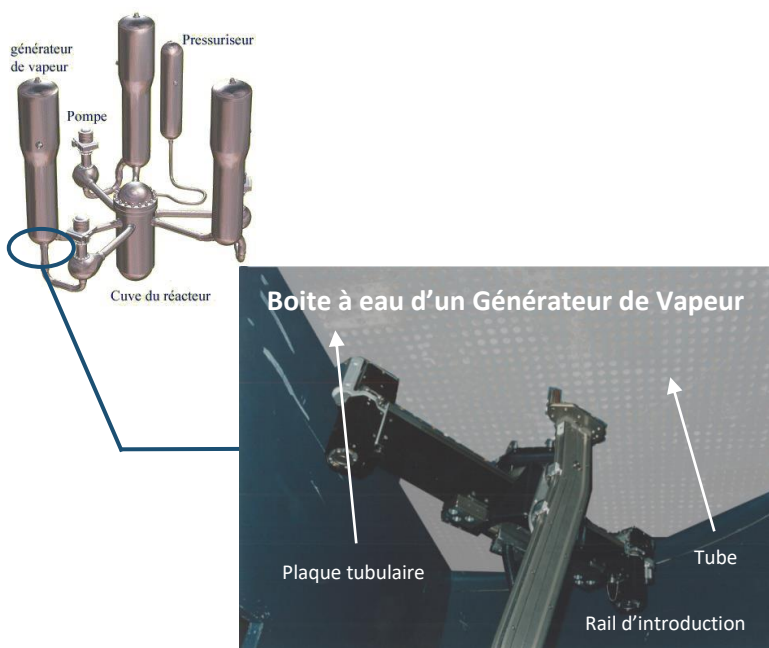


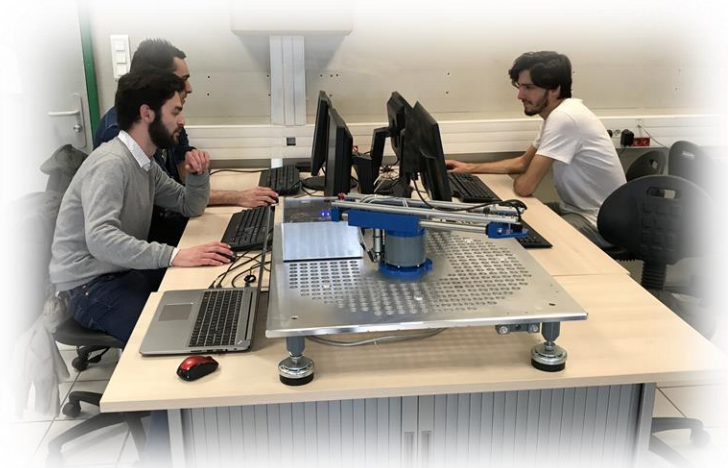
# Bras Bêta – Robot d'inspection 2 axes

## TP de prise en main

Du système réel ...



... au système didactique



## CONTEXTE

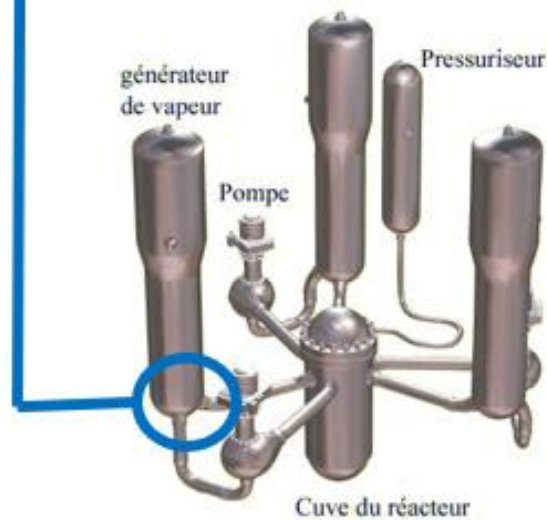
### BRAS BETA produit réel

**Domaine** : maintenance de centrale nucléaire

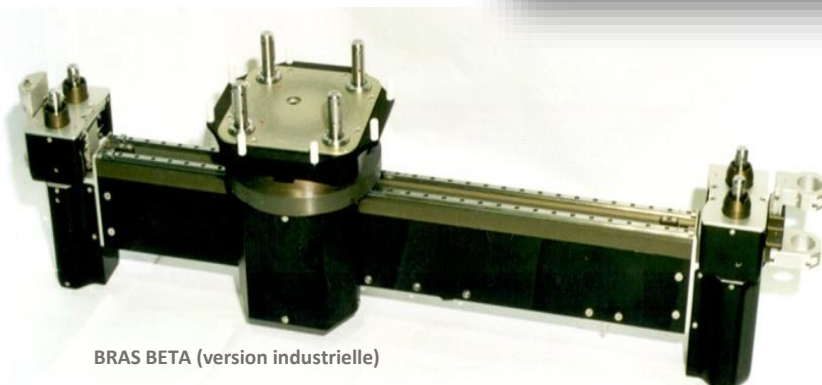
**Fonctions** : contrôle par Courant de Foucault des tubes des générateurs de vapeur d'une centrale nucléaire.



BRAS BETA en situation de d'introduction dans la boîte à eau d'un Générateur de Vapeur



**Exigences industriels :**  
précision et rapidité



## Présentation du Produit Didactique

Le BRAS BETA didactique permet de mesurer les performances réalisées, valider les performances souhaitées, simuler et justifier les écarts observés.

### Chaines cinématiques du BRAS BETA Industriel et Didactique

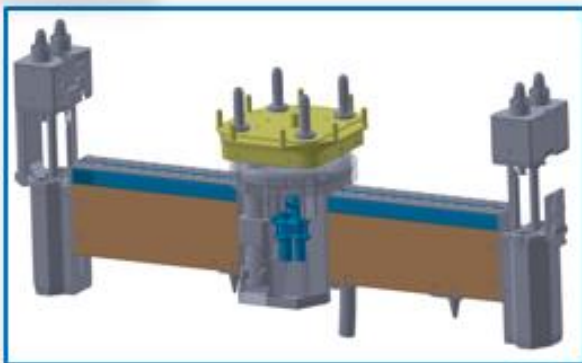
Du BRAS BETA Industriel



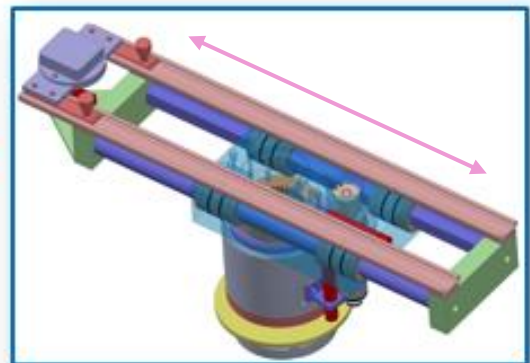
au BRAS BETA Didactique

### Asservissement de position avec loi de vitesse trapézoïdale

#### Translation

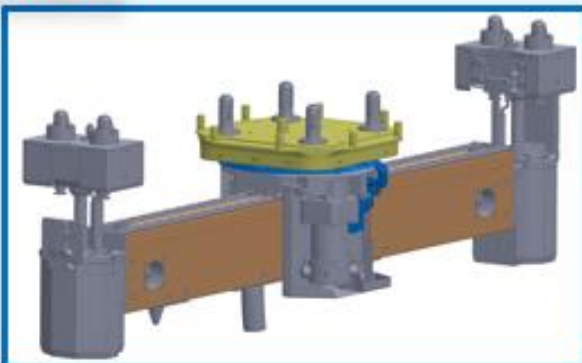


Translation = 600 mm  
MOTEUR : Type RS210 L « ALSTOM » vitesse de rotation 3000 tr/mn.  
REDUCTEUR : Rapport 1/88  
CODAGE : Le bras bêta est équipé de deux type de codage :  
GROSSIER : grâce à un potentiomètre 10 tours  
MEGATRON 2110 de 2 KOHMS  
FIN : résolveur en boîtier SAGEM OBRX0800113

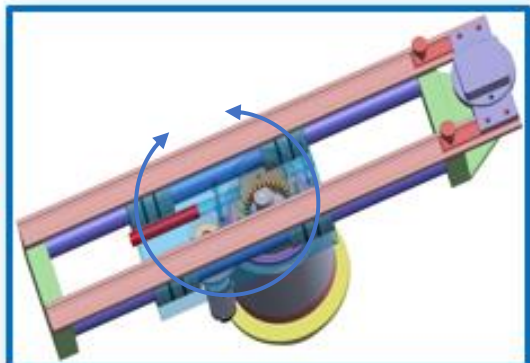


Translation = 200 mm  
MOTEUR : Maxon 24V 8930 tr/mn.  
REDUCTEUR : Rapport 1/26..  
CODAGE : Codeur Maxon 1024 Imp/T

#### Rotation

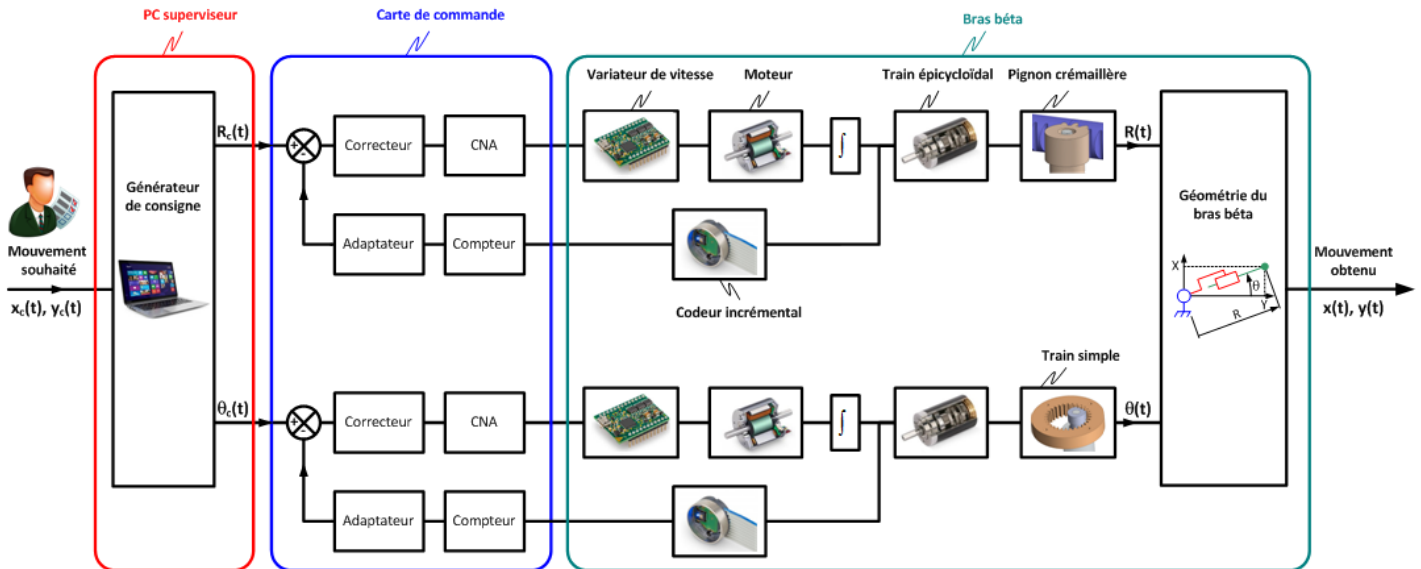


Rotation Tourelle +185°, -185°  
MOTEUR : Type RS 230 G « ALSTOM\_PARVEX » vitesse de rotation 3000 tr/mn.  
REDUCTEUR : rapport 1/100.  
CODAGE :  
GROSSIER : potentiomètre 10 tours MEGATRON 2110 de 2 KOHMS  
FIN : résolveur en boîtier SAGEM OBRX0800113




