

**AUTOMATIQUE**  
**ANALYSE ET COMMANDE DES SYSTÈMES LINÉAIRES CONTINUS**  
(Notes de cours et TD autorisées)

On désire effectuer la régulation de la température de sortie du fluide froid d'un échangeur par action sur le débit du fluide chaud passant dans ce même échangeur (Cf. Figure 1).

Pour identifier la relation entre la température de sortie du fluide froid ( $T_s$ ) et le débit du fluide chaud ( $Q_c$ ), on a appliqué à l'instant  $t = 0$  un échelon d'amplitude positive de  $2 m^3/h$  sur le débit et l'évolution de la température a été enregistrée. Sur la Figure 2, l'ordonnée représente la variation de température en  $^{\circ}C$  ( $T_s^*$ ) par rapport au point de fonctionnement.

Toutes les constantes de temps et tous les retards seront exprimés en minute.

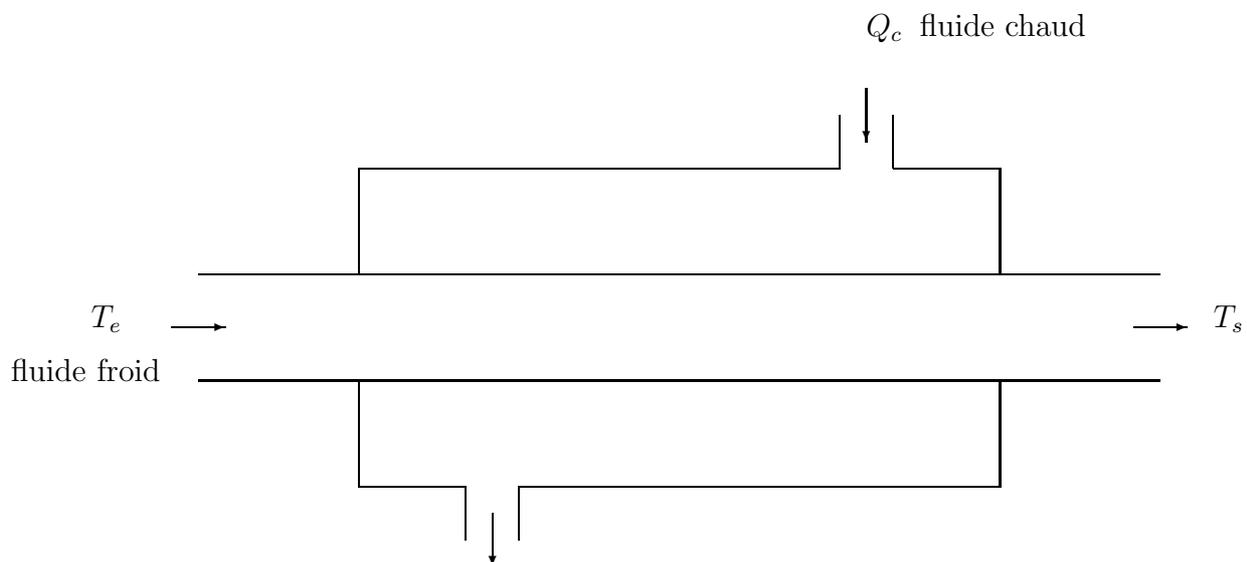


FIG. 1 – Schéma simplifié d'un échangeur

- 1) Identifier la fonction de transfert (supposée du premier ordre) reliant les variations de la température de sortie du fluide froid aux variations du débit de fluide chaud (on la notera  $H_1(p)$ ).

Le régulateur employé commande une vanne de régulation installée sur le fluide chaud en entrée de l'échangeur. Pour toute la gamme d'utilisation de la vanne, la relation entre le débit et l'intensité issue du régulateur ( $I$  en  $mA$ ) est la suivante :

$$\frac{dQ_c}{dt} + Q_c = \frac{1}{2}I + 5$$

- 2) Déterminer la fonction de transfert de la vanne (on la notera  $H_2(p)$ ).
- 3) Quel sens d'action préconisez-vous pour le régulateur? (Justifier la réponse).

On négligera par la suite la présence de la chaîne de mesure (capteur et transmetteur). On supposera donc que la valeur de la température de sortie du fluide froid est injectée directement dans le régulateur (comparateur). Le régulateur utilisé est de type proportionnel pur (gain  $K_r$ ).

- 4) Représenter le schéma-blocs de l'ensemble.
- 5) Calculer la FTBO du système.
- 6) Calculer la fonction de transfert en boucle fermée liant les variations de la température de sortie du fluide froid aux variations de la consigne.
- 7) Que peut-on dire sur la précision du système vis-à-vis d'une variation de consigne de type échelon?
- 8) En approximant les retards par l'approximation de Padé au 1er ordre

$$e^{-\theta p} = \frac{1 - \frac{\theta}{2}p}{1 + \frac{\theta}{2}p}$$

et en utilisant le critère de ROUTH, calculer le gain limite de stabilité du système.

