

**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Ecole Supérieure de Technologie de Fès**  
 Département **Génie des Procédés** 2<sup>ème</sup> année.  
 Filière : GP-Industries Chimiques

Examen de régulation industrielle (2012-2013) : Durée : 2 h

Les documents personnels sont autorisés (cours+TD)

Les téléphones et PC portables ne sont pas autorisés !

D'.Ing.M.Rabi : <http://www.est-usmba.ac.ma/Rabi>

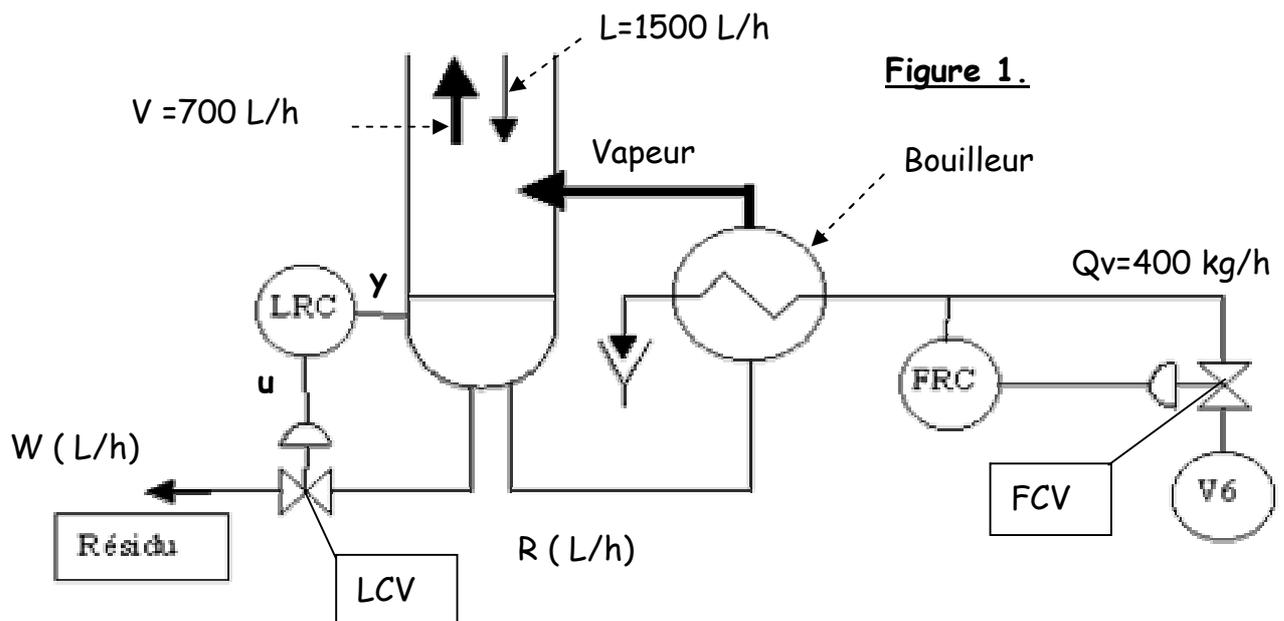
### I- Questions de cours

1- Les racines de l'équation  $1 + FTBO(s)$  d'un procédé sont :  $0, -\frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2}j$ . Ce procédé en boucle fermée sera-t-il : Stable ? Instable ou Oscillant ?

2- Le sens de la régulation est direct si la commande et la grandeur réglée varient dans le même sens ou si la commande et la grandeur réglée varient en sens inverses ?

### II- Régulation

La figure 1 représente une partie d'un procédé de séparation.



Le montage représente le fond d'une colonne de distillation permettant de séparer un mélange d'eau et de méthanol. Dans la colonne circulent deux courants : un courant ascendant composé de vapeur et un courant descendant composé de liquide.

