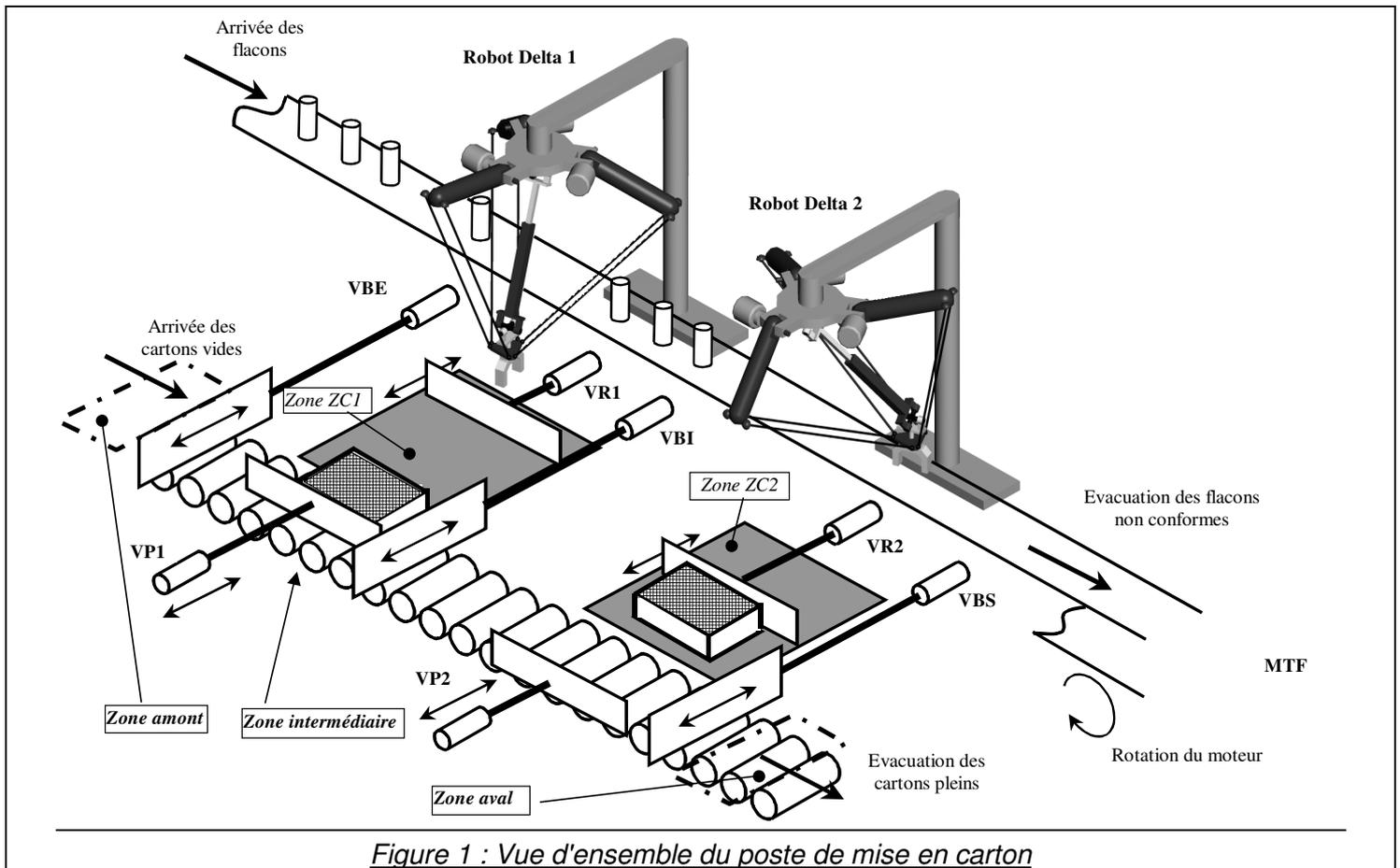


CELLULE DE CONDITIONNEMENT DE FLACONS À ROBOTS PARALLÈLES DE TYPE « DELTA »

