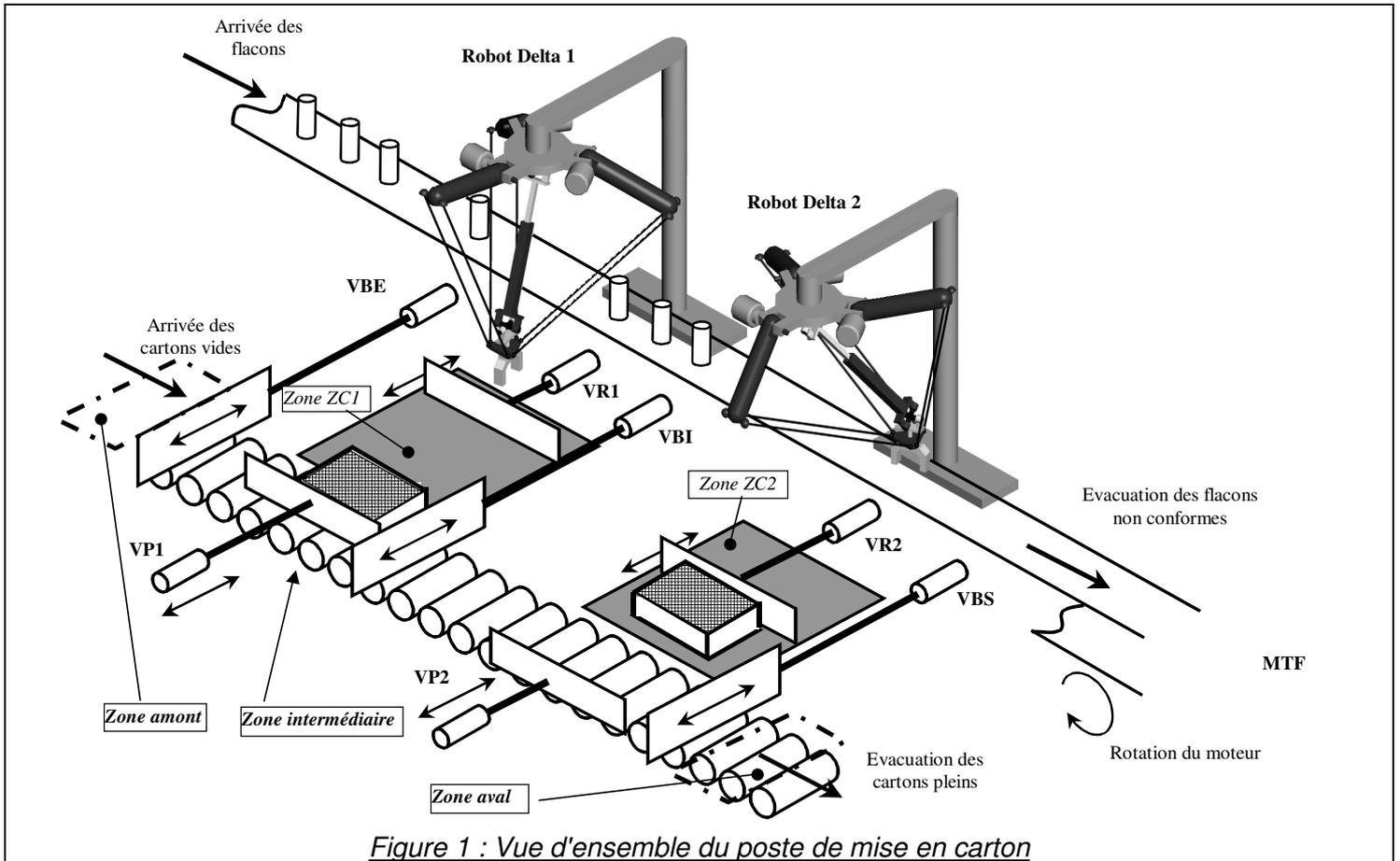


## TD 3 - ROBOTS PARALLÈLES DE TYPE « DELTA »

### I PRESENTATION

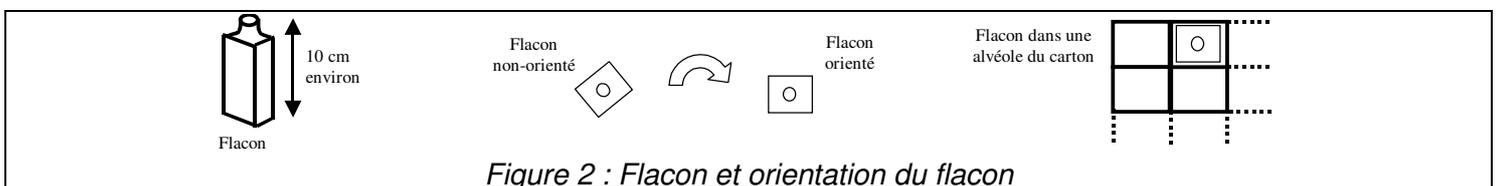
Une usine de fabrication de flacons en verre possède **un poste de mise en cartons** qui est l'objet de la présente étude (voir figure 1 ci-dessous et document DRA dans la documentation ressource à la fin).



Les flacons, qui sortent du four de cuisson, sont disposés les uns derrière les autres sur un tapis roulant qui les achemine jusqu'au poste de mise en cartons. Une caméra, associée à un logiciel de reconnaissance de formes, s'assure de la conformité géométrique des flacons. Les flacons non conformes (présentant un défaut géométrique, renversé, cassé, etc.) sont évacués vers l'extérieur sur le même tapis. Chaque flacon conforme est saisi par un des deux robots Delta et est placé dans une alvéole du carton.

Les deux robots Delta travaillent en parallèle sous la conduite d'une même Partie Commande : ils saisissent les flacons sur le même tapis roulant qui achemine les flacons et remplissent chacun un carton différent. Chaque carton plein contient 48 flacons.

Les images issues de la caméra permettent aussi à la partie commande de donner un ordre d'orientation du flacon au robot qui l'a saisi de façon à ce que le flacon rentre aisément dans l'alvéole correspondante de forme parallépipédique (voir figure 2).



Les cartons vides sont acheminés sur la zone de chargement par l'intermédiaire d'un convoyeur à rouleaux et de vérins pousseurs. Les cartons remplis sont évacués vers l'extérieur par ce même convoyeur. Les autres opérations réalisées dans l'unité de conditionnement sont la fermeture, le marquage et la palettisation des cartons : elles ne seront pas étudiées ici.

### Etude globale de la solution

On donne les diagrammes de cas d'utilisation et des exigences de la cellule de conditionnement sur les figures 3 et 4 ci-dessous.

