

# BTS C.I.R.A.

## INSTRUMENTATION ET RÉGULATION

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

Le sujet comporte 9 pages dont 2 sont à rendre avec la copie.

Les calculatrices sont autorisées.

Les 3 parties sont largement indépendantes et vérifient l'acquisition des capacités C 12 - C 21 et C 13 du référentiel de l'examen. Néanmoins il est souhaitable de rédiger les réponses dans l'ordre de l'énoncé en respectant les notations de celui-ci.

### Présentation du procédé.

Un oléoduc est alimenté par une batterie de 5 pompes en parallèle. Le système de commande des pompes doit permettre de régler le débit de pétrole brut à l'arrivée.

- L'oléoduc a un diamètre intérieur de 1 067 mm et une longueur totale de 400 km.

- La masse volumique  $\rho$  du pétrole transporté dépend de la pression. Elle est de 845 kg/m<sup>3</sup> sous une pression de 66,3 bar et de 848 kg/m<sup>3</sup> sous une pression de 74,6 bar (1 bar = 10<sup>5</sup> Pascal).

- Les conditions initiales de fonctionnement des pompes en régime stable sont :

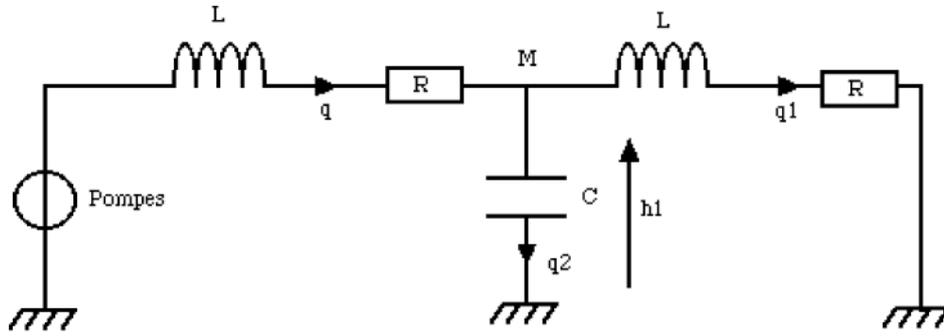
\* pression différentielle de refoulement :  $h = 66,3$  bar (ce qui correspond à une hauteur manométrique de 800 m de pétrole) ;

\* débit total : 0,7 m<sup>3</sup>/s correspondant à 591,5 kg de pétrole par seconde.

On ne tiendra pas compte de l'influence des éventuelles variations de température.

### I. Étude et compréhension du procédé : Modélisation.

Afin d'étudier le procédé, on établit une analogie avec un système électrique. On adopte la modélisation très simplifiée suivante :



- L'intensité du courant électrique correspond au débit massique  $q$  (en kg/s).
- Les différences de potentiel électrique correspondant aux pressions différentielles  $h$  (en Pa).

Ces grandeurs seront les variables étudiées .

- La résistance  $R$  représente la résistance aux frottements visqueux du pétrole dans l'oléoduc.
- L'inductance  $L$  représente l'inertie de la masse du pétrole contenu dans l'oléoduc.
- La capacité  $C$  représente la capacité de l'oléoduc à accumuler une quantité variable de pétrole en raison de sa compressibilité.

Les fonctions de transfert relatives à ces différents éléments sont définies dans le tableau ci-dessous :

Symbole			
Schéma fonctionnel en notation de Laplace			
Relation de définition des coefficients	$R = 2 \times \frac{h}{q} (\text{m}^{-1} \text{s}^{-1})$		
	$h$ = pression différentielle (Pa) $q$ = débit massique (kg/s)	$l$ = longueur (m) $s$ = section ( $\text{m}^2$ )	$\rho$ = masse volumique du fluide ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Remarque : Autour des points de fonctionnement envisagés on prendra la valeur moyenne  $R = 11 \text{ m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### Travail demandé :

On cherche l'allure de la réponse temporelle des débits de départ  $q(t)$  et d'arrivée  $q_1(t)$  de l'installation à un échelon de pression.

### Réponse du débit d'arrivée.

1 - 1 - Calculer les valeurs de L et C dans les conditions initiales de fonctionnement en régime stable. Chaque élément L correspondant à 200 km d'oléoduc. La capacité C correspond aux 400 km d'oléoduc. Justifier la valeur de R adoptée.

1 - 2 - Calculer la fonction de transfert :

$Q_1(p)$  est la transformée de Laplace de  $q_1(t)$ .

$H(p)$  est la transformée de Laplace de  $h(t)$ .

Montrer qu'elle peut s'exprimer sous la forme suivante :

1 - 3 - On réalise un échelon de pression de 66,3 bar (800 m) à 74,6 bar (900 m). Exprimer la réponse temporelle du débit d'arrivée  $q_1(t)$  à cet échelon.

1 - 4 - Représenter graphiquement l'évolution de  $q_1(t)$  sur l'annexe i à rendre avec la copie.

On peut l'assimiler à un système du premier ordre. Déterminer une valeur approchée de sa constante de temps par la méthode des 63 % de la valeur finale.

