

# BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

## U41 - Instrumentation et régulation

*Durée : 3 heures*

*Coefficient : 4*

***L'utilisation d'une calculatrice réglementaire est autorisée.***

**Note :** Toutes les parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément, il est cependant recommandé de les traiter dans l'ordre naturel après avoir lu l'intégralité du sujet.

**Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12**

<p><b>Les annexes 3, 4, 5 et 6 (pages 9 à 12) sont à rendre agrafées avec la copie d'examen</b></p>
---

**Les feuilles à rendre seront agrafées à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.**

## UNITÉ D'EXTRACTION LIQUIDE – LIQUIDE

Une unité d'extraction liquide-liquide est destinée à récupérer un soluté  $S$  dissous dans un solvant organique.

Pour cela, la phase organique ( $\Phi_O$ ), constituée du solvant organique et du soluté  $S$  est introduite en continu au bas d'une colonne d'extraction. Simultanément, la phase aqueuse ( $\Phi_A$ ), constituée d'une solution d'acide nitrique ( $HNO_3$ ) à  $3 \text{ mol.L}^{-1}$  dans l'eau, est introduite en continu en partie haute de la colonne d'extraction.

La masse volumique de la phase organique étant plus faible que celle de la phase aqueuse, il se produit un phénomène de migration dans la colonne : la phase organique monte, alors que la phase aqueuse descend.

Les deux solutions étant non miscibles, il se forme une émulsion de phase organique dans la phase aqueuse.

Cette émulsion permet un contact intime entre les deux phases, et le passage de la majorité du soluté  $S$  dans la phase aqueuse.

Le schéma de l'installation est donné en *Annexe 1, page 7/12*.

La formation de l'émulsion est favorisée :

- par la présence de plateaux perforés disposés horizontalement et régulièrement dans la colonne.
- par des à-coups de pression appliqués au moyen de la jambe de pulsation. Toutes les 2 minutes la vanne de pulsation  $V1$  s'ouvre pendant 3 secondes, tandis que l'évent (vanne  $V2$ ) se ferme, ce qui provoque un effet d'agitation.

L'extrait (phase aqueuse ayant dissous la majeure partie du soluté  $S$ ) est soutiré en pied de colonne, tandis que le raffinat (phase organique débarrassée de la majeure partie du soluté) est recueilli par débordement en haut de l'installation.

<b>INSTRUMENTATION</b>
------------------------

**I – MESURE DE LA TEMPÉRATURE** (3 pts)

La température de la phase aqueuse en entrée d'installation est contrôlée. Elle doit varier entre 15 et 30 °C.

Pour cela une sonde de température (TE1) est installée sur la canalisation.

Il s'agit d'une sonde de platine Pt100  $\Omega$ , normalisée.

Cette sonde a une résistance de 100  $\Omega$  à 0 °C et 138,5  $\Omega$  à 100 °C. Sa réponse est considérée comme linéaire entre 0 et 100 °C.

**I – a –** Déterminer la sensibilité (en  $\Omega \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) de la sonde Pt 100  $\Omega$  dans l'intervalle 0 à 100 °C.

**I – b –** La sonde Pt 100  $\Omega$  est reliée à un transmetteur (TT1). Ce transmetteur doit délivrer un signal standard 4 à 20 mA pour des variations de température comprises entre 10 et 50 °C.

Déterminer (en ohms) les valeurs d'étendue de mesure et de décalage de zéro à appliquer sur le transmetteur TT1.

**I – c –** La sonde Pt 100  $\Omega$  est reliée au transmetteur au moyen d'un montage "3 fils". Expliquer l'intérêt de ce type de câblage.

**II – MESURES DES MASSES VOLUMIQUES ET DU NIVEAU D'INTERFACE** (5 pts)

Deux paramètres importants pour le suivi de l'installation sont la mesure de la masse volumique  $\rho_O$  de la phase organique et le niveau d'interface entre les deux liquides, en haut de colonne.

On suppose qu'une agitation modérée permet le maintien d'une interface stable.

Pour cela, des cannes de bullage sont disposées au sommet de l'installation, comme représenté sur la figure, en ANNEXE 2.

