

D'après CCINP 2023 et e3a 2023 PSI PHYSIQUE – CHIMIE (calculatrices interdites)

Q1. $I_1 \leftrightarrow P_{int}$, $I_2 \leftrightarrow P_{cc}$, $I_3 \leftrightarrow P_{int} - P_{cc}$, $R_1 \leftrightarrow R_d$, $V_1 \leftrightarrow T_c$, $V_2 \leftrightarrow T_s$, $V_3 \leftrightarrow T_a$, $R_2 = \frac{T_s - T_a}{P_{cc}} = \frac{1}{hS}$.

Q2. $T_c - T_s = R_d P_{int}$ donc $T_s = T_c - R_d P_{int}$

AN: $T_s = 37 - 3 \cdot 10^{-2} \times 4 \cdot 10^2 = 37 - 12$ donc $T_s = 25^\circ\text{C}$

On remarque que $T_s < T_a$ ce qui est surprenant.

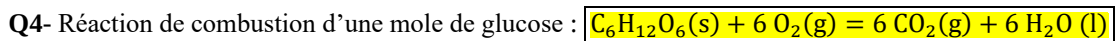
Q3. Loi des nœuds : $I_3 = I_1 - I_2 = I_1 - hS(V_2 - V_3)$

On applique le 1^{er} principe isobare à la masse d'eau (issu de la sudation) qui change d'état durant Δt :

$\Delta H = Q$, d'où $m_{eau} \ell_{vap} = I_3 \Delta t$, et donc $m_{eau} = \frac{I_3 \Delta t}{\ell_{vap}}$

AN: $m_{eau} = \frac{7,6 \cdot 10^2 \times 4 \times 3,6 \cdot 10^3}{2,4 \cdot 10^6} = 7,6 \times 4 \times \frac{3}{2} \cdot 10^{-1} = 7,6 \times 6 \cdot 10^{-1}$, donc $m_{eau} = 5 \text{ kg}$

Dosage du glucose contenu dans une boisson isotonique



La loi de Hess donne : $\Delta_r H^0 = -\Delta_f H^0(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})) - 6 \Delta_f H^0(\text{O}_2(\text{g})) + 6 \Delta_f H^0(\text{CO}_2(\text{g})) + 6 \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{l}))$,
d'où $\Delta_r H^0 = 1274 - 0 + 6 \times (-393,5) + 6 \times (-285,8) = 1274 - 6 \times 679,3 = 1274 - 4075,8$
 $= -2801,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Parmi les réponses proposées, la bonne est donc la première, $\Delta_r H^0 = -2802 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Q5- L'énergie mécanique dépensée par le cycliste est le produit de la puissance moyenne par la durée :

$\mathcal{E}_{dep} = P_{méca} \times \Delta t$, donc l'énergie consommée par ses muscles est $\mathcal{E}_{cons} = \frac{P_{méca} \times \Delta t}{\eta}$

Et on veut visiblement nous faire écrire que l'énergie consommée par les muscles correspond à l'énergie thermique dégagée par la réaction de combustion du glucose, d'où $\mathcal{E}_{cons} = -\Delta_r H^0 \xi_f$.

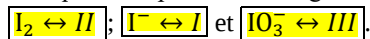
La masse de glucose consommée est $m_{glu} = M_{glu} \xi_f$, d'où $\mathcal{E}_{cons} = -\Delta_r H^0 \frac{m_{glu}}{M_{glu}}$, puis $m_{glu} = -\frac{P_{méca} \times \Delta t \times M_{glu}}{\eta \times \Delta_r H^0}$. Numériquement,

en grammes, $m_{glu} = \frac{180 \times 4 \times 3600 \times 180}{0,25 \times 2802 \times 1000} = \frac{16 \times 1,8 \times 3,6 \times 18}{2,8} \approx \frac{16 \times 40 \times 3,6}{3}$.

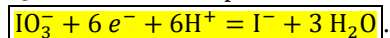
Parmi les 3 valeurs proposées, on choisit donc $m_{glu} = 670 \text{ g}$.

Q6- Le nombre d'oxydation de l'iode est de 0 dans I_2 , -I dans I^- , +V dans IO_3^- .

