

# Delta Bot

## Dossier Technique

### Table des matières

1. Présentation.....	2
2. Terminologie.....	3
3. Eléments constitutifs.....	4
a. L'actionneur.....	4
b. La partie commande.....	5
c. Les capteurs .....	6
4. Diagrammes SYSML.....	7
a. Diagramme des cas d'utilisation .....	7
b. Diagramme des exigences .....	7
c. Diagramme de définition des blocs .....	8
5. Paramétrage géométrique .....	9

## 1. Présentation

Le système objet de l'étude est un robot à structure parallèle, à vocation didactique, reprenant les caractéristiques essentielles des robots industriels.

Sa structure à trois bras motorisés et d'axe de rotation fixe par rapport au bâti, six biellettes, et un plateau porte-outil inférieur combine en effet de multiples avantages :

- un rapport volume de l'espace de travail / encombrement très intéressant car défini uniquement par la taille des trois bras supérieurs ;
- un rapport accélérations du plateau inférieur / intensités consommées par les moteurs exceptionnel, ce qui permet de gérer à faible coût des évolutions très dynamiques (jusqu'à 80 « g » d'accélération industriellement) ;

Cette structure de robot se retrouve dans différents contextes :

- L'opération dite « ***pick and place*** » (choisir et placer) consiste à déplacer d'une zone A à une zone B proches l'une de l'autre des pièces de faible masse à grande vitesse



*Exemple d'opération dite « pick and place »*

- L'opération dite « ***positionnement chirurgical*** » consiste à déplacer un outil sur un contour tridimensionnel avec une précision extrême, comme cela peut, par exemple, être nécessaire pour une opération de découpe sur une cornée oculaire dont l'aire de la zone de travail, qui naturellement n'est pas plate, est de l'ordre de quelques dizaines de mm<sup>2</sup>



*Le Surgiscope en action*

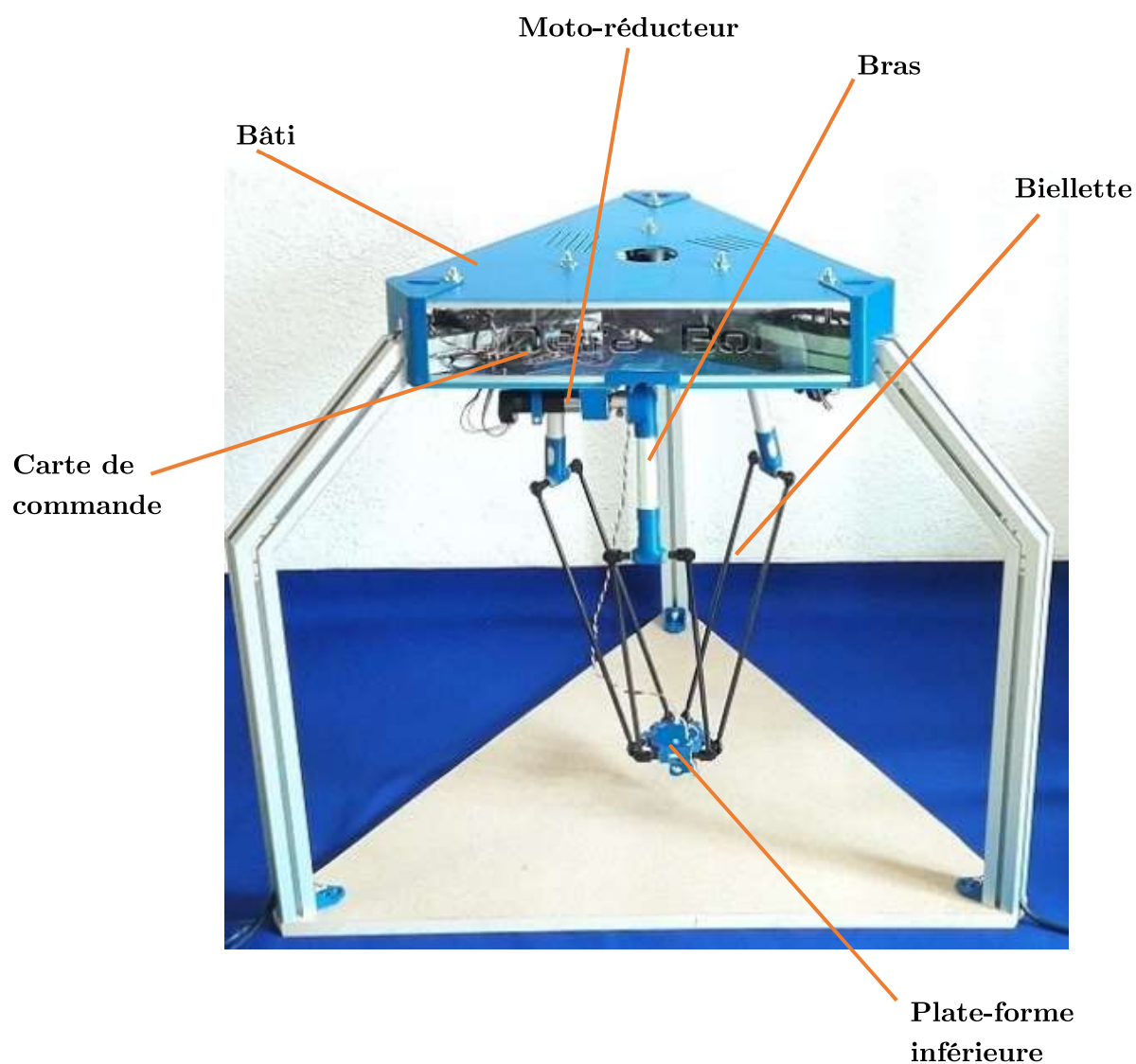
- Interface « ***haptique*** », destinée à favoriser l'immersion dans un univers virtuel



