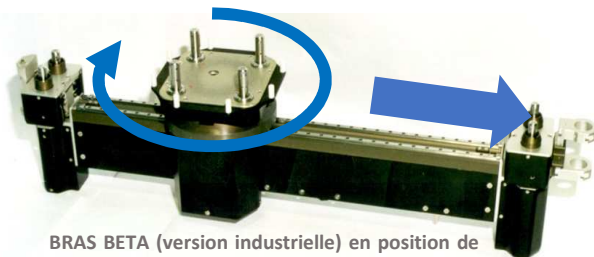


# BRAS BETA

## Dossier technique

Du système réel ...

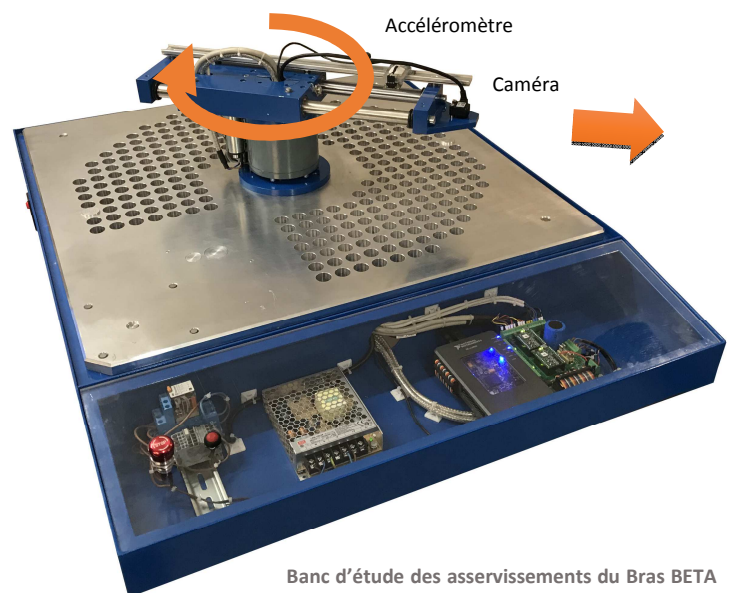


BRAS BETA (version industrielle) en position de maintenance

Domaine : Maintenance de centrale nucléaire

Fonctions : Contrôle par Courant de Foucault des tubes des Générateurs de Vapeur d'une Centrale Nucléaire.

... au système didactique



Banc d'étude des asservissements du Bras BETA didactique

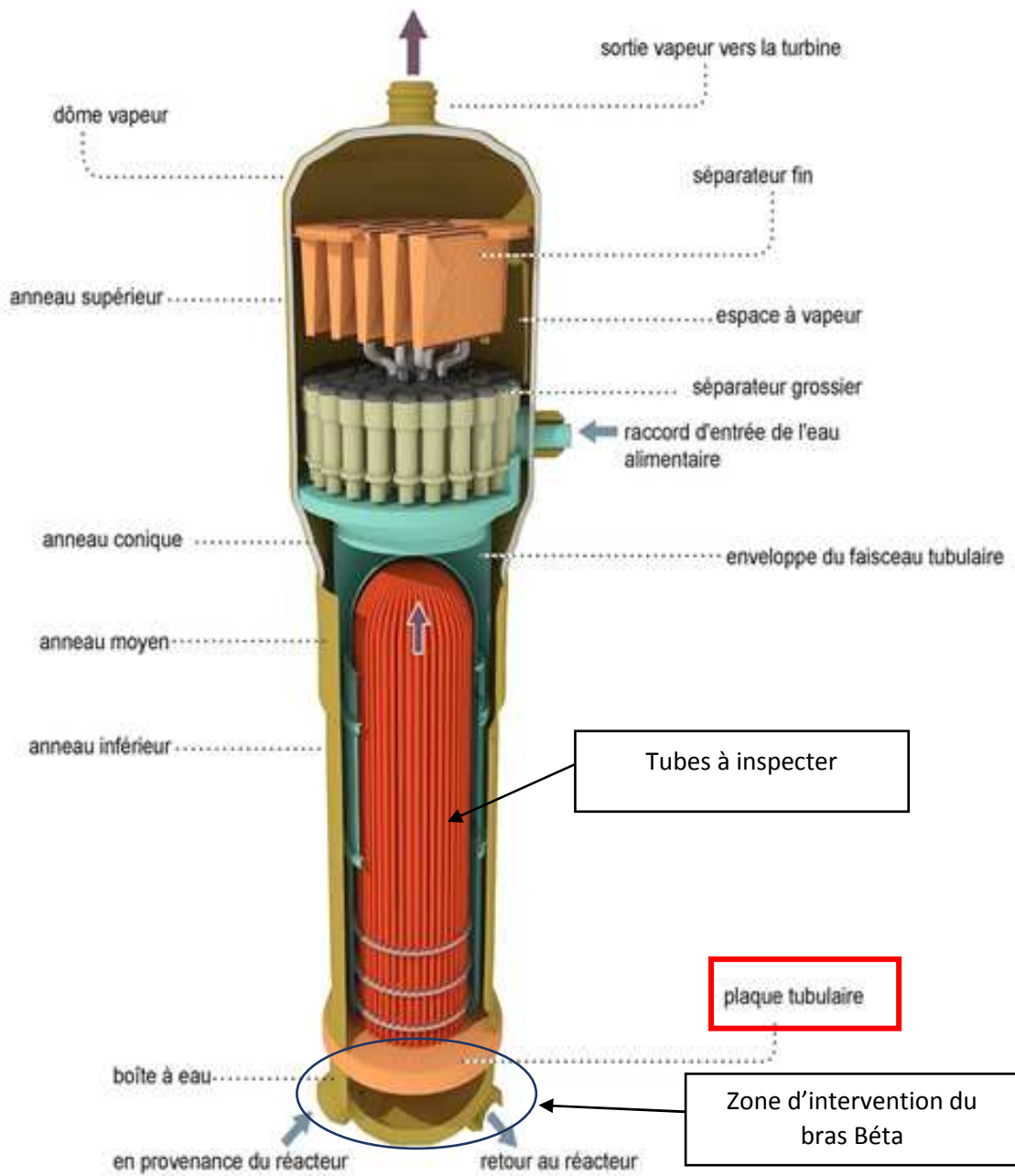
## Table des matières

1	Présentation du système réel.....	3
1.1	Contexte industriel .....	3
1.2	Définition du besoin .....	4
1.2.1	Analyse du besoin.....	4
2	Description du logiciel / prise en main du système.....	6
3	Présentation du Bras Béta didactique .....	8
3.1	Concept du Bras BETA didactique .....	8
3.2	Modélisation du Bras BETA didactique.....	9
3.3	Structure mécanique de la rotation .....	9
3.4	Structure mécanique de la translation .....	11
3.5	Diagrammes SysML.....	14
3.5.1	Structure de la Partie Opérative (bdd) .....	14
3.5.2	Structure de la commande (ibd).....	14
3.5.3	Structure de l'axe en rotation (ibd) .....	16
3.5.4	Structure de l'axe en translation (ibd).....	17
3.5.5	Exigences (req).....	18
4	Organisation générale de la commande.....	19
4.1	Bras BETA proprement dit .....	20
5	Description matérielle .....	20
5.1	Chaînes d'énergie .....	20
5.2	Chaînes d'information .....	22
5.3	Instrumentation.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## 1 Présentation du système réel

### 1.1 Contexte industriel

Le Bras BETA est un robot qui intervient en milieu hostile (contamination et irradiation) dans une centrale nucléaire type REP (Réacteur à Eau Pressurisée) pour positionner au droit des tubes d'un générateur de vapeur une sonde de contrôle par Courant de Foucault.



Vue éclatée d'un Générateur de Vapeur

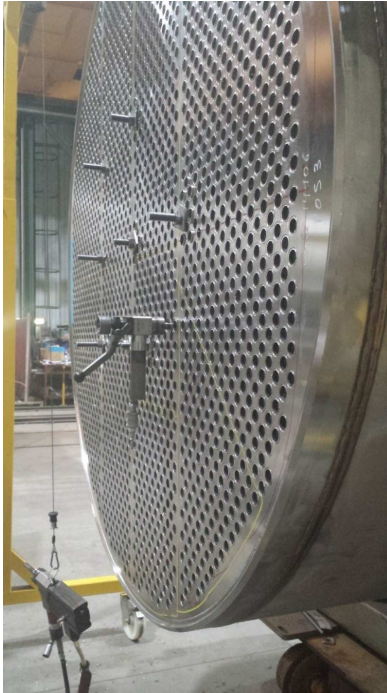


Photo d'une plaque tubulaire

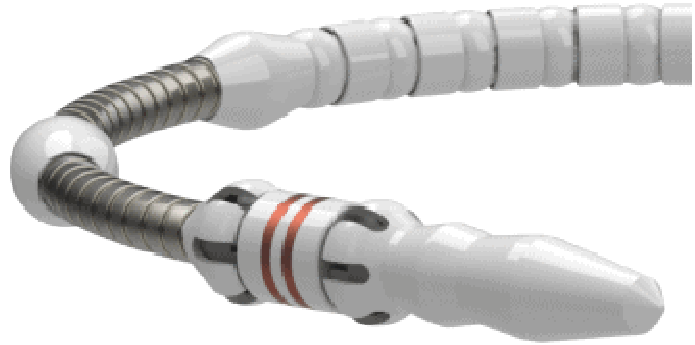


Photo d'une sonde par courant de Foucault

## 1.2 Définition du besoin

### 1.2.1 Analyse du besoin

Un exploitant de Centrale Nucléaire est soumis aux exigences de sûreté. Pour satisfaire la fonction sûreté suivante, **“exploiter la centrale nucléaire en évitant que la dispersion des produits radioactifs ne puisse être dangereuse pour l’homme et son environnement naturel”**.

