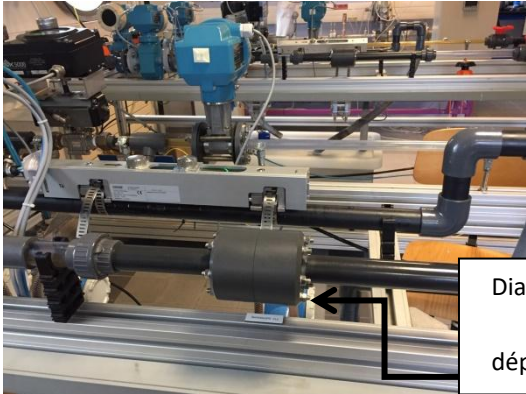
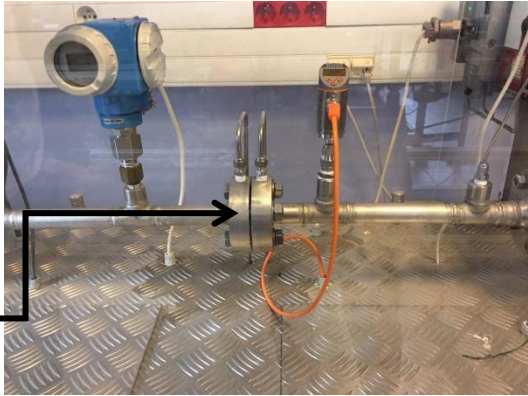


PCPI – 1 TS CIRA Vizille BTS CIRA Contrôle Industriel et Régulation Automatique	Chapitre 7 Théorème de BERNOULLI et APPLICATIONS
<i>L'industrie utilise un certain nombre de fluides, tels que l'eau, le lait, le pétrole, diverses huiles ...</i> <i>Ces fluides diffèrent par leur masse volumique, et aussi par leur facilité à s'écouler.</i> <i>Dans tout procédé industriel, Il est essentiel de connaître à tout moment la pression du fluide qui circule, son débit ...</i> <i>Il existe des capteurs que l'on appelle « organes déprimogènes », qui sont capables de donner l'image d'un débit connaissant ses caractéristiques.</i> <i>C'est le cas par exemple sur les maquettes suivantes :</i>  Diaphragme : organe déprimogène 	

CAPACITES EXIGIBLES	BILAN 8	▪ <i>Enoncer et appliquer le théorème de Bernoulli aux liquides visqueux en termes d'énergie, de pression et de hauteur de liquide</i> ▪ <i>Enoncer et appliquer le théorème de Bernoulli généralisé aux liquides visqueux avec pompage</i>	https://www.youtube.com/watch?v=mM2P7bMhJnI 
		▪ <i>Application du théorème de Bernoulli aux liquides visqueux en termes d'énergie, de pression et de hauteur de liquide</i>	 https://www.youtube.com/watch?v=Id3TY2eXu2M
	TP 7	▪ <i>Application du théorème de Bernoulli aux organes déprimogènes pour la mesure de débit</i>	https://www.youtube.com/watch?v=sNpXNHu6w_4 

EXERCICES

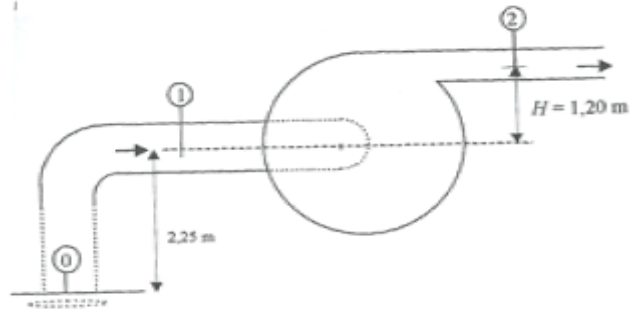
EXERCICE 1 : Puissance électrique d'une pompe

Une pompe hydraulique (voir schéma ci-contre) fait circuler de l'eau à un débit tel que $Q_v = 300 \text{ m}^3/\text{h}$.

Sa conduite d'aspiration a un diamètre $d_1 = 200 \text{ mm}$.

Sa conduite de refoulement a un diamètre $d_2 = 100 \text{ mm}$.

On négligera les pertes de charge.



