



## Robot humanoïde Darwin

---

CI4 :  
Mettre en œuvre une démarche de modélisation de la cinématique d'un mécanisme réel dans le but d'obtenir une loi de mouvement caractéristique.

---

À l'issue des TP ce Centre d'Intérêt, les compétences acquises doivent vous permettre plus particulièrement de :

- Modéliser puis paramétrer un mécanisme réel,
  - Réaliser une étude cinématique analytique ou graphique du mécanisme,
  - Utiliser un outil numérique pour critiquer la pertinence du modèle et définir son domaine de validité.
-

# 1 Problématique

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 de porter un verre plein sans le renverser, tout en montant un escalier... Comment commander ce type de robot pour qu'il exécute les mouvements voulus ?

Tout robot humanoïde est constitué d'un assemblage de segments reliés par des articulations, généralement motorisées. Les « muscles » du robot, ses actionneurs, utilisent une énergie électrique et les actions mécaniques et mouvements produits par les moteurs sont transmis aux articulations par un réducteur à engrenages.

Avant même de vouloir faire bouger ce robot, il importe de savoir comment le repérer, c'est-à-dire caractériser géométriquement ses positions et sa relation à la tâche à accomplir.

On doit donc dans un premier temps définir « directement » la position et l'orientation exacte que doit avoir un membre dans l'espace opérationnel, pour exécuter la tâche. Or, ce sont des moteurs qui mettent en mouvements les articulations du robot. On a donc besoin de définir également les coordonnées dites « articulaires » du robot afin de pouvoir le commander.

Nous allons chercher à fournir au programmeur intervenant dans le bureau d'étude les éléments nécessaires à l'élaboration des programmes informatiques selon une démarche de l'ingénieur (voir figure 1).

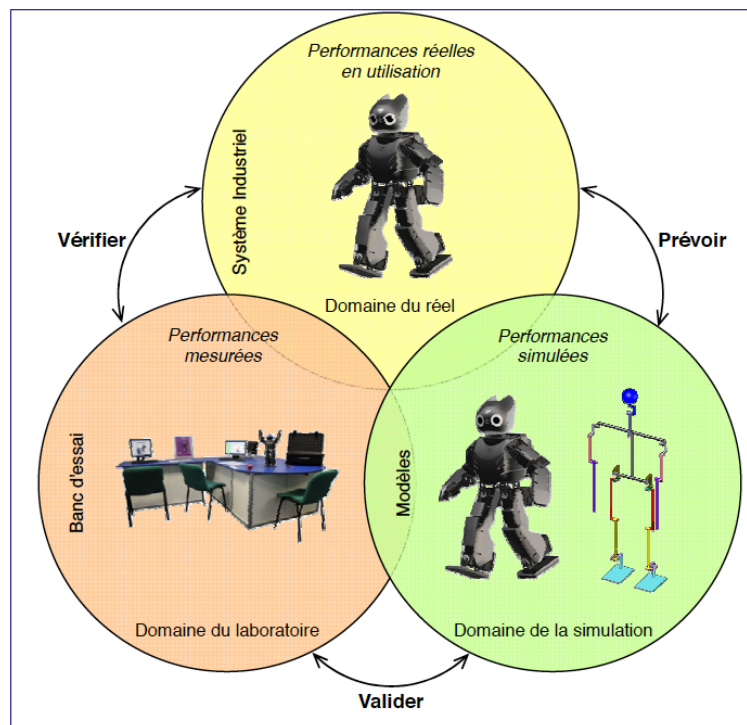


FIGURE 1 – La démarche de l'ingénieur.

