

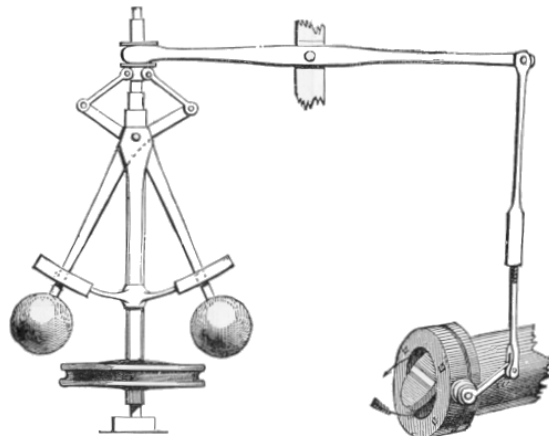


GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Semestre 3

AUTOMATIQUE

Travaux pratiques



1^{ère} série

2020 – 2021

Première série 2020 - 2021

A1 - Modélisation et identification pour la commande d'une enceinte climatique industrielle.

A2 - Modélisation et identification d'un processus hydraulique – Version MATLAB

A3.1 - Asservissement de position sur Feedback, essais et analyse : Partie 1.

A3.2 - Asservissement de position sur Feedback, essais et analyse : Partie 2.

A5.1 - CAO MATLAB, simulation de systèmes dynamiques

A5.2 - CAO MATLAB, simulation de systèmes dynamiques

A1

MODELISATION ET IDENTIFICATION POUR LA COMMANDE D'UNE ENCEINTE CLIMATIQUE INDUSTRIELLE.

I. BUT DE LA MANIPULATION

L'objectif est d'étudier un système industriel, afin de déterminer lors d'un prochain TP, les paramètres de réglage du régulateur. Après une étude théorique basée sur les équations générales de la physique, une étude du comportement du système face à des sollicitations imposées permet de déterminer les paramètres d'un modèle simple mais suffisant.

Remarque importante : en arrivant, ouvrir la porte du caisson, sans mettre sous tension, afin de vous assurer, en démarrant les mesures, que la température intérieure sera égale à la température ambiante.

II. PRESENTATION DU MATERIEL

Il s'agit d'un CAISSON CLIMATIQUE DV 30 de Sécasi Technologies (figure 1). Il se compose d'un caisson isolé de l'extérieur dans lequel deux systèmes produisent de la chaleur ou du froid.



Figure 1 – Photographie de l'enceinte climatique

Un tel caisson climatique est utilisé, en particulier, pour tester le fonctionnement de composants ou de circuits électroniques dans des conditions extrêmes de température. Il est donc important de contrôler précisément les valeurs de température à l'intérieur du caisson, mais également leurs variations afin de ne pas dépasser les valeurs prévues.

Sa capacité est 30 litres et la température peut varier de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, il est piloté par un régulateur industriel et comporte au-dessus de la porte du caisson:

- un commutateur de mise en service de l'enceinte
- un commutateur de mise en service du groupe frigorifique
- un régulateur industriel EUROTHERM
- un bouton-poussoir de marche forcée chaud
- un bouton-poussoir de marche forcée froid
- une prise DIN (25 broches) pour la communication numérique
- une prise BNC délivrant un signal (0 / 10 volts) image de la température intérieure
- une prise secteur
- un thermostat pour limiter la température

Les données sont transmises par liaison numérique RS 232 à un ordinateur, et mises en forme par un programme écrit en LABVIEW.

III – MODÉLISATION DE L'ENCEINTE THERMIQUE

On note :

$u(t)$: tension de commande entrée de l'ampli de puissance qui alimente une résistance électrique pour le chaud ou un groupe de réfrigération pour le froid.

$P_{Act}(t)$: puissance thermique active (chaud ou froid).

$\theta_a(t)$: température ambiante.

$\theta_i(t)$: température à l'intérieur de l'enceinte.

$\theta_m(t)$: mesure de la température intérieure donnée par une sonde PT 100 placée dans l'enceinte.

L'évolution de la température intérieure $\theta_i(t)$ dépend de la température ambiante $\theta_a(t)$ et de la puissance thermique $P_{Act}(t)$, positive pour chauffer, négative pour refroidir. La puissance de fuite ($P_{fuite}(t)$) représente les échanges de chaleur entre l'intérieur de l'enceinte et la salle de TP. Enfin la température mesurée $\theta_m(t)$ est l'image retardée de la température intérieure.

L'exercice 2.1 de la première série de TD nous a permis d'établir que le comportement dynamique peut être représenté par le schéma fonctionnel de la figure 3 :

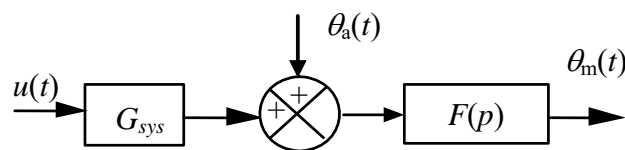


Figure 2 - Schéma fonctionnel de l'enceinte climatique

et les fonctions de transfert :

$$F(p) = \frac{\theta_m(p)}{\theta_a(p)} = \frac{e^{-Tp}}{1 + \tau p} \qquad G(p) = \frac{\theta_m(p)}{U(p)} = G_{sys} F(p)$$

IV. REGULATEUR EUROTHERM

Un régulateur de panneau de marque eurotherm et de type 902, assure la régulation de la température à l'intérieur de l'enceinte climatique.

1. Définition

La fonction du régulateur, de type PID, est de calculer un signal de commande $u(t)$ à partir de l'erreur $\varepsilon(t)$ entre la consigne $\theta_c(t)$ et la mesure $\theta_m(t)$.

Le calcul de $u(t)$ est réalisé au moyen de la relation suivante :

$$u(t) = K \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{t_i} \int \varepsilon(t) dt + t_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right] \qquad \varepsilon(t) = \theta_c(t) - \theta_m(t)$$

Pour le reste du TP on imposera que les termes Intégral et Dérivée sont nuls et donc on aura :

$$u(t) = K \varepsilon(t)$$

2. Description du régulateur

Comme l'illustre la figure 3, la face avant du régulateur est constituée d'un clavier et d'un afficheur.



Figure 3 – Photographie du régulateur

a) Le clavier

Il comporte six touches qui sont dans l'ordre de gauche à droite:

- Sélection (ou défilement rapide) \diamond

- Départ
- Automatique / Manuel
- Diminution ∇
- Augmentation Δ
- Scrutation \odot

b) L'afficheur

Lors de la mise sous tension le régulateur indique sur la partie centrale (afficheurs 7 segments de grande taille) son modèle 902S pendant un court instant, puis la température mesurée $\theta_m(t)$ en °C à l'intérieur du caisson.

Sur la partie de gauche en dessous apparaît la lettre (W) suivie de la température de consigne $\theta_c(t)$ en °C (afficheurs 7 segments de petite taille) réglée au moyen des touches de diminution, augmentation et de défilement rapide.

A l'aide de la touche de scrutation on fait apparaître la lettre (Y) qui indique la puissance de sortie entre + ou - 100%.

Pour revenir sur la consigne appuyer sur la touche de scrutation.

3. Programmation du régulateur industriel EURO THERM

a) Accès aux listes

Descendre dans le menu principal par appui maintenu pendant 1s sur la touche de scrutation. \odot

Choisir le menu rEGL (REGLEUR) par appuis successifs sur la touche de scrutation

Ne jamais intervenir sur les autres menus

Liste des paramètres accessibles par le régleur :

- P_b Bande proportionnelle exprimée en %
- t_i Temps d'action intégrale exprimé en secondes
- rES Initialisation manuelle (**ne pas modifier**)
- t_d Temps d'action dérivée exprimé en secondes

tous les autres paramètres ne doivent en aucun cas être modifiés

cbL	Maintien sur écart (seuil haut)	[0.0]
cbH	Maintien sur écart (seuil bas)	[NON]
HL	Limitation de la sortie 1 en %	[100 %]
HC	Temps de cycle de la sortie 1 en s	[10 s]
Cr	Gain relatif sortie 2, P_b (sortie 2) = P_b / Cr	[1]
CL	Limitation de la sortie 2 en %	[-100 %]
Cc	Temps de cycle de la sortie 2 en s	[10 s]
db	Bande morte sortie 1 - sortie 2 (% P_b)	[0.0]

b) Définition

La bande proportionnelle P_b est la variation, en pourcentage, de l'entrée du régulateur nécessaire pour que la sortie varie de 100 %.

La relation entre le gain K et la bande proportionnelle P_b exprimée en % est :

$$K = 100 / P_b$$

La bande morte db est la distance séparant les deux bandes proportionnelles (sortie inverse chaude et sortie directe froide), elle peut varier de -5 à +5% de la valeur de P_b .

c) Programmation des paramètres

Choisir le paramètre à modifier dans le menu rEGL (REGLEUR)
Appuyer sur la touche (diminution ou augmentation) pour la modification d'un paramètre, pour des variations rapides appuyer simultanément les touches (défilement rapide et diminution ou augmentation).

Le retour à l'affichage permanent s'effectue par la touche de scrutation.
Le retour au menu principal s'effectue par la touche de sélection.

Nota: La durée de l'affichage est de 15s, si aucune touche n'est activée le menu principal réapparaît.

V. MANIPULATION

Avant de mettre sous tension, assurez-vous que le caisson a été ouvert suffisamment longtemps pour que la température intérieure soit égale à la température extérieure.

- Allumer l'ordinateur, ouvrir le logiciel LABVIEW, et ouvrir le fichier `enceinte_climatique.vi` (dont une description est donnée en annexe) qui se trouve sur le bureau.
- Mettre en marche par les contacteurs MARCHE et FROID.
- Relever la mesure de température sur l'afficheur : cette valeur servira de mesure de température ambiante pendant toute la manipulation.
- Fermer la porte du caisson.
- Régler le paramètre P_b du régulateur sur 4 (ce qui correspond à $K = 25$), et afficher NON sur les paramètres t_i et t_d (en mettant ces valeurs à 0).
- Vérifier directement sur le régulateur la bonne programmation des paramètres.
- Appliquer un échelon de 90°C sur la consigne du régulateur.

Le système commandé (enceinte climatique et régulateur) est représenté par le schéma fonctionnel de la figure 4, faisant apparaître:

- la température ambiante $\theta_a(t)$ comme entrée de perturbation
- la température mesurée $\theta_m(t)$ comme sortie
- la température de consigne $\theta_c(t)$.

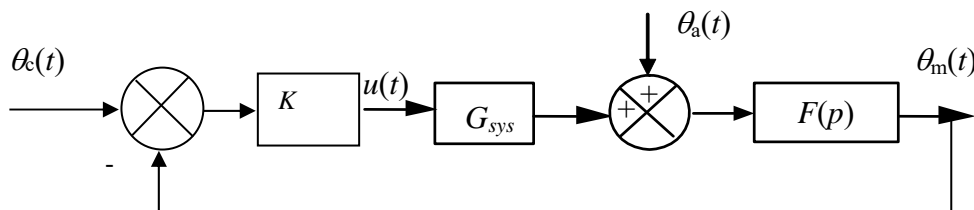


Figure 4 – Schéma fonctionnel de la commande proportionnelle en boucle fermée.

En prenant en compte la présence du régulateur, décrire l'équation qui relie les transformées de Laplace des températures $\theta_c(p)$, $\theta_m(p)$ et $\theta_a(p)$.

On considère que les signaux $\theta_c(t)$ et $\theta_a(t)$ sont des échelons qui apparaissent à la mise sous tension de l'appareil. En déduire, en utilisant le théorème de la valeur finale, l'équation qui décrit le régime permanent de la température mesurée à l'intérieur de l'enceinte.

1. Identification du gain statique G_{sys}

(i) Attendre le régime permanent (environ 30 minutes), c'est-à-dire lorsque la température mesurée ne varie plus et relever la valeur de la température mesurée en régime permanent.

(ii) A partir de l'équation du régime permanent ci-dessus, calculer la valeur du paramètre G_{sys} .

(iii) Donner les unités de G_{sys} .

2. Identification de la constante de temps τ et du retard T

Pour l'identification de la constante de temps τ et du retard T , la méthode consiste à mettre la boucle de régulation en oscillations entretenues.

La période des oscillations T_{osc} et le gain critique du régulateur K_{osc} qui provoque ces oscillations permettent d'évaluer les paramètres τ et T .

(i) Détermination du gain K_{osc} et de la pulsation ω_{osc}

1- s'assurer que les actions dérivée et intégrale du régulateur (paramètres t_d et t_i) sont toujours inactives (NON sur l'afficheur),

2- la température de consigne θ_c étant inchangée (90 °C), régler la valeur de P_b à 2 % .

3- afficher une variation de consigne de ± 5 °C, et observer, sur l'écran de l'ordinateur, l'évolution de la température mesurée.

4- Si cette évolution a la forme d'oscillations amorties, diminuer P_b de 0,1 % et revenir à l'étape 3 ci-dessus.

Lorsqu'on observe une oscillation entretenue de la température de sortie:

- noter la valeur de P_{bosc} et mesurer la période d'oscillation T_{osc} à l'aide de la courbe affichée sur l'écran ou d'un chronomètre

- calculer la valeur du gain K_{osc} et la pulsation ω_{osc}

(ii) Détermination des paramètres T et τ des fonctions de transfert du caisson climatique à partir des mesures précédentes.

On rappelle qu'à la limite de stabilité de la boucle fermée :

$$K_{osc} G_{sys} \frac{e^{-jT\omega_{osc}}}{1 + j\tau\omega_{osc}} = -1$$

soit :

$$K_{osc} G_{sys} \frac{1}{|1 + j\tau\omega_{osc}|} = 1$$

et

$$-T\omega_{osc} - \text{Arctg}(\tau\omega_{osc}) = -\pi$$

3. Tracé de la réponse fréquentielle de $G(p)$

Ce travail peut se faire en même temps que la recherche de la mise en oscillations entretenues permettant la détermination de T et τ .

À l'aide du logiciel Matlab, on désire étudier la **réponse fréquentielle** du système décrit par sa transmittance :

$$G(p) = \frac{G_{sys}e^{-Tp}}{1 + \tau p} \quad \text{avec} \quad G_{sys} = 2.34, \tau = 3600s, T = 50s$$

Cette transmittance correspond à la transmittance qui caractérise le comportement de l'enceinte thermique qui vient d'être étudié (les valeurs numériques des coefficients pouvant toutefois être sensiblement différentes).

