

ROBOT HUMANOÏDE DARWIN-OP

Vérification de performances



Cette épreuve n'est pas une épreuve écrite, il n'est donc pas demandé de rédiger un compte-rendu. Toutefois il est demandé d'élaborer avec soin les dessins, les schémas et les graphes utilisés comme illustration lors de cette épreuve orale. Pour préparer les réponses aux questions posées, il faut utiliser les feuilles remises comme brouillon en début d'épreuve. **La qualité de la prestation orale est évaluée.**

Une présentation des réponses de la partie 1 sera faite à l'examineur dès que ces questions seront traitées (le signaler à l'examineur). Pour cette présentation vous vous appuyerez sur le système lui-même, sur vos notes, vos schémas (il est inutile de reproduire les schémas présents dans le sujet).

Pendant le dernier quart d'heure de l'épreuve, et quel que soit l'état d'avancement de vos travaux, vous présenterez une conclusion (3 minutes maximum).

Vous vous attacherez à préciser les objectifs qui ont été fixés, à établir un bilan des activités menées et vous conclurez sur les résultats obtenus.

Cette conclusion doit vous permettre de montrer à l'examineur vos capacités d'analyse et de synthèse du problème posé.

Introduction

On se propose dans ce sujet de vérifier quelques performances du robot DARWIN-OP. Pour ce faire, on procédera par modélisation ou expérimentations conformément à la démarche ingénieur (voir illustration 1) :

- En partie 1, le sujet guide une prise en mains du système à partir des diagrammes SysML structurels et par modélisation comportementale (diagrammes d'états et de séquence) des modes de démonstration ainsi qu'un approfondissement du mode « football autonome ».
- En partie 2, on cherchera à vérifier la performance de rapidité des axes puis à développer un modèle permettant de prévoir les performance de l'asservissement en position des servomoteurs.
- En partie 3, on propose de valider la possibilité de commander les servomoteurs en analysant les échanges d'informations par le bus TTL, ainsi qu'en vérifiant le codage de ces informations.
- Enfin dans une dernière partie (partie 4), on développera un modèle cinématique afin de prévoir la valeur de la vitesse avec laquelle il est possible de déplacer un objet dans une main du robot.