L’exploitant doit faire réaliser périodiquement le contrôle des tubes des Générateurs de vapeur d’une centrale nucléaire.

En effet la sûreté dépend de la fiabilité des matériels, elle a conduit à mettre en place une série de barrières (texte officiel de la sûreté nucléaire) successives pour limiter le risque de dispersion de produits radioactifs.

**1 ère barrière** - La gaine du combustible

**2 ième barrière** - **Le circuit primaire**

**3 ième barrière** - L’enceinte de confinement

L’intégrité des tubes des Générateurs de vapeur, interface entre le circuit primaire et le circuit secondaire, permet de garantir pour sa partie, la fonction sûreté.

**Le contrôle réalisé consiste à identifier les tubes défectueux qui seront bouchés certains tubes sans affecter la puissance de la centrale (réserve de 10%).**

Dans les centrales nucléaires, sous les effets de la chaleur, des vibrations et de la pression, les tubes sont soumis à de très fortes contraintes et peuvent se fissurer.

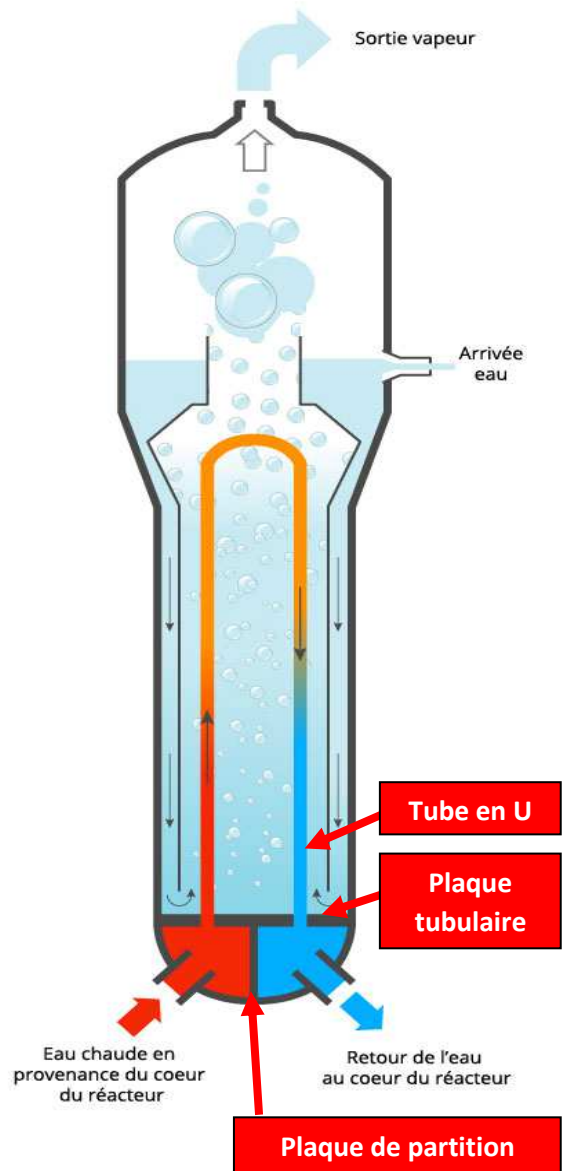
En phase d'arrêt de la centrale pour maintenance (arrêts programmés), les tubes des GV doivent être inspectés.

Ces tubes en U, de diamètre 22 mm débouchent des 2 côtés sur une plaque tubulaire divisée par une plaque de partition en 2 zones pour l'arrivée de l'eau chaude et le retour de l'eau refroidie après échange de chaleur.

Le Bras BETA (robot de positionnement), partie intégrante du système de contrôle, est donc chargé de positionner une sonde de contrôle par Courant de Foucaults au droit des tubes faisant l'objet du plan de contrôle.

Les tubes sont contrôlés sur toute leur longueur.

C'est dans ce contexte est né le Bras Béta dont le brevet a été déposé par EDF.



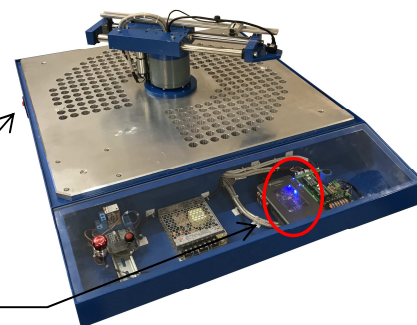
L'analyse des mesures une fois faite, les tubes fissurés sont percés puis obturés avec des bouchons étanches.

## 2 Description du logiciel / prise en main du système

Allumer la maquette du bras Béta et laisser lui le temps de s'initialiser : jusqu'à ce que les 4 leds bleues de la carte my RIO clignotent (environ 15s).

Bouton On/off

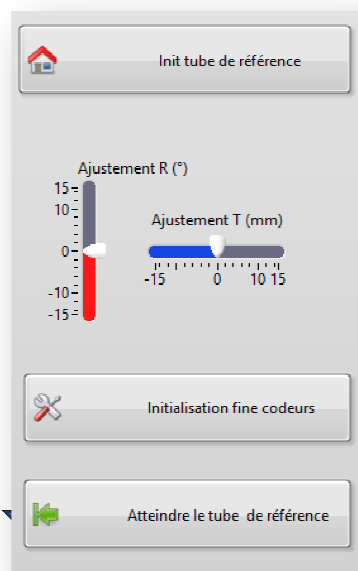
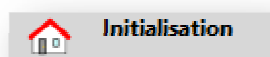
Carte my RIO



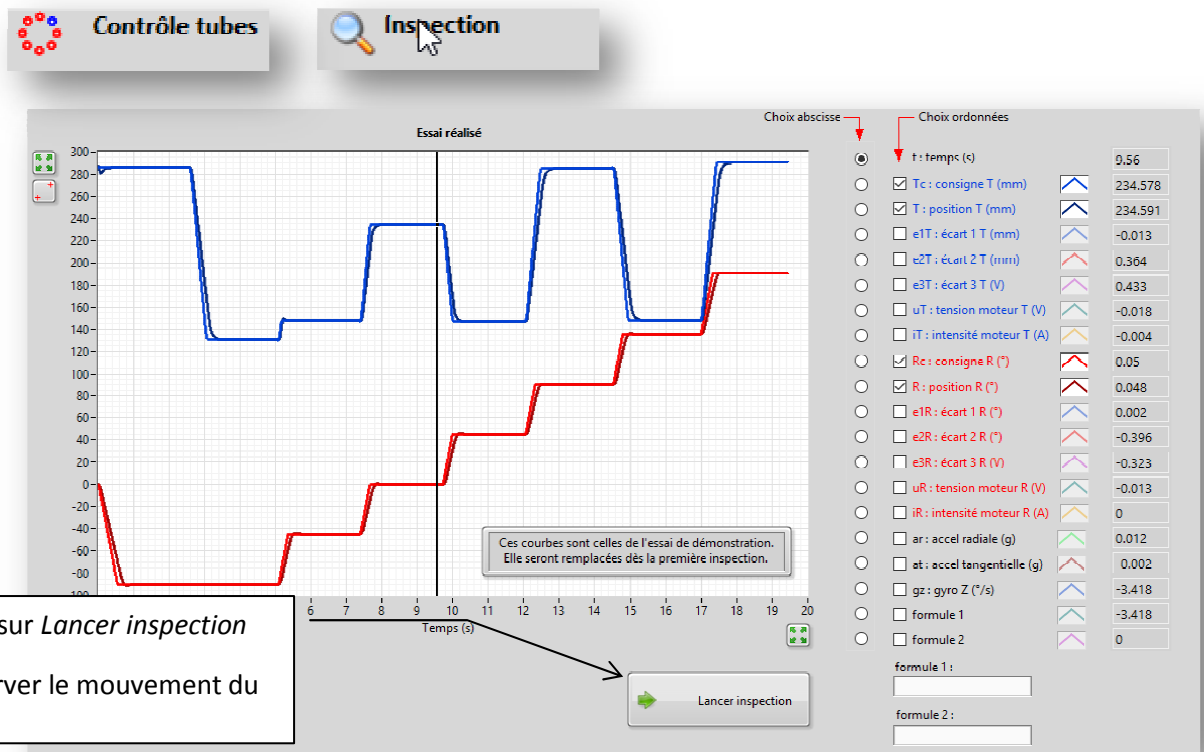
Lancer le programme « Bras Béta » depuis bureau du PC .