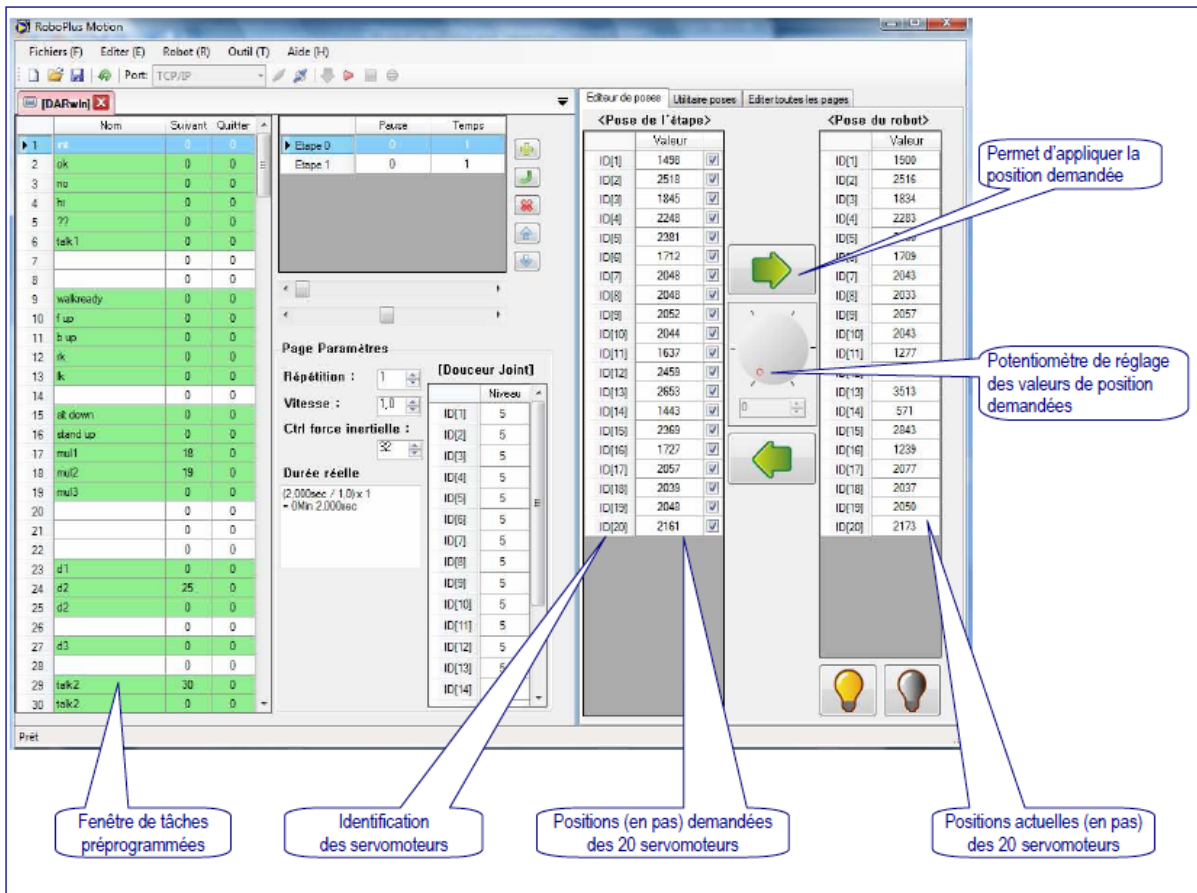


FIGURE 2 – Interface de commande des servomoteurs.

## 2 Prise en mains du système

*Objectif : Manipuler et mettre en évidence les coordonnées articulaires des membres du robot.*

### 2.1 Manipulations

*Q 1 : Mettre en œuvre le robot suivant le mode "Mouvement interactif". Identifier le nombre de degrés de liberté pilotés lors de ces mouvements.*

*Quel est le nombre de degrés de liberté du robot humanoïde complet ?*

Lancer le logiciel RoboPlus, puis RobotPlus Motion (détails de l'interface en figure 2) et y connecter le robot (liaison par port TCP/IP).

Lancer le programme "walkready" : le robot se lève.

Prendre le robot en main, par la poignée souple située dans le dos de sorte qu'il ne touche plus le sol. Lancer le programme « mul1 » et observer l'évolution des valeurs de position des servomoteurs.

Relancer ensuite le programme « walkready » pour repositionner le robot dans une configuration initiale.