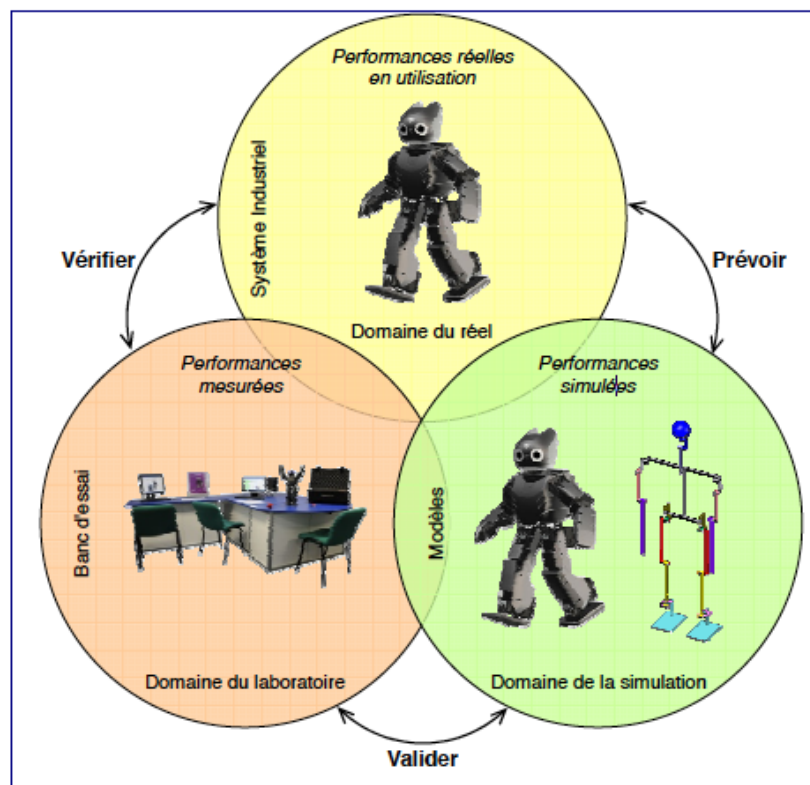


Illustration 1 : La démarche de l'ingénieur

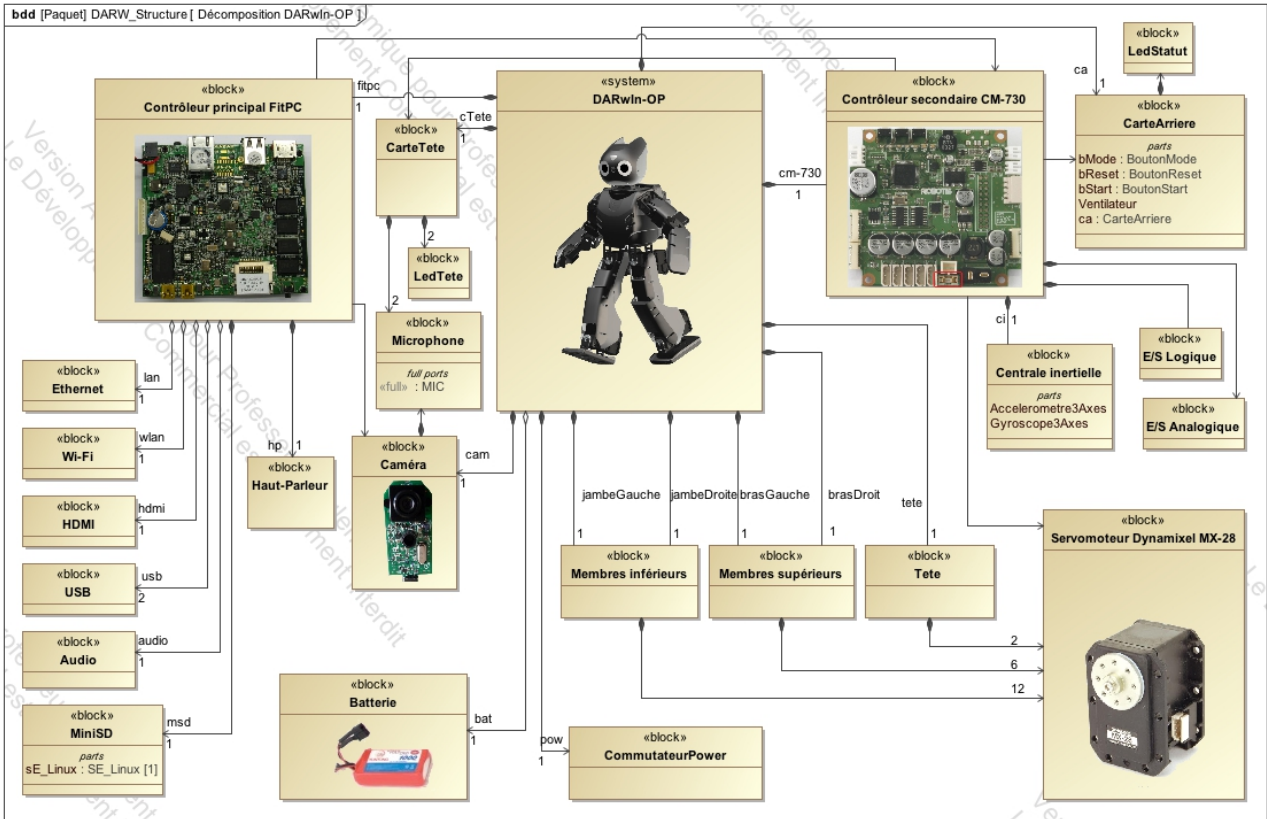
PARTIE 1

Quand cette partie est terminée (45 min environ), le signaler à l'examineur, préparer une mini-synthèse et poursuivre le travail avec la partie suivante.

1.1 Prise en mains du système

Objectif : identifier et localiser les constituants du robot DARwIn-OP.

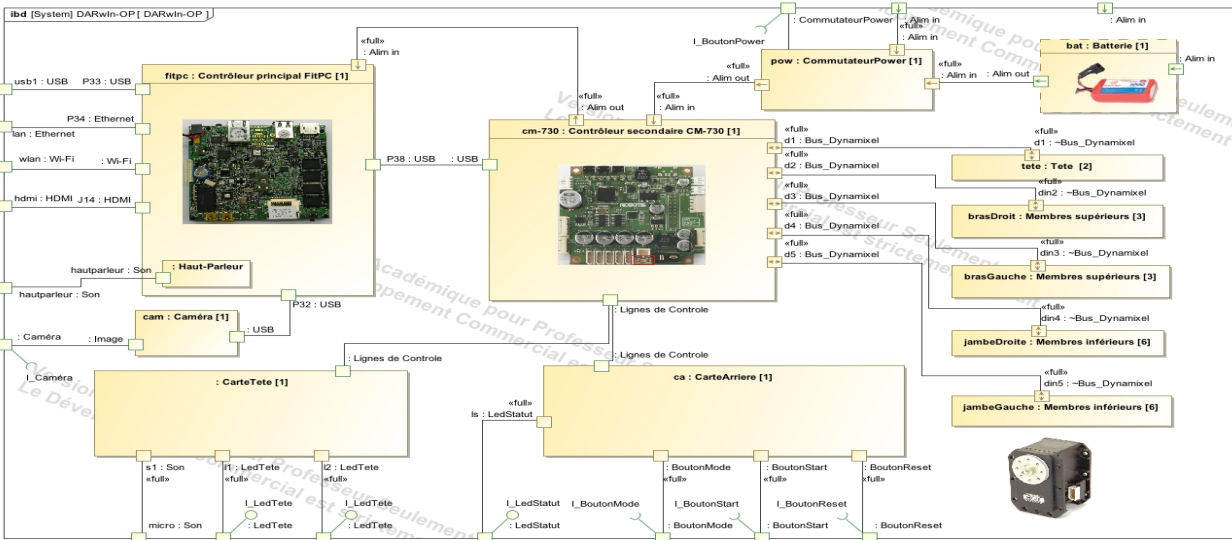
- À partir de l'étude du diagramme SysML de définition de blocs, localiser rapidement les constituants du robot.



