



CPGE - PCSI SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR	
CI 3 : Proposer un modèle de connaissance et de comportement cinématique d'un système	
TP SII 2 CI 3	
2nd semestre	
Durée : 2 heures	
Support :	Photo du poste (exemple)
Objectifs de formation : <ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un schéma cinématique - Utiliser un champ de vecteurs vitesse et ses propriétés - Appliquer les opérations du torseur distributeur des vitesses - Comparer des grandeurs cinématiques mesurées, simulées et/ou calculées - Choisir les outils de la communication. 	<p>Ilot avec produit et ordinateur associé + 3 à 6 postes informatiques</p>
Problématique posée à l'équipe : (exemple de problématique possible) Vérifier que le robot permet de déplacer un objet (par exemple un verre d'eau) vers une personne en répondant aux exigences de maintien d'horizontalité et de rapidité de déplacement. <i>Justifier les écarts entre les grandeurs cinématiques mesurées, calculées et/ou simulées</i>	
1 - Conditions générales Ressources matérielles : <ul style="list-style-type: none"> - Robot Darwin-OP Ressources logicielles et numériques disponibles : <ul style="list-style-type: none"> - logiciel d'acquisition - maquette CAO du robot Darwin-OP - schéma cinématique du robot Darwin-OP Ressources informatique : <ul style="list-style-type: none"> - 	<p>Savoir faire visés</p> <ul style="list-style-type: none"> - Déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide
2 - Pré requis <ul style="list-style-type: none"> - définition de la vitesse d'un point dans un mouvement donné - notion de torseur cinématique et composition de mouvements - aisance dans Solidworks et Meca3D 3 - Conditions particulières de réalisation (Travail demandé) En présence du robot Darwin-OP en état de fonctionnement, installé au sein d'un îlot : Le Professeur doit : (présenter le problème et l'environnement) Montrer la nécessité de disposer d'un modèle cinématique du robot afin de pouvoir mettre au point des mouvements donnés par simulation, ainsi que de valider la performance de vitesse maximale possible en bout de bras du robot. L'équipe d'étudiants doit : Décrire le travail commun à toute l'équipe et les démarches de résolution spécifiques à chaque poste (approche matérielle, virtuelle, numérique....) L'étudiant du poste 1 doit : travail sur Darwin-OP réel <ul style="list-style-type: none"> - identifier le nombre de degrés de liberté du bras gauche par rapport au tronc - mettre en mouvement chacun des servomoteurs du bras gauche - proposer la forme du torseur cinématique avant bras / bras 	
	<p>Connaissances abordées</p> <p>B2 Proposer un modèle de connaissance et de comportement</p> <ul style="list-style-type: none"> - torseur cinématique <p>F1 Rechercher et traiter des informations</p> <ul style="list-style-type: none"> - informations techniques - langage SysML <p>F2 Mettre en œuvre une communication</p> <ul style="list-style-type: none"> - outils de communication - schémas cinématiques, électriques



