

Concours Blanc TSI2

Physique-Chimie

D'après Banque PT 2022, CCINP TPC, CCS TSI 2024, CCINP TSI 2024

Durée : 4h

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est NON autorisé.

AVERTISSEMENT

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté** et la **précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

5 parties indépendantes

Partie 1 : **Compteur d'impulsions analogique**, durée environ 1h20

Partie 2 : **Suspension de voiture**, durée environ 40mn

Partie 3 : **Vidange et approvisionnement en eau de mer d'un aquarium**, durée environ 40mn

Partie 4 : **Contrôle de la qualité de l'eau d'un aquarium**, durée environ 40mn

Partie 5 : **Réfrigérateur à compresseur**, durée environ 40mn

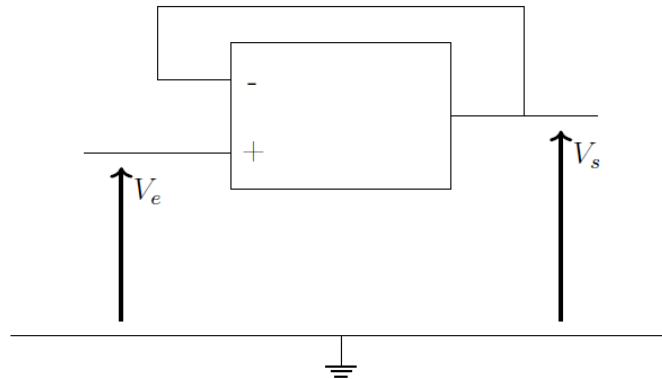
Les aides de calculs et les données sont en dernières pages.

PARTIE 1 : Compteur d'impulsions analogique

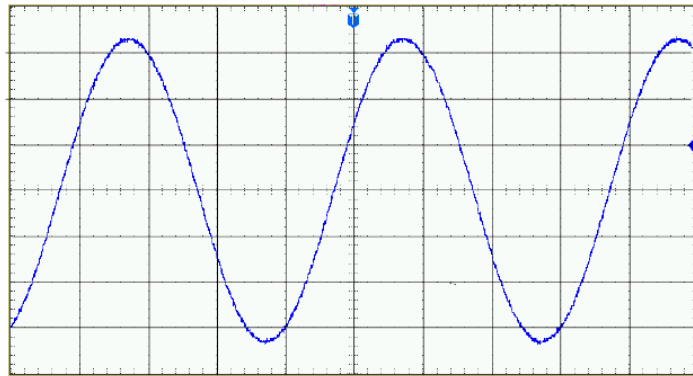
A. GENERALITES SUR LES ALI (15%)

Dans cette partie, on considère un ALI alimenté en $+15/-15$ Volts par une alimentation à point milieu. On admettra que les tensions de saturation haute et basse sont $+/-15$ Volts.

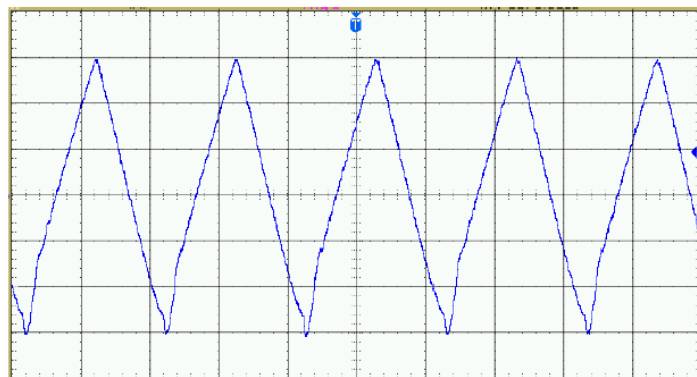
1. Représenter la tension de sortie en fonction de la tension différentielle d'entrée, en indiquant clairement les ordres de grandeur considérés (on indiquera la partie correspondant au régime linéaire et celle correspondant au régime saturé).
2. On s'intéresse au montage représenté ci-dessous. Montrer que $V_s = V_e$. Comment s'appelle ce montage ? Quel est son intérêt ? (on considérera le gain de l'ALI comme infini)



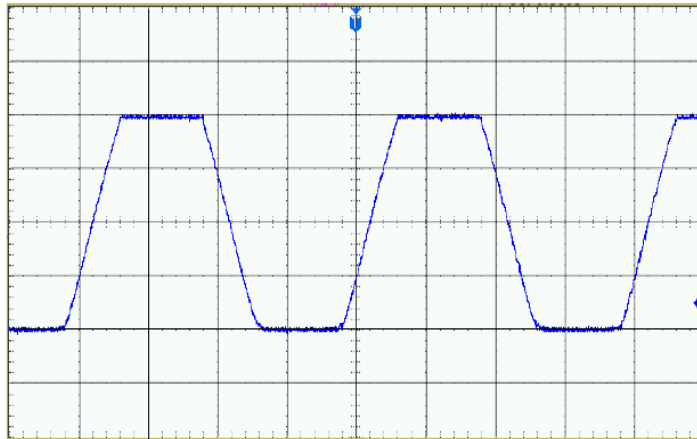
3. On alimente ce montage avec en entrée la tension dont l'oscillogramme est donné ci-dessous. Les réglages sont $2V/div$ et $100\mu s/div$, quelles sont les caractéristiques de cette tension ? Peut-on raisonnablement penser observer la même chose en sortie ?



