

DS

TSI2

Physique

4h

17 octobre 2025

Ce sujet est en trois parties indépendantes. La partie I représente environ 50% du barème, la partie II environ 25% et la partie III environ 25%.

I. Les écoulements (CCINP TPC 2025)

II. Energie hydroélectrique (ENS BCPST 2012)

III. Gilet de sauvetage (CCS TSI 2022)

Recommandations importantes

La plus grande attention sera apportée au soin, à la présentation et à la qualité de la rédaction.

Les résultats doivent être mis en valeur et exclusivement exprimés avec les notations de l'énoncé.

Si on introduit des notations personnelles, elles doivent toujours être soigneusement définies.

Un résultat non justifié ne sera, au mieux, que partiellement pris en compte.

Même si une valeur numérique est demandée, vous devez avant tout donner l'expression littérale.

Le calcul de la valeur numérique n'est jamais que la toute dernière étape.

Les résultats numériques doivent être accompagnés de leur unité.

Les parties peuvent être traitées dans un ordre quelconque, mais respectez la numérotation des questions.

Lisez l'énoncé en entier avant

(Calculatrice interdite)

Partie I Les écoulements

Les écoulements

On s'intéresse à un écoulement stationnaire d'eau à l'air libre dans différentes situations. L'eau est supposée homogène et incompressible, de masse volumique ρ . La viscosité de l'eau sera prise en compte dans certaines questions. On note g l'accélération du champ de pesanteur.

Q1. Rappeler la définition :

- d'un fluide homogène,
- d'un fluide incompressible,
- d'un écoulement stationnaire.

Partie I - Écoulement d'un fluide non visqueux dans un canal

Dans cette partie, on assimile l'eau à un fluide sans viscosité.

I.1 - Écoulement dans un canal de largeur variable

On s'intéresse à l'écoulement de l'eau dans une portion d'un canal subissant un rétrécissement de section (**figure 1**). On note :

- S_e et S_s les sections en entrée et en sortie du système (repérées en gris foncé sur la **figure 1b**) ;
- \vec{v}_e et \vec{v}_s les vitesses du fluide en entrée et en sortie du système, vitesses que l'on suppose uniformes sur la section droite de l'écoulement.

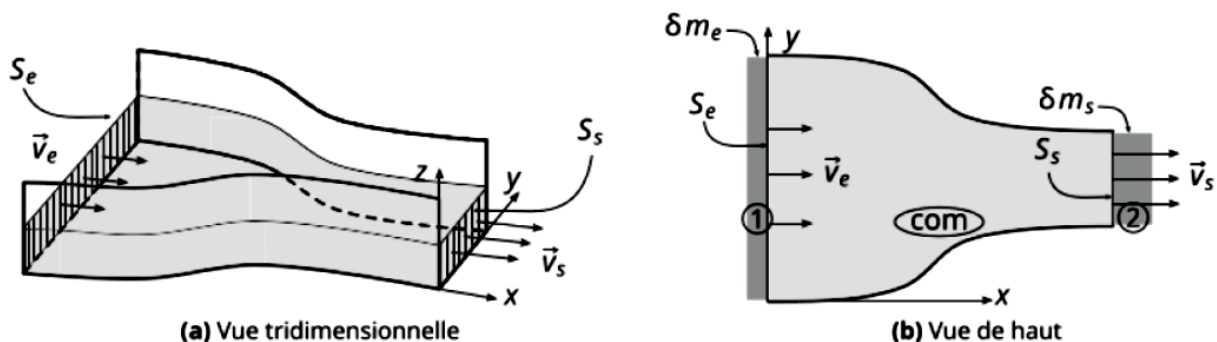


Figure 1 - Écoulement dans un canal

On considère le système fermé constitué de la portion du fluide se déplaçant dans le canal durant l'intervalle de temps infinitésimal dt . On note δm_e la quantité infinitésimale de masse qui entre dans la partie commune du système (notée com) pendant dt et δm_s la quantité infinitésimale de masse qui en sort pendant dt . Du fait de ces déplacements :

- à la date t , le système fluide occupe les zones ① et com ;
- à la date $t + dt$, le système fluide occupe les zones com et ② .

Q2. Exprimer les débits massiques entrant $D_{m,e}$ et sortant $D_{m,s}$ du fluide en fonction de dt et respectivement de δm_e et de δm_s .

Q3. Uniquement pour cette question, on se place en régime non stationnaire. À l'aide d'un bilan de masse entre les dates t et $t + dt$, montrer que la masse m de la partie commune du système satisfait la relation : $\frac{dm}{dt} = D_{m,e} - D_{m,s}$.