Afin de faciliter la correction du programme, celui-ci sera saisi dans un fichier-texte d'extension.m (exécutable par matlab) que l'on ouvrira en utilisant le menu **File**, puis en sélectionnant **New**, puis **M File**.

a) La saisie des fonctions de transfert se fait en entrant séparément les polynômes du numérateur et du dénominateur. Les crochets indiquent qu'il s'agit d'un polynôme, ses coefficients étant toujours écrits **dans l'ordre décroissant des puissances de la variable de Laplace p** (appelée **s** sous Matlab) :

```
num1=2.34;
den1=[3600,1];
```

 (la virgule peut aussi être remplacée par un espace)

Prendre l'habitude de toujours placer un point-virgule à la fin de chaque ligne, pour éviter l'affichage par Matlab des résultats des calculs intermédiaires et permettre ainsi, en fin d'écriture, une impression plus claire des lignes de programme sélectionnées.

La prise en compte du retard ne peut pas se faire lors de la saisie du numérateur et du dénominateur de la fonction de transfert et devra s'effectuer artificiellement lors du calcul du gain et de la phase du procédé

b) Le calcul du gain et de la phase s'effectue notamment en utilisant la suite d'instruction suivante:

```
w=logspace(-5,-1,100);      % ligne 1
[g,p]=bode(num1,den1,w);    % ligne 2
g_db=20*log10(g);          % ligne 3
```

La ligne 1 permet de définir la gamme de pulsation sur laquelle le calcul du gain et la phase est effectué. L'instruction $w=\text{logspace}(n,m,q)$ retourne en effet dans la variable w , q


points de la pulsation 10^n rad/s à la pulsation 10^m rad/s avec une répartition logarithmique sur cette gamme de pulsation.

La ligne 2 retourne respectivement dans les variables g et p , le module et la phase du système.

La ligne 3 permet une conversion du module en gain exprimé en dB.

A ce stade, l'effet du retard n'est pas encore pris en compte. La prise en compte du retard s'effectue en utilisant l'instruction :

```
p=p-180*50*w'/pi; % ' transpose le vecteur
```

 Justifier une telle instruction en exprimant littéralement le gain et la phase apportée par un retard.

c) Le Tracé du gain et de la phase s'effectue notamment en utilisant la suite d'instruction suivante:

```
figure; % ligne 1
subplot(211); % ligne 2
semilogx(w,g_db); % ligne 3
xlabel('Pulsations (rad/s)'); % ligne 4
ylabel('Gain (dB)'); % ligne 5
title('Diagrammes de Bode de F1(p)'); % ligne 6
grid; % ligne 7
subplot(212); % ligne 8
semilogx(w,p); % ligne 9
xlabel('Pulsations (rad/s)'); % ligne 10
ylabel('Phase (deg)'); % ligne 11
grid; % ligne 12
```

La ligne 1 permet d'ouvrir une nouvelle figure.

La ligne 2 permet de diviser la fenêtre en plusieurs parties. La fonction subplot(m,n,q) divise l'écran en un tableau de m lignes, n colonnes et sélectionne la case q de ce tableau de sorte que tout nouveau tracé s'effectuera dans cette case.

La ligne 3 permet le tracé du gain sur une échelle semi-logarithmique.


La ligne 4 ajoute une légende sur l'axe des abscisses du tracé.

La ligne 5 ajoute une légende sur l'axe des ordonnées du tracé.

La ligne 6 ajoute un titre au tracé.




La ligne 7 ajoute une grille au tracé.

Ces instructions sont reprises aux lignes 8 à 12 pour le tracé du diagramme de phase.

 Imprimer les courbes obtenues, accompagnées des lignes de programme correspondantes.

d) Exploitation des résultats

Pour ce système :

-  tracer, à la règle, les asymptotes aux courbes de gain obtenues ;
-  mesurer le gain statique (pour $\omega \rightarrow 0$) ;
-  déterminer la valeur de la pulsation de coupure ω_c (à -3 dB).

Annexe : Description et utilisation du programme LABVIEW

Pour lancer l'outil logiciel permettant la supervision de l'enceinte climatique, cliquer sur l'icône « Enceinte_climatique » qui se trouve sur le bureau. Pour lancer le programme, sélectionner « Run » dans le menu. Pour arrêter le programme sélectionner « Stop » dans le menu.

Une configuration de Windows est nécessaire (mais elle doit déjà exister) :

Menu Démarrer : → Paramètres → Panneau de configuration → Paramètres régionaux → Nombre : le symbole « décimal » doit être impérativement présent, sinon l'acquisition ne fonctionnera pas correctement.

La figure A.1 représente l'écran de supervision qui apparaît lorsque le programme « enceinte_climatique.vi » est lancé.

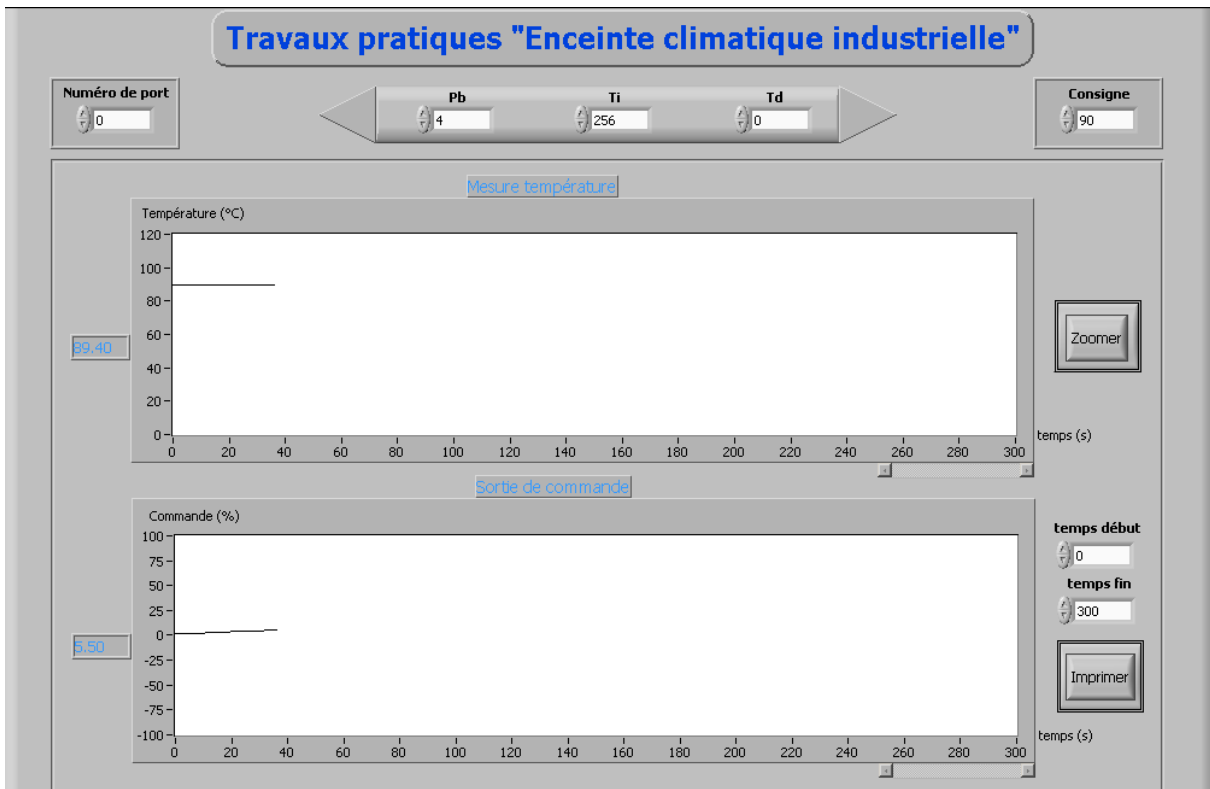


Figure A.1 – Ecran de supervision

L'écran de supervision permet :

- de visualiser la température mesurée à l'intérieur du four et la commande appliquée à l'enceinte climatique,
- de modifier les paramètres P_b , T_i et T_d du régulateur,
- de « zoomer » sur la fenêtre affichant la température, la zone sur laquelle s'applique le zoom étant définie par les paramètres « temps début » et « temps fin »,

- d'imprimer les fenêtres affichant la température et la commande, la zone sur laquelle s'applique l'impression étant définie par les paramètres « temps début » et « temps fin ».

Lorsque la fonction zoom est utilisée, la fenêtre de la figure A.2 apparaît. Les échelles en abscisses et en ordonnées peuvent être directement modifiées en cliquant directement sur la valeur maximale et en modifiant sa valeur.

Pour terminer la fonction « zoom » il suffit de fermer la fenêtre.



Figure A.2 – Fenêtre de zoom

A2
MODÉLISATION ET IDENTIFICATION
D'UN PROCESSUS HYDRAULIQUE
VERSION MATLAB

1 - Description du processus à modéliser

Le processus étudié dans le cadre de ce TP est constitué d'une partie opérative et d'une partie commande / supervision. Comme l'indique le schéma de la figure 1, les composants de la partie opérative utilisés dans le TP sont :

- la cuve graduée (référence B102),
- le réservoir (référence B101),
- la pompe centrifuge (référence P101),
- la vanne électropneumatique (référence V102)),
- le capteur de niveau à ultrasons (référence LIC102),
- le capteur de débit (référence FIC 101).

Ce processus dans son ensemble peut représenter, en miniature, un système de distribution d'eau sous pression vers un réseau de consommateurs. Dans cette hypothèse, les différents éléments cités ci-dessus représentent :

- la cuve graduée est la cuve située en haut du château d'eau,
- le réservoir est le puits, ou une réserve située en dessous du château d'eau,
- la pompe centrifuge est la pompe qui permet de monter l'eau au château d'eau,
- la vanne électropneumatique permet de créer une fuite de la cuve vers le réservoir, simulant la demande d'eau par le réseau des consommateurs,
- le capteur de niveau à ultrasons permet de mesurer le niveau d'eau dans la cuve,
- le capteur de débit donne la mesure du débit de remplissage de la cuve par la pompe.

La régularité de la pression dans tout le réseau de distribution dépend étroitement du maintien du niveau d'eau dans la cuve à un niveau constant quelle que soit la consommation d'eau par le réseau.

La partie opérative est pilotée par le logiciel *Labview* via un automate programmable de marque Siemens et de type S7. La communication entre l'automate et le PC est réalisée selon le protocole Profibus DP et au moyen d'une carte *Applicom*. Dans ce TP, l'automate sert uniquement de module de communication entre le PC et les interfaces de puissance et de mesures situées sur la partie opérative. Il est en effet uniquement chargé de transférer les ordres venant du PC vers les actionneurs, et de transférer les informations venant des capteurs vers le PC. Les interfaces de puissance servent ici à alimenter le moteur à courant continu qui entraîne la pompe et la vanne électropneumatique. L'interface de mesure sert à mettre en forme les informations provenant du capteur à ultrasons et du capteur de débit pour les rendre exploitables par l'automate.

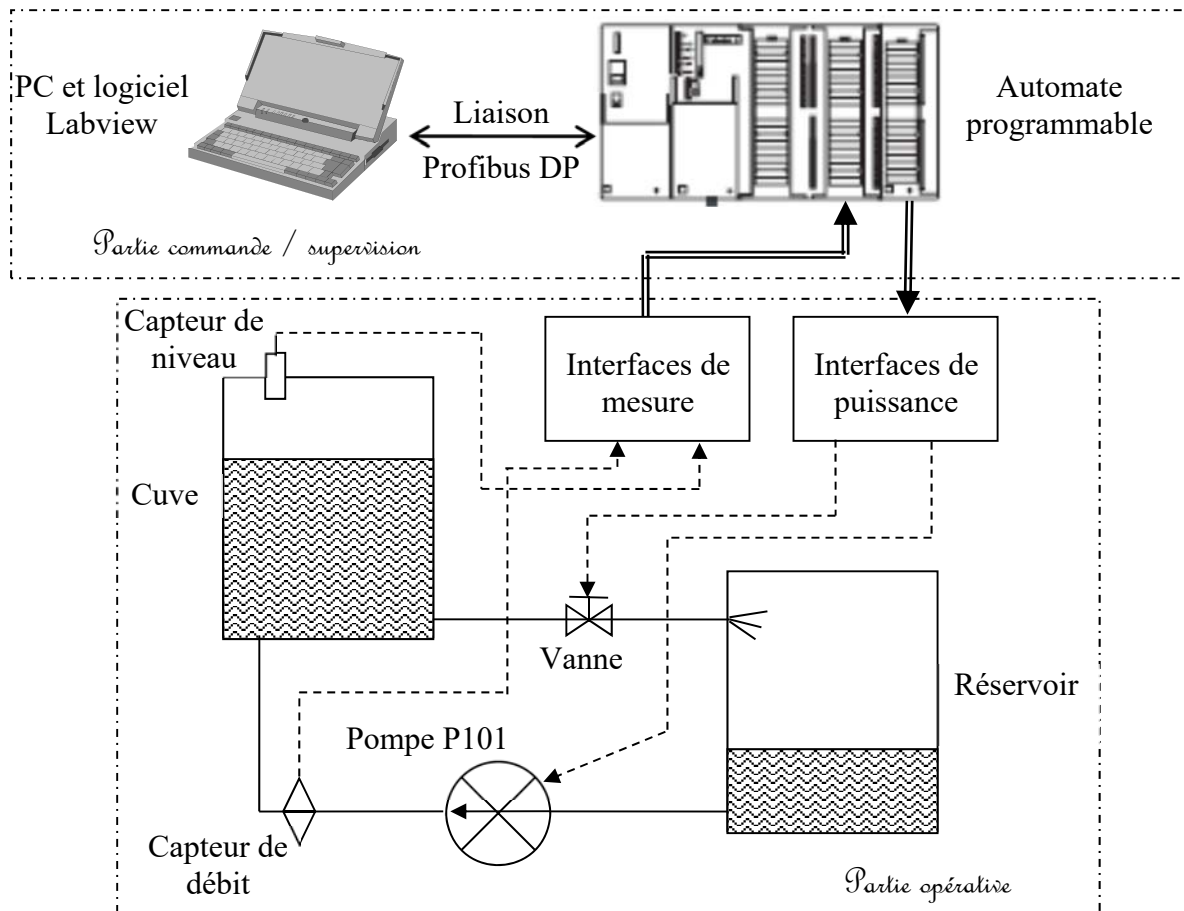


Figure 1 – Schéma du processus



2 – Modélisation et identification

Il est conseillé d'exprimer toutes les valeurs de mesures dans le système MKSA

L'élévation du niveau d'eau dans la cuve est induite par la différence du débit d'eau rentrant dans la cuve et du débit d'eau sortant. Mathématiquement, un tel bilan s'écrit sous la forme :

$$S \frac{dH(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t), \quad (1)$$

où :

- S désigne la section de la cuve,
- $Q_e(t)$ désigne le débit rentrant dans la cuve,
- $Q_s(t)$ désigne le débit sortant de la cuve.