- 1- **Calculer** la vitesse d'écoulement v_1 de l'eau dans la tuyauterie d'aspiration.
- 2- **Calculer** la vitesse d'écoulement v_2 de l'eau dans la tuyauterie de refoulement.
- 3- La pompe aspire l'eau stagnante d'un bassin ouvert situé 2,25 m au-dessous du niveau (1) d'entrée de la pompe.
Calculer la pression p_1 à l'entrée de la pompe en (1).
- 4- Sachant que la pression de l'eau à la sortie de la pompe en (2) est $p_2 = 1,60 \times 10^5 \text{ Pa}$, calculer la puissance mécanique utile P_u fournie par la pompe pour assurer ce débit.
- 5- Cette pompe est actionnée par un moteur électrique de rendement 80 %, **calculer** la puissance électrique consommée.

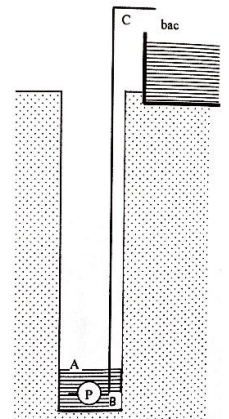
EXERCICE 2 : Puissance utile d'une pompe

On procède à la vidange d'un bassin à l'aide d'une pompe immergée P placée juste sous la surface de l'eau du bassin.

La conduite de refoulement a une hauteur BC de 52 m et une section S de 40 cm^2 .

La pompe doit avoir une puissance suffisante pour assurer un débit volumique $Q_v = 72 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

- 1- Quelle est (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) la vitesse d'écoulement de l'eau entre B et C ?
- 2- Quelle est la valeur de la pression de l'eau à la sortie B de la pompe ?
- 3- Quelle est la valeur de la puissance utile de la pompe si on néglige les pertes de charge ?



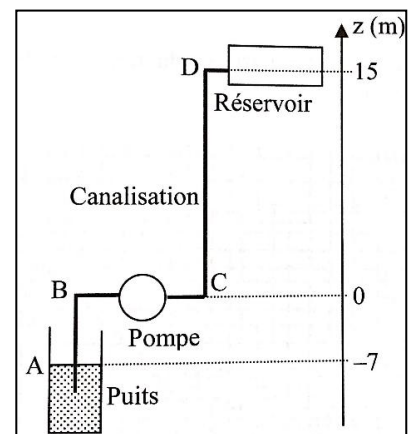
EXERCICE 3 : Station de pompage

Une station de pompage comprend une pompe centrifuge montée en aspiration, qui déplace l'eau d'un puits à la pression atmosphérique vers un réservoir où règne une pression p_R .

- 1- En appliquant le théorème de Bernoulli entre les points A et D, et en négligeant les termes contenant les vitesses d'écoulement devant les autres termes, **calculer** la hauteur manométrique totale de la pompe.
- 2- Le débit souhaité est $Q_v = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. **Montrer** que la puissance hydraulique de la pompe est 14,2 kW.
- 3- La puissance hydraulique P_h en sortie de pompe étant de 14,2 kW, le rendement électromécanique de la pompe est $\eta = 0,49$. **Calculer** la puissance mécanique P_m que doit fournir le moteur qui entraîne la pompe.

Données :

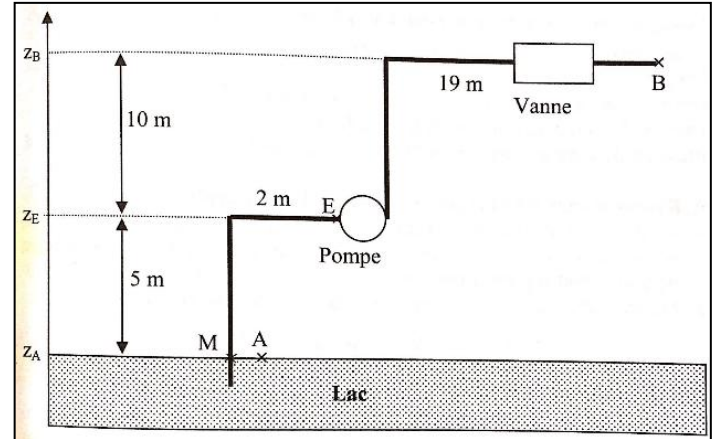
- Pression atmosphérique : $P_o = 1,0 \text{ bar}$
- Pression dans le réservoir : $P_R = 3,7 \text{ bar}$
- Perte de charge totale : $J = 2 \text{ m}$



EXERCICE 4 : Choix d'une pompe d'arrosage

Une petite pompe centrifuge alimente une installation d'arrosage à partir d'un lac. L'eau est aspirée depuis la surface du lac ; l'entrée du circuit d'arrosage est notée B.