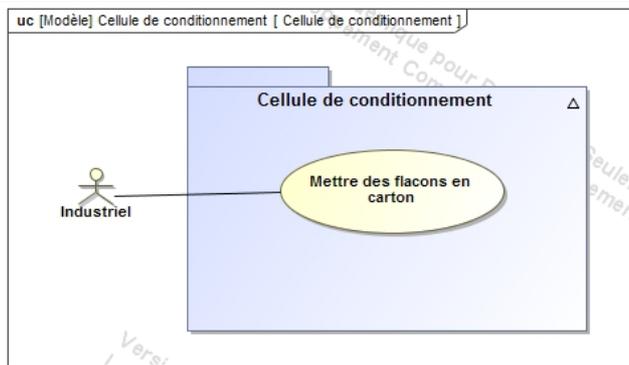


Figure 3 : diagramme de cas d'utilisation

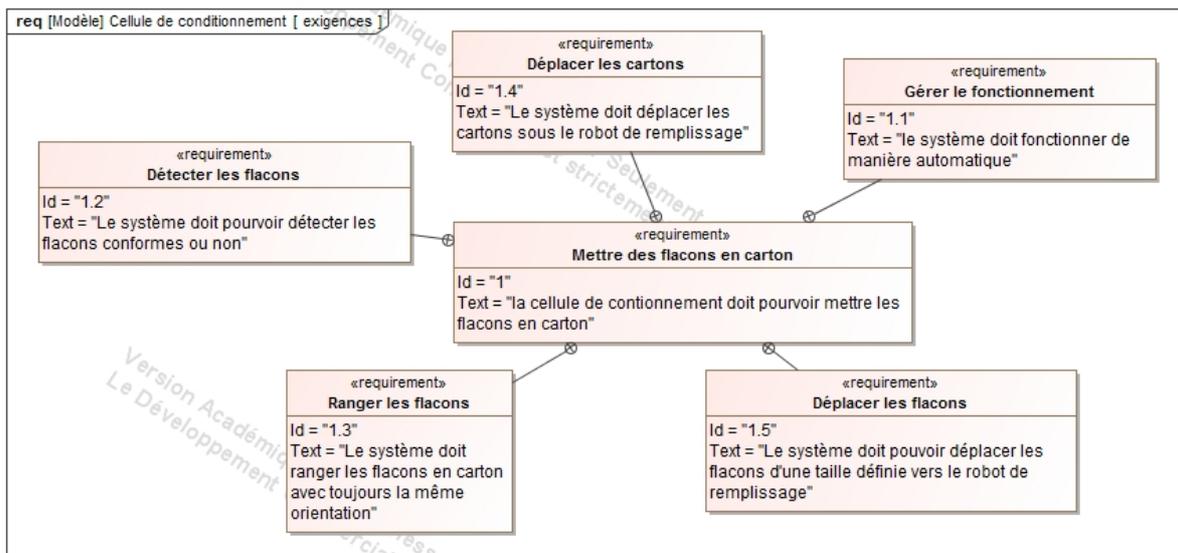


Figure 3 : diagramme des exigences partiel

## II EXIGENCE 1.3: « RANGER LES FLACONS »

Les deux robots utilisés sont de type « Delta » à architecture parallèle (annexe 1).

Dans ce type de robots, les stators des actionneurs (moteurs électriques) sont fixés sur le bâti et les rotors agissent sur des chaînes cinématiques indépendantes (bras + bielles) reliant, en parallèle, la partie active du robot (ici une plate-forme équipée d'une pince).

Le robot étudié est à quatre « axes » (en robotique, un axe est une liaison motorisée) :

- trois moteurs électriques assurent le déplacement de la plate-forme mobile en agissant sur les trois bras **1, 2 et 3** (c'est la structure « Delta » tri-motorisée) ;
- un moteur électrique assure l'orientation de la pince, via un axe cinématique d'orientation.

La fermeture et l'ouverture de la pince sont assurées par un vérin pneumatique.