2.1 – Rappels de mécanique des fluides

Le comportement d'un système hydraulique peut dans de multiples situations être mis en équation en utilisant l'équation de Bernoulli. Cette équation est un bilan énergétique appliqué à deux points d'une conduite et qui traduit la conservation de l'énergie du fluide lors de sa circulation dans la conduite. Ainsi, pour la conduite décrite par la figure 2, on pourra écrire entre les points 1 et 2 :

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{v_2^2}{2} + S_o - P_e \quad (2)$$

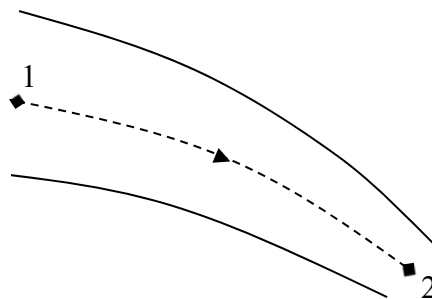


Figure 2 – Conduite considérée

Dans la relation (2) :

- P est la pression du fluide au point considéré (en Pa),
- ρ est la masse volumique du fluide (en kg/m^3),
- g est la constante d'attraction gravitationnelle (9.81 m/s^2),
- z est l'altitude du point considéré (en m)
- v est la vitesse du fluide au point considéré (m/s)
- S_o est un terme source si la conduite comporte des composants tels que des pompes,
- P_e est un terme de perte si l'écoulement s'effectue avec perte.

Avant de commencer les manipulations, veuillez à ce que :

- le commutateur Régulateur/Automate soit en position Automate,

- les vannes manuelles V103, V107, V108, V109 soient en position fermée,
- les vannes manuelles V101, V104, V112 soient en position ouverte.

Pour alimenter la partie opérative et lancer les logiciels de supervision, se référer à l'annexe 1.

★ L'automate programmable produit un signal de commande d'amplitude 0-10V et permet l'acquisition d'un signal de mesure de même amplitude. Créer un schéma-bloc de la manip utilisée qui fait apparaître :

- l'automate programmable,
- la pompe,
- le bac
- le capteur de niveau.

Donner l'unité du signal situé à la sortie de chaque bloc ainsi que sa gamme de variation.

2.2 – Modèle de la pompe à vide

Ouvrir la vanne manuelle V104 et la vanne électropneumatique. Fermer la vanne manuelle V101. Vidanger totalement la cuve puis laisser la vanne électropneumatique ouverte. Actionner la pompe avec une commande U égale à 100 %, et relever le débit d'eau sortant de la pompe jusqu'à ce que le débit maximal soit atteint. Mettre alors en évidence que le comportement dynamique de la pompe peut être décrit par la transmittance :

$$\frac{Q(p)}{U(p)}\Big|_{H=0} = \frac{K}{1 + \tau p}$$

$Q(t)\Big|_{H=0}$ désignant le débit de la pompe, pour une commande $U(t)$ donnée et pour une hauteur d'eau proche de 0.

En utilisant le relevé de la figure 3, mesurer la valeur du débit en régime permanent et en déduire la valeur du gain statique K .

Déterminer la valeur de τ .

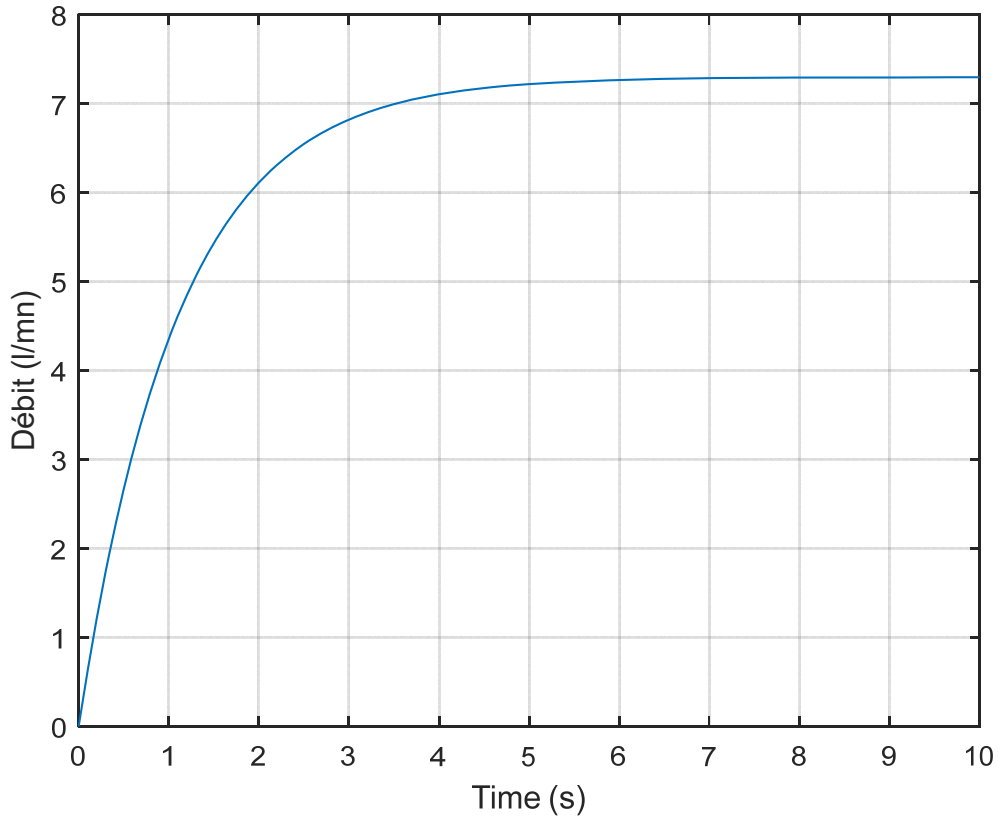


Figure 3 – Relevé de l'évolution du débit en fonction du temps

2.3 – Modèle de remplissage

Le cas d'un fonctionnement sans fuite et avec pompe est schématisé par la figure 4. Lorsque la pompe est en marche, plus le niveau d'eau augmente dans la cuve, et plus la pression sur la pompe augmente. Donc la pompe doit fournir plus de puissance pour continuer à élever à la même vitesse l'eau dans cette cuve.

En utilisant l'équation de Bernoulli appliquée entre les points 1 et 2 représentés sur la figure 3, on fait l'hypothèse que le débit entrant dans la cuve est de la forme :

$$Q_e(t) = Q(t)_{H=0} - aH(t). \quad (3)$$

avec

$H(t)$: hauteur d'eau dans la cuve,

a : coefficient à déterminer (et fonction de la tension d'alimentation de la pompe),

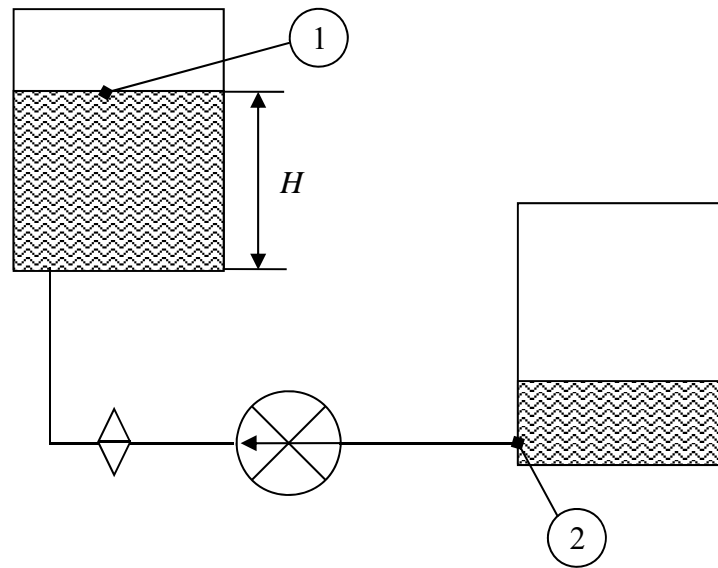


Figure 4 – Application de l'équation de Bernoulli pour un fonctionnement sans fuite et avec pompe

On souhaite donc déterminer le coefficient a .

Pour cela, ouvrez la vanne V104 et la vanne électropneumatique, fermez la vanne manuelle V101.

Pour le pourcentage de commande pompe U égal à 100%, relever la valeur de $Q(t)$ lorsque le régime permanent du débit est établi.

Fermer alors la vanne V104 et la vanne électropneumatique et ouvrir la vanne manuelle V101.

Relever l'évolution de $Q_e(t)$ et de $H(t)$.

En utilisant les relevés de la figure 5, déduire la valeur de a .

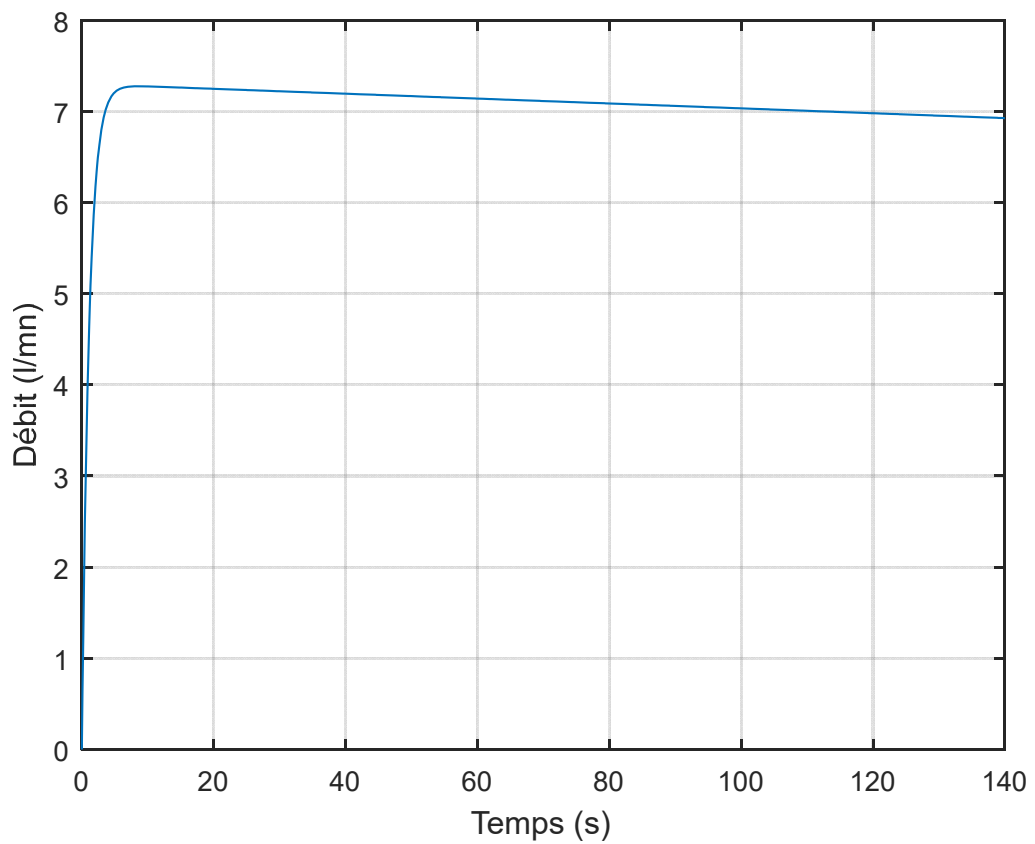
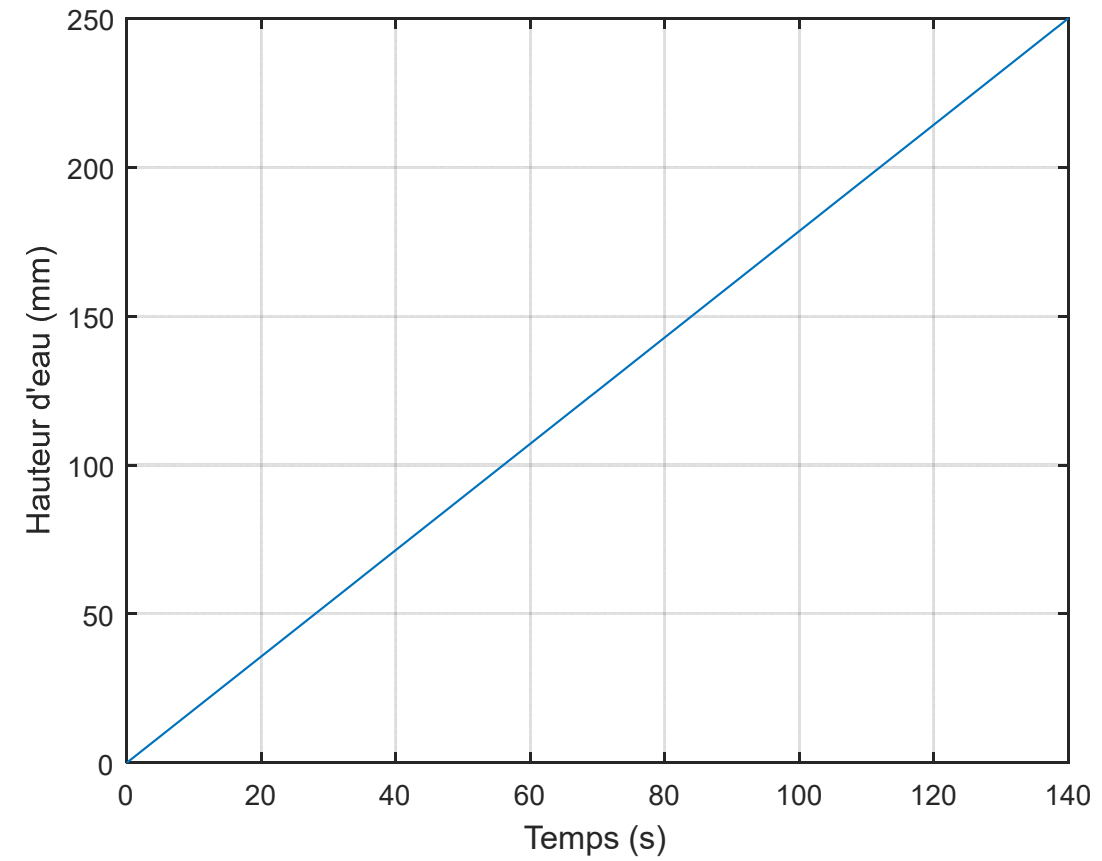


Figure 5 – Relevés de l'évolution de la hauteur d'eau dans le bac 1 et du débit en fonction du temps

2.4 – Modèle de fuite

Dans le cas d'un fonctionnement avec fuite et sans pompe, l'équation de Bernoulli appliquée entre les points 1 et 2 comme indiqué sur le schéma de la figure 6, permet de déduire que le débit sortant du bac est donné par :

$$Q_{s(t)} = \alpha \sqrt{H(t)} \quad (4)$$

α est un coefficient qui permet notamment de prendre en compte le taux d'ouverture de la vanne.

