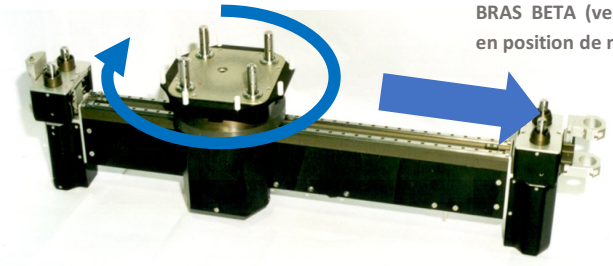
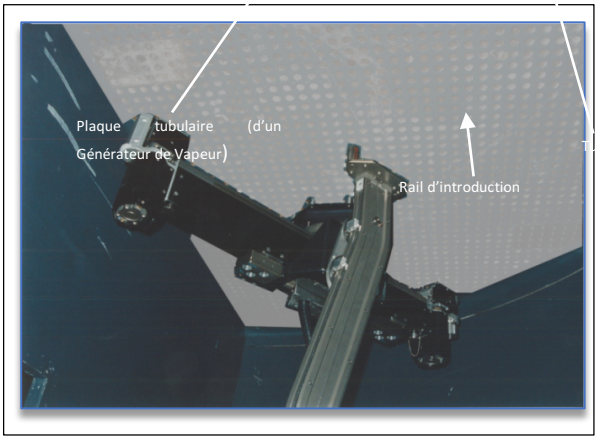
BRAS BETA

Dossier technique

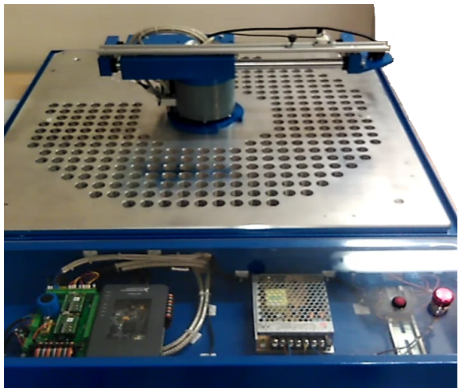
Du système réel …

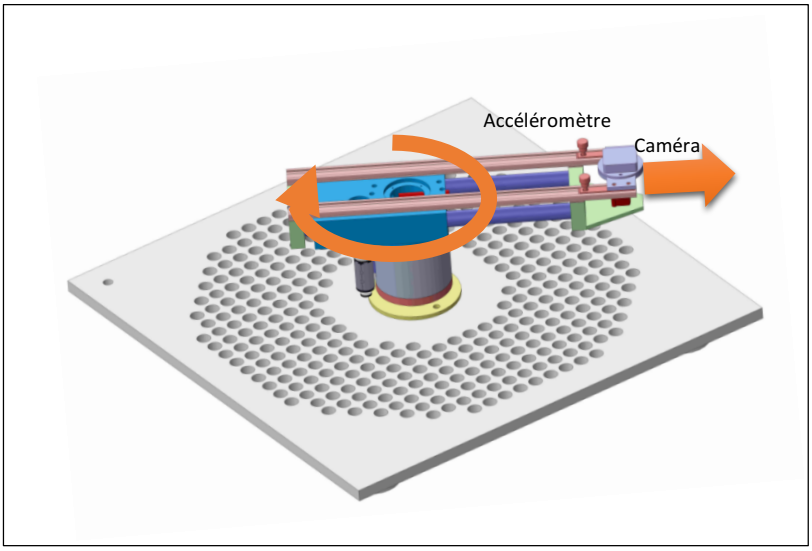


BRAS BETA (version industrielle) en position de maintenance



… au système didactique





Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail…), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

Table des matières

1- Présentation succincte du Bras BETA industriel 3
2- Diagrammes SysML du Bras BETA industriel 4
3- Présentation du Bras BETA didactique 8
4- Description fonctionnelle de la double chaîne d'asservissement 12
5- Description matérielle – Documents techniques 12
5-1- Chaînes d'énergie 12
5-2- Chaînes d'information 14
6- Mode d'emploi du logiciel de pilotage 15
6-1- Initialisation 15
6-2- Pilotage en Boucle ouverte – Boucle fermée 15

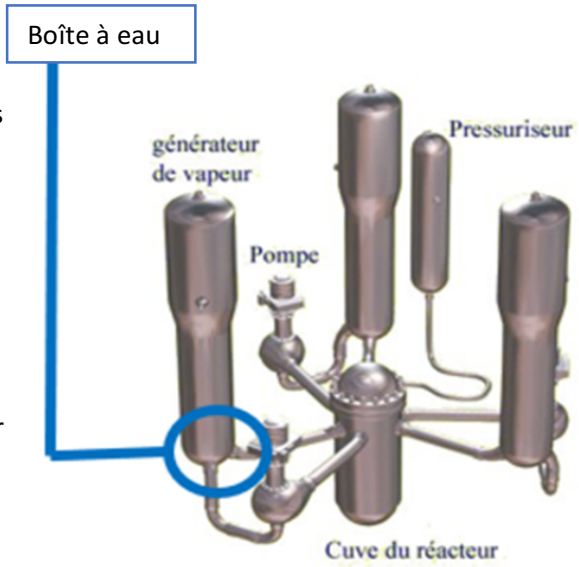
Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

1- Présentation succincte du Bras BETA industriel

Les diagrammes SysML fournis ci-après permettent de visualiser :

- le cas d'utilisation (uc)
- la structure et l'organisation de la partie opérative (bdd)
- la structure et l'organisation de la commande (ibd)
- les exigences (req) synthétisées dans un tableau

Contexte industriel contaminé :



Ce robot intervient en phase d'arrêt de la centrale nucléaire, dans un espace où circule l'eau contaminée du circuit primaire (proche du cœur du réacteur).

Cette eau chaude arrive dans la boîte à eau puis circule sous pression dans les tubes en U inversés du générateur de vapeur (GV).

Des mesures permanentes permettent de savoir qu'il y a des fuites radioactives à travers les tubes. Sous les effets de la chaleur et de la pression, les tubes sont soumis à de très fortes contraintes et peuvent se fissurer.

A l'extérieur des tubes, l'eau du circuit secondaire s'évapore. La vapeur sert ensuite à faire tourner des turbines qui vont générer le courant électrique.

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 divisée par une paroi en 2 zones pour l'arrivée de l'eau chaude et le retour de l'eau refroidie après échange de chaleur.

Un robot est donc chargé de déplacer un capteur de tube en tube (d'un seul coté) pour les inspecter sur toute leur longueur. Ce capteur est une sonde à courants de Foucault.

De nombreux robots existent sur le marché. Les ingénieurs de Recherche et développement conçoivent des systèmes se voulant originaux pour ne pas avoir à payer la concurrence. Dans ce contexte est né le Bras BETA dont le brevet a été déposé par EDF au nom de M. Antoine GEMMA. Une version à double bras a été développée par la suite pour plus d'efficacité, mais son fonctionnement assez complexe ne sera pas abordé.

L'installation du robot en situation de contrôle se fait à l'aide d'un rail qui est fixé depuis l'extérieur du GV, à travers le « trou d'homme ». Le robot est acheminé le long du rail avec ses câbles et ses outils puis se cramponne dans les tubes sous la plaque à trous.