Rotation = 300°  
MOTEUR : Maxon 24V 8930 tr/mn.  
REDUCTEUR : Rapport 1/103\*12/30  
CODAGE : Codeur Maxon 1024 Imp/T

## Description fonctionnelle de la double chaîne d'asservissement




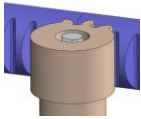
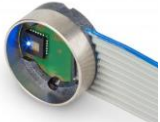


## Description matérielle

### Chaînes d'énergie




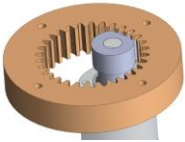
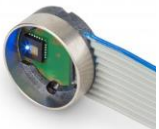
	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
1	Alimentation axe R et T 	Alimentation de puissance à découpage 100 W, 24 V

### 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
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 $i_T = 4950/190 (\approx 26)$
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 fentes par tour (1024 fentes par tour décodé en $\times 4$ par la carte de commande soit 4096 incréments par 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 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 $i_{R1} = 371250/3610 (\approx 103)$
10	Réducteur axe R 	Réducteur à train simple $Z_{\text{entrée}} = 12$ dents $Z_{\text{sortie}} = 30$ 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 $\times 4$ par la carte de commande soit 4096 incréments par tour)

**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 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fonction de transfert des correcteurs :  <math display="block">G_T(p) = \frac{\varepsilon_{2-T}(p)}{\varepsilon_{1-T}(p)} \text{ et } G_R(p) = \frac{\varepsilon_{2-R}(p)}{\varepsilon_{1-R}(p)}</math> </li> <li>Gain des adaptateurs de la chaîne de retour :  <math display="block">D_T = \frac{T(t)}{m_T(t)} \text{ (mm/inc) et } D_R = \frac{R(t)}{m_R(t)}</math> </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 display="block">\varepsilon_{3-T}(t) = \varepsilon_{2-T}(t) \text{ si } \varepsilon_{2-T}(t) \in [-10V, +10 V] \text{ sinon saturation à } \pm 10 V</math> <math display="block">\varepsilon_{3-R}(t) = \varepsilon_{2-R}(t) \text{ si } \varepsilon_{2-R}(t) \in [-10V, +10 V] \text{ sinon saturation à } \pm 10 V</math> </li> <li>Compteur : sans dynamique</li> </ul>

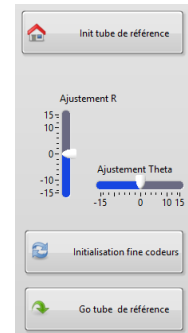
## Présentation des activités proposées

Les activités réalisées doivent conduire à une synthèse collective.

### 1° activité : initialisation du BRAS BETA

Se placer dans l'onglet d'initialisation :  **Initialisation**


Cliquer tour à tour sur les commandes ci-contre et observer le comportement du robot :



- ✓ Compte tenu du type de capteurs de position utilisés sur les axes T et R, indiquer la nécessité de la routine d'initialisation.
- ✓ On pourra tenter d'imaginer l'algorithme de réinitialisation. Remarquer que l'axe T possède un capteur de fin de course à chacune de ses extrémités alors que l'axe R en possède un unique et que par conséquent la stratégie de réinitialisation est différente.



**2° activité : pilotage du BRAS BETA en boucle ouverte et en boucle fermée**

 Se placer dans l'onglet de pilotage en boucle ouverte / boucle fermée  **Pilotage BO / BF**
**Sous-onglet Boucle ouverte**

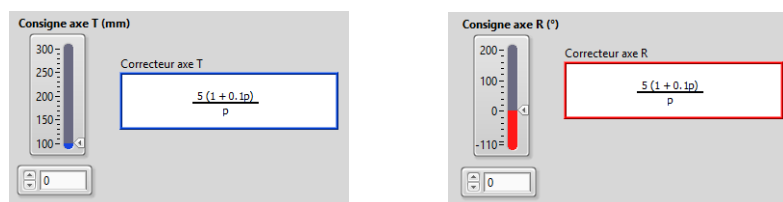
Piloter chacun des deux axes en boucle ouverte.



- ✓ Observer le comportement du robot.
- ✓ Quelle grandeur physique (position, vitesse, accélération) semble-t-elle être l'image de la commande en volts ?
- ✓ Sous tensions nulles, exercer des perturbations sur le robot. Qu'observe-t-on ?
  
- ✓ Observer le couplage entre les deux axes.
  - un mouvement de l'axe T perturbe-t-il le positionnement de l'axe R ?
  - un mouvement de l'axe R perturbe-t-il le positionnement de l'axe T ?
  
- ✓ Le positionnement de l'organe terminal (le poignet du robot) à une position donnée est-t-il aisé ?
- ✓ Quelle stratégie de pilotage pourrait permettre d'améliorer la facilité de positionnement et en particulier le rejet de perturbations ?

**Sous-onglet boucle fermée**

Piloter chacun des deux axes en boucle fermée de position avec le correcteur proposé par défaut.



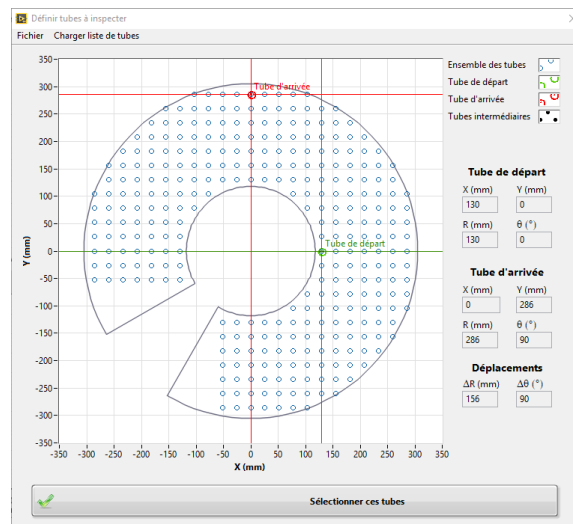
- ✓ Observer le comportement du robot.
- ✓ Quelle grandeur physique (position, vitesse, accélération) semble-t-elle être l'image de la consigne en mm ou en degrés ?
- ✓ Discuter quant à la facilité de positionnement du robot.
- ✓ Modifier les gains proportionnels des deux correcteurs (en cliquant sur leur fonction de transfert). Quelles sont les conséquences en termes d'amortissement de rapidité et de précision (en particulier au niveau du rejet de perturbations).
- ✓ Observer les conséquences du couplage dynamique entre les deux axes.

**3° activité : qu'est-ce que la génération de consigne ?**

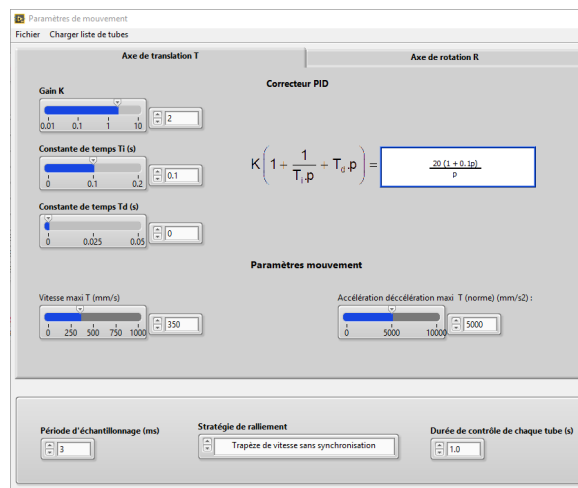
 On se place maintenant dans l'onglet  **Contrôle tubes**

 ...sous-onglet  **Génération de trajectoire**

Dans le menu "Contrôle tubes" cliquer sur "Définir tubes à inspecter". Dans la fenêtre qui s'ouvre, cliquer dans le menu "Charger liste de tubes" et choisir, par exemple pour commencer, "Définir 2 tubes". Sur le graphe faire glisser les tubes de départ et d'arrivée puis cliquer sur "Sélectionner ces tubes".



Dans le menu "Contrôle tubes", cliquer sur "Définir les paramètres de commande"



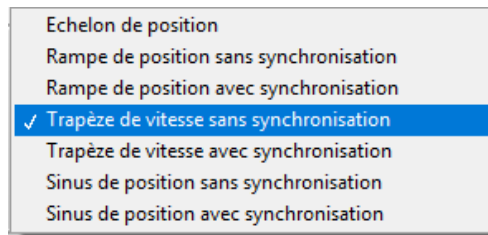
Observer les grandeurs qui vont permettre :

- de générer les consignes de position
- d'assurer le contrôle-commande (en cours de pilotage)

Les grandeurs cinématiques permettent d'imposer :

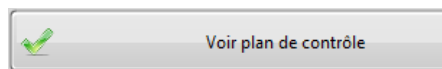
- la vitesse de consigne dans le cas d'une stratégie de ralliement de points de type rampe de position
- la vitesse de palier et les accélérations / décélération maxi dans le cas d'une stratégie de ralliement de type trapèze
- l'accélération / décélération maxi dans le cas d'une stratégie de ralliement de points en sinus.