	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> - proposer la forme du torseur cinématique bras / tronc L'étudiant du poste 2 doit : travail sur maquette CAO - Prendre en mains la maquette CAO du robot Darwin-OP - Simuler sous Meca3D une rampe de vitesse dans l'articulation bras / avant-bras - Proposer une forme de torseur cinématique du mouvement de l'avant-bras / bras - Simuler sous Meca3D les articulations intervenant dans la liaison avant-bras / tronc - Proposer une forme de torseur cinématique du mouvement du bras / tronc L'équipe d'étudiants doit : - Présenter ses résultats à l'étudiant de l'autre poste - En déduire la forme du torseur cinématique du bras complet par rapport au tronc L'étudiant du poste 1 doit : validation par simulation CAO - valider la performance de vitesse maximale admissible en bout de bras à partir des spécifications des servomoteurs et par simulation CAO L'étudiant du poste 2 doit : validation par démarche analytique - valider la performance de vitesse maximale admissible en bout de bras à partir des spécifications des servomoteurs et par changement de point du torseur cinématique <div data-bbox="153 851 1042 992" style="background-color: yellow; padding: 5px;"> <p>Les activités proposées dans ce centre d'intérêt obéissent à la démarche générale des sciences de l'ingénieur :</p> <p>Analyser, modéliser, résoudre, expérimenter, concevoir, communiquer</p> <p>Mais l'essentiel du TP porte sur le présent CI, sur les connaissances et les savoir faire associés.</p> </div> <p>4 - Résultats attendus (à préciser en fonction du TP)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Document de synthèse commun à l'équipe, mettant en œuvre les techniques de communication - Fiche de formalisation des connaissances abordées durant le TP <p>5 - Critères de réussite : (Quelques pistes possibles)</p> <ul style="list-style-type: none"> - La rigueur dans la démarche - Le travail en équipe avec échange d'arguments pertinents - L'identification des connaissances liées TP - L'exactitude des résultats - La qualité des documents numériques réalisés 	<p>Seuls les éléments essentiels de la théorie des torseurs - opérations, invariants, axe central, couple et glisseur – sont présentés dans le cours</p>



FICHE ETUDIANT

1. La problématique posée à l'équipe

Déterminer la valeur de la vitesse maximale en bout de bras lors d'un mouvement de déploiement de l'avant bras (du type déplacement d'un objet e le gardant horizontal pour le donner à une tierce personne).

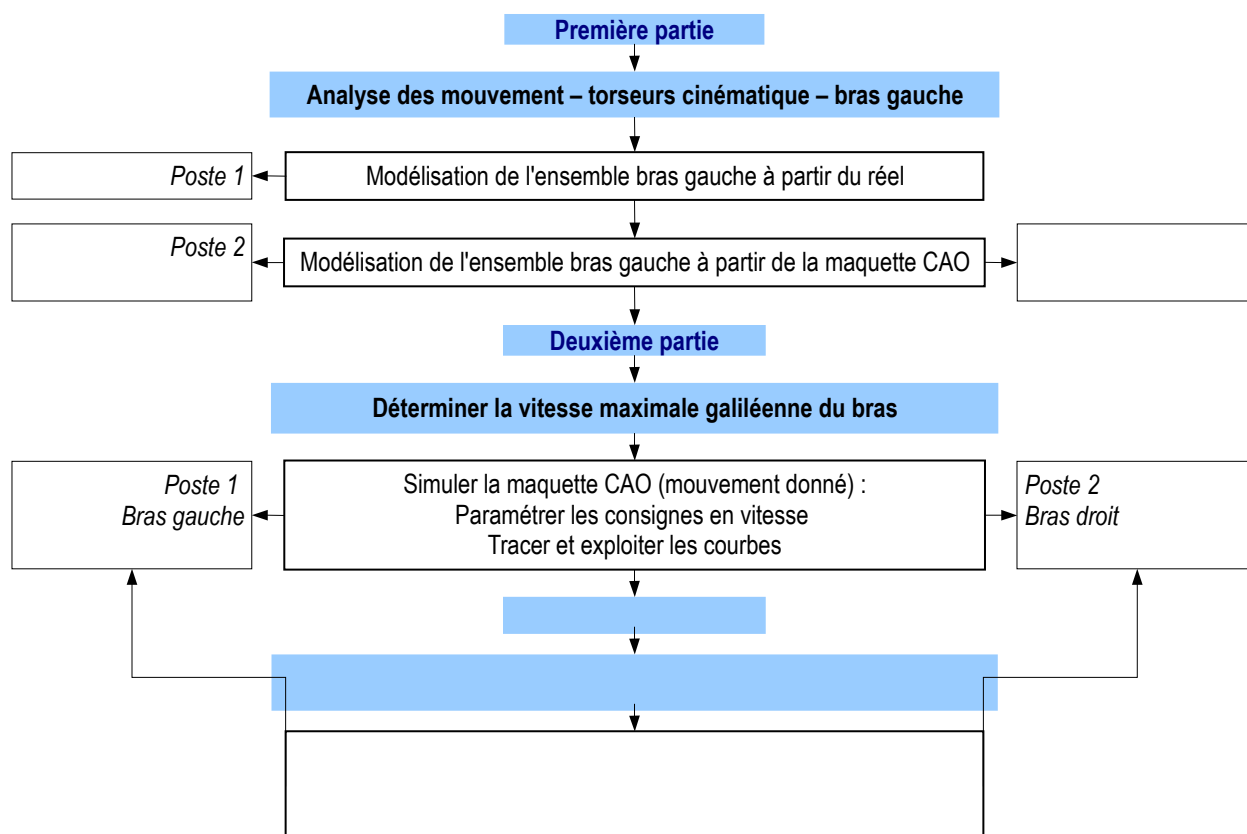
Pour cela, on propose dans un premier temps d'analyser les degrés de liberté d'un bras en modélisant l'ensemble et initiant la démarche analytique (expression des torseurs cinématique, composition des vitesses). Dans un second temps, une simulation CAO est proposée afin de déterminer la vitesse en bout de bras lors du mouvement.

