



Préparation à faire chez soi avant la séance de TP

- Lire tout le sujet
- Répondre aux questions de la partie 1 préparatoire à la maison sur une feuille (pas de présentation type « copie-à-rendre », car vous l'agraferez dans votre cahier de TP)

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 (à engrenage en général)

1^{ère} 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%, $Tr5\%$, permettant de quantifier la rapidité d'un système, quel qu'il soit.
- Donner la définition du dépassement.
- 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 série de composants de la chaîne directe ?
- Où est placé le correcteur d'un système asservi dans un schéma bloc ?

Sciences de l'Ingénieur : travaux pratiques

Support : chariot translatant Control'X

Thème : asservissement

Niveau : 1^{ère} 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

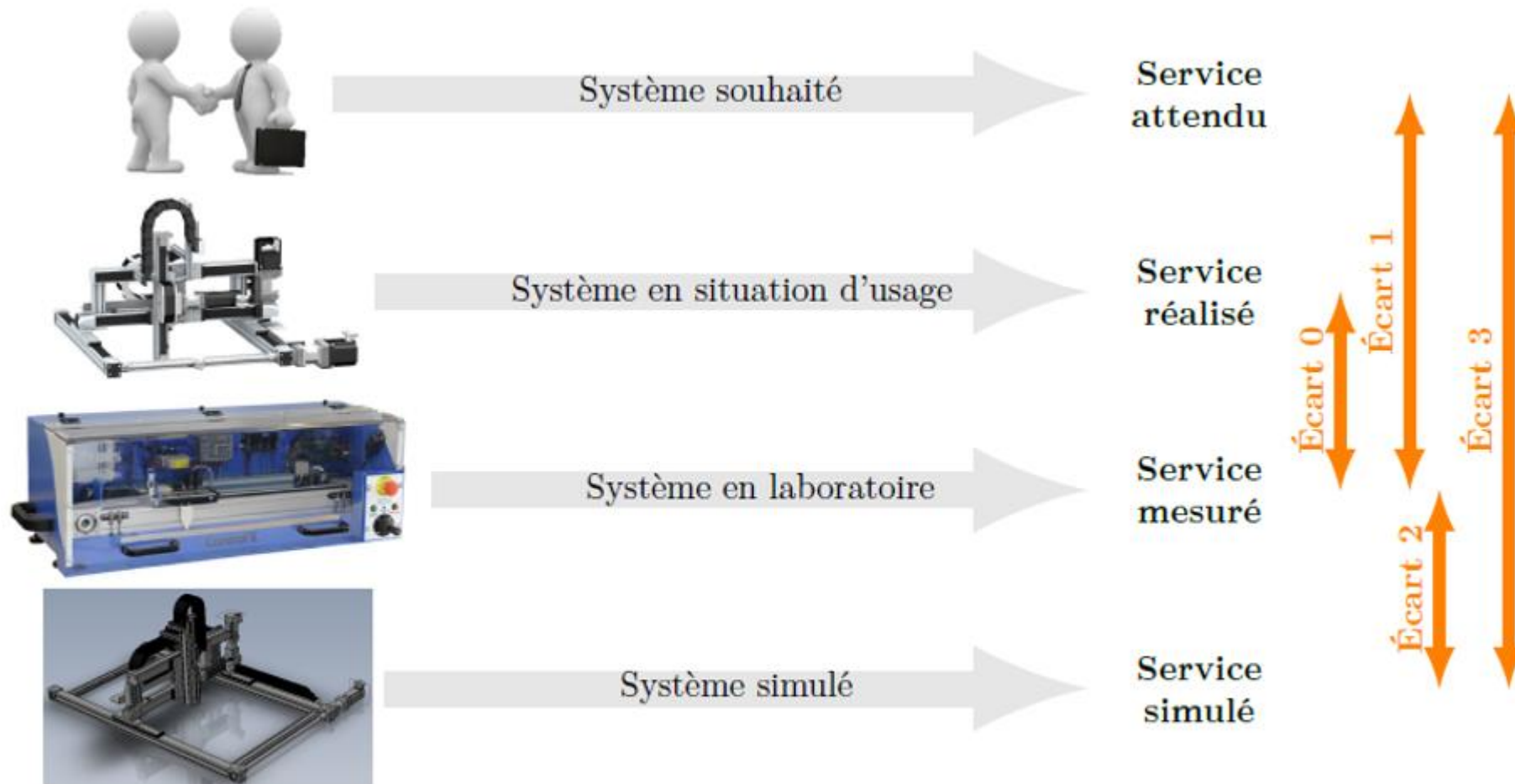
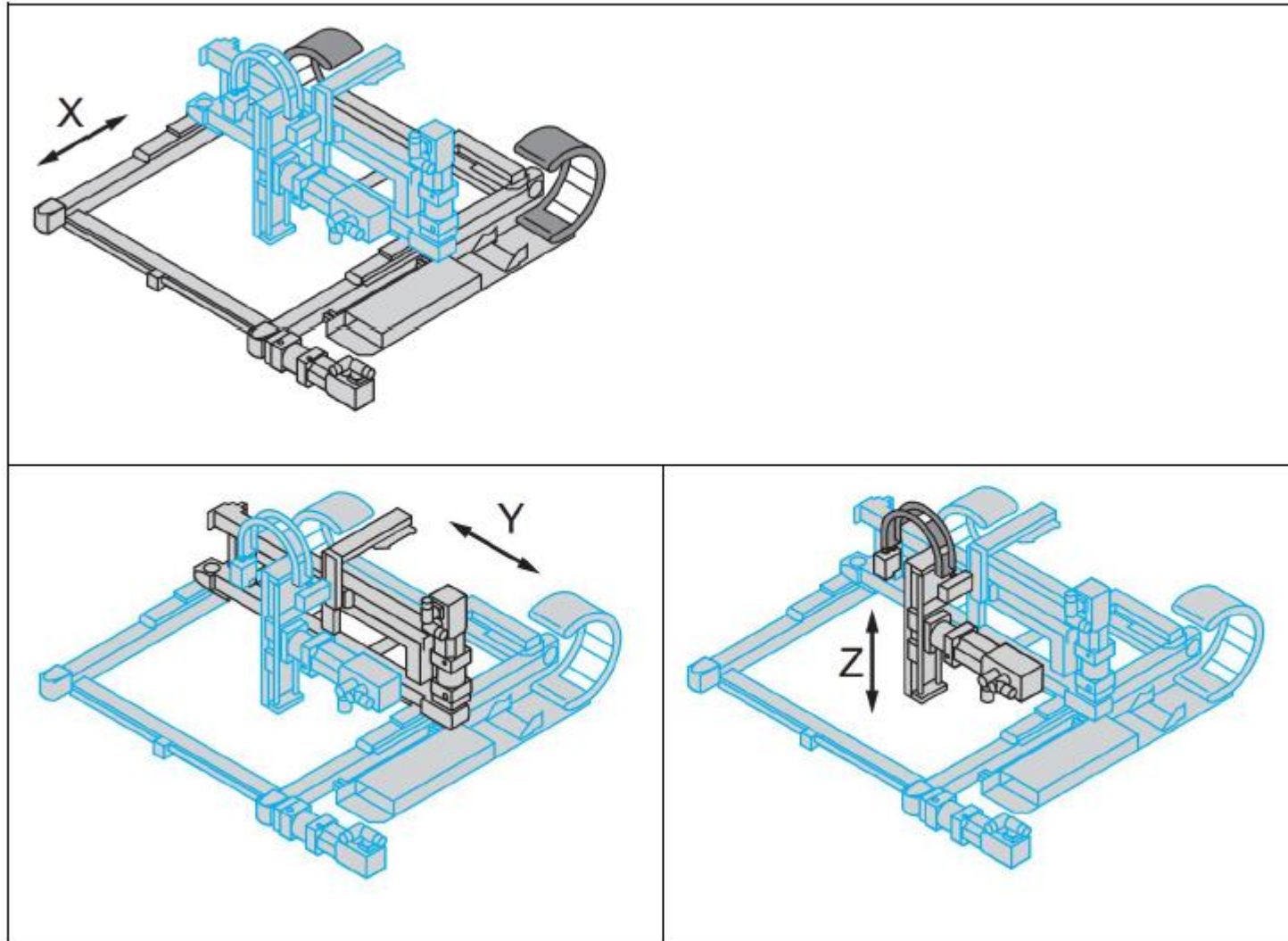