Le niveau en pied de colonne est maintenu constant à 50 cm du fond de la colonne de façon à ne pas assécher le bouilleur. L'arrivée de vapeur s'effectue à 80 cm du fond de la colonne. Une partie du liquide accumulé en pied de colonne, majoritairement de l'eau, est vaporisée dans le bouilleur. Le fluide thermique est de la vapeur à 6 bar nominal. En fonctionnement normal de l'installation, le flux de liquide descendant dans la colonne est de 1500 L/h (au maximum : 2000 L/h), le débit de liquide vaporisé est de 700 L/h et la quantité nominale de vapeur est de 400 kg/h (au maximum : 1000 kg/h).

En fonctionnement normal, le surplus de liquide accumulé en pied de colonne, appelé résidu, est envoyé avec un débit W vers une recette.

1- Pour chacune des régulations schématisées sur le dessin, définir la grandeur réglée, réglante, la ou les perturbation(s) et les valeurs de consigne.

2- On dispose des capteurs-transmetteurs suivants : conviennent-ils ?

| Capteur | Nature | Localisation | Signal  | Echelle     |
|---------|--------|--------------|---------|-------------|
| LT      | passif | procédé      | 4-20 mA | 0-80 cm     |
| FT      | actif  | procédé      | 4-20mA  | 0-1200 kg/h |

La vanne LCV est choisie NO et la vanne FCV est choisie NF. Justifier ces choix.

Les vannes sont pneumatiques en 0.2 à 1 bar et dotées de positionneurs.

On considère que les vannes FCV et LCV sont linéaires.

La vanne FCV présente un débit maximum de 1000 kg/h (ouverture 100%) et la vanne LCV présente un débit maximum de 2000 L/h.

Les régulateurs sont tous PID (LC mixte et FC série). Ils reçoivent côté mesure du 4-20 mA et envoient côté correction du 4-20 mA. Ils ne peuvent pas alimenter en 24 V les boucles de mesure. Ils se trouvent dans la salle de contrôle.

3- On dispose de convertisseurs de tous types, d'alimentations 24V continu et de 2 enregistreurs 2 voies en 4-20 mA.

Chaque mesure et chaque correction sera enregistrée.

Etablir pour la régulation de niveau uniquement le schéma des câblages. Justifier ce schéma (Noter sur le schéma : les générateurs et le sens de circulation des courants).

4.1- Le capteur de niveau LT mesure 30 cm, quelle est l'intensité qui est envoyée au régulateur LC ?

4.2- La vanne de régulation de niveau LCV laisse passer un débit de 1200 L/h. Quelles sont les valeurs des paramètres suivants : ouverture, commande, pression dans le servomoteur, pression de commande, intensité issue du régulateur LC ?

4.3- Le régulateur FC reçoit une intensité de 13 mA, quelle est la valeur du débit de vapeur mesuré alors par le FT ?

4.4- L'échelle du FT est décalée à 100 kg/h comme valeur minimale et 1400 kg/h comme valeur maximale, quelle est le débit correspondant à 13 mA ?

4.5- La commande issue du FC est de 35 %, quelles sont les valeurs des paramètres suivants : ouverture, pression dans le servomoteur, pression de commande, intensité issue du régulateur FC, débit traversant la vanne ?

5- Déterminer pour la régulation de niveau la consigne en %, le sens d'action et la valeur centrale théorique ?

6- Pour la régulation de niveau, le sens d'action, la consigne et la valeur centrale ont été correctement réglés, la loi de commande est simplement proportionnelle avec un gain du régulateur de 1. Le régulateur est en automatique. La régulation stabilise le niveau à 65 cm. Le débit vaporisé est à sa valeur nominale (700 L/h) par contre le débit de liquide descendant dans la colonne ne l'est pas ? Quelle valeur de ce débit liquide conduit à la stabilisation observée ?

