



Préparation à faire chez soi avant la séance de TP

- Lire le sujet
- Répondre aux questions de la partie 1 préparatoire à la maison (sur copie double)

Revoir les notions suivantes

- Performances d'un système asservi : stabilité/rapidité/précision
- Schéma bloc causal modélisant les systèmes asservis
- Fonction de transfert
- Rapport de réduction d'un réducteur

# 1<sup>ère</sup> PARTIE : PRELIMINAIRE THEORIQUE – Répondre sur feuille de copie double

Cette partie se fait individuellement. Elle ne nécessite pas de matériel. Elle a été préparée avant la séance de TP... chez vous. Elle ne peut pas être abordée pendant la séance de TP au labo.

Cette partie doit être rendue rédigée sur votre compte rendu avant la séance de TP.

- Énoncez la définition de la précision d'un système asservi
- Énoncez la définition de l'écart statique
- Énoncez le critère du temps de réponse à 5%,  $Tr_{5\%}$ , permettant de quantifier la rapidité
- Énoncez la définition d'une fonction de transfert (expression mathématique)
- Dans le schéma bloc d'un système asservi : comment nomme-t-on est la grandeur entrante, à gauche ? Idem pour la grandeur sortante, à droite ?
- Quel composant est situé dans la boucle retour ?
- Comment nomme-t-on la chaîne de composants de la chaîne directe ?

# Sciences de l'Ingénieur : travaux pratiques

Support : chariot translatant Control'X

Thème : asservissement

Niveau : 1<sup>ère</sup> année

Durée : 2h

Objectifs de la séance :

- évaluer la performance de précision et rapidité du système
- découvrir le modèle causal (schéma bloc)
- Mettre en évidence les problématiques de perturbation et non linéarité



# Écarts de la démarche ingénieur

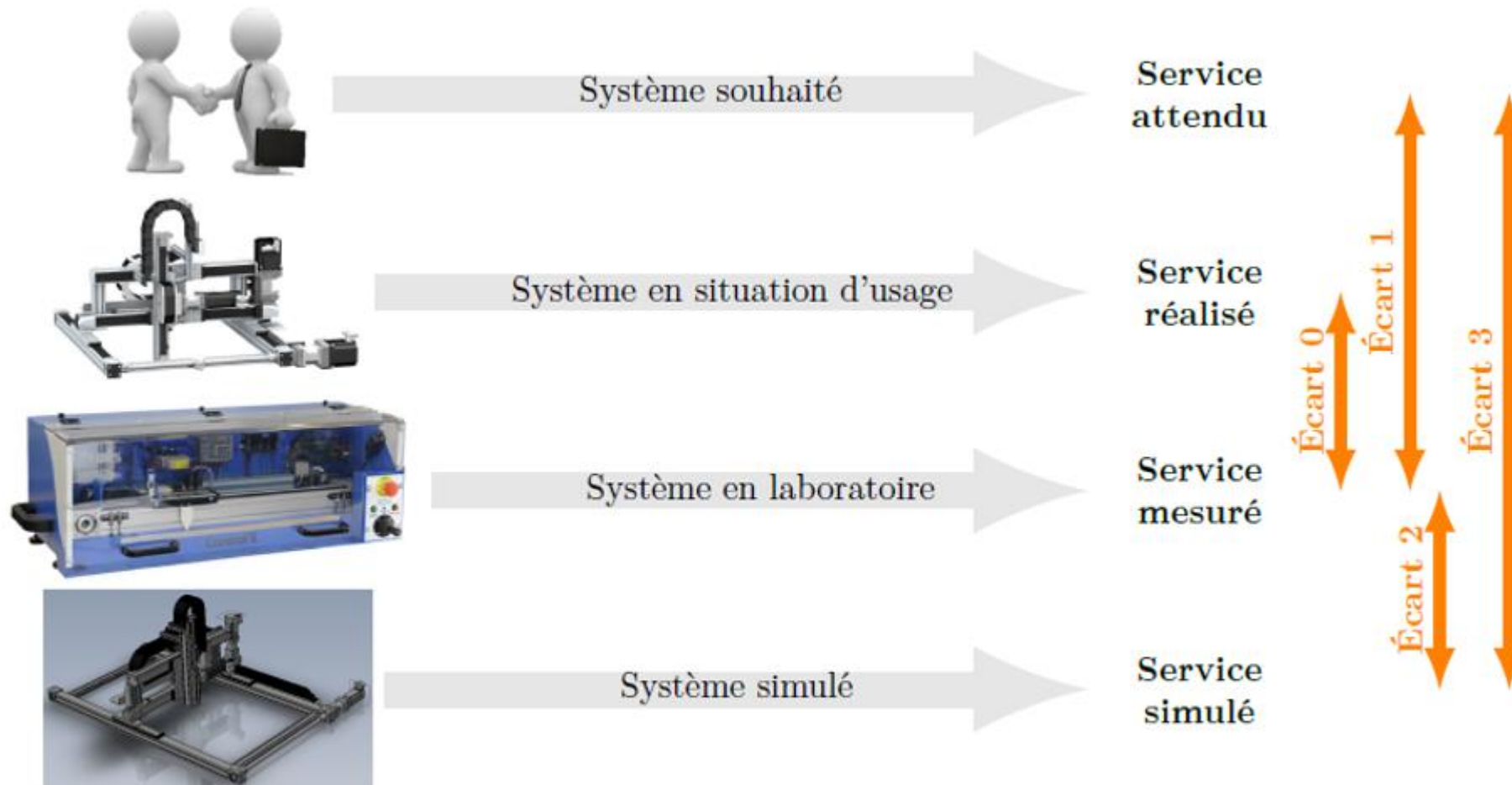
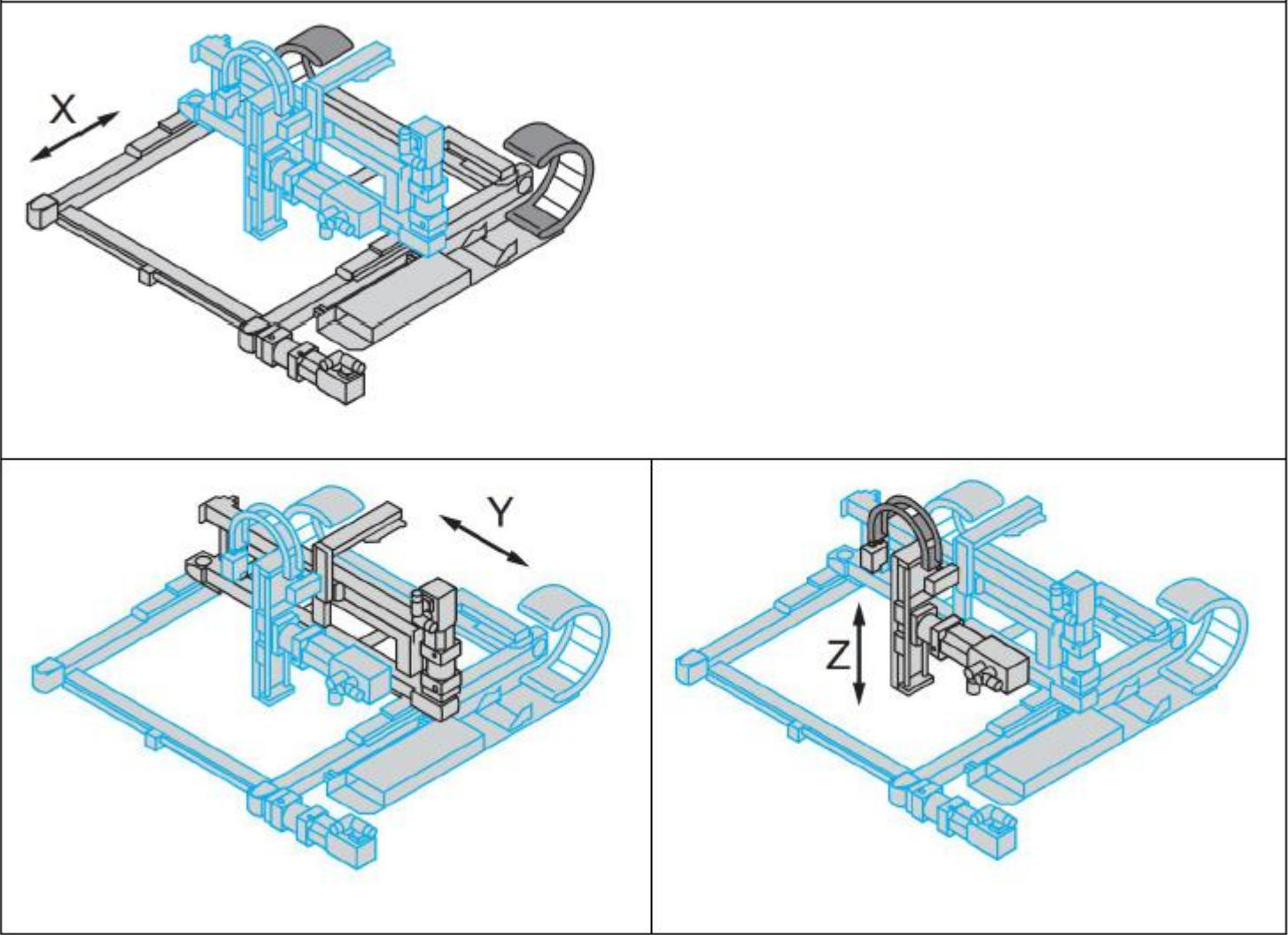