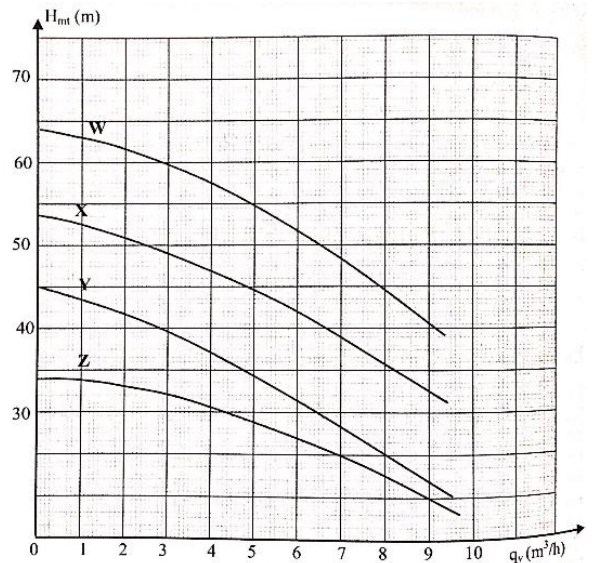
Le point A est à la surface de lac. Le point M est dans la canalisation à la même altitude que le point A. Entre M et B, la canalisation mesure 36 m, elle possède 2 coudes et une vanne. La dénivellation entre M et B est de 15 m.



Données :

- Pression atmosphérique : $P_o = 1,0 \text{ bar}$
- Pression de l'eau en B : $P_B = 3,0 \text{ bar}$
- Débit volumique de l'installation : $Q_v = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- Perte de charge par mètre de canalisation : 2 cm
- Longueur équivalente d'un coude : 3 m de canalisation
- Longueur équivalente d'une vanne : 8 m de canalisation
- Diamètre de la canalisation : $d = 10 \text{ cm}$

- 1- **Montrer** que l'ensemble des pertes de charge de l'installation vaut $J = 1 \text{ m}$.
- 2- **Calculer** la vitesse de l'eau dans la canalisation en régime permanent de pompage.
- 3- **Appliquer** le théorème de Bernoulli entre les points A et B et en négligeant les termes contenant les vitesses d'écoulement devant les autres termes, **calculer** la hauteur manométrique totale de la pompe.
- 4- **Choisir** parmi les pompes W, X, Y et Z celle qui convient le mieux à l'installation. **Justifier**.



EXERCICE 5 : Pompage d'un fluide

Afin d'utiliser l'énergie géothermique d'une couche aquifère profonde, un puits de production a été creusé pour pomper le fluide.

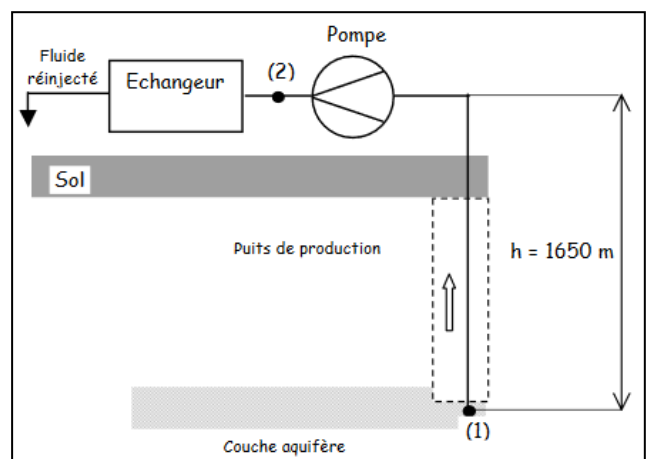
Après son passage dans l'échangeur, le fluide refroidi est réinjecté dans la nappe. (cf. ci-contre le schéma simplifié de l'installation)

Le tubage entre les points (1) et (2) est réalisé en tube d'acier d'un diamètre $d = 160 \text{ mm}$ sur une longueur de 1650 m et la rugosité absolue du tube est $\varepsilon = 0,03 \text{ mm}$.

Le fluide géothermique est une eau chaude saline de masse volumique $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et de viscosité cinématique $\nu = 4,80 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le débit prévu en période de pointe est $Q_v = 250 \text{ m}^3/\text{h}$.

La pression au fond du puits est $p_1 = 170 \times 10^5 \text{ Pa}$ et la pression à l'entrée de l'échangeur est $p_2 = 10 \times 10^5 \text{ Pa}$.