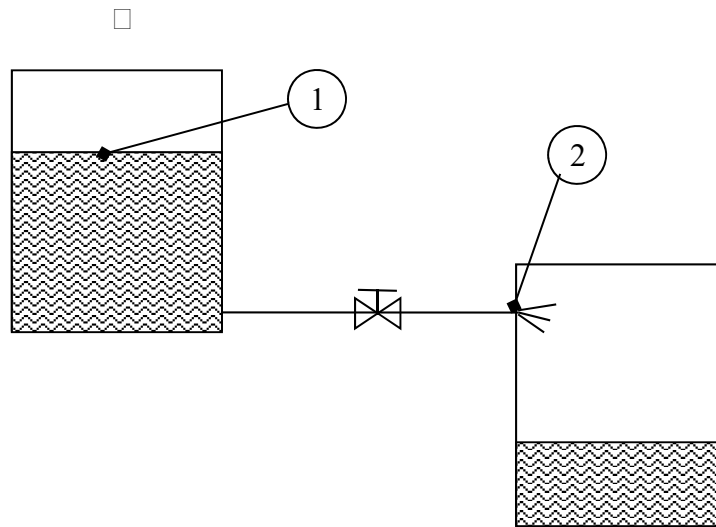


Figure 6 – Application de l'équation de Bernoulli pour un fonctionnement avec fuite et sans pompe

On souhaite déterminer le coefficient α . Pour cela, remplir le plus possible la cuve en actionnant la pompe.

Lorsque le niveau maximal est atteint (la pompe se coupe automatiquement), fermer la vanne électropneumatique et la vanne manuelle V101 pour éviter une fuite à travers la pompe.

Ouvrir l'électrovanne et relever l'évolution du niveau d'eau dans la cuve.

Sachant que :

- $S \frac{dH(t)}{dt} = -Q_s(t)$ et que $\frac{H(t_1) - H(t_2)}{t_1 - t_2} \approx \frac{dH(t)}{dt}$ pour t_1 proche de t_2 ,

- la cuve à une section de 0.19 m sur 0.175 m ,

□ évaluer à partir de plusieurs mesures le coefficient α en utilisant le relevé donné par la figure 7.

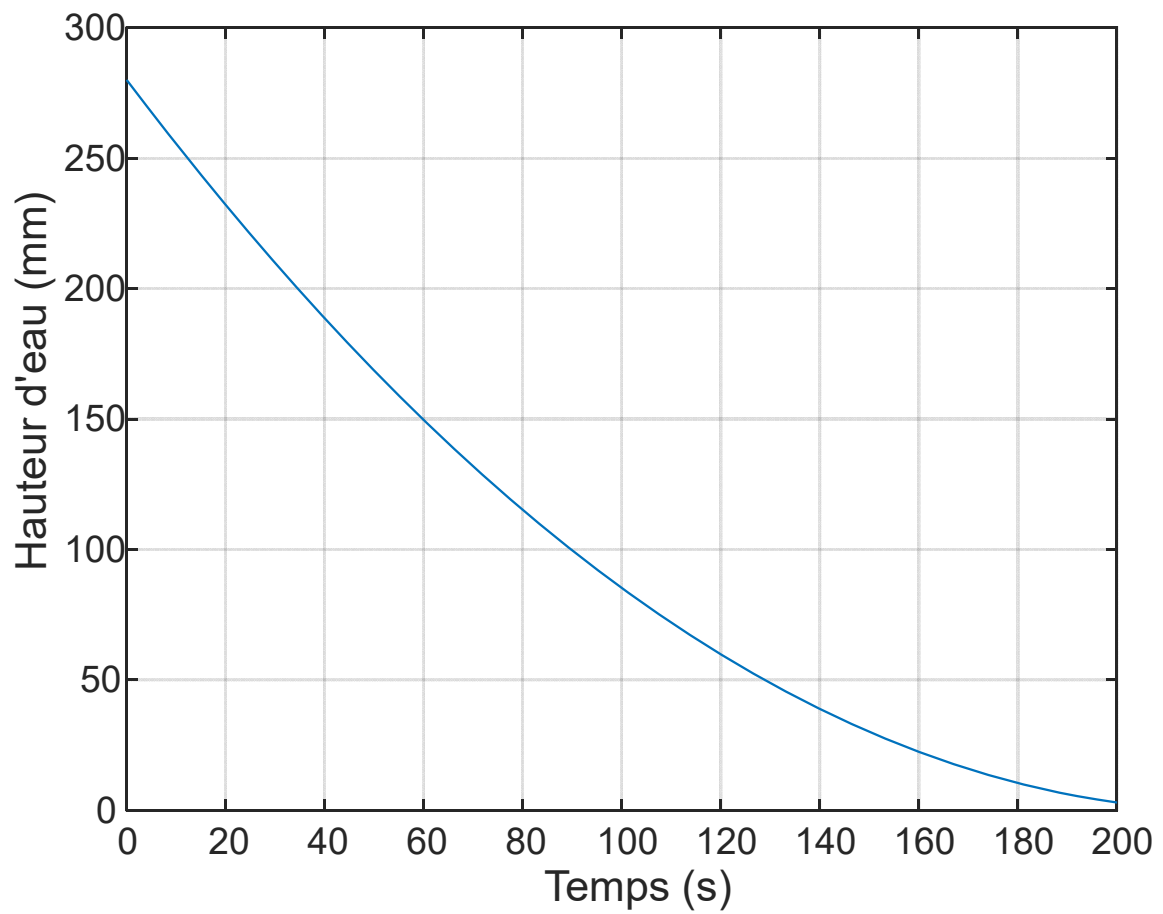


Figure 7 – Relevé de l'évolution de la hauteur d'eau dans le bac 1 en fonction du temps

2.5 – Modèle global

Le schéma fonctionnel décrivant le fonctionnement global du système est décrit par la figure 8. :

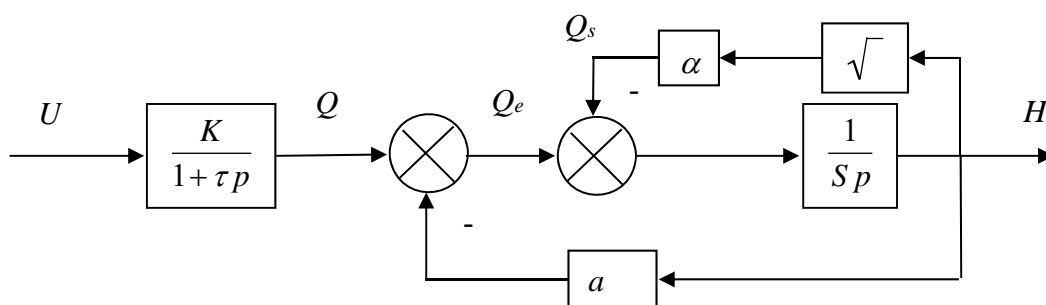


Figure 8 – Schéma fonctionnel

3 – Validation du modèle

3.1 – Validation du modèle du fonctionnement sans fuite avec pompe

Vidanger totalement la cuve puis fermer la vanne électropneumatique. Actionner la pompe avec une commande maximale et relever l'évolution de la hauteur d'eau dans la cuve.

Parallèlement, lancer le logiciel Matlab pour simuler le modèle obtenu aux questions 2.2 et 2.3.

Pour cela, sous Matlab, ouvrir Simulink en tapant :

```
>>simulink
```

La fenêtre Simulink s'ouvre et présente un ensemble de bibliothèques de fonctions diverses (voir figure 9). Si nécessaire, réduire éventuellement cette fenêtre, et la conserver en haut et à droite de l'écran.

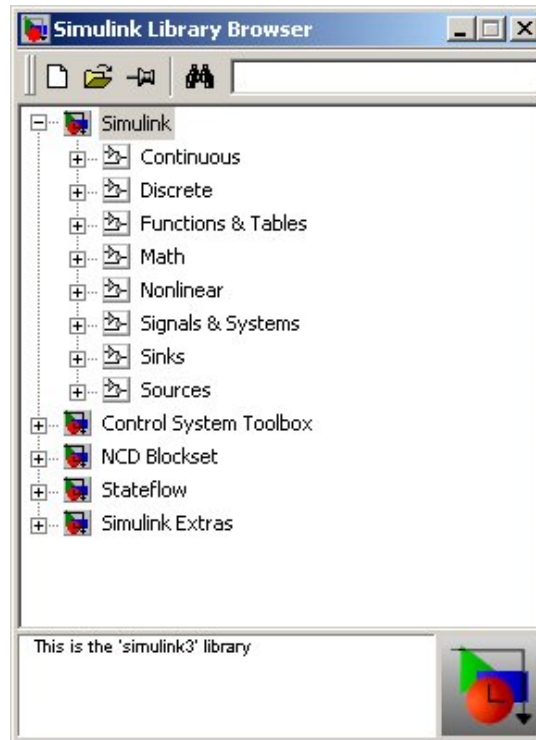


Figure 9 – Fenêtre de commande Simulink et répertoires dans lesquels sont stockés les blocs à utiliser

Ouvrir alors votre espace de travail, en cliquant sur l'icône page blanche de la fenêtre Simulink.

On désire effectuer la simulation de la réponse à un signal échelon d'amplitude 1 (commande max 100 %) du système

$$G_1(p) = \frac{K}{1 + \tau p} \frac{1}{a + Sp}$$

qui caractérise le comportement dynamique de la partie opérative en prenant en compte la dynamique de la pompe.

Construire le schéma de simulation dans la fenêtre de travail ("Untitled").

Pour cela, ouvrir le répertoire "Sources" de la fenêtre Simulink. Sélectionner et faire glisser dans la fenêtre de travail (appuyer le bouton gauche de la souris, le maintenir pendant le déplacement, puis relâcher) le bloc **Step** et le faire glisser dans la fenêtre de travail.

De la même façon, amener successivement dans la fenêtre de travail :

- deux fonctions de transfert (Transfer Fcn), tirée du répertoire « Continuous »,
- et un oscilloscope (Scope), du répertoire « Sinks ».

Aligner ces éléments dans le bon ordre, et *effectuer toutes les connections* à la souris (appuyer le bouton gauche à l'intérieur du petit triangle de sortie d'un bloc, se déplacer en le maintenant enfoncé jusqu'au petit triangle d'entrée du bloc suivant, et l'y relâcher).

Programmer ensuite chaque élément, en cliquant deux fois de suite sur sa représentation :

- l'échelon, l'instant d'application de cet échelon de 0s (Step time), sa valeur initiale 0 (Initial value) et sa valeur finale 1 (Final value). Valider par "OK".
- les fonctions de transfert, en entrant les numérateur et dénominateur de $G_I(p)$.

Programmer enfin les paramètres choisis pour la simulation, en cliquant la commande 'parameters' du menu 'Simulation' de la fenêtre "Untitled" : sélectionner Ode45 (c'est la méthode d'intégration numérique), et entrer l'instant de fin de la simulation compatible avec l'expérience réalisée (Stop time). Ne pas modifier les autres valeurs, et valider par "OK".

Lancer alors la simulation (commande 'Start' du menu 'Simulation'), et cliquer deux fois sur la représentation de l'oscilloscope pour faire apparaître la fenêtre de visualisation.

Comparer la réponse obtenue à la mesure effectuée. Conclure notamment sur la validité des paramètres τ et a .

3.2 – Validation du modèle du fonctionnement avec fuite sans pompe

A l'aide du logiciel Matlab, l'équation différentielle

$$S \frac{dH(t)}{dt} = -\alpha \sqrt{H(t)}$$

admet la représentation de la figure 10.

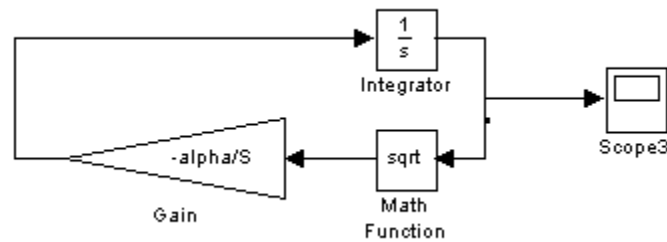


Figure 10 – Schéma de simulation de la fuite

Justifier un tel schéma en faisant notamment apparaître le nom des variables à la sortie de chaque bloc.

Initialiser correctement l'intégrateur et lancer la simulation.

Comparez la réponse temporelle obtenue à la réponse temporelle relevée au paragraphe 2.4.

Conclure notamment sur la validité du paramètre α .

3.3 – Validation du modèle du fonctionnement avec fuite et avec pompe

Du fait de la présence du terme $\sqrt{H(t)}$, l'équation obtenue est non linéaire en $H(t)$. Pour linéariser cette équation, on va supposer que la hauteur d'eau reste voisine de H_0 de sorte que l'on peut écrire que :

$$H(t) = H_0 + h(t) \quad \text{avec} \quad h(t) \ll H_0$$

Sachant que $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2}$ pour $x \ll 1$ on peut donc écrire :

$$q_s(t) = \alpha \sqrt{H_0} \left(1 + \frac{h(t)}{2H_0} \right)$$

où $q_s(t)$ représente la variation de débit de fuite autour du débit nominal Q_{s0} qui correspond à la hauteur nominale H_0 :

$$Q_s(t) = Q_{s0} + q_s(t)$$

On retiendra que l'équation aux variations obtenue n'est valable que si les hypothèses permettant son obtention sont valides, soit $h(t) \ll H_0$. En pratique, l'équation obtenue décrira donc bien le système uniquement si la hauteur d'eau $H(t)$ reste voisine de H_0 .

Fermer la vanne manuelle V104 et ouvrir la vanne électropneumatique. Appliquer une commande de 85%. Attendre que le niveau de l'eau dans la cuve atteigne son régime permanent.

Relever H_0 , niveau en régime permanent.

Le régime permanent ayant été obtenu, appliquer une commande de 95% et relevez l'évolution temporelle de la hauteur d'eau et du débit jusqu'à ce qu'un nouveau régime permanent soit établi.

Relever alors la variation de hauteur $h(t)$ entre les deux régimes permanents. Ce relevé est présenté par la figure 11.