De l'air est insufflé par chacune des 4 cannes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  et  $C_4$ , situées respectivement aux cotes  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  et  $Z_4$ .

Les cannes  $C_1$  et  $C_2$  servent à la mesure de la masse volumique  $\rho_O$  de la phase organique, en comparant la pression d'air  $P_1$  (dans la canne  $C_1$ ) à la pression d'air  $P_2$  (canne  $P_2$ ).

De la même manière, les cannes  $C_2$  et  $C_3$  permettent la mesure du niveau d'interface.

Les cannes  $C_3$  et  $C_4$  quant à elles, assurent la mesure de la masse volumique  $\rho_A$  de la phase aqueuse.

**II – a –** Quel type de transmetteur est généralement utilisé pour effectuer la comparaison des différentes pressions ?

**II – b –** En utilisant la relation fondamentale de l'hydrostatique, expliquer pourquoi il est nécessaire de connaître les masses volumiques  $\rho_O$  et  $\rho_A$  des deux liquides, pour déterminer le niveau d'interface.

## CAE4IR

II – c – Lors d'une vérification, on relève les valeurs de pressions relatives suivantes au niveau des cannes de bullage :

- canne C<sub>1</sub> : P<sub>1</sub> = 27 mbar
- canne C<sub>2</sub> : P<sub>2</sub> = 54 mbar
- canne C<sub>3</sub> : P<sub>3</sub> = 116 mbar
- canne C<sub>4</sub> : P<sub>4</sub> = 149 mbar

A partir des valeurs de pressions, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> et P<sub>4</sub>, calculer les masses volumiques  $\rho_O$  et  $\rho_A$  des deux liquides.

*Remarque : pour les calculs on prendra les valeurs numériques suivantes :*

- Pression atmosphérique : 100 000 Pa ou 1 bar absolu
- Accélération de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

### III – ANALYSE PAR SPECTROMÉTRIE INFRAROUGE (4 pts)

Afin d'assurer un suivi de la production, on a installé un analyseur en ligne : un spectromètre à absorption de rayonnement infrarouge. Cet analyseur permet de mesurer en continu la concentration en soluté du raffinat.

Pour cela, une faible partie du raffinat est prélevée dans la canalisation principale et envoyée dans la cellule du spectromètre.

Une fois analysé, l'échantillon retourne dans la canalisation principale.

*On rappelle que la loi physique utilisée dans un spectromètre à absorption infrarouge est la loi dite de "Beer – Lambert" :*

$$I_T = I_O \cdot e^{-\alpha \cdot L \cdot C}$$

avec :

- $I_O$  = intensité du rayonnement infrarouge incident
- $I_T$  = intensité du rayonnement infrarouge transmis
- $\alpha$  = coefficient d'absorption du composé analysé, à la longueur d'onde considérée
- $L$  = épaisseur de l'échantillon traversé par le rayonnement infrarouge
- $C$  = concentration molaire de l'échantillon en composé analysé

III – a – Pour étalonner le spectromètre, on l'isole du procédé.

- On introduit du solvant organique pur ( $C_0 = 0$ ) dans la cellule du spectromètre et on relève le signal de mesure, proportionnel à l'intensité  $I_0$  du rayonnement. Cette valeur correspond 92 % de l'étendue de mesure de l'analyseur.
- On renouvelle l'opération en plaçant dans la cellule, un échantillon de solvant organique contenant du soluté  $S$  à la concentration  $C_A$  de  $3,2 \text{ mol.L}^{-1}$ . Le signal de mesure, proportionnel à  $I_T$  est alors de 26 % de l'étendue de mesure.

Expliquer l'intérêt de ces deux mesures pour l'étalonnage du spectromètre à absorption infrarouge.

III – b – Le spectromètre ayant été remonté sur le procédé et remis en service, on fait circuler à nouveau le raffinat dans la cellule de l'appareil. Le signal de mesure issu du spectromètre est alors de 84 % de l'étendue de mesure.

Calculer la concentration molaire ( $C_i$ ) du raffinat, en soluté  $S$ .