FIGURE 1 – Démarche de l'ingénieur centrée sur la mesure des écarts.

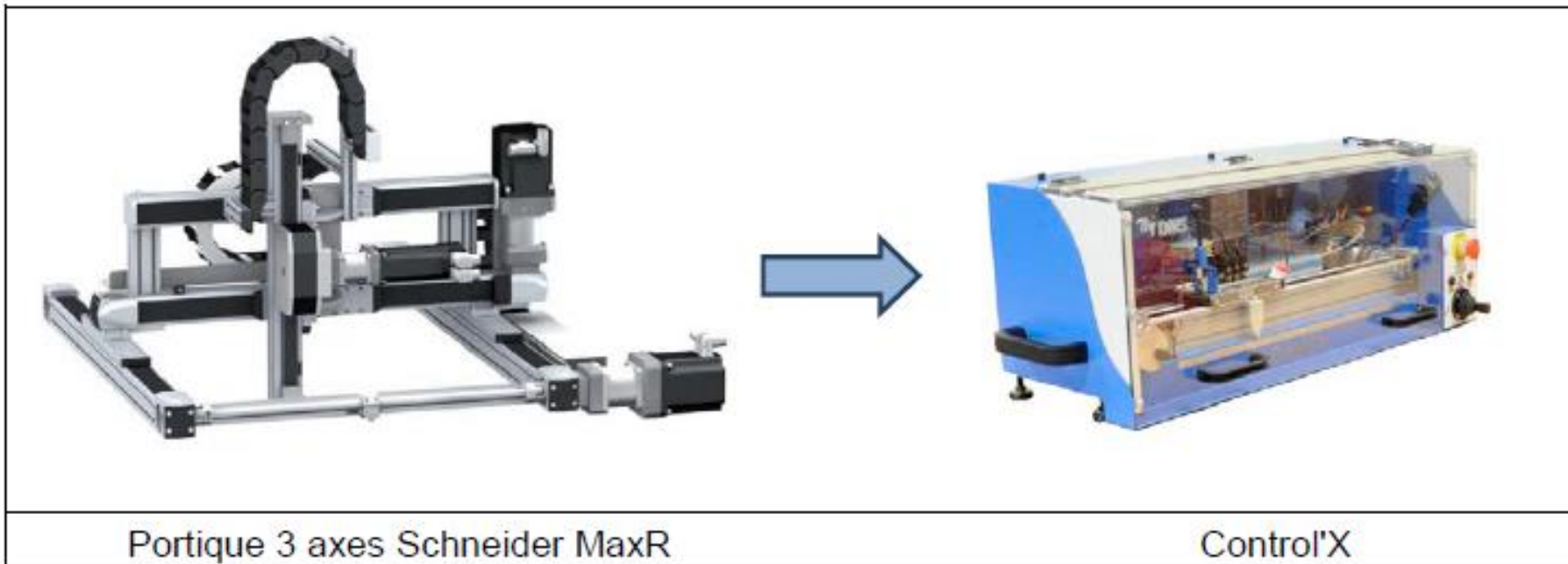
# Vision d'ensemble - Contexte



Vues des 3 axes X, Y et Z

# Vision d'ensemble - Contexte

## 1.2 Du produit réel au produit didactique



L'axe linéaire étudié ici est utilisé dans l'industrie pour réaliser des opérations de "pick and place". Il s'agit d'opérations au cours desquelles une pièce doit être positionnée avec rapidité et précision d'un poste à un autre.

# Description de la chaîne de puissance du Control'X

Control'X permet de déplacer un chariot asservi en position.

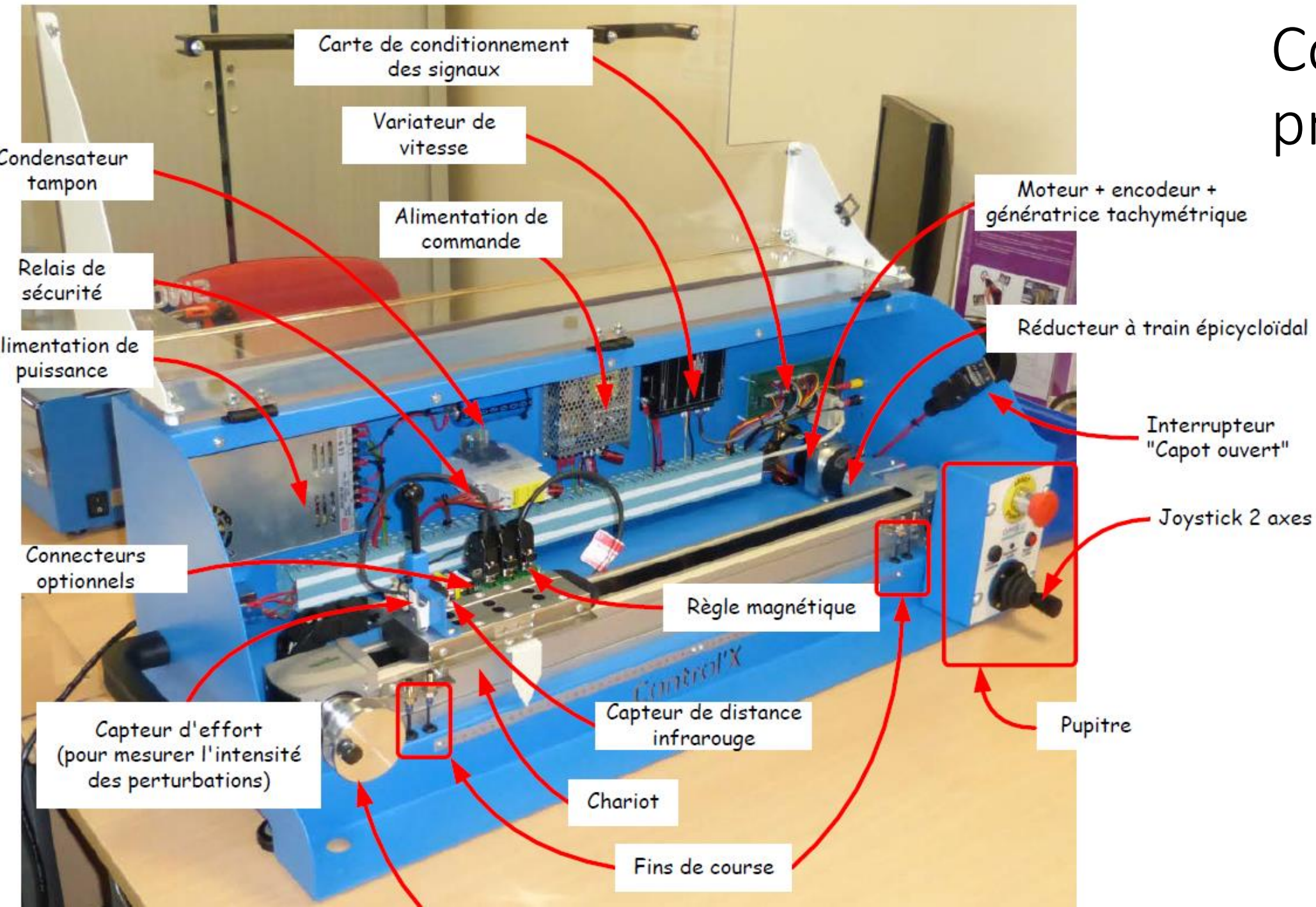
Un moteur électrique à courant continu accouplé à un réducteur, entraîne une poulie.

Cette poulie entraîne une courroie crantée sur laquelle est fixé le chariot à tracter.

La rotation du moteur a ainsi pour conséquence la translation du chariot.

Le moteur électrique est piloté en tension (V).