I PRESENTATION

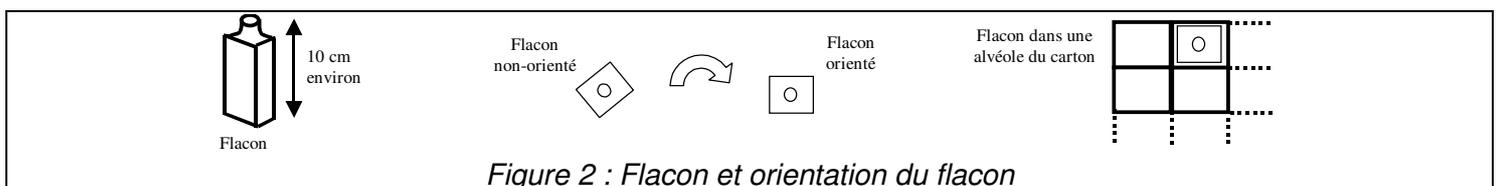
Une usine de fabrication de flacons en verre possède **un poste de mise en cartons** qui est l'objet de la présente étude (voir figure 1 ci-dessous et document DRA dans la documentation ressource à la fin).



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 parallélépipédique (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.

Les deux robots utilisés sont de type « Delta » à architecture parallèle (Cf. 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.

II ÉTUDE DE L'EXIGENCE : « ORIENTER LE FLACON »

On se propose ici de valider le niveau des performances de la commande de l'axe d'orientation de la pince.

A. Architecture de la commande

Remarque préliminaire : les fonctions dans le domaine temporel seront notées en minuscule, alors que celles dans le domaine de Laplace seront notées en majuscule : par exemple : $f(t)$ et $\mathbf{L}[f(t)] = F(p)$.

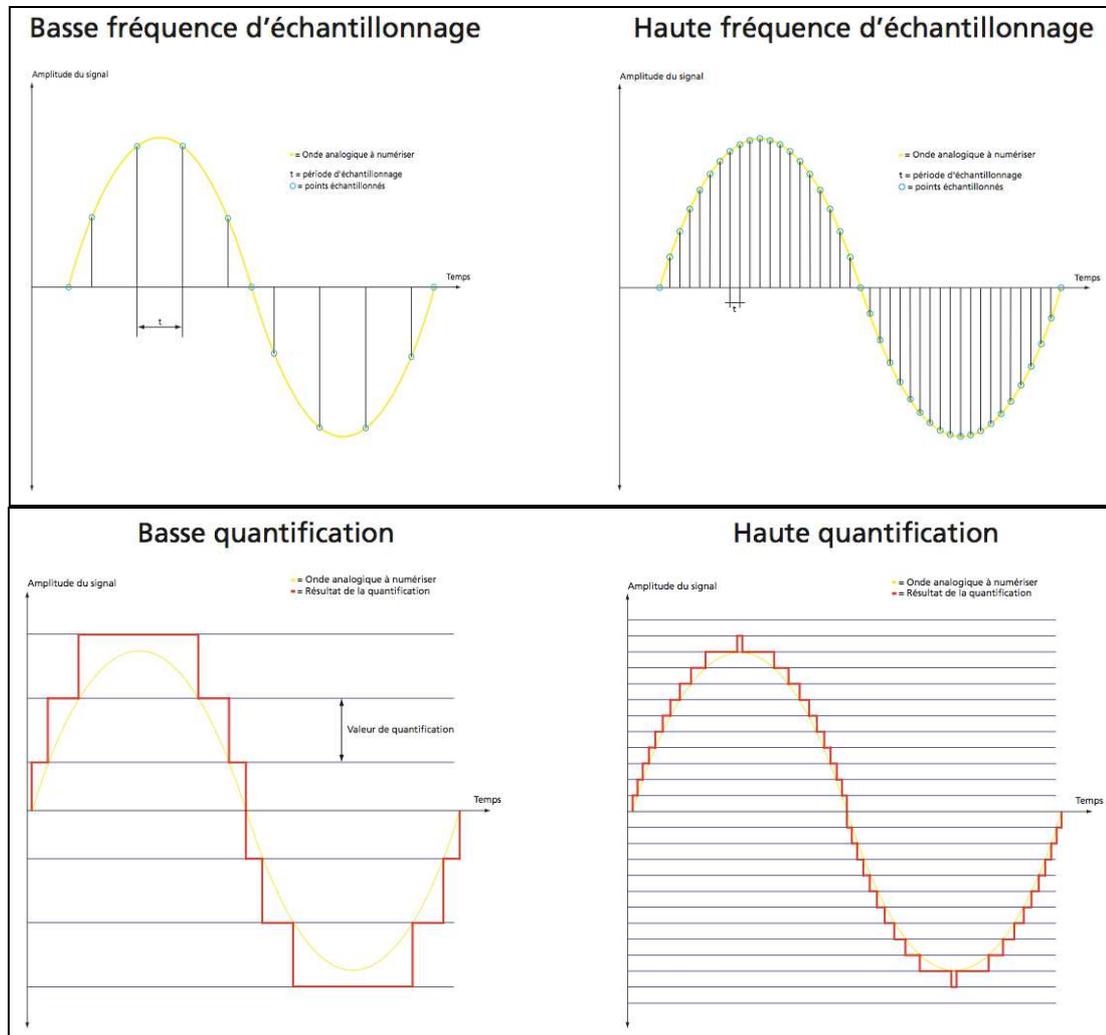
Le servo-entraînement met en rotation un arbre télescopique muni à chacune de ses extrémités d'un joint de Cardan (voir document DRB). Le mouvement d'orientation de la pince est indépendant des mouvements de la plate-forme **4**.