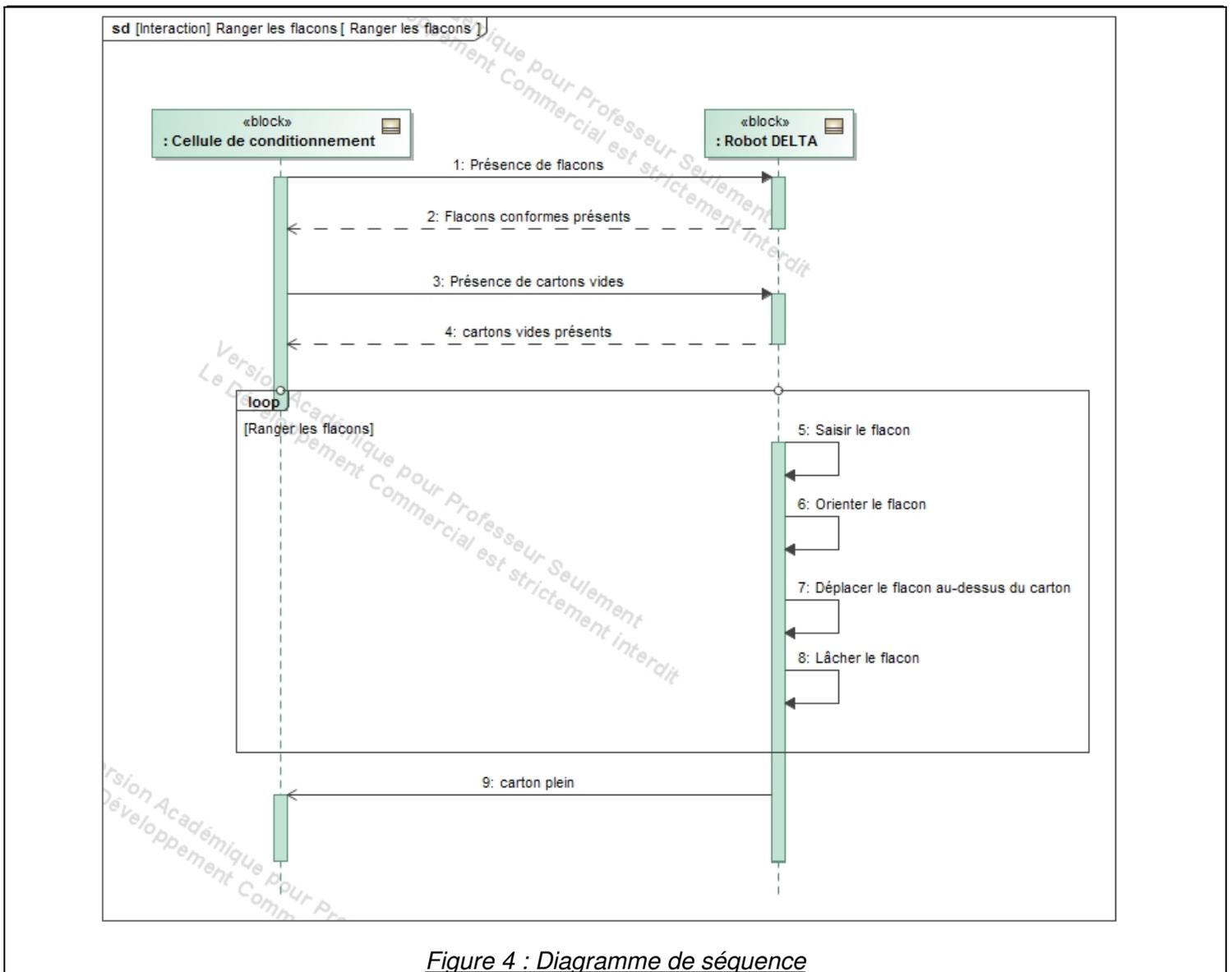


Figure 4 : Diagramme de séquence

### III ÉTUDE DE LA FONCTION : « ORIENTER LE FLACON »

On se propose ici de valider le niveau des performances du système d'orientation de la pince décrit par les diagrammes de définition de blocs et de blocs internes de l'annexe 2.

#### A. Architecture de la commande

Le servo-entraînement met en rotation un arbre télescopique muni à chacune de ses extrémités d'un joint de Cardan. Le mouvement d'orientation de la pince est indépendant des mouvements de la plate-forme 4.

Afin d'assurer un bon positionnement angulaire de la pince P, la commande de sa rotation est asservie de la façon suivante :

- la consigne de position  $\theta_{PC}$ , entrée par l'utilisateur grâce à une interface graphique (lors des réglages) ou imposée par la Partie Commande (lors des cycles de travail), est transformée en une tension  $v_{PC}$  grâce à un convertisseur qui sera assimilé à un système de gain pur  $K_C$  (en  $V \text{ rad}^{-1}$ )
- la vitesse de rotation  $\omega_M$  (en  $\text{rad s}^{-1}$ ) et l'angle de rotation  $\theta_M$  (en rad) de l'arbre moteur sont mesurés par un codeur incrémental, monté directement sur l'arbre moteur, qui délivre une information numérique ; celle-ci est alors transformée par une carte de conversion numérique – analogique (C.A.N.) supposée linéaire en deux tensions  $v_\omega$  et  $v_\theta$  telles que :