7- Pour la boucle de régulation de niveau (LC), la réponse de la grandeur réglée en boucle ouverte a été représentée sur la figure 2. On désigne par  $y(t)$  et  $u(t)$  respectivement la mesure de la grandeur réglée et de la commande en % (Figure 1). Déterminer graphiquement les paramètres  $K$ ,  $\tau$  et  $T$  de la fonction

de transfert réglante 
$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ts}}{(1+Ts)}$$
 . En déduire le mode idéal de

régulation et les paramètres du régulateur. Quel est le temps de réponse à 5% en boucle ouverte, noté  $t_{5\%(BO)}$  .

8- L'analyse des performances de la régulation LRC programmée (après introduction des paramètres du régulateur on crée un échelon de 10% de la consigne) donne l'évolution des figures 3 et 4. Quelles sont les valeurs des critères de performances ? De combien a-t-on accéléré le niveau en boucle fermée ? (Accélération =  $t_{5\%(BO)} / t_{5\%(BF)}$ )

9- Sachant que la fonction de transfert perturbatrice est (Figure 5)

$H_2(s) = \frac{K_2}{(1+T_2s)}$  et le régulateur LRC est un PI série. Pour connaître la précision

statique de la boucle, on applique un échelon d'amplitude (a) sur la perturbation R (débit vers bouilleur). Déterminer l'erreur de position ou valeur finale de  $e(t) = (y_c(t)-y(t))$  lorsque  $t \rightarrow \infty$ . Le résultat était-il prévisible ? Interpréter ?