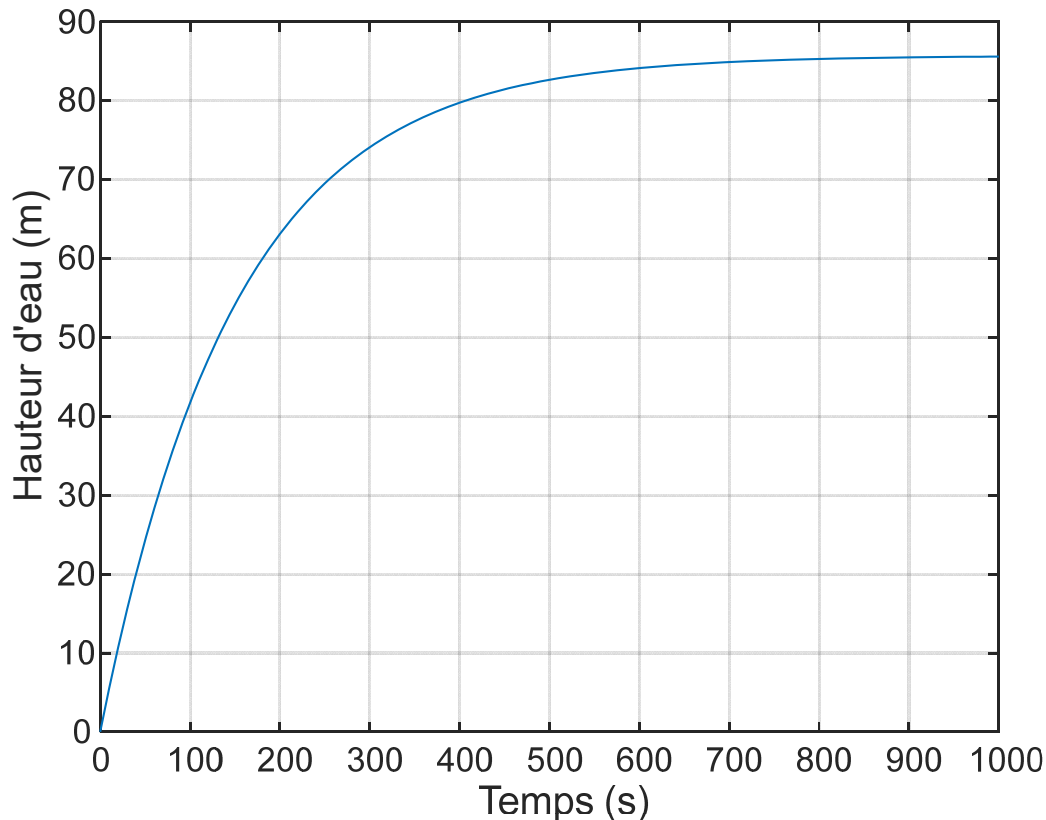


Figure 11 – Relevé de l'évolution de la hauteur d'eau dans le bac 1 en fonction du temps pour un échelon de débit de

Du fait de la linéarisation de l'équation, l'évolution du niveau est assimilable autour du point de fonctionnement choisi, à un système du premier ordre de transmittance :

$$G_2(p) = \frac{1}{Sp + a + \frac{\alpha}{2\sqrt{h_0}}} = \frac{h(p)}{q(p)}$$

Relever sur les mesures la constante de temps et le gain statique de $G_2(p)$. Comparer aux valeurs théoriques.

Parallèlement, en utilisant le logiciel Matlab/Simulink, tracer la réponse de la fonction de transfert $G_2(p)$ à un échelon d'amplitude Δq . Comparer la réponse obtenue à la mesure effectuée. Conclure.

Annexe 1 – Mise en route de la partie opérative et du système de supervision

Pour lancer le programme de supervision de la partie opérative, cliquer 2 fois sur l'icône «Manip_festo.vi» située sur le bureau, ce qui a pour effet de lancer le logiciel Labview ainsi que le programme de supervision.

L'écran de supervision de la figure A.1 apparaît alors.

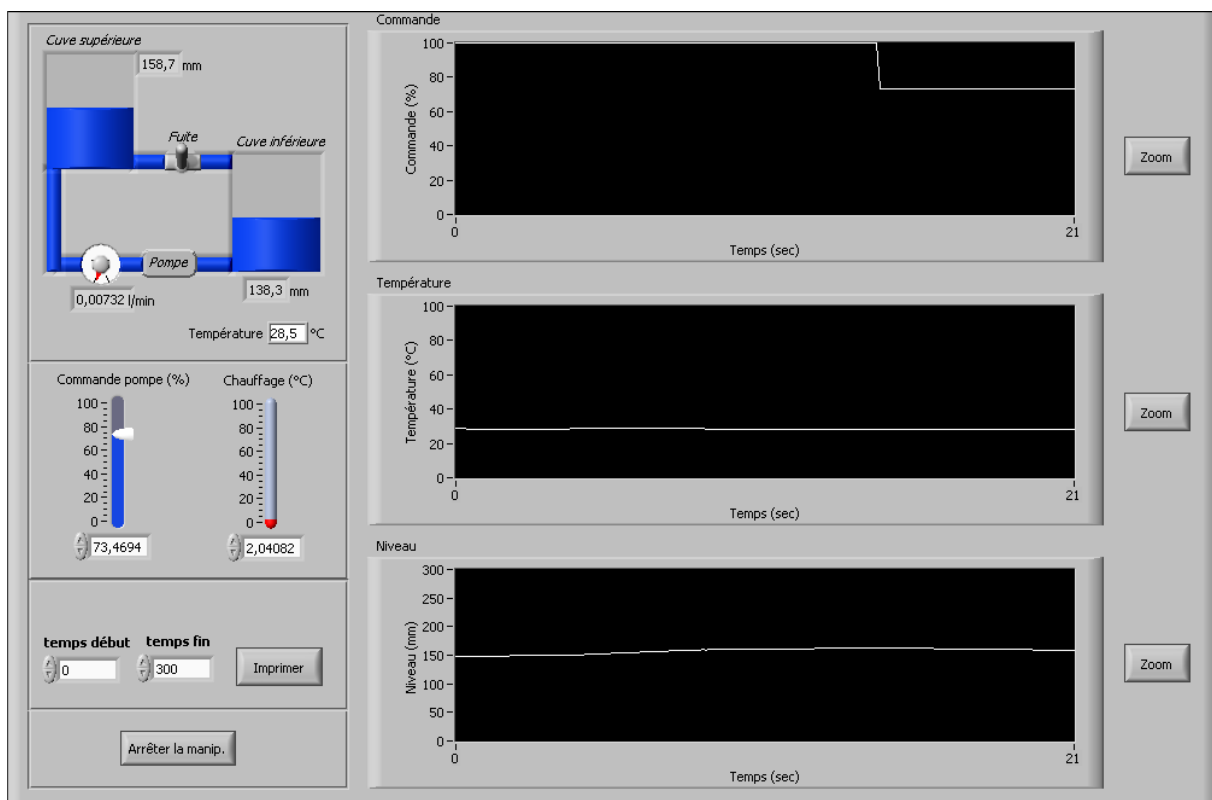


Figure A.1 – Ecran de supervision

Le schéma de l'installation est reproduit dans partie supérieure gauche de la fenêtre. Les fenêtres graphiques permettent de visualiser (de haut en bas), l'état de la vanne, le niveau de commande de la pompe (en %), le débit en sortie de pompe (l/mn), le niveau dans la cuve (en mm)

Le niveau de commande de la pompe peut être modifié en déplaçant le curseur de la fenêtre commande pompe ou par saisie de cette valeur dans la fenêtre « commande pompe » au niveau du champ « Commande : »

L'état de la vanne qui commande la fuite peut être contrôlé directement dans la fenêtre cuve en déplaçant le levier de commande.

La valeur numérique du niveau dans la cuve et du débit apparaissent dans la fenêtre cuve.

Pour exploiter facilement les courbes, la fonction zoom permet leur affichage en mode plein écran. La fenêtre doit être fermée pour repasser dans le mode de visualisation normal.

Pour imprimer les courbes, presser la touche « Imprimer » et les graphes correspondants à la zone définie par les paramètres « temps début » et « temps fin » s'imprime.

A3.1 / A3.2 ASSERVISSEMENT DE POSITION SUR FEEDBACK, ESSAIS ET ANALYSE

I DESCRIPTION DU MATERIEL

Il est important de lire cette description avec attention, en préparation puis au cours de la séance de travaux pratiques, afin de se familiariser avec le matériel qui sera utilisé à plusieurs reprises, et ne pas avoir de problème pour réaliser les divers câblages.

I-1 Introduction

Ce matériel permet la réalisation et l'étude de systèmes asservis comme:

- asservissement de vitesse (analogique et numérique)
- asservissement de position (analogique et numérique).

Dans un premier temps nous nous limiterons à l'étude de systèmes bouclés analogiques comme le montre la figure 1.

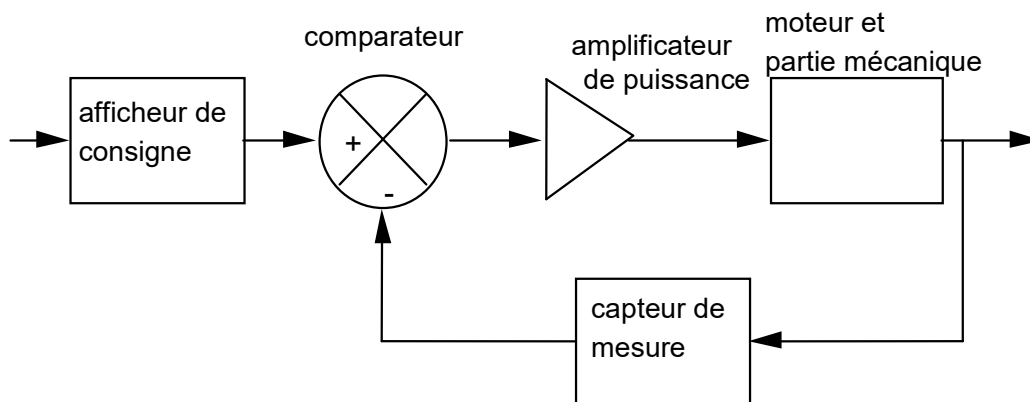


Figure 1 - Système analogique

La réalisation pratique de ces divers systèmes bouclés se fera par interconnexion de deux blocs principaux, le bloc unité analogique et le bloc unité mécanique dont une description est maintenant donnée.

I-2 Unité mécanique

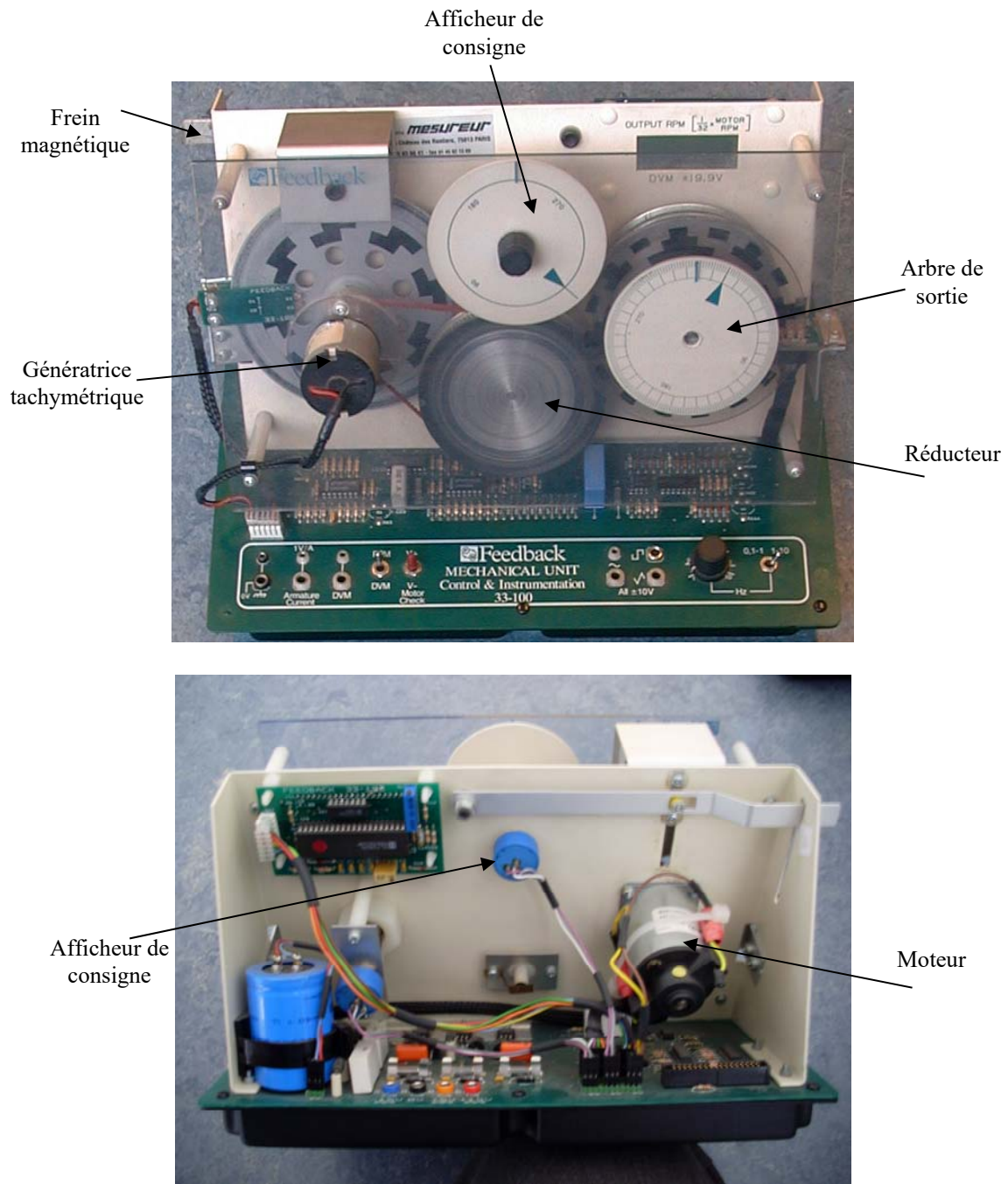


Figure 2 – Photographie de l'unité mécanique de la platine d'essai

Cette partie comporte tous les éléments nécessaires à l'étude et la réalisation d'asservissements de position (analogique et numérique), d'asservissements de vitesse (analogique et numérique). Elle comporte :

- **Un moteur à courant continu** (arbre moteur : motor shaft) situé
Sur l'arbre moteur sont montés:

- **Un frein magnétique** (brake magnet) permettant de faire varier la charge du moteur et donc de faire des essais en charge. Ce frein est piloté par un levier (brake lever).
- **Une génératrice tachymétrique** (tachogenerator) montée directement sur l'arbre moteur. La sortie de cette génératrice délivre une tension U_T proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur ($U_T = K_T * \Omega$). Cette génératrice servira de capteur analogique de vitesse.
- **Un disque (brake disk & speed track)** comportant deux pistes qui par l'intermédiaire d'un capteur optique (track reader) permettra d'avoir une information numérique de la vitesse de rotation du moteur. La partie extérieure du disque est utilisée pour le frein magnétique.
- **Un réducteur 1/32** sur lequel sont montés un **potentiomètre rotatif** (output potentiometer) permettant d'avoir l'information analogique de position et un **disque** comportant plusieurs pistes, qui par l'intermédiaire de capteurs optiques (track readers) permet d'avoir l'information numérique de position.
- **Un potentiomètre rotatif** (input shaft) monté sur un axe indépendant du moteur et permettant d'afficher la consigne de position.
- **Un générateur de fonctions** (en bas à droite) permettant d'avoir des signaux carrés, triangulaires et sinusoïdaux, d'amplitude +/- 10 Volts, de fréquence réglable.
- **Un affichage numérique** (3 digits, output shaft : t/mn ou DVM)) permettant d'afficher soit la vitesse de rotation en sortie du réducteur soit la valeur de la tension envoyée sur la broche notée DVM Input (en bas à gauche). Le choix de l'information affichée se fait par l'intermédiaire d'un interrupteur « RPM/DVM switch » situé en bas et à gauche.
- Un broche (armature current signal) qui délivre une tension proportionnelle au courant dans l'induit du moteur (1V/ A).
- Des entrées d'alimentation.
- Un câble en nappe (34 fils) qui permet la liaison entre l'unité mécanique et l'unité analogique.