- pour la vitesse :  $v_\omega = K_\omega \omega_M$
- pour la position :  $v_\theta = K_\theta \theta_M$
- la tension  $v_\theta$  (image de la rotation  $\theta_M$  du moteur) est soustraite à la tension  $v_{PC}$  pour donner la tension  $\varepsilon_P$
- cette tension  $\varepsilon_P$  est modifiée par un correcteur de fonction de transfert  $C(p)$  pour donner la tension  $e_{VP}$
- la tension  $v_\omega$  (image de la vitesse de rotation  $\omega_M$  du moteur) est soustraite à la tension  $e_{VP}$  en sortie du correcteur pour donner la tension  $\varepsilon_V$
- cette tension  $\varepsilon_V$  est amplifiée par un hacheur de gain pur  $G$  pour donner la tension d'alimentation du moteur  $u_M$  ; le moteur tourne alors à la vitesse angulaire  $\omega_M$  telle que  $\Omega_M(p) = M(p) U_M(p)$
- la rotation  $\theta_{EC}$  de la pièce d'entrée du double joint de Cardan est telle que  $\theta_{EC} = \lambda \theta_M$ , grâce au réducteur de vitesse fixé sur l'arbre moteur
- le double joint de Cardan est homocinétique et a pour fonction de transfert  $R(p) = 1$  (l'entrée est l'angle  $\theta_{EC}$ , et la sortie est  $\theta_{SC} = \theta_P$  où  $\theta_P$  est la rotation de la pince fixée sur la pièce de sortie du double joint de Cardan).

*Remarque : Un double joint de cardan est un système mécanique permettant de transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres (axes) mobiles l'un par rapport à l'autre.*

Q1/ A l'aide du diagramme de blocs internes de l'annexe 2, tracer le schéma bloc d'asservissement en position, d'entrée  $\theta_{PC}(p)$  et de sortie  $\theta_P(p)$ , faisant apparaître toutes les variables et les fonctions de transfert définies ci-dessus.

### B. Etude des performances

On donne :  $\lambda = 0,2$  et  $K_\theta = 0,01 \text{ V rad}^{-1}$

Q2/ On veut que, lorsque la pince atteint la position demandée (soit  $\theta_P = \theta_{PC}$ ), l'écart  $\varepsilon_P = v_{PC} - v_\theta$  soit nul. En déduire la relation entre  $K_C$ ,  $K_\theta$  et  $\lambda$  puis la valeur numérique de  $K_C$  qui permette d'assurer cet écart nul.

Le servo-entraînement utilisé est le AXL305RS330E5 qui est composé du moteur RS330E, du variateur 10/20-60 et du réducteur GB à train épicycloïdal de réduction  $\lambda = 0,2$ .

Le moteur RS330E a comme caractéristiques :

- Constante de force électromotrice :  $K_E = 14,3 \text{ V} / 1000 \text{ tours min}^{-1}$
- Constante de couple :  $K_T = 0,137 \text{ N m A}^{-1}$
- Résistance de l'induit :  $R_I = 1 \text{ } \Omega$
- Inductance de l'induit :  $L_I = 1,65 \text{ mH}$
- Frottement visqueux rapporté à l'axe de rotation du moteur négligeable
- Inertie du rotor + de la charge entraînée rapportée à l'axe de rotation du moteur :  $J = 12 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$

Les équations du moteur à courant continu sont données ci après :

- équation électrique  $u_M(t) = R_I \cdot i(t) + L_I \frac{di(t)}{dt} + e(t)$  ;
  - équation mécanique  $J \frac{d\omega_M(t)}{dt} = C_M(t) - C_R(t)$  ;
  - relations caractéristiques de comportement  $C_M(t) = K_T i(t)$  et  $e(t) = K_E \omega_M(t)$  .
- $C_M(t)$  : Couple moteur  
 $C_R(t)$  : Couple résistant rapportée à l'axe moteur  
 $i(t)$  : Intensité du circuit induit

Q3/ Donner le schéma bloc de ce moteur à courant continu.