Choisir une stratégie de ralliement de points parmi les 7 proposées :



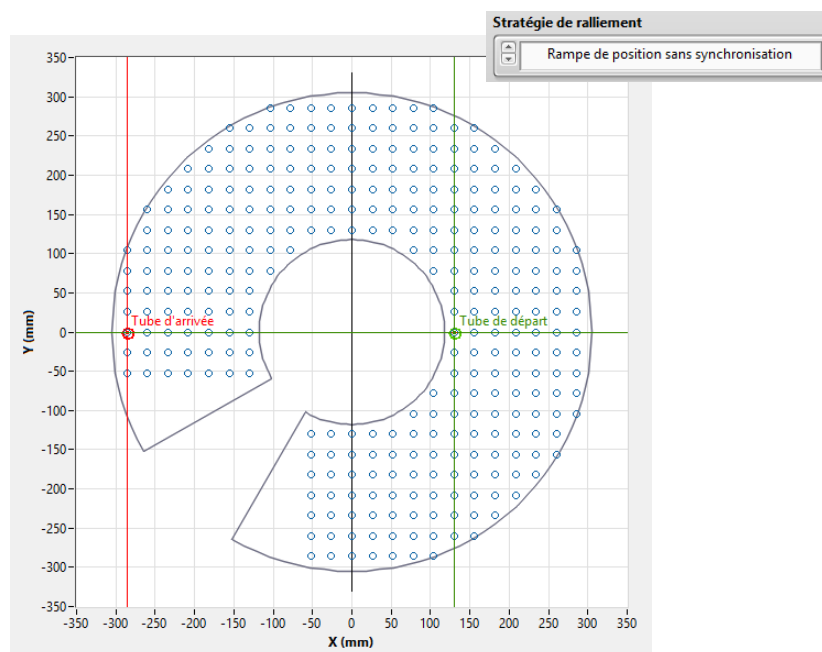
Les consignes sur chacun des axes T et R sont alors calculées par l'ordinateur.

- ✓ Imaginer dans chacun des cas le type de trajectoire que ces consignes vont engendrer. On peut la visualiser d'ores et déjà en cliquant sur le bouton





- ✓ Quelle va être, à priori, la stratégie de raliement de points la plus rapide ?
- ✓ Pourquoi aucune des stratégies n'implique de trajectoire rectiligne.
- ✓ Pourquoi dans le cas des stratégies sans synchronisation il semble apparaître une cassure en cours de trajectoire ? Est-ce gênant ?
- ✓ Quelle est la nature de la trajectoire après cette cassure ?
- ✓ Comment justifier qu'en robotique les stratégies utilisées soient au moins du type trapèze de vitesse avec synchronisation ?

Pour la suite de ce TP, choisir des points de départ et d'arrivée comme ci-dessous avec une stratégie de raliement de points de type "Rampe de position sans synchronisation"

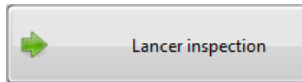


**4° activité : réalisation d'une inspection**

On reste dans l'onglet  **Contrôle tubes**

...et on se place maintenant dans le sous onglet  **Inspection**

Les consignes sur chacun des axes T et R ayant été générées dans la partie précédente, piloter maintenant le robot.




Les asservissements sont bien des asservissements de position sur chacun des deux axes !

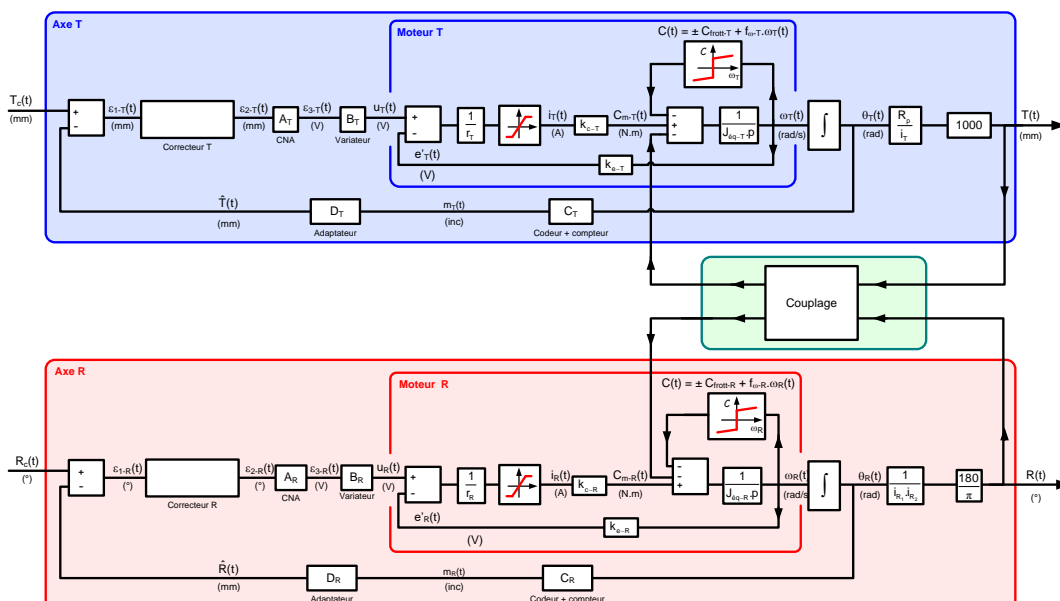
- ✓ Observer alors les consignes (les déplacements souhaités) et les mouvements réellement obtenus.
- ✓ Comment expliquer les différences modèle-réel.
- ✓ Quelles sont les solutions dont dispose le concepteur pour minimiser ces écarts souhaité-réel ?  
 On pourra songer à des aspects liés à l'aspect matériel, liés au choix du type de stratégie de ralliement de points (générateur de consigne) et enfin des aspects relatifs aux type de correcteurs utilisés.

**5° activité : simulation**

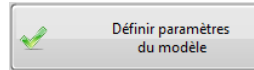
On reste dans l'onglet  **Contrôle tubes**

...et on se place maintenant dans le sous onglet  **Modélisation**

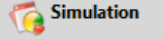
Un modèle (éventuellement non linéaire) complet du bras bêta est ici proposé.



Renseigner les paramètres de ce modèle en cliquant sur le bouton :

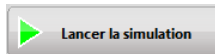


Les relations de couplage dynamique peuvent être désactivées.

On se place maintenant dans le sous-onglet  Simulation

Dans cet onglet les consignes et les positions réelles sont rapatriées. Les positions simulées vont être calculées sur la base du modèle précédent.

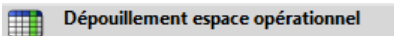
Lancer la simulation :



- ✓ Observer les positions souhaitées, réelles et simulées.
- ✓ Tenter d'expliquer l'origine des écarts observés.

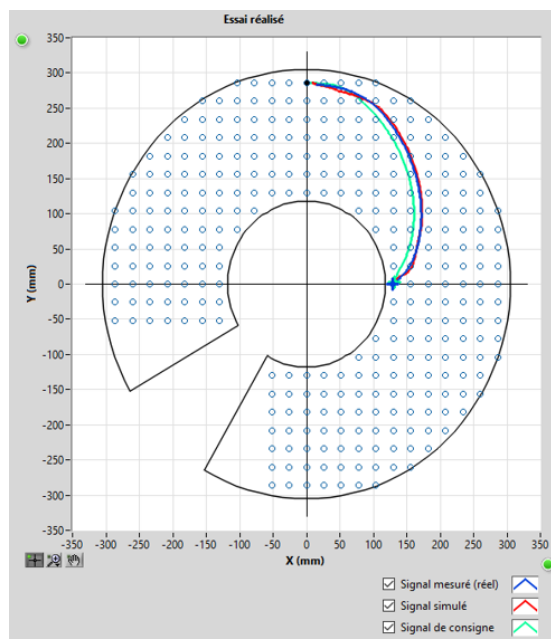
## 6° activité : dépouillement des résultats de la simulation

On reste dans l'onglet  Contrôle tubes

...et on se place maintenant dans le sous onglet  Dépouillement espace opérationnel

Dans cet onglet, les positions T et R souhaitées, réelles et simulées sont transformées dans l'espace opérationnel (l'espace dans lequel le robot effectue ses "opérations", l'espace X-Y, par opposition à l'espace articulaire T-R).

- ✓ Observer les trajectoires souhaitées, réelles et simulées. Que peut-on dire ?
- ✓ Comment expliquer ces différences de trajectoires (avant et après la cassure en particulier) ?
- ✓ Observer les vitesses du poignet (l'extrémité du robot). Que peut-on dire ?




- ✓ Estimer la précision de positionnement. Quelle relation peut-on faire entre la précision dans l'espace articulaire et la précision dans l'espace opérationnel ? Valider le cahier des charges qui impose une précision de l'ordre de 1 mm.

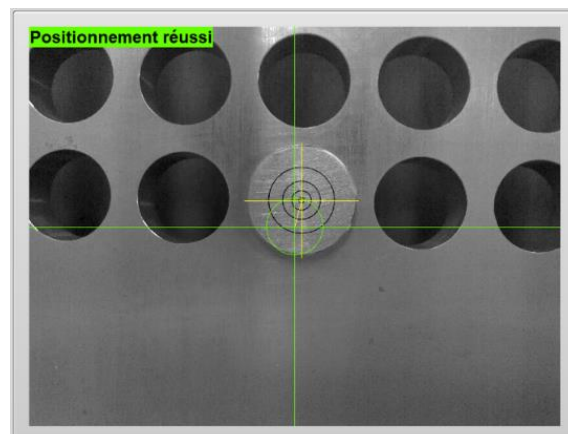
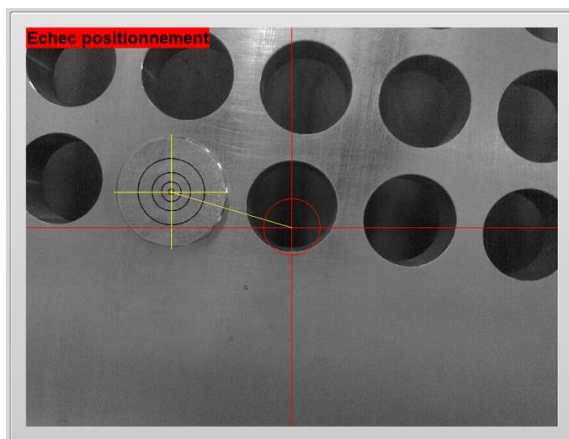
### 7° activité : validation du cahier des charges

On cherche ici à utiliser les fonctions d'analyse d'image automatiques pour valider le critère de précision de positionnement du cahier des charges.

On reste dans l'onglet  **Contrôle tubes**

...et on se place dans le sous onglet  **Rapport d'inspection**

Choisir ici l'un des tubes inspectés et définir la précision de positionnement imposée par le cahier des charges.