Q4. En déduire, en régime stationnaire, une loi de conservation du débit massique de l'écoulement étudié.

I.2 - Écoulement dans un canal de largeur constante

On étudie l'écoulement entre deux abscisses x_1 et x_2 du canal en lesquelles les vitesses d'eau v_1 et v_2 sont constantes ainsi que les hauteurs d'eau h_1 et h_2 (figure 2). Dans cette portion du canal, la largeur selon l'axe y est constante et vaut L . On ne s'intéresse pas aux origines d'une telle déformation des lignes de courant de fluide.

On suppose que les vitesses ne dépendent que de la variable x et on note P_0 la pression atmosphérique.

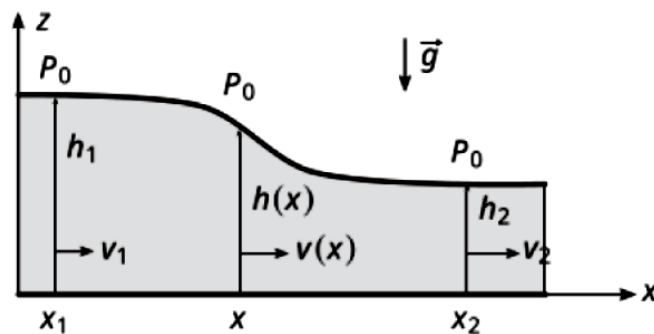


Figure 2 - Écoulement entre deux abscisses x_1 et x_2

On rappelle la relation de Bernoulli que l'on applique entre deux points d'une ligne de courant située à la surface de l'écoulement :

$$\underbrace{\frac{P_2 - P_1}{\rho}}_{(a)} + \underbrace{\frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2)}_{(b)} + \underbrace{g(h_2 - h_1)}_{(c)} = 0$$

Q5. Donner la signification énergétique des trois termes (a), (b) et (c) présents dans la relation de Bernoulli.

Q6. À l'aide de la relation de Bernoulli, justifier que la quantité $H = h(x) + \frac{1}{2g}v^2(x)$ est constante.

Q7. En déduire l'expression de la vitesse $v(x)$ en fonction de H , $h(x)$ et de g .

Q8. Montrer que le débit volumique a pour expression : $D_v = Lh(x)\sqrt{2g[H - h(x)]}$.

Q9. Tracer le débit volumique D_v en fonction de la hauteur d'eau $h(x)$.

Q10. Justifier graphiquement qu'à débit constant, il existe deux valeurs possibles de la hauteur d'eau. Ces deux hauteurs possibles sont qualifiées de régime torrentiel et de régime fluvial (car observés dans les torrents et les fleuves) : associer, en le justifiant, chaque hauteur à un régime.

Partie II - Écoulement d'un fluide visqueux

Pour accéder au débit d'un cours d'eau, il est nécessaire de mesurer des vitesses et des longueurs. Du fait de la viscosité de l'eau, la vitesse varie à la fois horizontalement d'une rive à l'autre et verticalement de la surface au lit de la rivière (figure 3).