Dans la suite du sujet, on négligera le couple résistant  $C_R$ .

Q4/ Montrer que la fonction de transfert peut être mise sous la forme :

$$M(p) = \frac{\Omega_M(p)}{U_M(p)} = \frac{K_T}{K_E \cdot K_T + J \cdot R \cdot p + J \cdot L \cdot p^2}$$

On donne  $K_\omega = 6 \text{ V} / 1000 \text{ tours min}^{-1}$

Q5/ Déterminer l'expression littérale et la valeur numérique du gain  $G$  de l'amplificateur pour que la boucle tachymétrique (d'entrée  $e_{VP}$  et de sortie  $\omega_M$ ) présente un temps de réponse à 5 % minimum pour une entrée en échelon. Quel est alors le temps de réponse à 5 % ?

Avec la valeur de  $G$  trouvée précédemment, on a alors calculé la fonction de transfert de boucle (ou en boucle ouverte) suivante pour l'asservissement en position :

$$H_B(p) = \frac{V_\theta(p)}{\varepsilon_p(p)} = C(p) \frac{86}{p(10^3 + 3,2 p + 5,3 \cdot 10^{-3} p^2)}$$

Les critères et niveaux de l'asservissement sont les suivants :

Exigence	Critères	Niveaux
Orienter le flacon	Stabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Marge de phase <math>M\varphi &gt; 45^\circ</math></li> <li>▪ Marge de gain <math>MG &gt; 10 \text{ dB}</math></li> <li>▪ Écart statique nul à une entrée en échelon : <math>\varepsilon_\infty = 0</math></li> <li>▪ Bande Passante à 0 dB de la fonction <math>H_B(p)</math> : <math>BP_0 &gt; 50 \text{ rad s}^{-1}</math></li> </ul> Nota : bande passante à 0 dB : $BP_0 = \{\text{pulsations } \omega / G_{\text{dB}}(\omega) > 0\}$
	Précision	
	Rapidité	

