

**Objectif du TP :**

- Déterminer la fonction de transfert d'un système par une analyse harmonique (fréquentielle).
- Comparer le réel au modèle.

1 - Présentation de la maquette.

Cette maquette a été construite à partir d'une structure industrielle qui est utilisée pour remplir, au moins, deux fonctions :

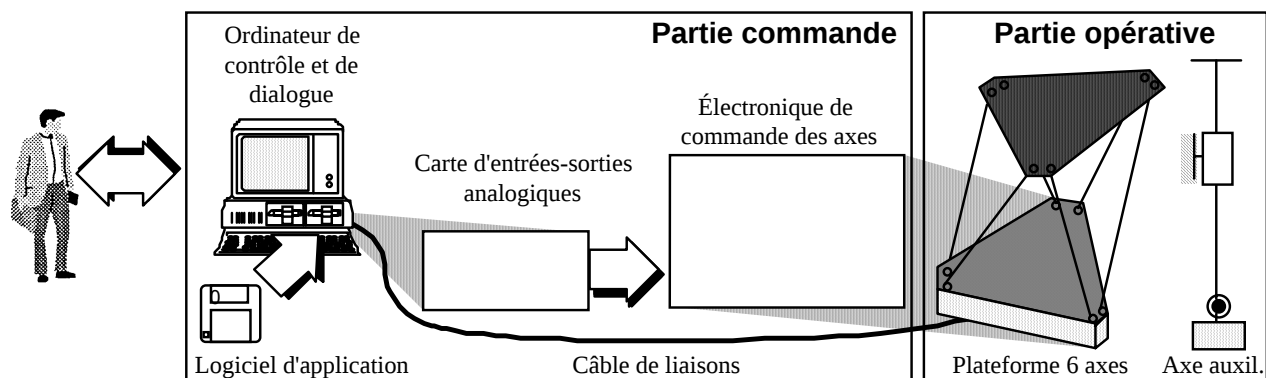
- Tester le comportement d'un pilote d'avion fixé sur la plate-forme mobile, en simulant différentes conditions de vol,
- Tester le comportement d'une automobile fixée sur la plate-forme mobile, en modélisant différentes conditions de circulation.

Cette maquette comporte une **partie opérative** et une **partie commande**.

Partie opérative . L'architecture de la partie opérative est celle d'un robot parallèle, comportant 6 vérins montés en parallèle. Pour chacun de ces vérins, une extrémité est articulée sur une embase fixe et l'autre extrémité s'articule sur la plateforme mobile. Les articulations sont réalisées à l'aide de **liaisons rotules**. Chaque vérin, de course théorique d'environ 150 mm, est un vérin électrique, construit à partir d'une **liaison glissière hélicoïdale**, et motorisé par un motoréducteur à courant continu, de puissance environ 5 W.

La maquette est complétée d'un 7^{ème} axe, autonome, monté sur un support spécifique, afin d'effectuer des tests isolés (asservissement, raideur, ...) et de s'affranchir des problèmes dynamiques de couplage.

Partie commande. La commande de chaque moteur de vérins est une commande asservie en position par l'intermédiaire d'un capteur potentiométrique monotour lié à la vis d'entraînement . Elle est assurée par une commande d'asservissement multiaxes intégrant le pilotage en courant des moteurs.



L'entrée des consignes de position s'effectue à partir d'un ordinateur comportant un logiciel de simulation-pilotage, interfacé avec la commande d'axes. La carte d'interfaces analogique-numérique entre l'ordinateur et l'électronique de commande des axes permet à la fois, en « temps réel » :

- de transmettre les consignes calculées par l'ordinateur vers chacun des axes commandés ;

— d'acquérir les différentes mesures de position, de vitesse et de «couple» pour les visualiser.