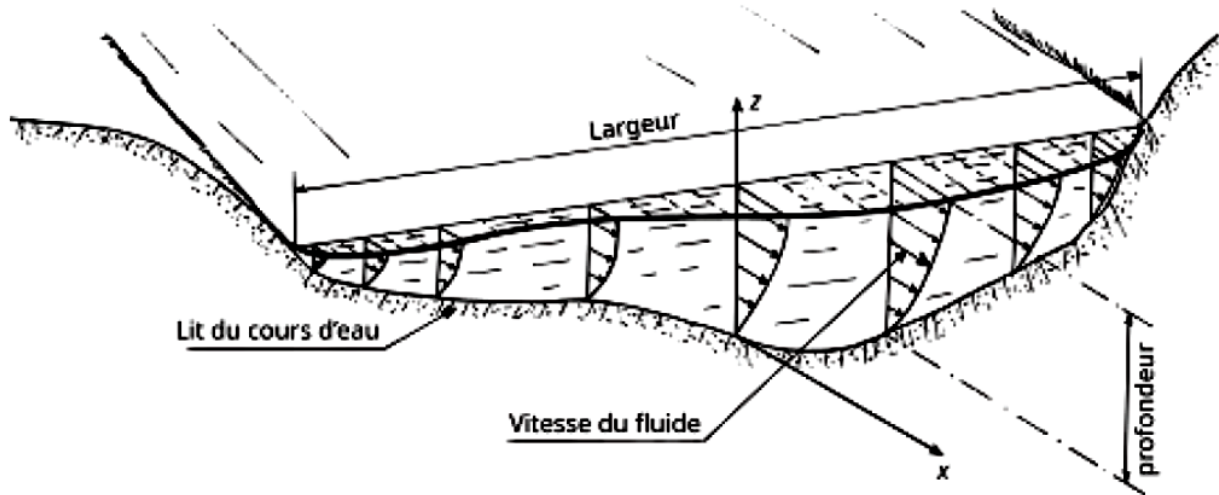


Figure 3 - Profil des vitesses sur une coupe verticale de rivière

On s'intéresse à l'écoulement du fluide, supposé laminaire, dans un plan xOz du cours d'eau. En notant $\delta \vec{F} = \pm \eta \frac{dv}{dz} dS \vec{e}_x$ la force de viscosité élémentaire exercée entre deux lames de fluide, on peut montrer que le profil des vitesses est parabolique (figure 4) et a pour équation : $v(z) = A_1 z^2 + A_2 z + A_3$, avec A_1 , A_2 et A_3 trois constantes.

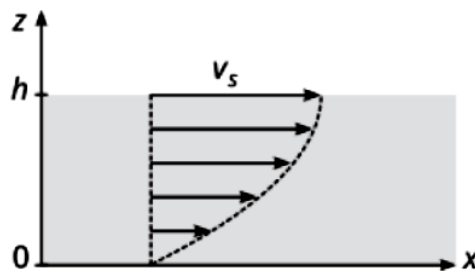


Figure 4 - Profil des vitesses dans le plan xOz

Q11. En utilisant une propriété du fluide visqueux en $z = 0$, déterminer la constante A_3 .

Q12. Sachant que l'air au-dessus du cours d'eau est un fluide non visqueux, montrer, à l'aide de la force infinitésimale de viscosité $\delta \vec{F}$, que $A_2 = -2hA_1$.

Q13. En notant V_s la vitesse de l'écoulement en $z = h$, en déduire que la loi de vitesse s'écrit :

$$v(z) = V_s \frac{z}{h} \left(2 - \frac{z}{h} \right)$$

On suppose que le profil des vitesses est identique sur la largeur L selon l'axe y du cours d'eau.

Q14. Montrer alors que le débit volumique de l'écoulement vaut : $D_v = \frac{2}{3} V_s L h$.

Q15. En déduire la vitesse moyenne V_m dans l'écoulement en fonction de V_s .

Q16. Exprimer la vitesse V_{60} à une profondeur de $0,6h$ (figure 5) en fonction de V_s .

Comparer cette vitesse à la vitesse moyenne V_m .

Conclure quant à la validité de la méthode de mesure dite à un point, consistant à supposer que $V_m \simeq V_{60}$.

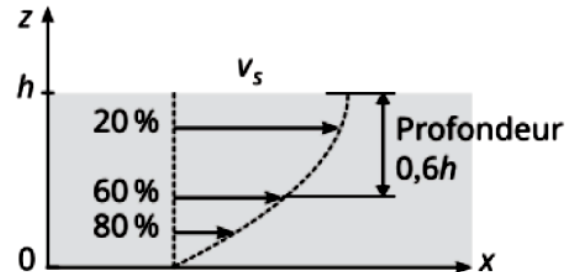


Figure 5 - Profil des vitesses pour quelques pourcentages de profondeur

Partie III - Mesure de la vitesse d'un fluide

III.1 - Vélocimétrie acoustique

Afin de mesurer les vitesses dans un cours d'eau, on utilise une sonde montée sur une perche que l'on place à différentes profondeurs (**Photo 1**).



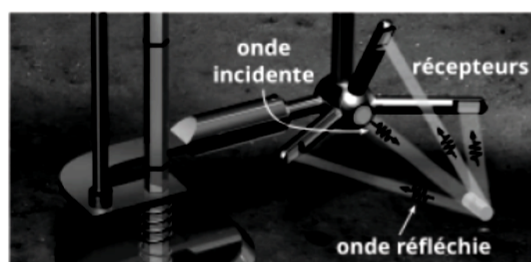
Photo 1 - Mesure de la vitesse d'écoulement d'une rivière par sonde à effet Doppler

La sonde est un vélocimètre acoustique à effet Doppler, munie de capteurs de pression et de température.