*Interface haptique se substituant à un joystick*

## 2. Terminologie

Afin d'employer un vocabulaire univoque lors des travaux pratiques de Sciences de l'Ingénieur, on donne ci-dessous les désignations (non exhaustives) des différents sous-ensembles du robot delta



### 3. Éléments constitutifs

#### a. L'actionneur

- *La machine à courant continu*

Le moteur est une machine à courant continu de référence Faulhaber 3257 G012 CR dont la fiche technique est donnée ci-dessous

#### Série 3257 ... CR

Valeurs à 22°C et à tension nominale		3257 G	012 CR	018 CR	024 CR	036 CR	048 CR	
1	Tension nominale	$U_N$	12	18	24	36	48	V
2	Résistance de l'induit	$R$	0,41	0,84	1,63	4,15	6,56	$\Omega$
3	Rendement, max.	$\eta_{max}$	83	83	83	80	83	%
4	Vitesse à vide	$n_0$	5 700	6 100	5 900	5 600	5 900	$\text{min}^{-1}$
5	Courant à vide, typ. (avec l'arbre $\varnothing$ 5 mm)	$I_0$	0,258	0,18	0,129	0,082	0,064	A
6	Couple de démarrage	$M_H$	531	561	539	518	547	mNm
7	Couple de frottement	$M_R$	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	mNm
8	Constante de vitesse	$k_n$	500	352	253	156	125	$\text{min}^{-1}/\text{V}$
9	Constante FEM	$k_E$	2	2,84	3,95	6,4	7,98	$\text{mV}/\text{min}^{-1}$
10	Constante de couple	$k_M$	19,1	27,2	37,7	61,1	76,2	$\text{mNm}/\text{A}$
11	Constante de courant	$k_I$	0,052	0,037	0,027	0,016	0,013	$\text{A}/\text{mNm}$
12	Pente de la courbe n/M	$\Delta n/\Delta M$	10,7	10,9	10,9	10,6	10,8	$\text{min}^{-1}/\text{mNm}$
13	Inductance	$L$	70	140	270	700	1 100	$\mu\text{H}$
14	Constante de temps mécanique	$\tau_m$	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	ms
15	Inertie du rotor	$J$	42	41	41	42	42	$\text{gcm}^2$
16	Accélération angulaire	$\alpha_{max}$	130	140	130	120	130	$\cdot 10^3 \text{rad/s}^2$
17	Résistances thermiques	$R_{th1} / R_{th2}$	2 / 8					K/W
18	Constantes de temps thermiques	$\tau_{w1} / \tau_{w2}$	17 / 810					s
19	Températures d'utilisation:							
	– moteur		-30 ... +125					°C
	– rotor max. admissible		+155					°C
20	Paliers de l'arbre		roulements à billes précontraints					
21	Charge max. sur l'arbre:							
	– diamètre de l'arbre		5					mm
	– radiale à 3 000 $\text{min}^{-1}$ (3 mm du palier)		50					N
	– axiale à 3 000 $\text{min}^{-1}$		5					N
	– axiale à l'arrêt		50					N
22	Jeu de l'arbre:							
	– radial	$\leq$	0,015					mm
	– axial	$\equiv$	0					mm
23	Matériau du boîtier		acier, revêtement noir					
24	Masse		242					g
25	Sens de rotation		vu côté face avant, rotation sens horaire					
26	Vitesse jusqu'à	$n_{max}$	7 000					$\text{min}^{-1}$
27	Nombre de paires de pôles		1					
28	Matériau de l'aimant		NdFeB					
Valeurs nominales en service permanent								
29	Couple nominal	$M_N$	63	70	71	73,1	73	mNm
30	Courant nominal (limite thermique)	$I_N$	4	3,2	2,3	1,49	1,2	A
31	Vitesse nominale	$n_N$	5 150	5 470	5 210	4 770	5 190	$\text{min}^{-1}$