Puisque les espèces sont rangées de bas en haut par nombre d'oxydation croissant, on en déduit que :

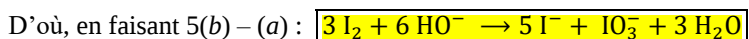
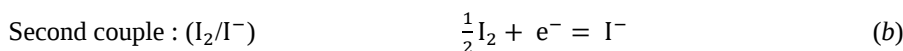


Q7- Pour trouver la pente, on commence par écrire la demi-réaction du couple associé :



La relation de Nernst s'écrit donc : $E = E^0 + \frac{0,06}{6} \log \left(\frac{[\text{H}^+]^6 [\text{IO}_3^-]}{[\text{I}^-] c_{ref}^6} \right) = E^0 + 0,06 \log \left(\frac{[\text{H}^+]}{c_{ref}} \right) + \frac{0,06}{6} \log \left(\frac{[\text{IO}_3^-]}{[\text{I}^-]} \right)$,

ce qui donne une pente de $-0,06 \text{ V/unité pH}$.

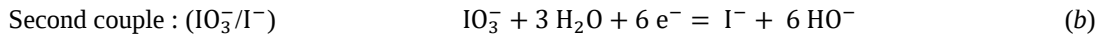
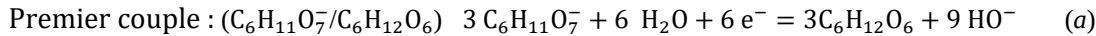


NB : on a écrit la première demi-réaction en utilisant HO^- à droite plutôt que des H^+ à gauche, car on est en milieu basique, donc il n'y a quasiment pas de H^+ disponibles.

C'est une réaction de **dismutation** du diiode (I_2)

Q9. La réaction qui se produit lors de cette étape 3 **est lente**, il faut donc attendre suffisamment longtemps afin que la réaction soit finie avant de passer à l'opération suivante.

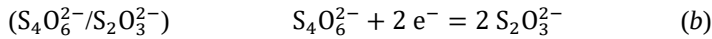
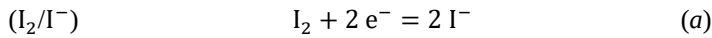
Demi-équations électroniques (le nombre d'oxydation de C est de 1/3 dans $C_6H_{11}O_7^-$, et de 0 dans $C_6H_{12}O_6$) :



D'où, en faisant (b) - (a) : **$IO_3^- + 3 C_6H_{12}O_6 + 3 OH^- \rightarrow I^- + 3 C_6H_{11}O_7^- + 3 H_2O$** réaction (1)

Q10. La réaction chimique de l'opération 4 est **$5 I^- + IO_3^- + 6 H^+ \rightarrow 3 I_2 + 3 H_2O$** réaction (2)

Q11.



D'où (a) - (b) : **$I_2 + 2 S_2O_3^{2-} \rightarrow 2 I^- + S_4O_6^{2-}$** réaction (3) $K^0 = 10^{\left(\frac{z(E_a^0 - E_b^0)}{0,06}\right)}$

La règle du gamma est vérifiée, de plus elle l'est largement car $E^\circ(I_2/I^-)$ est nettement supérieur à $E^\circ(S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-})$, donc la réaction est bien quasi-totale.

Q12. $\frac{C_0 V_2}{10}$ moles de $C_6H_{12}O_6$ éliminent $\frac{C_0 V_2}{30}$ moles de IO_3^- , provenant de $C_1 V_1$ moles de I_2 , qui avaient donné $\frac{C_1 V_1}{3}$ moles de IO_3^- et $5 \frac{C_1 V_1}{3}$ moles de I^- .

Sur les $\frac{C_1 V_1}{3}$ moles de IO_3^- , il en reste $\frac{C_1 V_1}{3} - \frac{C_0 V_2}{30}$ moles, et quand on acidifie, on forme $\frac{C_1 V_1}{1} - \frac{C_0 V_2}{10}$ moles de I_2 .

Lors de l'opération 6, il y a équivalence pour $C_3 V_{eq} = 2 \times \left(C_1 V_1 - \frac{C_0 V_2}{10}\right)$.

D'où **$C_0 = \frac{10}{V_2} \left(C_1 V_1 - \frac{C_3 V_{eq}}{2}\right)$** .

Q13. Pour que ce dosage soit valide, il faut que l'ion iodate soit effectivement en excès à la réaction (1) (voir Q9). Ainsi, il faut que :

$\frac{C_1 V_1}{3} - \frac{C_0 V_2}{30}$ soit positif, donc que **$C_1 V_1 > \frac{C_0 V_2}{10}$** .