Le logiciel comporte plusieurs onglets et menus permettant l'initialisation du Bras BETA jusqu'à la visualisation du rapport de contrôle. Son utilisation peut être visualisée suivant les étapes suivantes :

### Début

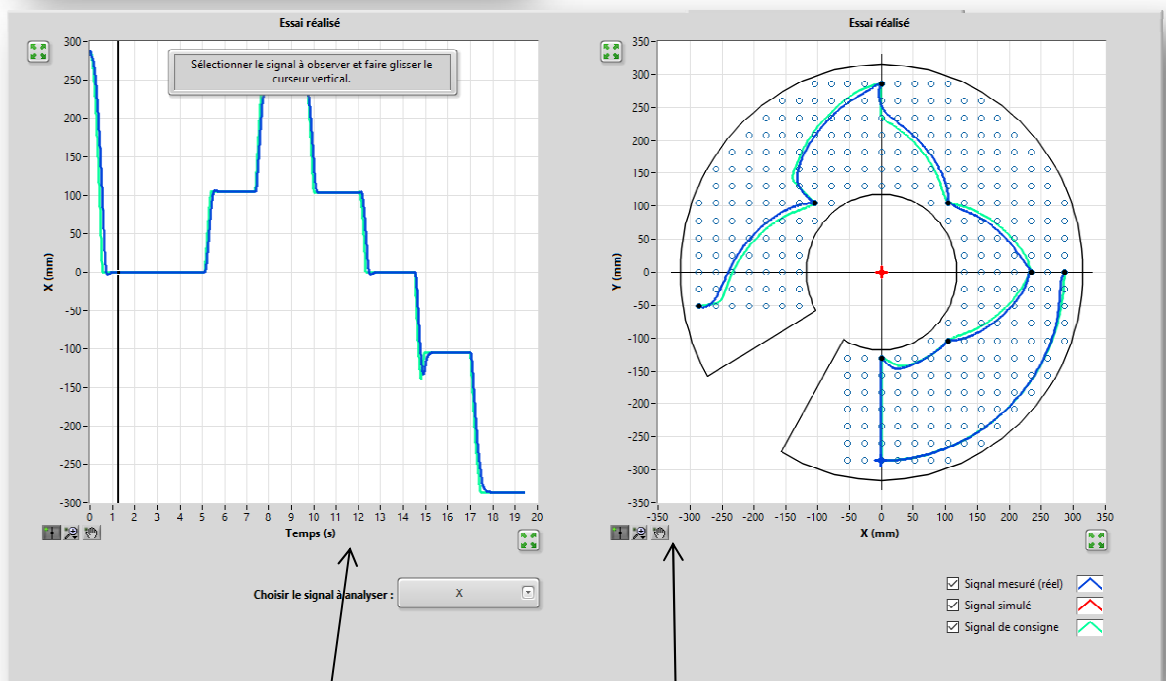


Cliquer sur **Init. tube de référence**



Cliquer sur *Lancer inspection* et observer le mouvement du bras

### Dépouillement espace opérationnel



Observer la loi de vitesse des axes Rotation et Translation

Observer la trajectoire de la caméra pendant l'inspection

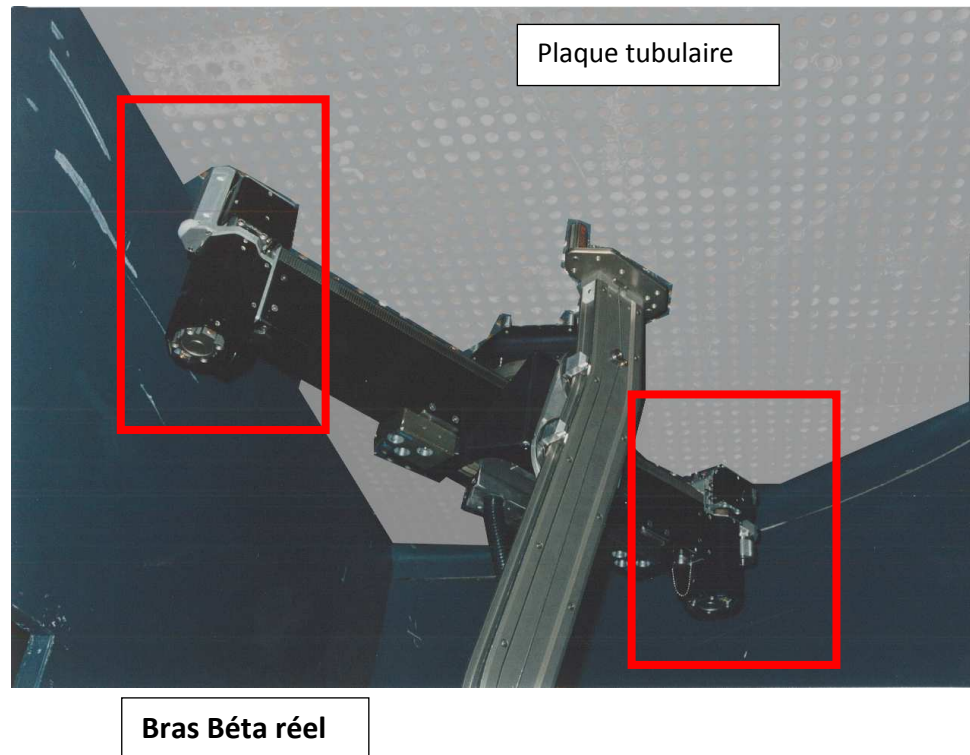
Fin



### 3 Présentation du Bras Béta didactique

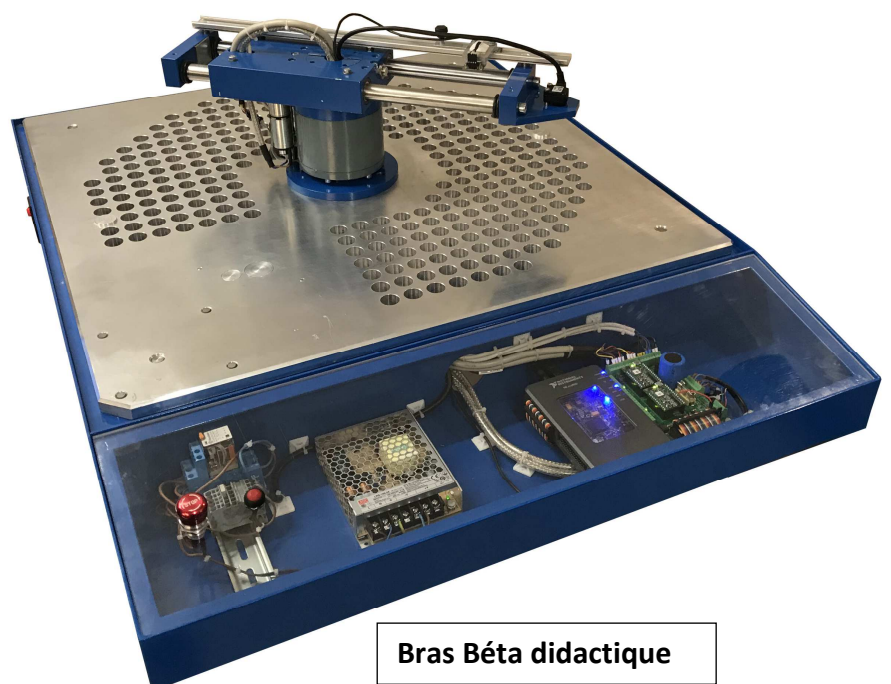
#### 3.1 Concept du Bras BETA didactique

L'exigence de conception du Bras BETA didactique est l'étude du double asservissement (Rotation/Translation).



Dans un souci de sécurité, le Bras BETA didactique évolue à plat et non au plafond simplifiant la conception mécanique.

Le Bras BETA didactique permet de valider le comportement du système asservi.





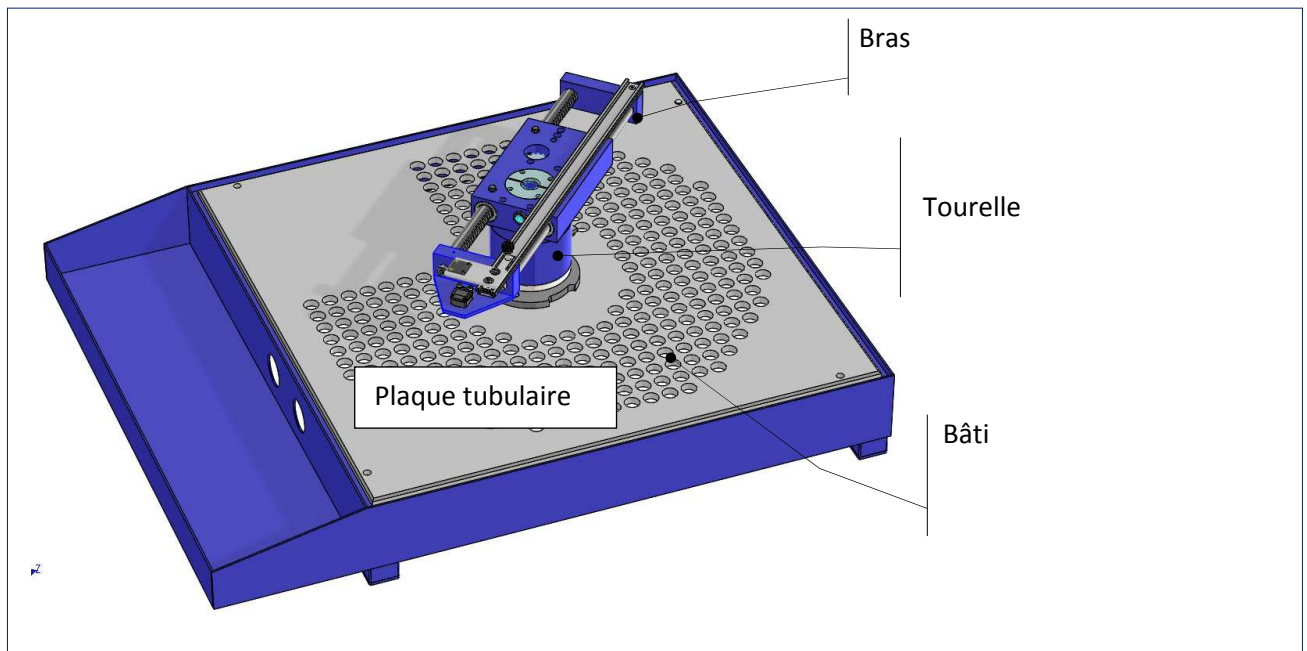
### 3.2 Modélisation du BrasBETA didactique

La structure mécanique du Bras Bêta didactique (*fig. 1*) est essentiellement composée de trois éléments (ou sous-ensembles s-e). On observe :

- le sous ensemble bâti : toutes les pièces fixes par rapport au sol et à la table
- le sous ensemble tourelle, qui est en **rotation** par rapport au bâti
- le sous ensemble bras, qui est en **translation** par rapport à la tourelle

La composition des mouvements de **rotation** (tourelle / bâti) et de **translation** (bras / tourelle) permet de positionner l'extrémité du bras dans n'importe quelle position de la zone de travail.