- À partir de l'étude du diagramme SysML de blocs interne de DARwin-OP, préciser le ou les constituants véhiculant les informations de commande du contrôleur secondaire aux servomoteurs. Quel(s) constituant(s) véhicule(nt) les retours d'informations issus des servomoteurs ? Commenter.

- Localiser sur le robot ce(s) constituant(s).

- Identifier et localiser les actionneurs et les capteurs. Détailler les constituants d'une chaîne d'énergie.



1.2 Étude et modélisation des modes d'utilisation de démonstration

Objectif : Mettre au point un diagramme SysML d'états détaillant les passages entre les modes de démonstration.

1°) Manipuler le système et observer son comportement

Mettre en oeuvre le système et lancer les différents modes de démonstration par l'utilisation des boutons "start", "mode" et "reset".

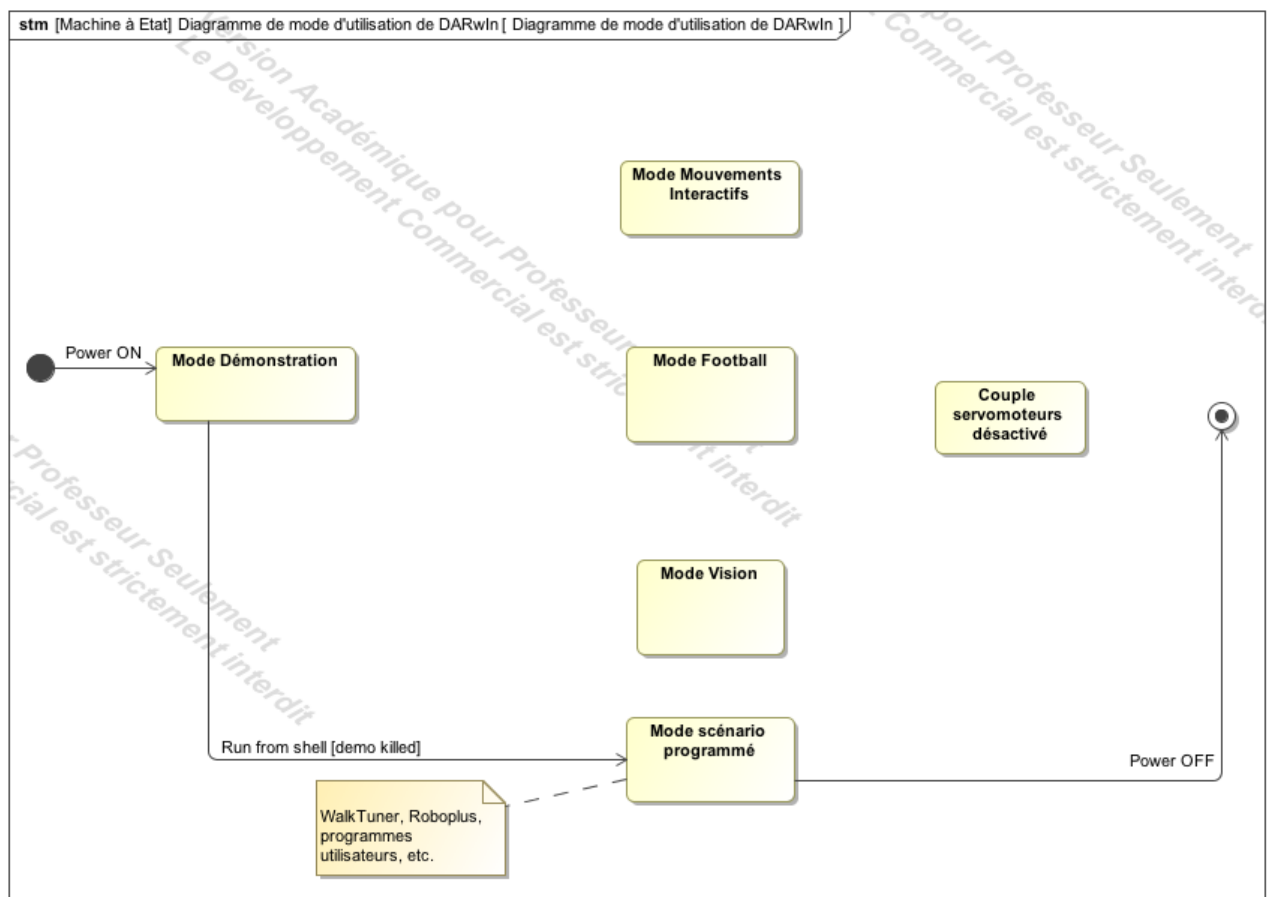
- Décrire les états pris par le système réel en précisant quelles sont les informations qui les déclenchent et celles qui y mettent fin. Présenter le bilan dans un tableau comme celui donné ci-dessous. On ne détaillera pas le fonctionnement dans les différents modes.

États	Information qui le déclenche	Information qui y met fin
...	...	...