I-3 Unité analogique (Figure 3)

Cette partie comporte les éléments électroniques nécessaires à la réalisation des divers asservissements et reçoit par l'intermédiaire de la "nappe" 34 fils les informations issues des divers capteurs.

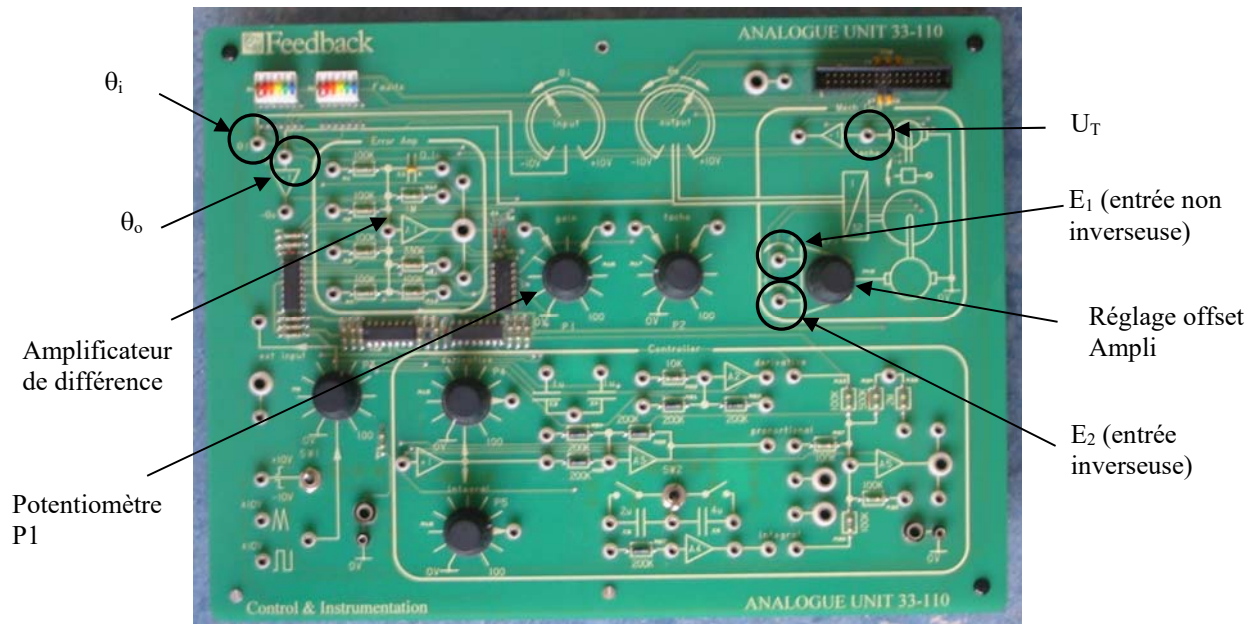


Figure 3 – Photographie de l'unité analogique de la platine d'essai

1-3-1 Informations issues des capteurs

* **U_T (tacho)** sortie de la génératrice tachymétrique. Ce signal peut être utilisé directement ou inversé.

* **θ_i (input shaft angle signal)** sortie du potentiomètre d'affichage de consigne. Ce signal peut être utilisé directement ou inversé.

* **θ_o (output shaft angle signal)** sortie du potentiomètre de mesure de position. Ce signal peut être utilisé directement ou inversé.

1-3-2 Eléments électroniques

* **P3 (external input potentiometer)**. Ce potentiomètre permet le réglage de l'amplitude des signaux que l'on désire envoyer sur l'entrée du comparateur «error amp». En effet, par l'intermédiaire de la "nappe" ou directement sur l'unité mécanique, on ne dispose que de signaux d'amplitude fixe. En bas à gauche de cette unité on dispose d'un signal triangulaire, d'un signal carré et d'une tension continue +/- 10 V.

* **Error amp et P1**. Ces deux éléments permettent de réaliser un comparateur suivi d'un amplificateur de gain réglable. Son étude sera effectuée ultérieurement.

* **P2 (tacho)**. Ce potentiomètre permet le réglage de l'amplitude du signal délivré par la génératrice tachymétrique.

* **Amplificateur de puissance et réglage d'offset (Power Amplifier and zero adjustment)**. C'est l'étage de puissance qui permet de fournir la puissance nécessaire à la commande du moteur. La sortie est directement reliée à l'induit du moteur.

Cet étage possède deux entrées qui permettent d'inverser la tension de commande du moteur. Si on envoie une tension positive sur l'entrée du haut (- +, E1) le moteur tourne dans un sens; si on envoie la même tension sur l'entrée du bas (+ -, E2) il tourne dans l'autre sens.

* **Bloc de commande (Controller).** Ce bloc permet l'insertion dans les systèmes bouclés de correcteurs permettant d'améliorer les performances de ces systèmes. L'étude de ce bloc "controller" sera faite lors de manipulations ultérieures.

II ETUDE PRELIMINAIRE

II-1 Etude de l'étage comparateur amplificateur

Sur le schéma de la figure 4 des connexions ont a représentées.

II-1-1 Si on appelle R_1 la résistance d'entrée, R_2 la résistance de contre réaction, p_1 l'atténuation apportée par P_1 et si on suppose l'entrée + directement reliée à la masse, donner l'expression de V_1 en fonction de R_1 , R_2 , p_1 , V_r et V_e .

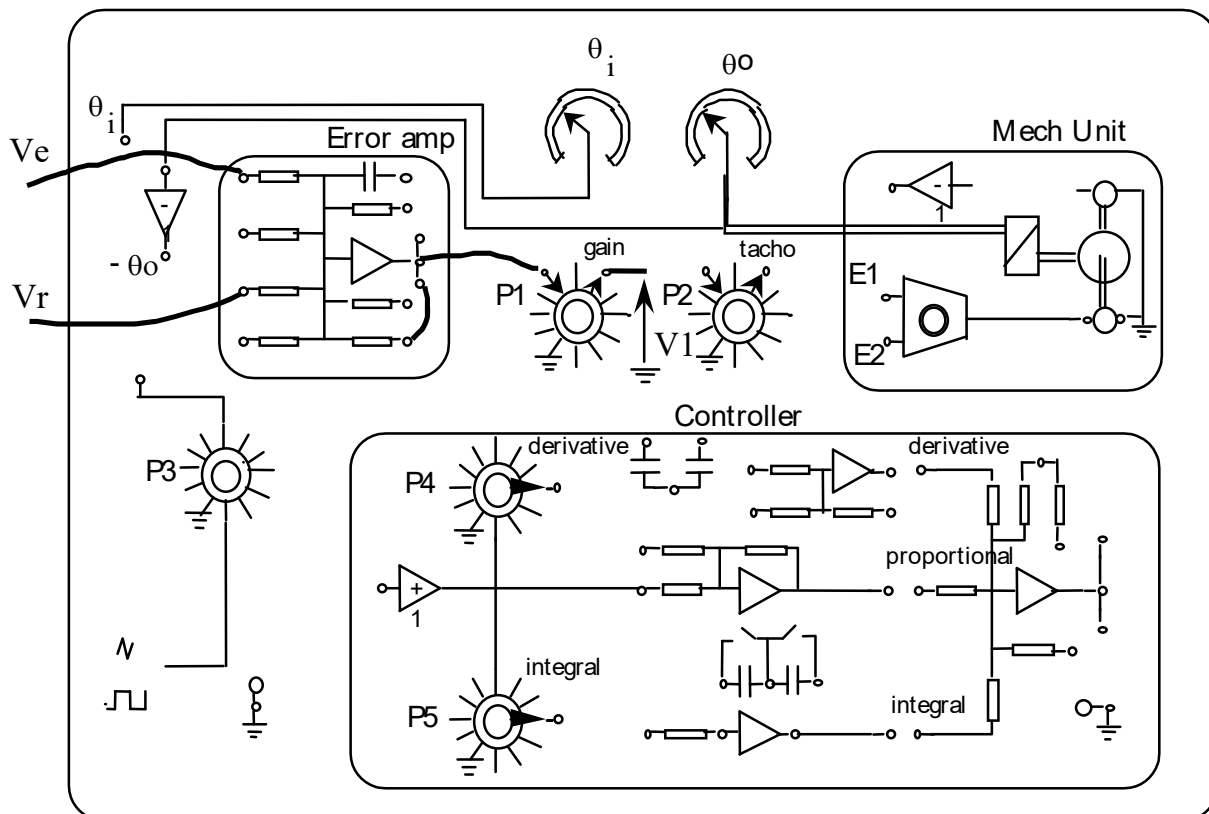


Figure 4 : Cablage du Comparateur

II-1-2 Donner l'expression de V_1 dans le système de la figure 5

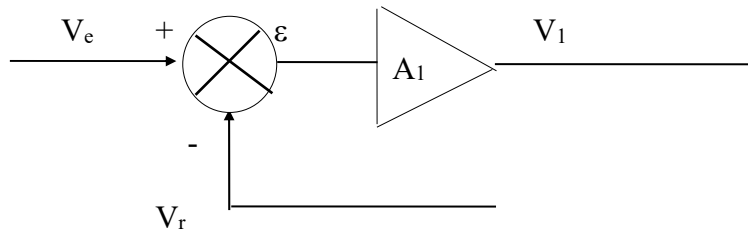


Figure 5 : Schéma fonctionnel équivalent

Que faut-il pour que les deux expressions de V_1 figure 4 et 5 soient identiques.

II-2 Asservissement de position

- En vous aidant de la figure 1 et de la description du système existant, donner le schéma fonctionnel correspondant à un asservissement de position. Ce schéma doit faire apparaître le comparateur, le réglage du gain A_1 , l'amplificateur de puissance, le moteur et lorsque c'est nécessaire le réducteur et le type de capteur utilisé.

- Compléter en gras, sur la figure 6, les liaisons entre les divers composants afin de réaliser un asservissement de position. On pourra pour cela imprimer le fichier .pdf de la figure 6 que l'on trouvera à sur « Groupe B/Autom/Abaques et papier milli et semilog/schema_feedback.pdf ».

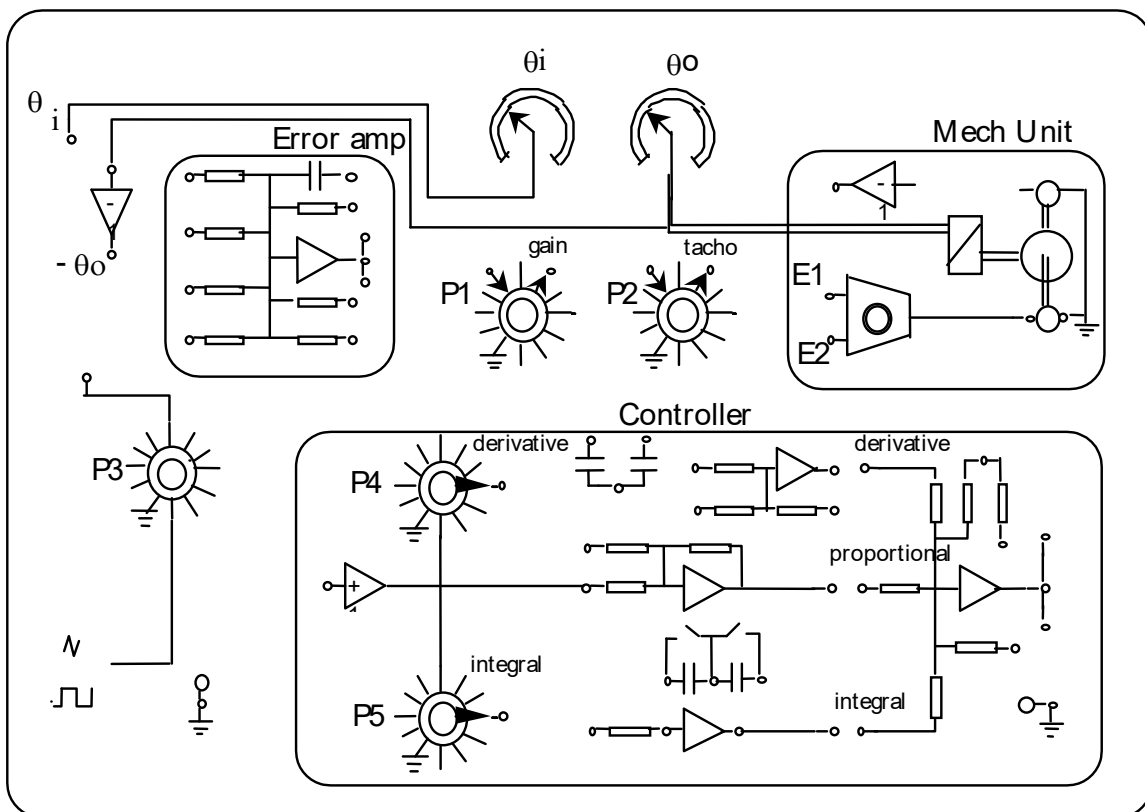


Figure 6 - Schéma à compléter

III MANIPULATION

III-1 Schéma de l'asservissement

Créer un schéma bloc de l'asservissement de position qui fait apparaître :

- l'afficheur de consigne
- l'amplificateur de différence,
- le gain de correction,
- l'amplificateur de puissance,
- le moteur,
- le réducteur,
- la dynamo tachymétrique.

Donner l'unité du signal situé à la sortie de chaque bloc ainsi que sa gamme de variation. Quelle est la nature technologique de l'afficheur de consigne ?