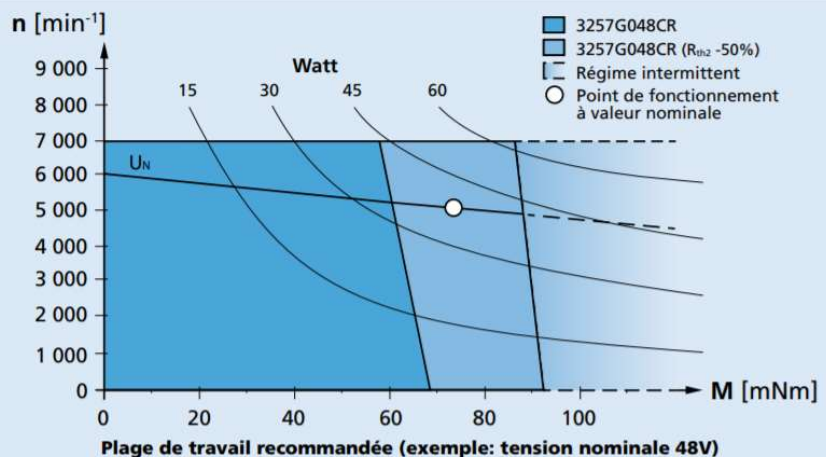
**Note:** Les valeurs nominales sont valables à 22°C et avec une réduction de résistance thermique  $R_{th2}$  de 25%.

#### Remarque:

Le diagramme représente la vitesse maximum par rapport au couple disponible sur l'arbre de sortie pour une température ambiante donnée de 22°C.

Le moteur peut délivrer davantage de puissance avec un système de refroidissement adéquat (par ex.  $R_{th2}$  réduction de -50%). La droite ( $U_N$ ) montre le point de travail à tension nominale à une température ambiante de 22°C. Tous les points de travail au dessus de cette droite exigeront une tension d'alimentation supérieure. (Tous les points de travail en dessous de cette droite exigeront une tension d'alimentation inférieure).

Le couple maximum disponible et la vitesse seront réduits si la température ambiante est supérieure à 22°C et/ou si le moteur est thermiquement isolé de l'environnement.





