérique.



ROBOT_CODEURS_TRAITEMENT_POSITION (ACTIVITE DIRIGEE)

Question : à partir des chronogrammes établis dans le TD_ROBOT_CODEURS (cf ci-dessus) rechercher les équations « sens direct » et « sens inverse ».

On constate que la relation entre le sens de rotation du disque et les signaux YA et YB en sortie de codeur est de type « séquentiel » car le sens dépend de l'état des signaux YA et YB à un instant donné **et** de leur état dans le quart de période précédent.

Exemple : on $Y_A = Y_B = 0$:

- Si, dans le quart de période précédent, on avait $Y_A = 0$ et $Y_B = 1$ => sens **direct**
- Si, dans le quart de période précédent, on avait $Y_A = 1$ et $Y_B = 0$ => sens **inverse**

On définit les variables suivantes :

A, B $\rightarrow$ états de Y_A et Y_B à un instant donné
AntA, AntB $\rightarrow$ états de Y_A et Y_B un quart de période avant

Rechercher les équations de « sens direct » et « sens inverse » en fonction des variables ci-dessus :

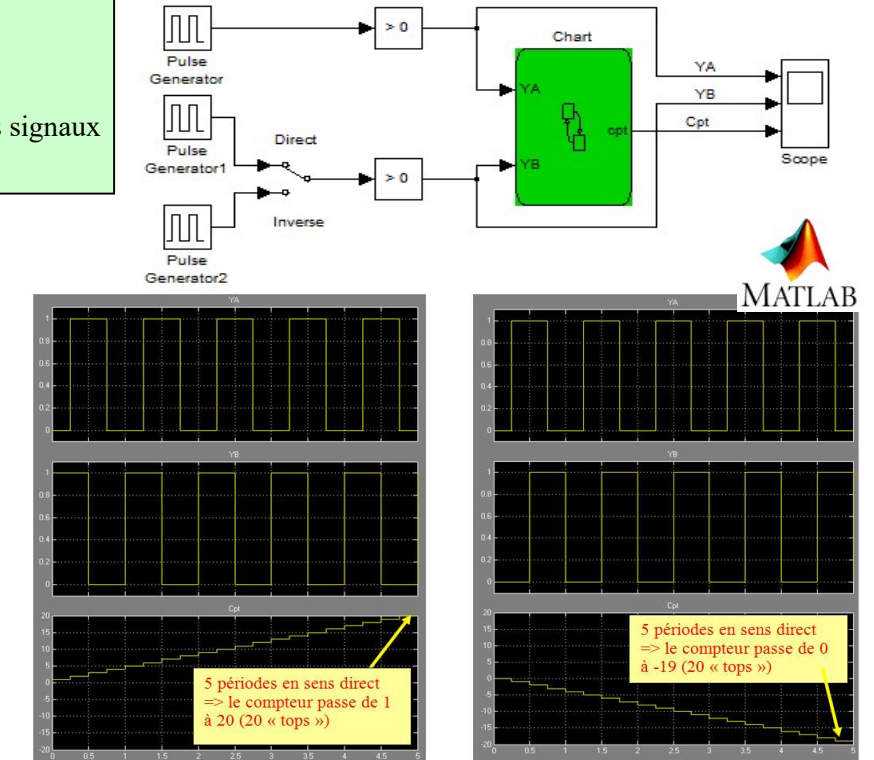
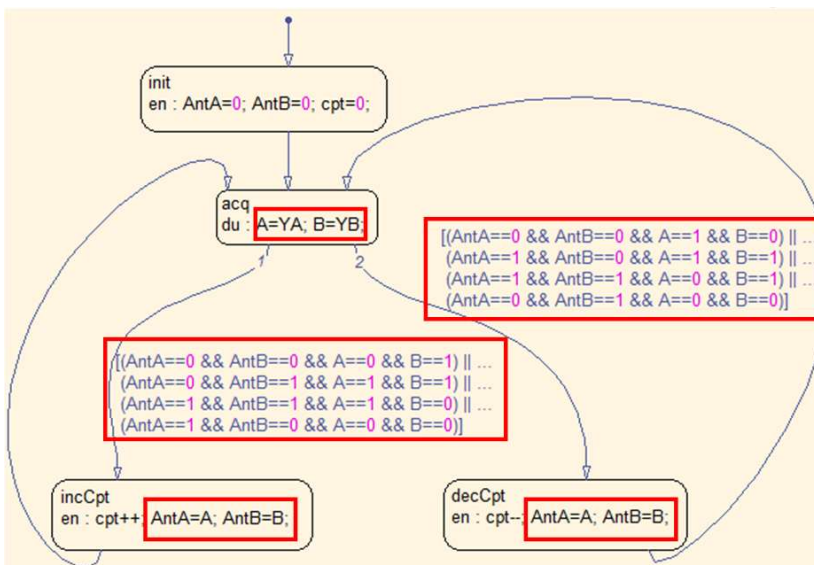
$$\text{Sens direct} = (\overline{\text{AntA}} \text{ ET } \overline{\text{AntB}} \text{ ET } \overline{\text{A}} \text{ ET } \text{B}) \text{ OU } (\overline{\text{AntA}} \text{ ET } \text{AntB} \text{ ET } \text{A} \text{ ET } \text{B}) \text{ OU } (\text{AntA} \text{ ET } \text{AntB} \text{ ET } \text{A} \text{ ET } \overline{\text{B}}) \text{ OU } (\text{AntA} \text{ ET } \overline{\text{AntB}} \text{ ET } \overline{\text{A}} \text{ ET } \text{B})$$