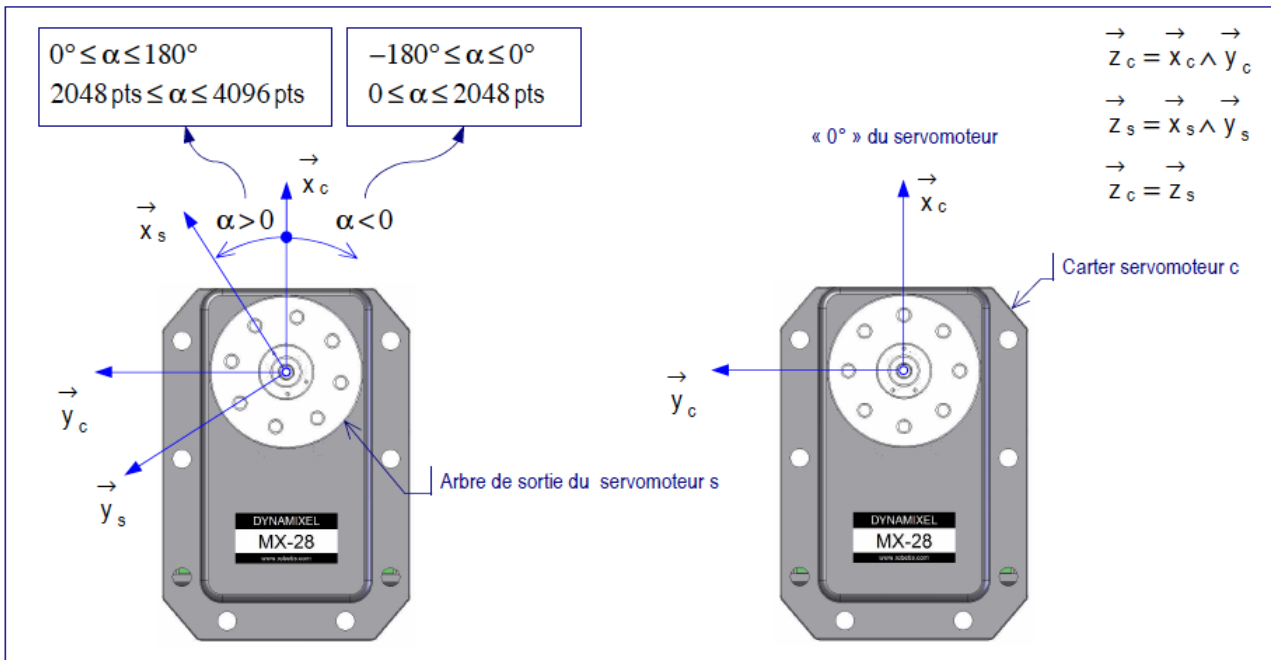


FIGURE 3 – Repères associés au servomoteur.

## 2.2 Paramétrage d'un servomoteur

La figure 8 donne un servomoteur en vue de face. La base  $(\vec{x}_c, \vec{y}_c, \vec{z}_c)$  est associée au carter  $c$  du servomoteur. La base  $(\vec{x}_s, \vec{y}_s, \vec{z}_s)$  est associée à l'arbre de sortie  $s$  du servomoteur.

Le vecteur unitaire  $\vec{x}_c$  fixe le « 0 » du servomoteur ainsi les sens + et - de l'angle de rotation de l'arbre de sortie par rapport au carter sont parfaitement définis.

Le capteur de position intégré au servomoteur est un codeur absolu dont la résolution est de 4096 points par tour. La valeur indiquée pour la position de chaque servomoteur dans le logiciel est en point, avec une valeur médiane de 2048.

Si  $p$  est la rotation de l'arbre de sortie  $s$  par rapport au carter  $c$  en point et a la valeur en ° alors :

$$\alpha = \frac{360}{4096}(p - 2048) \text{ soit } p = 2048 + \frac{4096\alpha}{360}$$

Toute modification d'un point positif, fera tourner l'arbre de sortie du servomoteur d'un pas d'environ  $0,0879^\circ$ .

Lancer le programme « ok » et observer les modifications des valeurs de position des servomoteurs.

*Q 2 : Quel numéro de servomoteur permet d'obtenir le mouvement du cou ?*

La jambe droite (resp. gauche) est actionné par les six servomoteurs (voir figure ??).

*Q 3 : Sélectionner le servomoteur 11 (puis le 13 puis le 15), modifier la valeur de sa position grâce au potentiomètre (augmenter de 200 points par exemple), et appliquer cette valeur. En observant le mouvement résultant, identifier les axes correspondants.*

Modifier à nouveau la valeur pour retrouver la configuration initiale (diminuer de 200 points par exemple).

*Q 4 : Quelle valeur faut-il proposer pour que le servomoteur 17 correspondant à la rotation du pied droit de l'extérieur vers l'intérieur de la jambe lorsqu'on augmente le pas, tourne d'environ de  $+45^\circ$  ? Valider par un essai sur la commande d'un axe.*