La fin de la démarche analytique initiée en première partie et menant à l'expression analytique de la vitesse en bout de bras pourrait être menée en TD.

2. La description des activités pendant la séance

En présence du robot DARwIn-OP associé à un ordinateur connecté à Internet et implanté au sein d'un îlot.

L'équipe travaillant sur l'îlot doit :





DEROULEMENT DES ACTIVITES

Problème posé à l'équipe

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

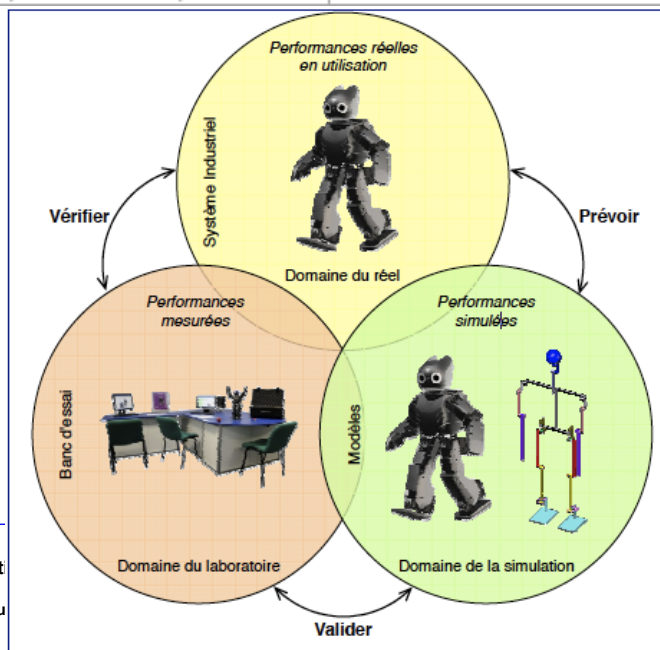
- identifier les solides ou ensembles de solides n'ayant pas de mouvement relatifs possibles et donc formant une classe d'équivalence cinématique
- identifier quels ensembles de solides sont reliés par des liaisons,
- proposer un modèle de liaison normalisée pour chacune de ces liaisons.

Nous allons donc chercher à fournir au bureau d'étude (voir figure des 3 écarts ci-dessous) :

- un modèle cinématique qui permettra ensuite de prévoir un comportement réel (voir figure ci dessous).
- 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	 Déplacer un verre d'eau	on souhaite porter un verre d'eau vers une personne
2	1.1	 Rapidité	similaire à ce que pourrait faire un homme
3	1.2	 Maintien de l'horizontalité	impératif
4	1.3	 Amplitude du déplacement	15 à 20 cm du tronc de Darwin jusqu'à la personne





1^{ère} Partie Analyse des mouvements – torseurs cinématiques

Poste 1 et 2

Objectif

L'objectif de cette activité est de déterminer le mouvement global de l'avant-bras gauche par rapport au tronc par détermination de son torseur cinématique, en analysant les liaisons intervenant.