FIGURE 1 – Démarche de l'ingénieur centrée sur la mesure des écarts.

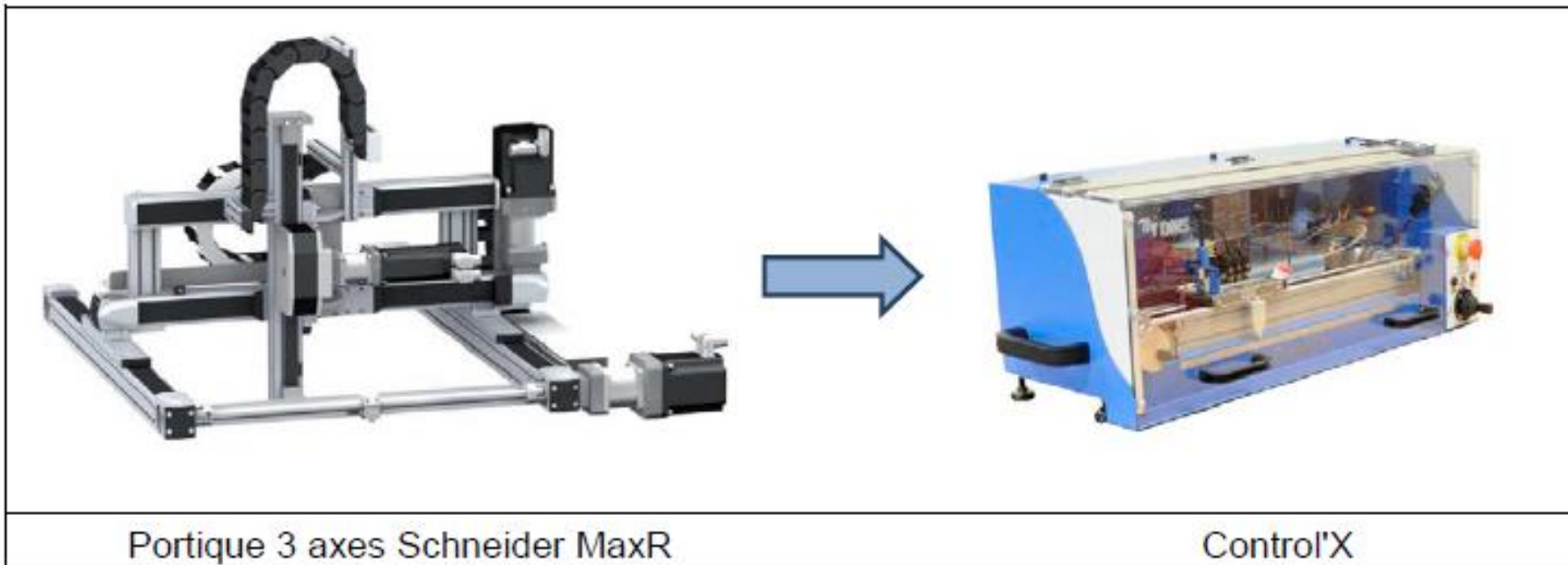
Vision d'ensemble - Contexte



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. Il permet donc de placer le chariot à une position précise désirée par l'utilisateur.

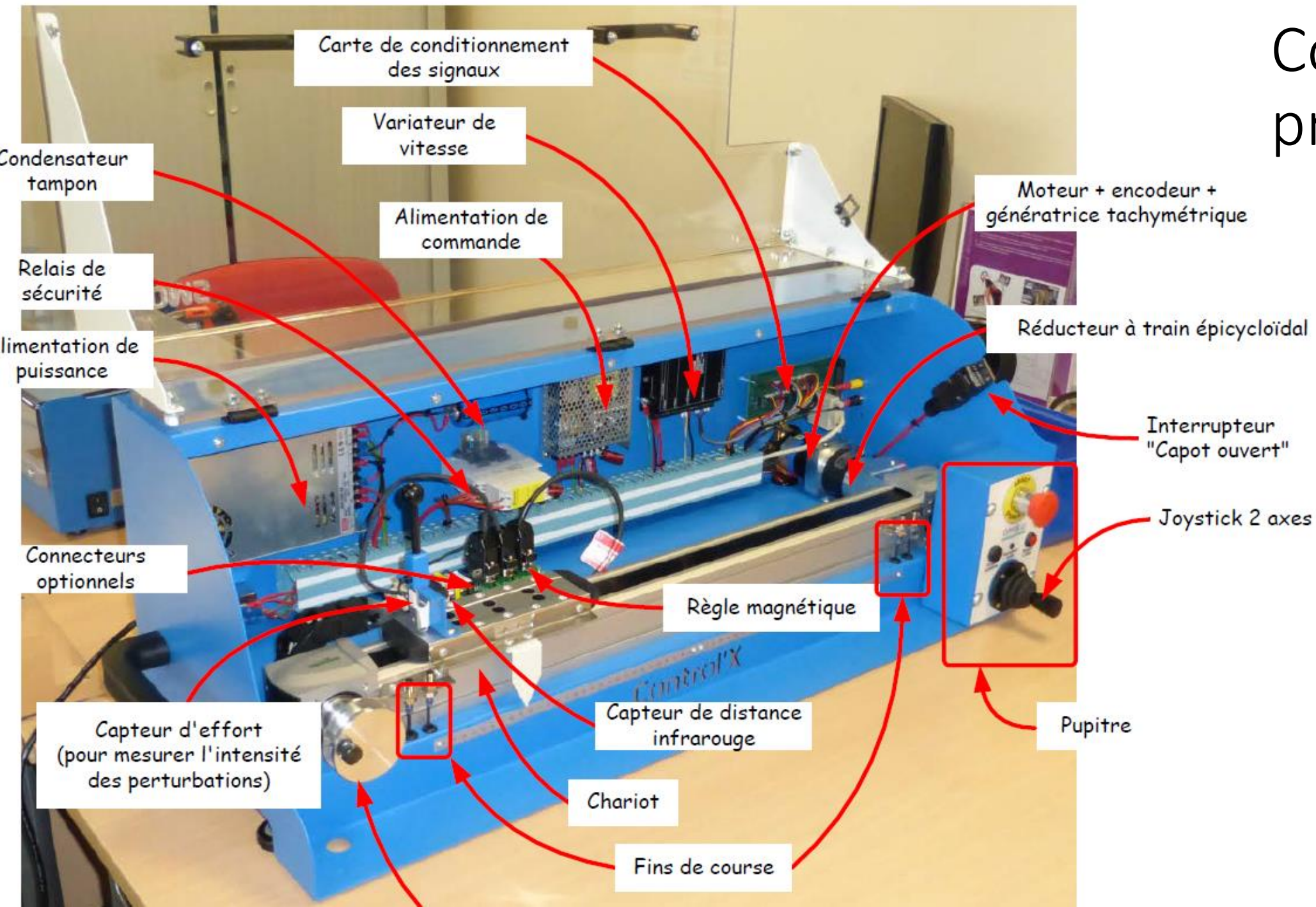
Un moteur électrique à courant continu accouplé à un réducteur, entraîne une poulie.