RÉGULATION
------------

**IV – ANALYSE DE COURBES** (5 pts)

La température de la phase aqueuse étant un paramètre important pour l'efficacité de l'extraction liquide-liquide, on se propose d'installer une régulation de température afin d'alimenter la colonne pulsée en phase aqueuse à une température constante (le dispositif de chauffe n'est pas représenté sur le schéma *Annexe 1*). Le procédé a été identifié suivant la méthode de Broïda et son modèle s'écrit :

$$H(p) = \frac{K \cdot e^{-Tp}}{1 + \tau p}$$

K = gain statique

T = retard pur non fictif lié au transfert de matière

$\tau$  = constante de temps

Le correcteur de fonction de transfert C(p) choisi est de structure PID. Plusieurs essais avec différents modes de réglage ont été effectués en simulation et les résultats sont représentés par les courbes des *ANNEXES 3* et *4*.

**IV – 1 – Fonction de transfert en boucle ouverte**

L'*ANNEXE 3* comporte les tracés de la fonction de transfert en boucle ouverte :  $C(j\omega) \cdot H(j\omega)$ , dans le plan de Black. Ils ont été obtenus pour trois modes de réglage : avec l'action P seule, avec les actions P et I et avec les trois actions PID.

**IV – 1 – a** – Indiquer à quel mode de réglage correspond chaque courbe. Justifier la réponse en indiquant clairement les influences de chaque action sur l'allure des courbes.

**IV – 1 – b** – Représenter sur l'*ANNEXE 3 à remettre avec la copie* la marge de phase et la marge de gain correspondant à la courbe n° 3. Donner les valeurs respectives de ces marges.

**IV – 2 – Réponses temporelles en boucle fermée**

Grâce à la simulation, on a pu obtenir les réponses temporelles à un échelon de consigne de 10 % en fonction des trois réglages définis à la question précédente. (*Voir ANNEXE 4*)

Indiquer pour chaque courbe les actions du régulateur mises en œuvre. Argumenter la réponse en expliquant l'influence de chaque action sur la réponse.

## V – ÉTUDE D'UNE RÉGULATION DE DÉBIT (3 pts)

Pour alimenter la colonne d'extraction à débit constant en phase aqueuse, on utilise un générateur de débit à orifice noyé (voir *Annexe 5*). Cet appareil est principalement utilisé pour le transport de fluides très dangereux car il présente l'avantage de ne présenter aucune pièce mécanique en mouvement, ce qui résout avantageusement les problèmes de maintenance. Le principe consiste à créer une dépression dans le générateur de débit de manière à faire monter le liquide dans la chambre 2. Le liquide passe à travers un orifice de diamètre calibré et s'écoule par gravité dans une cuve de réception via le déversoir et le pot d'amorçage. Les cannes de bullage  $C_1$  et  $C_2$  servent à la mesure des pressions  $P_1$  et  $P_2$ . Le transmetteur de pression différentielle fournit un signal proportionnel à la  $\Delta P$ . ( $\Delta P = P_2 - P_1$ ). On montre que le débit dépend de la différence de pression suivant la formule suivante :  $Q = \alpha \sqrt{\Delta P}$ .

La régulation qui commande la vanne placée sur le circuit de vide permettra de régler une dépression et donc un débit entre 0 et  $500 \text{ L.h}^{-1}$ , ce qui correspond au dimensionnement de ce générateur de débit.

### V – 1 – Schéma TI

- V – 1 – a – Sachant que la vanne de réglage située sur le réseau de vide est normalement fermée, indiquer le sens d'action du régulateur de débit.
- V – 1 – b – Compléter le schéma TI de l'*ANNEXE 5* (à rendre avec la copie) sachant que l'on désire une mesure proportionnelle au débit.

