

Chapitre 3

T.P. 3 : Modélisation en commande d'une maquette de régulation de niveau

3.1 Objectifs

Le contrôle des processus met très souvent en œuvre des régulations de niveau. Leur commande peut-être réalisée à l'aide de commandes en boucle fermée standards utilisant des correcteurs PID. Cependant, les composants utilisés dans ces processus ont souvent des comportements complexes et non-linéaires, ce qui peut conduire à des difficultés de réglages des PID et des performances décevantes. Le but de ce TP est d'étudier, sur une maquette pédagogique, les comportements réels de ces composants, leurs non-linéarités et les alternatives aux classiques PID pour leur commande en boucle fermée. Plus particulièrement, les objectifs de ce TP seront les suivants :

- identifier les non-linéarités d'un système dynamique (type de non linéarités, etc) ;
- comprendre et tracer les caractéristiques E/S d'un système ;
- (re)conditionner les signaux/systèmes MISO \rightarrow SISO ;
- commander un système non linéaire à faible dynamique ;
- linéariser un système non linéaire.

3.2 Préparation (à faire avant la séance de T.P.)

3.2.1 Présentation de la maquette

La maquette utilisée dans ce TP correspond à un système automatisé de remplissage et de contrôle de niveau d'eau dans des cuves. Celle-ci est constituée de trois cuves de géométries différentes, chacune pouvant se vider à grâce à une vanne manuelle et une vanne commandable électriquement à l'aide d'un système numérique (PC + carte entrées/sorties). Une pompe, également commandable par le PC, permet de commander l'alimentation de la cuve supérieure (FIG. 3.1).

Question 3.1 *Expliquez le fonctionnement d'une électrovanne proportionnelle et donnez, si possible, sa loi de comportement, c'est-à-dire la relation existant entre le débit obtenu en sortie de la vanne et ses deux grandeurs d'entrée $\Delta p(t)$ et $s(t)$. $\Delta p(t)$ est la différence de*

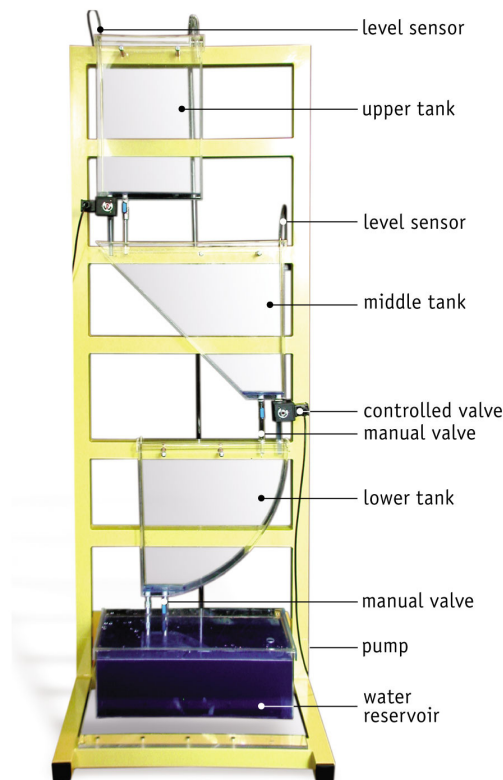


FIGURE 3.1 – Description de la maquette comportant du TP.

pression aux bornes de la vanne et $s(t)$ sa section d'ouverture. Sa section d'ouverture $s(t)$ est une fonction de la tension de commande de la vanne $u(t)$, de sorte que $s(t) = s(u(t))$.

Question 3.2 Donnez la relation liant le niveau d'eau dans une cuve en fonction de son débit de remplissage (ou de vidange)¹. Donnez également la relation entre la hauteur d'eau dans cette cuve et la pression au fond de celle-ci².

Question 3.3 Qu'appelle-t-on un correcteur PID et que signifie chacune de ces lettres? Rappelez brièvement son fonctionnement.

3.3 Expérimentations (à faire pendant la séance de T.P.)

La maquette est contrôlée par une carte d'entrées/sorties PCI connectée à un P.C. Cette dernière est programmable et commandable au moyen de **Matlab Simulink**. La conversion et la compilation du schéma-block dessiné sous **Simulink** en un programme C est réalisée en utilisant la *toolbox* “*Real Time Workshop*” de Matlab. Le lancement et le pilotage en temps réel du programme C compilé pour le processeur du PC est réalisé en utilisant la *toolbox* “*Real Time Windows Target*” de Matlab.