A l'extrémité du bras est fixée la caméra qui permet de valider le positionnement en face d'un trou de la plaque tubulaire.



*fig. 1 : Image de la maquette numérique SW du bras Bêta didactique*

### 3.3 Structure mécanique de la rotation

Le guidage en rotation de la tourelle par rapport au Bâti est modélisé par une liaison pivot réalisée par deux roulements à billes à contact radial SKF 61814-2RS1 (*fig. 2*).

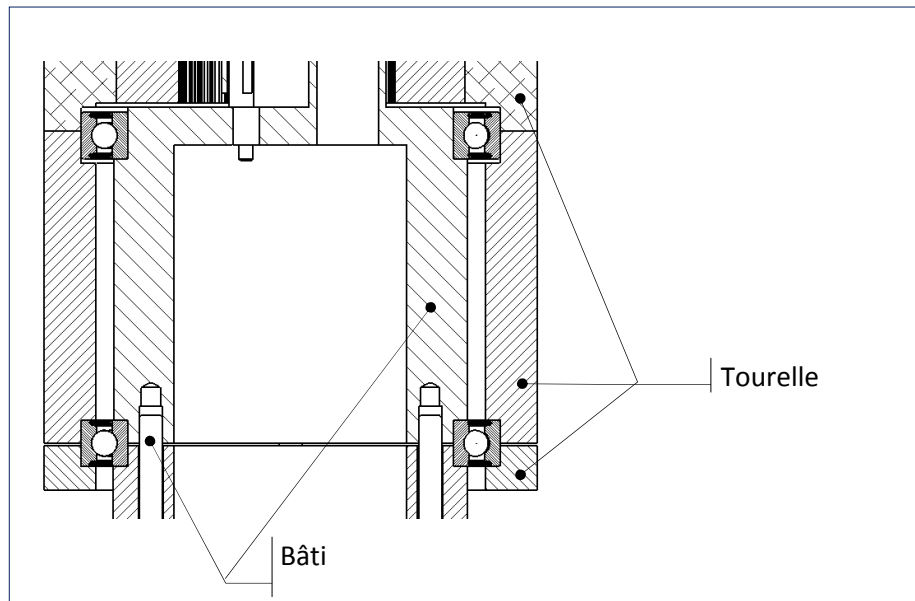


fig. 2 : Liaison pivot du s-e Tourelle avec le s-e Bâti

Le mouvement de rotation est réalisé à partir d'un motoréducteur Maxon constitué d'un moteur à courant continu DC-MAX26S GB KL 24V, d'un réducteur épicycloïdal GPX32 LZ 103:1 et d'un détecteur de proximité ENX16 EASY1024IMP. Le rapport de réduction du réducteur est égal à environ de 103.

Lié complètement à l'arbre de sortie du motoréducteur un pignon à denture droite, de module 1,5 et de 12 dents, engrène avec une roue dentée intérieure, de 30 dents, liée au à la tourelle.

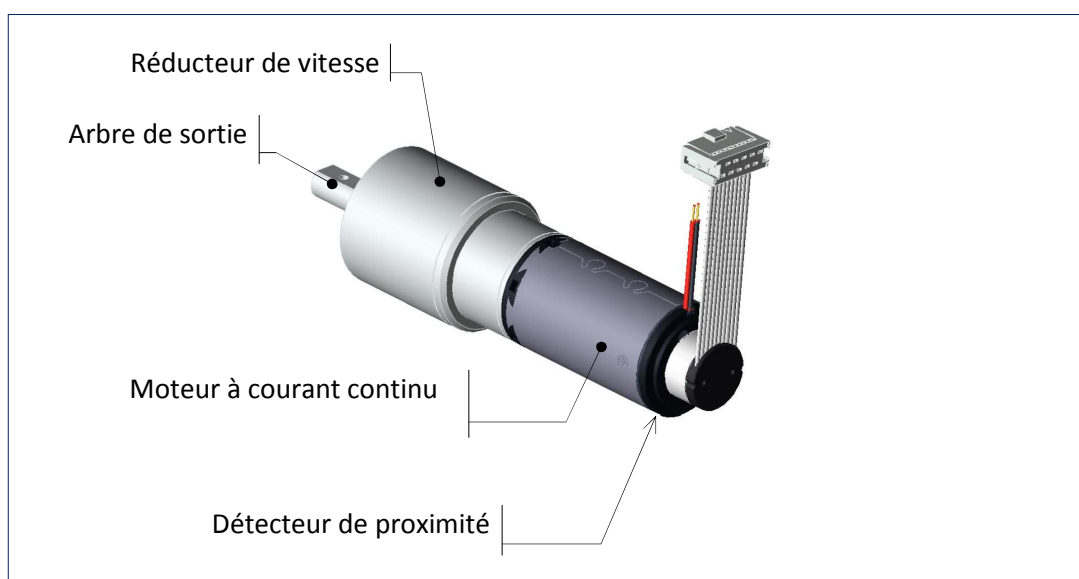


fig. 3 : Image du motoréducteur de rotation (doc. Maxon)

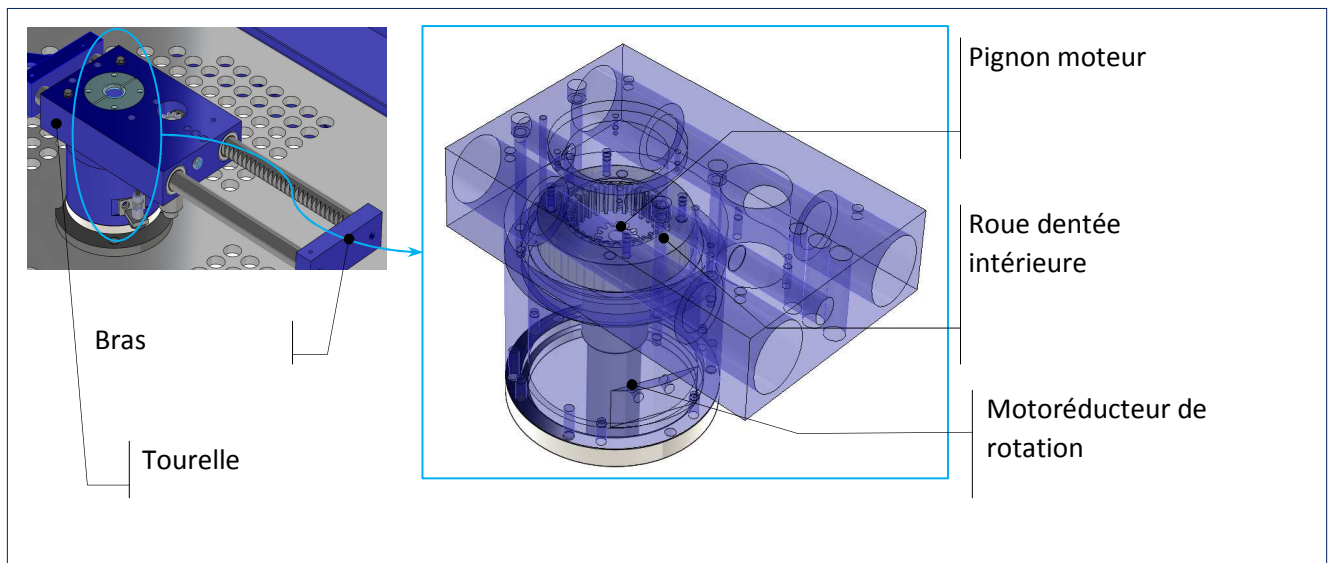


fig. 4 : Image de l'entraînement en rotation

### 3.4 Structure mécanique de la translation

Le guidage du bras par rapport à la tourelle est modélisé par une liaison glissière réalisée par deux arbres cylindriques dont l'un est une crémaillère () qui coulisent dans la tourelle équipée de quatre douilles IGUS de réf. RJUM-03-20 (fig. 5).