### V – 2 – Paramétrage du régulateur de débit

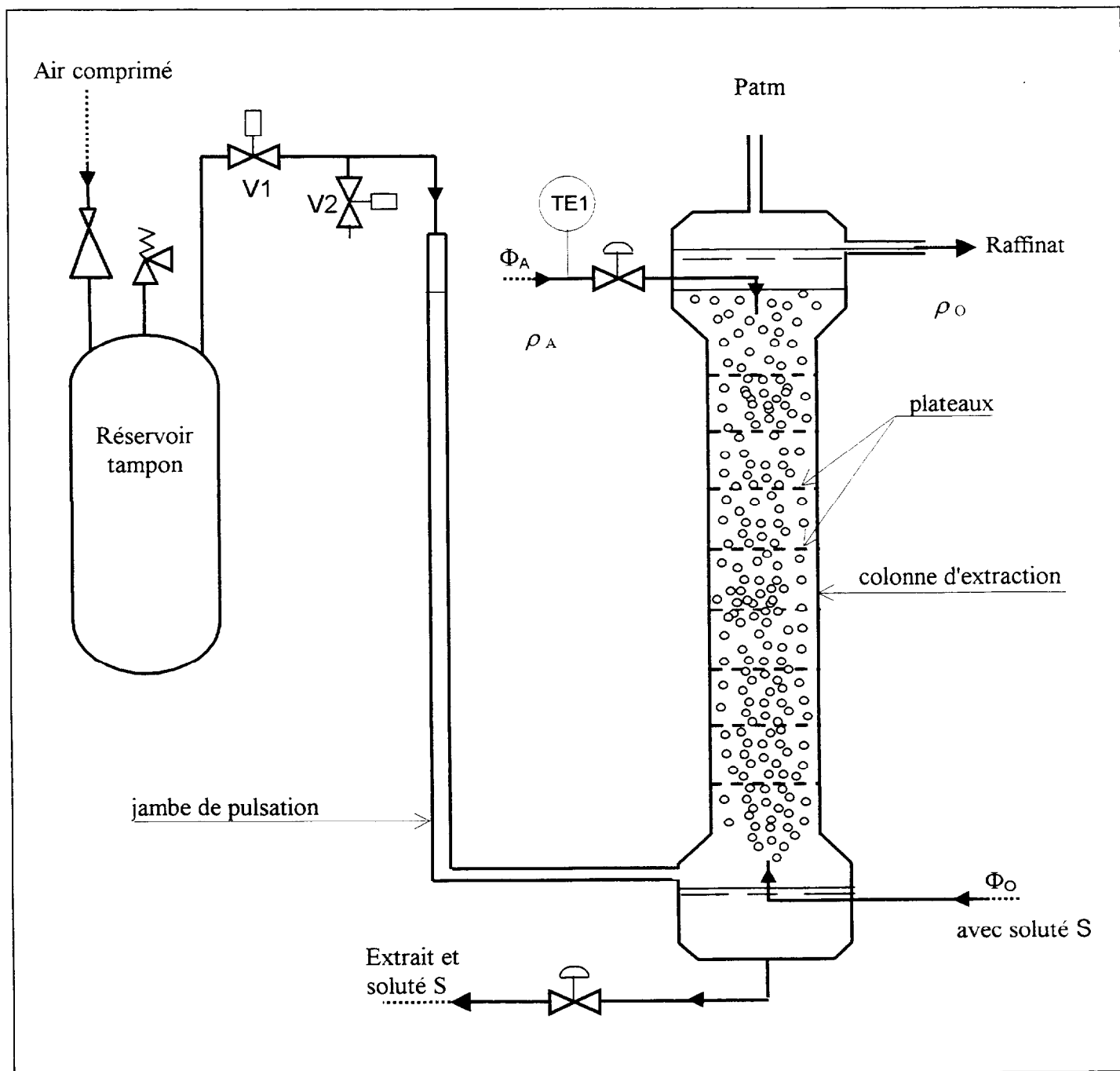
La caractéristique statique de ce générateur de débit présentée à l'*ANNEXE 6* présente une zone dite d'amorçage ( $y_r < 30 \%$ ) et une zone dite d'engorgement ( $y_r > 70 \%$ ). La conduite normale du procédé impose que la consigne de débit soit à 85 %. On choisira le modèle de Broïda dont la constante de temps  $\tau$  aura été identifiée à 45 s et le retard pur  $T$  à 15 s. La

fonction de transfert retenue s'écrira donc :  $H(p) = \frac{M_o(p)}{Y_r(p)} = \frac{K e^{-Tp}}{1 + \tau p}$

$M_o(p)$  est la mesure de débit linéarisée et  $Y_r(p)$  la commande.