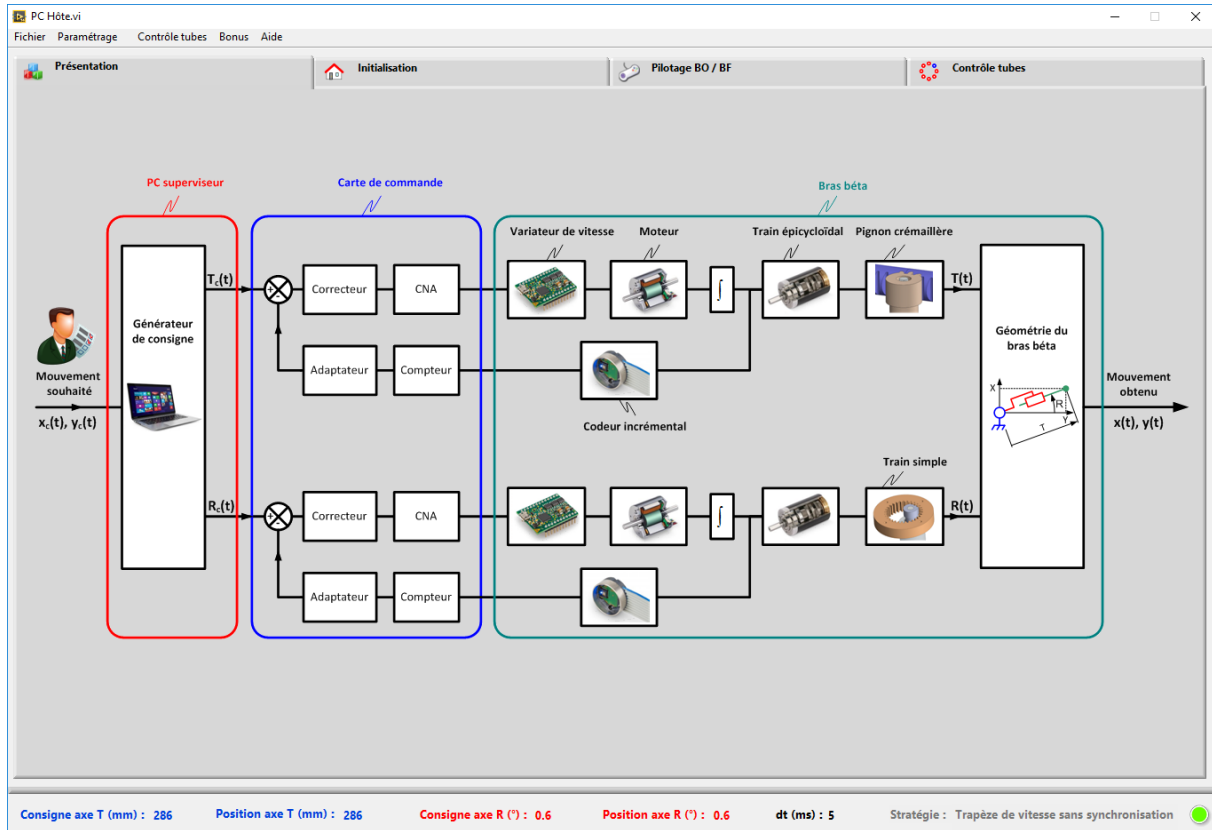


### 8° activité : synthèse des activités

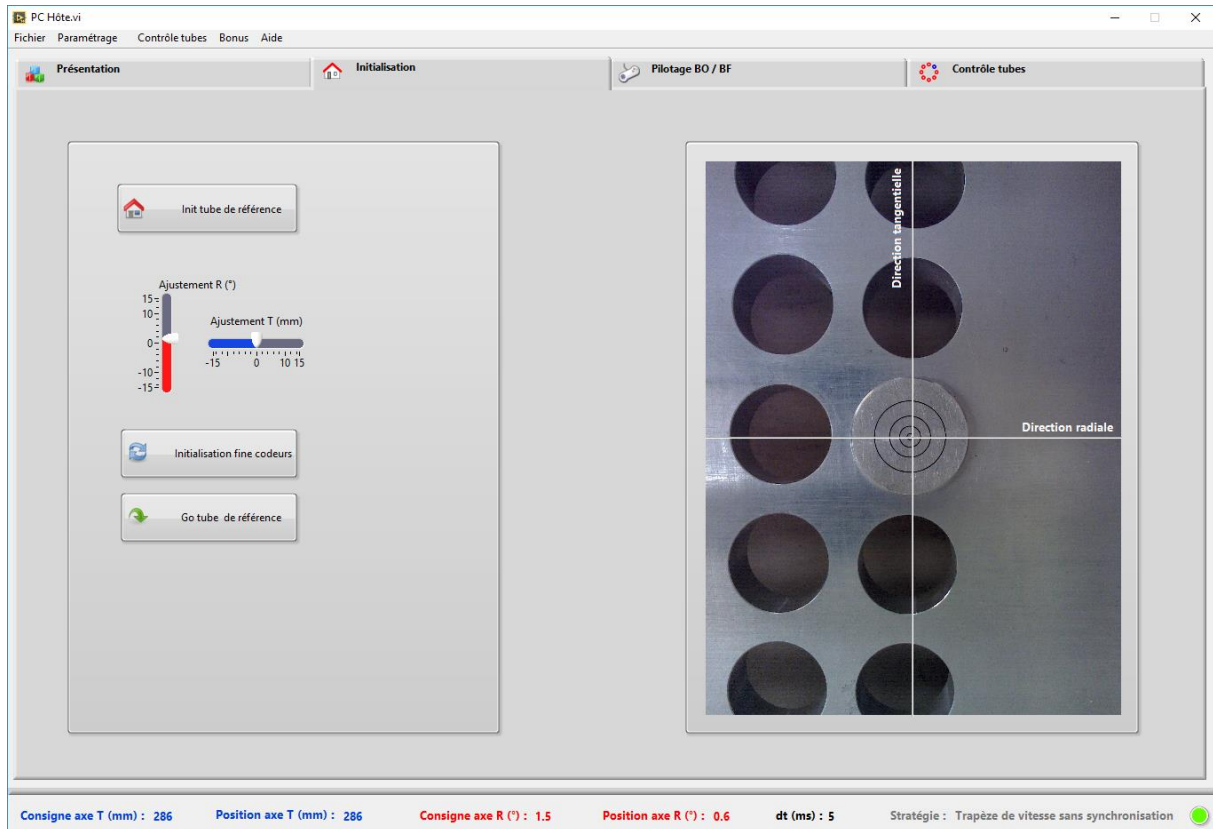
- ✓ Effectuer une synthèse des activités menées.



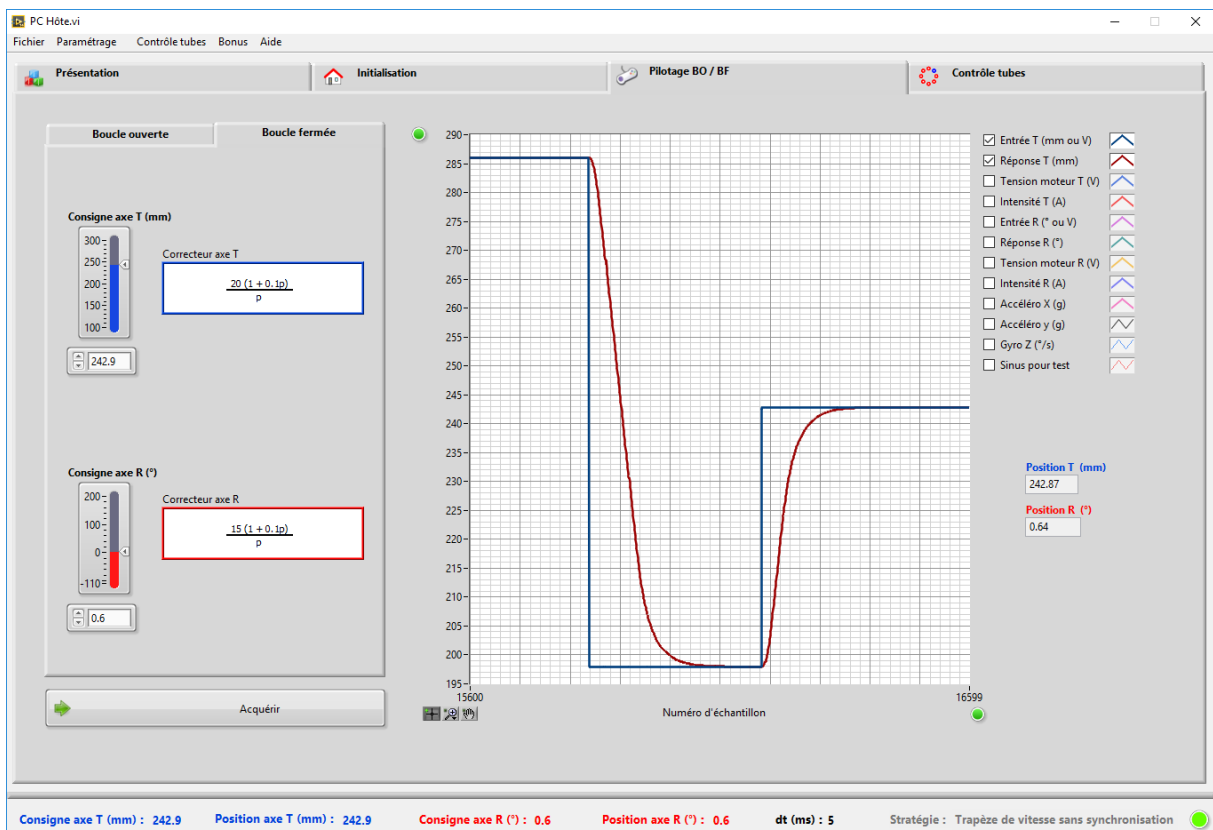
# Annexe : captures d'écran du logiciel de pilotage