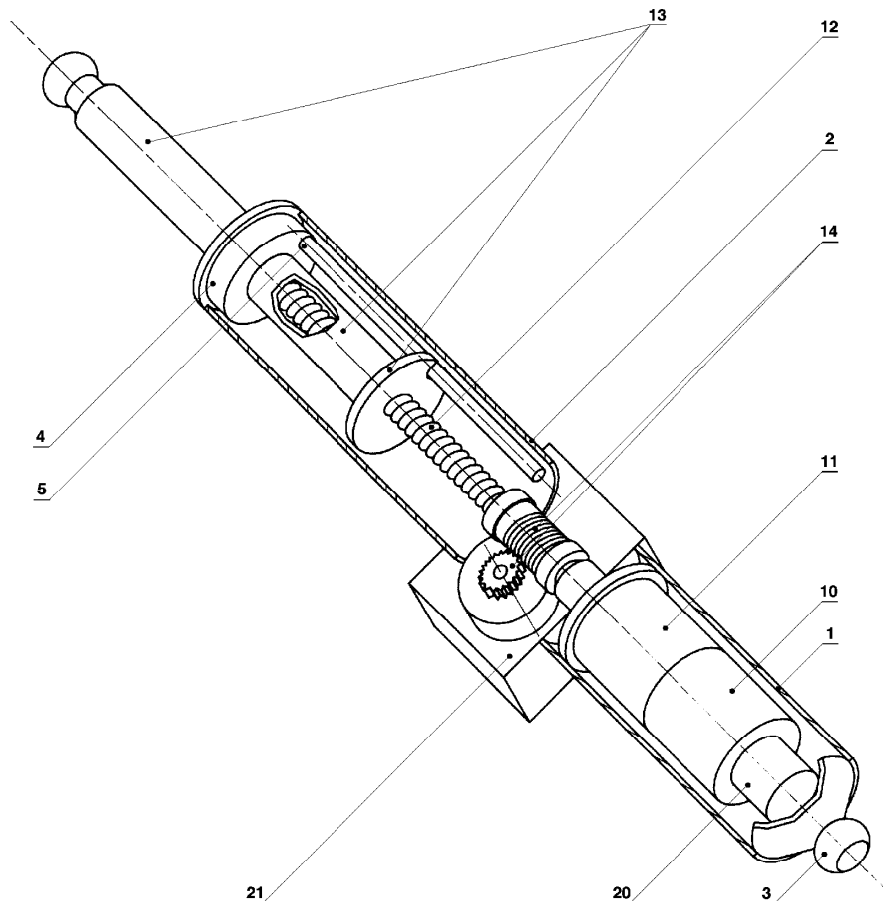
Chaque vérin ainsi commandé présente une architecture de **chaîne fonctionnelle asservie**.

L'axe autonome auxiliaire est commandé par la même commande d'axes.

Le logiciel développé spécifiquement pour cette application intègre les fonctions suivantes :

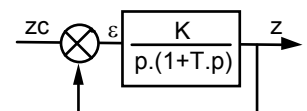
- une fonction **interface utilisateur**, sous forme d'un menu arborescent ;
- fonction **contrôle-commande** de la plateforme et de l'axe auxiliaire. Cette fonction de directeur de commande d'axe calcule les consignes de position à appliquer sur chacun des axes à chaque période d'échantillonnage pour obtenir la trajectoire sélectionnée au menu, transmet ces consignes aux modules électroniques de commande des axes, via la carte d'interface implantée dans l'ordinateur ;
- fonction **oscilloscope**. Cette fonction de visualisation des courbes (menu Résultats) exploite les mesures effectuées en temps réel sur les différentes grandeurs des axes pendant l'exécution d'une trajectoire demandée. Elle permet d'obtenir les courbes de position, de vitesse et de couple moteur.

Architecture d'un axe (dont l'axe auxiliaire)



10	Moteur à courant continu	Escap 23HL11-213E
11	Réducteur planétaire	Escap R22 - k = 19,4
12	Vis de commande du vérin	Kerk série B ; Ø 6,35 mm ; pas 6,35 mm
13	Écrou tige de vérin	Kerk série B (associé à la vis)
14	Réducteur roue-vis	Réducteur k=25
20	Génératrice tachymétrique	Escap 204 (associée au moteur 23HL11)
21	Potentiomètre de mesure de position	Dinopot P1701, monotour, taille 9 synchro