### ■ *Le réducteur*

Il s'agit d'un réducteur à trains planétaires de référence Faulhaber 32/3 43 :1, dont la fiche technique se trouve ci-dessous :

## Série 32/3

	32/3
Matériau du boîtier	métal
Matériau des engrenages <sup>1)</sup>	plastique/acier
Vitesse max. recommandée à l'entrée:	4 000 min <sup>-1</sup>
– pour service permanent	≤ 1 °
Jeu angulaire typique, sans charge	roulements à billes précontraints
Palier de l'arbre de sortie	
Charge de l'arbre max.:	
– radiale (à 10 mm de la face)	≤ 200 N
– axiale	≤ 200 N
Pression sur l'arbre max.	≤ 250 N
Jeu de l'arbre:	
– radial (à 10 mm de la face)	≤ 0,03 mm
– axial	≤ 0,15 mm
Température d'utilisation	- 20 ... + 125 °C

Caractéristiques techniques										
Nombre des étages		1	2	3	3	4	4	4	5	5
Couple permanent	Nm	4,2	0,4	1,4	2	4	4,9	5,8	7	7
Couple intermittent	Nm	5,3	0,6	1,9	2,6	5,2	6,5	8	10	10
Poids sans moteur, env.	g	160	190	230	230	260	260	260	290	300
Rendement, max.	%	88	80	70	70	60	60	60	55	55
Sens de rotation, entrée vers sortie		=	=	=	=	=	=	=	=	=
Rapport de reduction <sup>2)</sup> (arrondi)		3,71:1	14:1	43:1	66:1	134:1	159:1	246:1	415:1 592:1 989:1	1 526:1

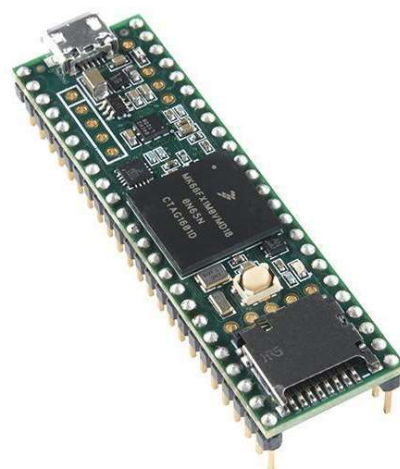
### b. La partie commande

#### ■ *Le micro-contrôleur*

Il s'agit d'une carte Teensy 3.6 dont les caractéristiques sont données ci-dessous

#### Caractéristiques:

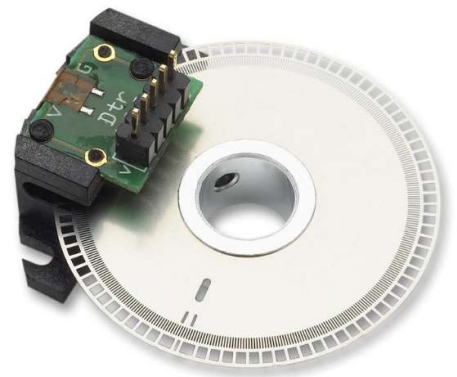
- alimentation: via micro-USB
- microprocesseur: ARM Cortex M4 32 bits 180 MHz à virgule flottante
- mémoire flash: 1 MB
- mémoire SRAM: 256 kB
- mémoire EEPROM: 4 kB
- 32 broches d'E/S dont 22 PWM
- 25 entrées analogiques 13 bits
- 2 sorties analogiques 12 bits
- support USB avec transferts DMA (Direct Access Memory)
- support Ethernet 100 Mbit/sec
- support pour carte microSD (non incluse)
- bus: 6 x série, 2 x CAN, 4 x I2C et 3 x SPI
- interface I2S
- gestion des interruptions
- 11 entrées pour capteur tactile
- régulateur 3,3 Vcc/100 mA