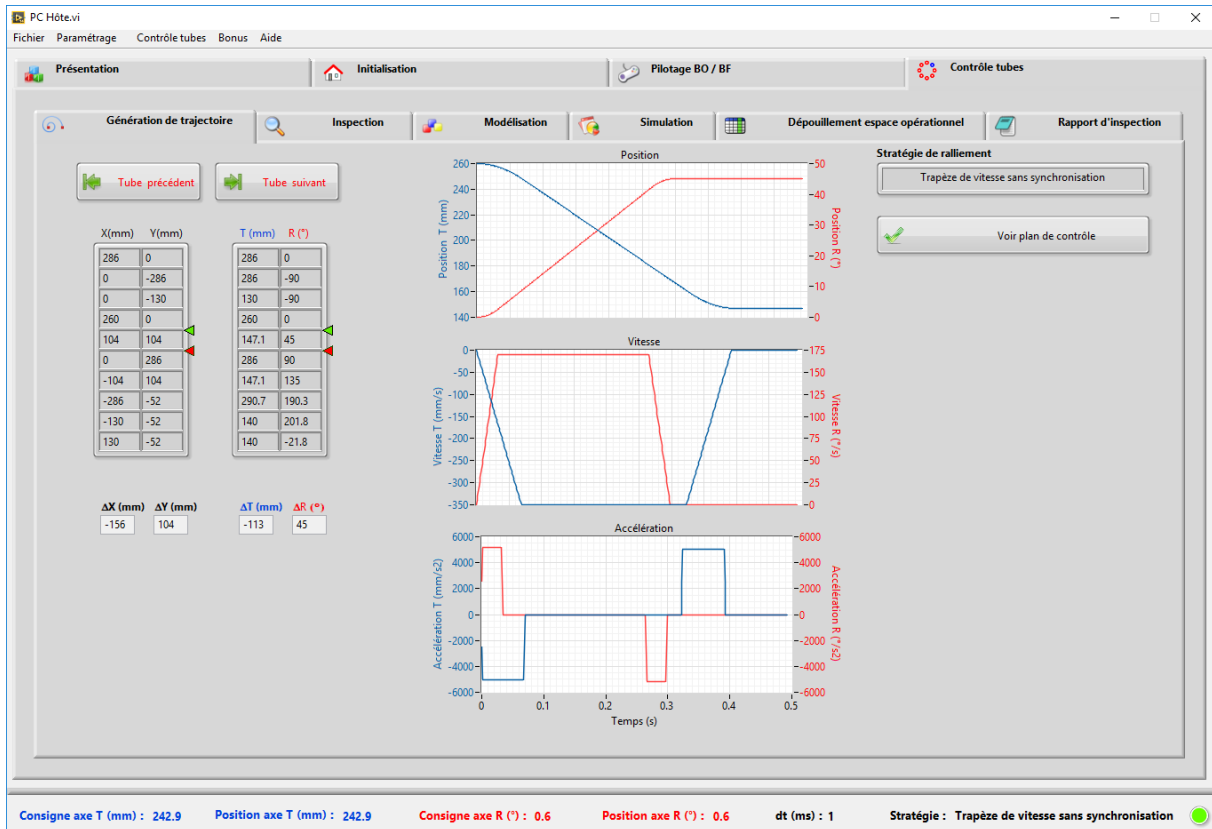
Onglet "Présentation" : découverte de l'aspect fonctionnel et structurel



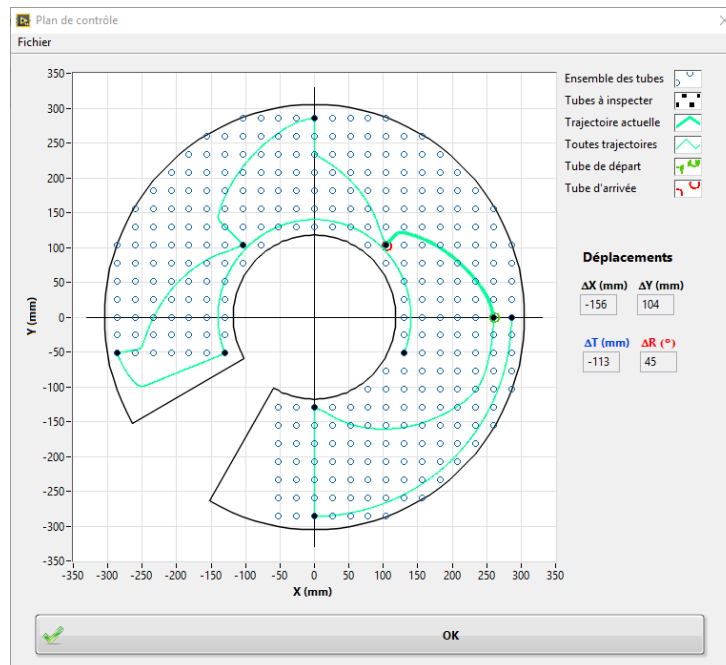
Onglet "Initialisation" : initialisation des codeurs par rapport au tube de référence



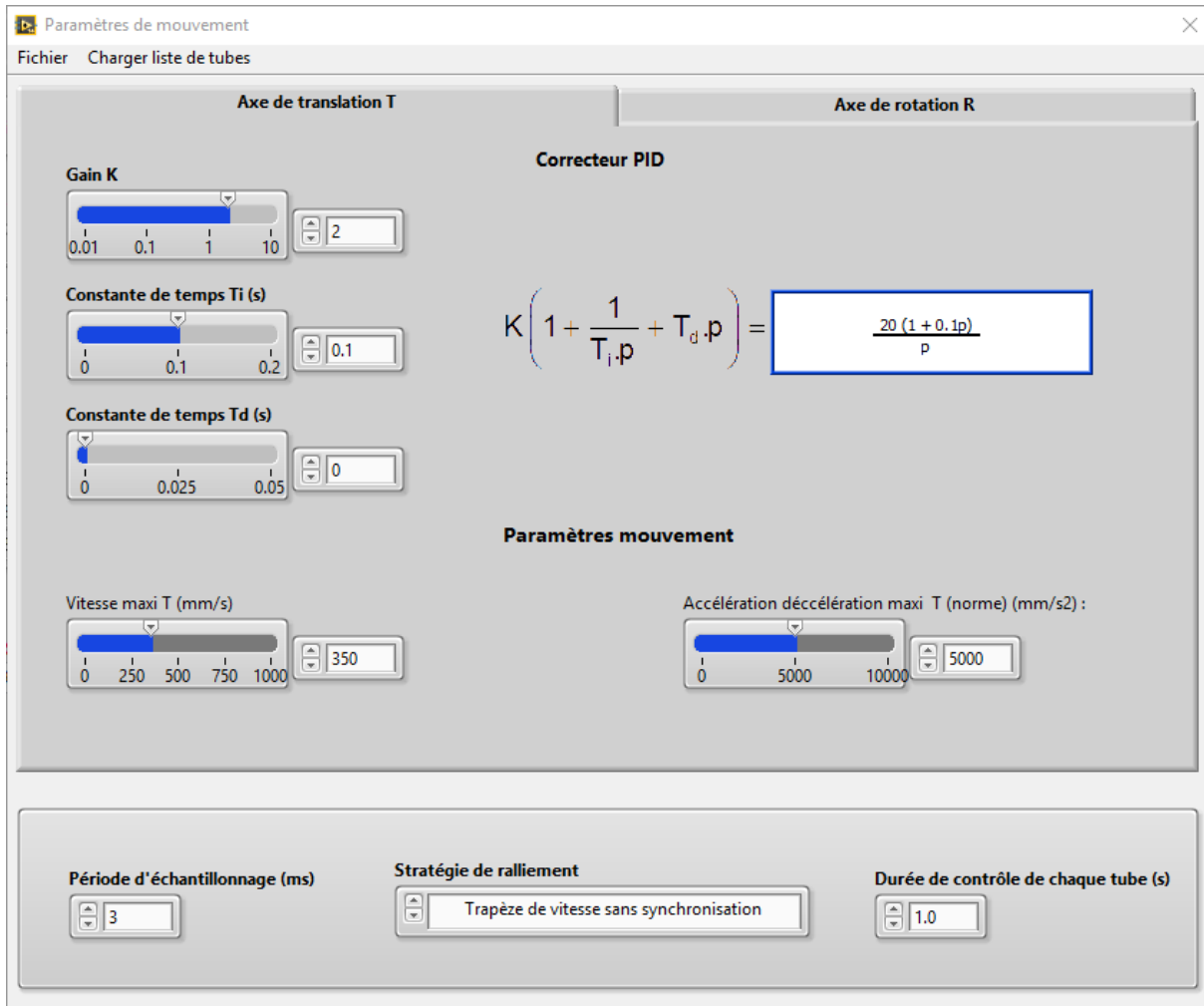
Onglet "Pilotage BO/BF" : pilotage à la volée en boucle ouverte ou boucle fermée.  
 Découverte des deux axes asservis.



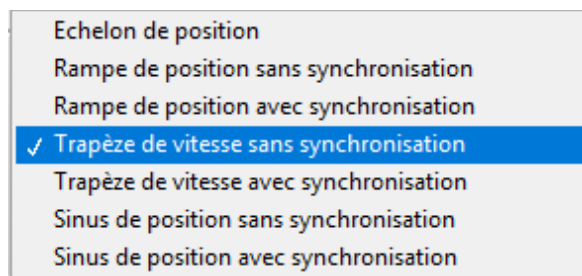
Onglet "Génération de trajectoire" : génération des consignes de position entre les différentes paires de tubes.



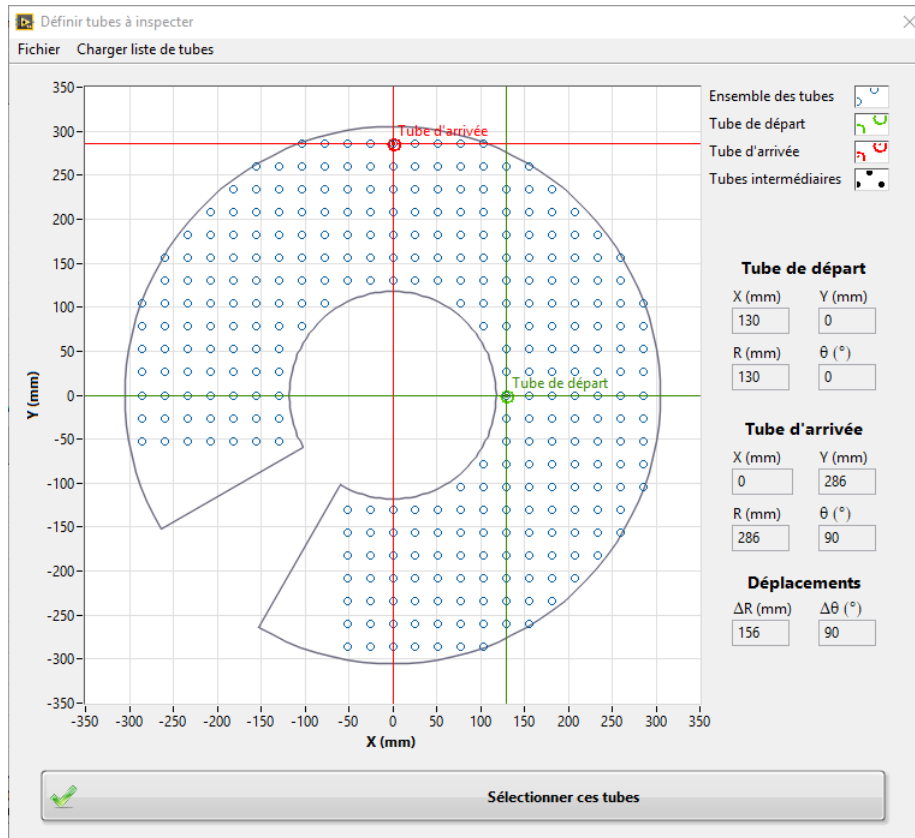
Plan de contrôle complet avec trajectoires correspondant à la stratégie choisie entre chaque paire de tubes.