- Proposer un chronogramme détaillant les évolutions entre états lors de votre manipulation du système.

2°) Analyser et compléter un diagramme d'états

- Le diagramme SysML d'états proposé ci-dessous correspond-il au comportement observé ?
- Renseigner les transitions manquantes et les conditions de garde associées.
- Valider par comparaison au comportement réel.



PARTIE 2

Afin de pouvoir prédire les performances d'un système asservi, il est nécessaire d'en disposer d'un modèle.

En disposant de suffisamment d'informations sur la structure physique du système et sur les caractéristiques des sous-systèmes, il est possible de proposer un modèle dit « de connaissance » du système, c'est à dire issu de la connaissance que nous en avons ou de la modélisation que nous avons fait.

Ce type de modélisation s'oppose à un modèle qui serait dit « de comportement » du système, c'est à dire issu d'une modélisation faisant suite à l'observation et l'analyse de son comportement expérimental.

Le problème consiste donc à proposer un modèle de connaissance de l'asservissement en position d'un axe du robot Darwin-OP, afin de l'utiliser pour valider la performance de rapidité attendue par le cahier des charges (voir diagramme SysML) : il s'agira donc de mesurer l'écart entre le domaine de simulation et le domaine du laboratoire.

2.1 Vérifier expérimentalement la performance de rapidité d'un axe

Objectif : Effectuer une validation expérimentale de la performance de rapidité des asservissements en position des axes du robot. On gardera les paramètres de réglage du correcteur par défaut, à savoir $K_p=32$, un contrôle en couple et une vitesse maximale (paramètre 'moving speed' à 0).

1°) Manipuler le coude droit

- Identifier sur le robot réel le numéro du servomoteur pilotant la rotation du coude droit.

On souhaite positionner l'axe étudié (le coude droit) à la verticale, afin de s'affranchir de l'influence de la pesanteur dans le mouvement étudié.

- Par l'interface de pilotage, positionner l'axe de rotation du coude droit à la verticale (position à 2100 pts pour le servomoteur ID1 ; position à 2600 pts pour le servomoteur ID3)

On rappelle que la rotation 0-360° est codée sur 4096 pts.

- Déterminer la consigne à imposer à l'axe afin de commander un échelon de position de 40°.
- Acquérir et tracer l'évolution temporelle de la position de cet axe pour cette consigne.

2°) Mesurer le temps de réponse

- Mesurer le temps de réponse à 5% de l'axe étudié.

3°) Comparer le résultat avec le cahier des charges

- Comparer cette valeur expérimentale au temps qu'aurait mis le moteur à la vitesse maximale à vide (voir le cahier des charges) et consigner les résultats dans le document réponse.

2.2 Identifier les composants du robot et proposer un schéma bloc de principe

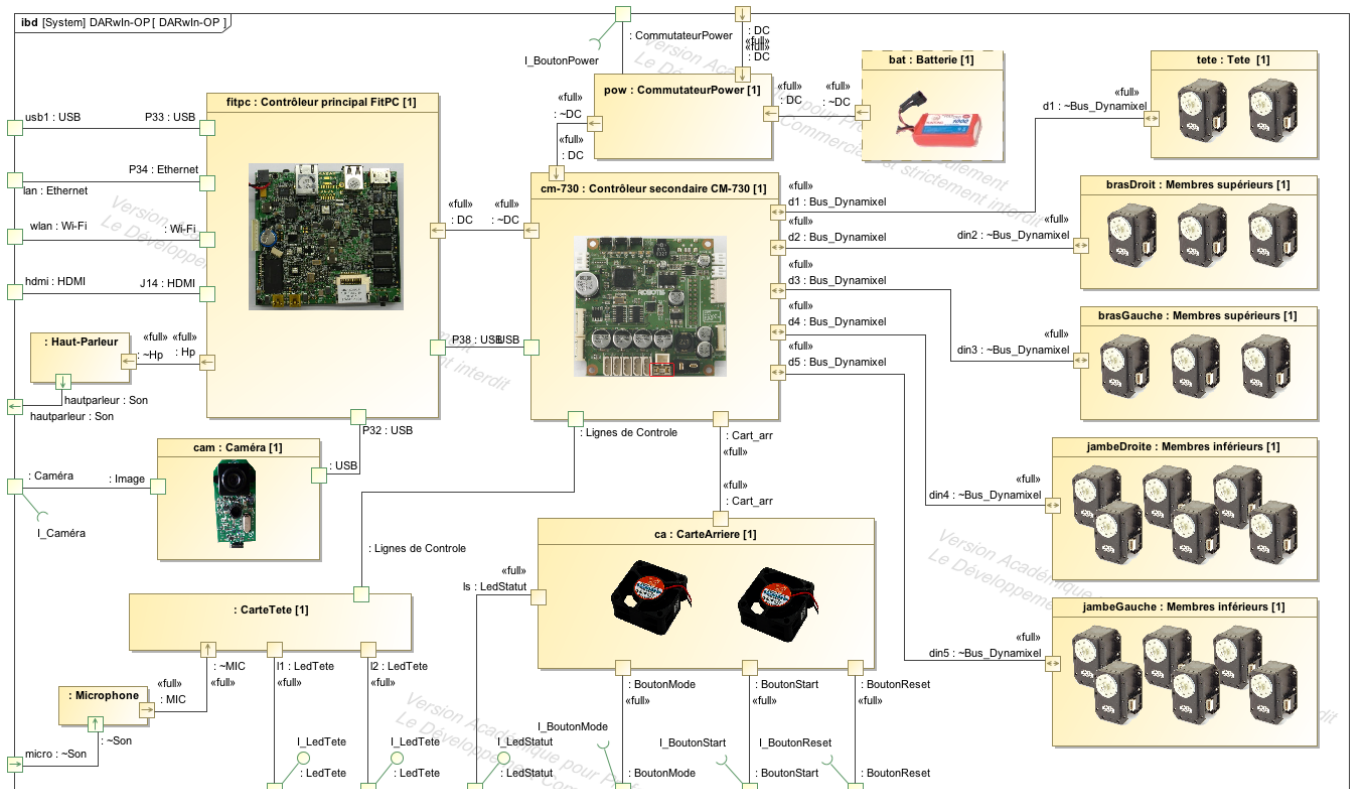
Objectif : Identifier les composants intervenant dans l'asservissement en position d'un axe du robot et mettre en place l'architecture de cet asservissement.