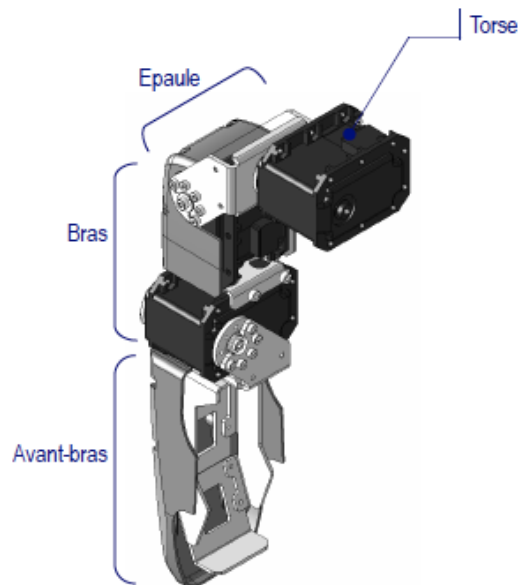


Illustration 1: Éléments d'un ensemble bras de Darwin-OP

Poste 1

Modélisation à partir du réel

Q1 – 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

réponse :

3 DDL par bras (bras gauche : coude 1DDL servomoteur n°6 ; épaule 2DDL servomoteurs n°2 et n°4)

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.

Q2 – 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.

réponse :

bras gauche : coude 1DDL servomoteur n°6 ; épaule 2DDL servomoteurs n°2 et n°4

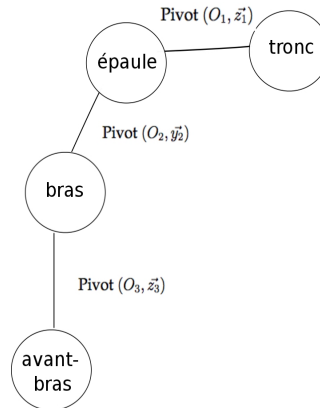
Q3 – Par quelle liaison normalisée peut-on modéliser un servomoteur ? En déduire une modélisation des liaisons intervenant dans l'ensemble bras gauche. On pourra récapituler les résultats dans un graphe des



liaisons de cet ensemble.

réponse :

un servomoteur réalise une liaison pivot motorisée entre les deux éléments auxquels il est relié (à chaque fois par 4 vis)



Q4 – 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)

réponse :

$$\begin{aligned}\{\mathcal{V}_{\text{épaule/tronc}}\} &=_{O_1} \begin{Bmatrix} \Omega_{2/1} \vec{z}_1 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \\ \{\mathcal{V}_{\text{bras/épaule}}\} &=_{O_2} \begin{Bmatrix} \Omega_{3/2} \vec{y}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \\ \{\mathcal{V}_{\text{avant-bras/bras}}\} &=_{O_3} \begin{Bmatrix} \Omega_{4/3} \vec{z}_3 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}\end{aligned}$$

Q5 – 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.*

réponse :

$$\{\mathcal{V}_{\text{avant-bras/tronc}}\} = \{\mathcal{V}_{\text{avant-bras/bras}}\} + \{\mathcal{V}_{\text{bras/épaule}}\} + \{\mathcal{V}_{\text{épaule/tronc}}\}$$

Poste 2

Travail sur la maquette CAO 3D sous Solidworks et Meca 3D

Ouvrir le logiciel Solidworks et Meca3D

Ouvrir la maquette CAO 3D du robot

Q1 – Paramétrer et lancer une simulation sous Meca3D d'une rampe de vitesse dans l'articulation entre l'avant-bras et le bras.