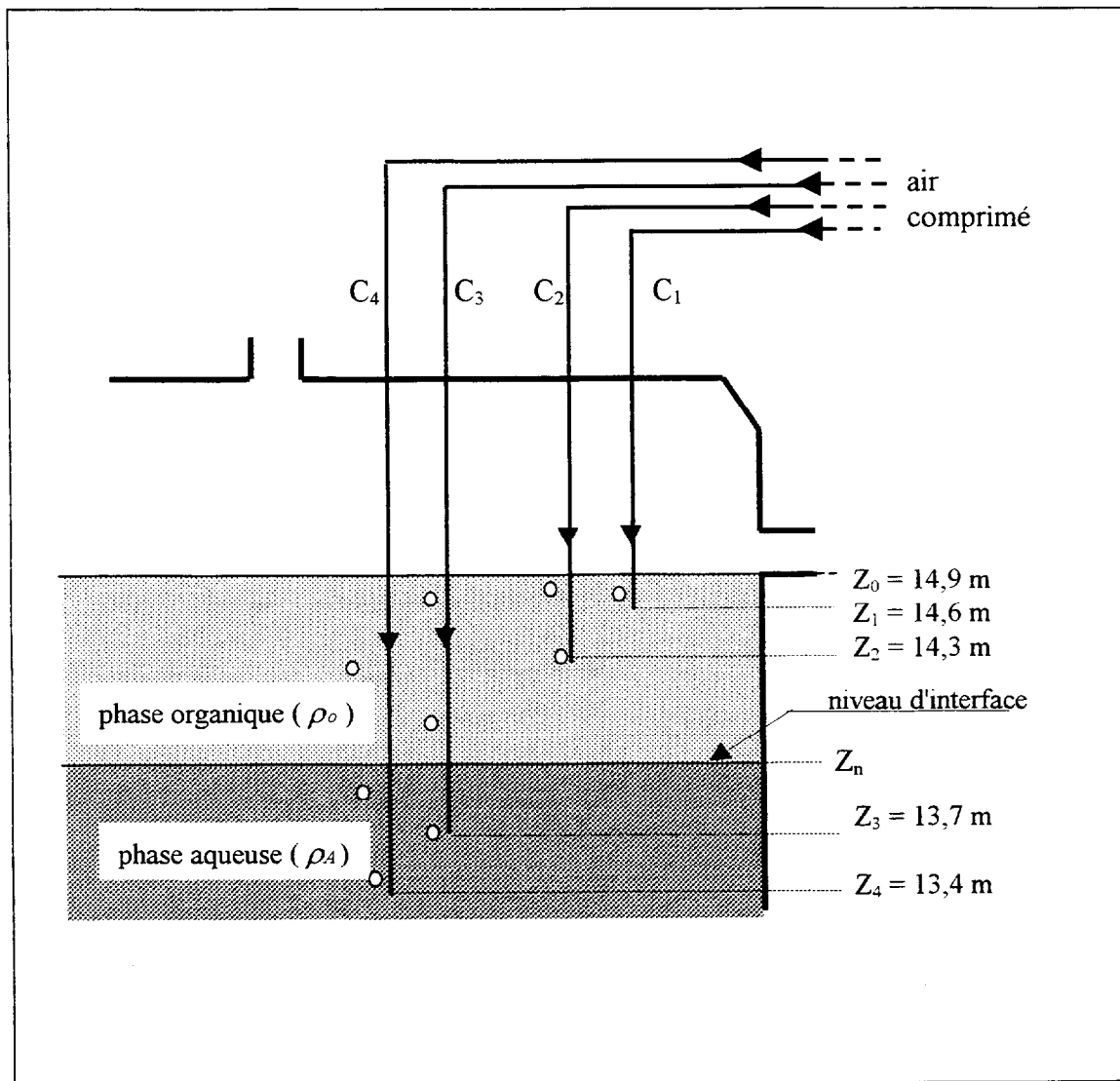
- V – 2 – a – Calculer le gain statique au point A.
- V – 2 – b – On adopte un réglage PID permettant d'obtenir une marge de gain de 6 dB. A partir de la caractéristique statique du générateur de débit et en raisonnant dans le plan de Black, montrer que le système devient instable si la consigne passe de 85 % (point A) à 60 % (point B).  
Quelle solution peut-on envisager pour éviter cette instabilité ?