Partie II - Mesure de vitesse par effet Doppler

Aspects théoriques de l'effet Doppler

Q14. A la date t_1 , le récepteur (R) se situe à l'abscisse : $x_R(t_1) = x_0 + v \cdot t_1$, l'onde a donc dû parcourir cette distance. Sachant qu'elle se propage à la vitesse c_0 , cela donne :

$$c_0 t_1 = x_0 + v \cdot t_1 \Leftrightarrow \boxed{t_1 = \frac{x_0}{c_0 - v}}$$

Entre son émission et sa réception, la seconde impulsion a parcouru la distance : $c_0(t_2 - T_E)$, or à la réception R se situe en $x_R(t_2) = x_0 + v \cdot t_2$, on obtient donc :

$$c_0(t_2 - T_E) = x_0 + v \cdot t_2 \Leftrightarrow \boxed{t_2 = \frac{x_0 + c_0 T_E}{c_0 - v}}$$

Q15. En R, la période du train d'impulsion, c'est-à-dire l'intervalle de temps entre la réception des deux impulsions est : $T_R = t_2 -$

$$t_1 = \frac{c_0 T_E}{c_0 - v}$$

D'où la fréquence : $f_R = \frac{1}{T_R} = \frac{c_0 - v}{c_0} \times \frac{1}{T_E} \Leftrightarrow \boxed{f_R = \left(1 - \frac{v}{c_0}\right) f_E}$

Validation expérimentale

Q16. Système = {voiturette}

On se place **dans le référentiel terrestre supposé galiléen**.

Bilan des forces : poids (force conservative)

Réaction normale qui ne travaille pas

Pas de réaction tangentielle car frottements négligés

L'utilisation du **théorème de l'énergie mécanique** conduit à la conservation de l'énergie mécanique, d'où entre le haut (A) et le bas (B) de la piste inclinée, on obtient :

$$E_m(A) = E_m(B) \Leftrightarrow E_c(A) + E_{pp}(A) = E_c(B) + E_{pp}(B)$$

Or voiturette sans vitesse initiale $z_B = 0$, d'où : $E_c(A) = 0$ et $E_{pp}(B) = 0$

Conclusion : $mgh = \frac{1}{2}mv_B^2 \Leftrightarrow \boxed{v_B = \sqrt{2gh}}$

AN : $v_B = \sqrt{2 \times 10 \times 0,5} = \sqrt{10} \Leftrightarrow \boxed{v_B \approx 3 \text{ m.s}^{-1}}$

Q17. À température ambiante, la vitesse de propagation des ondes sonores est de l'ordre de $\boxed{c_0 = 340 \text{ m.s}^{-1}}$.

La fréquence des ondes réfléchies par les parties fixes est $\boxed{f_{\text{fixe}} = f_E}$.

D'après la relation de l'énoncé, on a :

$$f_R = \left(1 + 2 \frac{v}{c_0}\right) f_E, \text{ donc } \frac{|f_R - f_{\text{fixe}}|}{f_{\text{fixe}}} = \frac{|f_R - f_E|}{f_E} = 2 \frac{v}{c_0} = \frac{2 \times 3}{340} \approx 2 \cdot 10^{-2} = 2 \%$$

L'écart relatif entre ces deux fréquences est inférieur à 20 %, par conséquent elles ne peuvent être directement distinguées à l'oscilloscope. Il est donc nécessaire d'utiliser le montage à détection synchrone.

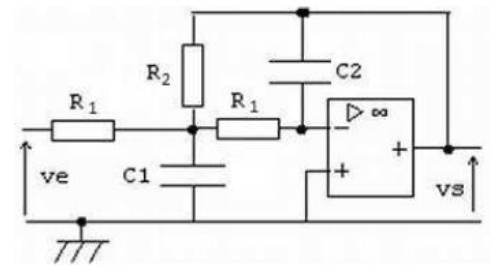
Q18. En très basse fréquence, on peut remplacer les condensateurs par des **interrupteurs ouverts**, et le schéma de l'énoncé revient à un montage ampli.

Inverseur (la résistance R_1 de droite étant alors sans effet), donc $\frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$.

En très haute fréquence, on peut remplacer les condensateurs par **des fils**, et le schéma de l'énoncé donne $\frac{v_s}{v_e} = 0$.