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 avec une tension U_{mot} variable (Volts).

Composants principaux

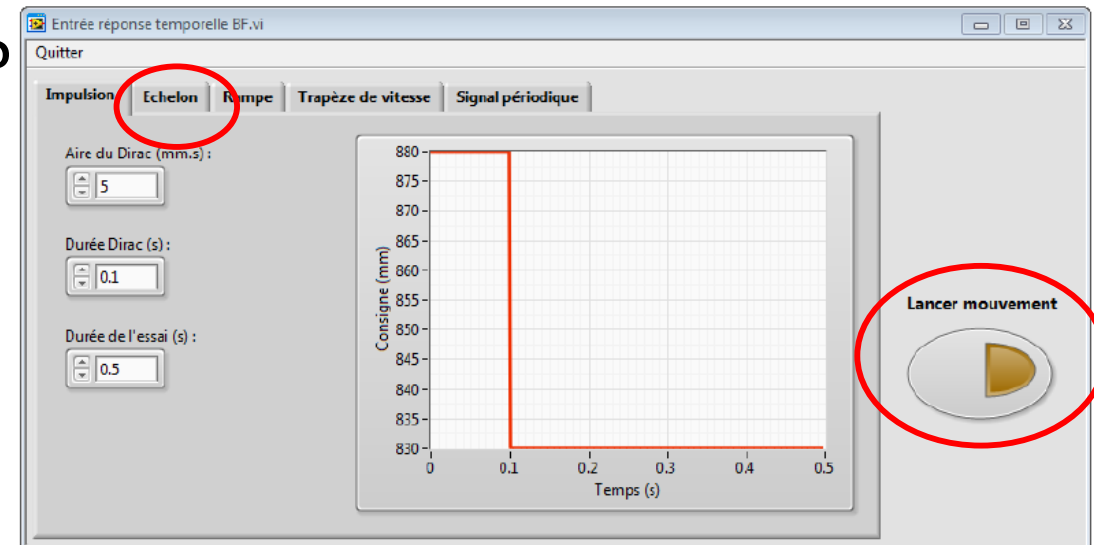
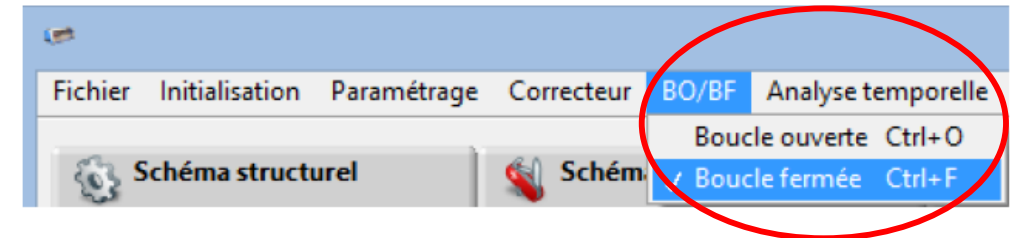
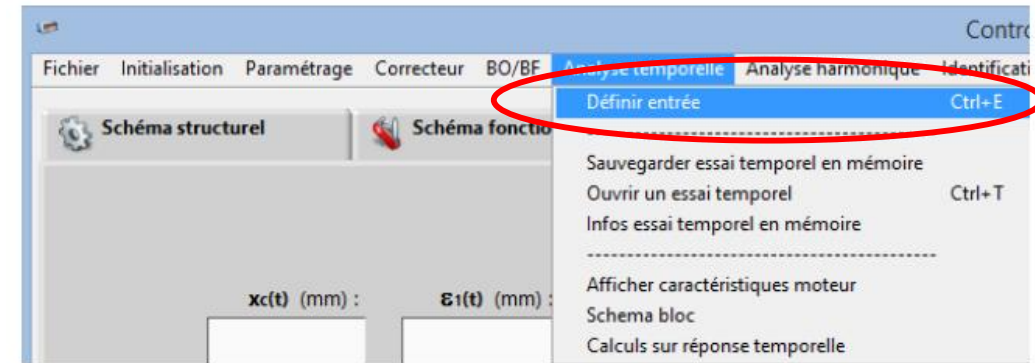