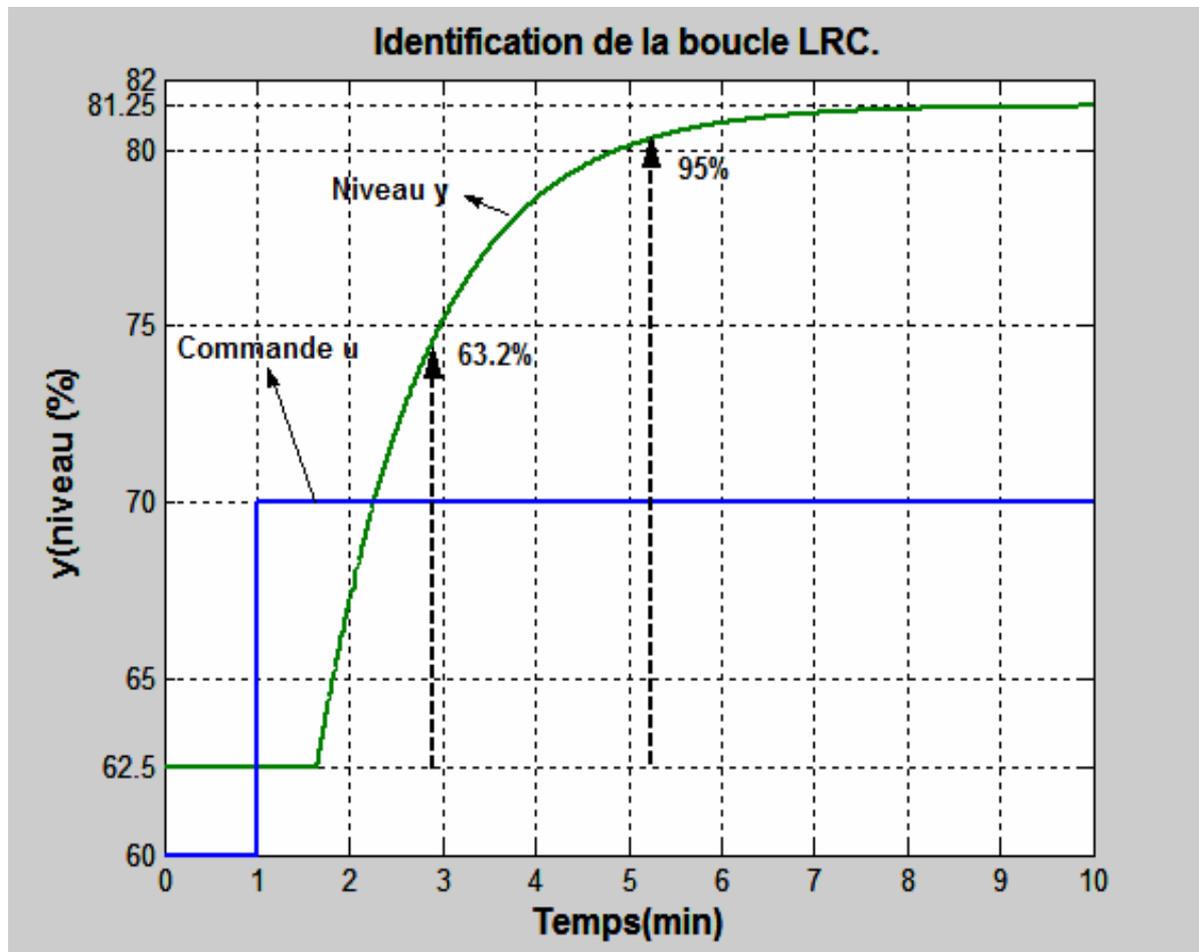


Figure 2 : Réponse du niveau Pied colonne suite à un échelon de commande u

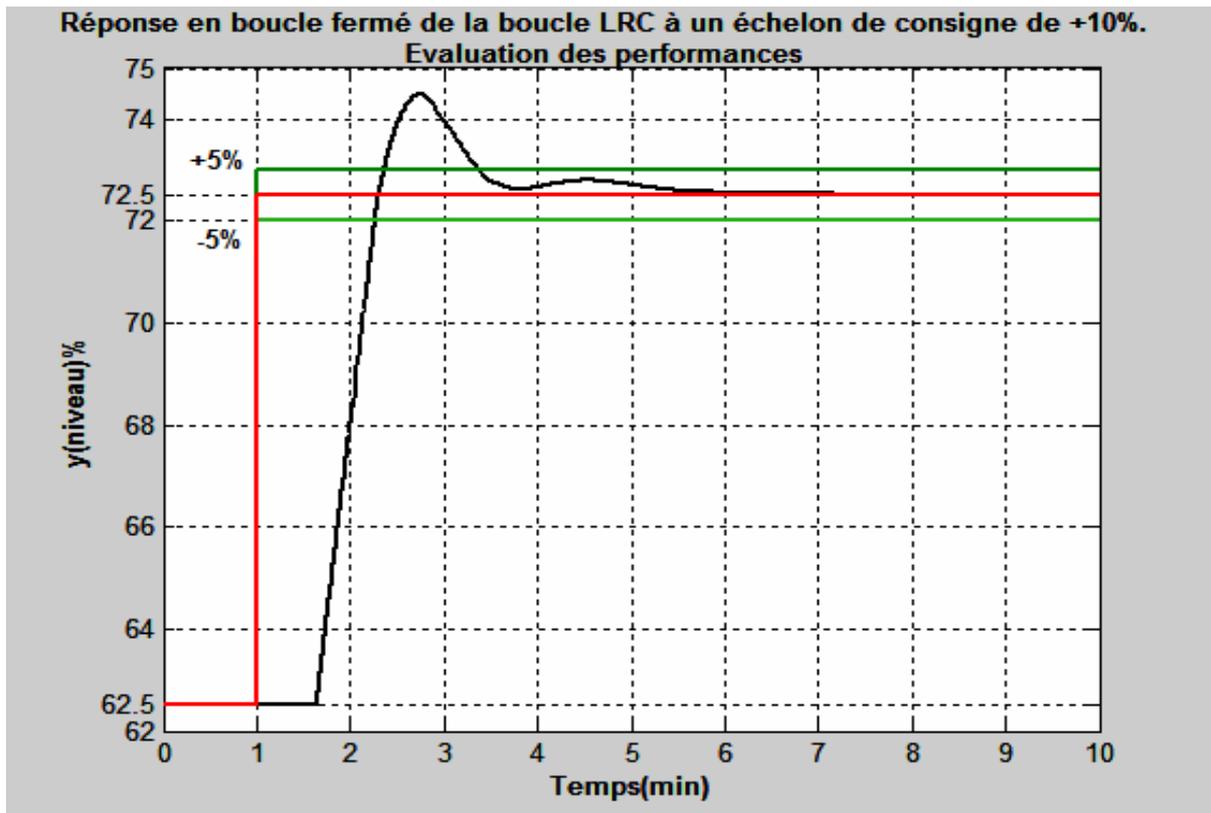