Le filtre est donc un **passé-bas**.

Or, H_1 correspond à un **passé-bas**, et H_2 à un **passé-haut**, donc c'est $\boxed{H_1(j\omega)}$ qui correspond à ce montage.



$$H_1(j\omega) = \frac{G_0}{1 + 2jm \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad \text{et} \quad H_2(j\omega) = \frac{-G_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 2jm \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

Q19. En très basse fréquence, $H_1(j\omega) \simeq G_0$, donc $\boxed{G_0 = -\frac{R_2}{R_1}}$.

Q20. On peut dire que ω_0 est **une pulsation de coupure**, mais pas avec un nombre de dB de valeur simple. Ce serait une pulsation de coupure à -6dB si on avait $m = 1$, ce qui n'est pas le cas ici.

Puisque ω_0 est une pulsation de coupure, les deux inégalités fortes faisant intervenir les grandeurs v, c_0 et f_E , qui sont attendues, sont :

$$f_E \frac{2v}{c_0} \ll \frac{\omega_0}{2\pi} \ll 2f_E, \text{ c'est-à-dire } \boxed{f_E \frac{4\pi v}{c_0} \ll \omega_0 \ll 4\pi f_E}$$

En effet, à la sortie du multiplieur, on a des sinusoïdes de fréquences $0, f_R - f_E, 2f_E, f_R + f_E$, (les fréquences 0 et $2f_E$ étant dues aux parties fixes du montage), avec $f_R - f_E = f_E \frac{2v}{c_0}$, et $f_R + f_E \simeq 2f_E$.

Et **on ne veut garder la sinusoïde de fréquence $f_R - f_E$, et atténuer beaucoup celles de fréquences proches de $2f_E$** . C'est le rôle du filtre **passé-bas**.

Puisque $\frac{v}{c_0} \simeq 10^{-2}$, on a à peu près deux décades entre les valeurs extrêmes de la double inégalité forte.

On peut donc laisser une décade de chaque côté, et proposer de choisir $\boxed{\omega_0 = f_E \frac{40\pi v}{c_0}}$.

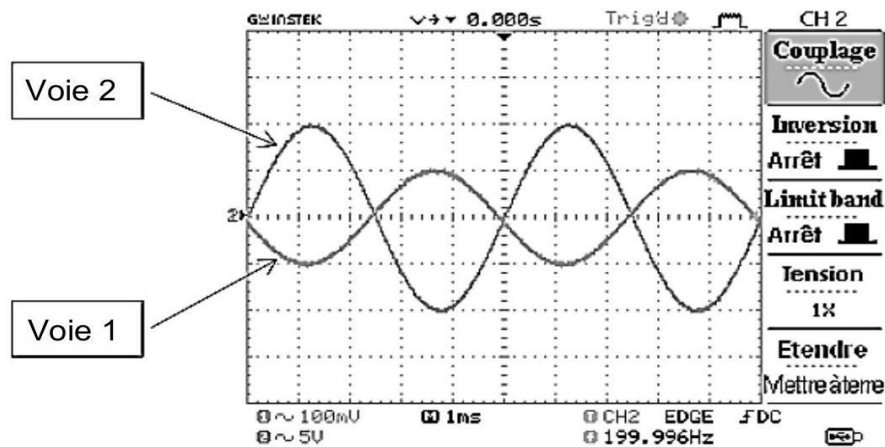


Figure 9 - Oscillogramme 1

Q21. On peut qualifier cet essai d'essai en basse fréquence car on voit clairement que les deux sinusoides sont en **opposition de phase**, ce qui ne se produit, pour le filtre retenu, qu'en très basse fréquence (on a ici $G_0 < 0$). À l'aide de l'oscillogramme 1, on détermine $G_0 = \frac{-10}{0,1} = -100$, donc $\frac{R_2}{R_1} = 100$, puis $R_2 = 1.10^5 \Omega$.