Mise en route du Control'X

1^{ère} 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 le système), capot fermé, arrêt d'urgence tiré, système armé (bouton vert « armer système ») => voyant vert allumé.
- A partir du PC, lancer l'appliquatif « Control'Drive » permettant de piloter Control X.

- Menu déroulant : Analyse temporelle/Définir entrée.
- Réaliser un essai en boucle fermée : consigne 200mm, sur 0,5 s.
- Evaluer l'erreur statique ε_s
- Evaluer le temps de réponse à 5%, $Tr_{5\%}$.
- Si dépassement (de la valeur finale atteinte) : évaluer le premier dépassement relatif D_{R1} ?
- Vérifier (ou non) le cahier des charges (voir en annexe).



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.

Q1. Quelle est la grandeur physique asservie par Control'X ?

Q2. Déduire l'information qu'il est nécessaire d'envoyer à la commande du système : position, vitesse, ou accélération du chariot ?

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 : 4 composants, donc, 4 blocs !

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

2^{ème} manipulation : mesures

Refaites éventuellement la manipulation précédente. Voir diapo suivante pour l'affichage des courbes désirées.

Questions 5 : découverte des ordres de grandeur des variables physiques.

- Relever en boucle fermée : la vitesse de rotation moteur maxi atteinte, la tension maxi d'alimentation moteur, l'intensité moteur maxi.
- A partir de la courbe de vitesse moteur, évaluer l'accélération angulaire du moteur au démarrage : $\dot{\omega}_{mot_dem}$

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)

Interface de sélection des courbes à afficher :

X

Y 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

Formule 1 : $u \cdot i$

Formule 2 : $v2$

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

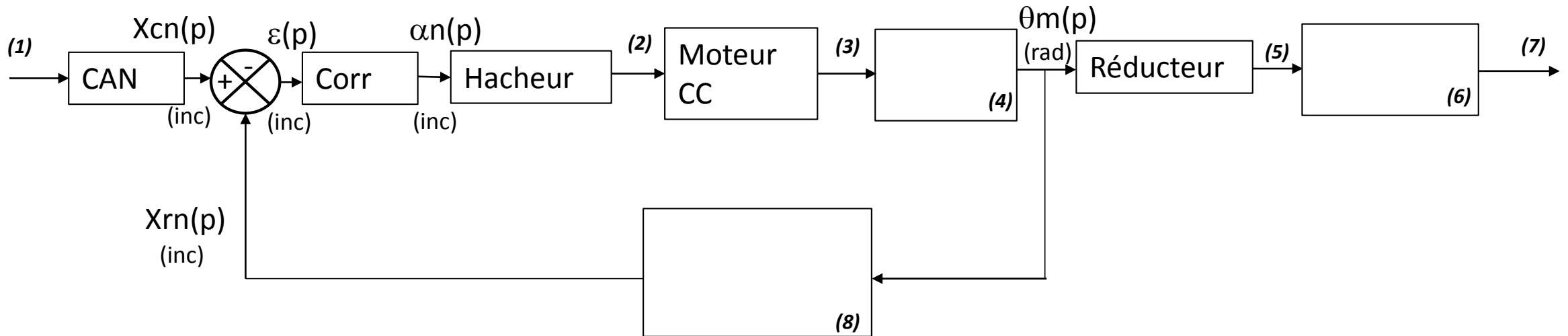
Perturbation s'opposant à l'asservissement du chariot en position.

Dans le cas du système Control'X il s'agit des frottements entre pièces mobiles dans la chaîne de transmission de puissance.

Q5. Munissez-vous d'un dynamomètre et évaluer la force de frottement globale F_{frott} (N) rapportée au chariot, en tirant le chariot.

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

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



Q6. Donnez le contenu des zones manquantes (i).

On propose pour les blocs : codeur angulaire, intégration, poulie/courroie.

On propose pour les grandeurs physiques : Ω_{mot} (rad/s), U_{mot} (V), $X_{chariot}$ (m), θ_{red} (rad) , $X_{consigne}(m)$.