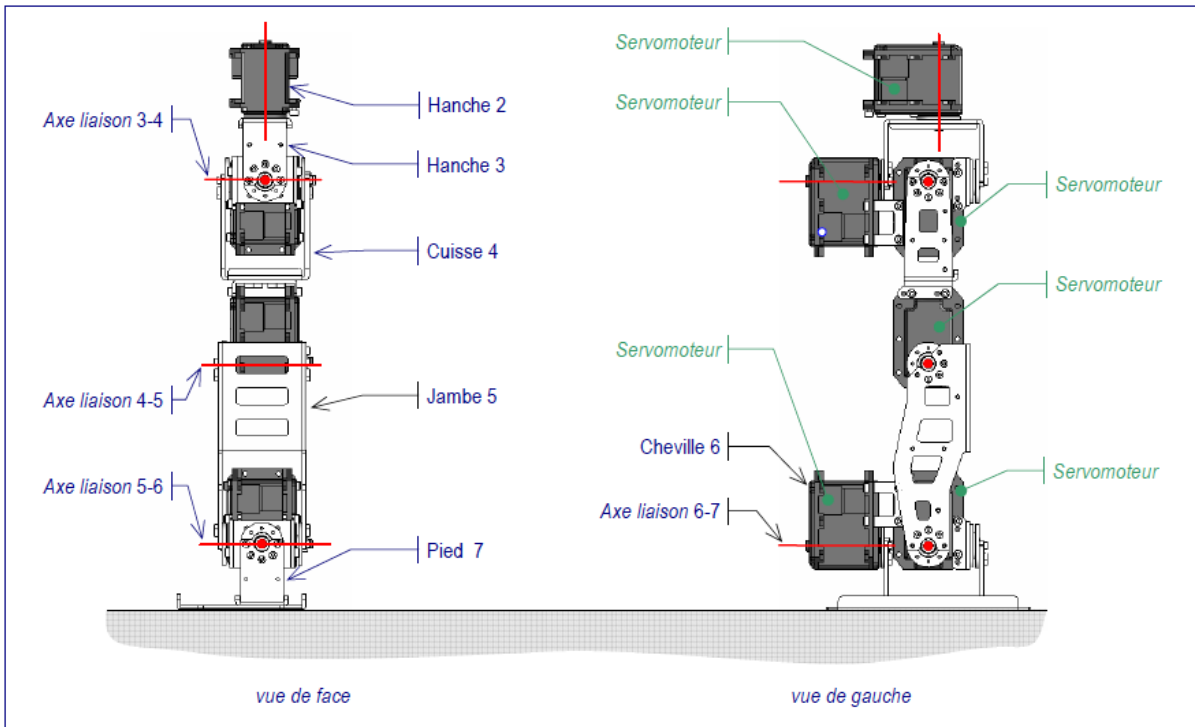


FIGURE 4 – Éléments de la jambe droite.

### 3 Mise en place d'un paramétrage d'un membre

*Objectif : Mettre en place le paramétrage géométrique d'un membre du robot.*

La première étape de l'étude d'un système mécanique consiste à définir le schéma cinématique minimal.

La deuxième étape s'établit à partir du schéma cinématique, pour paramétrer :

- les solides en associant un repère à chaque solide  $S_i$  et en définissant dans chaque repère la position des centres de liaison par des paramètres géométriques constants ;
- les liaisons en associant à chacune d'elle les paramètres géométriques variables qui correspondent aux degrés de liberté (ou coordonnées articulaires).

*Remarque : La façon de paramétrer un système mécanique n'est pas unique. Le paramétrage qui est proposé par la suite est celui dit de Denavit-Hartenberg utilisé généralement par les roboticiens.*

Le mouvement relatif à la marche humaine met en jeu divers déplacements, qui se déroulent dans différents plans illustrés dans la figure 5. Ces déplacements constituent des facteurs biomécaniques intervenant principalement dans le plan sagittal et dans le plan frontal (ou coronal). Ils garantissent la stabilité de l'unité locomotrice et lui permettent le synchronisme mobilité/stabilité. Nous utiliserons le vocabulaire de ces plans dans ce TP.

#### Paramétrage de la jambe droite

La figure 6 donne le schéma cinématique plan et la figure 7 précise les repères associés aux solides du bras droit. On note les distances :

$$O_3O_4 = 0, O_4O_5 = h_4, O_5O_6 = h_5, O_6O_7 = 0, O_7O_7^* = h_7.$$

Q 5 : Citer les classes d'équivalence de chaque solide en présence.

Q 6 : Pour le membre concerné mettre en place :

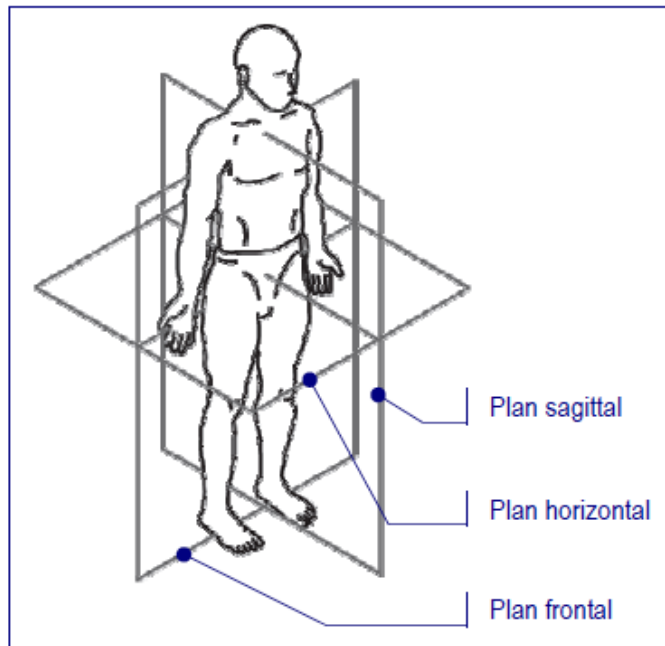


FIGURE 5 – Plans caractéristiques de la biomécanique.

