PSI jeudi, 11avril 2024
2023/2024

Devoirs de révisions n° 3
Calculatrices autorisées

Fluide - Bilans : Centrale TSI 2021
Ecoulement de pétrole dans un oléoduc

L'oléoduc Bakou-Tbilissi-Ceyhan (parfois abrégé en oléoduc BTC), ouvert en 2005, transporte sur 1776 km le pétrole brut du champ pétrolifère d'Azeri-Chirag-Guneshli sur la mer Caspienne jusqu'à la mer Méditerranée (figure 1). Sa longueur est de 440 km en Azerbaïdjan, de 260 km en Géorgie et enfin de 1076 km en Turquie. L'oléoduc tire son nom de la traversée de Bakou, capitale de l'Azerbaïdjan, de Tbilissi, capitale de la Géorgie, et de Ceyhan, port du sud-est de la côte méditerranéenne turque. C'est le deuxième plus long oléoduc du monde après l'oléoduc Droujba qui relie la Russie à l'Europe centrale. Il est parallèle au gazoduc Bakou-TbilissiErzurum

Figure 1 Tracé de l'oléoduc BTC

La construction de l'oléoduc BTC a été l'un des plus importants projets de génie civil du début du XXIe siècle, et certainement un des plus importants jamais conduits dans la partie orientale de l'Asie depuis la chute de l'Union soviétique. Sa construction a nécessité l'assemblage de 150 000 sections de tube de 12 m de long, correspondant à une masse de 594 000 tonnes. Il est prévu pour transporter un million de barils par jour. Son architecture comprend 8 stations de pompage, deux stations intermédiaires de relayage et 101 postes de vannes d'arrêt. Le diamètre du tube est de 1070 mm sur sa plus grande longueur, se réduisant à 865 mm à l'approche de Ceyhan. Le 10 mai 2006, du pétrole fut injecté, côté Bakou, dans l'oléoduc. Il parvint à Ceyhan le 28 mai 2006.

1 baril = 159 L ; Masse volumique du pétrole ρ_p = 800 kg·m^{-3}

A – Préliminaires

Q 1. Calculer le débit volumique Dv (en m^3·s^{-1}) de pétrole prévu dans l'oléoduc BTC.

Q 2. En déduire une estimation de la vitesse moyenne (vitesse débitante) v_m du pétrole dans l'oléoduc.

Q 3. Calculer la vitesse moyenne (débitante) sur une section de conduite du pétrole lors de la première injection. Commenter.

B – Profil de vitesse et débit volumique dans la conduite

On cherche à déterminer, en régime permanent, le profil de vitesse du pétrole dans la conduite, c'est-à-dire la loi $v(r)$ donnant la vitesse v du pétrole à une distance r de l'axe de la conduite (figure 2).

On adopte le modèle suivant :
— la conduite est un cylindre d'axe (Oz) horizontal et de rayon R ;
— l'écoulement est stationnaire et à symétrie de révolution autour de l'axe (Oz) ;
— le pétrole est assimilé à un fluide newtonien de viscosité η.

On rappelle que la force tangentielle de viscosité exercée par un fluide newtonien sur une surface S parallèle à la direction de l'écoulement et située à la distance r de l'axe s'écrit en norme $F_t = \eta S\left|\frac{dv}{dr}\right|$

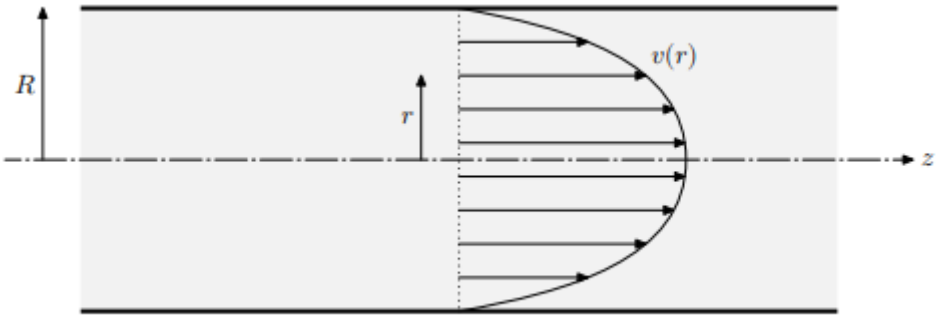

Figure 2 Profil de vitesse dans la conduite

Q 4. Justifier le fait que $v(r = R) = 0$.