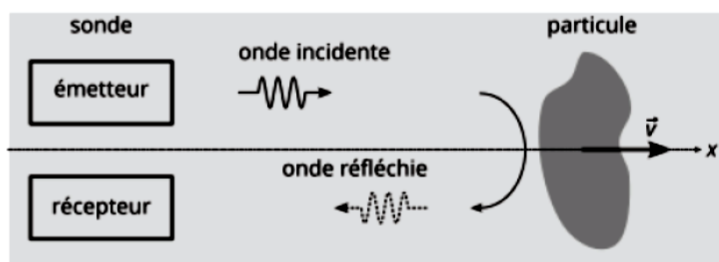
Q17. La mesure de la pression P sert à déterminer la profondeur d'immersion d de la sonde. À l'aide de la relation de la statique des fluides, établir l'expression de la profondeur d'immersion d en fonction de la pression atmosphérique P_0 , de P , ρ et de g .

Q18. La mesure de la température de l'écoulement permet de calculer correctement un paramètre de l'onde acoustique qui dépend de la température. Préciser le paramètre dont il s'agit.

La sonde émet une onde ultrasonore focalisée dans un volume précis de l'écoulement. Lorsque des particules entraînées par le courant traversent la zone de détection, elles réfléchissent l'onde qui est alors captée par trois récepteurs (**figure 6a**). L'analyse des signaux réfléchis permet de déterminer la vitesse de l'écoulement.



(a) Sonde réelle



(b) Modélisation

Figure 6 - Modélisation d'une sonde réelle

Pour simplifier la modélisation, on travaille uniquement le long de l'axe des x (**figure 6b**). On note c_e la célérité de l'onde ultrasonore de fréquence f_i envoyée par l'émetteur fixe et $\vec{v} = v\vec{e}_x$ la vitesse d'une particule entraînée par l'écoulement.

Du fait de ce mouvement, la fréquence de l'onde réfléchie par la particule vaut :

$$f_r = f_i \frac{1 - \frac{v}{c_e}}{1 + \frac{v}{c_e}}$$

Le détecteur reçoit l'onde de fréquence f_r et calcule l'écart de fréquences $\Delta f = f_i - f_r$.

Q19. Expliquer pourquoi l'opérateur doit éviter de bouger la perche lors de la mesure.

Q20. Compte tenu des valeurs de v et de c_e (voir en **annexe**), montrer que $\Delta f \simeq 2f_i \frac{v}{c_e}$.

Q21. Quelle information le signe de Δf donne-t-il ?

Pour accéder à la vitesse v , il faut d'abord déterminer Δf . Pour ce faire, on multiplie la tension du signal incident U_i par celle de l'onde réfléchie U_r (figure 7), puis on filtre le signal U_m pour obtenir la tension U_f .

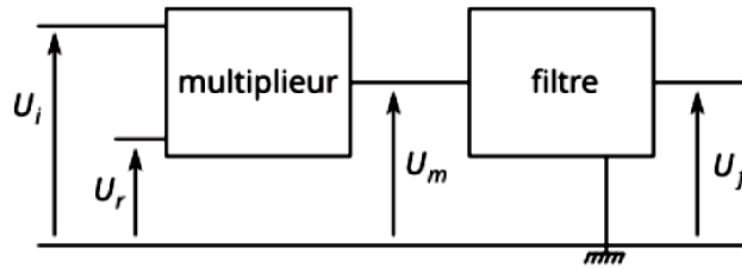


Figure 7 - Circuit de détection de l'écart Δf

- Q22.** En posant U_{mi} et U_{mr} les amplitudes d'une part et φ_i et φ_r les phases d'autre part, donner les expressions de U_i et de U_r .
- Q23.** Linéariser l'expression de la tension $U_m = K U_i U_r$ et donner l'expression des fréquences f_1 et f_2 des deux signaux obtenus, en supposant que $f_1 < f_2$.
- Q24.** Le spectre en amplitude du signal U_m est partiellement représenté sur la figure 8. Compléter les quatre informations manquantes dans les encadrés du Document Réponse (DR).

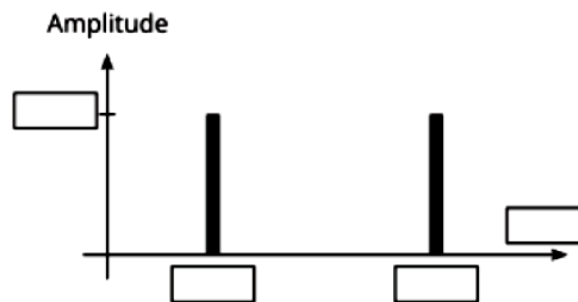


Figure 8 - Spectre du signal U_m

Pour traiter la tension U_m , on dispose de deux filtres de fréquence de coupure f_c dont les fonctions de transfert sont données ci-dessous.