III-2 Etude de l'asservissement de position

Dans le cas de notre matériel on peut effectuer plusieurs branchements:

V_r peut être égal à θ_0 ou $-\theta_0$

La chaîne directe peut être inversée au niveau de l'amplificateur de puissance en utilisant soit l'entrée E_1 soit l'entrée E_2

III-2-a Hors tension, effectuer le montage permettant de réaliser l'asservissement de position (figure 6), et faites vérifier le montage avant de mettre sous tension.

En prenant comme résistance de contre réaction $R_2 = 100 \text{ K}\Omega$, P_1 en position 20%, dans les 4 cas suivants observer le comportement du système en bougeant le potentiomètre d'affichage de consigne. Commenter les résultats obtenus.

$V_r = \theta_0$ et entrée E_1

$V_r = -\theta_0$ et entrée E_1

$V_r = \theta_0$ et entrée E_2

$V_r = -\theta_0$ et entrée E_2

III-2-b Lorsque le fonctionnement est correct, pour $\theta_i = 0$ régler $\theta_0 = 0$ avec le potentiomètre de réglage d'offset (amplificateur de puissance) puis effectuer une rotation de 90° sur le potentiomètre d'affichage de consigne et commenter les résultats (sens de déplacement du disque et précision).

III-2-c Pour $V_r = -\theta_0$ et E_2 régler l'offset pour la position 0 de θ_0 et étudier le comportement du système, en faisant une rotation de 0° à 90° du potentiomètre d'affichage de consigne, pour les cas suivants:

$R_2 = 100 \text{ K}\Omega$ P_1 20%

$R_2 = 100 \text{ K}\Omega$ P_1 50%

$$R2 = 100K\Omega \quad P1 \ 100\%$$

$$R2 = 1M\Omega \quad P1 \ 100\%$$

Que constatez-vous ?

III-2-d Toujours pour $V_r = -\theta_0$ et E2, et afin de mieux interpréter les résultats précédents, remplacer θ_i par un signal carré d'amplitude réglable par P3. P3 positionné sur 40%, régler la fréquence du signal carré afin de pouvoir visualiser correctement θ_0 à l'oscilloscope à mémoire. (0,1Hz environ).

Pour chacun des cas précédents (R2 et P1) tracer l'entrée (sortie P3) et la sortie θ_0 du système (Selon le matériel disponible, on utilisera l'oscilloscope numérique ou l'oscilloscope virtuel Labview).

Pour chacun des relevés faites apparaître le temps de réponse à 5 % du système (voir figure 7 la définition du temps de réponse).

A l'aide des courbes et résultats précédents répondre aux questions suivantes:

- L'asservissement de position étudié est-il équivalent à un système du premier ou du second ordre?

- Comment varie le temps de réponse en fonction du gain de la chaîne directe?

- La sortie est-elle l'image exacte de l'entrée?

III-2-e Etude de l'effet de perturbation.

Sur le schéma fonctionnel de l'asservissement de position, représenter la tension de décalage (offset) comme une perturbation sur l'entrée de l'amplificateur de puissance.

Toujours pour $V_r = -\theta_0$ et E2, et pour $\theta_i = 0$, tourner à fond le potentiomètre de réglage de la tension d'offset.

Mesurer l'erreur de position pour chaque valeur de gain correspondant aux réglages suivants :

$$R2 = 100K\Omega \quad P1 \ 20\%$$

$$R2 = 100K\Omega \quad P1 \ 50\%$$

$$R2 = 100K\Omega \quad P1 \ 100\%$$

$$R2 = 1M\Omega \quad P1 \ 100\%.$$

Conclure.

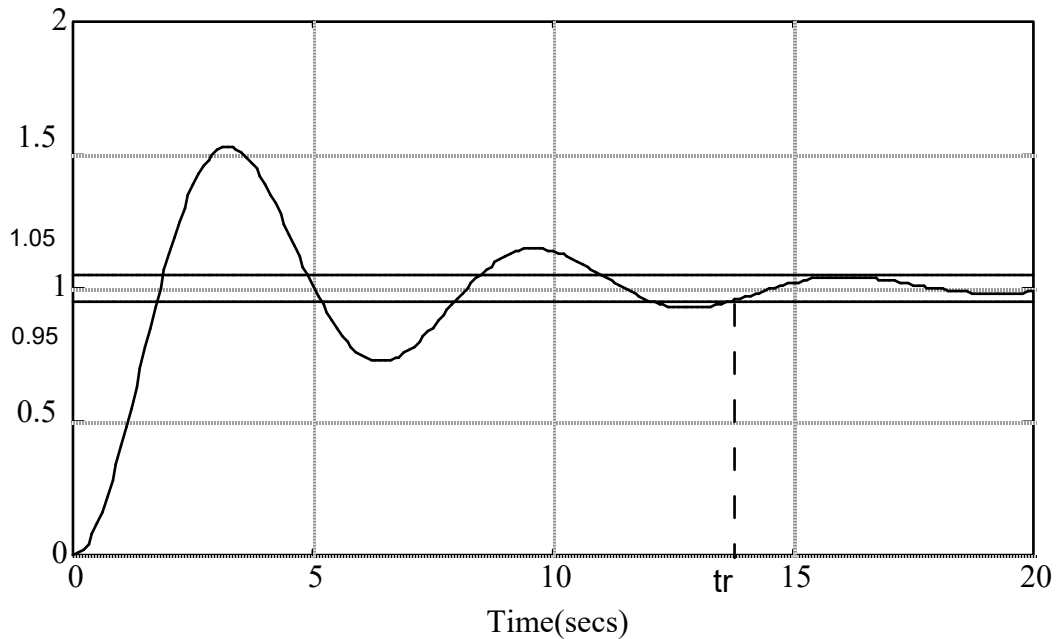


Figure 7 – Définition du temps de réponse à 5%.

III-3 Identification du bloc moteur

III-3-a Identification temporelle

Décâbler le montage précédent et relier la sortie de P3 (40%) directement à l'entrée E1 ou E2 de l'amplificateur de puissance.

Envoyer à l'entrée de P3 un signal continu +/- 10V et vérifier l'inversion du sens de rotation du moteur.

Remplacer le signal continu par un signal carré +/-10V et régler sa fréquence de manière à pouvoir observer correctement la réponse en vitesse du moteur (0,2 Hz environ). Ces réglages effectués, relever la réponse en vitesse du moteur (selon le matériel disponible, on utilisera l'oscilloscope numérique ou l'oscilloscope virtuel Labview).

Déduire de ce relevé la constante de temps électromécanique τ du moteur ainsi que le gain statique K . L'ensemble amplificateur de puissance et moteur est-il un système du premier ou du second ordre?

III-3-b Identification fréquentielle

Il est souvent utile de connaître la réponse d'un système à des signaux sinusoïdaux de fréquence variable, et de représenter cette réponse dans les plans de Bode ou de Black.

Pour cela, un analyseur logiciel créé par des étudiants du département GEII de l'IUT de Bordeaux, sous Labview (voir notice en fin du cahier de TP Automatique 1^{ère} série) sera utilisé.

Sur la face avant de l'analyseur, on effectuera les réglages suivants :

- fréquences de 0,1 Hz à 10 Hz, 20 points par décade ;
- amplitude 2 V, offset 3 V.

1. Analyseur GEII sous Labview.

- A la mise sous tension de l'alimentation du système Feedback, ajuster le potentiomètre de réglage de la tension de décalage (« zero adjustment »), pour que, en l'absence de toute tension d'entrée de l'amplificateur de puissance, le moteur ne tourne pas. S'assurer également que le frein électromagnétique est inactif (le levier « brake lever » est relevé).

- Connecter la sortie du générateur de l'analyseur Labview sur l'entrée E1 de l'amplificateur de puissance du Feedback et sur le canal 0 de l'analyseur Labview.

- Connecter la sortie de la dynamo tachymétrique (U_T) du Feedback sur le canal 1 de l'analyseur Labview.

- Tracer, en coordonnées de Bode, la réponse fréquentielle du système, de 0,1 Hz à 10 Hz. On programmera le générateur pour que l'amplitude du signal sinusoïdal soit 2 V, le décalage (« offset ») de 3 V.

III-4 Tracé des réponses fréquentielles et temporelles sous Matlab

III-4-a Simulation temporelle

Lancer le logiciel Matlab pour simuler le modèle obtenu à la question III.3.a.

Pour cela, sous Matlab, *ouvrir Simulink* en tapant :

>>simulink

La fenêtre Simulink s'ouvre et présente un ensemble de bibliothèques de fonctions diverses (voir figure 8). Si nécessaire, réduire éventuellement cette fenêtre, et la conserver en haut et à droite de l'écran.

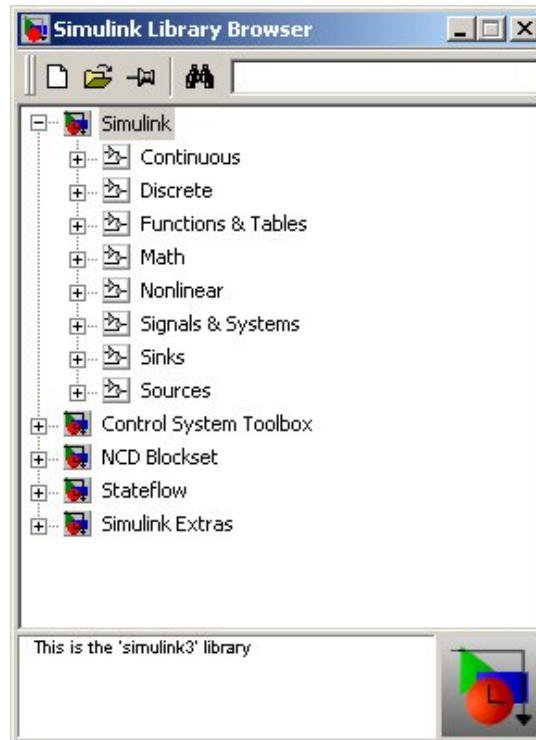


Figure 8 – Fenêtre de commande Simulink et répertoires dans lesquels sont stockés les blocs à utiliser

Ouvrir alors votre espace de travail, en cliquant sur l'icône page blanche de la fenêtre Simulink.

On désire effectuer la simulation de la réponse à un signal échelon d'amplitude 1 (commande max) du système

$$\Omega_s(p)/U(p) = K/(1 + \tau p)$$

qui caractérise le comportement dynamique de la partie opérative, les valeurs des paramètres K et τ sont celles déterminées à la question III.3.a.

Construire le schéma de simulation dans la fenêtre de travail ("Untitled").

Pour cela, ouvrir le répertoire "Sources" de la fenêtre Simulink. Sélectionner et faire glisser dans la fenêtre de travail (appuyer le bouton gauche de la souris, le maintenir pendant le déplacement, puis relâcher) le bloc **Step** et le faire glisser dans la fenêtre de travail.

De la même façon, amener successivement dans la fenêtre de travail :

- une fonction de transfert (Transfer Fcn), tirée du répertoire « Continuous »,
- et un oscilloscope (Scope), du répertoire « Sinks ».

Aligner ces éléments dans le bon ordre, et *effectuer toutes les connections* à la souris (appuyer le bouton gauche à l'intérieur du petit triangle de sortie d'un bloc, se déplacer en le maintenant enfoncé jusqu'au petit triangle d'entrée du bloc suivant, et l'y relâcher).

Programmer ensuite chaque élément, en cliquant deux fois de suite sur sa représentation :

- l'échelon, l'instant d'application de cet échelon de 0s (Step time), sa valeur initiale 0 (Initial value) et sa valeur finale 1 (Final value). Valider par "OK".
- les fonctions de transfert, en entrant les numérateurs et dénominateur.

Programmer enfin les paramètres choisis pour la simulation, en cliquant la commande 'parameters' du menu 'Simulation' de la fenêtre "Untitled" : sélectionner Ode45 (c'est la méthode d'intégration numérique), et entrer l'instant de fin de la simulation compatible avec l'expérience réalisée (Stop time). Ne pas modifier les autres valeurs, et valider par "OK".

Lancer alors la simulation (commande 'Start' du menu 'Simulation'), et cliquer deux fois sur la représentation de l'oscilloscope pour faire apparaître la fenêtre de visualisation.

Comparer la réponse obtenue à la mesure effectuée à la question III.2.a.

III-4-b Réponse fréquentielle

A l'aide du logiciel Matlab, on désire étudier la **réponse fréquentielle** du système décrit par sa transmittance :

$$\Omega_s(p)/U(p) = K/(1 + \tau p)$$

les valeurs des paramètres K et τ sont celles déterminées à la question III.3.a.

Cette transmittance correspond à la transmittance qui caractérise le comportement du moteur qui vient d'être étudiée (les valeurs numériques des coefficients pouvant toutefois être sensiblement différentes).

Afin de faciliter la correction du programme, celui-ci sera saisi dans un fichier texte d'extension .m (executable par matlab) que l'on ouvrira en utilisant le menu **File**, puis en sélectionnant **New Script**.

La saisie des fonctions de transfert se fait en entrant séparément les polynômes du numérateur et du dénominateur. Les crochets indiquent qu'il s'agit d'un polynôme, ses coefficients étant toujours écrits **dans l'ordre décroissant des puissances de la variable de Laplace p** (appelée **s** sous Matlab) :

```
num1= K;
den1=[ \tau,1];    (la virgule peut aussi être remplacée par un espace)
```

Prendre l'habitude de toujours placer un point-virgule à la fin de chaque ligne, pour éviter l'affichage par Matlab des résultats des calculs intermédiaires et permettre ainsi, en fin d'écriture, une impression plus claire des lignes de programme sélectionnées.

Le calcul du gain et de la phase s'effectue notamment en utilisant la suite d'instruction suivante:

```

w=logspace(-1,1,100);           % ligne 1
[g,p]=bode(num1,den1,w);       % ligne 2
g_db=20*log10(g);             % ligne 3

```

La ligne 1 permet de définir la gamme de pulsation sur laquelle le calcul du gain et la phase est effectué. L'instruction `w=logspace(n,m,q)` retourne en effet dans la variable `w`, `q` points de la pulsation 10^n rad/s à la pulsation 10^m rad/s avec une répartition logarithmique sur cette gamme de pulsation.

La ligne 2 retourne respectivement dans les variables `g` et `p`, le module et la phase du système.

La ligne 3 permet une conversion du module en gain exprimé en dB.

Le tracé du gain et de la phase s'effectue notamment en utilisant la suite d'instruction suivante:

```

figure;                         % ligne 1
subplot(211);                     % ligne 2
semilogx(w,g_db);                 % ligne 3
xlabel('Pulsations (rad/s)');    % ligne 4
ylabel('Gain (dB)');             % ligne 5
title('Diagrames de Bode');      % ligne 6
grid;                             % ligne 7
subplot(212);                     % ligne 8
semilogx(w,p);                   % ligne 9
xlabel('Pulsations (rad/s)');    % ligne 10
ylabel('Phase (deg)');          % ligne 11
grid;                             % ligne 12

```

La ligne 1 permet d'ouvrir une nouvelle figure.