On isole à une date donnée une portion cylindrique Σ de pétrole en mouvement, d'axe (Oz), de rayon $r < R$ et de longueur ℓ (figure 3).

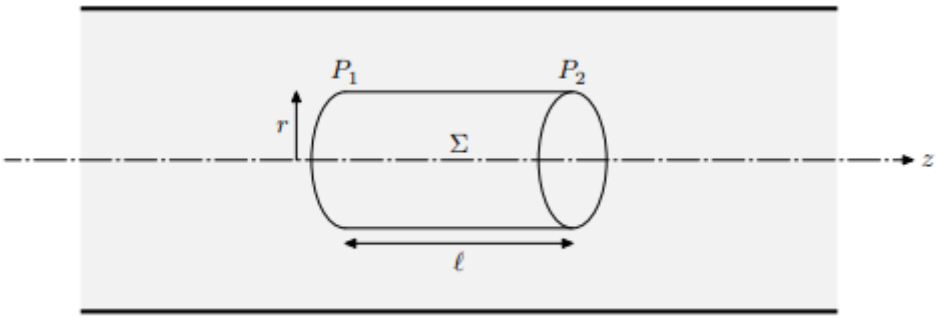

Figure 3 Portion de pétrole dans la conduite

Q 5. Effectuer le bilan des forces horizontales appliquées au système Σ. Exprimer ces forces en fonction des données.

Q 6. Que peut-on dire de la résultante de ces forces ? Justifier la réponse à l'aide d'un bilan de quantité de mouvement En déduire la relation $dv / dr = -Kr$ en exprimant K en fonction de P_1 , P_2 , η et ℓ.

Q 7. Déterminer la loi $v(r)$ en tenant compte des conditions aux limites.

Q 8. Par un calcul intégral, en déduire l'expression du débit volumique Dv . Le mettre sous la forme $P_1 - P_2 = R_H Dv$ en exprimant R_H en fonction de R, η et ℓ.

Q 9. Quelle est la signification physique de la grandeur R_H ? Écrire et nommer une loi physique où intervient une grandeur analogue.

C – Diminution de la pression dans l'oléoduc – Compensation par des pompes

La vitesse moyenne de l'écoulement est définie par la relation $Dv = v_m \pi R^2$.

Q 10. Montrer que la pression P (z) dans l'oléoduc vérifie la relation $\mathrm{d}P/\,\mathrm{d}z = -\,8\eta\, v_m\,/\,R^2$.

Q 11. Comment nomme-t-on ce type de diminution de la pression dans la conduite ?

Q 12. Calculer $\mathrm{d}P/\,\mathrm{d}z$. Données : v_m = 2 m·s^{-1} , R = 0,5 m
Q 13. Dans le cadre de ce modèle, calculer en bar la diminution de pression qui existerait entre le point de départ et le point d'arrivée dans l'oléoduc si on ne compensait pas cette diminution par des pompes de relève.

Cette diminution de pression est préjudiciable au transport du pétrole. Il est donc nécessaire de la compenser : c'est le rôle des stations de pompage et de relevage qui sont réparties le long du parcours de l'oléoduc. Le pétrole est injecté dans l'oléoduc à une pression de 60 bar. La pression du pétrole dans l'oléoduc ne doit jamais descendre en-dessous de 20 bar.

Q 14. À quelle distance doit se trouver la première station de relevage de la pression ? En déduire le nombre de stations théoriquement nécessaires au bon acheminement du pétrole de son point de départ à son point d'arrivée. Pourquoi ce nombre est-il sous-évalué par rapport au nombre réel de pompes nécessaires ?

On considère une station de pompage qui reçoit en entrée le pétrole à une pression de 20 bar et qui le réinjecte dans l'oléoduc à une pression de 60 bar.

Q 15. Calculer la puissance indiquée minimale de la pompe. Commenter.