$$\text{Filtre A : } \underline{H}_A = \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_c}} \quad \text{Filtre B : } \underline{H}_B = \frac{j \frac{f}{f_c}}{1 + j \frac{f}{f_c}} \quad (\text{avec } j \text{ tel que } j^2 = -1)$$

- Q25.** Indiquer, en justifiant votre choix, quel filtre choisir pour isoler la tension de fréquence Δf .
- Q26.** En exploitant les caractéristiques de la sonde données en annexe, proposer une valeur numérique de la fréquence de coupure f_c .
- Q27.** Donner alors le schéma d'un filtre à l'aide de deux dipôles à choisir parmi un résistor, une bobine et une capacité. Proposer des valeurs usuellement rencontrées en travaux pratiques pour R , L ou C permettant de satisfaire au problème étudié.

Partie II Energie hydroélectrique

L'hydroélectricité consiste à convertir l'énergie potentielle de pesanteur d'une masse d'eau, en énergie cinétique en la mettant en mouvement. Puis en faisant passer l'écoulement d'eau produit à travers une turbine couplée à un alternateur, l'énergie cinétique de l'écoulement est convertie en énergie électrique.

3.1 Potentiel hydroélectrique

16 Considérons un tel écoulement de débit volumique Q , provenant d'un réservoir situé à une hauteur H par rapport à la turbine. Exprimer la puissance P_{hydro} correspondant au débit d'énergie cinétique à travers la turbine, causé par la diminution d'énergie potentielle, en fonction de Q , H , de la masse volumique de l'eau ρ_{eau} et de l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre g . Que représente cette puissance dans le contexte de la production d'électricité et quels sont les paramètres à optimiser ?

3.2 Équilibre hydrostatatique d'un barrage dit « poids »

Pour réguler, contrôler l'écoulement, puis le canaliser vers la turbine, il est en général nécessaire d'utiliser une retenue d'eau, en construisant un barrage.

On modélise un barrage dit « poids » comme un prisme de longueur L et de section triangulaire rectangle isocèle de côté H (voir Fig. 3). Les dimensions H et L sont de l'ordre de 100 m. Le barrage est constitué d'un mélange béton-granulats de masse volumique homogène ρ_m . On suppose que la retenue d'eau ainsi créée est complètement remplie. On note P_0 la pression atmosphérique, dont on néglige la variation avec l'altitude z . La référence $z = 0$ correspond au fond horizontal de la retenue d'eau. La hauteur d'eau dans le barrage est notée h et est égale à H dans cette partie.

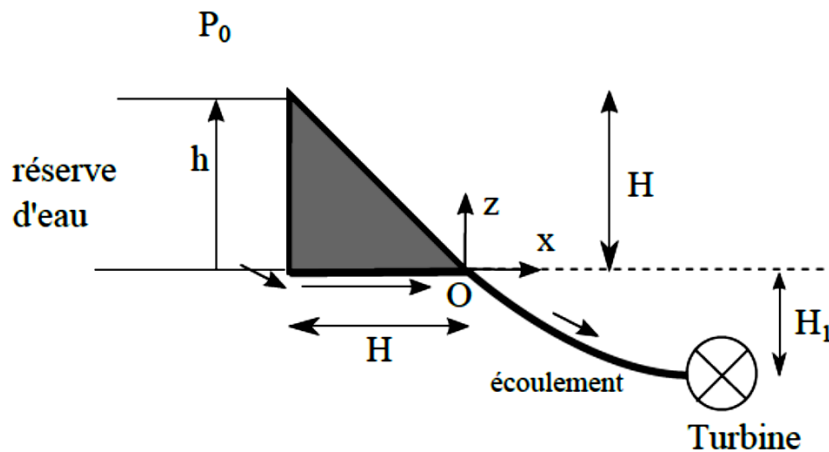


FIGURE 3 – Schéma de principe du barrage.

17 Donner l'expression de la pression hydrostatique dans l'eau en fonction de l'altitude z , de la masse volumique de l'eau ρ_{eau} (considérée constante) et de l'accélération de la pesanteur g . Pourquoi les variations de pression hydrostatique sont-elles négligées dans l'atmosphère mais pas dans l'eau ?

18 Exprimer la résultante des forces de pression hydrostatique s'exerçant sur le barrage due à l'eau sur la face amont \vec{F}_{eau} , puis celle des forces de pression due à l'air sur la face aval \vec{F}_{air} . En déduire l'expression de la force horizontale qui tend à faire céder le barrage.