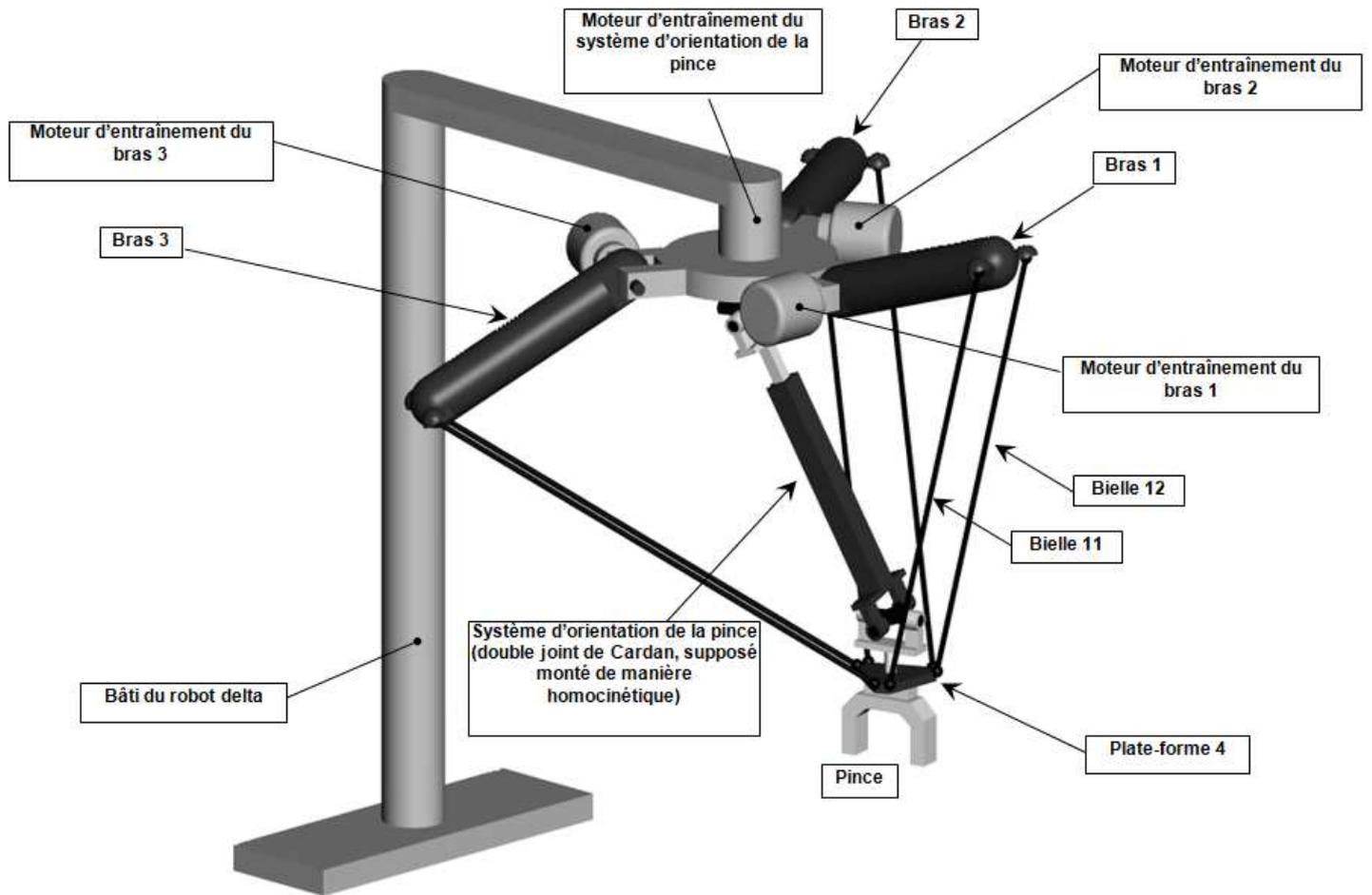
*Figure 5 : Critères et niveaux de l'asservissement du système d'orientation*

On considère pour l'instant que le système n'est pas corrigé :  $C(p) = 1$ .

Q6/ Tracer sur la copie les diagrammes asymptotiques de Bode en amplitude et phase de la fonction de transfert  $H_B(p)$  du système non corrigé en plaçant avec précision les points caractéristiques.

La rapidité de la réponse à une consigne de ce système d'orientation de la pince (caractéristique importante ici, car celui-ci doit avoir un temps de réponse inférieur au système à structure Delta qui déplace la plate-forme **4**) est obtenue par une bande passante suffisante. La stabilité et la limitation des oscillations de la pince sont obtenues par les marges de stabilité relativement importantes de  $45^\circ$  en phase et de 10 dB en gain. La précision statique est assurée de manière intrinsèque de part la structure même de l'asservissement : **on a donc un système performant pour le système d'orientation de la pince.**