Q2 – Proposer une expression du torseur cinématique du mouvement de l'avant-bras par rapport au bras. On pourra nommer le(s) point(s) ou axe(s) utile(s) en les indiquant sur un schéma (illustration 1)

réponse : cf Q4 poste1

Q3 – 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.

Vérifier que le nombre de degrés de liberté accessibles sous Meca3D pour les liaisons intervenant dans l'ensemble bras est cohérent avec la modélisation que vous en faites.

réponse : cf Q3 poste1

Q4 – Paramétrer et lancer une simulation sous Meca3D d'une rampe de vitesse dans chaque articulation intervenant entre l'avant-bras et le tronc. 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)

réponse : cf Q4 poste1

Q5 – Écrire la composition des mouvement nécessaire à la détermination du torseur cinématique du mouvement de l'avant-bras par rapport au tronc.

réponse : cf Q5 poste1



2^{ème} Partie

Poste 1 et 2

Objectif

L'objectif de cette activité est de déterminer la vitesse maximale possible en bout de bras. Cette valeur permettant de valider les choix effectués lors du dimensionnement du robot (servomoteurs, taille des éléments des bras) au regard de ses utilisations.

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 en introduction).

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) (voir figure??)
- mouvement de translation de l'avant-bras par rapport au tronc (voir film mouvement_C13.avi)

Poste 1 et 2

Travail sur la maquette CAO 3D sous Solidworks et Meca 3D [Poste 1 : bras gauche ; Poste 2 : bras droit]

Q1 – Relever dans la documentation technique les spécifications de vitesse maximale du servomoteur.

Réponse :

Vitesse sans charge : 54 tr/min

Vitesse maxi-mini de 8070 à 2960 tr/min

Vitesse au courant In 3908 tr/min

Vitesse à vide à U_a à +/- 10% 5350 tr/min

Vitesse limite 9500 tr/min

laquelle choisir ensuite pour la simulation ?? et le réducteur 1/192,6 → aucune valeur cohérente...

On propose un schéma cinématique du bras en illustration 3. Le repère $(0_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$ est attaché au tronc : l'axe \vec{y}_1 est orienté vers l'avant du robot, l'axe \vec{x}_1 vers le sol.

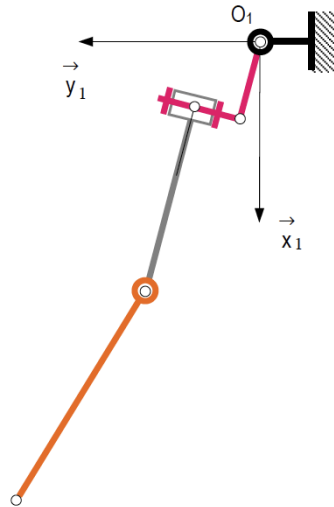


Illustration 3: Schéma cinématique de l'ensemble bras.

Q2 – 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 ?