### c. Les capteurs

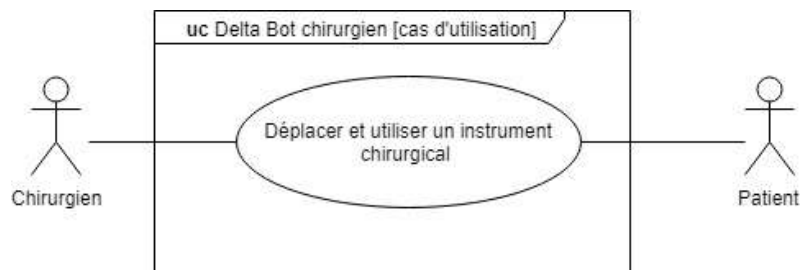
- *L'encodeur en quadrature*

Le matériel utilisé pour le codeur incrémental est un encodeur en quadrature, de référence Faulhaber HEDS 5500, doté de 500 fentes. Tous les fronts montants et descendants issus des deux cellules photoréceptrices CCD peuvent être détectés par la partie commande.

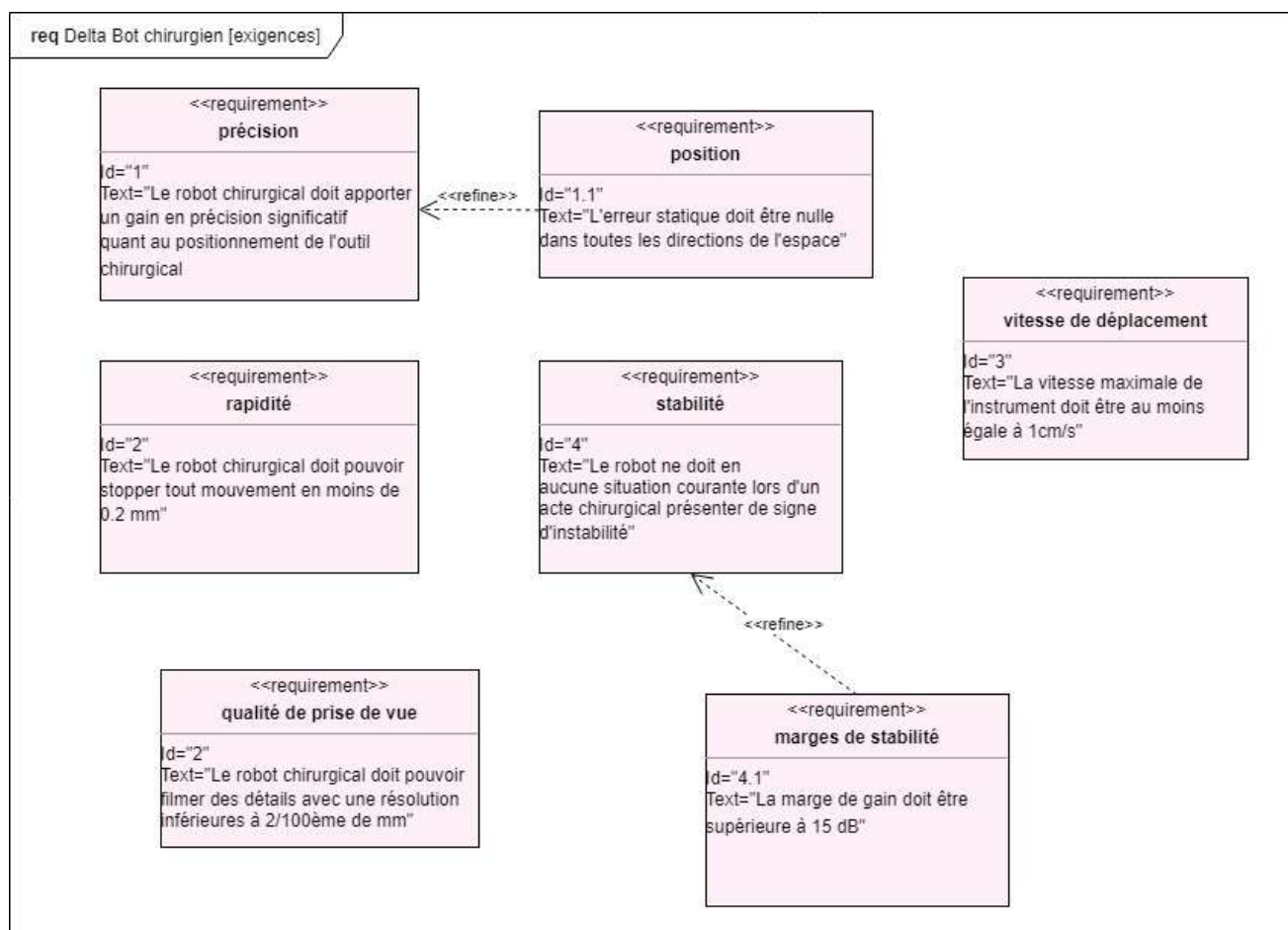


#### 4. Diagrammes SYSML

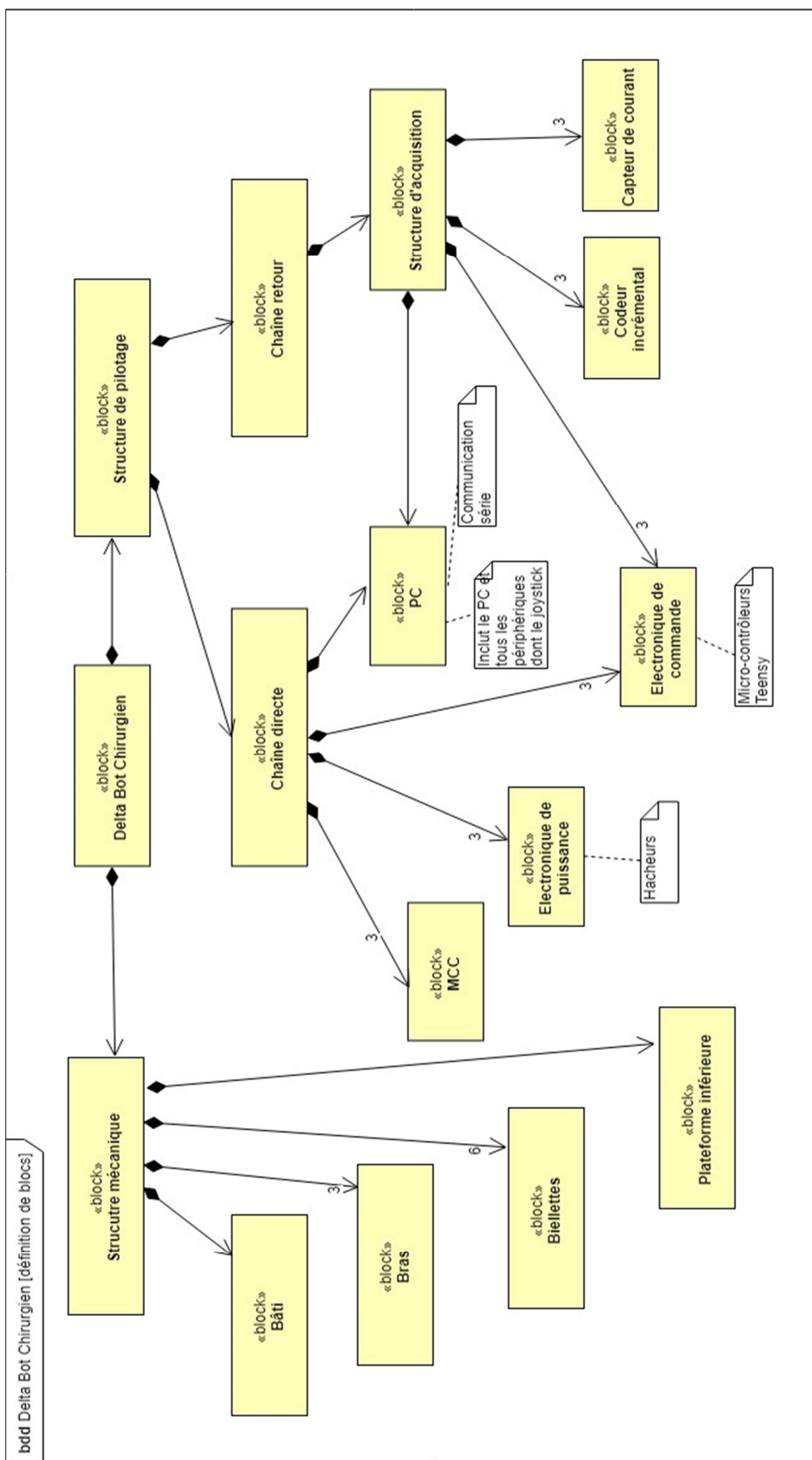
##### a. Diagramme des cas d'utilisation