# Composants principaux



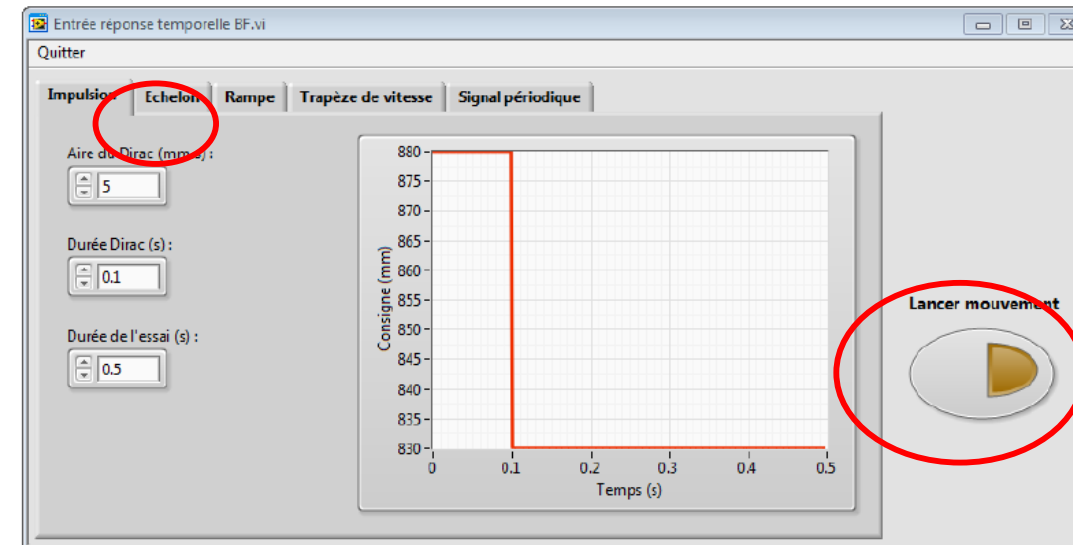
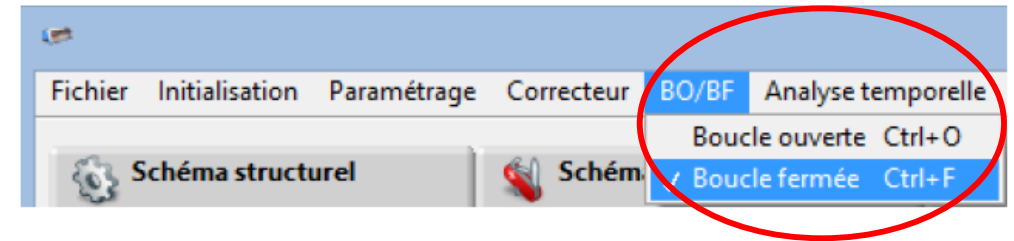
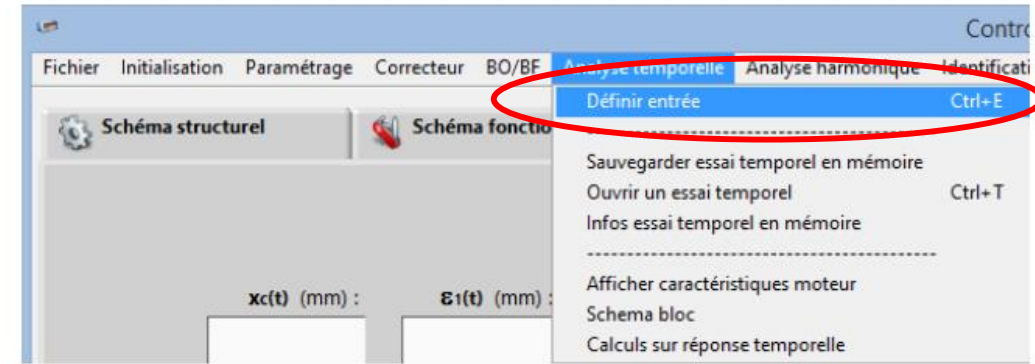


# Mise en route du Control'X

## 1<sup>ère</sup> expérience

- Ouvrir le capot de protection transparent : déplacer le chariot à la main et le mettre à mi course. Fermer le capot.
- Mettre le système sous tension (bouton derrière), capot fermé, arrêt d'urgence tiré, système armé (bouton vert « armer système ») => voyant vert allumé.
- A partir du PC, lancer l'appli « Control'Drive » permettant de piloter Control X.

- Menu déroulant : Analyse temporelle/Définir entrée.
- Réaliser un essai en boucle fermée : consigne 200mm, sur 0,5s.
- Réaliser un essai en boucle ouverte : consigne 2V, sur **1s** !



# Appropriation du système

Observez le système et la description légendée précédente.

Découvrez la chaîne de puissance du système.

Observez, repérez visuellement avec précision sur le système : le moteur électrique, le réducteur, la poulie motrice, la poulie folle, la courroie de traction.

**Q0.** Quelle est la grandeur physique asservie par Control'X ?

**Q1.** Déduire l'information qu'il est nécessaire d'envoyer à la commande du système : position, vitesse, ou accélération du chariot ?

**Q2.** Repérer visuellement le capteur permettant de connaître l'information précédemment identifiée. N'hésitez pas à faire le tour du système. Donnez le nom de ce capteur.

**Q3.** Faire un diagramme de blocs interne (« IBD » SysML vu lors du cours d'ingénierie système) montrant la succession des composants et les énergies transitant du moteur au chariot.

**Q4.** Proposer une liaison pour l'assemblage mobile en translation chariot/bâti.

## 2<sup>ème</sup> manipulation : mesures

Refaites éventuellement les manipulations précédentes. Voir diapo suivante pour l'affichage des courbes désirées.

### **Questions 5**

- Relever en boucle fermée : la vitesse de rotation moteur maxi atteinte, la tension maxi d'alimentation moteur, la valeur de position du chariot finale atteinte.
- Que se passe-t-il si on ne limite pas la durée lors d'un essai en boucle ouverte ?
- Déterminer l'erreur statique de position. Conclusion : le cahier des charges (voir annexe) est-il respecté ?
- Déterminer le temps de réponse à 5%.

Choix des signaux à observer en ordonnées

Déplacer le curseur pour obtenir les valeurs correspondantes

Choix du signal en abscisse

Seules grandeurs qui ne sont pas mesurées mais calculées

Sélection des courbes à afficher

Convertisseur d'unité  
(cliquer sur la calculatrice)

Saisissez une formule en utilisant :  
les opérateurs mathématiques classiques : +, -, \*, /, cos, sqrt...  
v2 pour la vitesse de l'axe calculée à partir de la règle magnétique

The screenshot shows a software interface with a list of signals and their values. The interface is divided into several sections:

- Signal Selection:** A vertical list of radio buttons on the left allows selecting the signal for the x-axis (labeled 'x'). The 'x' signal is selected.
- Signal List:** A table of signals with checkboxes, icons, and numerical values. The 'x' and 'v' signals are highlighted with orange boxes.
- Formula Entry:** Two input fields labeled 'Formule 1' and 'Formule 2' are at the bottom. 'Formule 1' contains 'u\*i' and 'Formule 2' contains 'v2'. A calculator icon is to the left.