4. Toutes choses égales par ailleurs, on augmente la fréquence et on observe en sortie la tension ci-dessous. Les réglages sont $2V/div$ et $1\mu s/div$. Quelle caractéristique de l'ALI est ainsi mise en évidence ? Evaluer sa valeur numérique.



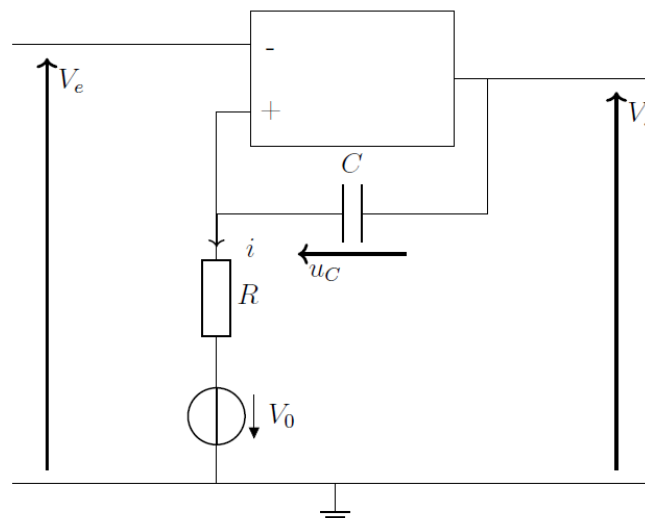
5. On revient à la fréquence de la question 3, et on ajoute une résistance de charge $R_0 = 50\Omega$ entre la sortie et la masse. Les réglages sont $2V/div$ et $100\mu s/div$. Quelle caractéristique de l'ALI est ainsi mise en évidence? Evaluer sa valeur numérique.



6. Donner le schéma d'un montage amplificateur non inverseur utilisant un ALI et 2 résistances. Etablir l'expression du gain de ce montage.
7. Proposer des valeurs pour les résistances pour avoir des gains de 10, 100 et 1000. Jusqu'à quelle valeur de gain peut-on aller avec un tel montage avec une tension d'entrée continue? Avec une tension d'entrée sinusoïdale de fréquence $10kHz$? (de simples ordres de grandeur sont attendus)
8. On alimente ce montage, en prenant un gain de 10, avec la tension d'entrée de la question 3. Dessiner l'allure de la tension attendue en sortie.

B. COMPTEUR D'IMPULSIONS (25%)

Le montage ci-dessous permet de réaliser un compteur d'impulsions analogique. L'ALI est alimenté en $+V_{cc} / -V_{cc}$ avec $V_{cc} = 7$ Volts par une alimentation à point milieu. Dans toute cette partie, il fonctionne en régime saturé et les tensions de saturation $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$ sont considérées comme égales aux tensions d'alimentation $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$. On considérera que le temps de réponse de l'ALI est négligeable (on bascule de $\pm V_{sat}$ à son opposé de manière instantanée). On prend pour ce montage $R = 10k\Omega$, $C = 650nF$ et $V_0 = 1V$.



9. Quelle est la valeur de i en régime stationnaire? De V_+ ? Justifier le fait que $V_s = -V_{sat}$ en régime stationnaire si $V_e = 0$. Quelle est alors la valeur de u_C ?

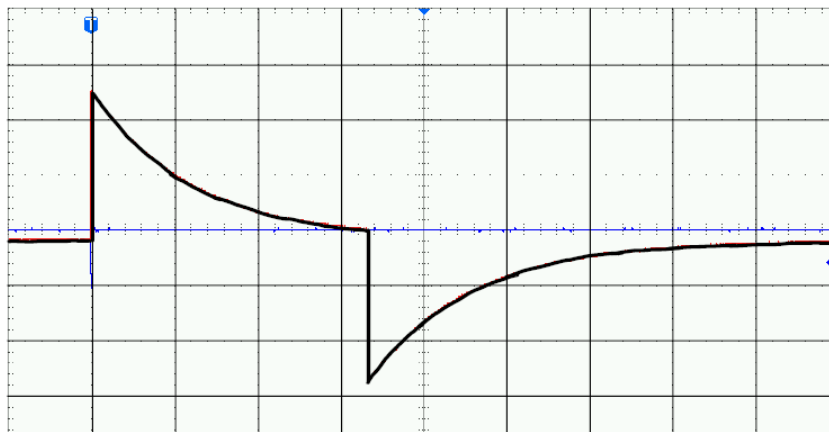
10. A $t = 0$, on envoie en entrée une impulsion *très brève* de durée Δt : V_e passe *instantanément* de 0 à -5 volts puis, un temps Δt plus tard, repasse à 0 (toujours *instantanément*). Représenter cette impulsion.
11. Que signifie *très brève* pour Δt ? (Avec quelle grandeur caractéristique du circuit faut-il comparer). En déduire une condition sur Δt . Expliquer pourquoi la valeur de u_C ne varie quasiment pas entre $t = 0$ et $t = \Delta t$.
12. Expliquer pourquoi le passage de V_e de 0 à -5 volts à $t = 0$ fait basculer la sortie à $+V_{sat}$, et pourquoi le retour à 0 à $t = \Delta t$ ne provoque pas un autre basculement.
13. Montrer que, suite au basculement (on prend $t = 0$ au moment du basculement), u_C évolue de la manière suivante :

