INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES D'INGENIEURS DE SFAX

Département des Etudes Préparatoires aux Concours de Technologie

Année Universitaire 2021-2022

Épreuve de Physique

(2ème Année de Préparation Biologie - Géologie)

Mercredi 23 Février 2022 de 8h30 à 10h30

DEVIOR DE CONTROLE DU 2ème SEMESTRE

Exercice 1 : Oscillateur mécanique

On se place dans le référentiel du laboratoire $(O,\overrightarrow{u_x},\overrightarrow{u_y},\overrightarrow{u_z})$ supposé galiléen dans le quel on considére une masse M accrochée à un ressort de raideur k, de longeur à vide ℓ_0 et pouvant se déplacer sur un plan horizental le long de l'axe Ox (Figure 1). Le déplacement de M, supposée ponctuelle, est limitée aux petites oscillations autour de la position d'équilibre.

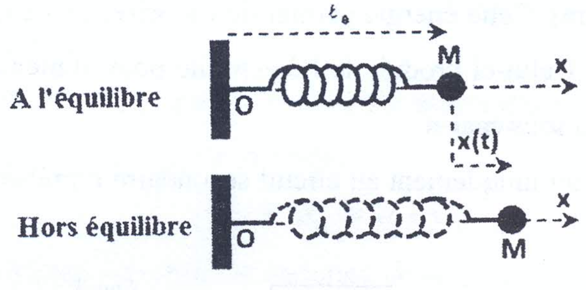

Figure 1

La masse du ressort est supposée négligeable comparée à M dont le poids est compensé par la réaction du plan. Hors équilibre, on repère la position de M par l'abscice $x(t)$ comptée à partir de sa position d'équilibre. La masse M est soumise á :

- une force de frottement $\overrightarrow{F_f} = -\alpha \frac{dx(t)}{dt}\overrightarrow{u_x}$ où α est une constante positive.
- une force excitatrice $\overrightarrow{F_e} = F_0 \cos(\omega t)\overrightarrow{u_x}$ avec F_0 et ω sont deux constantes positives.

1- Etablir l'équation de mouvement de la masse M et la mettre sous la forme canonique :

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q}\frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2\, x(t) = \omega_0^2\, e(t)$$

Donner les expressions de ω_0, Q et $e(t)$.

2- On se place dans un premier cas où $\overrightarrow{F_e} = \vec{0}$ et $\overrightarrow{F_f} = \vec{0}$.

a- Exprimer la solution de cette équation sachant qu'on a $x(t=0) = x_0$ et $\left.\frac{dx(t)}{dt}\right|_{t=0} = 0$.

b- Exprimer les énergies cinétique $E_c(t)$ et potentielle $E_p(t)$ de cet oscillateur.

c- Vérifier que son énergie mécanique E_m est conservée.

3- **Dans la suite on considère le cas où $\overrightarrow{F_e} \neq \vec{0}$ et $\overrightarrow{F_f} \neq \vec{0}$.**

a- En régime établi, on exprimera la solution de l'équation de mouvement sous la forme :

$$x(t) = X_0 \cos(\omega t + \varphi) \text{ Où } \varphi \text{ est une phase à l'origine.}$$

Déterminer l'expression de la solution $\bar{X}_0$ en notation complexe en fonction de k, F_0, ω, ω_0 et Q.

b- Déterminer l'amplitude X_0 et montrer qu'elle passe par un maximum pour $\omega = \omega_0\sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$ à condition que $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$.

c- Tracer l'allure de l'amplitude X_0 en fonction de la pulsation d'excitation ω pour deux cas : $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$ et $Q < \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Exercice 2 :

Un réacteur nucléaire fournit de l'énergie grâce à la fission nucléaire de combustible tel que l'uranium (circuit primaire). Cette énergie permet de vaporiser de l'eau entraînant une turbine couplée à un alternateur. Celui-ci produit de l'électricité pour alimenter un moteur électrique faisant tourner l'hélice du sous-marin.

Nous nous intéresserons ici uniquement au circuit secondaire représenté schématiquement ci-dessous (Figure 2) :

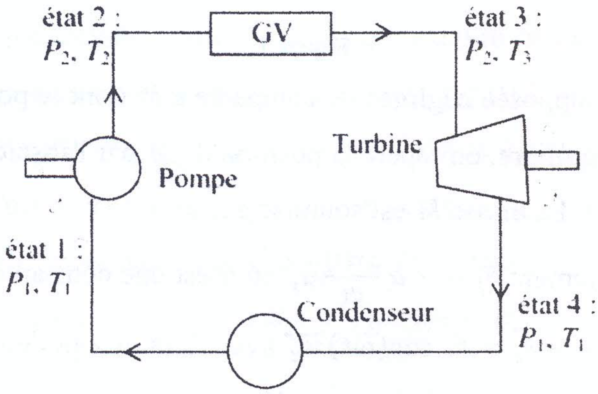

Figure 2

L'eau entre dans la pompe sous forme de liquide saturé (état 1), puis est comprimée de façon isentropique (adiabatique réversible) à la pression qui règne dans le générateur de vapeur (GV). En entrant dans le GV, l'eau se trouve sous forme de liquide comprimé à la pression P_2 (état 2). Elle en ressort sous forme de vapeur (état 3) à la même pression P_2 puis pénètre dans la turbine où elle se détend de façon isentropique (adiabatique réversible) en entraînant l'arbre de l'alternateur. A la sortie de la turbine (état 4), l'eau est diphasée. Ce mélange liquide-vapeur est alors liquéfié à pression constante dans le condenseur et en sort dans l'état 1.