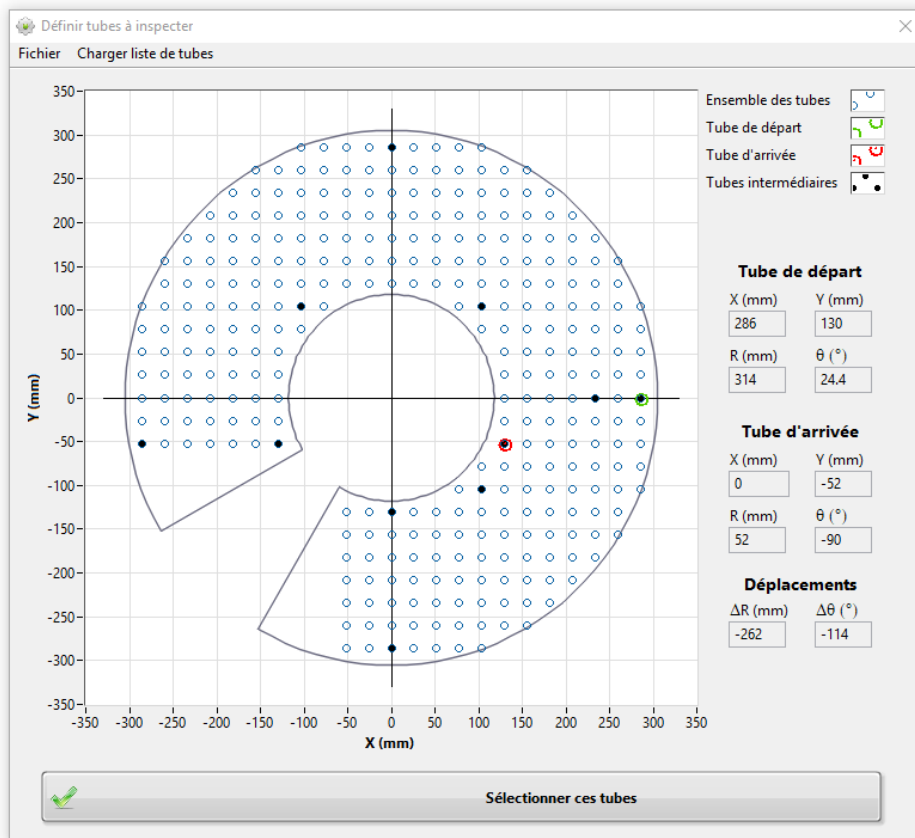
Menus "paramètres de mouvement" accessible à tout instant : correcteurs, contraintes cinématiques, période d'échantillonnage et stratégie de ralliement de points.



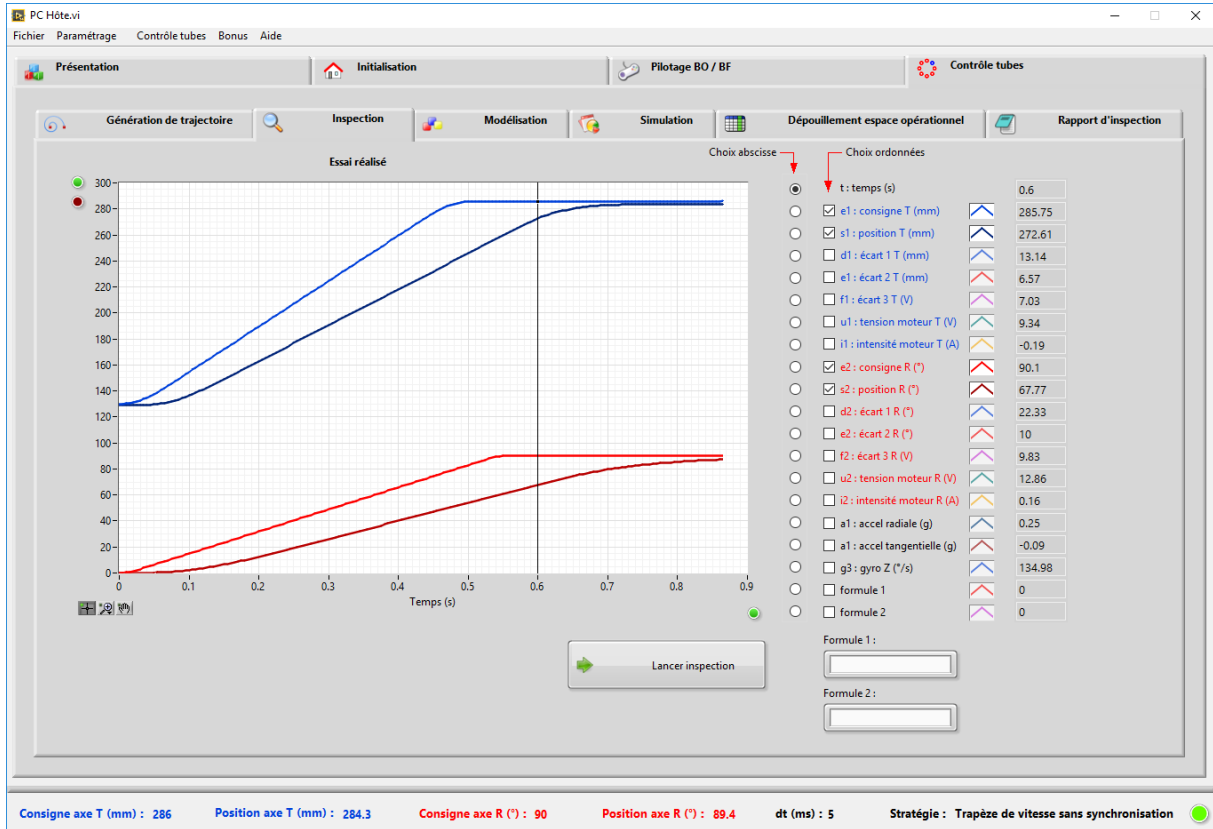
Détail des stratégies de ralliement entre deux tubes



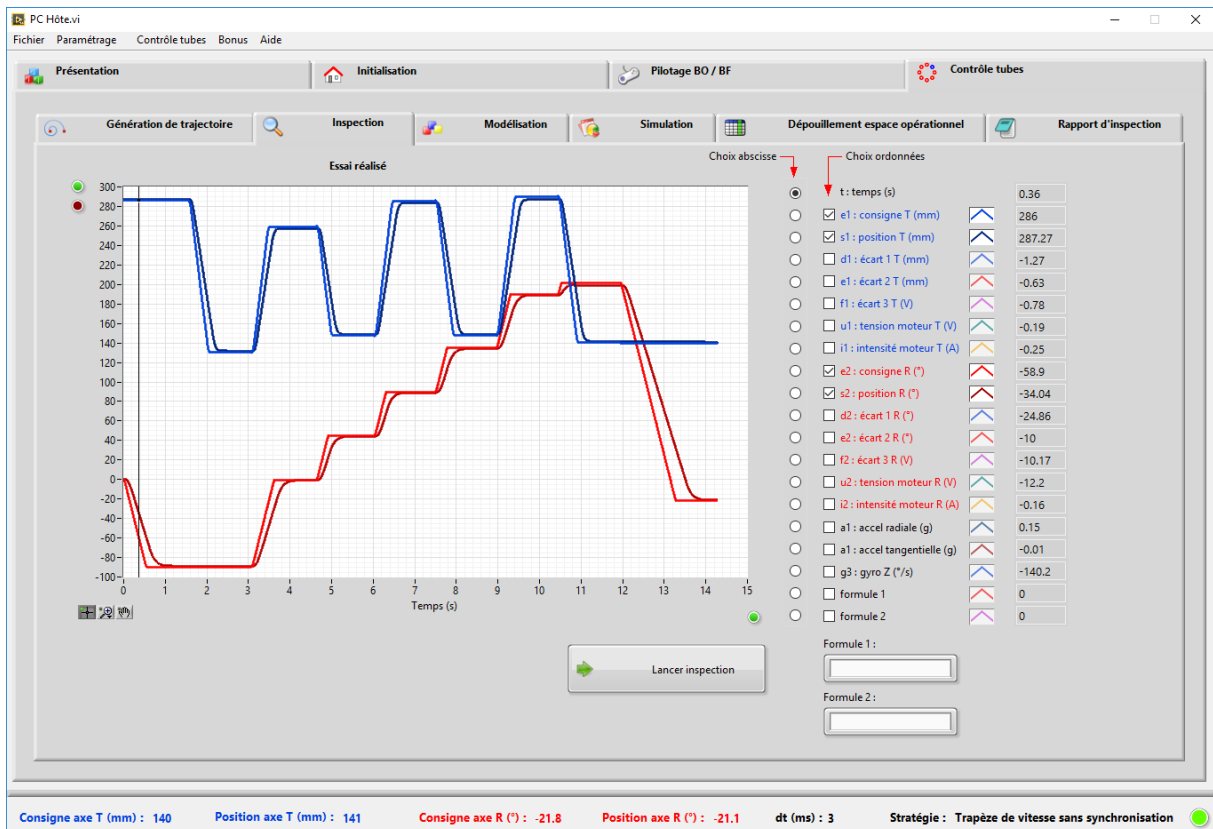
Choix des tubes à inspecter : ici deux tubes à définir.



Choix des tubes à inspecter : ici une liste de tubes par défaut.