$$\text{Sens inverse} = (\overline{\text{AntA}} \text{ ET } \overline{\text{AntB}} \text{ ET } \text{A} \text{ ET } \overline{\text{B}}) \text{ OU } (\text{AntA} \text{ ET } \overline{\text{AntB}} \text{ ET } \text{A} \text{ ET } \text{B}) \text{ OU } (\text{AntA} \text{ ET } \text{AntB} \text{ ET } \overline{\text{A}} \text{ ET } \text{B}) \text{ OU } (\overline{\text{AntA}} \text{ ET } \text{AntB} \text{ ET } \overline{\text{A}} \text{ ET } \overline{\text{B}})$$

Question : Implémentation dans Matlab-Simulink-Stateflow

-a- Compléter le **diagramme d'états** dans Stateflow afin de réaliser le fonctionnement étudié question 1.

-b- Lancer la simulation et mettre au point si nécessaire en vérifiant si les signaux obtenus sur le scope sont conformes à l'attendu.





Compétences et connaissances visées

Thème : VALIDER LES PERFORMANCES D'UN PRODUIT

- Conduire des essais en toute sécurité
- Mettre en oeuvre un protocole expérimental
- Quantifier des écarts de performances entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées
- Rechercher et proposer des causes aux écarts de performances constatés

Exemples d'activités pédagogiques proposées

ROBOT_MESURES_PERFORMANCES_POSITION

Protocole expérimental :

Pour les expérimentations suivantes on va réaliser la mise en œuvre d'un système de télémanipulation ou télérobotique tel qu'il est représenté ci-contre.

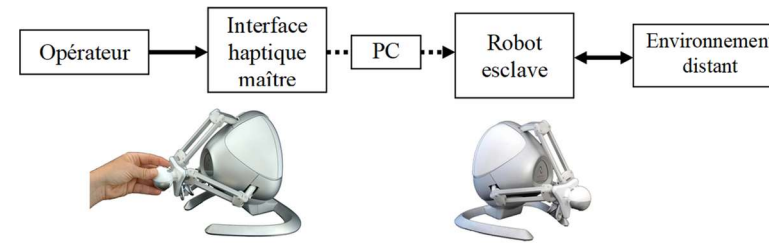
.../...

Deuxième partie : Vérification de la performance en résolution de position donnée par le fabricant

On se propose, par quelques essais, de vérifier si la valeur de résolution >400 dpi donnée par le fabricant est atteinte. On a vu dans le TD de simulation « Analyse résolution » que la résolution de la mesure de position était la plus faible dans la zone de mi-course pour un déplacement rectiligne selon l'axe z (avec $x = 0$ et $y = 0$). On se placera donc dans cette zone de « cas le plus défavorable » pour nos essais.

Placer successivement sous le stylo des objets plats d'épaisseur connue telle qu'une feuille de papier « bristol » (carte de visite), une règle plate d'environ 1mm d'épaisseur, une boîte d'environ 10mm de hauteur.../...

Calculer l'épaisseur de l'objet. Il convient de faire 3 mesures pour chaque objet. Analyser et conclure quant au respect de la résolution mini donnée par le fabricant.