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 θ_{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 ω_M (en rad s^{-1}) et l'angle de rotation θ_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.N.A.) supposée linéaire en deux tensions v_ω et v_θ telles que :
 - pour la vitesse : $v_\omega = K_\omega \omega_M$
 - pour la position : $v_\theta = K_\theta \theta_M$
- la tension v_θ (image de la rotation θ_M du moteur) est soustraite à la tension v_{PC} pour donner la tension ε_P
- cette tension ε_P est modifiée par un correcteur de fonction de transfert $C(p)$ pour donner la tension e_{VP}
- la tension v_ω (image de la vitesse de rotation ω_M du moteur) est soustraite à la tension e_{VP} en sortie du correcteur pour donner la tension ε_V
- cette tension ε_V est amplifiée par un amplificateur de gain pur G pour donner la tension d'alimentation du moteur u_M ; le moteur tourne alors à la vitesse angulaire ω_M telle que $\Omega_M(p) = M(p) U_M(p)$
- la rotation θ_{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 θ_{EC} , et la sortie est $\theta_{SC} = \theta_P$ où θ_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.

Question 0. Donner la fonction d'un convertisseur analogique/numérique (CAN) et d'un convertisseur CNA. A partir des exemples ci-dessous expliquer la notion de quantification et d'échantillonnage.



Question 1. 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. (indication : deux boucles doivent apparaître).

B. Etude des performances

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

Question 2. 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_θ et λ 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 : $R_I = 1 \Omega$
- 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 :

- Equation électrique $u_M(t) = R_I \cdot i(t) + L_I \frac{di(t)}{dt} + e(t)$
- Equation 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

Question 3. Donner le schéma bloc de ce moteur à courant continu.

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

Question 4. 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 $K_\omega = 6 \text{ V} / 1000 \text{ tours min}^{-1}$

Question 5. 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 ω_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		
Orienter le flacon	Stabilité	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Marge de phase $M\varphi > 45^\circ$ ▪ Marge de gain $MG > 10 \text{ dB}$ ▪ Écart statique nul à une entrée en échelon : $\varepsilon_\infty = 0$ Nota : écart statique : $\varepsilon_\infty = \lim_{t \rightarrow +\infty} \varepsilon_p(t)$
	Précision	
	Rapidité	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bande Passante à 0 dB de la fonction $H_B(p)$: $BP_0 > 50 \text{ rad s}^{-1}$ Nota : bande passante à 0 dB : $BP_0 = \{\text{pulsations } \omega / G_{dB}(\omega) > 0\}$ On définit la bande passante par sa largeur de bande (ici : 50 rad.s^{-1})

Figure 3

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

Question 6. 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.