19 Dans un barrage « poids », la force horizontale est compensée par une force de frottement solide entre le barrage et le sol. Cette force est dirigée selon \vec{e}_x et sa norme est modélisée simplement par $\|\vec{F}_{frottement}\| \leq \mu \|\vec{R}\|$, avec μ un coefficient de frottement et \vec{R} , la force de réaction normale du sol sur le barrage. Écrire l'équilibre des forces s'exerçant sur le barrage verticalement et horizontalement. En utilisant $\|\vec{F}_{frottement}\| \leq \mu \|\vec{R}\|$, en déduire la condition de stabilité du barrage sous forme d'une inégalité. Sachant que μ est de l'ordre de $1/2$, la situation paraît-elle réaliste ?

20 Les barrages dits « poids » sont un type de barrage de conception particulièrement simple. Les barrages « voûtes » constituent un autre type, où la vallée contenant la rivière est barrée par un mur de béton courbé. Sans faire de calculs, proposer des arguments expliquant leur intérêt par rapport aux barrages « poids ».

3.3 Écoulement à la sortie du barrage

On cherche à déterminer la vitesse V de l'eau entrant dans la turbine. La retenue du barrage est remplie avec une hauteur d'eau $h(t)$ variant au cours du temps t , dont la valeur initiale à $t = 0$ vaut H . La turbine est reliée par une canalisation au fond du barrage et se trouve plus bas à une altitude $z = -H_1$ (voir Fig. 3). La turbine est à l'air libre et la pression au niveau de la turbine est égale à la pression atmosphérique P_0 . La section de la turbine S vaut 1m^2 , la surface de la retenue d'eau $S_{re} = 10000\text{m}^2$. On suppose que le débit volumique d'eau Q_e entrant dans la retenue d'eau est négligeable devant le débit de vidange du barrage. De plus quel que soit la valeur de la hauteur d'eau $h(t)$, l'aire de la surface libre de l'eau contenue dans la retenue, reste constante et égale à S_{re} . La masse volumique de l'eau ρ_{eau} est considérée constante.

21 En tenant compte de cette dernière hypothèse, exprimer en utilisant la conservation du débit volumique, la variation de la hauteur d'eau dans le barrage $\frac{dh}{dt}$ en fonction de V , S_{re} et S . Comment se comparent $\frac{dh}{dt}$ et V ?

22 Donner la relation de Bernoulli. Quelles sont les hypothèses de validité ? Appliquer cette relation au cas du barrage en considérant un point A à la surface de l'eau dans la retenue puis un point B au niveau de la turbine. On justifiera au passage, sans faire de calcul, que les hypothèses de validité sont vérifiées. Évaluer la vitesse de l'eau au point A en utilisant la question **21**. Simplifier alors l'égalité obtenue précédemment. En déduire l'équation différentielle vérifiée par $h(t)$:

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{S}{S_{re}} \sqrt{2g(h + H_1)} \quad (5)$$

23 On utilise la méthode de séparation des variables pour résoudre l'équation différentielle obtenue. On introduit la nouvelle variable $\psi(t) = h(t) + H_1$. Réécrire l'équation (5) en fonction de ψ en introduisant la constante $K = \frac{S\sqrt{2g}}{S_{re}}$. Montrer que l'équation obtenue est équivalente à :

$$\frac{d\psi}{\sqrt{\psi}} = -K dt \quad (6)$$

Intégrer les deux membres de l'égalité entre l'instant initial ($t = 0$ et $\psi = H + H_1$) et un instant quelconque ($t = t^*$ et $\psi = \psi^*$). En déduire l'expression de h en fonction de t , puis celle de V en fonction de t . Quel peut être l'intérêt de placer la turbine à un niveau plus bas que le barrage ? Par la suite, on adoptera les valeurs numériques suivantes pour simplifier les calculs, $H = 100\text{m}$ et $H_1 = 0\text{m}$.

24 Exprimer le temps T_H nécessaire pour vider complètement le barrage, puis faire de même pour le temps $T_{H/2}$ correspondant à une diminution de la hauteur initiale de moitié. Donner l'ordre de grandeur numérique de T_H et sachant que $1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,3$, évaluer le rapport $\frac{T_{H/2}}{T_H}$.

25 En utilisant l'expression de P_{hydro} établie dans la partie 3.1, exprimer la puissance disponible pour la turbine en fonction du temps t .

Application numérique : Quel est l'ordre de grandeur numérique de la puissance disponible au début de la vidange ?