ANNEXE 1 : SCHÉMA DE L'INSTALLATION



$\rho_A > \rho_0$

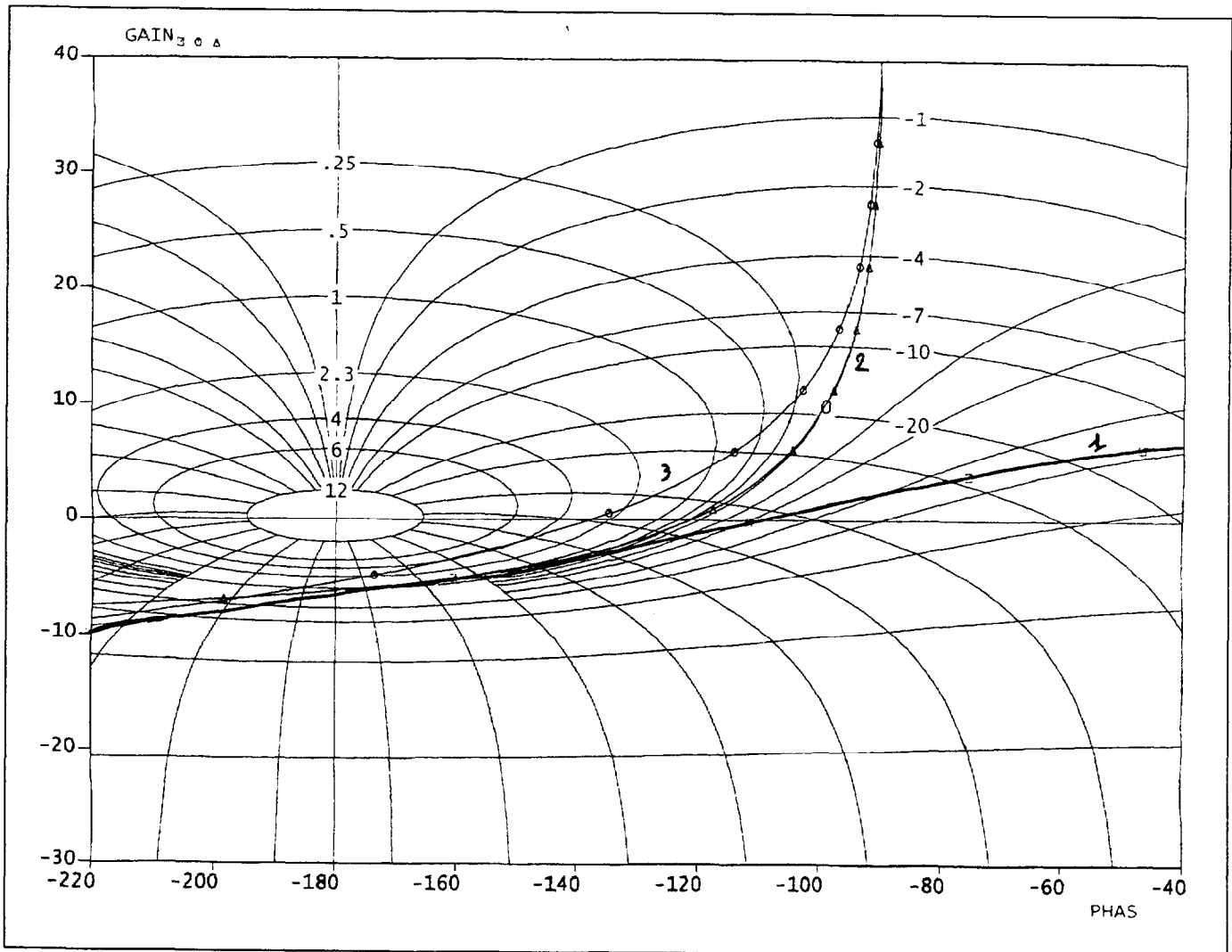
**ANNEXE 2 : IMPLANTATION DES CANNES DE BULLAGE**





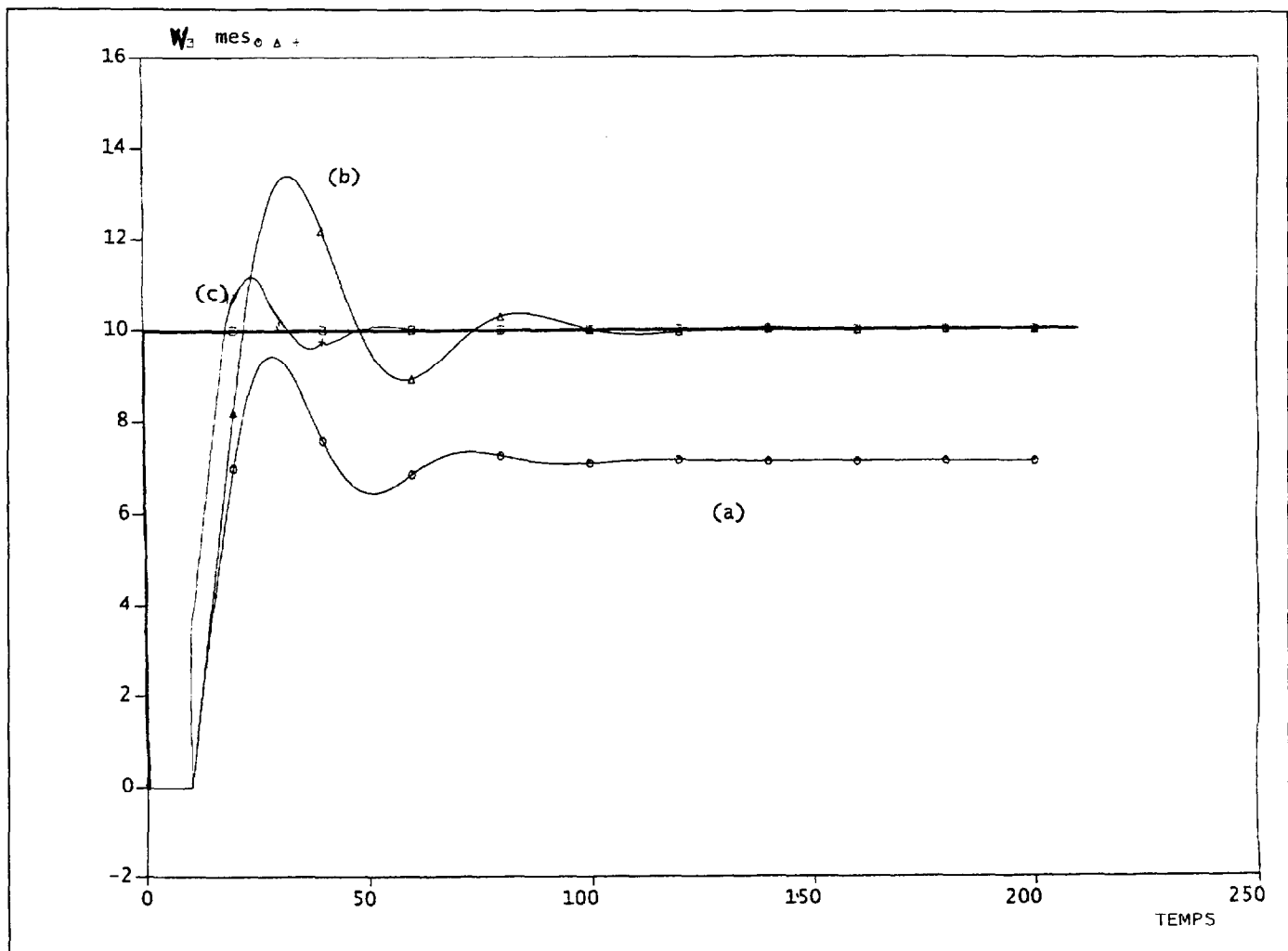