Dans un premier temps, l'étude porte sur le robot complet.

1°) Identifier le nombre de servomoteur et les composants qui les commandent

- Combien y a t il de servomoteurs dans le robot ?

- À partir de l'analyse du diagramme SysML IBD du robot, identifier le(s) composant(s) commandant ces servomoteurs.

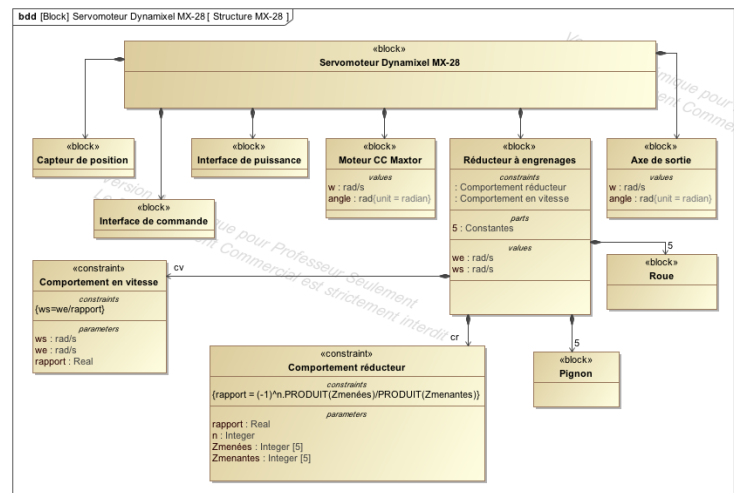


Dans ce second temps, l'étude porte sur l'asservissement en position d'un axe d'épaule du robot.

2°) Identifier les composants et les grandeurs d'entrée / sortie intervenant dans l'asservissement.

- À partir de l'analyse du diagramme SysML BDD d'un servomoteur, identifier les composants intervenant dans cet asservissement.

- Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie du système asservi.



L'illustration 2, ci-dessous, propose un schéma bloc de principe de l'asservissement en position d'un axe.

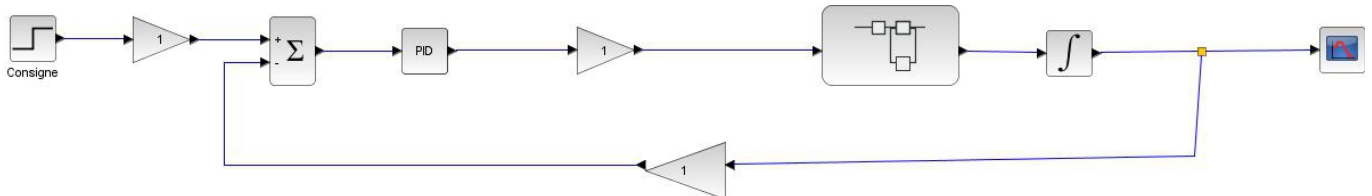


Illustration 2 : Schéma bloc de principe de l'asservissement en position étudié

3°) Compléter le schéma bloc avec les noms de composants et les grandeurs physiques.

- Recopier le schéma blocs et indiquer le nom des composants en jeu dans les cases du schéma bloc de principe.

- Indiquer les grandeurs sur les liens du schéma bloc de principe.

2.3 Proposer une fonction de transfert par modèle de connaissance

Objectif : Déterminer et proposer un modèle de connaissance afin d'obtenir la fonction de transfert des sous-systèmes : moteur, convertisseur de tension, réducteur, capteur de position et convertisseur analogique / numérique.

1°) Proposer une fonction de transfert du moteur

- Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie du moteur.

- Rappeler les transformées de Laplace des équations de la modélisation d'un moteur à courant continu.

- Proposer une expression pour la fonction de transfert de chacun des blocs du schéma bloc de principe (voir illustration 3).