Figure 3 : Réponse du niveau Pied colonne suite à un échelon de commande  $u$

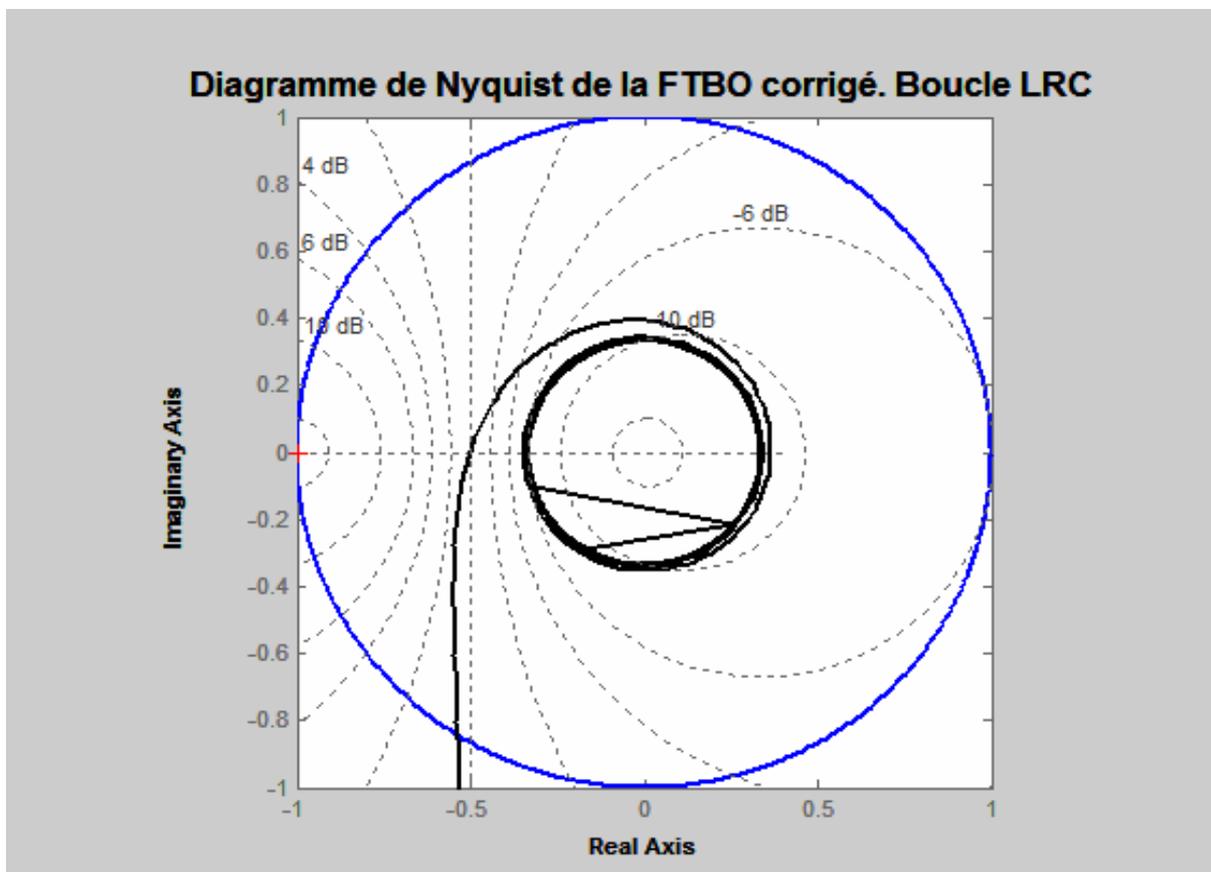


Figure 4 : FTBO(j $\omega$ ) corrigé de la boucle LRC.