	Epaisseur connue	Mesure1	Mesure2	Mesure3	Conclusion
Objet 1 Bristol	120	10420-10318 102	10387-10294 93	10336-10215 121	La hauteur est obtenue entre +1 et -27 microns donc OK par rapport à la résolution de 70 microns
Objet 2 Règle	1900	10445-8597 1848	10516-8587 1929	10464-8528 1936	La hauteur est obtenue entre +36 et -52 microns donc OK par rapport à la résolution de 70 microns
Objet 3 Plaque	10000	10423-296 10127	10142-284 9858	10539-565 9974	La hauteur est obtenue entre +127 et -142 microns donc NOK par rapport à la résolution de 70 microns

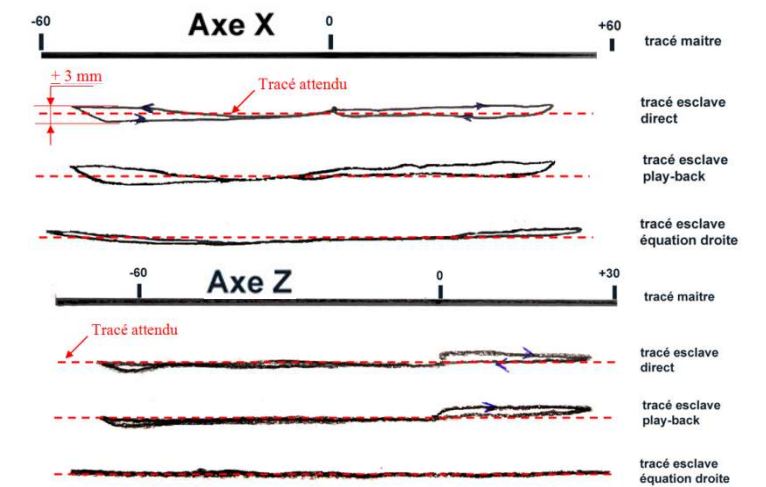
Les mesures permettent de valider la valeur de résolution donnée par le fabricant pour des déplacements faibles (<2mm) et pour la zone particulière de fonctionnement utilisée. Il ne s'agit donc pas d'une validation globale. D'autre part la répétitivité n'est correcte que si on rattrape les jeux au maximum.

On constate que les écarts par rapport à la trajectoire attendue selon Z sont plus réduits que pour la trajectoire selon X. L'exécution par l'esclave d'une trajectoire modélisée parfaitement rectiligne est quasiment une droite.
Conclusion : Les écarts entre le théorique et le réel dépendent des directions de déplacement. Cela confirme que ces écarts sont bien dûs aux jeux mécaniques qui sont sollicités différemment selon les trajectoires. S'il s'agissait d'erreurs dues à la chaîne de traitement de l'information par exemple, ces écarts seraient identiques quelque soient les trajectoires.