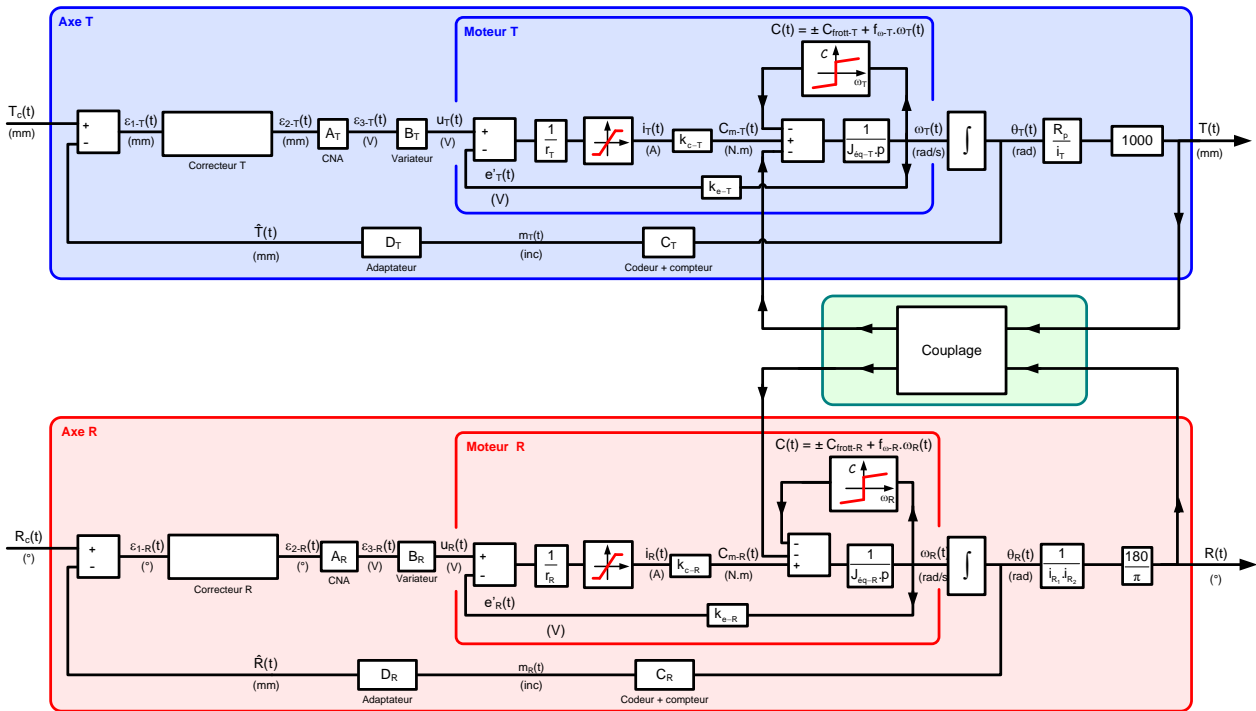


Dépouillement d'une inspection de 2 tubes

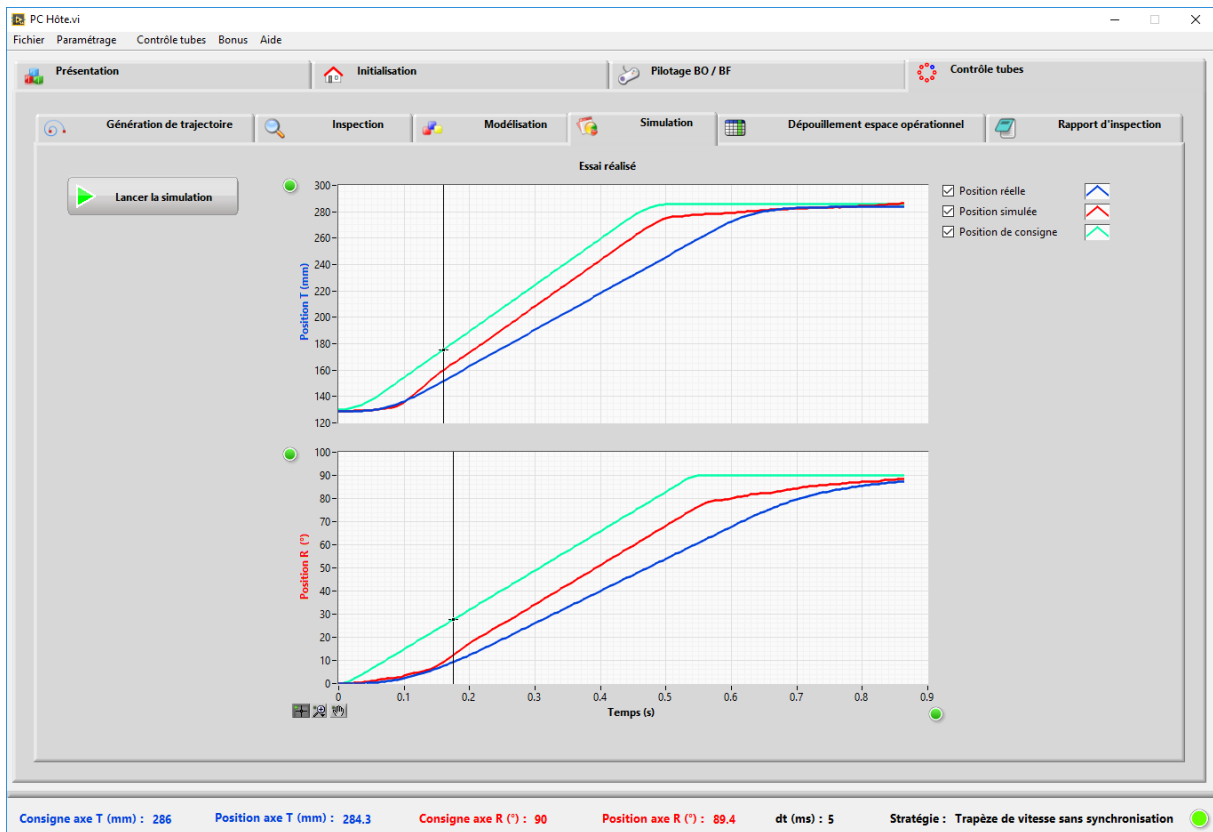


Dépouillement d'une inspection de 10 tubes



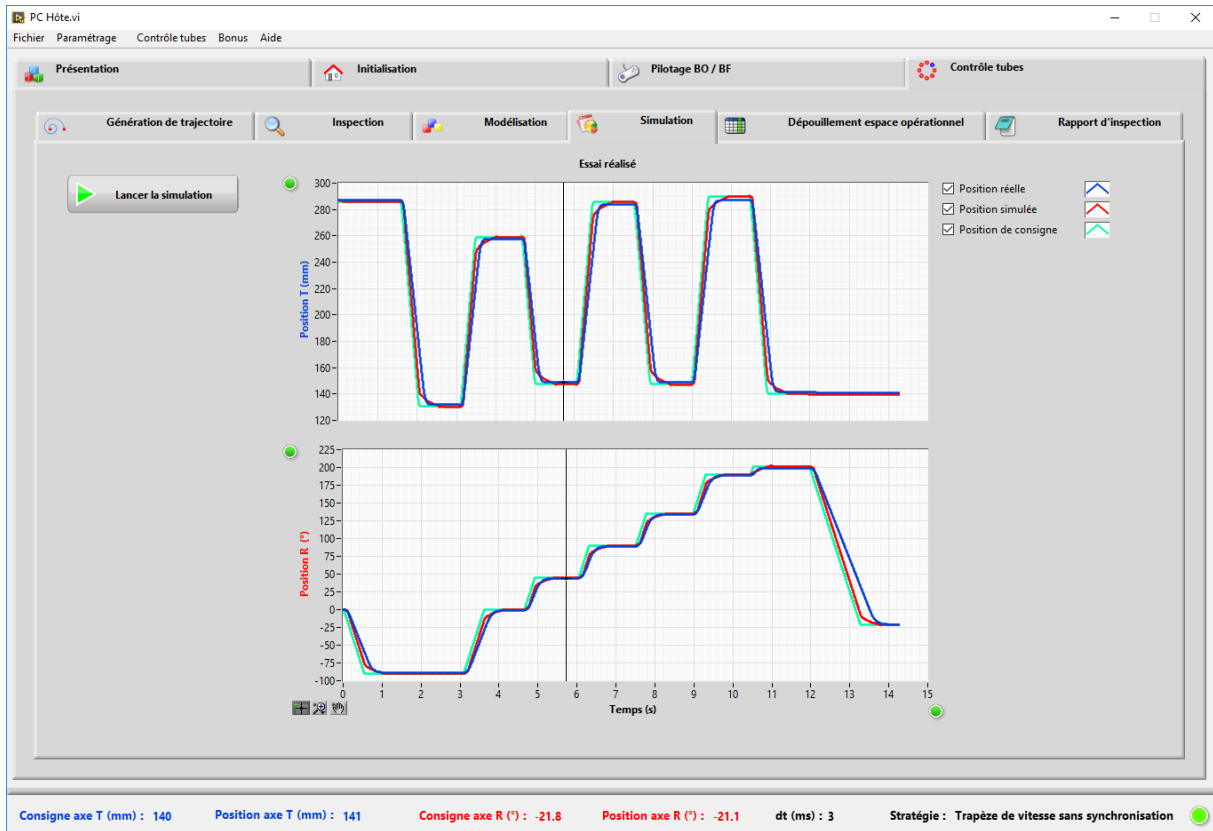


Simulation intégrée au logiciel : modèle proposé.



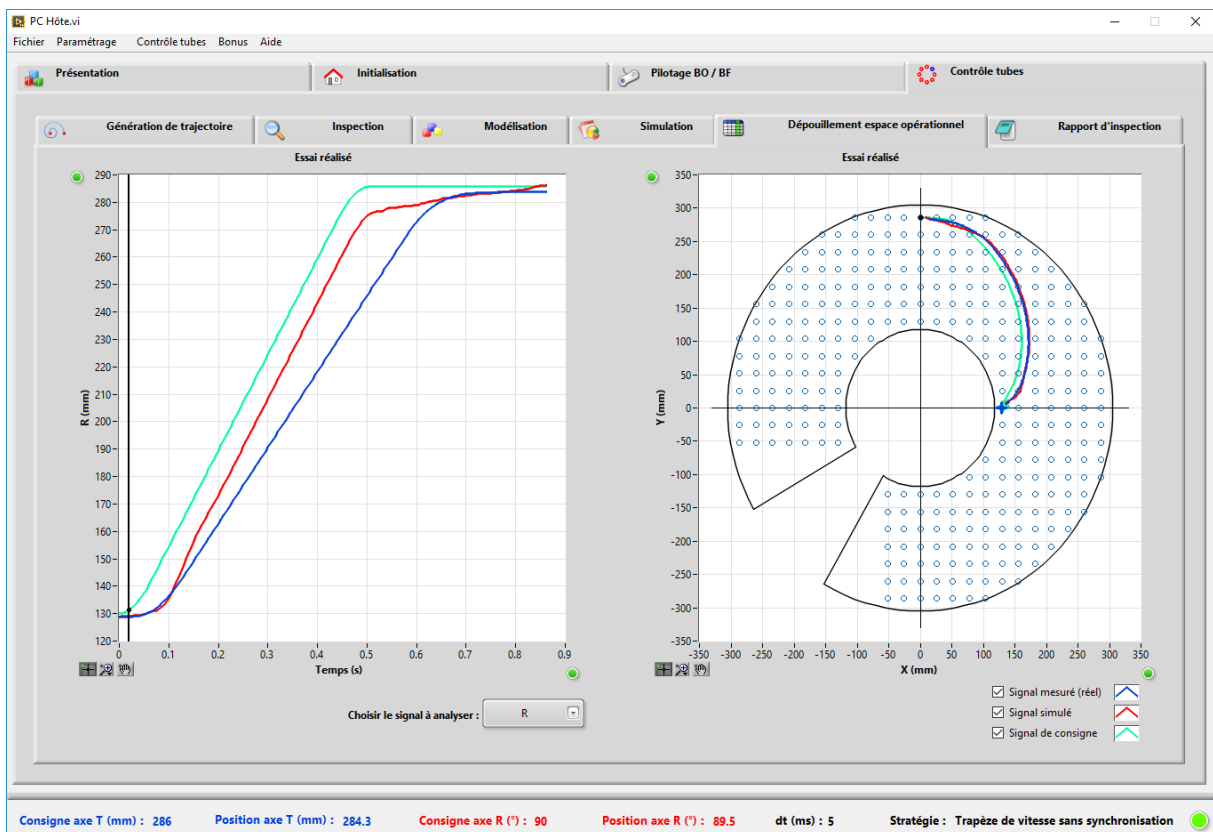
Positions souhaitée, simulée et réelle lors d'une inspection de 2 tubes.