Perturbations :

- $L(s)$  : débit de liquide descendant dans la colonne
- $R(s)$  : débit de liquide vers bouilleur

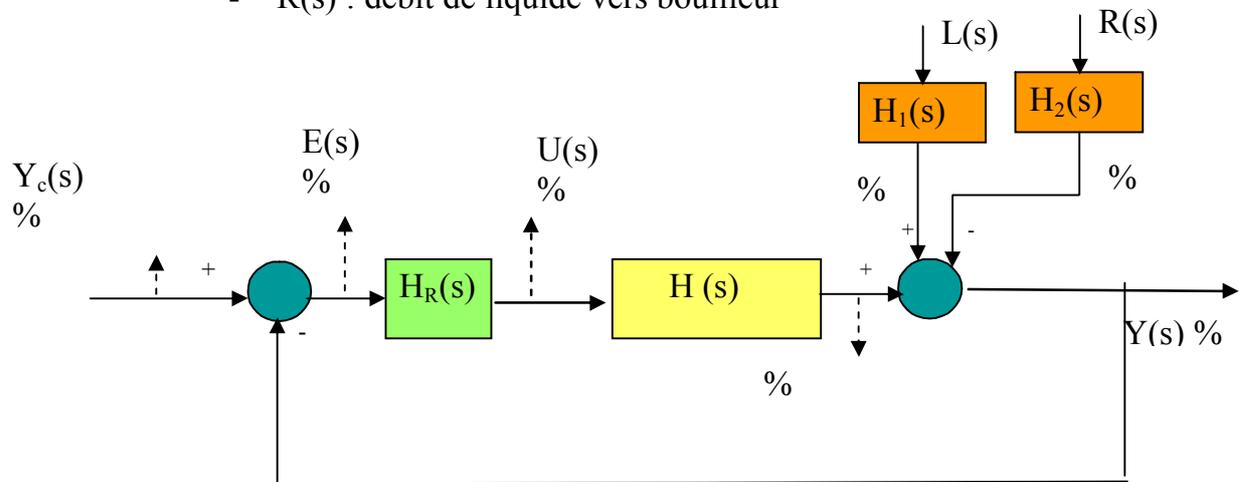


Figure 5 : Schéma fonctionnel de la boucle de régulation LRC

**III-Automatisme : Grafset d'un procédé de remplissage :**

La figure 6 présente un procédé de remplissage de deux cuves 1 et 2. LSH1, LSH2 et LSL1, LSL2 sont respectivement des détecteurs de seuil haut et bas de niveau dans les deux cuves. Ces détecteurs sont tous normalement ouverts c'est-à-dire :  $LSL1 = LSL2 = 0$  tant que le niveau du liquide est supérieur au niveau bas et  $LSH1 = LSH2 = 0$  tant que le niveau du liquide est inférieur au niveau haut. Chacune des deux cuves est considérée comme vide quand le niveau du liquide est inférieur au niveau bas et comme rempli quand le niveau du liquide est supérieur au seuil haut.

Pour démarrer l'opération de remplissage, on appuie sur le bouton poussoir  $m$  ( $m = 1$ ), les deux cuves se remplissent par ouverture des vannes LV11 et LV21. Quand une cuve est remplie, par exemple la cuve 1, on stoppe son remplissage en fermant la vanne LV11 et on ouvre la vanne LV12 pour le vidanger jusqu'au niveau bas détecté par le capteur LSL1 puis on ferme la vanne LV12. L'opération de remplissage ne peut-être recommencée que si les deux cuves sont vides et le bouton poussoir  $m$  est pressé. Toutes les vannes sont NF.