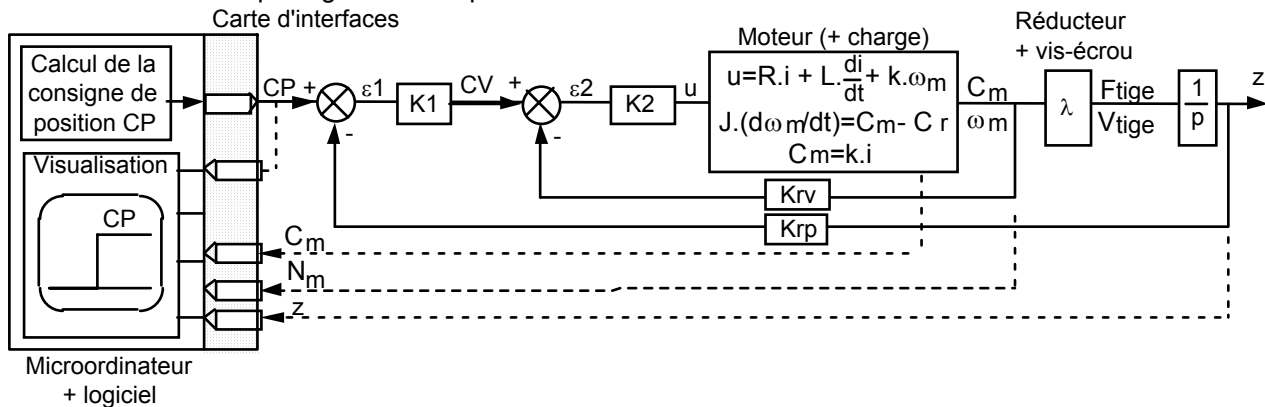
Le modèle retenu pour la fonction de transfert en "boucle ouverte" de la commande en position est un second ordre de classe 1, de gain K et de constante de temps T.



Remarque : un schéma fonctionnel simplifié de la commande de l'axe 7 est donné ci-après. Il fait apparaître deux boucles d'asservissement imbriquées :

- la boucle principale est celle d'asservissement en position : elle élabore l'écart de position ε_1 . Cet écart est amplifié pour générer la consigne d'asservissement de vitesse du moteur, CV :
- la seconde boucle est la boucle d'asservissement de vitesse du moteur et de l'axe 7. Elle élabore l'écart de vitesse ε_2 qui agit sur la commande en courant du moteur pour engendrer le couple nécessaire

pour déplacer la tige du vérin compte tenu de sa masse, des frottements. Ce couple est à l'origine de l'accélération moteur qui engendre le déplacement de l'axe.



2 - Étude expérimentale :

On se propose pour cette étude de tracer les diagrammes de Bode de positionnement de l'axe.

Procédure d'utilisation de l'axe seul : (exemple pour un signal d'entrée de type échelon)

La procédure est la suivante :

- Mettre sous tension la plate-forme puis allumer le micro-ordinateur.
- Double-cliquer sur l'icône **AXE**. 
- Cliquer sur **Fichier, Nouveau**
- Cliquer sur **Acquisition**, puis sur **Sinus**. La fenêtre **Définition d'un signal** apparaît. Dans cette fenêtre, les valeurs des paramètres doivent être :
 - Période en secondes = 5,
 - Nb de cycles = 1,
 - Nb Pts/cycle = 60,
 - Amplitude en mm = 20.
 - Les autres paramètres étant configurés par défaut (Lg initiale vérin : 420.00, Prolongement : 0.33).
- Vérifier que la longueur minimale du vérin avant pilotage est bien réglée à 345 mm (pour cela, cliquer sur **Pilotage** puis sur **RAZ**).
- Cliquer sur **Pilotage**, puis sur **Action**.
- Pour obtenir la courbe de position de la tige du vérin en fonction du temps, cliquer sur **Pilotage**, puis sur **Courbes** et choisir **Y = y(x)**, puis **Position**.