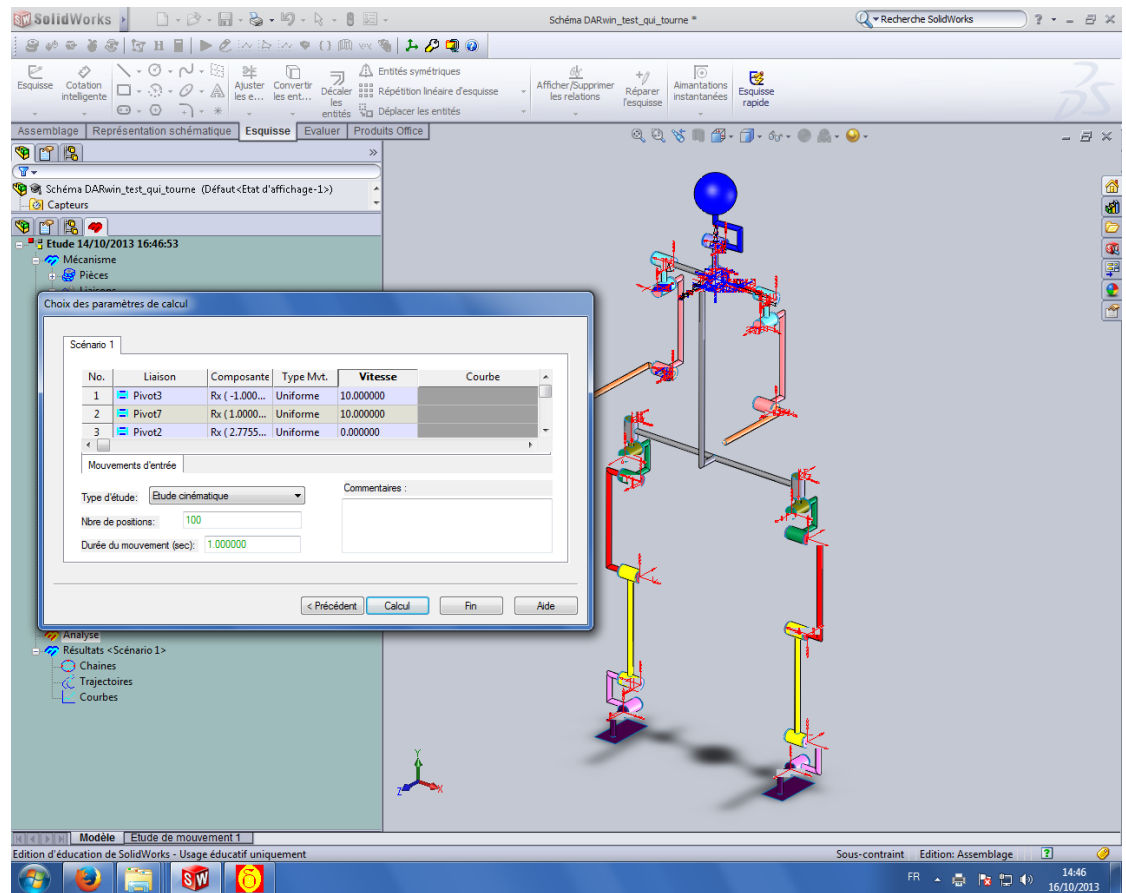
réponse : les servomoteurs 2 et 6 sont à piloter, à vitesse de rotation opposée afin d'assurer le mouvement de translation étudié

Ouvrir le logiciel Solidworks et Meca3D

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

Q3 – Paramétrer et lancer une simulation sous Meca3D d'un mouvement de l'ensemble bras gauche à la vitesse maximale de chaque servomoteur.

réponse :