Après une initialisation qui permet de connaître précisément la position du robot sur la plaque, le contrôle peut commencer.

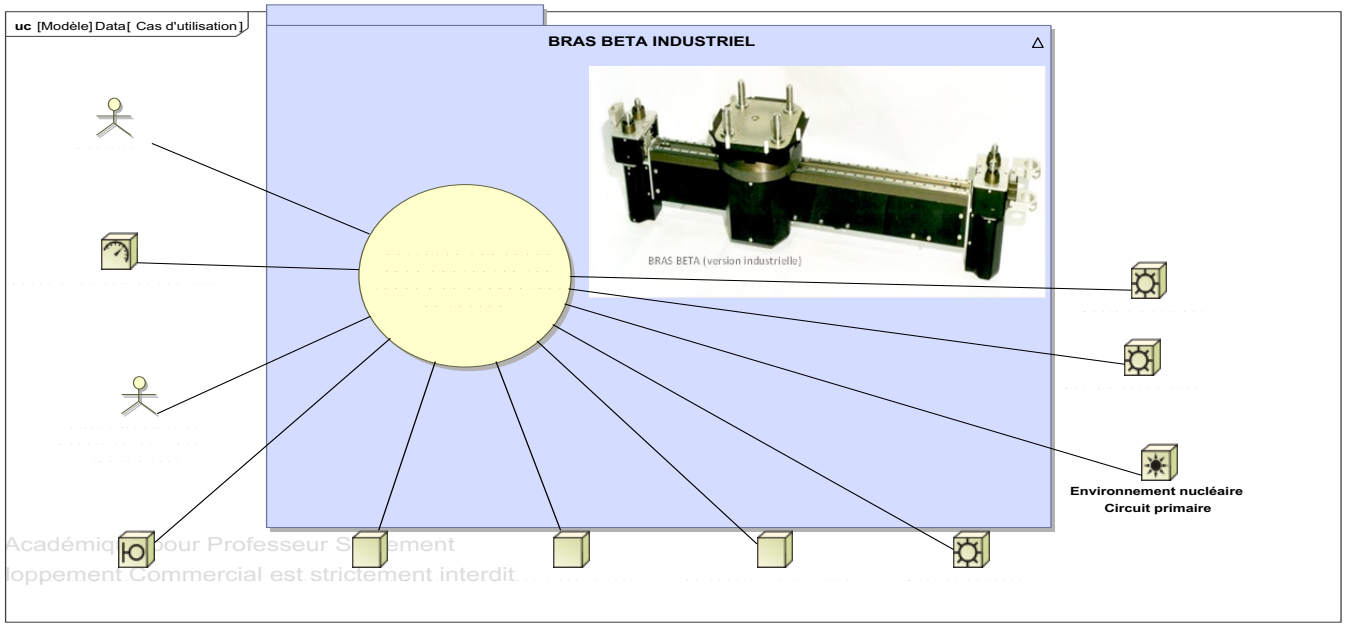
Les tubes à contrôler sont choisis sur un PC et le cycle s'exécute.

Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

Le décryptage des mesures une fois fait, les tubes fissurés sont percés puis obturés avec des bouchons étanches. Ils sont donc hors circuit et équilibrés en pression grâce au trou réalisé.

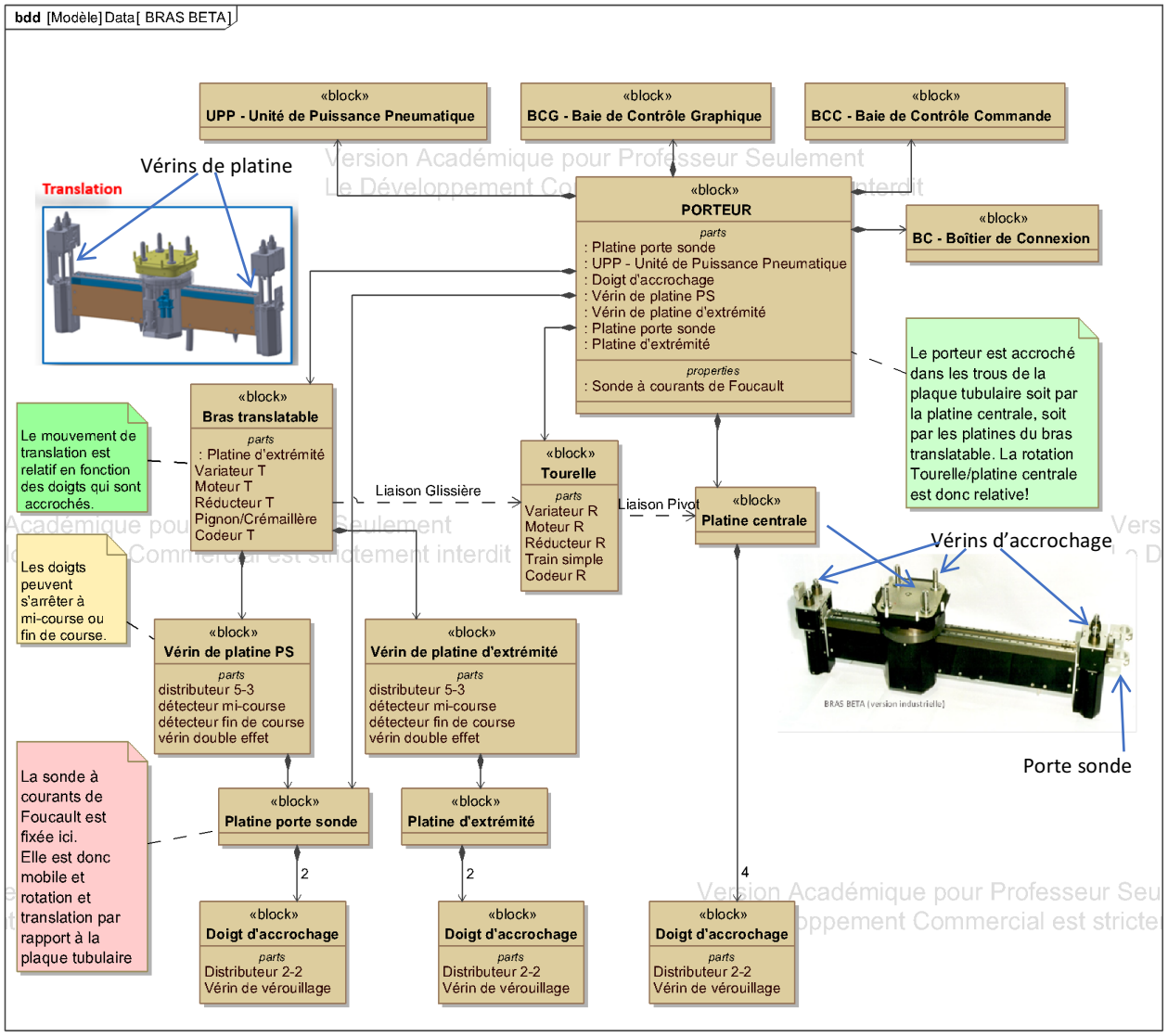
En fin de vie, le robot rejoint les autres outils et matériels contaminés pour être traités puis stockés.