1- Les quatre composants de ce cycle (dit cycle de Rankine), soit la pompe, le GV, la turbine et le condenseur, fonctionnent avec un écoulement en régime permanent.

L'objectif des questions qui suivent est d'établir l'expression du premier principe dans ce cas. Pour cela, on considère un composant (C) et on définit le système fermé $\sum_f$ le la façon suivante (Figure 3) :

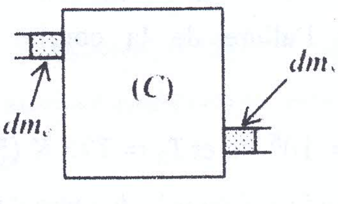

Figure 3

- à l'instant t, $\sum_f$ est constitué du fluide contenu dans (C) et de la masse dm_e de fluide entrant dans (C) entre t et $t + dt$.
- à l'instant $t + dt$, $\sum_f$ est constitué du fluide contenu dans (C) et de la masse dm_s de fluide sortant de (C) entre t et $t + dt$.

1.1- Justifier très précisément l'égalité $dm_e = dm_s$. On notera dm cette quantité.

1.2- Etablir l'écriture suivante du premier principe :

$$\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_p = q + \omega_i$$

Dans cette formule, la notation Δ désigne la variation de la grandeur physique entre l'entrée et la sortie du composant, q représente le transfert thermique massique reçu par le fluide dans ce composant et ω_i le travail massique indiqué reçu par le fluide de la part des parties mobiles du composant. Les grandeurs h, e_c et e_p sont respectivement l'enthalpie massique, l'énergie cinétique massique et l'énergie potentielle massique du fluide.

Dans la suite, on négligera les variations de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle. De plus, le travail massique indiqué n'intervient ni dans le GV ni dans le condenseur et les évolutions au sein de la pompe et de la turbine sont adiabatiques.

2- On utilise le diagramme entropique de l'eau dans lequel la température est placée en ordonnée et l'entropie massique en abscisse (Figure 4).

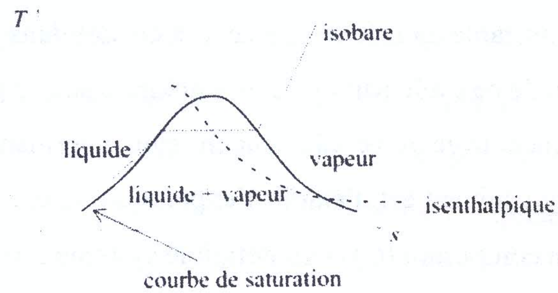

Figure 4

Dans ce diagramme, quelle est l'allure de la courbe représentative d'une évolution isentropique?

3- On donne $P_2 = 50.10^5\ Pa$, $P_1 = 10^5\ Pa$ et $T_3 = 773\ K\ (500°C)$. Les points 1 et 2 figurent déjà sur le diagramme (T, s) de l'eau fourni dans le document réponse. Sur ce même diagramme placer les points 3 et 4 correspondant aux états 3 et 4 du fluide ainsi que le cycle de Rankine décrit par le fluide. On rappelle que le document réponse doit être joint à la copie.

4- A l'aide du diagramme (T, s) fourni dans le document réponse donner les valeurs numériques de T_1, h_3, h_4, s_4, $s_v(T_1)$ entropie massique de la vapeur juste saturante à T_1 et $s_l(T_1)$ entropie massique du liquide juste saturé à T_1.

T_1 (°C)	$h_3\ (kJ.kg^{-1})$	$h_4\ (kJ.kg^{-1})$	$s_4\ (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$	$s_v(T_1)\ (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$	$s_l(T_1)\ (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$

5- Déduire de la question précédente la valeur numérique du titre en vapeur x_4 à la sortie de la turbine. On exprimera pour cela s_4 en fonction de x_4, $s_v(T_1)$ et $s_l(T_1)$.

6- On donne $h_1 = 440\ kJ.kg^{-1}$ et $h_2 = 475\ kJ.kg^{-1}$. A l'aide de la question **1.2**, déterminer les expressions et les valeurs numériques de q_{cond} et q_{GV}, les transferts thermiques massiques reçus par le fluide, respectivement dans le condenseur et dans le GV. Déterminer également les expressions et les valeurs numériques des travaux massiques indiqués dans la pompe et la turbine, respectivement ω_{pompe} et ω_{turb}.

7- Une fraction du travail produit par la turbine sert à entraîner la pompe. En déduire le travail massique indiqué ω_{alt} récupérable au niveau de l'alternateur. Donner sa valeur numérique.

8- Définir et calculer numériquement le rendement du cycle de Rankine.

Document Réponse

Diagramme T- S de l'eau