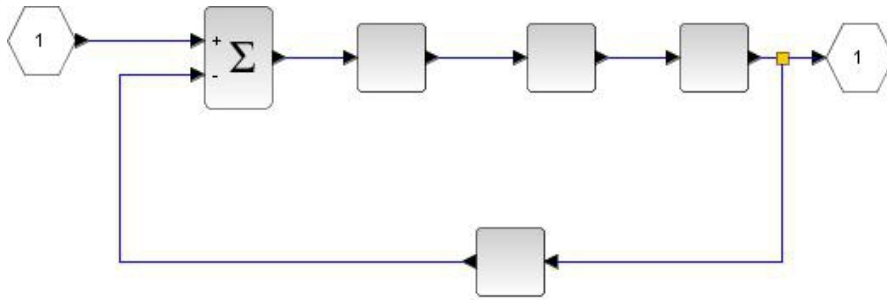


Illustration 3 : Schéma bloc de principe du moteur

Compléter le modèle Scilab proposé avec la fonction de transfert.

Le modèle de connaissance du moteur utilisé dans l'asservissement est maintenant déterminé.

2°) Proposer une fonction de transfert du convertisseur de tension

- Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie du contrôleur, ainsi que leurs plage de variation.

Remarque : Le but est de proposer un modèle en restant dans le cadre des Systèmes Linéaires Continus Invariant, donc respectant l'hypothèse de linéarité. On rappelle (voir dossier technique) que le signal de commande en sortie du correcteur est codé sur 10 bits et que le convertisseur fourni un signal de commande au moteur sur $[0;12]V$.

- Proposer une fonction de transfert $H_{\text{cont}}(p)$ linéaire pour ce composant.
- Compléter le modèle Scilab proposé avec la fonction de transfert.

3°) Proposer une fonction de transfert du réducteur

- Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie du réducteur.
- À partir de l'étude de la documentation technique, proposer une fonction de transfert $H_{\text{red}}(p)$ pour ce composant.
- Ouvrir la maquette Solidworks et lancer une simulation sous Solidworks - Meca3D afin de tracer la loi entrée - sortie en position du réducteur (demander à l'examineur).
- Vérifier que la fonction de transfert proposée permet de retrouver la loi entrée – sortie simulée sous Solidworks.
- Compléter le modèle Scilab proposé avec la fonction de transfert .
- Proposer une modification du schéma blocs qui permette d'avoir un angle de sortie en degrés.

4°) Proposer une fonction de transfert du capteur de position

- Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie du capteur.

Remarque : Le but est de proposer un modèle en restant dans le cadre des Systèmes Linéaires Continus Invariant, donc respectant l'hypothèse de linéarité. On rappelle (voir dossier technique) que le capteur code la rotation sur 360° en 4096 points

- Proposer une fonction de transfert $H_{cap}(p)$ pour ce composant.
- Compléter le modèle Scilab proposé avec la fonction de transfert et réaliser une capture d'écran.

5°) Proposer une fonction de transfert du convertisseur analogique numérique

- Préciser les grandeurs d'entrée et de sortie du convertisseur.
- Proposer une fonction de transfert $H_{can}(p)$ pour ce composant.

Compléter le modèle Scilab proposé avec la fonction de transfert et réaliser une capture d'écran.

2.4 Proposer une fonction de transfert par modèle de connaissance

Objectif : Après avoir compléter le modèle de connaissance dans le logiciel Scilab durant la troisième partie, simuler ce modèle de connaissance.

1°) Simuler et tracer la réponse à un échelon

On propose dans le fichier « modele_axe_darwin_Rabat » un modèle complet tenant du léger retard observé sur la réponse réelle (lié à la communication TTL).

- Simuler sous Scilab la réponse à un échelon de 40° du système modélisé.
- Tracer la réponse temporelle.

2°) Caractériser et comparer la rapidité du système

- Caractériser la rapidité du système simulé par la mesure du temps de réponse à 5 %.
- Comparer la rapidité du système simulé à celle mesurée sur le système réel (partie 4).

3°) Conclure sur la validité des résultats.

- Conclure quant aux écarts entre les performances de rapidité du banc d'essais, du système industriel et du modèle de connaissance proposé. Les hypothèses effectuées dans les diverses étapes de la modélisation de connaissance sont elles validées ?
- Consigner l'ensemble des résultats dans le document réponse et réaliser la réponse technique au problème posée

PARTIE 3

Analyse et vérification des échanges par le bus TTL

Objectif : Relever, analyser et interpréter les informations véhiculées par le bus TTL pour en valider son utilisation.

Présentation

La phase de mise au point du fonctionnement de la commande d'un système logique ou numérique est une phase importante. L'utilisation d'une modélisation comportementale (à l'aide des diagrammes SysML) permet, en cours de conception, de modifier, simuler et valider les choix effectués en vue de répondre aux exigences du cahier des charges.

On se propose de valider la possibilité de commander les servomoteurs en analysant les échanges d'informations par le bus TTL, ainsi qu'en vérifiant le codage de ces informations.

Étude proposée

Mettre en route le système en basculant l'interrupteur sur ON si ce n'est déjà fait. Attendre la fin de la phase d'initialisation.