Signal	Unit	Value
t : temps (s)		0.02
<input checked="" type="checkbox"/> c : consigne (mm ou V)		300
<input checked="" type="checkbox"/> x : position (mm)		7.323
<input type="checkbox"/> e1 : écart 1 (mm ou V)		292.677
<input type="checkbox"/> e2 : écart corrigé (mm ou V)		292.677
<input type="checkbox"/> e3 : écart corrigé (V)		10
<input type="checkbox"/> u : tension moteur moyenne (V)		39.931
<input type="checkbox"/> i : intensité (A)		4.418
<input type="checkbox"/> v : vitesse axe (mm/s)		681.882
<input type="checkbox"/> w : vitesse moteur (tr/min)		791.981
<input type="checkbox"/> q : position moteur (°)		51.025
<input type="checkbox"/> f : effort extérieur (N)		-3.011
<input type="checkbox"/> x2 : x règle magnétique (mm)		-7.37
<input type="checkbox"/> s : signal optionnel		0
<input type="checkbox"/> formule 1		176.413
<input type="checkbox"/> formule 2		-638.562

Perturbation s'opposant à l'asservissement du chariot en position.

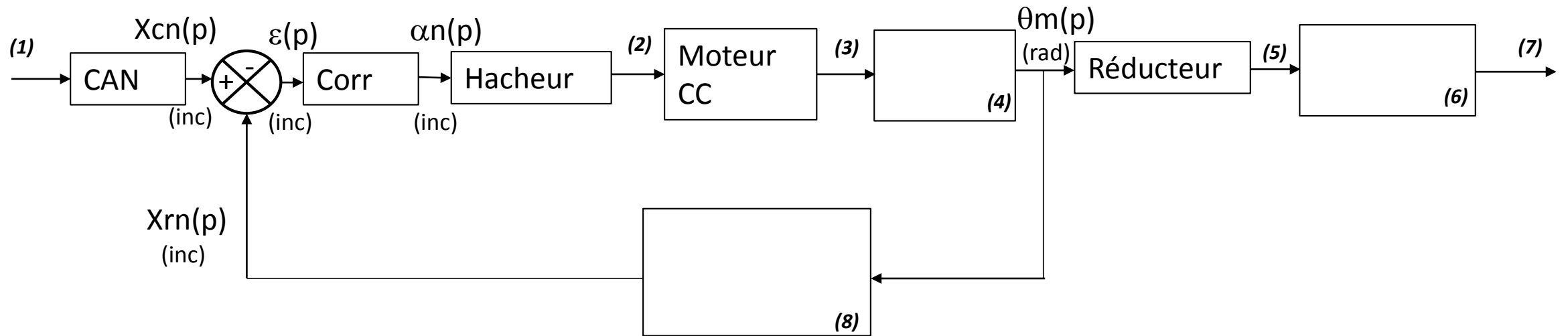
Dans le cas du système Control'X il s'agit du phénomène physique s'opposant à l'avancée du chariot.

Ce phénomène physique se modélise par une grandeur physique (et son unité donc).

- **Q6.** Quelle est la perturbation (phénomène physique, grandeur physique et son unité) ?

# Modèle causal : analyse et critique, corrélation avec le système réel

- Le schéma bloc simplifié de Control'X est donné ci-dessous.



**Q7.** Donnez le contenu des zones manquantes (i)

# Modèle causal : détermination de la fonction de transfert d'un composant

Objectif : calculer la fonction de transfert de la transmission de mouvement partant du rotor moteur au chariot.

La fonction de transfert est définie ainsi :

$$H_{meca}(p) = \frac{\textit{Position chariot}}{\textit{Angle rotor moteur}} = \frac{X_r(p)}{\theta_m(p)} = \frac{V_r(p)}{\omega_m(p)} = \frac{\textit{vitesse chariot}}{\textit{vitesse moteur}}$$

**Q8.** Déterminer cette fonction de transfert par les valeurs recueillies expérimentalement en unité SI,  $[H_{meca}(p)]_{exp}$ .

Vérifier que le rapport  $\frac{X_r(p)}{\theta_m(p)}$  est constant.