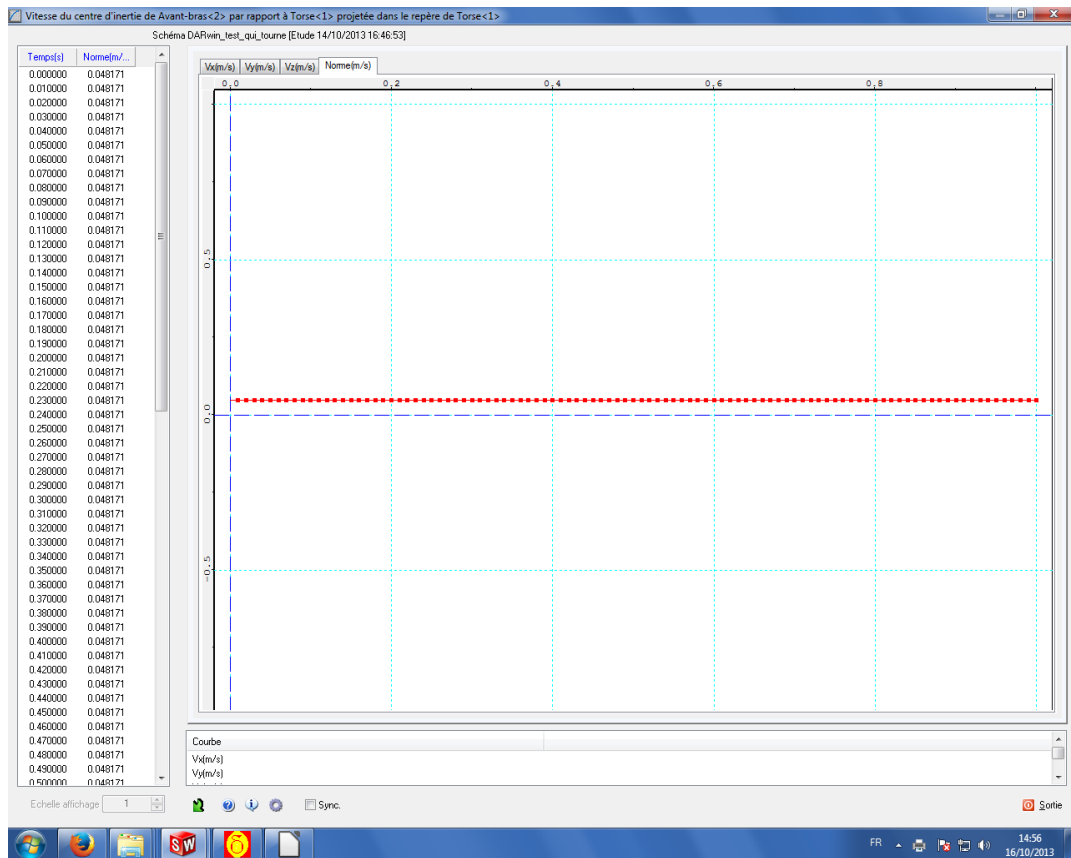
Q4 – Tracer la courbe de la norme de la vitesse galiléenne du centre de gravité de l'avant-bras gauche et relever sa valeur maximale. Pour quelle position est-elle atteinte ? Pourquoi peut-on conclure vis à vis de la problématique posée à partir de la visualisation des vitesses galiléennes du centre de gravité ?

Réponse :

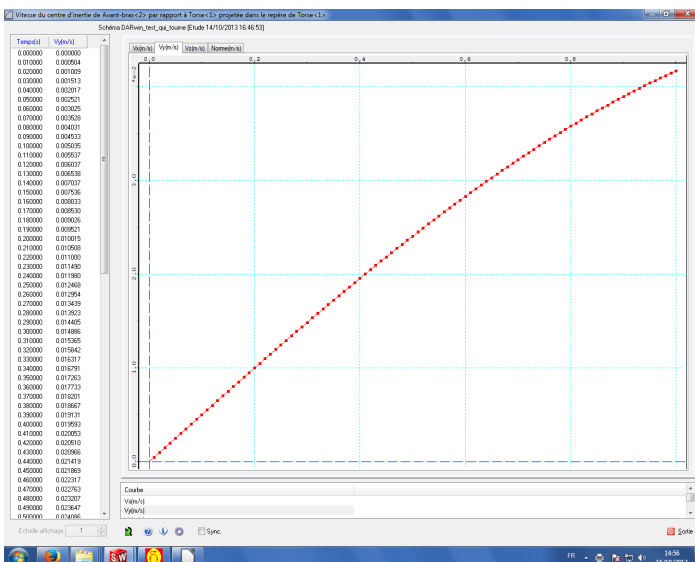
(voir courbe)

- le mouvement étudié est une translation (la vitesse galiléenne est identique en tout point à un instant donné), donc raisonner à partir de la vitesse galiléenne du centre de gravité permet de conclure sur le problème posé