26 En déduire l'énergie hydrodynamique $E_{hydro}(T)$ récupérable par la turbine correspondant à une vidange entre $t = 0$ et $t = T$. Ensuite exprimer E_{hydro} pour $T = T_H$ et pour $T_{H/2}$. Évaluer le rapport $\frac{E_{hydro}(T_{H/2})}{E_{hydro}(T_H)}$ et commenter par rapport à la valeur du rapport $\frac{T_{H/2}}{T_H}$. Pourquoi, lors d'une exploitation commerciale du barrage, est-il intéressant de ne vider la retenue que de la moitié de la hauteur maximale ?

Partie III Gilet de sauvetage

On étudie ici le modèle à " gonflage automatique hydrostatique " : lors de l'immersion, la pression de l'eau agit sur une membrane qui libère le percuteur d'une cartouche de gaz sous haute pression. Le gaz se détend, assurant ainsi un gonflage immédiat de la vessie (enveloppe étanche) du gilet.

Le modèle de gilet étudié ici est un modèle avec une flottabilité F_a de 150 N, pour lequel une cartouche d'une contenance de 33 g de dioxyde de carbone, CO_2 , est préconisée.

Le volume utile de la cartouche de CO_2 est de 15 mL.



Données			
Atome	Numéro atomique	Nombre de masse	Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)
C	6	12	12
O	8	16	16
Constante des gaz parfaits : $R = 8,3 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1,0 \text{ bar}$ Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0\cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$			

Pour simplifier les calculs, on supposera que le gilet est utilisé en eau douce.

Chaque fois que c'est nécessaire, on suppose que le $\text{CO}_{2(\text{g})}$ se comporte comme un gaz parfait.

Q10. Donner la configuration électronique des atomes de carbone et d'oxygène dans leur état fondamental.

Q11. Proposer, en la justifiant, la formule de Lewis du dioxyde de carbone CO_2 .

Q12. Quelle géométrie peut-on prévoir pour cette molécule de CO_2 ? Justifier.

Q13. Quelle quantité de matière de CO_2 trouve-t-on dans les cartouches préconisées pour le gonflage du gilet ?

On fournit en **figure 3** le diagramme de phase dans le plan (*Pression, Température*) pour le CO_2 , ou courbe d'équilibre liquide-vapeur. (1) et (2) sont des domaines, (3) et (4) sont des transformations et (5) est un point particulier.

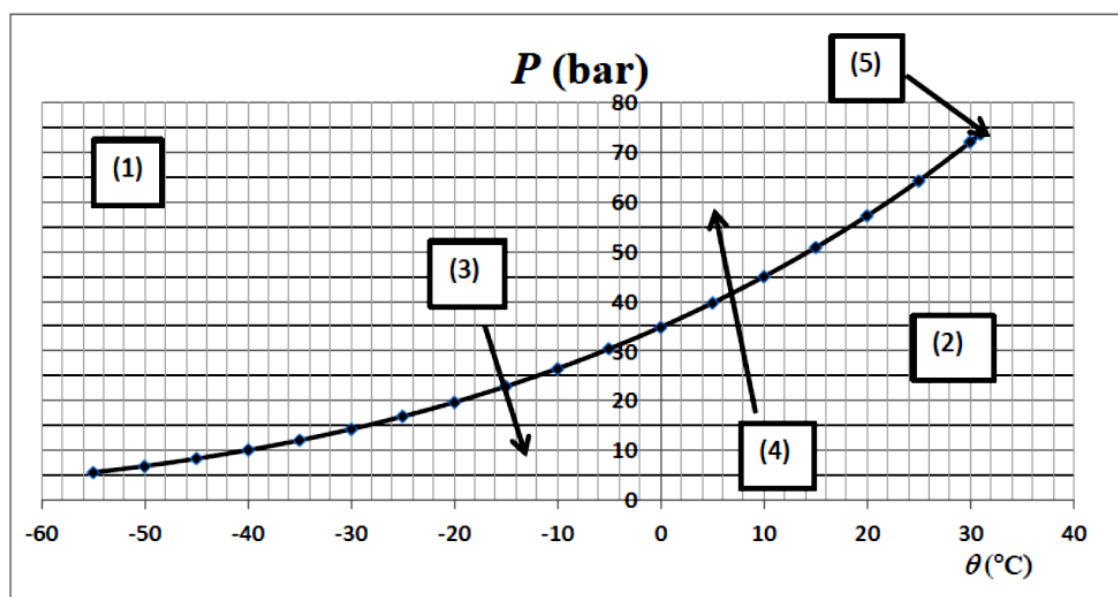


Figure 3 - Courbe d'équilibre liquide - vapeur pour CO₂

θ (°C)	P (bars)	v' volume massique du liquide saturant (m ³ /kg)	v'' volume massique de la vapeur saturante (m ³ /kg)	h' enthalpie massique du liquide saturant (kJ/kg)	h'' enthalpie massique de la vapeur saturante (kJ/kg)
10	45,06	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$7,52 \cdot 10^{-3}$	27,2	228,6
15	50,93	$1,22 \cdot 10^{-3}$	$6,32 \cdot 10^{-3}$	42,3	222,6
20	57,33	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$5,27 \cdot 10^{-3}$	58,6	213,9
25	64,32	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-3}$	78,7	198,2
30	71,92	$1,68 \cdot 10^{-3}$	$2,98 \cdot 10^{-3}$	108,5	171,5
31,1	73,76	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	139,8	139,8