2- Diagrammes SysML du Bras BETA industriel



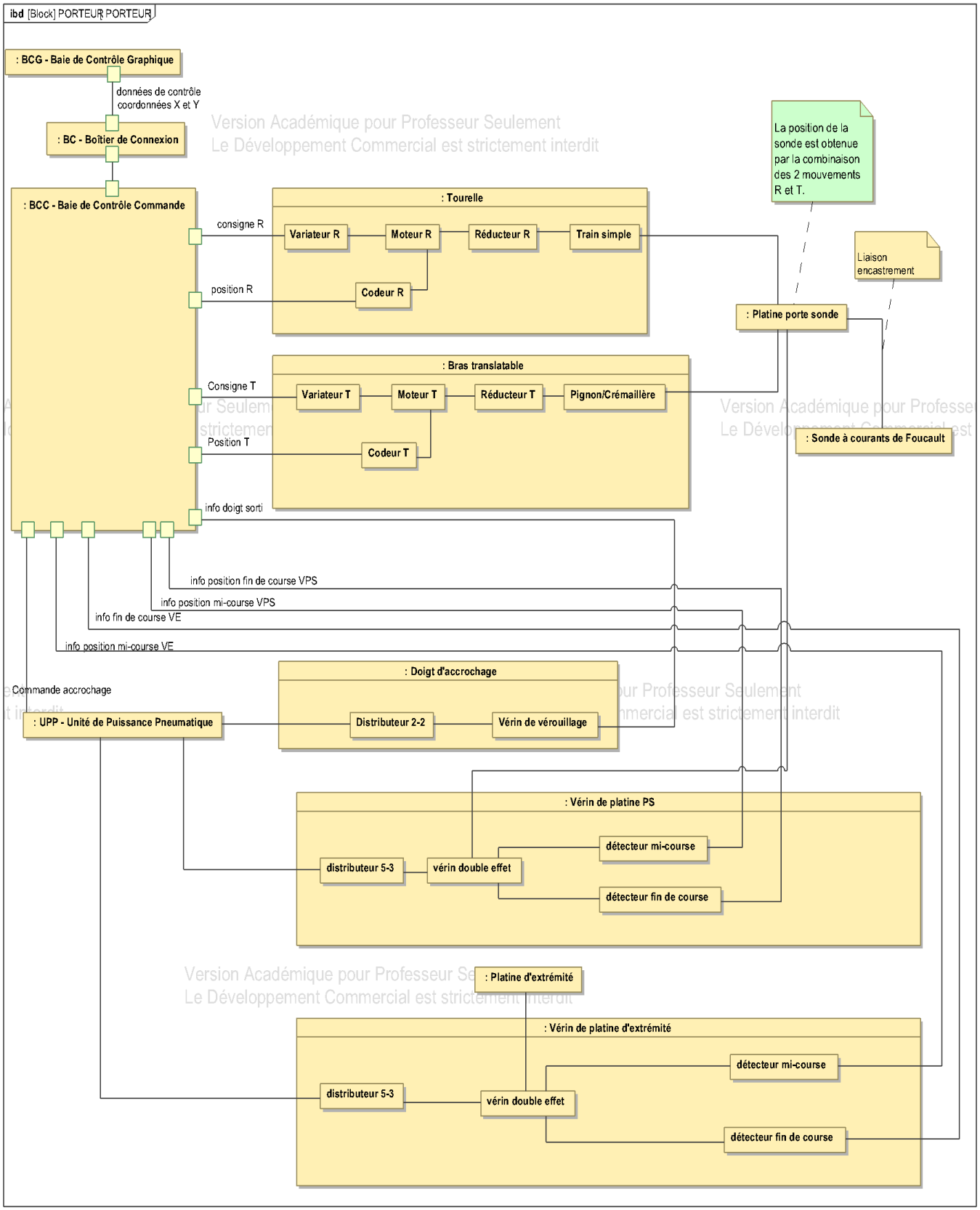
Académique pour Professeur S ement
loppement Commercial est strictement interdit

Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation



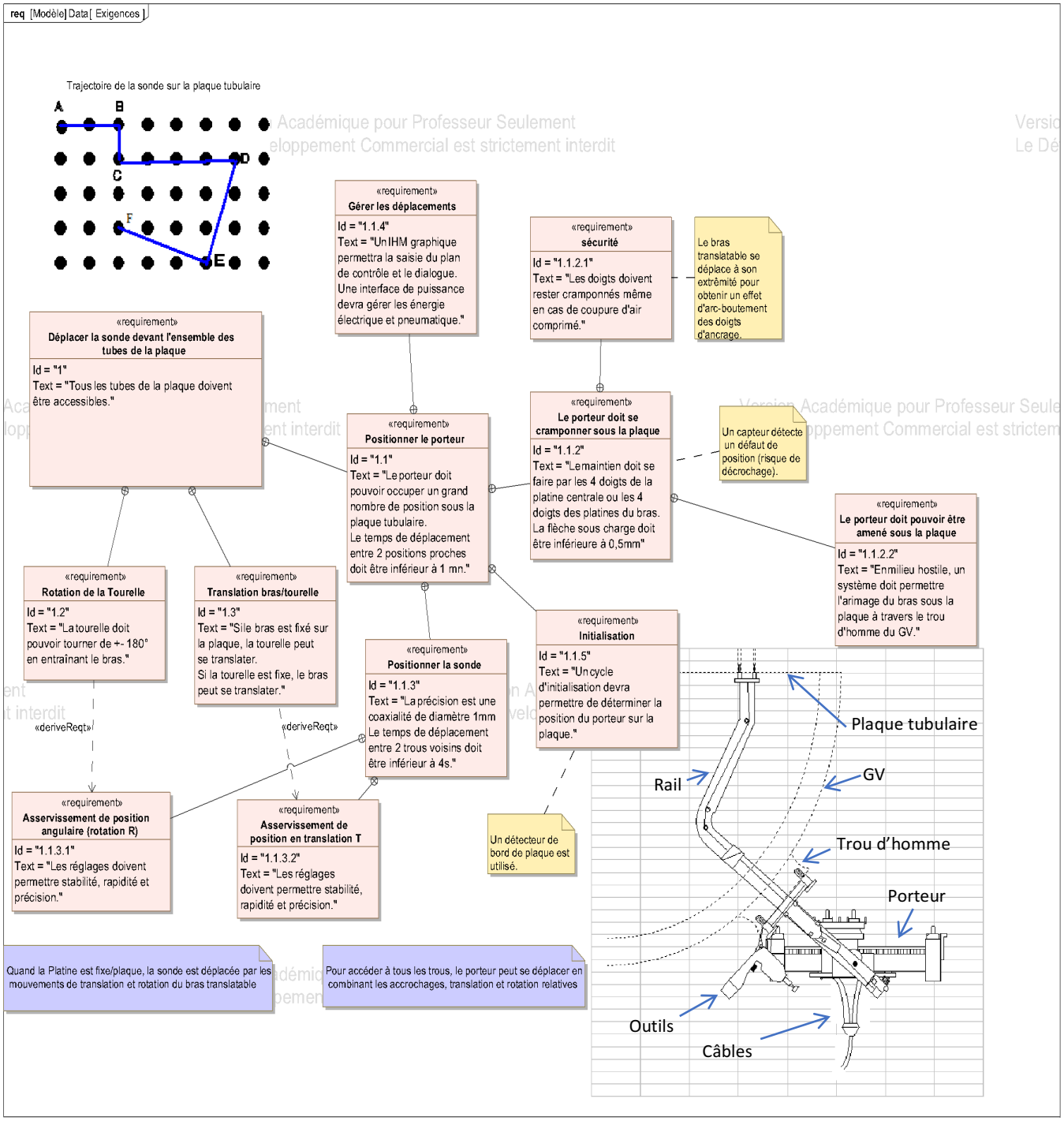
Version Académique pour Professeur Seulement
Le Développement Commercial est strictement interdit

Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail...), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation



Version Académique pour Professeur Seulement
Le Développement Commercial est strictement interdit

Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail...), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation



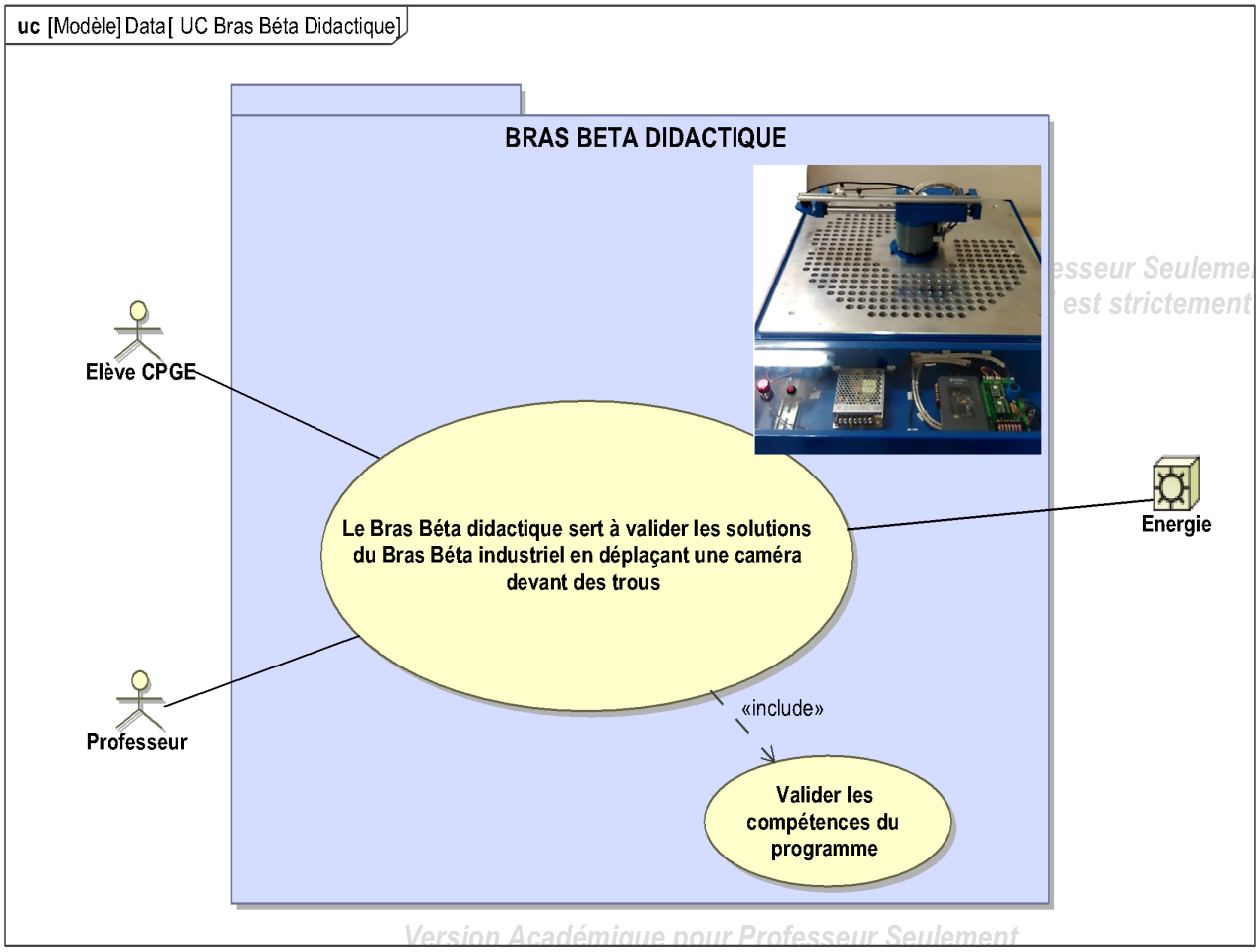
#	Id	Nom	Text
1	1	Déplacer la sonde devant l'ensemble des tubes de la	Tous les tubes de la plaque doivent être accessibles.
2	1.1	Positionner le porteur	Le porteur doit pouvoir occuper un grand nombre de position sous la plaque tubulaire. Le temps de déplacement entre 2 positions proches doit être inférieur à 1 mn.
3	1.1.2	Le porteur doit se cramponner sous la plaque	Le maintien doit se faire par les 4 doigts de la platine centrale ou les 4 doigts des platines du bras. La flèche sous charge doit être inférieure à 0,5mm
4	1.1.2.1	sécurité	Les doigts doivent rester cramponnés même en cas de coupure d'air comprimé.
5	1.1.2.2	Le porteur doit pouvoir être amené sous la plaque	En milieu hostile, un système doit permettre l'arimage du bras sous la plaque à travers le trou d'homme du GV.
6	1.1.3	Positionner la sonde	La précision est une coaxialité de diamètre 1mm Le temps de déplacement entre 2 trous voisins doit être inférieur à 4s.
7	1.1.3.1	Asservissement de position angulaire (rotation R)	Les réglages doivent permettre stabilité, rapidité et précision.
8	1.1.3.2	Asservissement de position en translation T	Les réglages doivent permettre stabilité, rapidité et précision.
9	1.1.4	Gérer les déplacements	Un IHM graphique permettra la saisie du plan de contrôle et le dialogue. Une interface de puissance devra gérer les énergie électrique et pneumatique.
10	1.1.5	Initialisation	Un cycle d'initialisation devra permettre de déterminer la position du porteur sur la plaque.
11	1.2	Rotation de la Tourelle	La tourelle doit pouvoir tourner de +- 180° en entraînant le bras.
12	1.3	Translation bras/tourelle	Si le bras est fixé sur la plaque, la tourelle peut se translater. Si la tourelle est fixe, le bras peut se translater.

Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

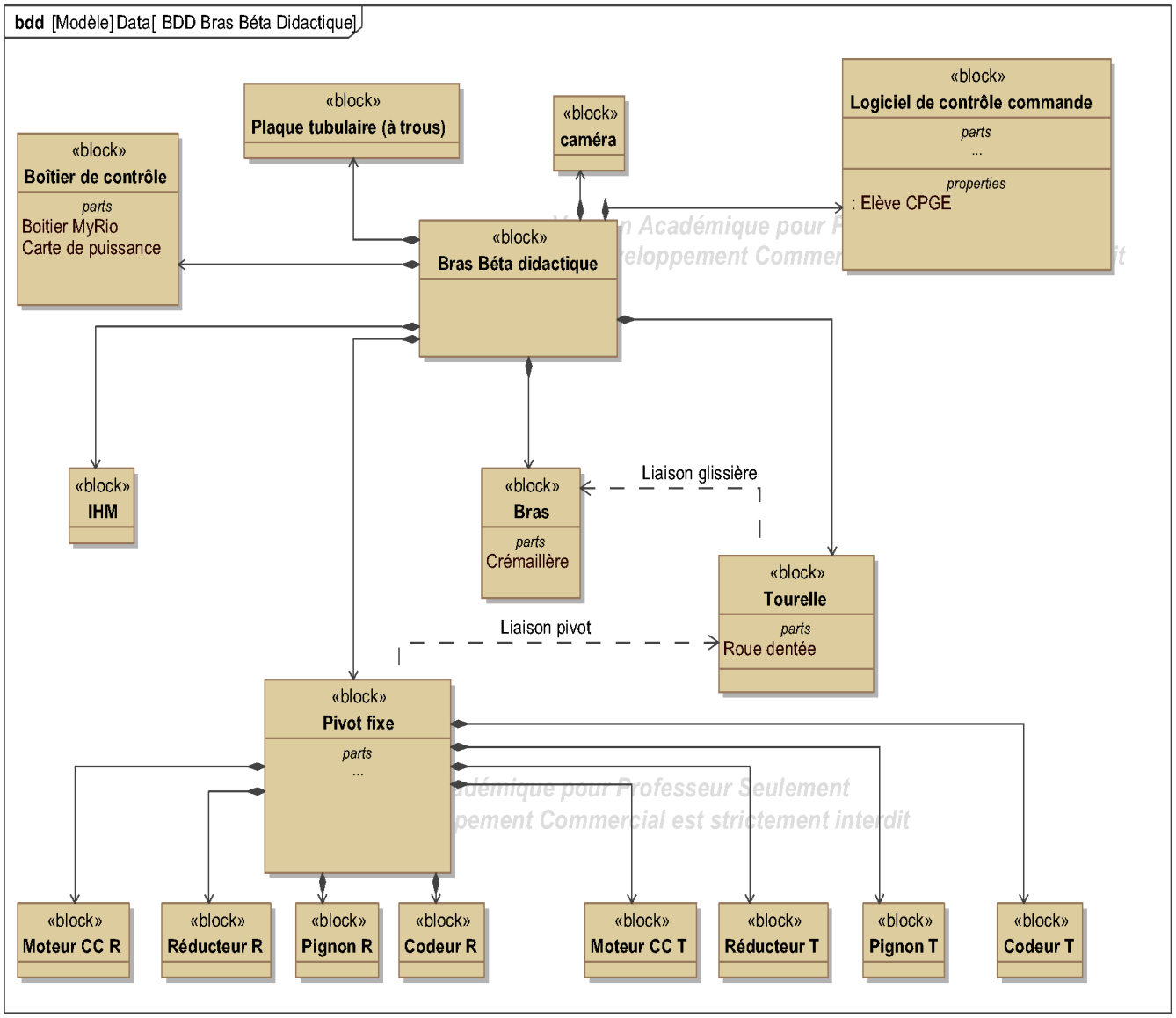
3- Présentation du Bras BETA didactique

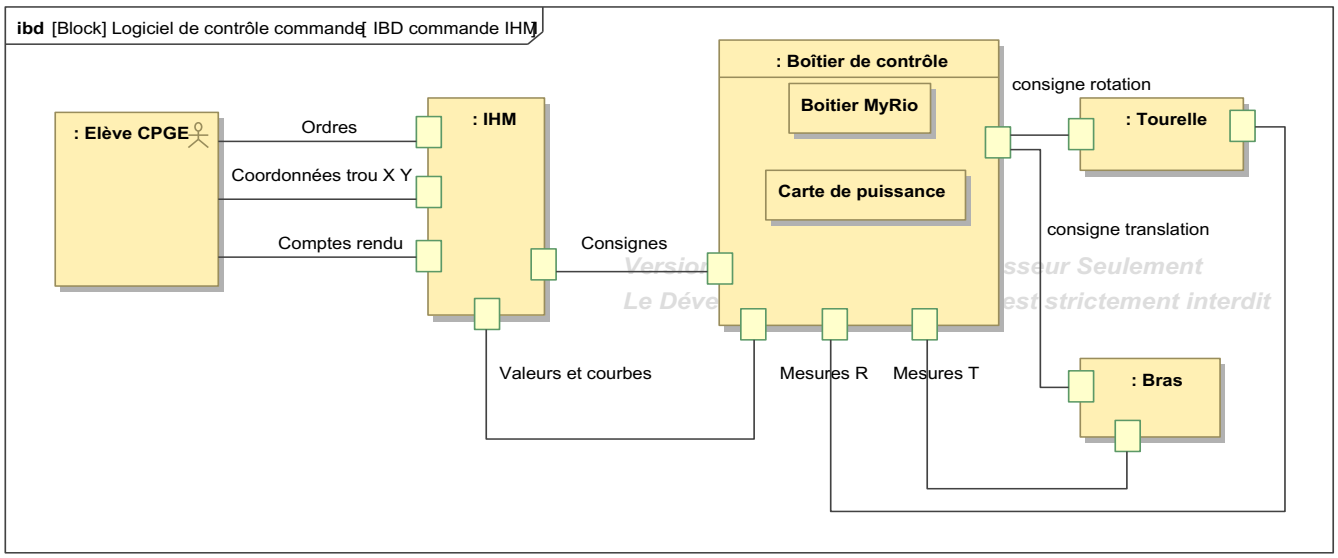
Les diagrammes SysML sont donnés ci-après et définissent :

- Le cas d'utilisation (uc)
- La structure de la Partie Opérative (bdd)
- La structure de la commande (ibd)
- La structure de l'axe en translation (ibd)
- La structure de l'axe en rotation (ibd)
- Les exigences (req)