# Fonction de transfert $H_{méca}(p)$ : calcul théorique

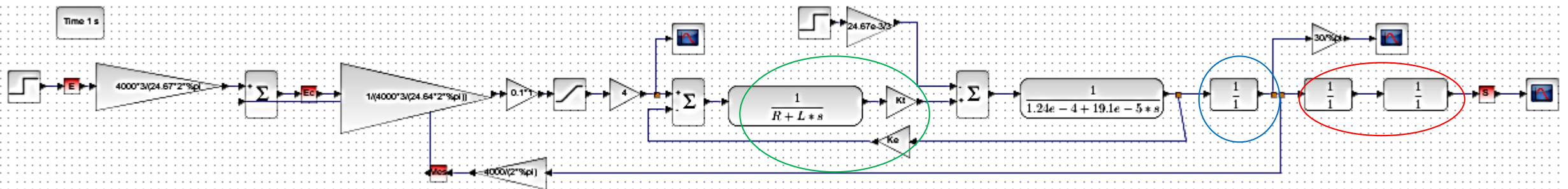
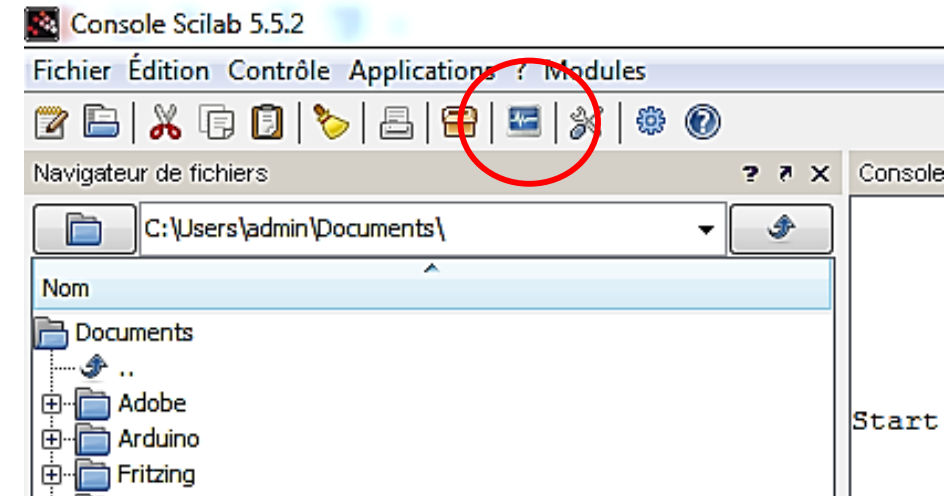
**Q9.** Quelle relation théorique simple lie la vitesse de rotation d'une poulie  $\omega_{poulie}$  en rad/s, à la vitesse de translation de la courroie en m/s (donc la vitesse du chariot  $V_r$ ) qui s'enroule sur elle ?

**Q9'.** Dédurre la relation entre  $V_r$  et  $\omega_m$  (=vitesse rotor moteur).

**Q10.** Reportez vous au dossier technique en fin de sujet et déduisez la valeur théorique  $[H_{méca}(p)]_{th}$ . Comparez avec  $[H_{méca}(p)]_{exp}$ .

# SIMULATION

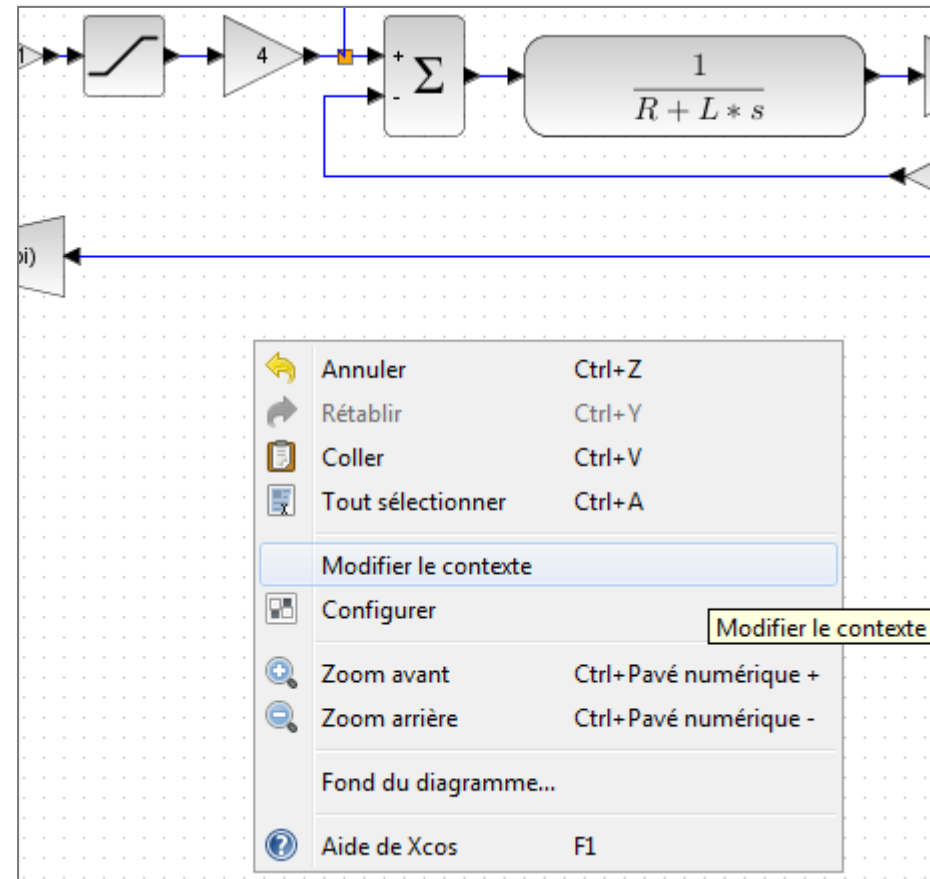
- Sur un PC « informatique » : ouvrez le logiciel Scilab
- Ouvrez Xcos (clic bouton sur bandeau supérieur)
- Puis, ouvrez le modèle causal du control'X (*schema\_bloc\_ControlX\_eleve*). Vous obtenez un schéma bloc qui ressemble à celui donné ci-dessous.



- Dans le schéma bloc Scilab : saisissez les valeurs nécessaires dans les blocs entourés en rouge.
- Saisissez la fonction de transfert du bloc entouré en bleu (la variable symbolique de Laplace  $p$  est  $s$  dans Scilab).
- Saisissez les valeurs des caractéristiques moteur constructeur des blocs entourés en vert : clic droit sur l'arrière plan Scilab, modifier le contexte. Vous disposez des données constructeurs du moteur Sanyo en fin de sujet.