Tableau 1 - Table de caractéristiques de CO₂ pour l'équilibre liquide-vapeur

Q14. Donner les 5 noms manquants de la **figure 3**.

Q15. Quelle serait la pression à l'intérieur de la cartouche si tout le CO₂ à la température $T = 300$ K se trouvait à l'état gazeux (hypothèse gaz parfait) ? Conclure éventuellement quant à l'état physique correspondant.

Q16. En calculant le volume massique du fluide dans la cartouche, justifier l'état physique dans lequel se trouve le CO₂.

Q17. Expliquer pourquoi la cartouche va se refroidir lorsqu'elle sera percutée et donner le nom et la valeur, à 25 °C, de la grandeur thermodynamique décrivant ce phénomène.

Telle qu'elle est annoncée ici, la flottabilité représente la norme de la poussée d'Archimède que subirait le gilet s'il était entièrement immergé.

Q18. Rappeler l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède en indiquant la signification de chacun des termes utilisés dans cette expression.

Q19. Montrer que le volume du gilet gonflé doit être de 15 L pour obtenir la flottabilité souhaitée.

Dans la question suivante, on suppose que ce volume, initialement vide, est occupé uniquement par du dioxyde de carbone CO_2 gazeux, obtenu après ouverture de la cartouche. On suppose la température du gaz $T = 300 \text{ K}$ ($\theta = 27^\circ \text{C}$). On considère que le gonflage est correct dès que la pression à l'intérieur du gilet dépasse la pression atmosphérique.

Q20. Montrer que la pression à l'intérieur du gilet permet un gonflage correct du gilet.

On a supposé ici une détente isotherme du CO_2 lorsque la cartouche est percutée, mais cette détente est en réalité très rapide, si bien que la transformation peut plutôt s'apparenter à une détente adiabatique **(1)** suivie d'une évolution isochore **(2)**.

Q21. Faire apparaître sur un diagramme (p,V) , représentant la pression en fonction du volume, l'allure de l'évolution de la détente isotherme, ainsi que la succession des 2 transformations **(1)** et **(2)** précédentes pour la phase gazeuse.

Le système mécanique à membrane qui permet de percuter la cartouche doit se déclencher lorsque la membrane est immergée à plus de 10 cm sous l'eau.

On supposera que l'intérieur de la vessie du gilet est initialement à la pression atmosphérique.

Q22. À quelle différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la vessie du gilet est sensible le dispositif de déclenchement ?

ANNEXE

Formulaire

- $\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$
- $\cos(2a) = 2\cos^2(a) - 1$
- En coordonnées cartésiennes : $\overrightarrow{\text{rot}} \vec{A} = \begin{vmatrix} \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \\ \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \\ \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \end{vmatrix}$

Célérité

- de l'onde acoustique dans le vide : $c_e = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- de l'onde lumineuse dans le vide : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Caractéristiques de la sonde à effet Doppler

- fréquence acoustique : 10 MHz
- gamme de vitesse : $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à $5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- précision de la vitesse : $\pm 1\%$ de la vitesse mesurée
- résolution de la vitesse : $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- précision de la température : $0,1^\circ\text{C}$
- résolution de la température : $0,01^\circ\text{C}$

Incertitude-type

L'incertitude-type $u(Z)$, associée à une grandeur Z , est reliée à la précision $\Delta(Z)$ (ou demi-intervalle) par :

$$u(Z) = \frac{\Delta(Z)}{\sqrt{3}}$$



Numéro
d'inscription

Numéro
de table

Né(e) le

Nom : _____

Prénom : _____

Emplacement
du code

Filière : TPC

Session : 2025

Épreuve de : PHYSIQUE

Consignes

- Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer
- Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir
- Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)
- Numéroté chaque page (cadre en bas à droite)
- Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre

TPC2P

DOCUMENT RÉPONSE

Ce Document Réponse doit être rendu dans son intégralité avec la copie.

Q24 - Spectre du signal U_m