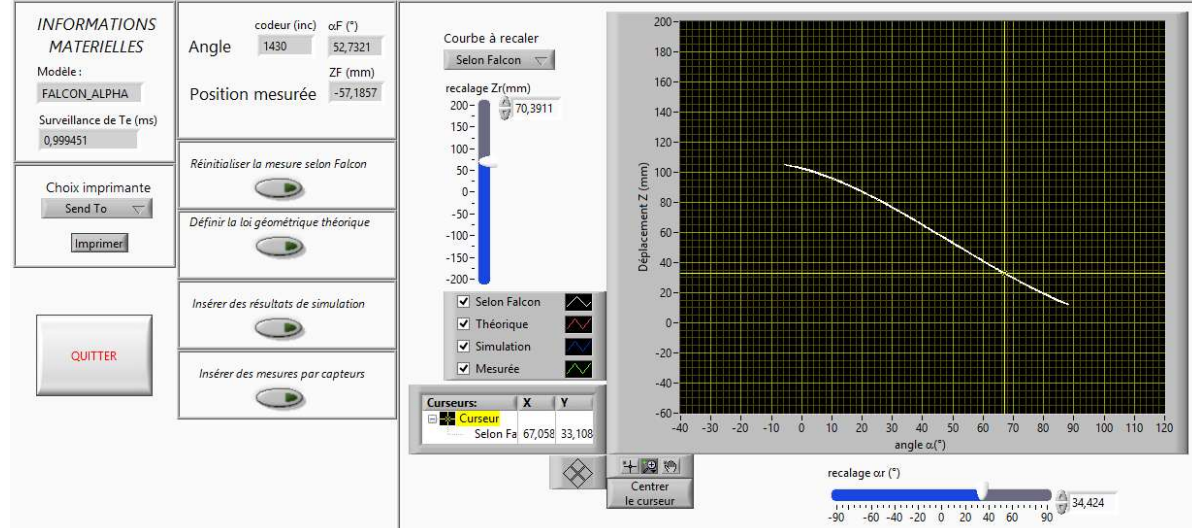
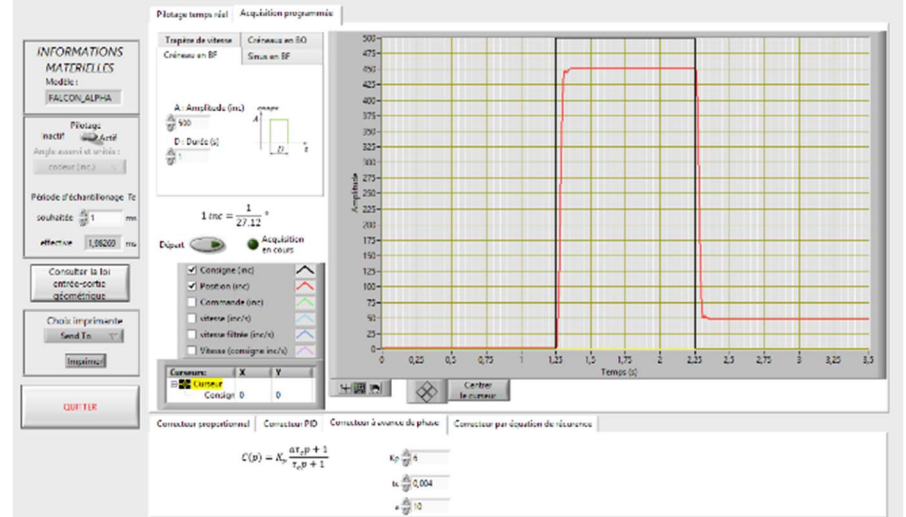
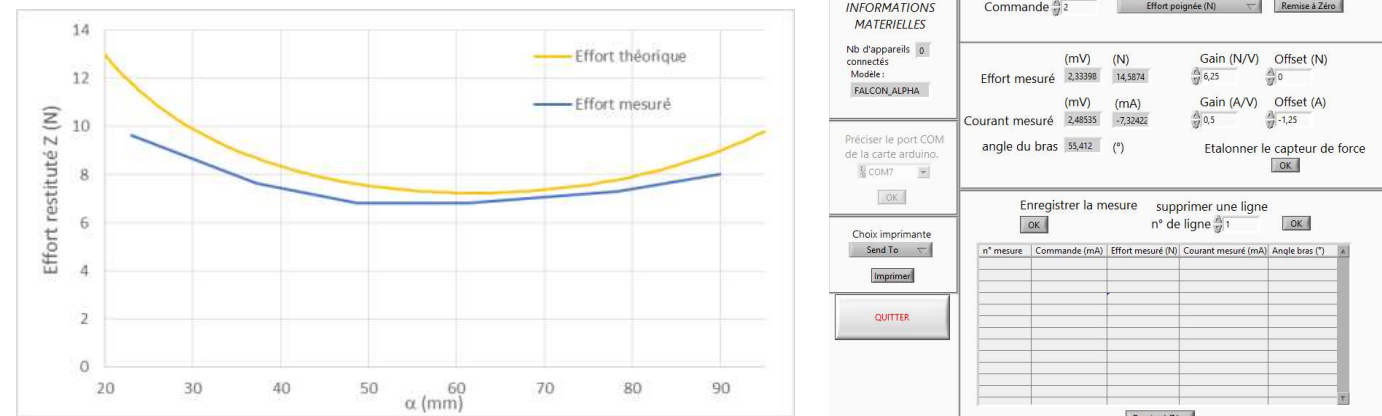
Troisième partie : Performances de restitution de position en mode télérobotique

1- Tracé d'une droite parallèle à l'axe X : Faire exécuter à l'esclave une trajectoire rectiligne à partir d'un fichier de référence comportant les coordonnées exactes d'une droite selon X.

2- Idem pour une droite parallèle à l'axe Z





Objectif	Exemples d'activités pédagogiques proposées
Objectif : Valider la performance : "Résolution de l'estimation en position"	Activité : Acquérir la position - Modéliser en mécanique plane - Expérimenter, simuler, résoudre : loi entrée-sortie géométrique - Expérimenter, simuler, résoudre : rapport cinématique - Vérifier la performance de la mesure - Vérifier la résolution de la mesure 
Objectif : Valider la performance : "Positionner l'effecteur"	Activité : Asservir la position - Modéliser la structure fonctionnelle - Analyser l'écart de performances temporelles « exigée – réelle » - Analyser l'écart de performances temporelles « simulée – réelle » - Modéliser le comportement dynamique - Résoudre la synthèse d'un correcteur 
Objectif : Valider la performance : "Restituer l'effort"	Activité : Restituer l'effort - Décrire et caractériser la performance et les moyens de la mesurer - Décrire la structure du système - Déterminer expérimentalement les grandeurs influençant l'effort restitué - Modéliser en mécanique plane la transmission statique des actions mécaniques - Déterminer le modèle de connaissance de la transmission mécanique - Analyser l'écart de performance « réel – modèle de connaissance » 

www.setdidact.com

www.setdidact.com