La ligne 2 permet de diviser la fenêtre en plusieurs parties. La fonction `subplot(mnq)` divise l'écran en un tableau de `m` lignes, `n` colonnes et sélectionne la case `q` de ce tableau de sorte que tout nouveau tracé s'effectuera dans cette case.

La ligne 3 permet le tracé du gain sur une échelle semi-logarithmique.

La ligne 4 ajoute une légende sur l'axe des abscisses du tracé.

La ligne 5 ajoute une légende sur l'axe des ordonnées du tracé.

La ligne 6 ajoute un titre au tracé.

La ligne 7 ajoute une grille au tracé.

Ces instructions sont reprises aux lignes 8 à 12 pour le tracé du diagramme de phase.

Imprimer les courbes obtenues, accompagnées des lignes de programme correspondantes et comparez les aux courbes obtenues au paragraphe III-3-b.

A5.1 / A5.2

CAO MATLAB, SIMULATION DE SYSTEMES DYNAMIQUES

L'objectif de ce premier TP est de vous familiariser avec le logiciel matlab et en particulier avec quelques fonctionnalités utiles pour résoudre des problèmes d'automatique.

Avant de commencer la séance, il est indispensable d'avoir relu et travaillé le polycopié de cours et les notes prises en cours.

1. Utilisation de Matlab : questions préliminaires

Avant tout, lire l'annexe initiation à Matlab ci-dessous.

- Déclarer la fonction de transfert suivante sous matlab :

$$G(p) = \frac{p^2 - 2p + 2}{p^3 + 4p^2 + 9p + 10}$$

Les pôles d'une fonction de transfert $G(p)$ déclarée au préalable sont calculés à l'aide de la fonction `pole` :

```
>> P=pole(G)
```

où P est un vecteur contenant la liste des pôles de $G(p)$.

2. Réponses fréquentielles sous Matlab

Les diagrammes de Bode et de Black peuvent être tracés à l'aide des fonctions `bode` et `nichols` comme suit :

```
>> bode(G);  
>> grid on;  
>> nichols(G);  
>> grid on;
```

La plage de pulsations utilisée est choisie automatiquement en fonction du système, mais celle-ci peut être fixée manuellement à l'aide d'un second argument.

- Tracer les diagrammes de Bode et de Black d'un :
 - système du premier ordre stable, par exemple $\{K = 10; \tau = 5\}$;
 - système du second ordre stable, d'amortissement $0 < \zeta < 1$, par exemple $\{K = 10; \zeta = 0.1, \omega_n = 5\}$.
- Vérifier que ces tracés ont bien l'allure attendue.

3. Représentation d'un système bouclé

On considère un système en boucle fermée représenté sur la figure 1.

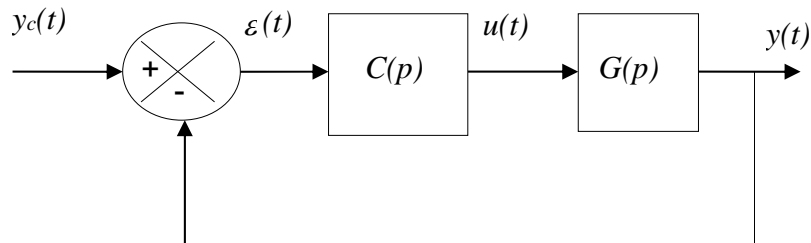


Figure 1 - Système bouclé

A l'aide de la fonction feedback déterminer l'expression de la fonction de transfert $\frac{Y(p)}{Y_c(p)}$ pour :

– $G(p) = \frac{p^2 - 2p + 2}{p^3 + 4p^2 + 9p + 10}$ et $C(p) = 10$;

– $G(p) = \frac{0.333p^2 + 4.333p + 10}{2.5p^3 + 5.25p^2 + 10.5p + 1}$ et $C(p) = 2 \left(1 + \frac{1}{10p} \right)$.

En calculant les pôles du système en boucle fermée, évaluer la stabilité du système bouclé dans les deux cas.

4. Régulation d'un système de 3^{eme} ordre

On considère un système décrit par la fonction de transfert $G(p)$ donnée par :

$$G(p) = \frac{150(1 + p/400)}{(1 + p/10)(1 + p/40)(1 + p/60)}$$

Ce système est asservi en boucle fermée selon la figure 2.

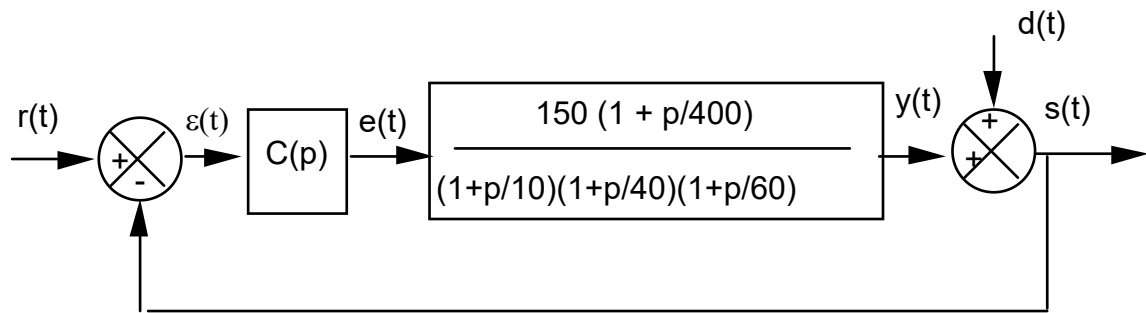


Figure 2 - Système en boucle fermée

Tracer à l'aide de matlab les diagrammes de Bode et de Black de la fonction $G(p)$.

Le régulateur proportionnel est constitué du comparateur et d'un amplificateur à gain ajustable. Le système représenté sur la figure 2 par le bloc de transmittance $C(p)$ est donc réduit à un nombre réel C_1 représentant le gain de l'amplificateur. Dans la suite, les valeurs suivantes de C_1 seront utilisées:

$$C_1 = 0.02 \quad \text{and} \quad C_1 = 0.04$$

- a. En utilisant la fonction feedback et pour les deux valeurs de C_1 précédentes, calculer la fonction de transfert du système en boucle fermée (fonction de transfert $S(p)/R(p)$). Tracer les deux diagrammes de gain correspondants. Sur ces deux courbes, relever le gain statique, la valeur de la résonance et la bande passante du système en boucle fermée. Concluez sur les évolutions de ces grandeurs en fonction de C_1 .
- b. Sous Simulink, faire une simulation temporelle du système bouclé pour les valeurs de C_1 trouvées, en prenant :
 - $r(t) = 2 * h(t)$;
 - $d(t) = -h(t-1)$. $h(t)$ désigne la fonction échelon d'Heaviside. Pour la simulation, on choisira $0,01s$ comme valeur maximale du pas de calcul, et une durée de simulation de $2s$.

Sur les courbes de simulation obtenues :

- relever l'erreur statique avant et après l'apparition de la perturbation ;
- mesurer le temps de réponse à $\pm 5\%$ (avant la perturbation) ;
- mesurer le temps de montée (avant la perturbation) ;
- mesurer le premier dépassement (avant la perturbation) ;
- vérifier théoriquement les valeurs de l'erreur statique (avec et sans perturbation).

- Annexe : Initiation à matlab

Au lancement de matlab, une fenêtre de commande est affichée. Cette fenêtre contient l'invite de commande où les instructions peuvent être saisies. La description de chaque instruction peut être obtenue par la commande `help nom_instruction`. Par ailleurs, si une instruction est suivie d'un point-virgule, son résultat n'est pas affiché dans la fenêtre de commande.

6.1 - Saisie de variables et manipulations de base

Contrairement aux langages de programmation compilés comme le C et le C++, avec matlab le type des variables n'est pas demandé. La déclaration et l'affectation d'une variable se fait à l'aide d'une instruction unique :

```
>> a=5;
```

Cette variable peut ensuite être utilisée dans une expression :

```
>> 2*a+3
```

```
ans =
```

```
13
```

Un nombre complexe est saisi à l'aide de la variable prédéfinie `i` ou `j` :

```
>> b=4+3*i
```

```
b =
```

```
4.0000 + 3.0000i
```

Le module et l'argument du nombre complexe `b` est calculé à l'aide des fonctions `abs` et `angle`

```
>> c=abs(b)
```

```
c =
```

```
5.0000
```

Un vecteur ligne peut être saisi de la manière suivante :

```
>> x=[1 2 3]
```

```
A =
```

```
1      2      3
```

et un vecteur colonne par :

```
>> x=[10;11;12]
```

```
x =
```


10
11
12

Il est important de noter que matlab fait la différence entre les majuscules et les minuscules au niveau de la dénomination des variables. Les variables ne doivent pas contenir de caractère de ponctuation ni commencer par un chiffre.

5.2 - Création de scripts

Un script est un fichier texte contenant une séquence de commandes matlab. Ce fichier doit nécessairement porter l'extension `.m`. Un script peut être exécuté à partir de l'invite de commande de matlab en tapant son nom (sans l'extension `.m`). Par exemple, le fichier `monscript.m` est exécuté en tapant :

```
>> monscript
```

à l'invite de commande. Afin de pouvoir être exécuté, le script doit être situé dans le répertoire courant de matlab (vérifiable avec la commande `pwd`). Si ce n'est pas le cas, il est possible de changer de répertoire avec la commande `cd` ou avec `File->Set Path`. Par défaut, le répertoire courant correspond à `work`

Les instructions utiles pour la manipulation de fichiers sont données dans le tableau suivant :

<code>cd, pwd</code>	affiche le lecteur et le répertoire courant
<code>cd c :</code>	permet de se placer sur l'unité logique c
<code>cd ..</code>	permet de remonter d'un niveau dans l'arborescence (répertoire parent)
<code>dir</code> ou <code>ls</code>	affiche la liste des fichiers et répertoires contenus dans le répertoire courant
<code>pwd</code>	affiche le chemin du répertoire courant
<code>save</code>	sauvegarde les données en mémoire dans un fichier (extension <code>.mat</code>)
<code>load</code>	charge en mémoire les données contenues dans un fichier

5.3 - Fonctionnalités graphiques

Matlab possède un grand nombre de fonctions permettant de produire des courbes 2D ou 3D. Ces fonctions acceptent en entrées des données sous forme de vecteurs ou de matrices. Les axes sont automatiquement mis à l'échelle selon les données à tracer.

La commande la plus utilisée est `plot`. Elle génère l'affichage des éléments d'un vecteur ou des colonnes d'une matrice. Ainsi, si `y` est un vecteur, `plot(y)` trace une figure ayant en abscisse les indices du vecteur (de 1 à la dimension du vecteur) et en ordonnée les valeurs contenues dans le vecteur.

Si deux vecteurs de même dimension sont spécifiés en entrée, `plot(x,y)` affiche les éléments du vecteur `y` en ordonnée suivant les valeurs de `x` en abscisse.

Le style des courbes (couleur, trait, etc.) est spécifié à l'aide d'un troisième paramètre sous forme d'une chaîne de caractères.

Enfin, les fonctions `xlabel`, `ylabel` et `title` permettent d'indiquer les grandeurs sur les axes et de donner un titre à la figure. La fonction `legend` permet d'indiquer une légende dans le cas du tracé de multiples courbes.

Les instructions graphiques de base sont indiquées dans le tableau suivant :

<code>plot(x,y)</code>	trace y en fonction de x
<code>plot(x,y,'s')</code>	la variable s permet de choisir le type de tracé et sa couleur
<code>plot(t,x,t,y)</code>	trace x et y en fonction de l'index t sur le même graphe
<code>grid</code>	ajoute une grille en fond de graphique
<code>xlabel('titre')</code>	donne un titre à l'axe des abscisses
<code>ylabel('titre')</code>	donne un titre à l'axe des ordonnées
<code>title('titre')</code>	donne un titre à la figure
<code>legend('courbe1','courbe2')</code>	donne une légende pour chaque courbe
<code>figure</code>	permet d'ouvrir une nouvelle fenêtre graphique
<code>hold on</code>	permet de superposer plusieurs figures
<code>subplot(m,n,p)</code>	divise la fenêtre graphique courante en m lignes et n colonnes et affiche le graphique suivant à la zone p
<code>axis</code>	fixe les intervalles de visualisation des axes de la figure
<code>clf</code>	efface le contenu de la fenêtre graphique

5.4 - Déclaration d'une fonction de transfert sous Matlab

Une fonction de transfert

$$G(p) = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0}$$

peut être stockée dans matlab sous la forme d'un seul objet à l'aide de la fonction `tf` :

```
>> G=tf([b_m b_{m-1} ... b_0], [a_n a_{n-1} ... a_0])
```

où les paramètres a_i et b_j sont les coefficients du numérateur et du dénominateur.

5.5 - Simulation de systèmes dynamiques sous Simulink

Simulink est un logiciel de simulation permettant notamment de calculer et de visualiser l'évolution temporelle de différentes grandeurs représentatives d'un système dynamique. Le modèle du système est saisi sous forme graphique à l'aide de blocs élémentaires disponibles dans des bibliothèques. L'agencement de ces blocs entre eux constitue un schéma bloc du système.

Le calcul de l'évolution temporelle des différents signaux implique la résolution d'équations différentielles. Ces équations différentielles sont résolues à l'aide de méthodes d'intégration numériques à bases de développements de Taylor ou des méthodes implicites comme Runge-Kutta.

Les signaux obtenus peuvent être directement visualisés sous simulink ou bien être mémorisés de sorte à pouvoir être manipulés sous matlab.

Simulink peut être lancé en tapant la commande suivante :

```
>> simulink;
```

Une fenêtre faisant apparaître les différentes bibliothèques est alors affichée. Chaque bibliothèque peut être explorée par double-click.

Un simulateur peut à présent être créé en cliquant sur le menu `File/New/Model`. Le schéma bloc est ensuite obtenu en opérant des cliquer-déplacer depuis les blocs élémentaires contenus dans les bibliothèques vers la fenêtre du simulateur. Les paramètres des blocs sont alors modifiables par double-click dans la fenêtre du simulateur. Le schéma peut être sauvegardé avec une extension `.mdl` à l'aide du menu `File/Save`.

Les éléments essentiels sont :

- les sources, contenues dans la bibliothèque `Sources` ;
- les éléments de visualisation, contenues dans la bibliothèque `Sinks` ;
- les éléments de représentation de systèmes dynamiques à temps continu dans bibliothèque `Continuous`.
- les opérations mathématiques.