##### b. Diagramme des exigences



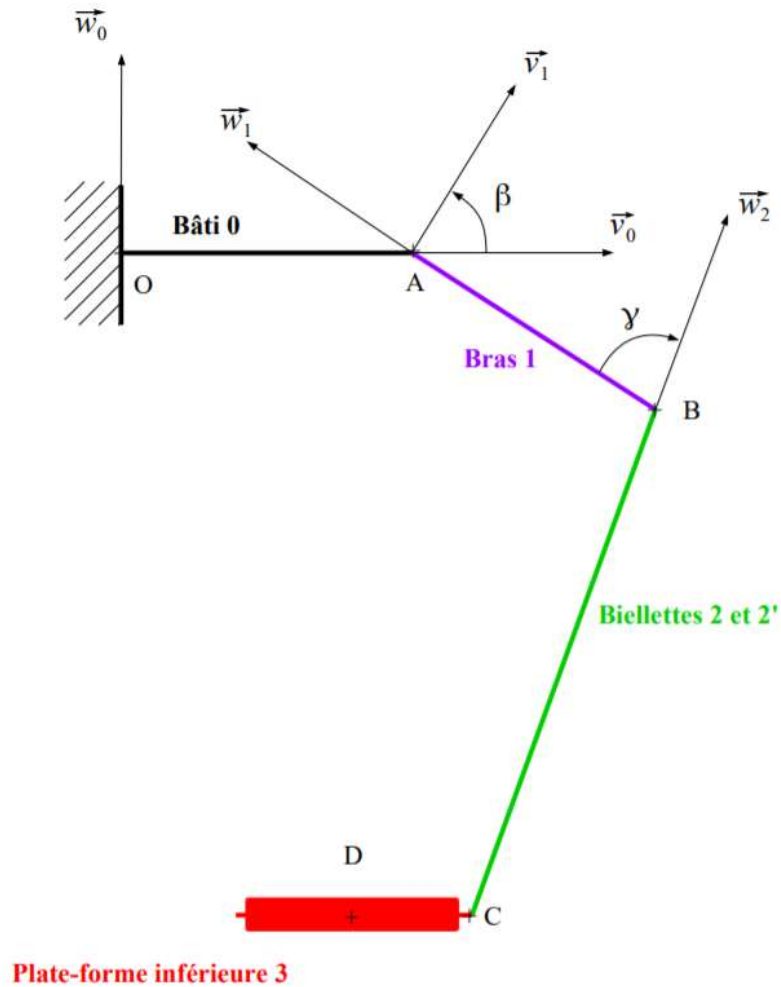
### c. Diagramme de définition des blocs





## 5. Paramétrage géométrique

Ci-dessous figure un paramétrage d'une épure géométrique du mécanisme de transformation de mouvement du Delta Bot, dans le plan d'évolution d'un bras, avec un domaine de validité tel que le plan de déplacement des biellettes 2 et 2' est toujours vertical.



**Données géométriques :**

Les bases  $(\vec{u}_i, \vec{v}_i, \vec{w}_i)$  sont orthonormées directes.

$$\overrightarrow{OA} = a\vec{v}_0 \quad \overrightarrow{AB} = -b\vec{w}_1 \quad \overrightarrow{BC} = -c\vec{w}_2 \quad \overrightarrow{DC} = d\vec{v}_0 \quad \overrightarrow{OD} = v\vec{v}_0 + w\vec{w}_0$$

Valeurs numériques :  $a = 150 \text{ mm}$  ;  $b = 200 \text{ mm}$  ;  $c = 400 \text{ mm}$  ;  $d = 40 \text{ mm}$