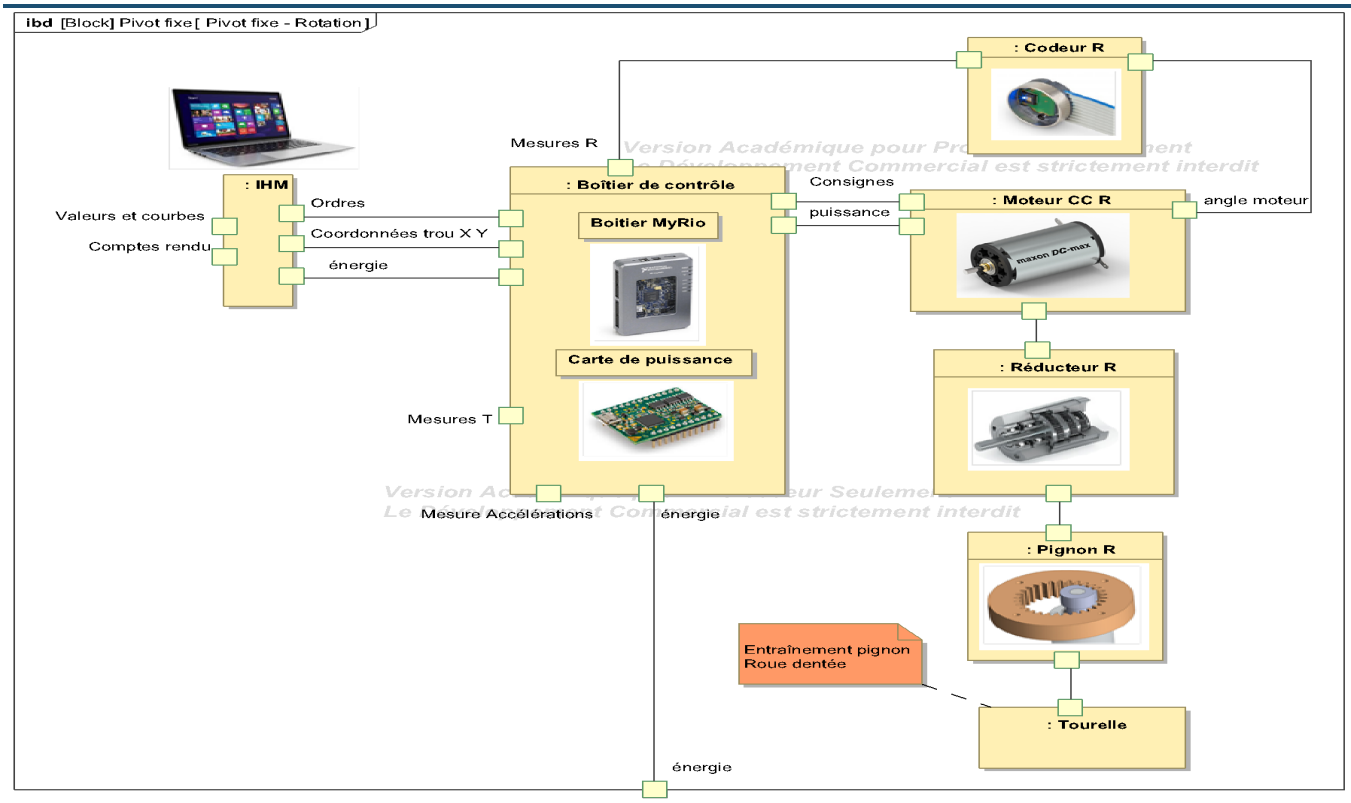


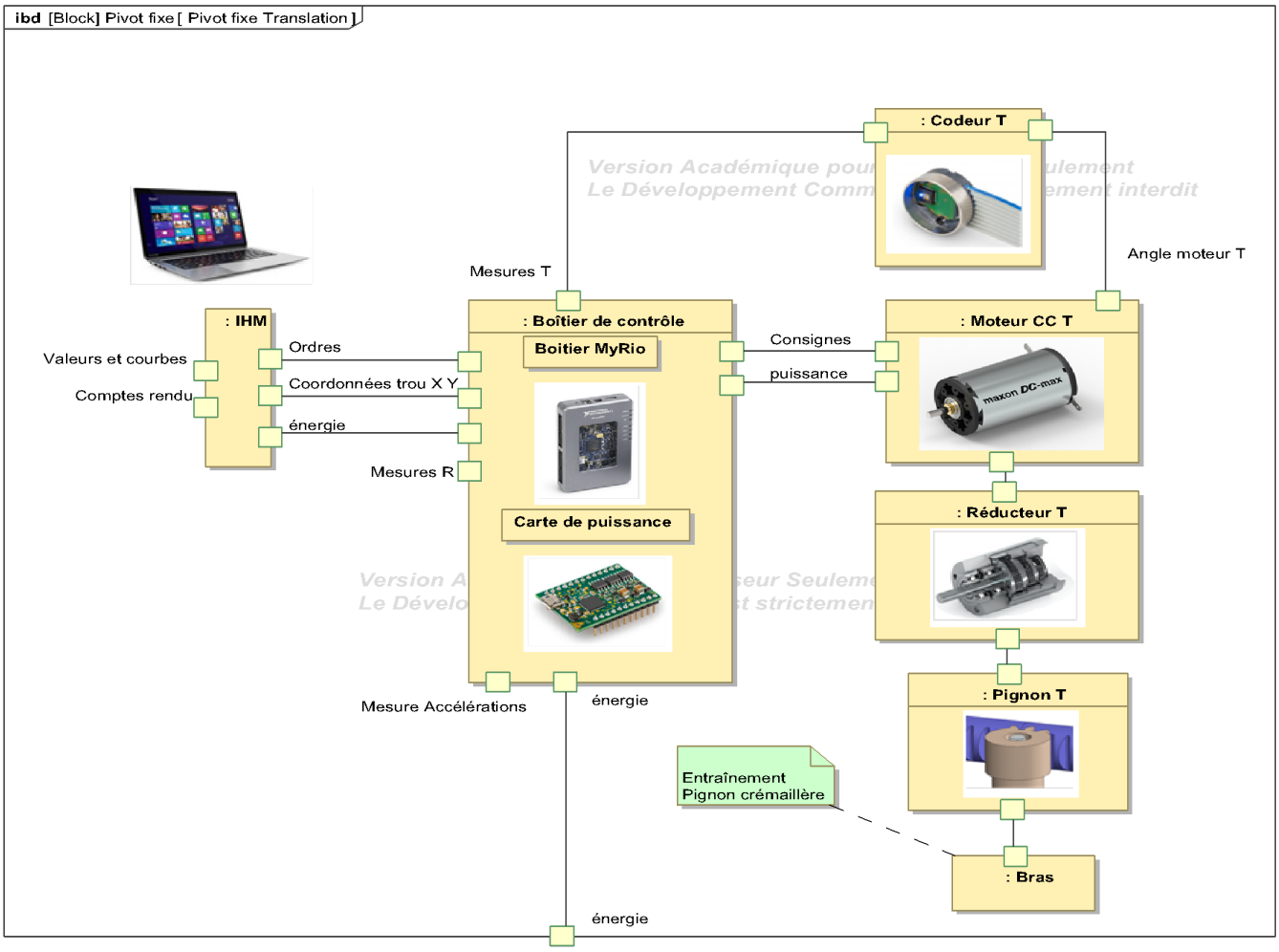
Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail...), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation



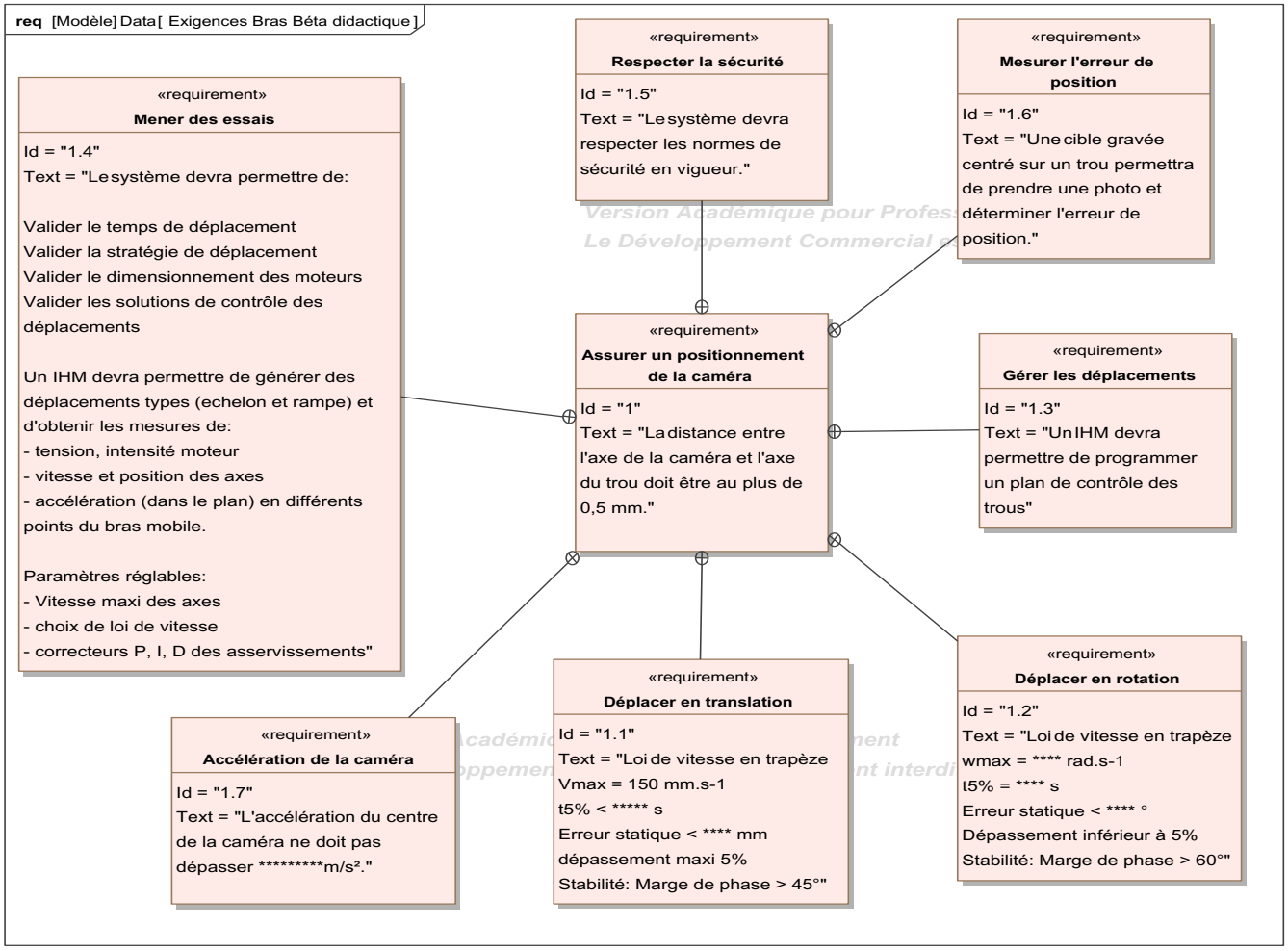


Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail...), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation





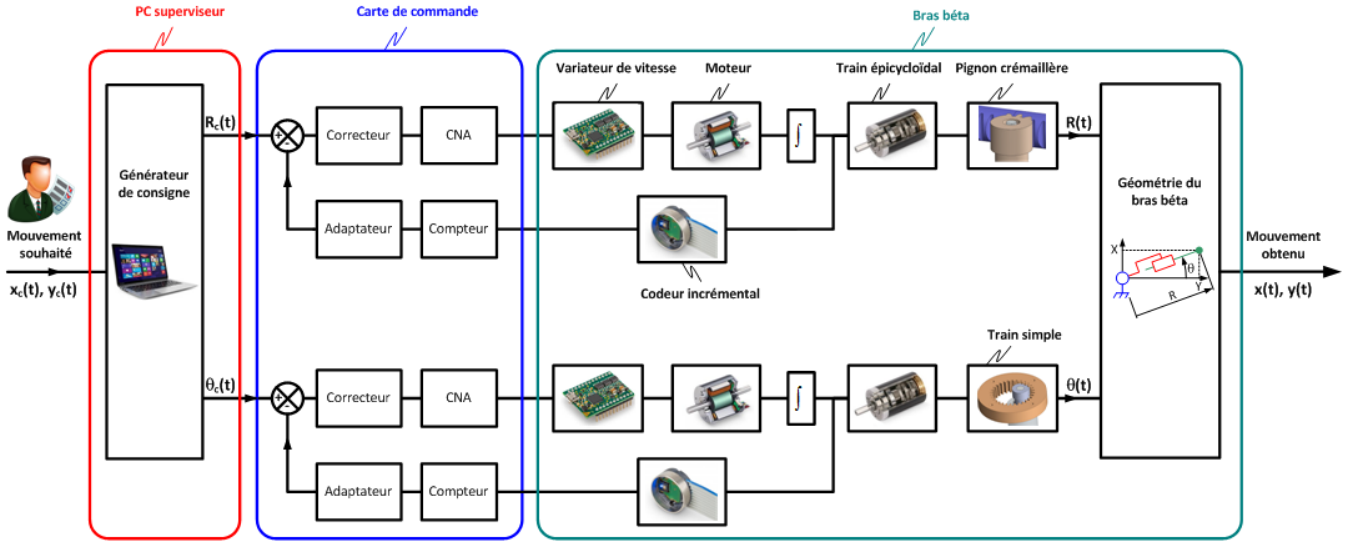
Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation



#	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 0,5 mm.
2	1.1	Déplacer en translation	Loi de vitesse en trapèze Vmax = 150 mm.s-1 t5% < ***** s Erreur statique < **** mm dépassement maxi 5% Stabilité: Marge de phase > 45°
3	1.3	Gérer les déplacements	Un IHM devra permettre de programmer un plan de contrôle des trous
4	1.4	Mener des essais	Le système devra permettre de: Valider le temps de déplacement Valider la stratégie de déplacement Valider le dimensionnement des moteurs Valider les solutions de contrôle des déplacements 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 de loi de vitesse - correcteurs P, I, D des asservissements
5	1.5	Respecter la sécurité	Le système devra respecter les normes de sécurité en vigueur.
6	1.2	Déplacer en rotation	Loi de vitesse en trapèze wmax = **** rad.s-1 t5% = **** s Erreur statique < **** ° Dépassement inférieur à 5% Stabilité: Marge de phase > 60°
7	1.6	Mesurer l'erreur de position	Une cible gravée centré sur un trou permettra de prendre une photo et déterminer l'erreur de position.
8	1.7	Accélération de la caméra	L'accélération du centre de la caméra ne doit pas dépasser *********m/s².

Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

4- Description fonctionnelle de la double chaîne d'asservissement



5- Description matérielle – Documents techniques

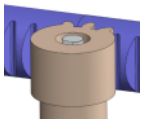
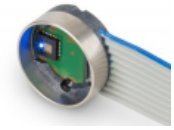
5-1- Chaînes d'énergie

	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
1	Alimentation axe R et T	Alimentation de puissance à découpage 100 W, 24 V

Axe de translation T

	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
2	Carte de puissance axe T	Gain pur réglé à la valeur $B_T = 1.6$ Saturation du courant à 1.5 A **Chaînes d'énergie**
3	Moteur à courant continu axe T	Puissance nominale 22 W Tension nominale : 24 V Intensité noiminale : 1.08 A Vitesse nominale : 8100 tr/min Couple nominal : $26.6.10^{-3}$ N.m

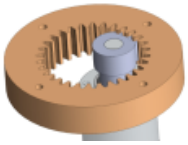
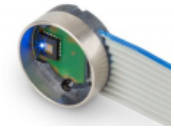
Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

4	Réducteur axe T	Réducteur à train épicycloïdal à deux étages Réduction de rapport i_T = 4950/190 (≈ 26)
5	Pignon crémaillère axe T 	Pignon-crémaillère. Pignon de Z_T = 12 dents, module 2. Rayon primitif R_P du pignon : R_P = …
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 fentes par tour (1024 fentes par tour décodé en ×4 par la carte de commande soit 4096 inc/tour)

Axe de rotation R

	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
7	Carte de puissance axe R	Gain pur réglé à la valeur B_R = 1.6 Saturation du courant à 1.5 A
8	Moteur à courant continu axe R	Puissance nominale 22 W Tension nominale : 24 V Intensité noiminale : 1.08 A Vitesse nominale : 8100 tr/min Couple nominal : $26.6.10^{-3}$ N.m
9	Réducteur axe R	Réducteur à train épicycloïdal à trois étages Réduction de rapport i_{R1} = 371250/3610 (≈ 103)

Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail…) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

10	Réducteur axe R 	Réducteur à train simple $Z_{entrée}$ = 12 dents Z_{sortie} = 30 dents Réduction de rapport i_{R2} =
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 fentes par tour (1024 fentes par tour décodé en ×4 par la carte de commande soit 4096 inc/tour)

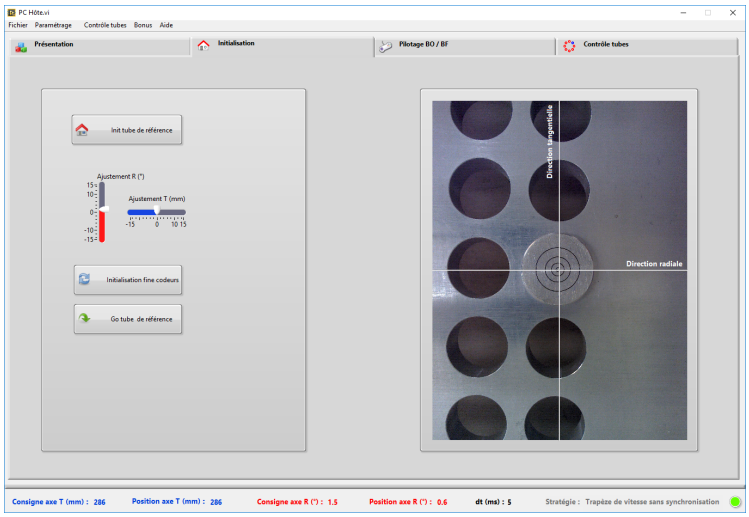
5-2- Chaînes d'information

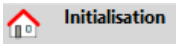
	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
12	Ordinateur	Fait fonction d'IHM uniquement et de générateur de trajectoire
13	Carte de commande T et R	• Fonction de transfert des correcteurs : $G_T(p) = \frac{\varepsilon_{2-T}(p)}{\varepsilon_{1-T}(p)}$ et $G_R(p) = \frac{\varepsilon_{2-R}(p)}{\varepsilon_{1-R}(p)}$ • Gain des adaptateurs de la chaîne de retour : $D_T = \frac{T(t)}{m_T(t)}$ (mm/inc) et $D_R = \frac{R(t)}{m_R(t)}$ • 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) $\varepsilon_{3-T}(t) = \varepsilon_{2-T}(t)$ si $\varepsilon_{2-T}(t) \in$ [-10V, +10 V] sinon saturation à $\pm$ 10 V $\varepsilon_{3-R}(t) = \varepsilon_{2-R}(t)$ si $\varepsilon_{2-R}(t) \in$ [-10V, +10 V] sinon saturation à $\pm$ 10 V • Compteur : sans dynamique

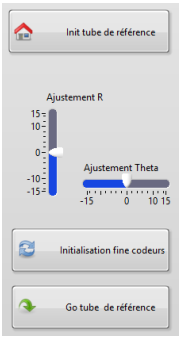
Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail...), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

6- Mode d'emploi du logiciel de pilotage

6-1- Initialisation

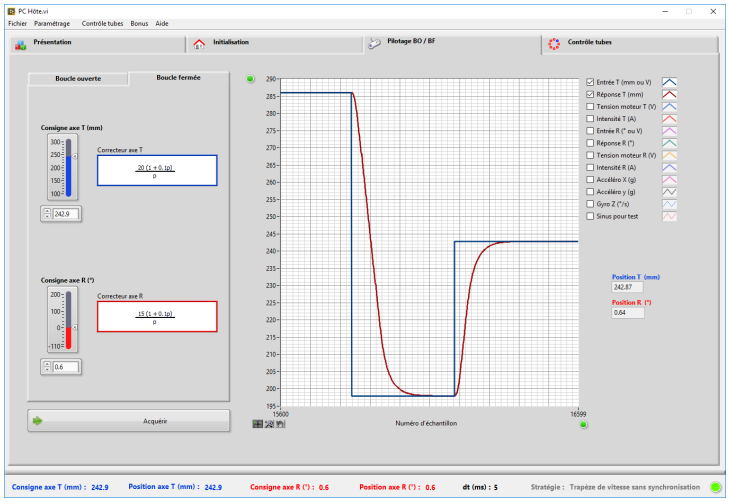


Se placer dans l'onglet d'initialisation : 



Aller sur le tube de référence (Go) et si la position visible sur la caméra n'est pas correcte, on peut ajuster le « zéro » en procédant aux ajustements sur R (radial – translation) et sur Théta (angle – rotation). Le réticule doit être au centre de la cible.

6-2- Pilotage en Boucle ouverte – Boucle fermée



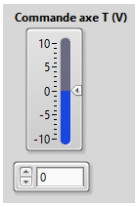
Se placer dans l'onglet de pilotage en boucle ouverte / boucle fermée

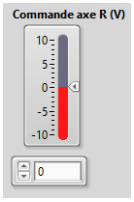
Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...), et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation

Pilotage BO / BF

Sous-onglet Boucle ouverte

La consigne donnée est en Volt pour chacun des moteurs.

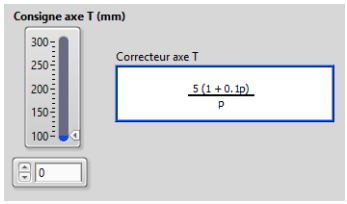


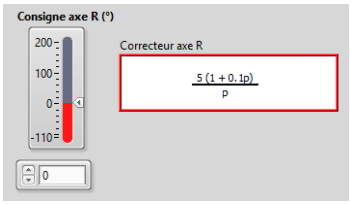


On observera que les mouvements sont libres en l'absence de commande.

Sous-onglet boucle fermée

Le correcteur proposé par défaut est un PID défini comme suit. Les consignes sont en mm pour T (translation) et en ° pour R (rotation).





Ce document est strictement confidentiel. Il est la propriété de la société S2IDidac. Toute reproduction, même partielle, ainsi que toute transmission par quelconque voie (courrier, e-mail ...) et toute utilisation à d'autres fins que pour la société S2IDidac sont totalement interdites sans autorisation