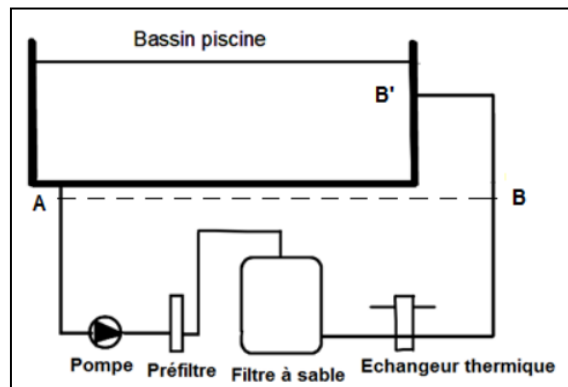
- 1- **Montrer** que la vitesse d'ascension du fluide dans la canalisation est $V = 3,45 \text{ m/s}$.
- 2- **Indiquer** la nature de l'écoulement en justifiant la réponse.
- 3- On rappelle que pour $Re > 10^5$, le coefficient de perte de charge linéaire est $\lambda = 0,79 \sqrt{\frac{\varepsilon}{d}}$. **Calculer** les pertes de charges régulières pour la longueur de la tuyauterie.
- 4- La perméabilité de la couche aquifère entraîne des pertes de charge singulières supplémentaires égales à $2,9 \times 10^5 \text{ Pa}$. **Calculer** la puissance de la pompe.
En **déduire** la puissance électrique consommée si son rendement est de 70 %.

EXERCICE 6 : Circuit de filtration d'une piscine

Une piscine municipale comporte un grand bassin contenant un volume de 960 m^3 d'eau, qui est relié à un circuit hydraulique. L'eau de ce bassin est à la température de 29°C . La pompe a un débit volumique $Q_v = 80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Le diamètre D des canalisations est de 160 mm , la longueur totale L des canalisations est de 42 mètres .

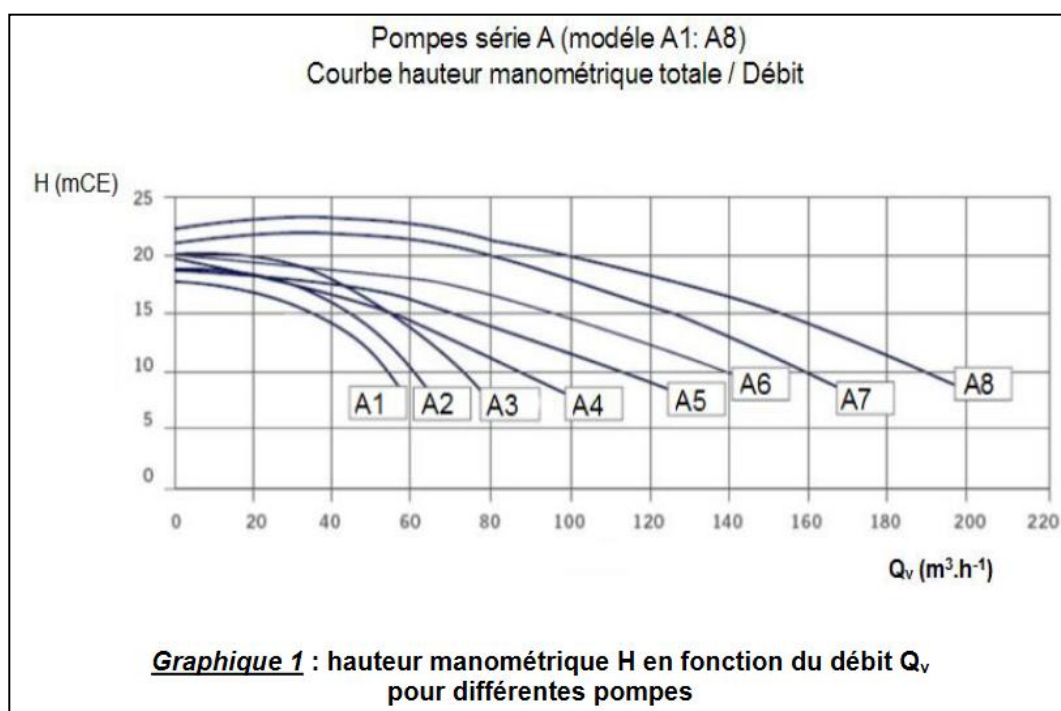
Données:

- $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Expression du nombre de Reynolds : $Re = \rho D V / \eta$
- La viscosité dynamique η de l'eau dans les canalisations est de $8,15 \times 10^{-4} \text{ USI}$
- Perte de charge pour un écoulement laminaire : $\lambda = \frac{64}{Re}$
- Perte de charge pour un écoulement turbulent : $\lambda = \frac{0,0432}{\sqrt{D}}$



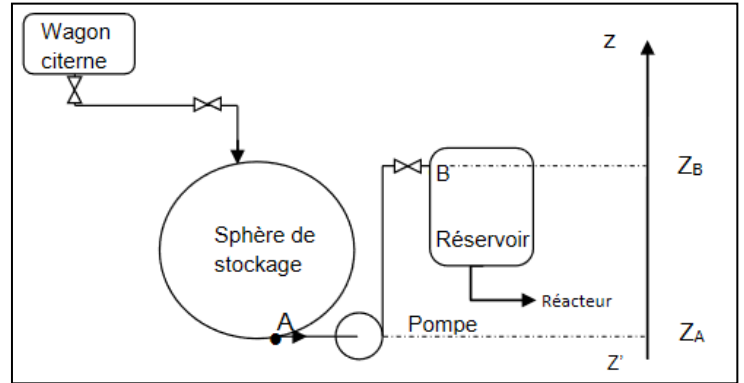
	Préfiltre	Filtre à sable	Échangeur	Perte de charge totale (singulière et régulière) de la canalisation entre A et B
Perte de charge (bar)	0,10	0,30	0,60	0,30
Perte de charge (mCE)	1,0	3,0	6,0	3,0

- 1- **Calculer** la vitesse V de l'eau dans les canalisations.
- 2- En **déduire** le nombre de Reynolds, indiquer la nature de l'écoulement.
- 3- **Calculer** le coefficient de perte de charge λ .
- 4- Grâce à la pompe, les pressions sont identiques aux points A et B (les pertes de charge entre B et B' sont supposées négligeables). En appliquant l'équation de Bernoulli entre les points A et B dans le circuit, **déterminer** quelle pompe convient le mieux en exploitant le graphique suivant.
- 5- En **déduire** la puissance hydraulique fournie par la pompe au liquide.



EXERCICE 7 : Acheminement d'ammoniac liquide

De l'ammoniac liquide est acheminé par wagons citernes sur un site de production de nitrate d'ammonium, principal constituant des engrais. Le transfert entre le wagon citerne et la sphère de stockage est réalisé par gravité. Puis une pompe centrifuge permet d'amener l'ammoniac de la sphère vers un réservoir dont le niveau est supposé constant. La pression à l'intérieur de la sphère et du réservoir est maintenue à 10 baret la température à 293 K. L'ammoniac subit ensuite une détente et un chauffage pour pénétrer, à 6 bar et 160 °C, à l'état gazeux, dans le réacteur de synthèse du nitrate d'ammonium, en même temps que de l'acide nitrique. On limitera l'étude à la portion de l'installation située entre la sphère de stockage de l'ammoniac liquide (point A) et le réservoir (point B). Sur cette portion, les canalisations, de diamètre constant égal à 25 mm, ont une longueur totale de 12,0 m. La différence de hauteur entre le pied de la sphère et l'entrée dans le réservoir est de 3,5 m. La longueur équivalente due aux pertes de charge singulières est de 8,0 m de canalisation droite. Les pertes de charge unitaires sont égales à 0,05 mètre de colonne de liquide par mètre de canalisation droite et notées J . Le débit massique d'ammoniac vaut $q_{m(NH_3)} = 10,0 \text{ t.h}^{-1}$.