- ✎ Tracer l'évolution de Z_c et Z (amplitude d'entrée 20 mm).
- ✎ Donner l'expression de la sortie en régime établi.
- ✎ Relevez pour un régime établi, l'amplitude et le déphasage de la sortie par rapport au signal d'entrée.
- ✎ Reportez les résultats dans un tableau pour différentes valeurs de périodes.

3 - Analyse

- ✎ Tracer les diagrammes de Bode du système.
- ✎ Le système possède-t-il une résonance ?
- ✎ Pouvez-vous estimer l'ordre du système ? Précisez les critères de choix.
- ✎ En déduire la pulsation de cassure.
- ✎ Déterminez les caractéristiques de la fonction de transfert en boucle fermée.
- ✎ Tracez cette fonction et comparez les modèles théorique et expérimental.

4 - Pour aller plus loin

- ✎ Recommencer l'expérience avec une amplitude de 100 mm. Analysez les courbes de vitesses effectives par rapport à la théorie. Quel phénomène peut-on observer ? Le système est-il linéaire dans ce cas ? Conclure.

Annexe : Diagramme de Bode :

Considérons un système linéaire soumis à une entrée sinusoïdale : $e(t) = e_0 \sin(\omega t)$

On montre qu'après extinction du régime transitoire, la réponse $s(t)$ est sinusoïdale de même pulsation, mais avec une amplitude s_ω et une phase φ_ω fonctions de la pulsation : $s(t) = s_\omega \sin(\omega t + \varphi_\omega)$

Pour chaque valeur de ω , on va définir les deux quantités suivantes :

$$\text{le gain } G_\omega = \frac{s_\omega}{e_0}$$

la phase φ_ω

On caractérise ainsi l'évolution du gain et de la phase en fonction de la pulsation.

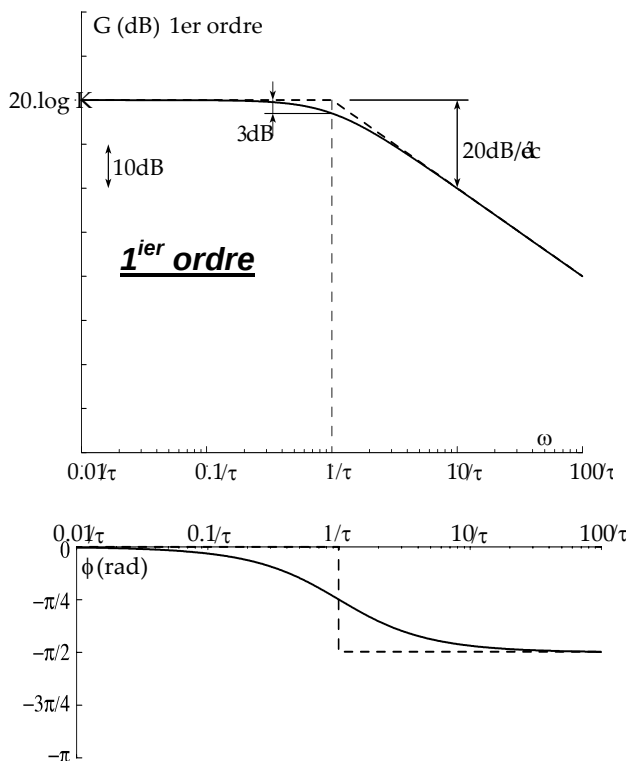
Soit $H(p)$ la fonction de transfert d'un système linéaire. On peut démontrer qu'en remplaçant la variable p de Laplace par $j\omega$, cette fonction de transfert s'écrit :

$$H(j\omega) = \frac{s_\omega}{e_0} e^{j\varphi_\omega} ;$$

$H(j\omega)$ est un nombre complexe : de module $|H(j\omega)| = G_\omega$ et d'argument $\arg(H(j\omega)) = \varphi_\omega$

Diagramme de Bode : au nombre de deux, ces diagrammes représentent les variations de gain $|H(j\omega)|$ en décibel et de phase $\arg(H(j\omega))$ en degré en fonction de la pulsation en radian par seconde tracée sur une échelle logarithmique. On se contente dans la majorité des cas d'un tracé asymptotique.

Allures des tracés pour un premier et un second ordre :



2nd ordre