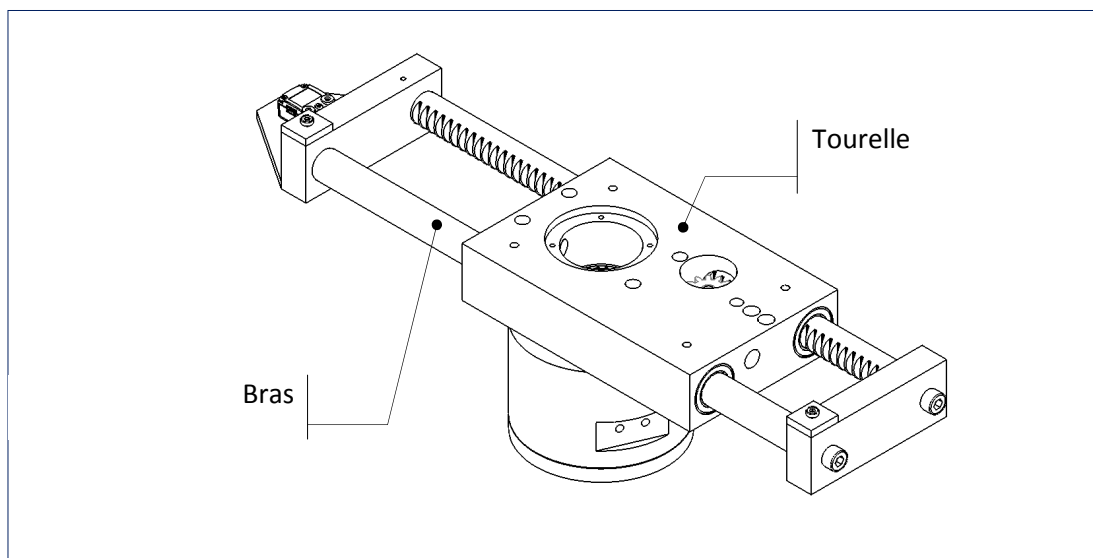


Fig. 8 : Guidage en translation rectiligne du bras par rapport la tourelle

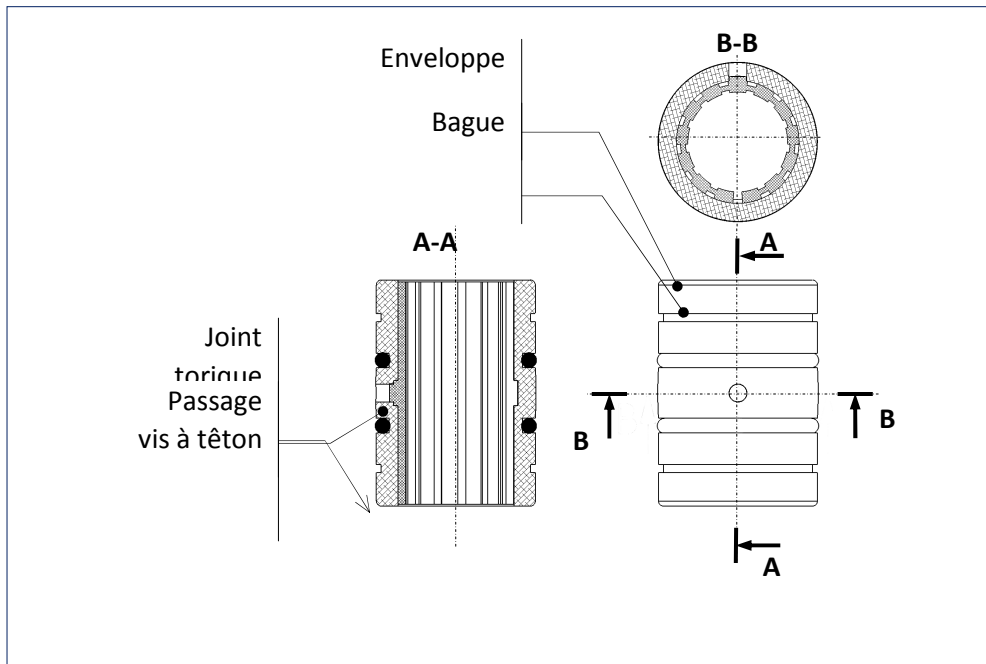


fig. 5 : Douille de guidage (d'après doc. Igus)

Le mouvement de translation est réalisé à partir d'un motoréducteur Maxon constitué d'un moteur à courant continu DC-MAX26S GB KL 24V, d'un réducteur épicycloïdal GPX26 LZ 26:1 et d'un détecteur de proximité ENX16 EASY 1024IMP (10). Le carter du motoréducteur est lié au s-e Tourelle (fig. 60).

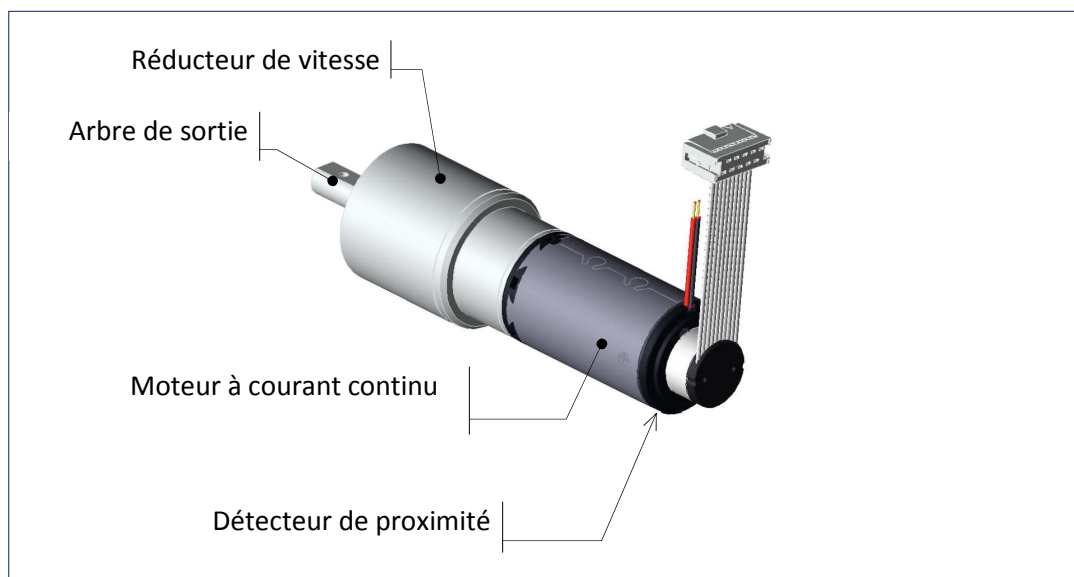
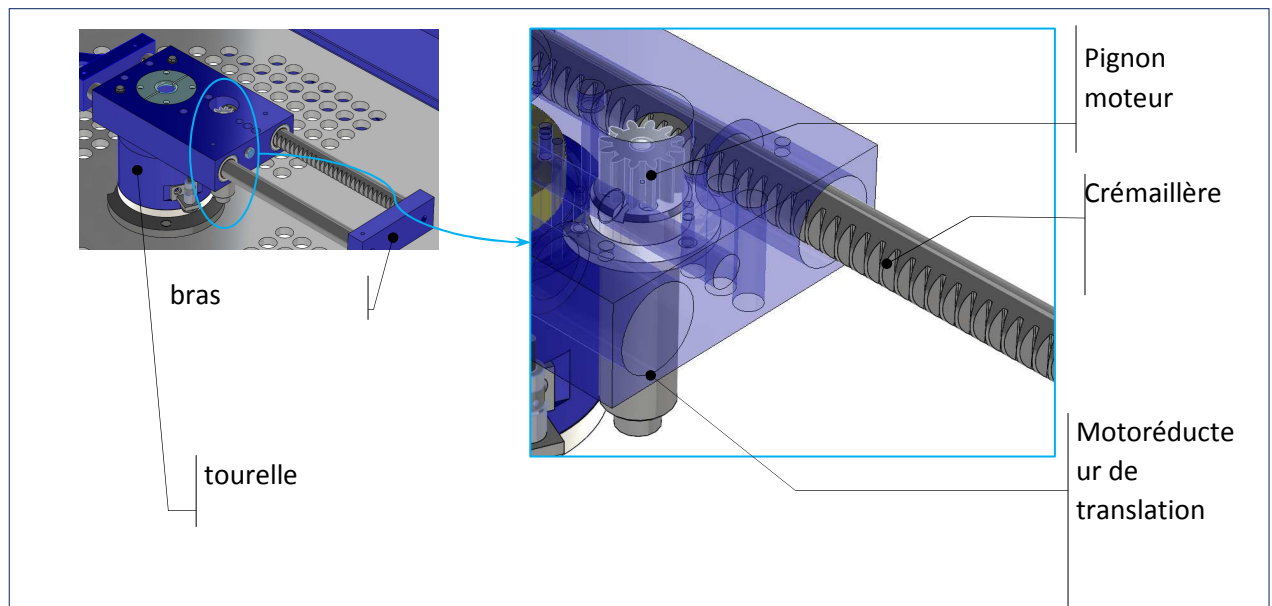


fig. 10 : Image du motoréducteur de rotation (doc. Maxon)

Lié complètement à l'arbre de sortie du motoréducteur un pignon (réf Nozag. SG 2012 N) à denture droite, de module 2 et de 12 dents, engrène avec la crémaillère (réf Nozag. XA2020-500) du bra. La société Nozag ne donne aucune



précision sur les dentures.

fig. 6 : Image de l'entraînement en translation rectiligne

La fig. 7 donne l'image d'un éclaté d'un motoréducteur Maxon.



fig. 7 : Image d'un motoréducteur (doc. Maxon)