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 $H_{meca}(p)$: calcul théorique

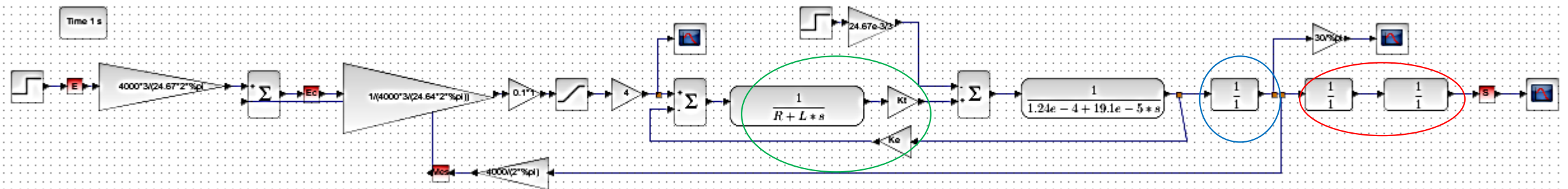
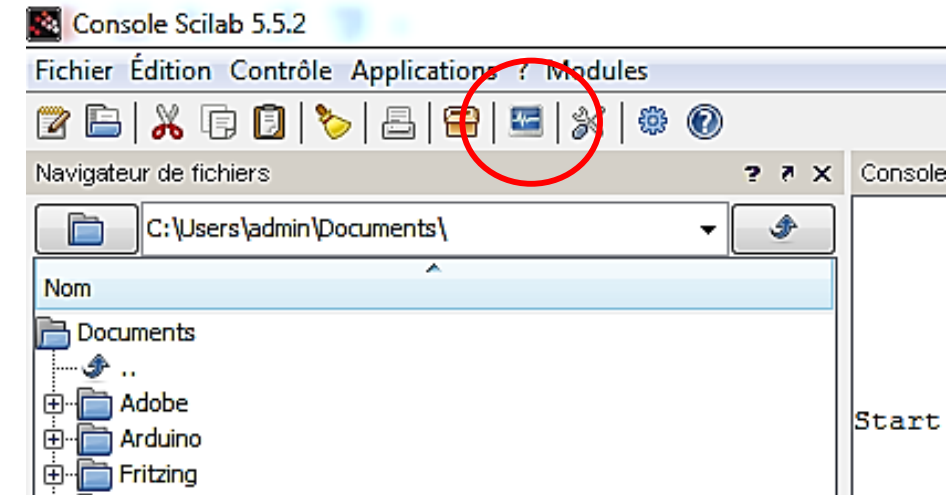
La relation théorique cinématique entre ω_{poulie} (rad/s) et la vitesse de translation de la courroie (= la vitesse du chariot V_r en m/s) qui s'enroule sur la poulie est : $V_r = R_{poulie} \times \omega_{poulie}$, où R_{poulie} est le rayon de la poulie en m. La valeur de ce rayon est dans les documents constructeur en annexe de ce sujet.

Cette relation fournit la fonction de transfert théorique $[H_{meca}(p)]_{th}$.

Q9. Vérifier que $[H_{meca}(p)]_{exp}$, déterminé précédemment, est bien égale à $[H_{meca}(p)]_{th}$.