Par l'interface de contrôle-commande, commander le déplacement du servomoteur du coude droit.

Connecter un analyseur logique au bus TTL (on rappelle que le fil du milieu du bus TTL correspond à l'alimentation VCC des servomoteurs, et que les deux autres fils aux extrémités véhiculent l'un la masse GND, l'autre la donnée DATA).

Ouvrir le logiciel de déramage (voir l'annexe correspondante pour son paramétrage).

- Acquérir par l'analyseur les trames véhiculées par le bus TTL lors de la commande du servomoteur en question en échelon (on pourra commander plusieurs périodes pour avoir le temps de lancer l'acquisition sur le logiciel de déramage). Recopier sur la copie les trames.

- De quoi sont composées les trames ? Quel est le codage utilisé ?

- Relever et recopier sur la copie le chronogramme associé à un octet (de votre choix) et vérifier la conversion en hexadécimal effectuée par le logiciel.

On s'intéresse dans un premier temps à la première trame, la trame de commande (ou « paquets instruction »), envoyée par le microcontrôleur.

- Indiquer la signification de chacun des octets présent dans la trame de commande. *On pourra s'aider du document technique correspondant au bus TTL ou du site support.robotis.com.*

- Vérifier la valeur de l'octet « checksum ». *On portera une attention particulière à l'opérateur ~ réalisant une opération NON bit à bit.*

On s'intéresse maintenant à la deuxième trame, la trame de réponse (ou « paquets status »).

- Indiquer la signification de chacun des octets présent dans la trame de réponse. *On pourra s'aider du document technique correspondant au bus TTL ou du site support.robotis.com.*

- Renouveler les mesures dans les mêmes conditions et comparer les différentes trames de réponse obtenues. Commenter.

- Déterminer les valeurs numériques des informations de position, vitesse et couple renvoyées, d'abord en nombre de points, puis en unité physique correspondante (*voir documentation*

technique : on rappelle que les valeurs des paramètres sont données sur 2 octets puisque codées sur 12 bit, en commençant par le bit de poids faible).

- Vérifier la valeur de l'octet « checksum ».

PARTIE 4

Analyse des mouvements

Objectif : Déterminer le mouvement global d'un l'avant-bras par rapport au tronc et valider le cahier des charges.

Présentation

Un robot humanoïde doit pouvoir se mouvoir dans un espace humain, avec des déplacements et des gestes particuliers qui correspondent aux différentes tâches qu'il aura à accomplir.

Le robot DARwIn-OP étant destiné au service à la personne, il doit par exemple être capable d'ouvrir une porte, ou de porter un verre plein sans le renverser, tout en montant un escalier...

Le robot étant constitué de nombreuses pièces et articulations, savoir quelle articulation commander dans quel sens pour effectuer un mouvement comme ouvrir une porte ne paraît pas évidente au premier abord.

Il est donc nécessaire de disposer d'un modèle cinématique afin de pouvoir déplacer le robot DARwIn-OP suivant un mouvement souhaité.

L'objet de ce TP est donc de proposer un modèle cinématique du robot, c'est à dire :

- identifier les solides ou ensembles de solides n'ayant pas de mouvement relatifs possibles et donc formant une classe d'équivalence cinématique
- identifier quels ensembles de solides sont reliés par des liaisons,
- proposer un modèle de liaison normalisée pour chacune de ces liaisons.

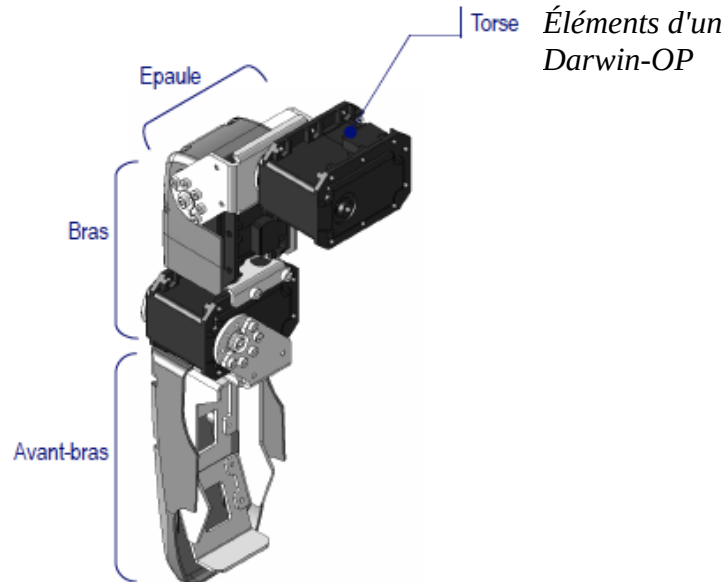
Nous allons donc chercher à fournir au bureau d'étude :

- un modèle cinématique qui permettra ensuite de prévoir un comportement réel
- une prévision de la valeur de la vitesse avec laquelle il est possible de déplacer un objet dans une main du robot.