**ATTENTION : TOUTES LES VALEURS NUMERIQUES DOIVENT ÊTRE SAISIES**

**EN UNITES SI, SEULES UNITES « COMPREHENSIBLES » PAR SCILAB !**



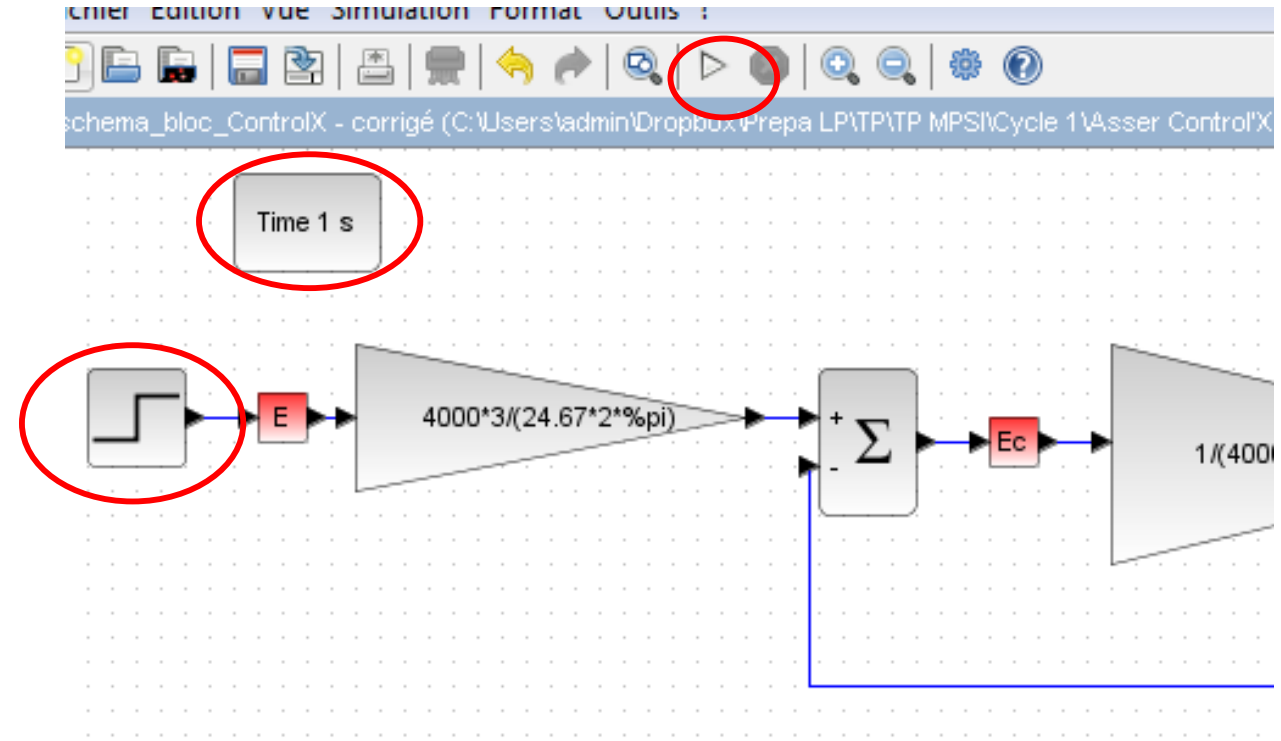
Saisissez une consigne de déplacement de 50mm.

Durée de simulation 1 s.

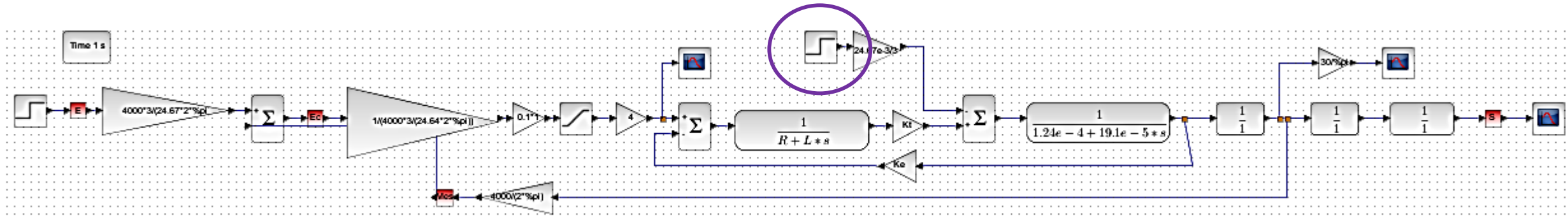
Lancez la simulation.

**Q11.** Calculer l'erreur statique simulée et le temps de réponse à 5% :  $\varepsilon_{s\_sim}$  et  $T_{r5\_sim}$

**Q12.** Relever la tension moteur finale simulée  $U_{motf\_sim}$  et la vitesse moteur  $\omega_{motf\_sim}$ .



# Influence de la perturbation



Dans ce système la perturbation est la force de frottement que le bâti exerce sur le chariot, s'opposant ainsi à son avancement, donc à l'obtention de la valeur de position désirée.

En fait, il s'agit même de toutes les forces de frottement entre pièces en mouvement relatif (rotor moteur, engrenages du réducteur, poulies, courroie...).

Cette force est représentée par le bloc entouré en **violet**.

Nous retiendrons une force de frottement de 20 N (Newton) s'exerçant sur le chariot.

Saisir :

- 20N dans le bloc, apparaissant à 2s (pour bien voir son effet)
- une consigne de 100mm
- une durée de calcul de 5s

**Q13.** Nouvel écart statique  $\varepsilon_{s\_pert}$ ?

**Q14.** Comparer les deux autres courbes : tension moteur et vitesse moteur.

Refaire une simulation avec une **consigne de 300mm**.

Observez avec attention la courbe de tension :

**Q15.** Quelle différence remarquez-vous dans l'allure de la tension par rapport à la précédente simulation ? Donnez le nom à ce « phénomène ». Donner le nom générique du point de vue des SLCI donné à ce phénomène ?

Donner la « valeur remarquable » de  $U_{mot}$ , que vous nommerez  $U_{sat}$ .

**Q16.** Quel bloc dans le schéma bloc Scilab modélise ce phénomène ?

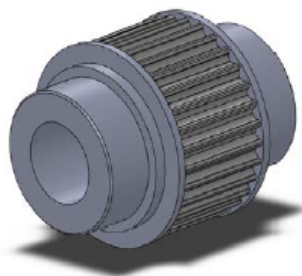
**Q17.** Expliquer technologiquement sa cause ?