Q22. Deux autres essais ont été réalisés en envoyant les tensions sinusoidales suivantes en entrée du filtre :

- $e_1(t) = E_{01} \cos(\omega_0 t)$;
- $e_2(t) = E_{02} \cos(100\omega_0 t)$

Pour $e_1(t)$, $\omega = \omega_0$, donc $H_1(j\omega) = \frac{G_0}{j\sqrt{2}}$, d'où $s_1(t) = E_{01} \left| \frac{G_0}{j\sqrt{2}} \right| \cos\left(\omega_0 t + \arg\left(\frac{G_0}{j\sqrt{2}}\right)\right)$,

c'est-à-dire $s_1(t) = E_{01} \frac{G_0}{\sqrt{2}} \cos\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right) = E_{01} \frac{R_2}{\sqrt{2}R_1} \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right)$ puisque $G_0 = -\frac{R_2}{R_1}$

Pour $e_2(t)$, $\omega = 100\omega_0$, donc $H_1(j\omega) \approx \frac{G_0}{-(\frac{\omega}{\omega_0})^2}$, d'où $s_2(t) = E_{02} \left| \frac{G_0}{-(\frac{\omega}{\omega_0})^2} \right| \cos\left(\omega_0 t + \arg\left(\frac{G_0}{-(\frac{\omega}{\omega_0})^2}\right)\right)$,

c'est-à-dire $s_2(t) = E_{02} \frac{G_0}{10^4} \cos(100\omega_0 t + \pi) = E_{02} \frac{G_0 R_2}{10^4 R_1} \cos(100\omega_0 t)$

Q23. À l'aide des oscillogrammes 3 (le 2 ne sert pas à grand-chose ...) et grâce à la mesure automatique de fréquence, on peut dire que $f_E \frac{2v}{c_0} = 581 \text{ Hz}$, donc $v = \frac{581 \times 340}{2 \times 40.10^3} \approx 3 \text{ m/s}$.
On retrouve l'ordre de grandeur de Q16.

Partie III - Morphologie et puissance du cycliste

Morphologie du cycliste

Course 1 :

On isole un cycliste dans le référentiel terrestre, supposé galiléen. Le **théorème de la résultante cinétique** s'écrit, en notant $\vec{F}_{prop}$ la force propulsive : $m\vec{g} + \vec{R}_n + \vec{F}_T + \vec{F}_{frott} + \vec{F}_{prop} = \vec{0}$, si on considère la vitesse constante. Les deux premières sont verticales, et se compensent, les 3 autres sont horizontales.

Il vient $\vec{F}_{prop} = -\vec{F}_T - \vec{F}_{frott}$.

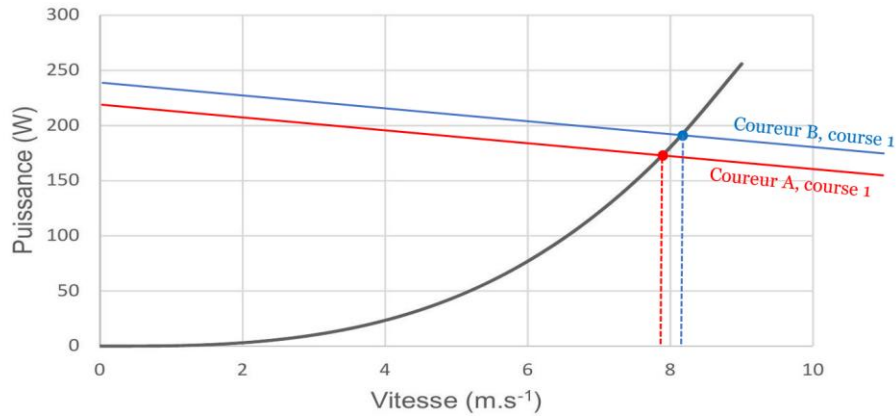
Puis en faisant le produit scalaire par le vecteur vitesse $\vec{v}$ du cycliste : $\vec{F}_{prop} \cdot \vec{v} = -\vec{F}_T \cdot \vec{v} - \vec{F}_{frott} \cdot \vec{v}$, c'est-à-dire, $P = P_T + F_{frott} v$.

Pour le cycliste A, cette relation s'écrit, en notant P_A la puissance qu'il fournit :

$P_A = P_T + F_{frott} v_{A1}$, donc $P_T = P_A - F_{frott} v_{A1} = 220 - 6v_{A1}$.

De même, pour le cycliste B, $P_B = P_T + F_{frott} v_{B1}$, donc $P_T = P_B - F_{frott} v_{B1} = 240 - 6v_{A1}$.

On trace ces deux droites sur la figure 13a (sur la 13b, on ne peut pas, compte tenu des échelles !!)