### Réponse du débit de départ.

1 - 5 - Calculer la fonction de transfert du système complet :

1 - 6 - Montrer que la réponse  $q(t)$  à l'échelon défini à la question 1 - 3 - peut se mettre sous la forme :

1 - 7 - Représenter graphiquement  $q(t)$  sur le même graphique que  $q_1(t)$ .

### Choix de la grandeur réglée.

1 - 8 - On veut pouvoir régler, à partir du "dispatching", le débit d'arrivée  $q_1(t)$  du tronçon en agissant sur la pression de refoulement du groupe de pompes GP1 (par un réglage de la vitesse des pompes) .

1 - 8 - 1- Régulation par un débit :

Quels sont les avantages et les inconvénients d'une prise de mesure sur FT1 ou FT2 ?

1 - 8 - 2 . Régulation par une pression :

Cette solution est finalement adoptée. Justifier ce choix.

## **II . Conception du système de contrôle-commande.**

La station de pompage est constituée de 5 pompes centrifuges à 5 étages dont les caractéristiques sont identiques et données pour information. .

- diamètre des roues : 310 mm ;
- vitesse maximum : 3600 tr/min ;
- débit maximum : 575 m<sup>3</sup>/h ;
- hauteur manométrique :
  - . à vide : 950 m de pétrole ;
  - . en charge : 785 m de pétrole ;
- . puissance : 1,22 MW.

Les moteurs d'entraînement sont des moteurs diesel. On fait varier leur vitesse en modifiant le débit d'injection du fuel.

## Cahier des charges :

1 - Les débits traversant les pompes en service doivent être égaux entre eux quels que soient le nombre de pompes en service et leurs efficacités (même si les caractéristiques des pompes sont identiques, elles devront tourner à des vitesses différentes pour véhiculer un même débit car leurs efficacités ne sont jamais tout à fait égales).

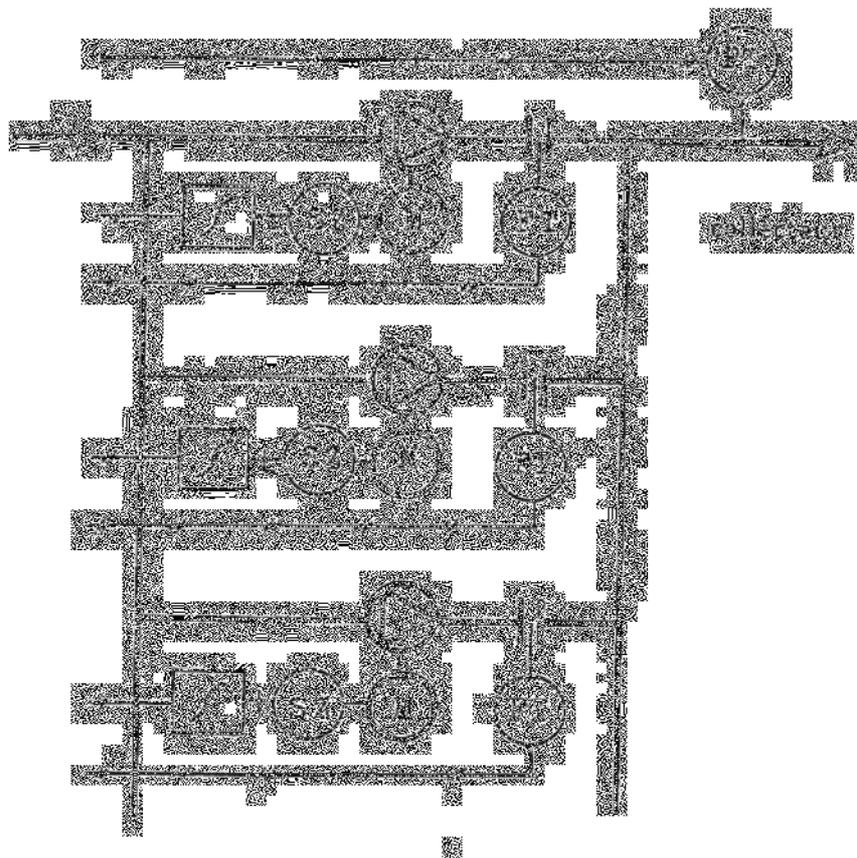
2 - L'arrêt ou la mise en service d'une pompe :

- ne doit pas modifier la pression de sortie du collecteur (sauf pendant un régime transitoire) ;

- doit modifier automatiquement la répartition du débit total entre les pompes en service ;

3 - L'action sur la consigne du régulateur de pression de sortie du collecteur permet de modifier le débit total circulant dans l'oléoduc.

On donne ci-dessous une représentation partielle du schéma de l'installation, reprise sur l'annexe 2 qui sera rendue avec la copie.



## **Travail demandé :**

2 - 1 . Pourquoi place-t-on un intégrateur dans la commande de vitesse des moteurs diesel ?

Que règle-t-on en modifiant la constante de cet intégrateur ?