SIMULATION

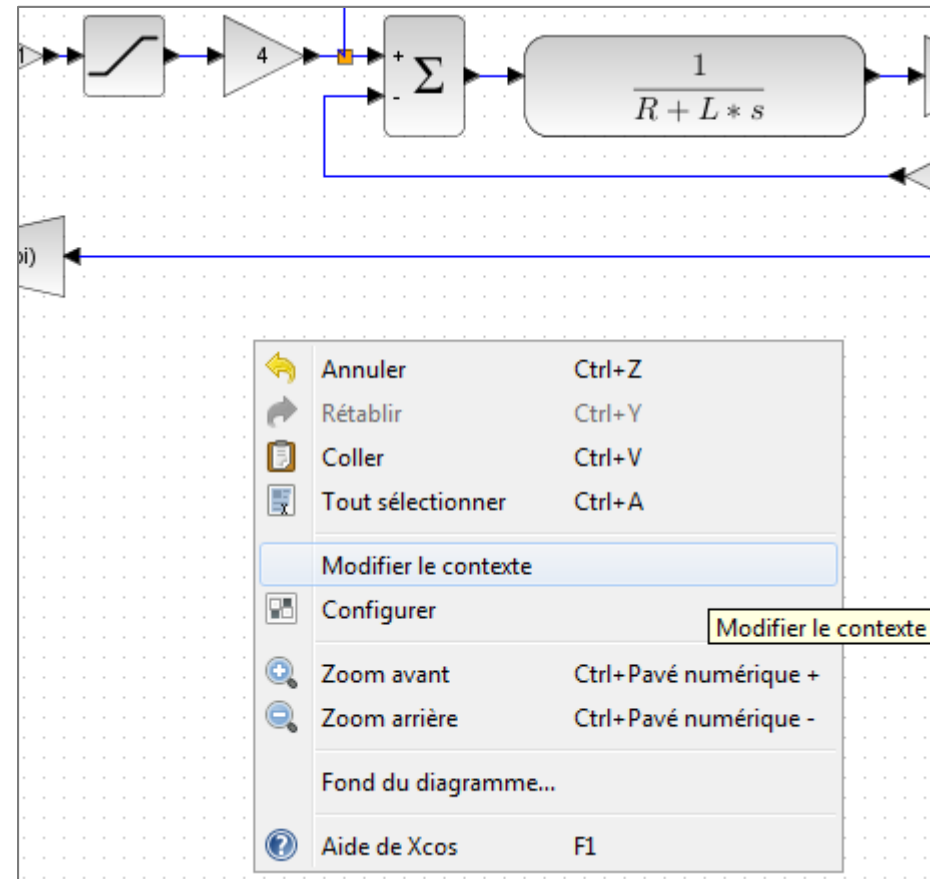
- Sur un PC « informatique » : ouvrez le logiciel Scilab à partir du dossier sur le bureau « outils mathématiques » et pas par une recherche Windows.
- Ouvrez Xcos (clic bouton sur bandeau supérieur)
- Puis, ouvrez le modèle causal du control'X (*schema_bloc_ControlX_eleve*). Vous obtenez un schéma bloc qui ressemble à celui donnée 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 annexe en fin de sujet.

ATTENTION : TOUTES LES VALEURS NUMERIQUES DOIVENT ÊTRE SAISIES

**EN UNITES S.I., SEULES UNITES
« COMPREHENSIBLES » PAR SCILAB !**



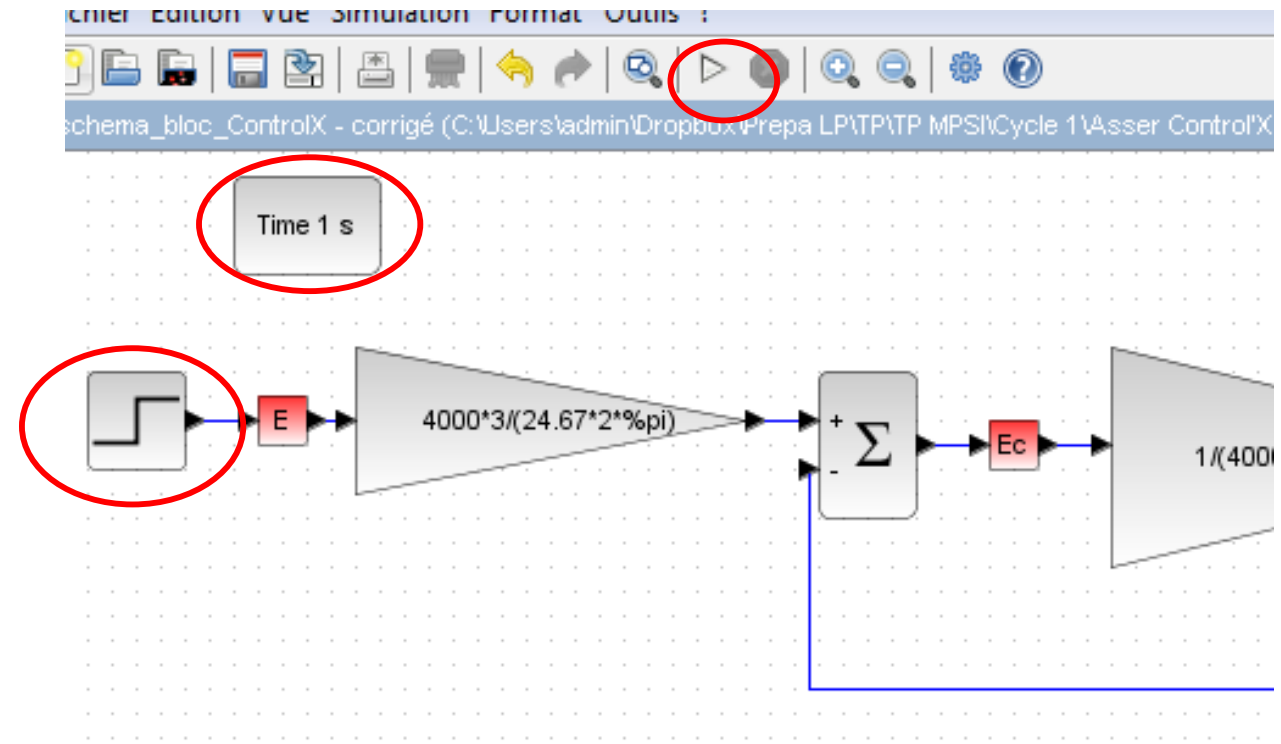
Saisissez une consigne de déplacement de 50mm.