Figure 13a – P_T (W) en fonction de la vitesse v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) pour les cyclistes

Sur un parcours plat et horizontal, la masse du cycliste n'intervient pas (si le parcours se fait à vitesse quasiment constante), car elle s'élimine dans l'équation de la dynamique, en projetant sur l'axe horizontal. C'est donc le coureur le plus puissant qui gagne.

On voit bien sur la figure ci-dessus que le cycliste B a une vitesse moyenne plus grande (on lit $v_{A1} \approx 7,8 \text{ m/s}$ et $v_{B1} \approx 8,2 \text{ m/s}$). Le cycliste B gagne la course 1.

Course 2 :

On isole un cycliste dans le référentiel terrestre, supposé galiléen. Le théorème de la résultante cinétique s'écrit, en notant $\vec{F}_{prop}$ la force propulsive : $m\vec{g} + \vec{R}_n + \vec{F}_T + \vec{F}_{frott} + \vec{F}_{prop} = \vec{0}$, si on considère la vitesse constante.

En projetant sur l'axe de la route, dans le sens montant (puisque $\vec{F}_T = -F_T\vec{u}$, $\vec{F}_{frott} = -F_{frott}\vec{u}$ et $\vec{F}_{prop} = +F_{prop}\vec{u}$, en notant $\vec{u}$ le vecteur unitaire directeur de cet axe) :

Il vient $F_{prop} = F_T + F_{frott} + mg \sin \alpha$.

Puis en faisant le produit par la vitesse v (avec $\vec{v} = v\vec{u}$) du cycliste : $F_{prop}v = F_Tv + F_{frott}v + mgv \sin \alpha$, c'est-à-dire, $P = P_T + F_{frott}v + mgv \sin \alpha$.

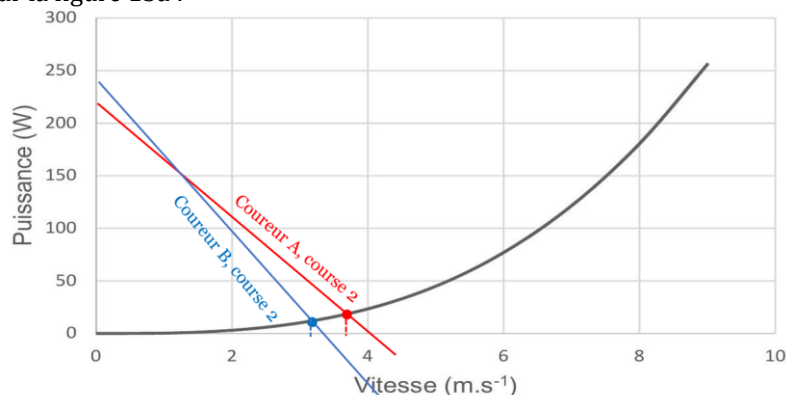
Pour le cycliste A, cette relation s'écrit, en notant P_A la puissance qu'il fournit :

$$P_A = P_T + F_{frott}v_{A2} + m_A g v_{A2} \sin \alpha, \text{ donc } P_T = P_A - F_{frott}v_{A2} - m_A g v_{A2} \sin \alpha = 220 - 55v_{A2}.$$

De même, pour le cycliste B, $P_B = P_T + F_{frott}v_{B2} + m_B g v_{B2} \sin \alpha$,

$$\text{donc } P_T = P_B - F_{frott}v_{B2} - m_B g v_{B2} \sin \alpha = 240 - 69v_{B2}.$$

On trace ces deux droites sur la figure 13a :



On voit bien sur la figure ci-dessus que le cycliste A a une vitesse moyenne plus grande (on lit $v_{A2} \approx 3,7 \text{ m/s}$ et $v_{B2} \approx 3,2 \text{ m/s}$). Le cycliste A gagne la course 2.

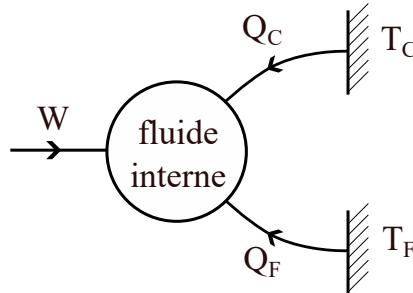
Remarque : pour la course 2, on aurait pu utiliser la figure 13b.