## ANNEXE 1



## ANNEXE 2

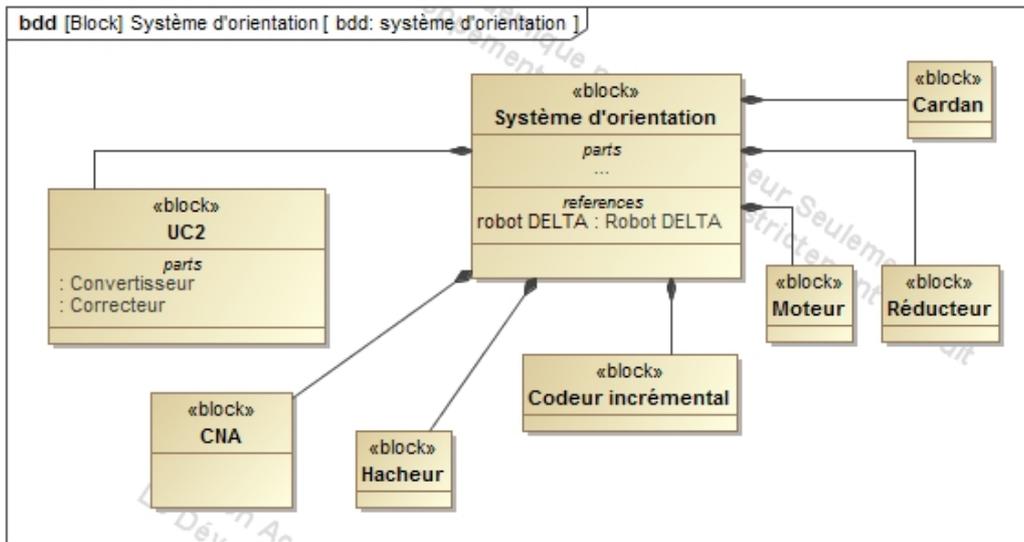


Diagramme de définition de blocs du système d'orientation

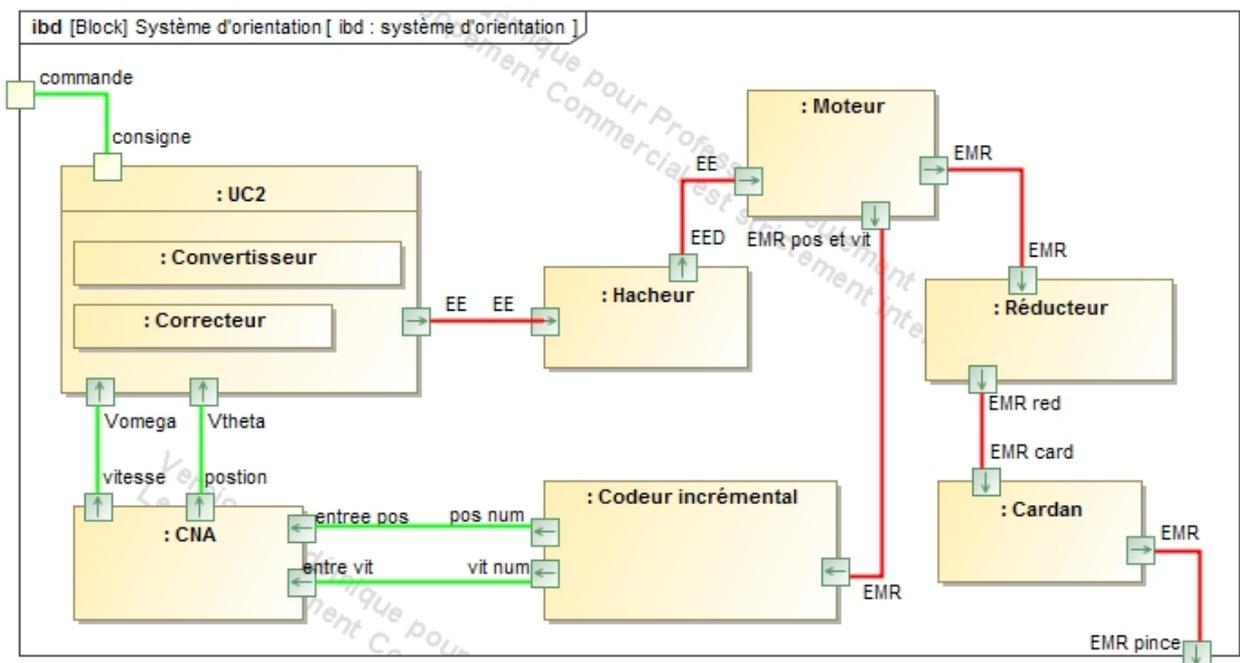


Diagramme de blocs internes du système d'orientation