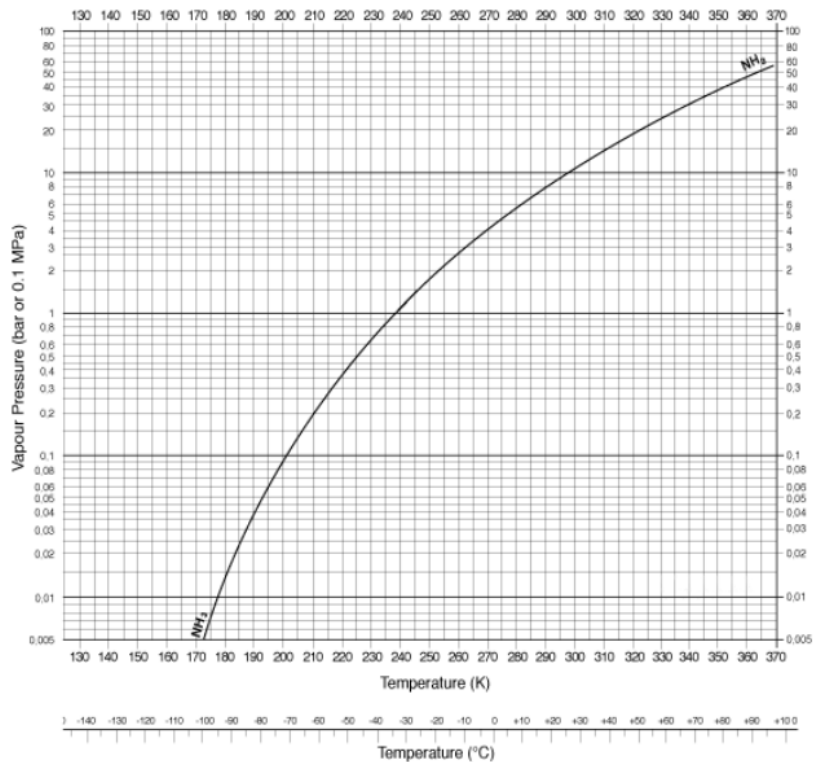


Données :

- Masse volumique de l'ammoniac liquide à 10 bar et 293K : $\rho = 600 \text{ kg.m}^{-3}$
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$

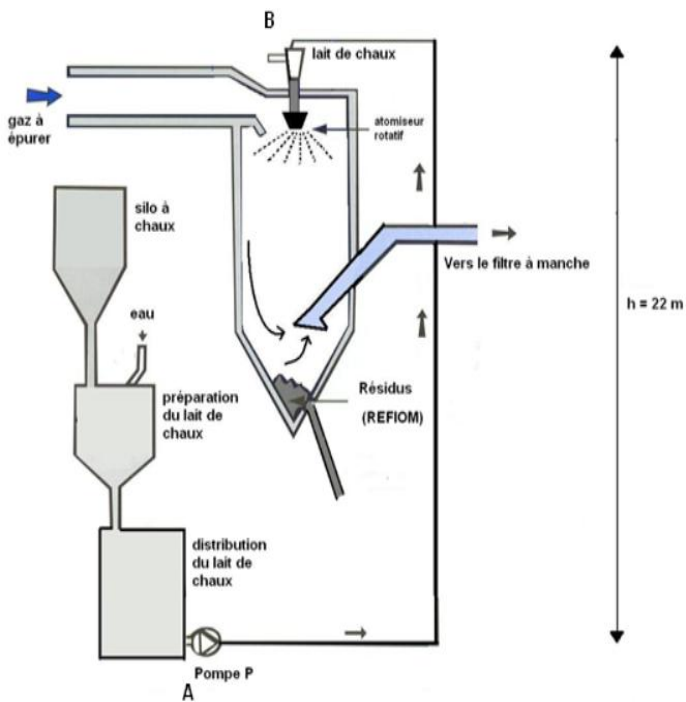
- 1- À l'aide du document ci-contre, **justifier** le choix d'une pression de 10 bar pour le stockage de l'ammoniac liquide à 293 K.
- 2- **Calculer** le débit volumique d'ammoniac dans la canalisation, $q_v(NH_3)$, en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.
- 3- **Calculer**, entre les points A et B, la vitesse $v(NH_3)$ de circulation de l'ammoniac liquide dans la canalisation.
- 4- **Calculer** les pertes de charge totales Δh_c sur cette portion d'installation exprimées en mètres de colonne de liquide.
- 5- En appliquant le théorème de Bernoulli entre les points A et B, **déterminer** la hauteur manométrique totale de la pompe, notée H_{mt} .
- 6- En **déduire** la puissance utile de la pompe, notée P_u .
- 7- Sachant que le rendement de la pompe vaut 55%, en **déduire** la puissance électrique absorbée par celle-ci, P_{abs} .

Pression de vapeur saturante de l'ammoniac en fonction de la température



EXERCICE 8 : Traitement des fumées à la sorte d'un four d'incinération

À la sortie d'un four d'incinération, les gaz de combustion sont aspirés vers un réacteur pour une première épuration. On fait le choix ici du procédé dit « semi-humide ». C'est un mode de traitement chimique qui consiste à mélanger les gaz avec un réactif liquide (du lait de chaux par exemple) pour neutraliser les polluants acides contenus dans les gaz. Le réacteur est une tour de forme cylindrique avec en partie haute l'arrivée centrale des gaz pollués. Le lait de chaux est injecté en haut de la tour, sous l'arrivée des gaz, par un atomiseur rotatif dans lequel le lait de chaux est pulvérisé en fines gouttelettes. Le mélange gaz-chaux est ensuite évacué vers un dépoussiéreur (filtre à manche). Voir le schéma de principe ci-dessous.