Modèle non validé

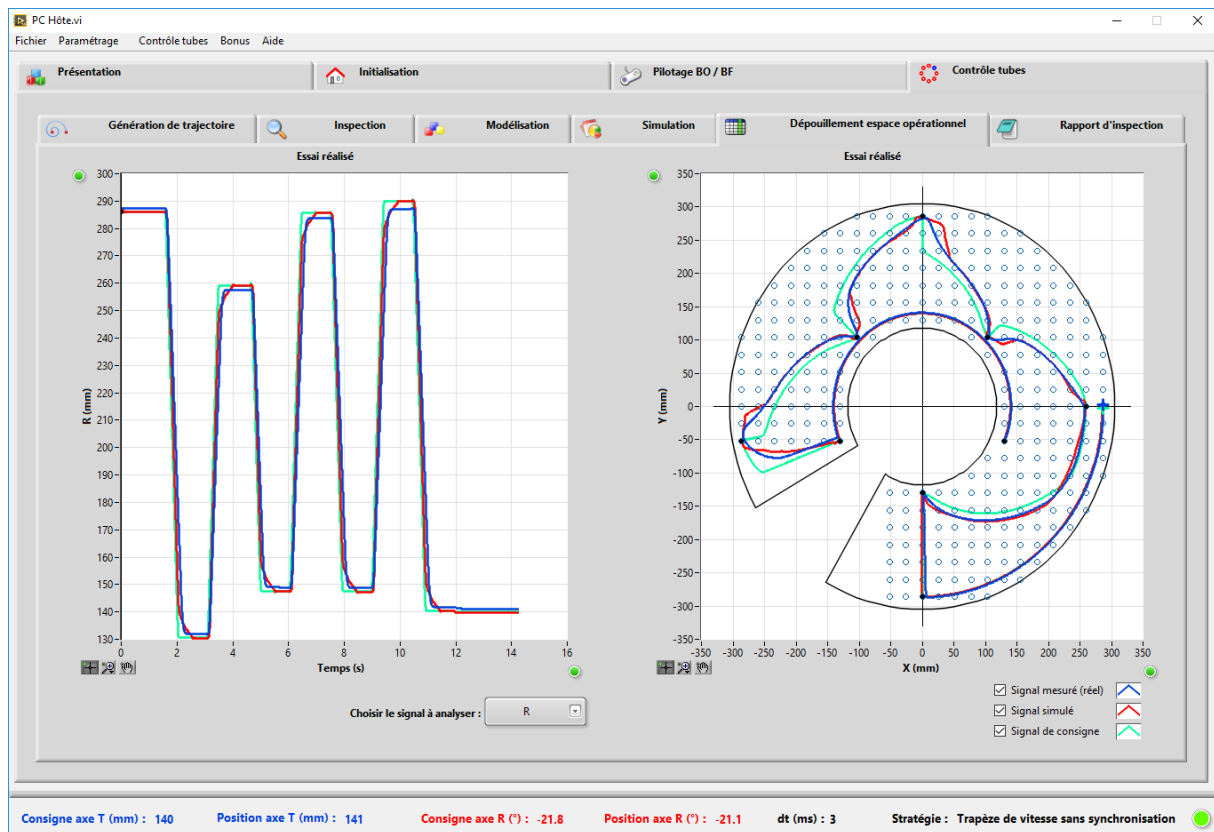


Positions souhaitée, simulée et réelle lors d'une inspection de 10 tubes

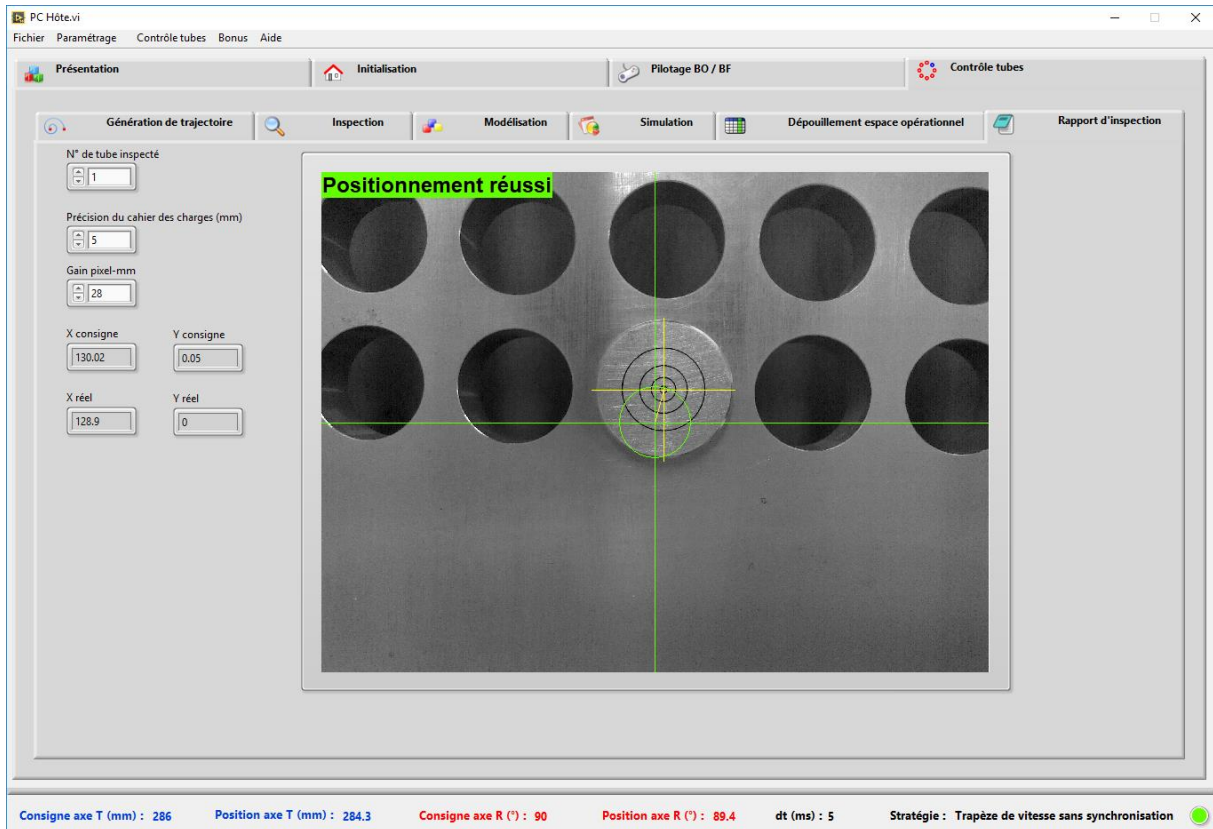
Modèle validé



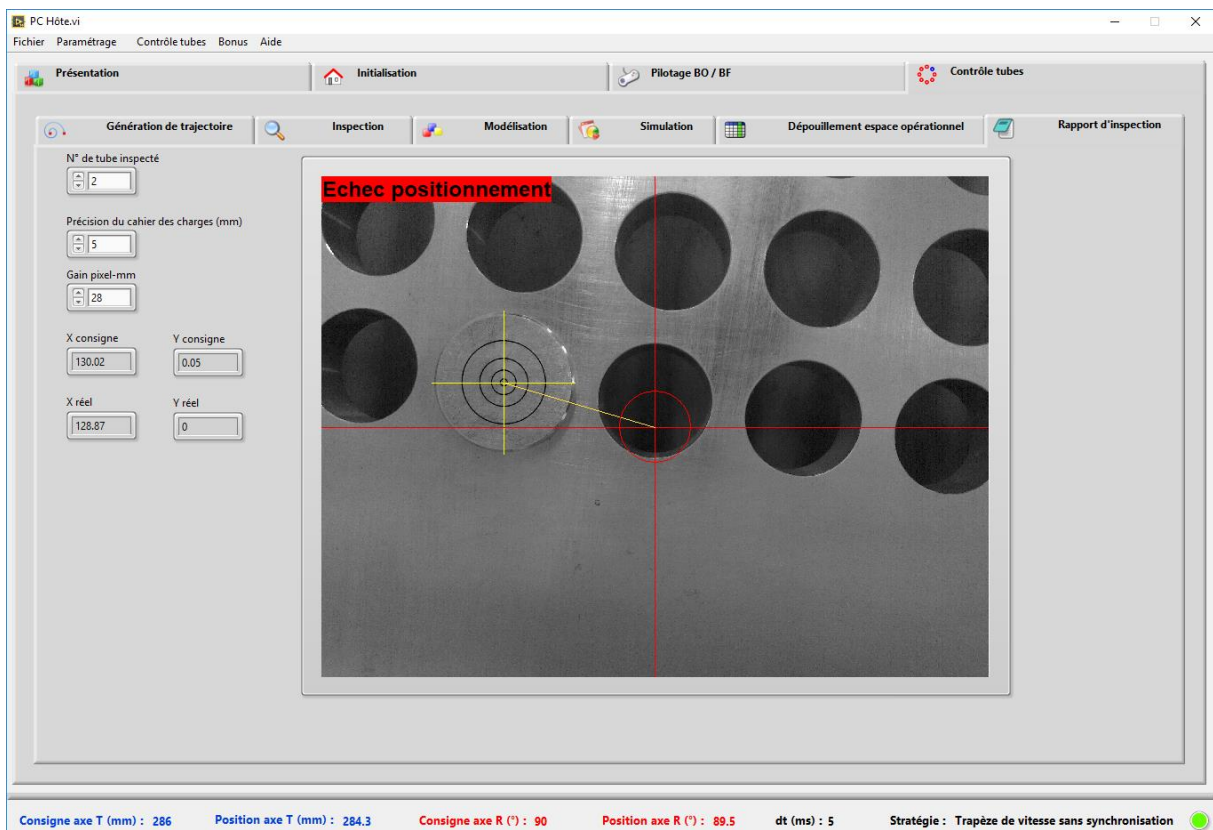
Trajectoires de consigne, simulée et réelle lors d'une inspection de 2 tubes



Trajectoires de consigne, simulée et réelle lors d'une inspection de 10 tubes



Analyse d'image : positionnement conforme à l'aplomb du tube n°1



Analyse d'image : positionnement non conforme à l'aplomb du tube n°2