-
1. Cette relation est liée à une loi de conservation de la masse.
 2. Cette relation est liée au principe de Pascal.

Démarrez le logiciel **Matlab R2012** sur le bureau. Dans *Matlab*, placez vous dans la *directory* `C:/etudiants/M2E2`. Lancez *Simulink* et ouvrez le fichier `origine.mdl`. Sauvegardez celui-ci sous un nouveau nom. Ce fichier correspond au programme de base à partir duquel vous allez construire votre commande.

3.3.1 Identification et caractérisation du système

Dans un premier temps et afin de vous familiariser avec le fonctionnement de la maquette, l'identification expérimentale du comportement de quelques composants de la maquette sera réalisée (électrovanne, pompe, cuve, capteur). Seule la cuve supérieure (rectangulaire) sera étudiée dans un premier temps.

Question 3.4 *Pour différentes valeurs de consigne de commande directe de la pompe et en maintenant fermées les vannes de vidange de la cuve supérieure, relevez l'évolution du niveau d'eau dans la cuve en fonction du temps. Vérifiez que ce comportement correspond au comportement que vous avez prédit dans la préparation du TP. En déduire le débit entrant dans la cuve en fonction de la consigne de commande de la pompe (relation commande/débit de la pompe). Étalonnez le capteur de niveau en fonction de la mesure sur l'ordinateur et de la hauteur lue sur la cuve.*

Question 3.5 *Proposez et réalisez un essai expérimental permettant de déterminer la loi de comportement de la vanne de vidange commandable (relation débit/différence de pression en fonction de sa consigne de commande).*

Question 3.6 *Montrez que le comportement de commande en remplissage/vidange de la cuve supérieure présente d'importantes non-linéarités (zones mortes, saturations, hétérogénéité remplissage/vidage). Tracer sur un graphe cette caractéristique de commande.*

3.3.2 Mise en œuvre d'une régulation de niveau

Question 3.7 *Proposez une solution pour passer d'une commande MISO³ de la cuve vers une commande SISO (conditionnement du signal d'entrée de commande de la cuve).*

Question 3.8 *Proposez et mettez en œuvre un système de commande numérique permettant de contrôler en boucle fermée le niveau d'eau dans la cuve supérieure, selon le schéma-bloc de la FIG. 3.2, pour une consigne de niveau que vous choisirez.*

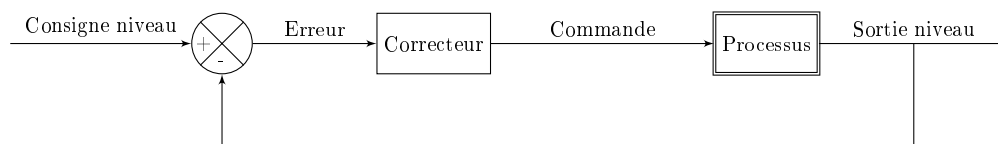


FIGURE 3.2 – Régulation de niveau de la cuve supérieure.

3. Multi Inputs Single Output.

Question 3.9 *Pour ce type de processus, vérifier qu'une commande par correcteur PID ou par correcteur TOR (tout ou rien) n'est pas forcément très pratique ni très pertinente⁴. Essayez de quantifier la qualité de votre régulation de niveau pour les propriétés suivantes :*

- erreur statique ;
- temps de montée ou descente entre deux consignes ;
- amplitude des éventuels dépassements ;
- temps de réponse à 5% ;
- correction de perturbations (réalisées en ouvrant la vanne de vidange manuelle).

Discutez de la stabilité, de la précision, de la rapidité et de l'amortissement de votre système de contrôle et des améliorations possibles.

Si il vous reste du temps...

Question 3.10 *Testez une commande non-linéaire par hystérésis et quantifiez de nouveau la qualité de votre régulation. Est ce que le contrôle obtenu par cette commande est amélioré par rapport au contrôle obtenus par les commandes précédentes ? Quels sont ses avantages et inconvénients comparativement ?*

Question 3.11 *En vous aidant de votre identification, linéarisez le système (conditionner le signal de commande pour approcher un comportement linéaire) afin d'utiliser de façon plus pertinente les correcteurs linéaires (PID ou autres). Mettez en place la commande correspondante et quantifiez de nouveau la qualité de votre régulation. Vérifiez sa sensibilité par rapport aux erreurs de modélisation.*

4. L'annexe B propose quelques méthodes semi-empiriques de réglage des PID.