Pour la fin, la courbe de gain sera assimilée à son tracé asymptotique.

Question 7. Déterminer les valeurs de $M\phi$, marge de phase, MG , marge de gain et BP_0 , bande passante à 0 dB de la fonction de transfert $H_B(p)$. Les critères de la fonction A42 sont-ils vérifiés ?

On prend alors une correction proportionnelle : $C(p) = C_0$.

Question 8. Déterminer la bande de valeurs de C_0 qui permettent de vérifier les critères de la fonction A42.

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° 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.

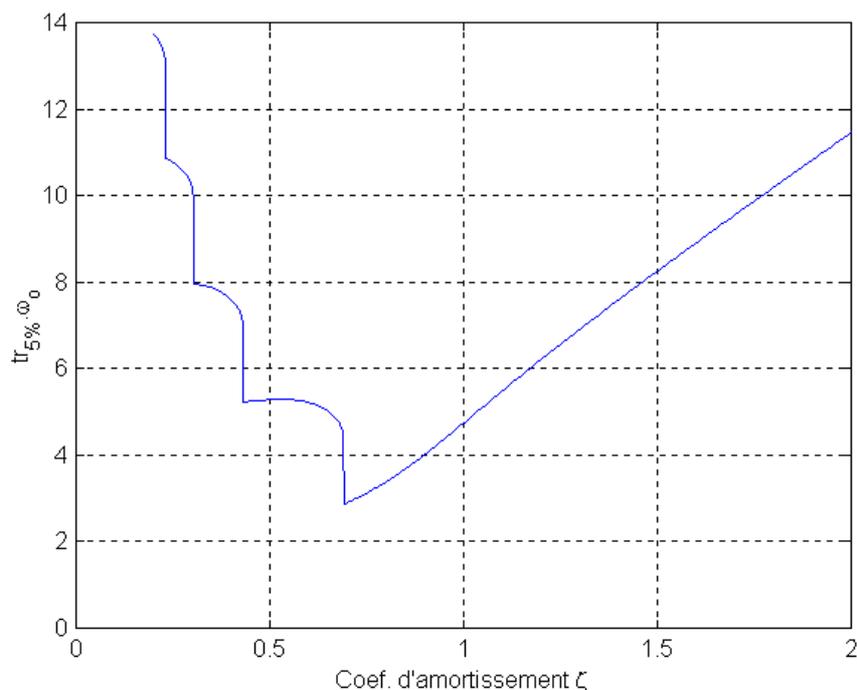
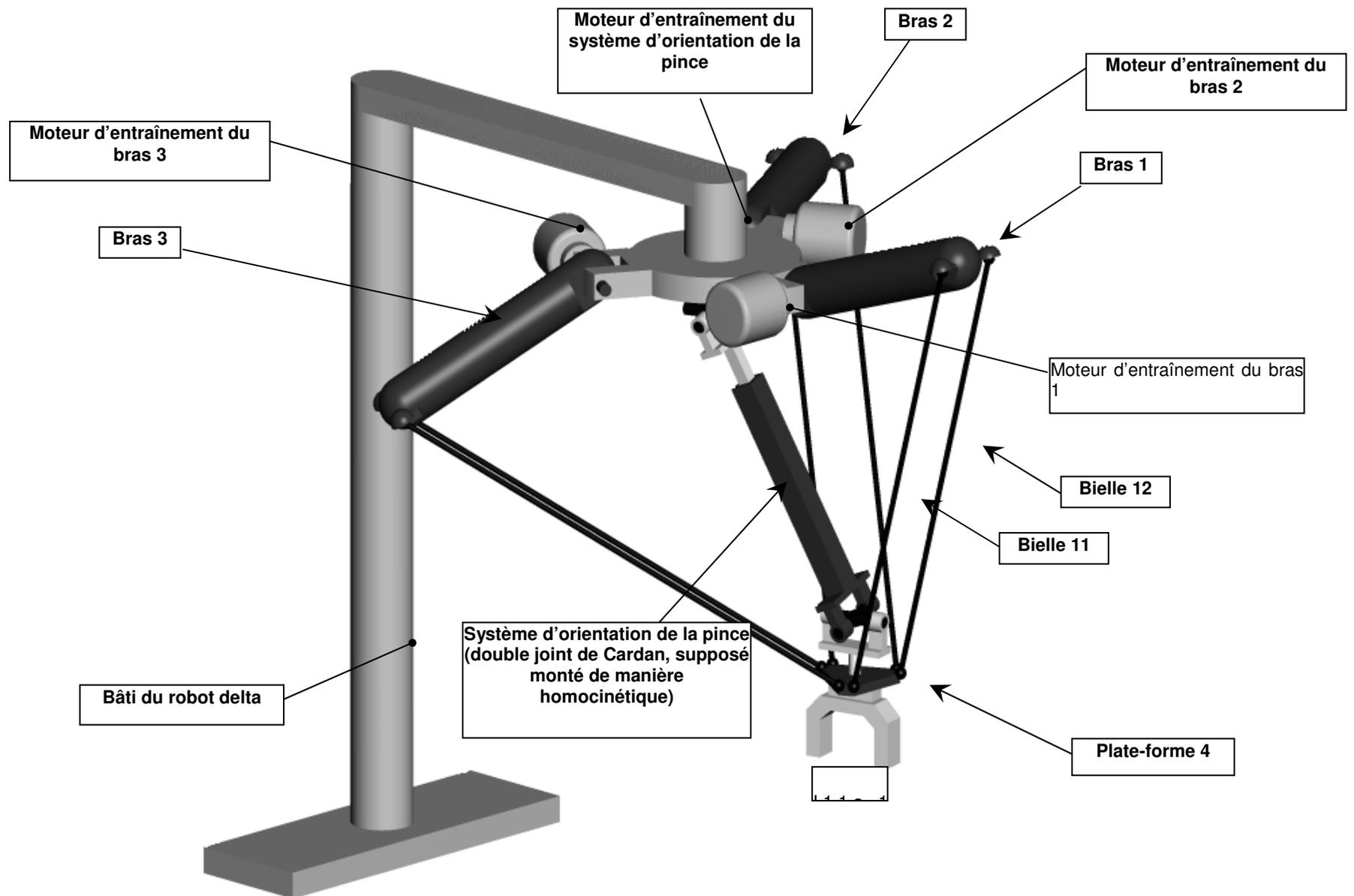
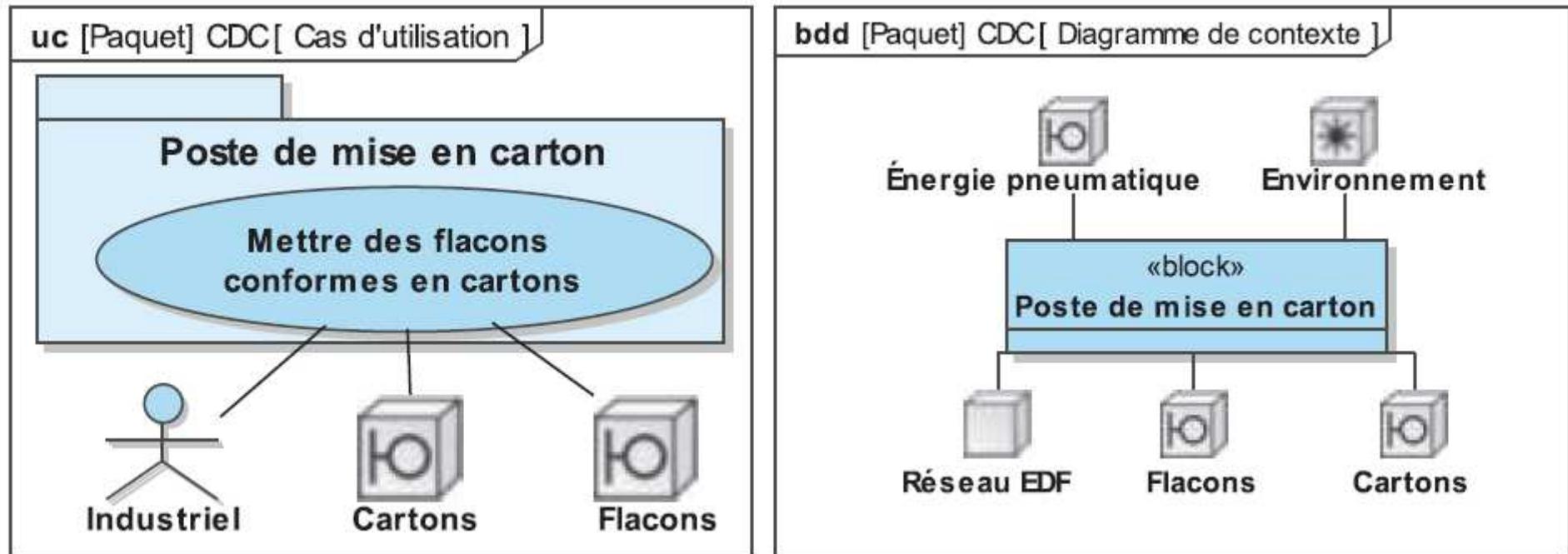