FIN

Annexe : dossier technique

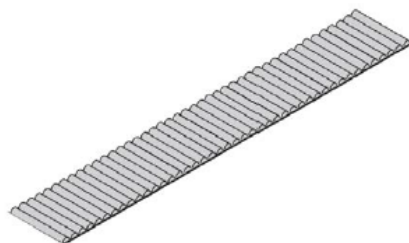


## 5.6 Poulies crantées



Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Type				25 HTD 5M
Largeur		mm	25	
Pas	$p^*$	mm	5	
Nombre de dents	Z		31	
Rayon primitif	R	mm	24.67	Avance de 155 mm/tour
Avance par tour	a	mm	155	
Moment d'inertie	$J_p$	kg.m <sup>2</sup>	$4.2 \cdot 10^{-5}$	Calculé avec SolidWorks (aluminium)

## 5.7 Courroie



Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Type				25 HTD 5M
Largeur		mm	25	
Pas	$p^*$	mm	5	
Longueur primitive de courroie	$l_c$	mm	1670	
Masse linéique	$\lambda_c$	kg/m	0.096	
Masse	$m_c$	kg	0.16	
Raideur spécifique	$r_s$	N	$0.572 \times 10^6$	*
Tension recommandée		N	[570, 710]	

## 5.3 Réducteur Neugart PLE 60



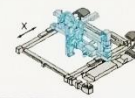
Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Nombre d'étage			1	Train épicycloïdal
Rapport de réduction	$1/i$		1/3	$(\omega_{sortie}/\omega_{entrée})$
Couple de sortie nominal		N.m	28	
Couple de sortie max		N.m	45	
Couple d'urgence		N.m	66	Autorisé 1000 fois
Jeu angulaire		arcmin	< 10	Ramené sur la sortie (à priori)
Vitesse d'entrée max		tr/min	13000	
$F_R$ max pour 300000 h		N	340	
$F_A$ max pour 300000 h		N	450	
$F_R$ max		N	700	
$F_A$ max		N	800	
Rigidité en torsion		N.m/arcmin	2.3	$7.907 \times 10^3$ N.m/rad
Masse		kg	0.9	
Moment d'inertie	$J_r$	kg.cm <sup>2</sup>	0.135	$0.135 \cdot 10^{-4}$ : ramené sur l'entrée
Rendement		%	97	

# Moteur CC Sanyo du Control'X

## 5.1.1 Caractéristiques moteur fournies par le constructeur

Caractéristique	Température	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Puissance nominale	**	$P_{nom}$	W	110	
Tension nominale	**	$U_{nom}$	V	75	
Couple nominal	**	$C_{nom}$	N.m	0.34	
Courant nominal	**	$I_{nom}$	A	2.0	
Vitesse nominale	**	$\omega_{nom}$	tr/min	3000	soit 314 rad/s
Couple maxi en continu	**	$C_{cont}$	N.m	0.42	
Couple maxi instantané	**	$C_{max}$	N.m	3.4	
Courant maxi en continu	**	$I_{cont}$	A	2.2	
Courant maxi instantané	**	$I_{max}$	A	18	
Vitesse maximale			tr/min	5000	soit 523 rad/s
Couple de friction	*	$C_{frott-moteur}$	N.m	0.022	
Accélération instantanée	maxi **		rad/s <sup>2</sup>	$91.9 \times 10^3$	
Coefficient de frottement visqueux	*	$f_{D-moteur}$	N.m/min	$0.013 \times 10^{-3}$	soit $0.124e-3$ N.m/(rad/s)
Constante de couple	*	k ou $k_c$	N.m/A	0.21	
Constante de force contre électromotrice	*	k ou $k_e$	V/min	$21.8 \times 10^{-3}$	soit 0.2083V/(rad/s)
Moment d'inertie du rotor	*	$J_{mot}$	kg.m <sup>2</sup>	$0.037 \times 10^{-3}$	
Résistance d'induit	*	r	$\Omega$	5.1	
Inductance d'induit	*	L	mH	3.2	
Constante de temps mécanique	*	$T_{méca}$	ms	4.3	
Constante de temps électrique	*	$T_{élec}$	ms	0.63	
Constante de temps thermique	**		min	30	
Résistance thermique	**		K/W	2.4	
Température limite	**		°C	105	

# Cahier des charges Control'X



## Cahier des charges fonctionnel

[Ctrl + clic pour revenir au sommaire](#)

Les exigences propres aux opérations de "pick and place" concernent la cadence et la précision de positionnement.

On présente ci-dessous un cahier des charges typique dans le contexte d'utilisation qu'est le placement de composants électroniques :

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
Permettre de positionner un composant électronique	Cadence de pose	3000 composants à l'heure	mini
	Précision (Répétabilité)	$\pm 0.1$ mm	maxi
	Course en X	300 mm	$\pm 10$ mm

Le cahier des charges précédent est le cahier des charges orienté client, il peut être retraduit dans le domaine du concepteur de la machine : Cela permet en particulier de donner naissance à un cahier des charges orienté "élève" qui peut être dégradé à loisir selon les objectifs pédagogiques visés.

On pourra commencer par exemple certains TP avec un cahier des charges peu contraignant du type ci-dessous :

Fonctions	Critères	Niveaux
Permettre de positionner une pièce.	<b>C1</b> Système asymptotiquement stable	
	<b>C2</b> Amortissement caractérisé par une marge de gain et une marge de phase dans le domaine fréquentiel ou encore par un premier dépassement dans le domaine temporel.	$M_G > 10$ dB $M_{\varphi} > 45^\circ$ $D_1 < 25\%$
	<b>C3</b> Rapidité caractérisée par une pulsation de coupure à 0dB de la boucle ouverte dans le domaine fréquentiel ou encore par son temps de réponse à 5 % dans le domaine temporel.	$\omega_{co-0dB} > 15$ rad/s $T_{5\%} < 500$ ms
	<b>C4</b> Précision caractérisée par son écart statique (écart permanent pour une entrée en échelon)	$\varepsilon_S < 0.5$ mm

Un dépassement de 25% est sans nul doute très supérieur à ce qui est attendu dans le contexte décrit.