Durée de simulation 1 s.

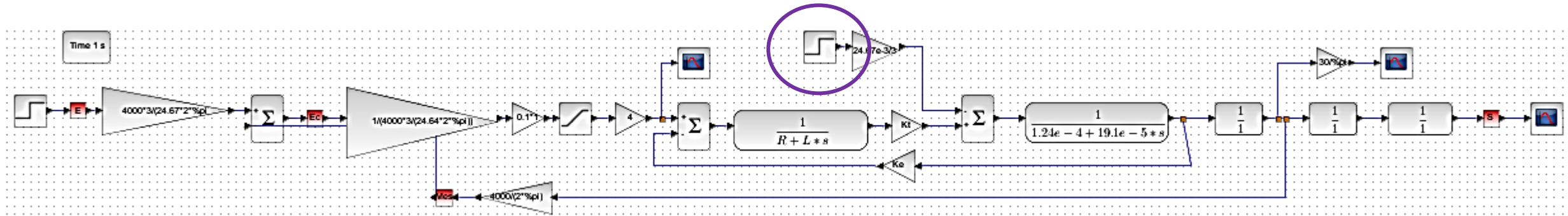
Lancez la simulation.

Q11. Calculer l'erreur statique simulée et le temps de réponse à 5% : ε_{s_sim} et T_{r5_sim}

Q12. Relever la tension moteur finale simulée U_{motf_sim} et la vitesse moteur ω_{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 35 N (Newton) s'exerçant sur le chariot.

Saisir :

- 35N 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 du à la perturbation $\varepsilon_{s\ pert}$?

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 ?

=> Il s'agit de la saturation de la commande du moteur. Cela peut se comprendre : on se doute bien que la commande en amont du moteur ne peut pas fournir une tension infinie

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

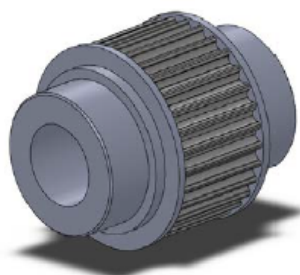
Q16. Quel bloc dans le schéma bloc Scilab modélise ce phénomène ?

Q17. Expliquer technologiquement sa cause ?

FIN

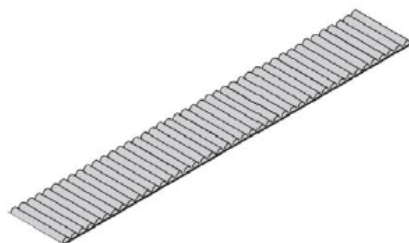
Annexe : dossier technique

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 ²	$4.2.10^{-5}$	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	λ_c	kg/m	0.096	
Masse	m_c	kg	0.16	
Raideur spécifique	r_s	N	0.572×10^6	*
Tension recommandée		N	[570, 710]	

5.3 Réducteur Neugart PLE 60



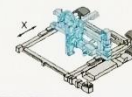
Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Nombre d'étage			1	Train épicycloïdal
Rapport de réduction	1/i		1/3	($\omega_{sortie}/\omega_{entrée}$)
Couple de sortie nominal		N.m	28	
Couple de sortie max		N.m	45	
Couple d'urgence		N.m	66	Autorisé 1000 fois
Jeu angulaire		arcmin	< 10	Ramené sur la 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	7.907×10^3 N.m/rad
Masse		kg	0.9	
Moment d'inertie	J_r	kg.cm ²	0.135	$0.135.10^{-4}$: 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	**	ω_{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 maxi instantanée	**		rad/s ²	91.9×10^3	
Coefficient de frottement visqueux	*	$f_{D-moteur}$	N.m/min	0.013×10^{-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	21.8×10^{-3}	soit 0.2083V/(rad/s)
Moment d'inertie du rotor	*	J_{mot}	kg.m ²	0.037×10^{-3}	
Résistance d'induit	*	r	Ω	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)	$\pm 0.1 \text{ mm}$	maxi
	Course en X	300 mm	$\pm 10 \text{ mm}$

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.	C1	Système asymptotiquement stable	
	C2	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.	$M_G > 10 \text{ dB}$ $M_\varphi > 45^\circ$ $D_1 < 25\%$
	C3	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.	$\omega_{co-0dB} > 15 \text{ rad/s}$ $T_{5\%} < 500 \text{ ms}$
	C4	Précision caractérisée par son écart statique (écart permanent pour une entrée en échelon)	$\varepsilon_S < 0.5 \text{ mm}$

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