Fig C8 Evolution de $[tr_{5\%}(\text{en s}) \cdot \omega_0(\text{en rd.s}^{-1})]$ en fonction de ζ

Annexe 1 : Robot à structure parallèle de type « delta »

Annexe 2 : Diagrammes de description

Diagrammes de cas d'utilisation et de contexte complété

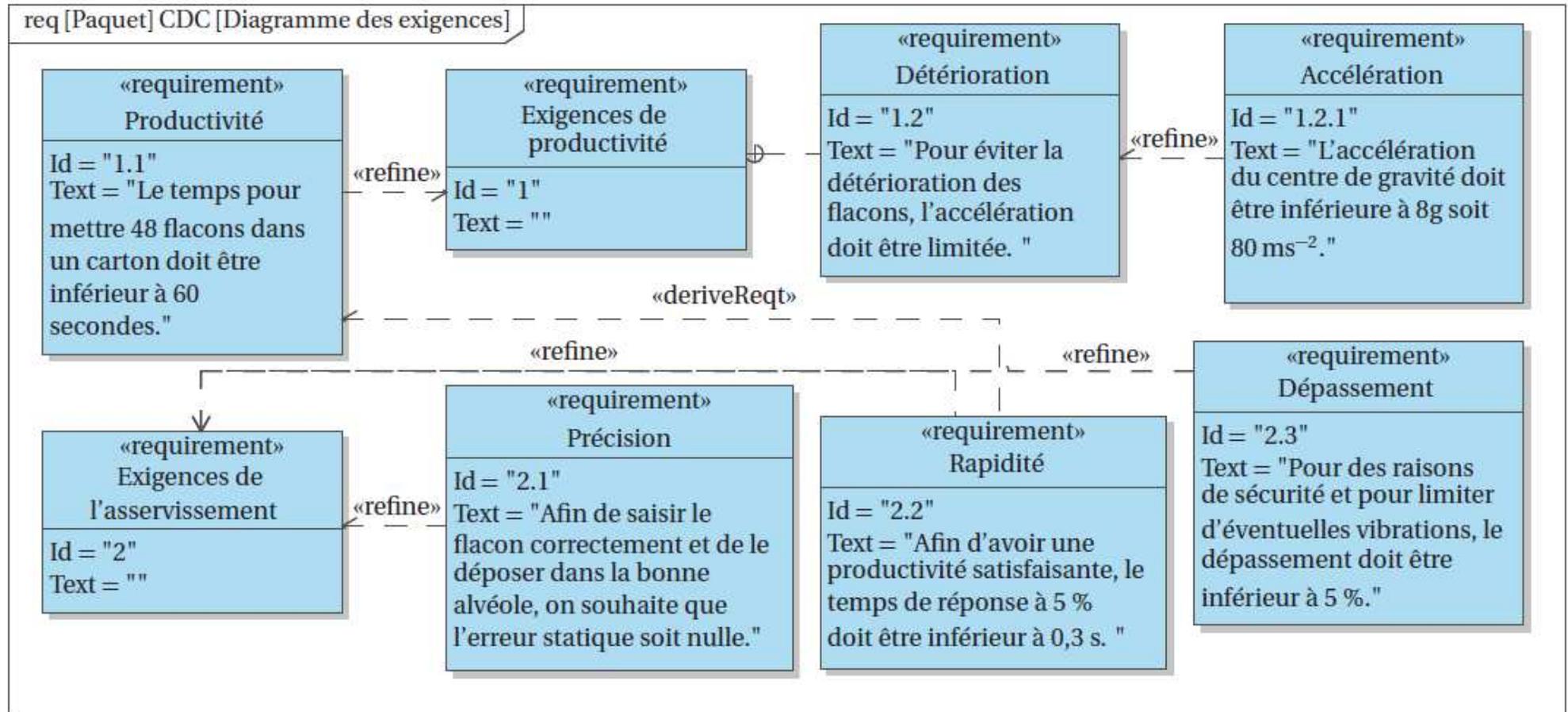


Diagramme partiel des exigences