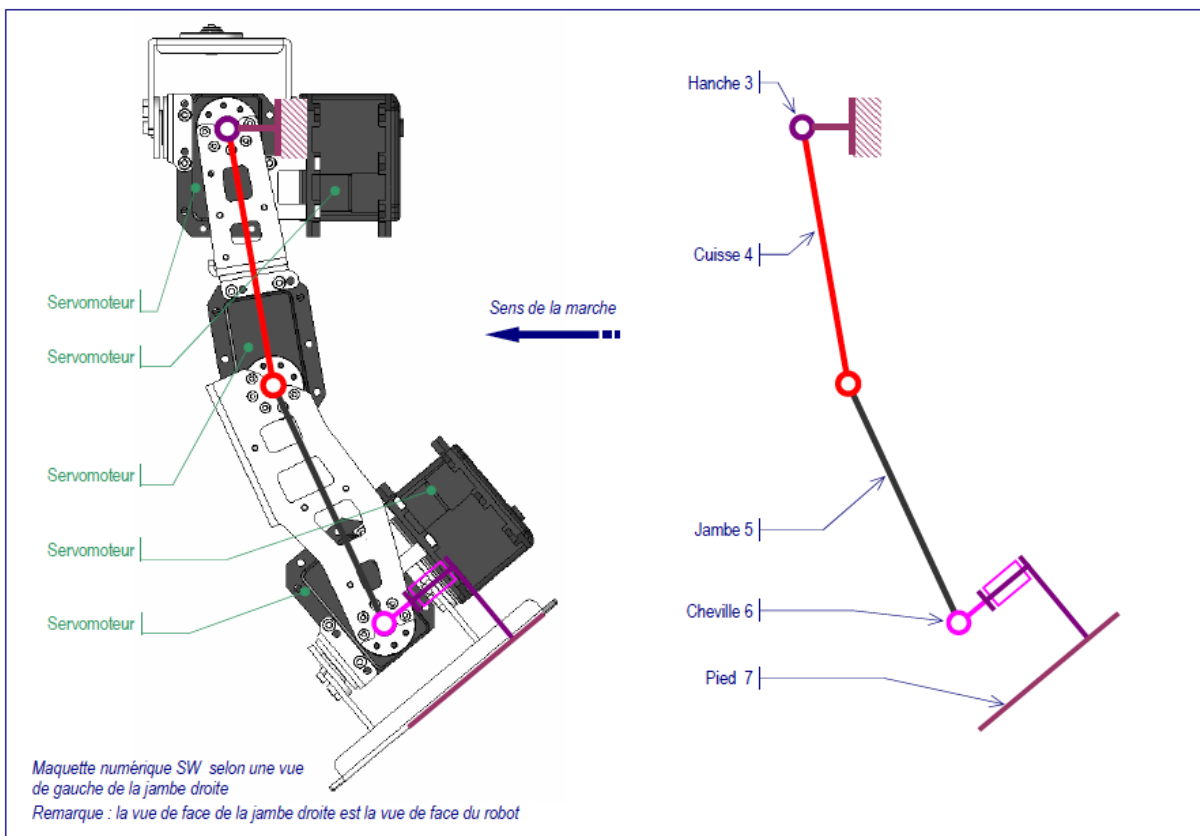


FIGURE 6 – Schéma cinématique plan de la jambe droite.

- les repères associés aux différents solides ;
- les coordonnées articulaires sachant que  $\gamma_i$  désigne la coordonnée articulaire du solide