2 - 2 - Compléter le schéma partiel de régulation figurant sur l'annexe 2 pour qu'il

satisfasse au cahier des charges, en utilisant exclusivement l'instrumentation mise en place ;

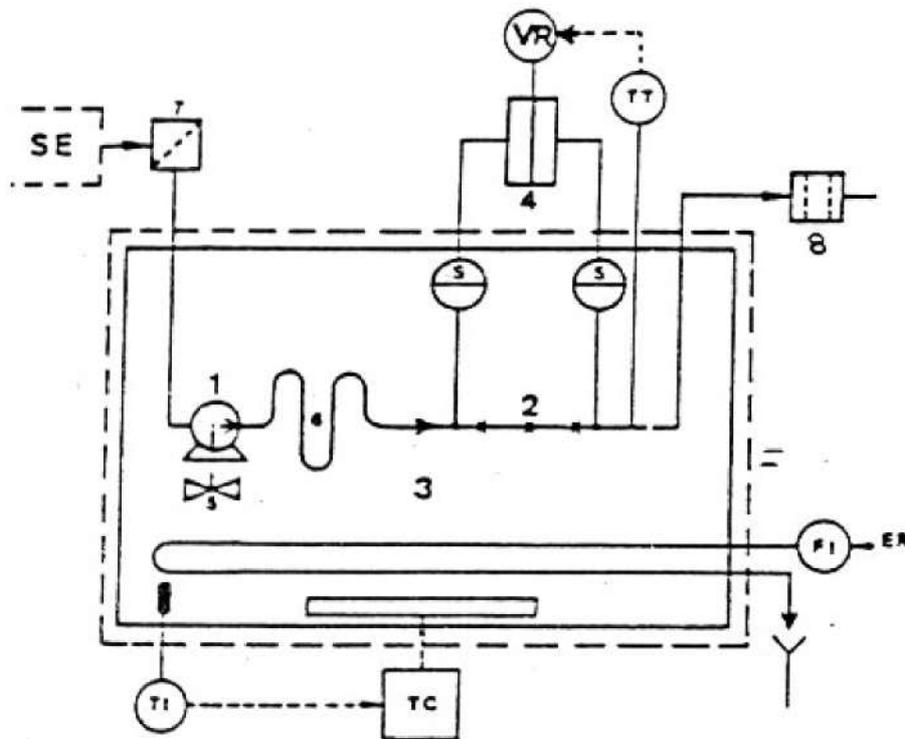
- préciser le type des régulateurs (P, I, PI, PID,...) ;

- expliquer sommairement le fonctionnement et montrer que le schéma satisfait au cahier des charges.

### III . Mesure de viscosité.

On désire mesurer la viscosité cinématique (parfois appelée viscosité relative) du pétrole brut fourni par l'oléoduc précédent.

Un analyseur industriel mesure en continu la viscosité dynamique. Son schéma de principe est le suivant :



1 . Pompe volumétrique	6 . Serpentin d'homogénéisation	S - Séparateur
2 . Tube capillaire	7 - Filtre	FI . Indicateur de débit
3 . Bain thermostaté	8 - Arrête-flamme	TI . Indicateur de température
4 . Transmetteur de $\square P$	SE . Système d'échantillonnage	TC . Régulation de température
5 - Agitateur	VR . Enregistreur de viscosité	ER - Eau de réfrigération
	TT - Transmetteur de température	

#### Principe de fonctionnement :

La mesure de la perte de charge aux extrémités d'un tube capillaire permet de déterminer la viscosité dynamique du liquide qui la traverse à débit constant. On calcule ensuite la viscosité cinématique à partir de cette viscosité dynamique et de la mesure de la masse volumique du liquide effectuée par ailleurs.

3 - 1 - Quelle relation existe-t-il entre la viscosité dynamique  $n$  (en Pl ou  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) et la viscosité cinématique  $\nu$  (en  $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) ?

3 - 2 - La masse volumique  $\rho$  et la viscosité cinématique  $\nu$  d'un fluide dépendent de sa température  $t$ . Pour ce pétrole brut on peut admettre les relations suivantes :

$\nu_t$  = viscosité cinématique à  $t$  °C

$\nu_{100}$  = viscosité cinématique à 100 °C

Le viscosimètre donne, avant correction de température, la viscosité dynamique  $n_t$  à la température  $t$  (voisine de 100 °C). Établir la relation donnant la viscosité cinématique à 100 °C en fonction de  $n_t$  et  $t$  :  $\nu_{100} = f(n_t, t)$ .

3 - 3 - On mesure une viscosité dynamique à une température estimée à 100 °C :

$n_{100} = 9,1 \cdot 10^{-3}$  Pl , Calculer la viscosité cinématique  $\nu_{100}$ .

3 - 4 - En fait la température est  $t = 105$  °C. Calculer les erreurs absolue et relative, qu'entraîne cet écart de température pour la mesure de  $\nu$  si on ne fait pas de correction de température. Conclusion ?

3 - 5 - Le système d'échantillonnage comporte une boucle rapide. Faire un schéma de cette boucle. Expliquer son fonctionnement et son intérêt.

### EXTRAIT DES TABLES DE TRANSFORMÉES LAPLACE

F(p)	f(t)