du poste de mise en cartons

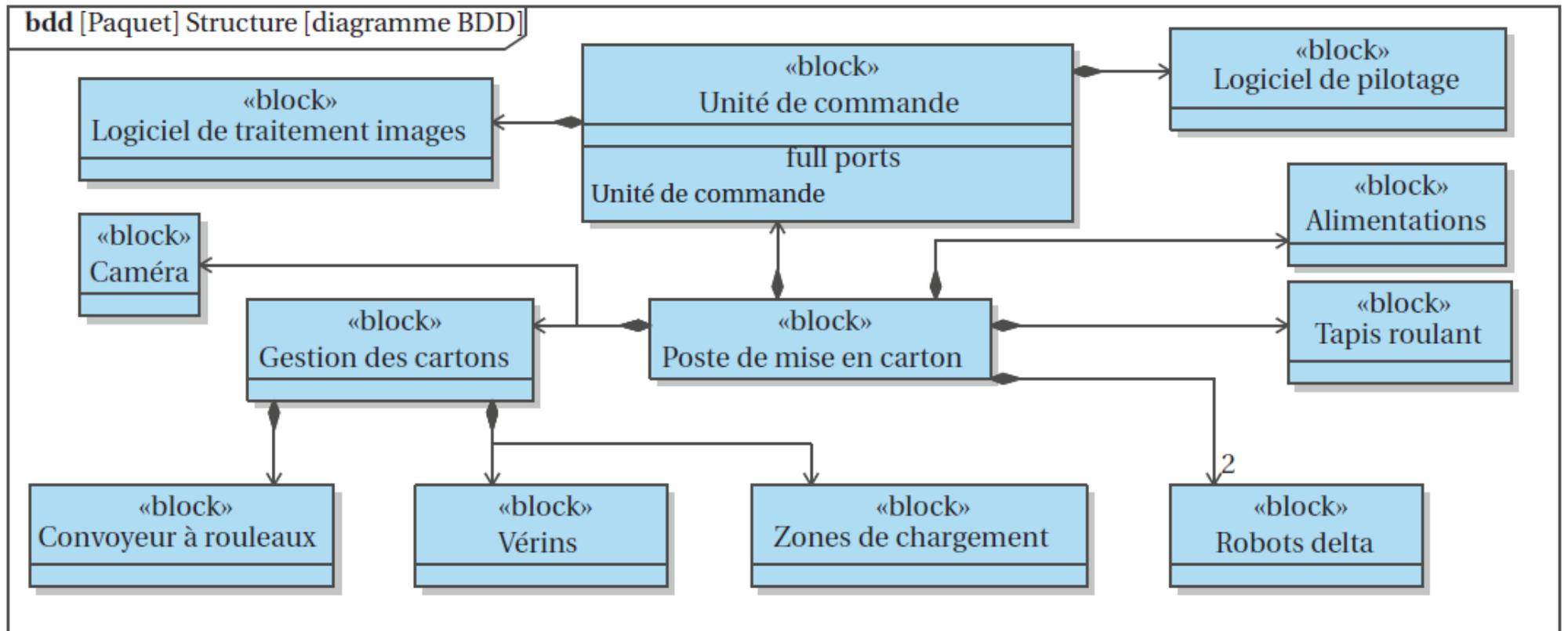


Diagramme BDD complété

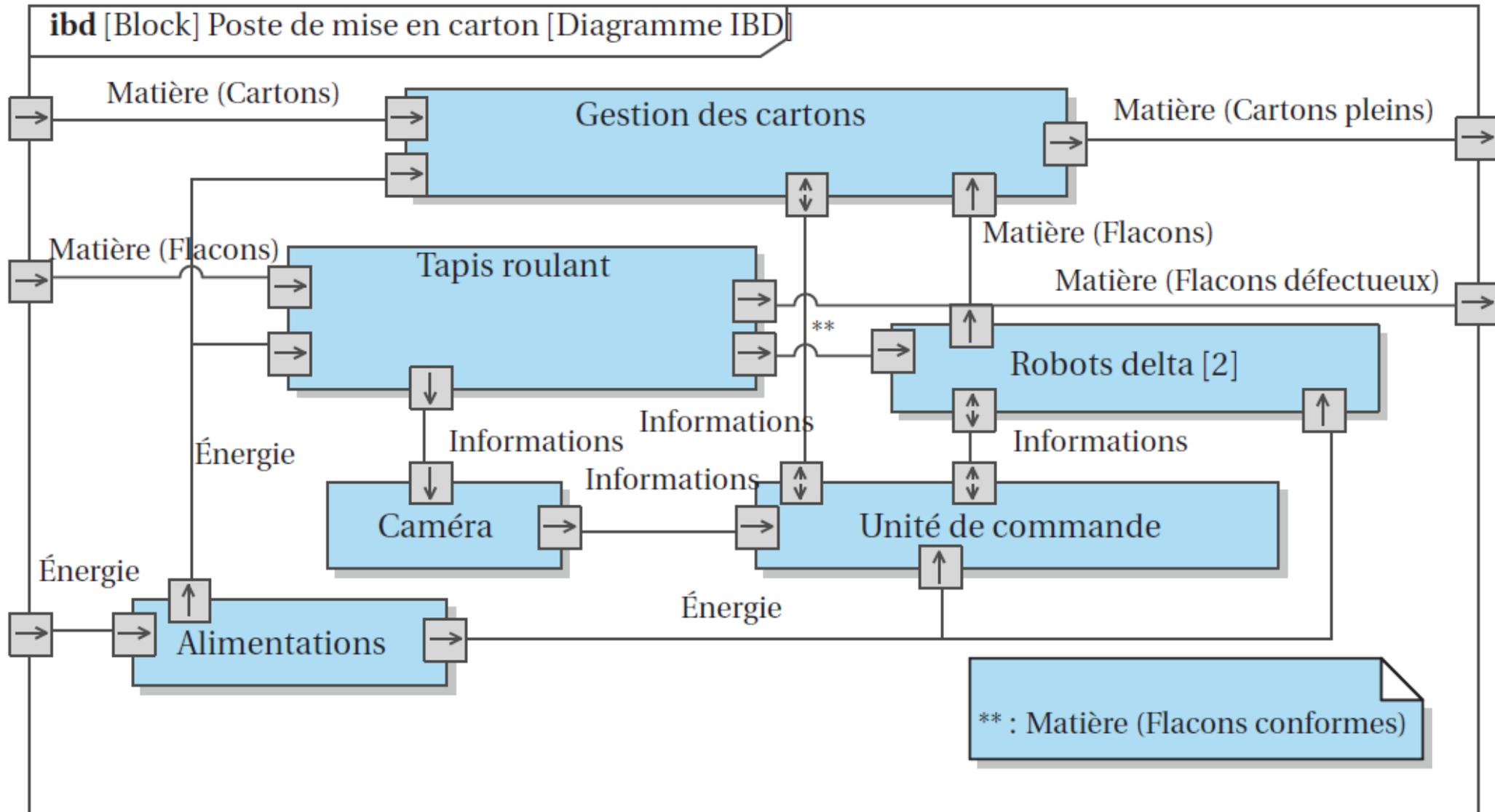


Diagramme IBD complété