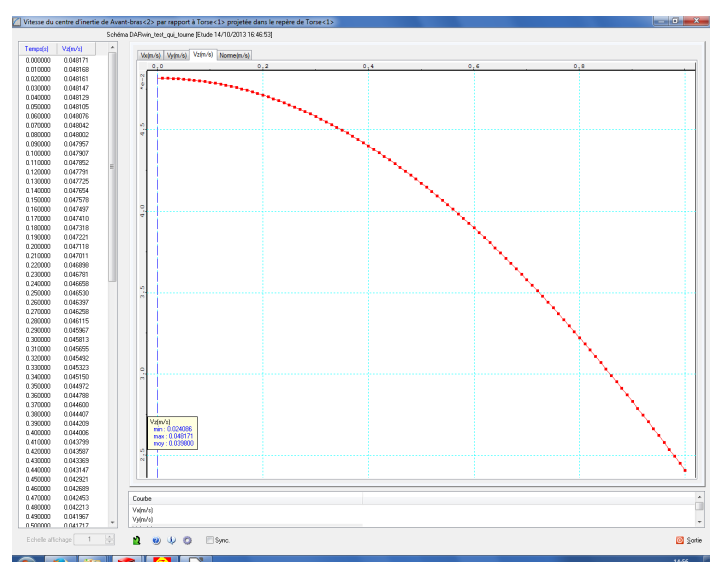
- ici les mouvements pilotés sont à vitesse constante donc la norme de la vitesse galiléenne est constante au cours du temps



Les composantes Vy et Vz ne sont elles pas constantes signe que le mouvement n'est pas une translation rectiligne !



Vitesse Vy galilienne du centre de gravité de l'avant-bras



Vitesse Vz galilienne du centre de gravité de l'avant-bras



Q5 – Conclure vis à vis du tableau des exigences proposé en introduction. Le temps mis pour porter le verre d'eau est-il raisonnable ?

FIN



AUTO-EVALUATION DES SAVOIR-FAIRE

Savoir-faire intermédiaire		Acquis	Je saurai refaire avec de l'aide	Non acquis
	Identifier et dénombrer les degrés de liberté d'un mécanisme			
	Proposer un graphe des liaisons d'un mécanisme			
	Exprimer le torseur cinématique (et ses éléments de réduction) d'une liaison pivot			
	Écrire une relation torsorielle de composition des vitesses			
	Relever des données dans une documentation technique			
	Identifier les degrés de liberté à piloter pour simuler un mouvement donné			
	Paramétrer et lancer une simulation sous Meca3D, tracer la croube souhaitée			
Savoir-faire du programme				
	Identifier les degrés de liberté d'un solide en mouvement par rapport à un repère			
	Prendre en compte les restrictions de mouvement pour simplifier les modèles			
	Déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre			
	Associer à chaque liaison son torseur cinématique			
	Exprimer une composition de vitesses			



Propositions anciennes....

Poste 2

Travail sur le robot Darwin-OP réel

ou idem poste 1 pour ne pas avoir de gros calculs

Q1 – Relever dans la documentation technique les spécifications de vitesse maximale des servomoteurs.

Q2 – Déterminer la norme de la vitesse galiléenne en bout d'avant-bras gauche à partir de la composition de mouvements écrite en fin de partie 1.

Réaliser l'application numérique pour des rotations maximales des servomoteurs.



3^{ème} Partie

Poste 1 et 2

Objectif

L'objectif de cette activité est de

3^{ème} partie Confrontation des résultats

Postes 1 & 2

Q1 – Comparer les résultats obtenus par simulation CAO et approche analytique. D'où peuvent provenir les éventuelles différences ?

→ inutile ?

Complément – [Proposition de travail à traiter en TD]

Déterminer les éléments de réduction du torseur cinématique du mouvement de l'avant-bras par rapport au tronc. Exprimer la vitesse au bout de l'avant-bras en fonction des vitesses de rotations des servomoteurs.