- 9) Quel est le gain proportionnel qui conduit à une erreur en régime permanent de 25% lors d'une variation de consigne?  
Pour cette valeur du gain, calculer la marge de phase du système. Conclure.
- 10) Calculer la valeur du gain  $K_r$  qui conduit à une marge de phase de  $45^\circ$  (pour répondre à cette question, on pourra s'aider des courbes de la Figure 3).  
Pour cette valeur du gain, calculer la précision statique en boucle fermée suite à une variation de consigne.

La perturbation principale correspond à des variations de la température d'entrée du fluide froid ( $T_e$ ) de l'échangeur. La fonction de transfert entre les températures d'entrée

et de sortie du fluide froid a été déterminée expérimentalement :

$$\frac{T_s^*}{T_e^*} = \frac{e^{-p}}{1+p}$$

- 11) Représenter le schéma-blocs du système en présence de la perturbation.
- 12) Pour  $K_r$  égal à 240 et 400 respectivement, calculer la précision statique du système en boucle fermée suite à une variation brusque de la température d'entrée (perturbation) de  $5^\circ C$ .
- 13) Que proposez-vous pour améliorer les performances du système en boucle fermée?

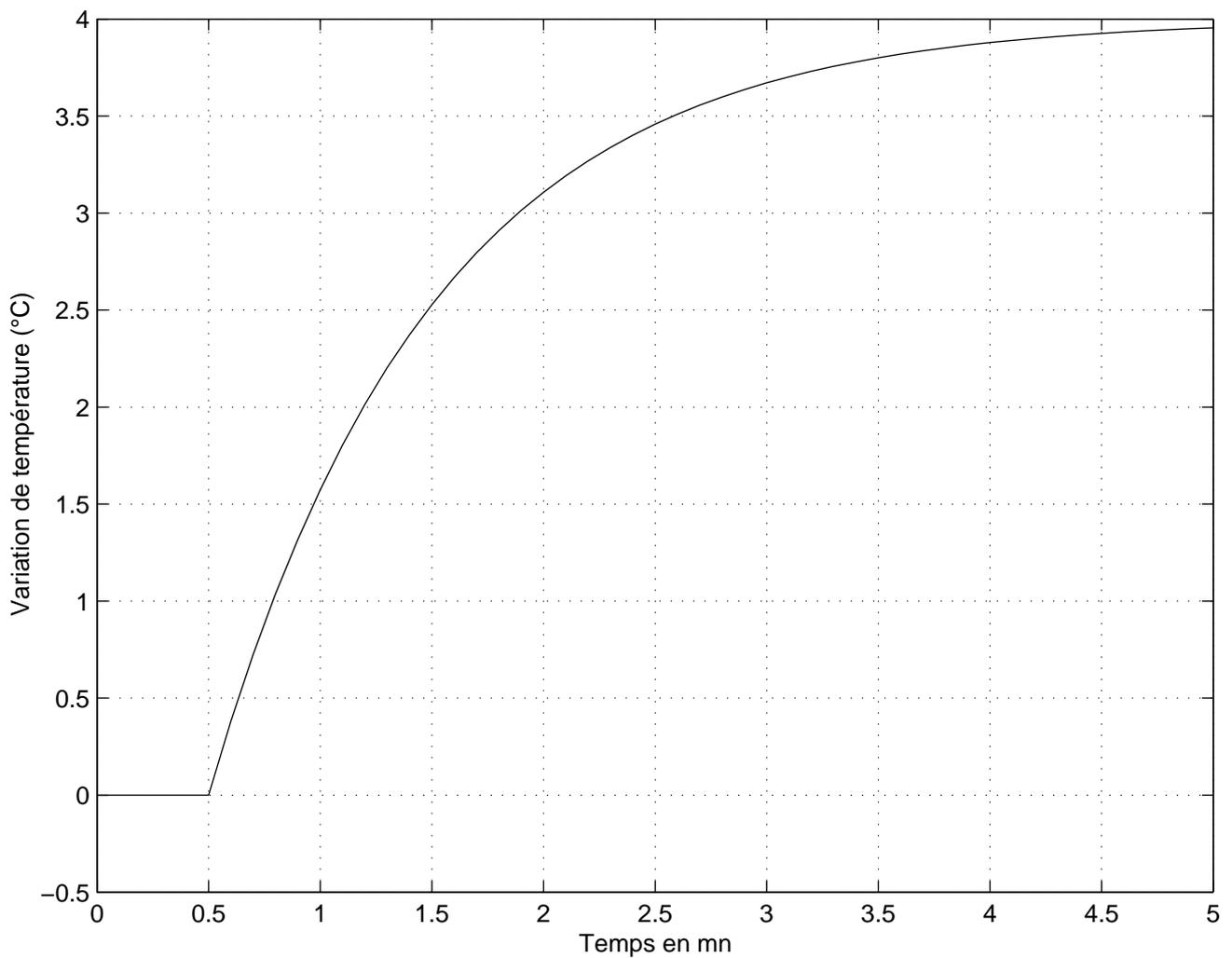


FIG. 2 – Réponse à un échelon de débit

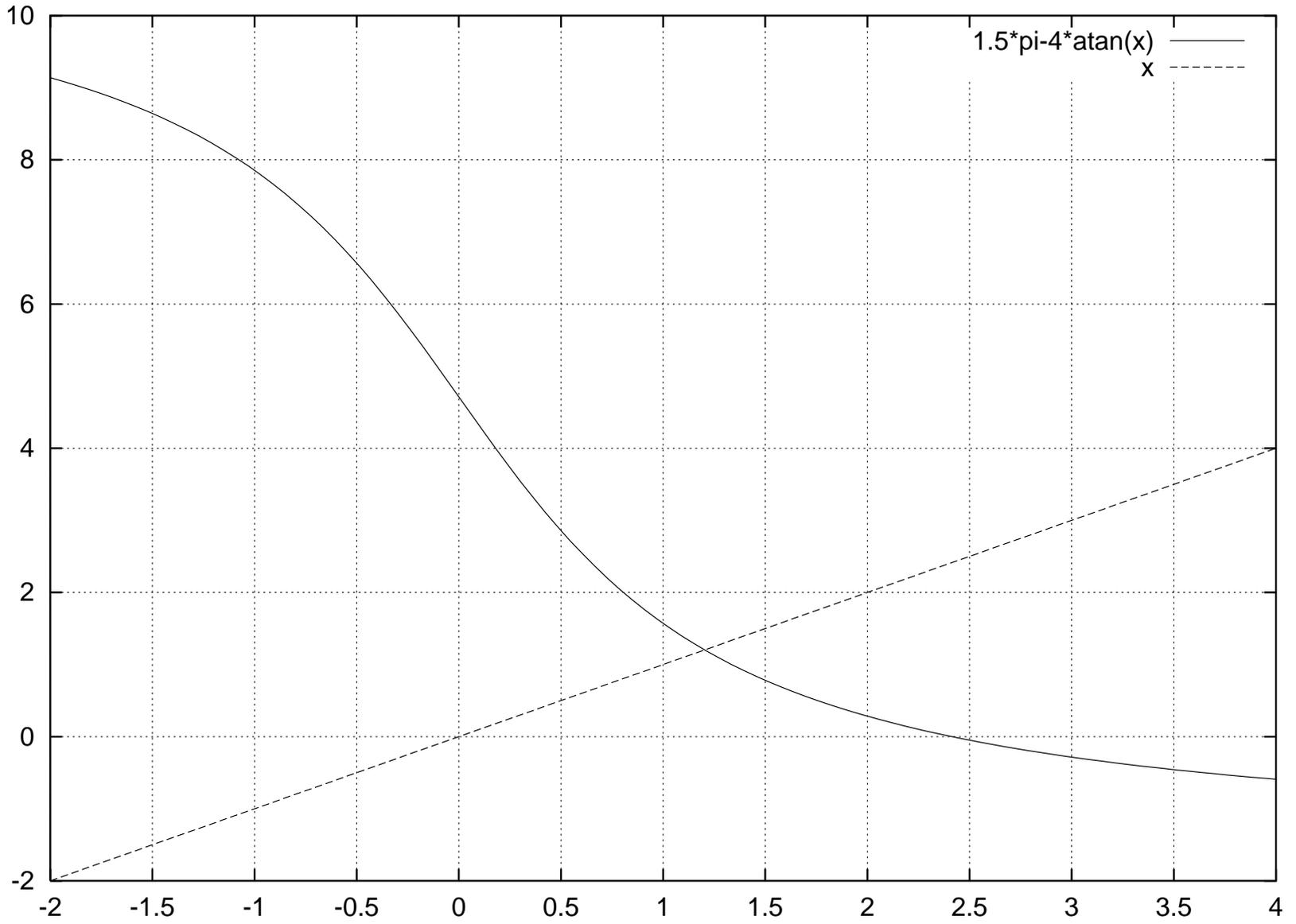


FIG. 3 -