### 3.5 Diagrammes SysML

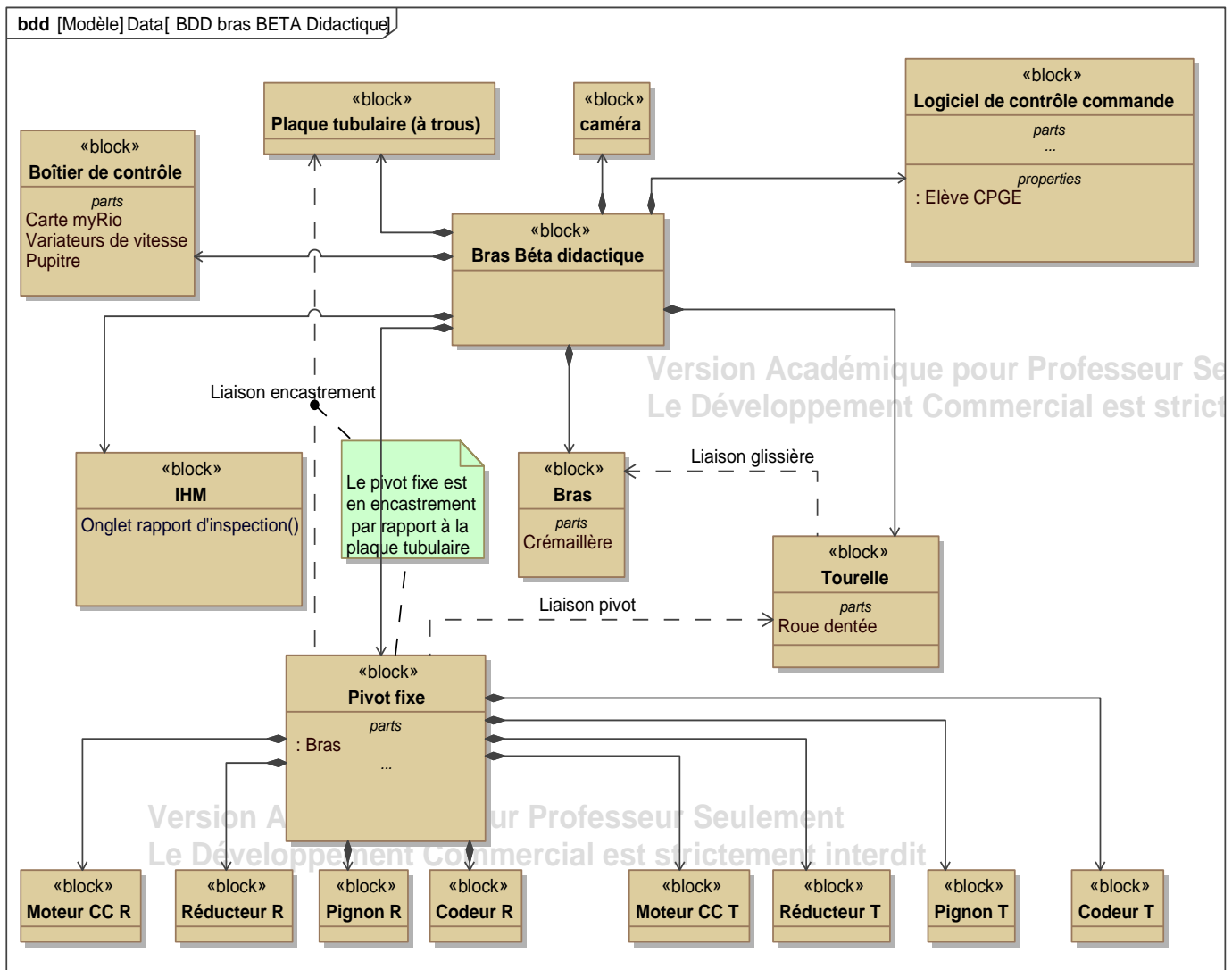
Les diagrammes SysML sont donnés ci-après et définissent :

**N.B. : Pour mettre le système en fonctionnement, se reporter au diagramme de séquences**

- la structure et l'organisation de la partie opérative (bdd) : *définit les constituants et leurs relations*
- la structure de la commande (ibd) : *montre l'organisation globale avec les échanges d'énergie et d'information*
- La structure de l'axe en rotation (ibd) : *détails des échanges pour la gestion de ce mouvement*
- La structure de l'axe en translation (ibd) : *détails des échanges pour la gestion de ce mouvement*
- Les exigences (req) synthétisées dans un tableau : *décrit les contraintes à respecter par le système*

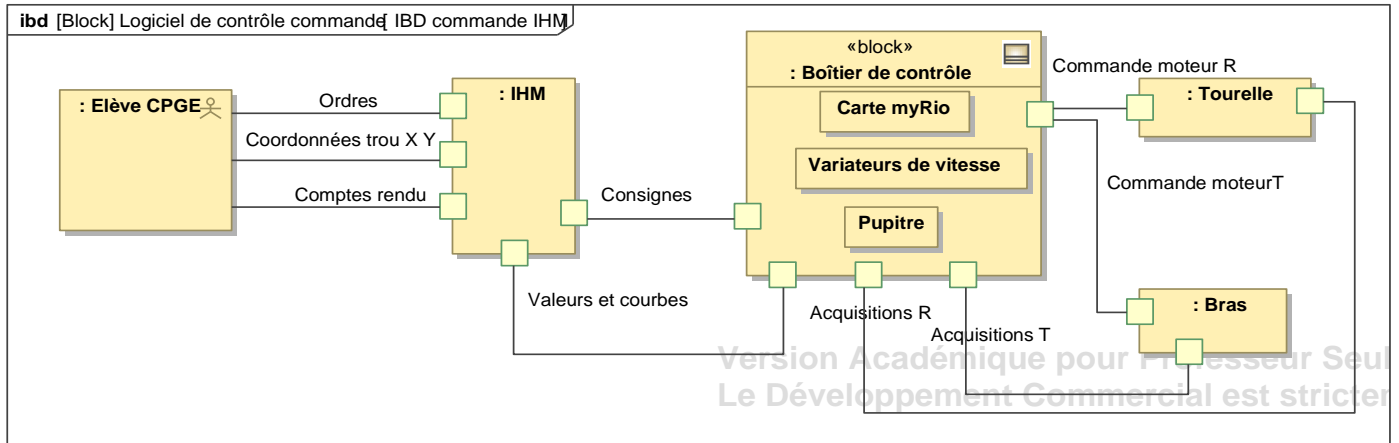
#### 3.5.1 Structure de la Partie Opérative (bdd)

- *définit les constituants et leurs relations*



#### 3.5.2 Structure de la commande (ibd)

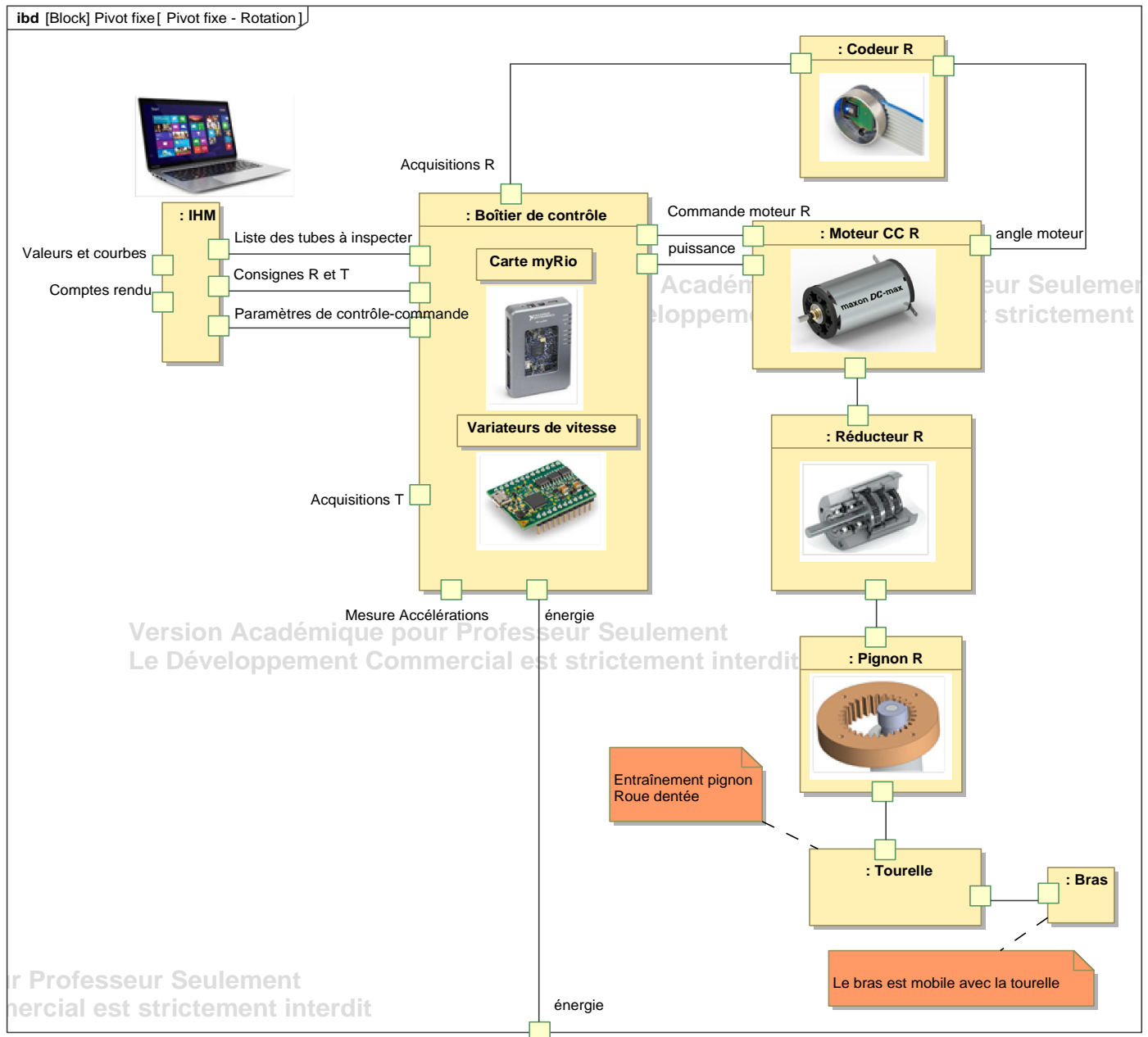
- *montre l'organisation globale avec les échanges d'énergie et d'information*