Cette étude est un préalable nécessaire à la validation de l'exigence de rapidité d'exécution des mouvements. En effet, dans l'exemple du déplacement d'un verre d'eau pour le donner à une personne, en plus de la nécessité de ne pas le renverser, il sera nécessaire d'atteindre la position souhaitée avec précision, mais aussi en un temps suffisamment rapide pour satisfaire l'utilisateur (voir tableau des exigences ci dessous) !

#	▲ Id	Nom	Text
1	1	☐ R Déplacer un verre d'eau	on souhaite porter un verre d'eau vers une personne
2	1.1	☐ P Rapidité	similaire à ce que pourrait faire un homme
3	1.2	☐ Fh Maintien de l'horizontalité	impératif
4	1.3	☐ R Amplitude du déplacement	15 à 20 cm du tronc de Darwin jusqu'à la personne

Illustration 1:
ensemble bras de



1°) Modéliser le réel

- Sur le robot Darwin-OP réel, localiser le tronc, ainsi que l'avant-bras gauche. En manipulant le robot hors tension,
- identifier le nombre de degrés de liberté entre l'avant-bras gauche et le tronc.
- relever les identifiants des servomoteurs intervenant dans cette chaîne cinématique

Mettre le robot sous tension et le connecter à l'ordinateur.

Ouvrir le logiciel Robotplus, puis accéder à l'interface Robotplus Motion et connecter le robot.

- Piloter, à partir de l'interface de Robotplus Motion, les servomoteurs identifiés à la question précédente pour mettre en mouvement les différentes articulations de l'ensemble bras gauche.
- Par quelle liaison normalisée peut-on modéliser un servomoteur ? En déduire une modélisation des liaisons intervenant dans l'ensemble bras gauche. On pourra récapituler les résultats dans un graphe des liaisons de cet ensemble.
- Exprimer chacun des torseurs cinématiques nécessaires à l'étude du mouvement de l'avant-bras par rapport au tronc. On pourra nommer les points ou axes utiles en les indiquant sur un schéma (illustration 1)
- Écrire la composition de mouvements nécessaire à la détermination du torseur cinématique du mouvement de l'avant-bras par rapport au tronc. *On ne détaillera pas les calculs.*

2°) Détermination de la vitesse maximale en bout de bras

On étudie un cas d'utilisation correspondant à une aide apportée à une personne en lui tendant un verre d'eau tout en gardant le verre horizontal afin de ne pas renverser d'eau (voir le tableau des exigences).

La mouvement étudié dans cette partie consiste donc en un déplacement de translation (non rectiligne) de l'avant-bras par rapport au tronc du robot :

- départ de la position bras vertical (orienté vers le bas) et avant-bras horizontal (orienté vers l'avant)

- mouvement de translation de l'avant-bras par rapport au tronc (voir film mouvement_CI3.avi)

– Relever dans la documentation technique les spécifications de vitesse maximale d'un servomoteur.

On propose un schéma cinématique du bras en illustration 3. Le repère $(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$ est attaché au tronc : l'axe $\vec{y}_1$ est orienté vers l'avant du robot, l'axe $\vec{x}_1$ vers le sol.

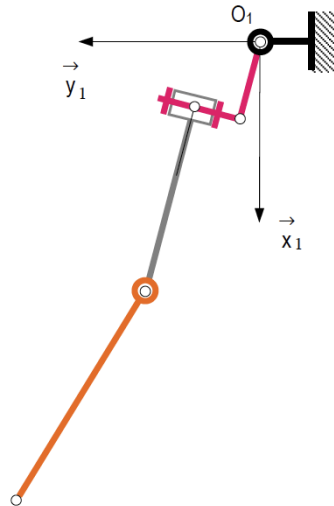


Illustration 2: Schéma cinématique de l'ensemble bras.

– Quel(s) servomoteur(s) faudra-t-il piloter pour effectuer le mouvement précisé précédemment dans le plan $(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$? Quelle relation imposer entre les vitesses de rotation de chacun de ces servomoteurs pour assurer le mouvement souhaité ?

Ouvrir le logiciel Solidworks et Meca3D

Ouvrir la maquette CAO 3D du robot (schema_DARwin_OP.SLDASM)

– Paramétrer et lancer une simulation sous Meca3D d'un mouvement de l'ensemble bras droit à la vitesse maximale de chaque servomoteur.

– Tracer la courbe de la norme de la vitesse galiléenne du centre de gravité de l'avant-bras gauche et relever sa valeur maximale. Pour quelle position est-elle atteinte ? Pourquoi peut-on conclure vis à vis de la problématique posée à partir de la visualisation des vitesses galiléennes du centre de gravité ?

– Conclure vis à vis du tableau des exigences proposé en introduction. Le temps mis pour porter le verre d'eau est-il raisonnable ?

Document réponse

Partie 2.1

Rapidité à vitesse maxi (cahier des charges)	
Rapidité mesurée pour l'épaule gauche	
Rapidité mesurée pour l'épaule droite	

Partie 2.2

Partie 2.3

$H_h(p) =$	
$H_{red}(p) =$	
$H_{cap}(p) =$	
$H_{can}(p) =$	

Rapidité du modèle simulé	
Rapidité à vitesse maxi (cahier des charges)	
Rapidité mesurée (rappel partie 1)	