Données :

- Diamètre intérieur de la conduite d'alimentation en lait de chaux : $D = 120 \text{ mm}$
- Longueur de la conduite : $L = 33 \text{ m}$
- Masse volumique du lait de chaux à 11% en masse : $\rho = 1\,030 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Pression à l'entrée de la pompe : $p_A = 3,0 \text{ bar}$
- Viscosité dynamique du lait de chaux à 11% : $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Nombre de Reynolds : $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$
- La pesanteur : $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Coefficient de perte de charge en régime laminaire : $\lambda = \frac{64}{Re}$
- Coefficient de perte de charge en régime turbulent : $\lambda = 0,316 \times Re^{-0,25}$
- Perte de charge (en mètre) : $\Delta H = \lambda \frac{L V^2}{2gD}$

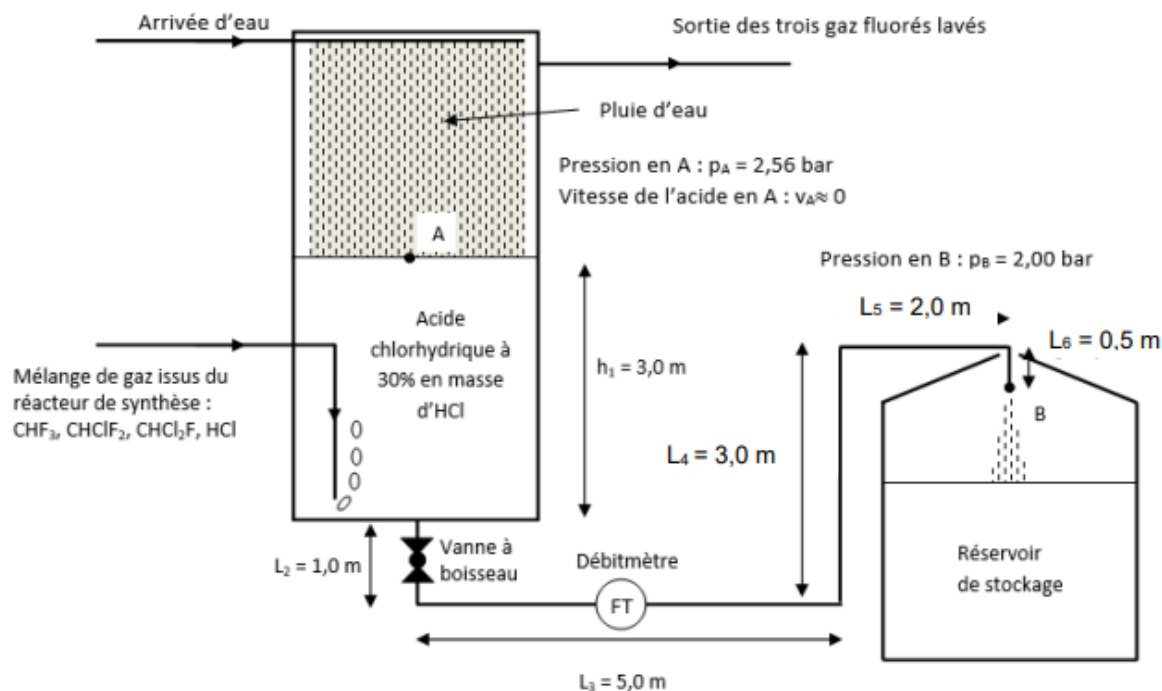
Schéma 2 : Schéma de principe du procédé semi humide

- 1- Le lait de chaux est un composé très corrosif. Quel type de précaution doit-on prendre lors du choix des conduites ?
- 2- Pourquoi doit-on maintenir une agitation constante dans la cuve de distribution de lait de chaux ?
- 3- À la concentration utilisée, soit environ 11 % en masse, le lait de chaux se comporte comme un fluide newtonien. Le débit moyen du lait de chaux dans la conduite est de $Q_v = 10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.
 - 3.1 **Calculer** le débit volumique en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.
 - 3.2 En **déduire** la vitesse moyenne V de circulation du fluide.
- 4- **Déterminer** la valeur du nombre de Reynolds. En déduire le régime d'écoulement du lait de chaux dans la conduite.
- 5- **Calculer** le coefficient de perte de charge λ , puis en déduire les pertes de charge ΔH et conclure.
- 6- Le débit étant faible, on négligera les pertes de charge dans le circuit d'alimentation en lait de chaux. Quelle doit être la HMT de la pompe pour que la pression en B soit de 2,0 bars ?
- 7- La HMT étant égale à 12 m, **calculer** la puissance fournie au fluide par la pompe.