ANNEXE 3

Document à remettre avec la copie



ANNEXE 4

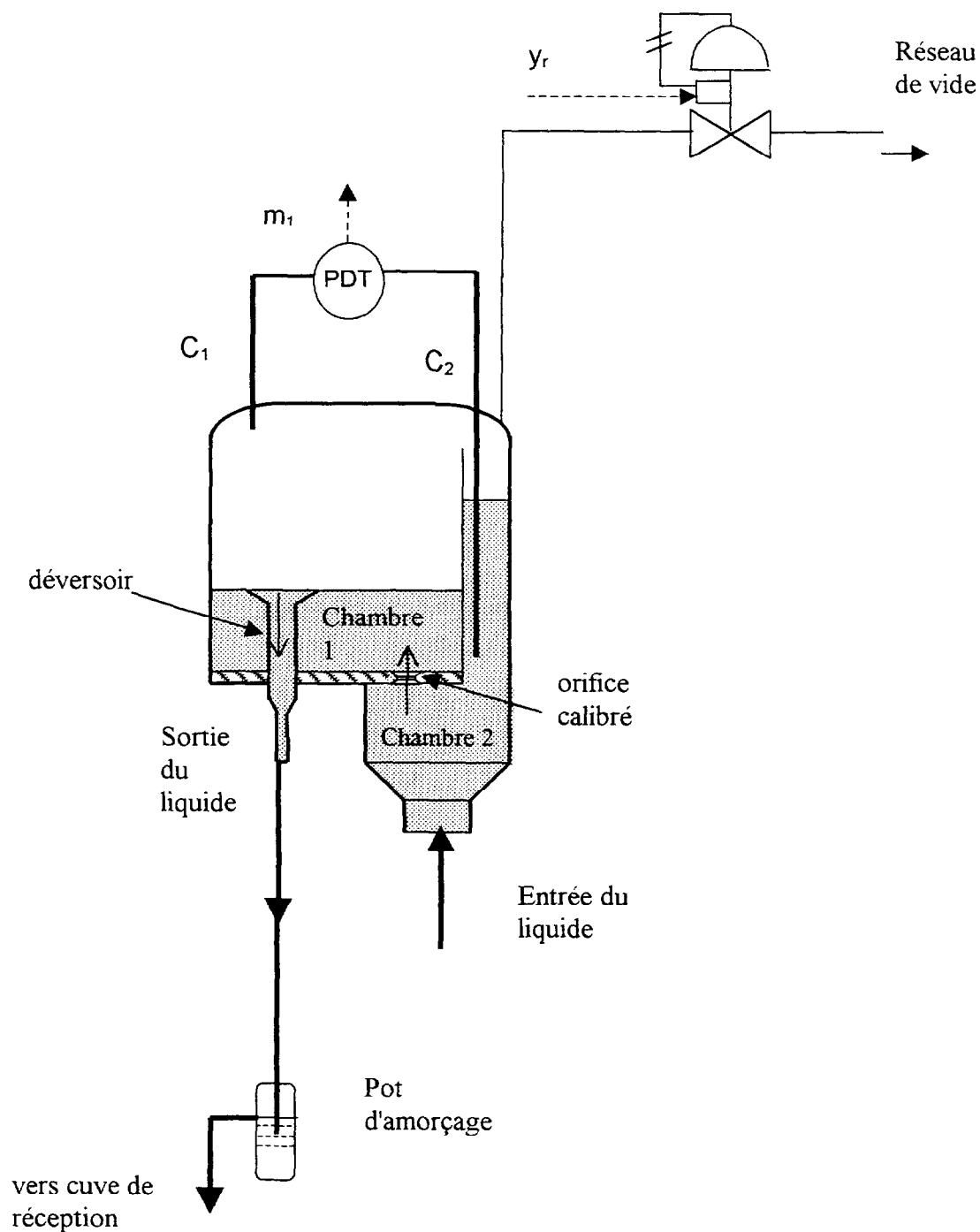
Document à remettre avec la copie



ANNEXE 5

Document réponse à remettre avec la copie

Schéma d'installation du générateur de débit



ANNEXE 6Document à remettre avec la copie

Caractéristique statique idéalisée  
du générateur de débit