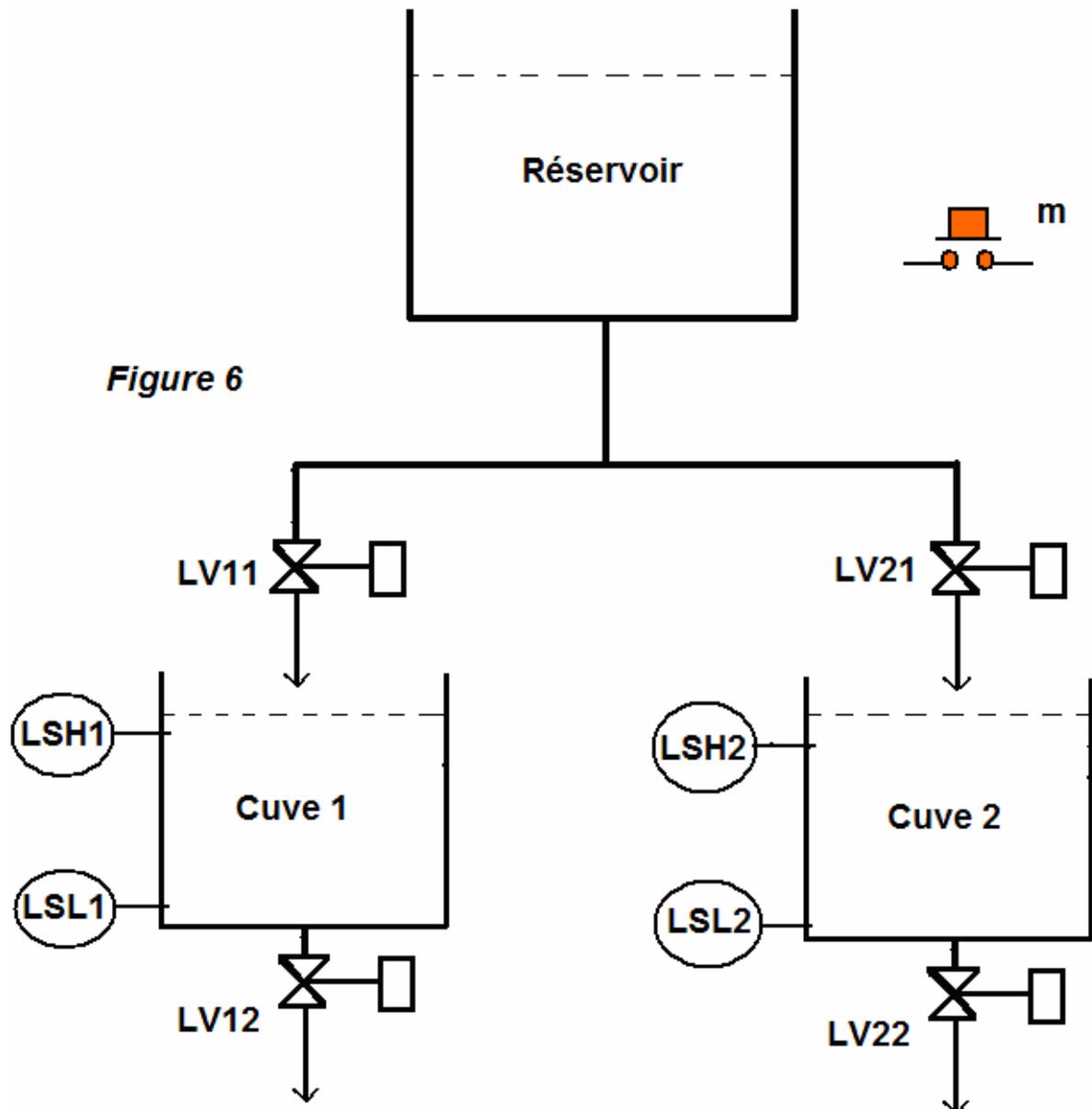


Figure 6

**Bonne chance et meilleurs voeux**