Le temps en heure mis par le vainqueur de la course 1 est $\Delta t_{B1} = \frac{d_1}{v_{B1}} = \frac{90}{8,2 \times 3,6} = \frac{10}{8,2 \times 0,4} = 3 \text{ h}$, en notant d_1 la distance parcourue.

Partie I - Centrale nucléaire

I.1 - Fonctionnement global

Q25. Le schéma synoptique est donné ci-dessous. On a orienté, comme on le fait quasiment toujours, toutes les grandeurs d'échange en direction du fluide interne.



Q26. Pour un moteur, l'énergie thermique s'écoule de la source chaude vers la source froide, et on en prélève une partie pour la transformer en travail mécanique, donc $Q_C > 0$, $Q_F < 0$ et $W < 0$.

Pour un récepteur, on pompe pour faire remonter de l'énergie thermique de la source froide vers la source chaude, donc $Q_C < 0$, $Q_F > 0$ et $W > 0$.

Dans une centrale nucléaire, la machine thermique fonctionne en moteur, et ce moteur entraîne un alternateur pour produire de l'énergie électrique.

Q27. Puisque nous avons noté Q_C le transfert thermique reçu algébriquement par le fluide interne (fluide caloporteur), de la part de la source chaude pendant un cycle, Q_F celui reçu de la part de la source froide et W le travail mécanique reçu par le fluide interne de la part des turbines,

le premier principe appliqué au fluide interne sur un cycle s'écrit :

$$Q_C + Q_F + W = 0 \quad (1)$$

Le rendement de Carnot étant obtenu pour une machine pour laquelle toutes les transformations sont réversibles, le second principe appliqué au fluide interne sur un cycle s'écrit :

$$\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = 0 \quad (2)$$

Puisque la machine thermique est ici un moteur, son rendement est donné par :

$$\eta = -\frac{W}{Q_C} \quad (3)$$

En divisant (1) par Q_C , on obtient :

$$1 + \frac{Q_F}{Q_C} = \eta$$

L'équation (2) donne : $\frac{Q_F}{Q_C} = -\frac{T_F}{T_C}$ ainsi, on en déduit le rendement de Carnot :

$$\eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Le rendement de la centrale vaut $\beta\eta_C$, avec $\beta = 2/3$. donc : $\eta = \beta \times \frac{T_C - T_F}{T_C} = 33\%$.

Q28. $\mathcal{P} = \frac{\delta W}{dt}$. Et puisque $\mathcal{P}_{th,C} = \frac{\delta Q_{th,C}}{dt}$, il vient :

$$\eta = -\frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_{th,C}} \quad \text{d'où} \quad \mathcal{P}_{th,C} = -\frac{\mathcal{P}}{\eta} \quad \text{avec } \mathcal{P} < 0$$

Q29. La figure 7 montre l'existence de 3 circuits de fluide : primaire, secondaire, et tertiaire (refroidissement, grâce au fleuve). La Moselle n'intervient que dans le circuit tertiaire. Si le rendement donné à la question Q27 est global, on peut raisonner sur un schéma simplifié, avec un fluide caloporteur unique, qui reçoit de la source froide (l'eau de la Moselle), une puissance thermique algébrique $\mathcal{P}_{th,F}$.

En supposant négligeables les variations d'énergie potentielle massique de pesanteur et d'énergie cinétique massique, le premier principe industriel appliqué sur l'eau de la Moselle (dans laquelle il n'y a pas de pièces mécaniques mobiles) donne la variation d'enthalpie massique entre l'amont et l'aval de la centrale : $h_s - h_e = q$, où q est le transfert thermique massique reçu par l'eau de la Moselle.

Puisque la masse d'eau qui circule dans la Moselle pendant dt est $D_V \rho_e dt$, on peut écrire l'équation précédente sous la forme : $c_e \Delta T = \frac{-\mathcal{P}_{th,F} dt}{D_V \rho_e dt}$, ou encore $\Delta T = \frac{-\mathcal{P}_{th,F}}{c_e D_V \rho_e}$.

Par ailleurs, le premier principe appliqué au fluide interne de la machine pendant un cycle, puis divisé par la durée d'un cycle, donne : $\mathcal{P}_{th,F} + \mathcal{P}_{th,C} + \mathcal{P} = 0$, d'où $\mathcal{P}_{th,F} = -\mathcal{P} - \mathcal{P}_{th,C} = -\mathcal{P} \left(1 - \frac{1}{\eta}\right)$.