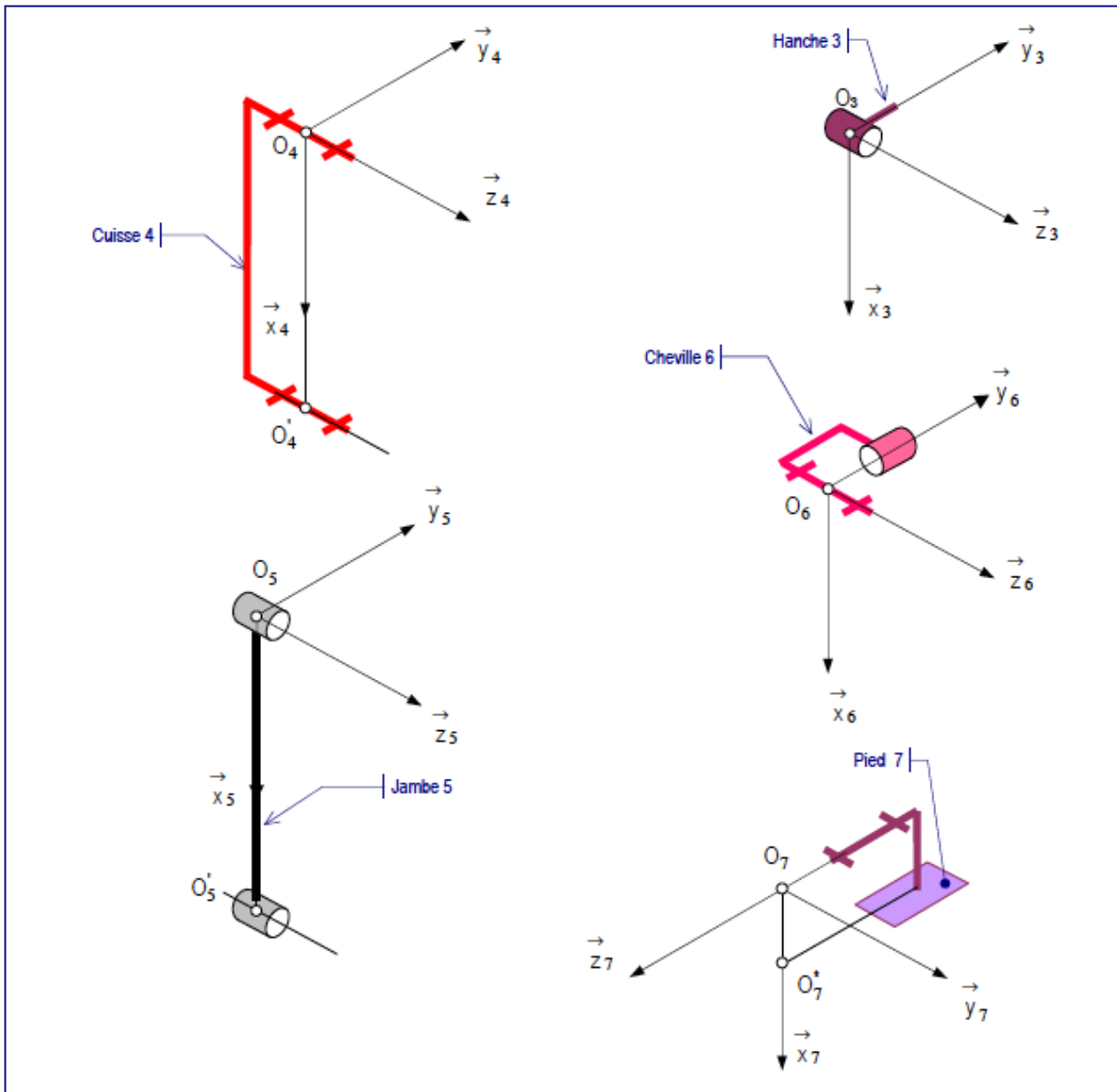


FIGURE 7 – Modélisation des solides de la jambe droite.