EXERCICE 9 : Lavage d'un mélange gazeux

Le mélange gazeux sortant d'un réacteur de synthèse, contient 3 gaz fluorés et le sous-produit HCl . Il est introduit dans une tour de lavage, dont le principe est représenté ci-après.

Schéma de principe de la tour de lavage



Le mélange gazeux est lavé par une pluie d'eau, qui solubilise le chlorure d'hydrogène HCl . On obtient en bas de colonne de l'acide chlorhydrique, et en haut de colonne le mélange des 3 gaz fluorés, débarrassé du chlorure d'hydrogène HCl .

L'acide chlorhydrique formé est évacué dans le réservoir de stockage d'acide, par l'intermédiaire d'une tuyauterie. Le débit volumique de l'acide chlorhydrique évacué est contrôlé par une vanne à boisseau.

Il incombe au candidat de passer le temps nécessaire à l'élaboration de la réponse la question suivante. La qualité de rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisés ainsi que les prises d'initiative même si elles n'aboutissent pas. Il convient donc que celles-ci apparaissent sur la copie.

On veut que le débit volumique au point B soit égal $15,0 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$

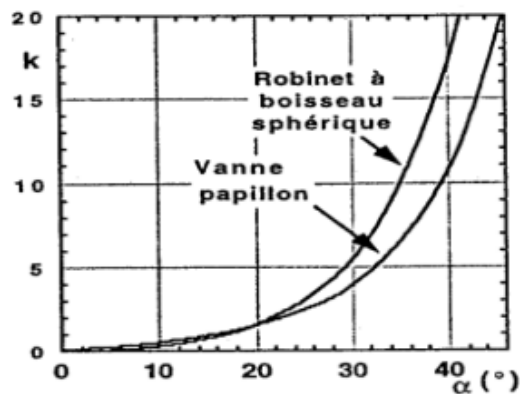
À l'aide des documents fournis, déterminer la valeur de l'angle α dont il faut fermer la vanne à boisseau pour obtenir ce débit

Document B1 : Les caractéristiques de la tuyauterie qui évacue l'acide

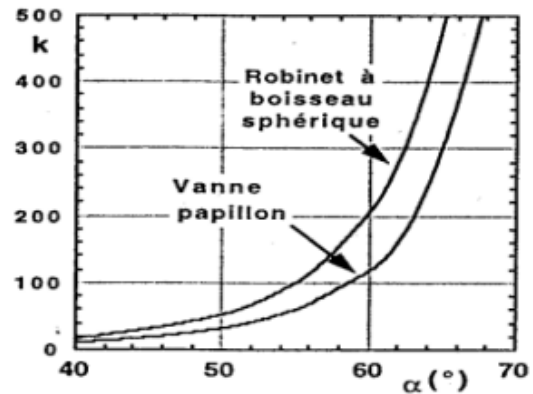
- Masse volumique de l'acide chlorhydrique à 30 % en masse en HCl :
 $\rho = 1,15 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (à 20 °C)
- Diamètre de la tuyauterie : $D = 10,0 \text{ cm}$
- Matériau de la tuyauterie : plastique, PVC.
- Coefficient de perte de charge du tuyau en plastique $\lambda = 0,016$
- Coefficients k de pertes de charge pour différentes singularités :

singularité	k
Sortie de la tour de lavage	0,5
Coude de tuyauterie à 90 °C	0,5
débitmètre	0
Vanne à boisseau ouverte	0
Vanne à boisseau partiellement fermée	Dépend de l'angle α de fermeture Voir abaque ci-dessous

- Abaques de coefficient de perte de charge pour une vanne papillon et pour une vanne à boisseau



Coefficient k pour les petits angles α



Coefficient k pour les grands angles α

- La longueur de la vanne à boisseau est considérée comme négligeable devant la longueur totale de la canalisation.

Document B2 : Formulaire

- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$
- Les pertes de charge régulières sont données par : $\Delta p_{CR} = \frac{1}{2} \lambda \rho v^2 \frac{L}{D}$
- Les pertes de charge singulières sont données par : $\Delta p_{CS} = \frac{1}{2} \rho v^2 (\sum_{i=1}^n k_i)$