Il vient :

$$\Delta T = \frac{-\mathcal{P}}{D_V \rho_e c_e} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \quad \text{avec } \mathcal{P} < 0.$$

Il reste à évaluer la puissance mécanique $\mathcal{P}$ reçue par le fluide caloporteur unique de ce modèle. Le document 1 nous donne la puissance électrique fournie $\mathcal{P}_{elec}$ par l'ensemble des 4 réacteurs de la centrale de Cattenom. Ce sont bien les 4 réacteurs qui sont responsables de la montée de la température de la Moselle, mais la puissance mécanique n'est pas la puissance électrique. Il faut tenir compte du rendement des alternateurs, $\eta_{alt} = \frac{\mathcal{P}_{elec}}{-\mathcal{P}}$, dont l'énoncé dit qu'il est proche de 1 :

$$\Delta T = \frac{\mathcal{P}_{elec}}{\eta_{alt} D_V \rho_e c_e} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

Numériquement, en prenant arbitrairement $\eta_{alt} = 1$, et $\mathcal{P}_{elec} = 4 \times 1200 \text{ MW}$:

$$\Delta T = \frac{4 \times 1200 \cdot 10^6}{300 \times 1000 \times 4000} \times (3 - 1) = \frac{12}{3} \times (2) = 8 \text{ K}$$

La valeur obtenue est élevée mais surévaluée dans la mesure où une partie des échanges thermiques avec la source froide sont effectués au niveau de la tour de refroidissement.

I.2 - Puissance de la pompe du circuit secondaire

Q30. Remarque préliminaire : la pompe provoque ici à la fois une augmentation de la pression et de la température. Il est d'ailleurs surprenant que la variation de température soit si élevée.

Quand on traite les pompes de façon purement mécanique des fluides, et avec le modèle de l'écoulement parfait, homogène et incompressible, on écrit, en régime stationnaire, que le débit volumique multiplié par la variation d'énergie mécanique volumique, est égal à la puissance mécanique reçue par le fluide de la part de la pompe : $D_v (e_{mv,s} - e_{mv,e}) = \mathcal{P}_{méca \text{ pompe}}$. Si la section de sortie est égale à celle d'entrée, on trouve donc que l'effet de la pompe est uniquement une augmentation de la pression.

En réalité, la viscosité de l'eau intervient, et une partie de la puissance mécanique apportée par la pompe, est convertie en puissance thermique. La relation précédente devient alors fausse. Et, en plus, le corps de la pompe devient chaud, et par conduction thermique, il communique du transfert thermique au liquide qui passe dans la pompe. L'énoncé dit que l'évolution de l'eau dans la pompe est adiabatique, ce qui n'est pas vrai.

Pour répondre à la question en obéissant aux consignes, on applique le premier principe industriel (version puissance) à l'eau entre l'entrée et la sortie de la pompe donne :

$$D_m (h_{s,pompe} - h_{e,pompe}) = \mathcal{P}_{méca \text{ pompe}}$$

De même que précédemment : $h_{s,pompe} - h_{e,pompe} = c_e (T_s - T_e)$. Ainsi :

$$D_m c_e (T_s - T_e) = \mathcal{P}_{méca \text{ pompe}}$$

Numériquement, on obtient : $\mathcal{P}_{\text{méca pompe}} = 600 \times 4000 \times (73 - 33) = 96 \text{ MW}$.

Notons au passage qu'en écrivant $D_v(e_{mvs} - e_{mve}) = \mathcal{P}_{\text{méca pompe}}$, on obtient

$\mathcal{P}_{\text{méca pompe}} = \frac{D_m}{\rho_e} (P_s - P_e) = 3,1 \text{ MW}$, ce qui est bien plus petit que ce que donne le calcul précédent.

Q31. Le rendement de la pompe est défini par :

$$\eta_{\text{pompe}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{méca pompe}}}{\mathcal{P}_{\text{élec pompe}}} \quad \text{soit} \quad \mathcal{P}_{\text{élec}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{méca}}}{\eta_{\text{pompe}}}$$

Numériquement, on obtient : $\mathcal{P}_{\text{élec pompe}} = \frac{96 \cdot 10^6}{0,6} = 0,16 \text{ GW}$.

Q32. Les pertes de charges dans les tuyaux ont été négligées.