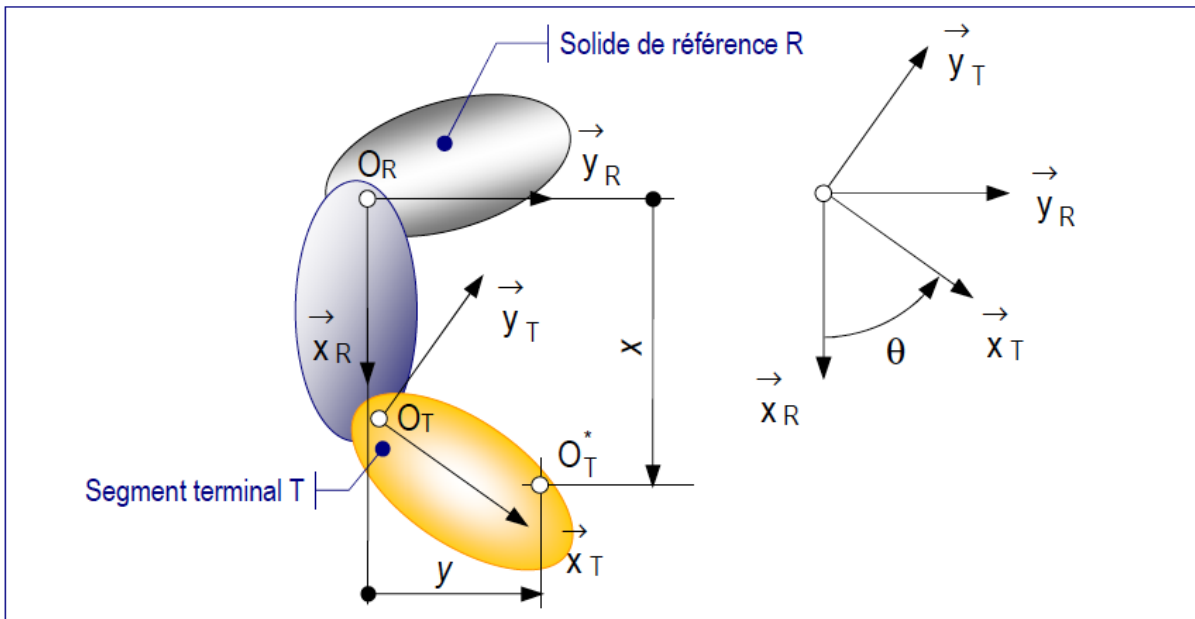


FIGURE 8 – Exemple de paramétrage.

$i$  par rapport au solide  $i - 1$  ;

– les coordonnées constantes liés aux solides.

Q 7 : Mesurer sur le robot ou sur la maquette numérique du membre concerné les paramètres géométriques constants.

## 4 Définition du modèle géométrique direct

*Objectif : Mettre en place le modèle géométrique direct du membre étudié du robot.*

Pour une structure plane en chaîne ouverte de solides (fig. 12) l'orientation de l'effecteur  $T$  par rapport a un solide de référence  $R$  se réduit à un angle que l'on notera  $\theta$  tel que :

$$\theta = (\vec{x}_R, \vec{x}_T) = (\vec{y}_R, \vec{y}_T)$$

et les coordonnées cartésiennes du point  $O_T^*$  lié au segment terminal  $T$  dans le repère  $R$  se réduisent aux coordonnées que l'on notera  $x$  et  $y$  telles que :

$$\overrightarrow{O_R O_T^*} = x \cdot \vec{x}_R + y \cdot \vec{y}_R$$

Dans le plan les coordonnées cartésiennes  $x$ ,  $y$  et l'angle  $\theta$  donnent respectivement la position et l'orientation du segment terminal par rapport au solide de référence. Le modèle géométrique direct consiste en l'expression de ces coordonnées en fonction des longueurs et des angles dans les articulations.

**On considère la jambe droite.**

Le solide de référence est la hanche 3 et le segment terminal est le pied 7.

Il s'agit donc de trouver l'orientation de la base associée au pied 7 et les coordonnées cartésiennes du point  $O_7^*$  par rapport au repère lié à la hanche 3, c'est-à-dire  $\theta$ ,  $x$  et  $y$  en fonction des coordonnées articulaires et des paramètres liés aux pièces.

Q 8 : Déterminer pour le membre considéré le modèle géométrique direct.



Positions initiales		
n° de servomoteur	walkready	
	valeur (en pts)	angle (en°)
1	1498	-48,3
2	2518	41,3
3	1845	-17,8
4	2248	17,6
5	2381	29,3
6	1712	-29,5
7	2048	0,0
8	2048	0,0
9	2052	0,4
10	2044	-0,4
11	1637	-36,1
12	2459	36,1
13	2653	53,2
14	1443	-53,2
15	2389	30,0
16	1707	-30,0
17	2057	0,8
18	2039	-0,8
19	2048	0,0
20	2161	9,9
avant la marche		

FIGURE 9 – Valeurs initiales des servomoteurs avant la marche (« walkready »).

Effectuer l'application numérique :  $\gamma_4 = -36^\circ$ ,  $\gamma_5 = 53^\circ$  et  $\gamma_6 = -17^\circ$

Lancer le programme « Walkready » afin de placer le robot dans la configuration initiale souhaitée, s'il n'y est pas déjà.

Dans cette configuration le robot est debout, dans une position « initiale », bras pliés, et prêt à marcher. Les valeurs du constructeur pour les positions de chaque servomoteur sont données 9.

Le robot repose sur un sol plan supposé horizontal auquel est associé un repère de base  $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ . Le vecteur unitaire  $\vec{x}_0$  est celui de la verticale descendante,  $\vec{y}_0$  est orienté dans le sens de la marche.

Les membres étudiés du robot doivent respecter l'hypothèse formulée en début de TP c'est-à-dire qu'ils doivent être dans un plan parallèle au plan sagittal.

Les axes associés aux servomoteurs concernés sont ceux définis précédemment. Sur les figures suivantes ils sont représentés en bleu.

La figure ?? représente le modèle sous Solidworks de la jambe droite et le schéma avec les servomoteurs, selon une vue de droite dans la position initiale. On considère que les servomoteurs 7, 9 et 17 sont réglés sur la valeur  $0^\circ$  approximative c'est-à-dire que la jambe est supposée être dans un plan parallèle au plan sagittal.