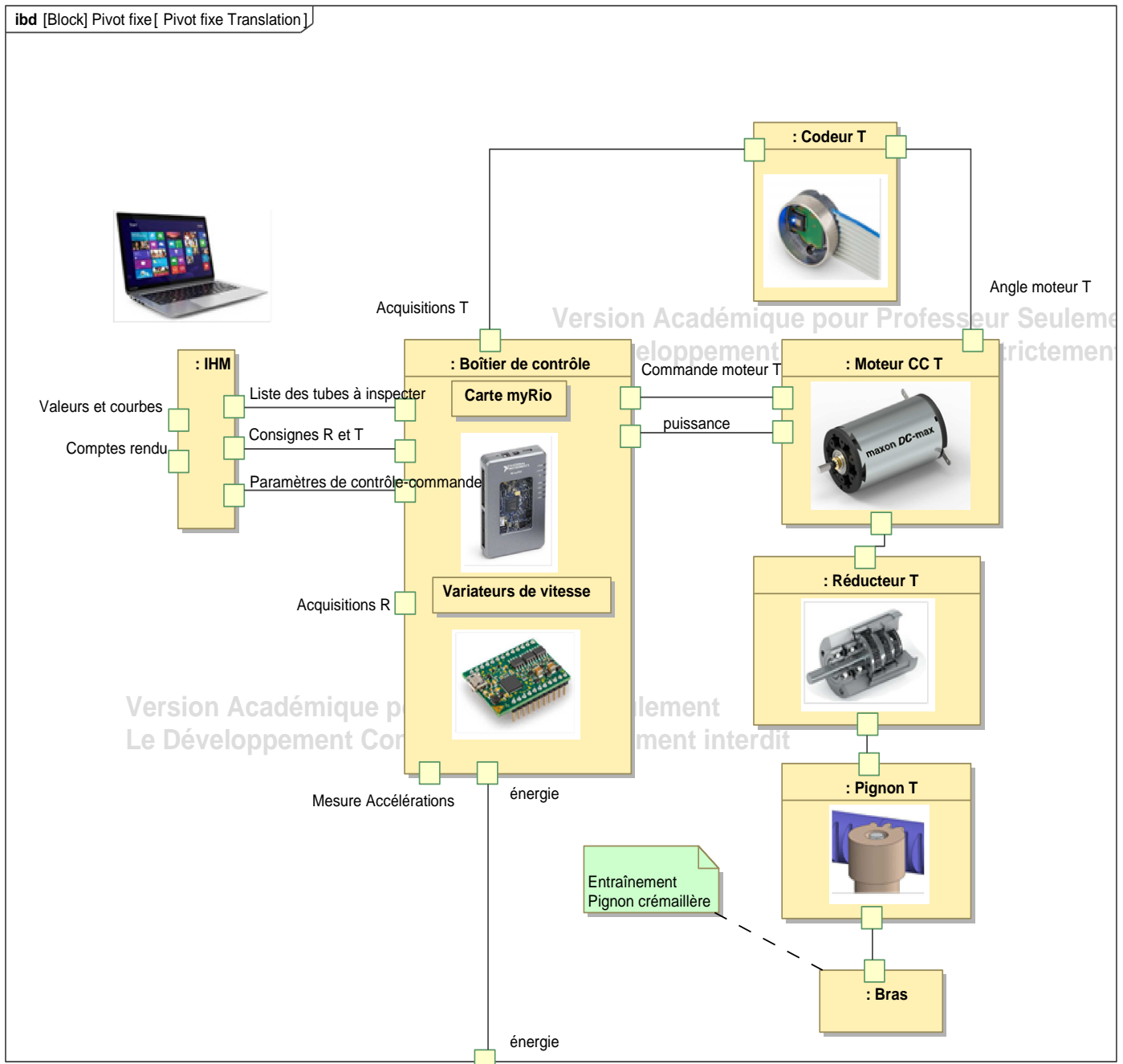
### 3.5.3 Structure de l'axe en rotation (ibd)

- détails des échanges d'énergie et d'informations pour la gestion de ce mouvement



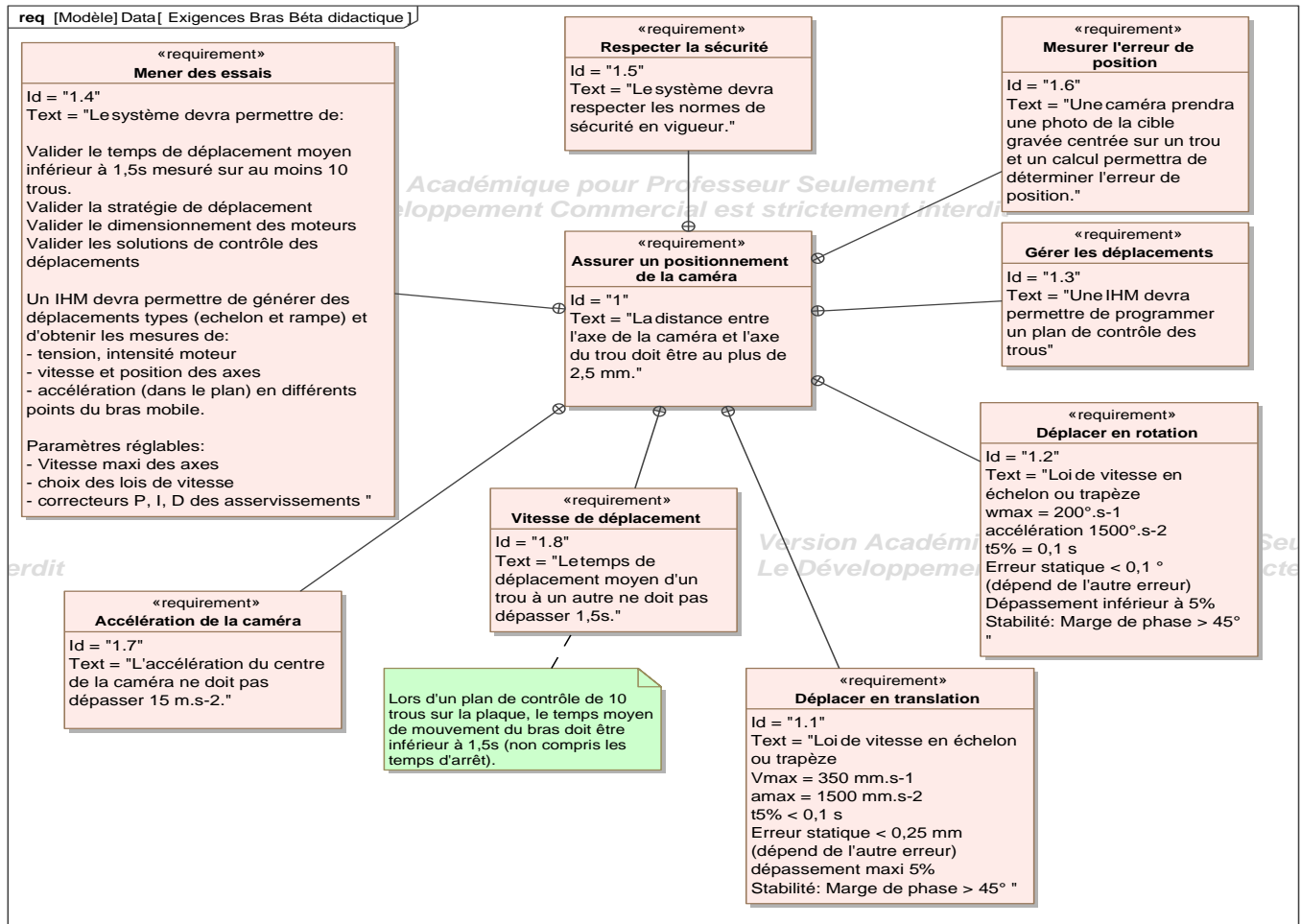
### 3.5.4 Structure de l'axe en translation (ibd)

- détails des échanges d'énergie et d'informations pour la gestion de ce mouvement



### 3.5.5 Exigences (req)

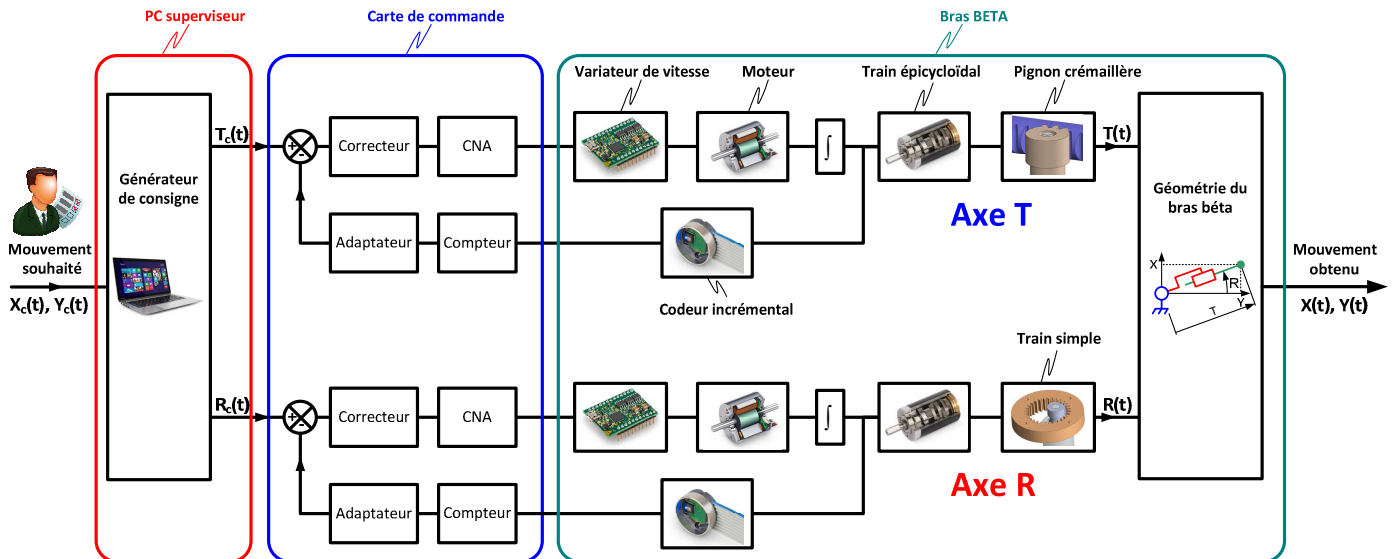
- décrit les contraintes à respecter par le système



#	Id	Nom	Text
1	1	Assurer un positionnement de la caméra	La distance entre l'axe de la caméra et l'axe du trou doit être au plus de 2,5 mm.
2	1.1	Déplacer en translation	Loi de vitesse en échelon ou trapèze Vmax = 350 mm.s-1 amax = 1500 mm.s-2 t5% < 0,1 s Erreur statique < 0,25 mm (dépend de l'autre erreur) dépassement maxi 5% Stabilité: Marge de phase > 45°
3	1.2	Déplacer en rotation	Loi de vitesse en échelon ou trapèze wmax = 200°.s-1 accélération 1500°.s-2 t5% = 0,1 s Erreur statique < 0,1 ° (dépend de l'autre erreur) Dépassement inférieur à 5% Stabilité: Marge de phase > 45°
4	1.3	Gérer les déplacements	Une IHM devra permettre de programmer un plan de contrôle des trous Le système devra permettre de:  Valider le temps de déplacement moyen inférieur à 1,5s mesuré sur au moins 10 trous. Valider la stratégie de déplacement Valider le dimensionnement des moteurs Valider les solutions de contrôle des déplacements
5	1.4	Mener des essais	Un IHM devra permettre de générer des déplacements types (echelon et rampe) et d'obtenir les mesures de: - tension, intensité moteur - vitesse et position des axes - accélération (dans le plan) en différents points du bras mobile.  Paramètres réglables: - Vitesse maxi des axes - choix des lois de vitesse - correcteurs P, I, D des asservissements
6	1.5	Respecter la sécurité	Le système devra respecter les normes de sécurité en vigueur.
7	1.6	Mesurer l'erreur de position	Une caméra prendra une photo de la cible gravée centrée sur un trou et un calcul permettra de déterminer l'erreur de position.
8	1.7	Accélération de la caméra	L'accélération du centre de la caméra ne doit pas dépasser 15 m.s-2.
9	1.8	Vitesse de déplacement	Le temps de déplacement moyen d'un trou à un autre ne doit pas dépasser 1,5s.

## 4 Organisation générale de la commande

L'organisation matérielle et fonctionnelle de la commande du bras BETA peut être représentée par le schéma d'ensemble ci-dessous :



Ce schéma fait apparaître trois grands blocs :

- Le PC superviseur qui fait fonction d'interface homme-machine
- La carte de commande (la cible myRIO) qui exécute le programme de contrôle-commande
- Le bras BETA proprement dit c'est-à-dire sa partie opérative.


## 4.1 Bras BETA proprement dit

On fait référence ici à la partie opérative. Elle est constituée des éléments matériels suivants :



Axe de translation T	Axe de rotation R	Eléments communs
Variateur de vitesse	Variateur de vitesse	Caméra industrielle
Motoréducteur	Motoréducteur	Partie mécanique du robot (coulisseau, mât, guidages...)
Pignon-crémaillère	Pignon-couronne	
Codeur incrémental	Codeur incrémental	


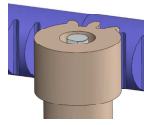

## 5 Description matérielle

### 5.1 Chaînes d'énergie




	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
1	Alimentation axe R et T 	Alimentation de puissance à découpage 100 W Sortie : 24 V, courant continu  Entrée : alimentation secteur 220V, 50Hz

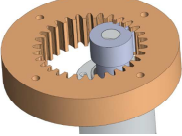

### Axe de translation T

	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
2	Variateur axe T 	Gain pur réglé à la valeur $B_T = 1.6$ Saturation du courant réglée à 1.5 A Entrées : 1- ordre de vitesse de rotation, sous forme de tension électrique 2- énergie électrique 24 V, <b>courant continu</b> Sortie : puissance électrique adaptée aux ordre, délivrée au moteur
3	Moteur à courant continu axe T 	Puissance nominale 22 W Tension nominale : 24 V Intensité nominale : 1.08 A Vitesse nominale : 8100 tr/min Couple nominal : $26.6 \cdot 10^{-3}$ N.m



4	Réducteur axe T 	Réducteur à train épicycloïdal à deux étages Réduction de rapport $i_T = \frac{\text{Vitesse de rotation de sortie}}{\text{Vitesse de rotation d'entrée}} = \frac{190}{4950} \approx \frac{1}{26}$
5	Pignon crémaillère axe T 	Pignon-crémaillère. Pignon de $Z_T = 12$ dents, module 2. Rayon primitif $R_p$ du pignon : $R_p = \dots$
6	Codeur incrémental axe T 	Technologie à effet Hall Gain du codeur incrémental : $C_T = \frac{m_T(t)}{\theta_T(t)}$ (incréments/rad) 1024 points par tour (1024 points par tour décodé en $\times 4$ par la carte de commande soit 4096 incréments par tour) Entrée : position en degrés Sortie : code numérique

## Axe de rotation R


	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
7	Variateur axe R 	Gain pur réglé à la valeur $B_R = 1.6$ Saturation du courant réglée à 1.5 A Entrées : 1- ordre de vitesse de rotation, sous forme de tension électrique 2- énergie électrique 24 V, <b>courant continu</b> Sortie : puissance électrique adaptée aux ordre, délivrée au moteur
8	Moteur à courant continu axe R 	Puissance nominale 22 W Tension nominale : 24 V Intensité nominale : 1.08 A Vitesse nominale : 8100 tr/min Couple nominal : $26.6 \cdot 10^{-3}$ N.m
9	Réducteur axe R 	Réducteur à train épicycloïdal à trois étages Réduction de rapport : $i_{R1} = \frac{\text{Vitesse de rotation de sortie}}{\text{Vitesse de rotation d'entrée}} = \frac{3610}{371250} \approx \frac{1}{103}$

10	Réducteur axe R 	Réducteur à train simple $Z_{\text{entrée}} = 12$ dents $Z_{\text{sortie}} = 30$ dents Réduction de rapport $i_{R2} = \frac{12}{30}$
11	Codeur incrémental axe R 	Technologie à effet Hall Gain du codeur incrémental : $C_R = \frac{m_R(t)}{\theta_R(t)}$ (incréments/rad)  1024 points par tour (1024 points par tour décodé en $\times 4$ par la carte de commande soit 4096 incréments par tour)

## 5.2 Chaînes d'information

	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
12	Ordinateur 	Fait fonction d'IHM et de générateur de consigne
13	Carte de commande T et R 	Fait fonction de carte de contrôle-commande <ul style="list-style-type: none"> <li>Fonction de transfert des correcteurs :  <math>G_T(p) = \frac{\varepsilon_{2-T}(p)}{\varepsilon_{1-T}(p)}</math> et <math>G_R(p) = \frac{\varepsilon_{2-R}(p)}{\varepsilon_{1-R}(p)}</math> </li> <li>Gain des adaptateurs de la chaîne de retour :  <math>D_T = \frac{T(t)}{m_T(t)}</math> (mm/inc) et <math>D_R = \frac{R(t)}{m_R(t)}</math> (mm/inc) </li> <li>Convertisseur numérique analogique (CNA)  Axe T : un mm (dans l'ordinateur, nombre en fait sans dimension) est converti en un volt (en sortie de carte)  Axe R : un degré (dans l'ordinateur, nombre en fait sans dimension) est converti en un volt (en sortie de carte)  <math>\varepsilon_{3-T}(t) = \varepsilon_{2-T}(t)</math> si <math>\varepsilon_{2-T}(t) \in [-10V, +10 V]</math> sinon saturation à <math>\pm 10 V</math> </li> </ul>



	<p>Camera industrielle IDS uEye XS</p>  A black, compact industrial camera with a lens and the IDS logo.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capteur CMOS de 5 Méga pixels</li><li>• Résolution jusqu'à <math>2592 \times 1944</math> en VGA</li><li>• Fréquence d'acquisition jusqu'à 15 fps en JPEG.</li></ul>
--	---	---