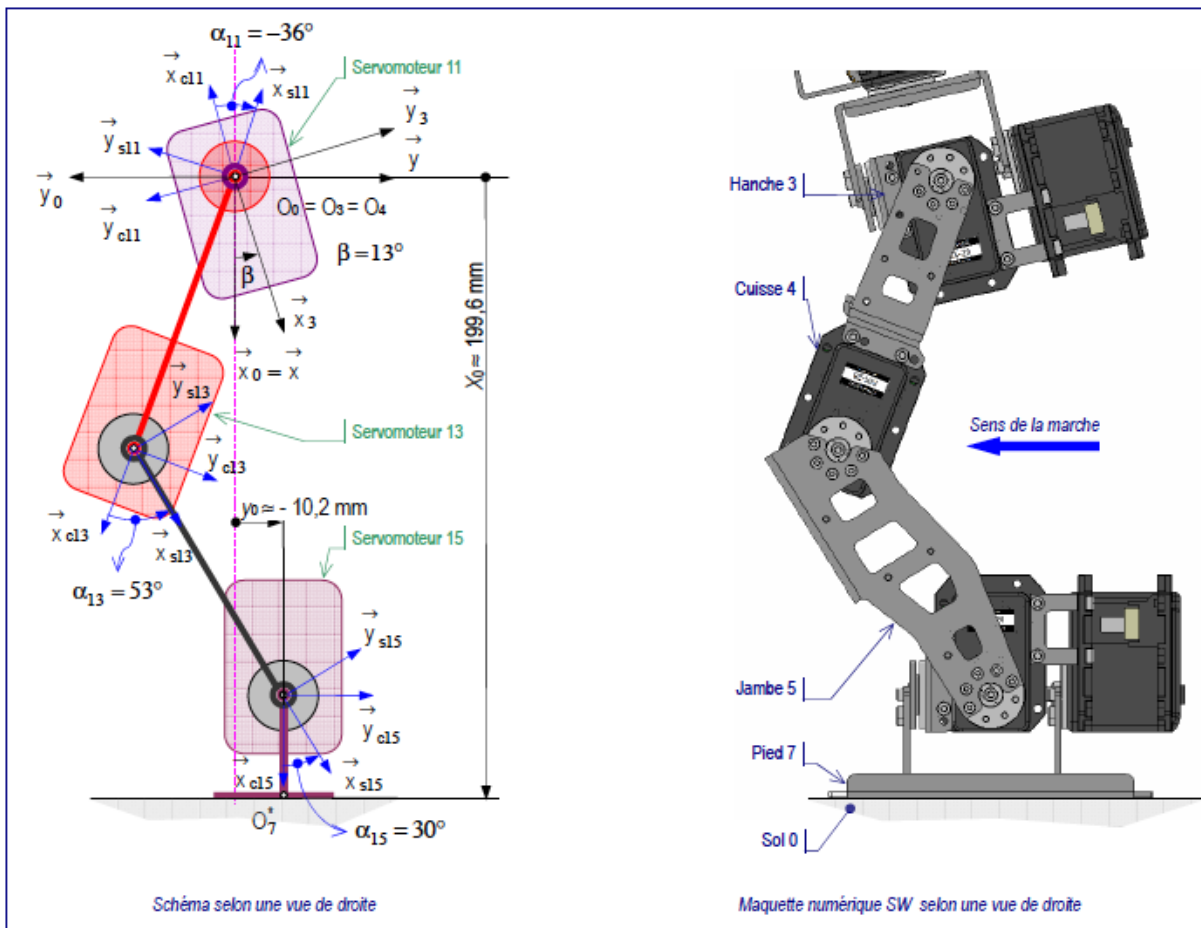


FIGURE 10 – Position de la jambe droite avant la marche (« walkready »).

Les servomoteurs 11, 13 et 15 sont réglés approximativement à  $\alpha_{11} = -36^\circ$ ,  $\alpha_{13} = 53^\circ$  et  $\alpha_{15} = 30^\circ$ .

La position du point  $O_7^*$  en position initiale est définie par le vecteur position :  $\overrightarrow{O_0 O_7^*} = x_0 \cdot \vec{x}_0 + y_0 \cdot \vec{y}_0$

Par rapport à la base associée au sol le tronc 1 est incliné d'un angle :  $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$ .

Q 9 : Comparer les résultats trouvés précédemment et les résultats donnés par une simulation du robot. Pour cela :

- identifier et conclure quant aux coordonnées articulaires ;
- retrouver les coordonnées  $x_0$  et  $y_0$  données sur la figure ?? ;
- vérifier approximativement la position du point  $O_7^*$  sur le robot ;
- conclure à propos des valeurs simulées, mesurées et calculées.