$$u_C = 2V_{sat} e^{(-t/\tau)} - (V_{sat} + V_0)$$

Donner l'expression de τ ainsi que son sens physique.

14. A quel instant t_1 la sortie va-t-elle repasser en saturation basse? Donner l'expression en fonction de R , C , V_{sat} et V_0 et faire l'application numérique. On donne $\ln(14) \simeq 2,6$.

On donne ci-dessous un enregistrement de la tension V_+ suite à une impulsion. L'instant $t = 0$ est décalé à une division après la gauche de l'écran. Les réglages sont $5V/div$ et $5ms/div$.



15. Expliquer les deux phases observées dans l'évolution de cette tension (expliquer en particulier la valeur minimale prise par V_+).
16. Sur la même échelle de temps que l'enregistrement précédent, représenter l'évolution des tensions u_C et V_s .

Le montage reçoit en entrée des impulsions périodiques, toujours de largeur Δt et avec une période T , dans le but de pouvoir mesurer la fréquence f de ces impulsions.

17. Quelle condition doit respecter T vis-à-vis des caractéristiques du montage?
18. Représenter sur un même graphe, sans échelle mais en respectant les conditions des questions 11 et 17, les tensions V_e et V_s (sur au moins une période T et au plus deux). Indiquer clairement les trois temps caractéristiques.
19. Donner l'expression de la valeur moyenne $\langle V_s \rangle$ de V_s en fonction de V_{sat} , f et t_1 .
20. Quel type de filtre pourrait-on utiliser en aval du montage précédent pour obtenir $\langle V_s \rangle$? Préciser comment il doit être branché (faire un schéma) et proposer des valeurs pour ses composants si $f = 10 \text{ Hz}$.
21. On souhaite obtenir avec un voltmètre une tension directement proportionnelle à f . Expliquer comment compléter le montage en aval du filtre pour obtenir ce résultat.

PARTIE 2 : Suspension de voiture

Les suspensions d'un véhicule ont pour objectif principal d'assurer la meilleure tenue de route possible, de façon à garantir la sécurité des occupants.

Il existe de nombreux types de suspensions dont le rôle est notamment de contrôler le déplacement vertical d'un véhicule.

Par la suite, nous allons nous intéresser aux suspensions à ressorts disposant d'amortisseurs rhéomagnétique (**figure 12**).

Différents éléments participent à l'amortissement mais tous les effets seront ramenés au niveau des suspensions dont seul le déplacement vertical est étudié.

L'étude est menée en référentiel galiléen et l'on note $\vec{g} = -g\vec{e}_z$ l'accélération du champ de pesanteur.

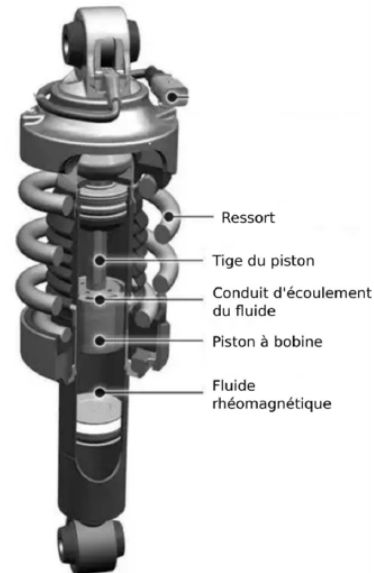


Figure 12 - Schéma d'une suspension à ressort avec amortisseur rhéomagnétique

Q33. Donner un exemple de référentiel galiléen. Préciser le ou les liens qui existent entre deux référentiels galiléens.

Le véhicule, de masse M , repose de façon équivalente sur quatre amortisseurs supposés identiques. On note m la masse supportée par un seul amortisseur.

Q34. Quelle masse m supporte un amortisseur ?

Partie I - Suspension passive

I.1 - Suspension sans amortissement

On modélise la suspension sans amortisseurs d'une voiture par un ressort de constante de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 , sur lequel repose la masse m (**figure 13**).

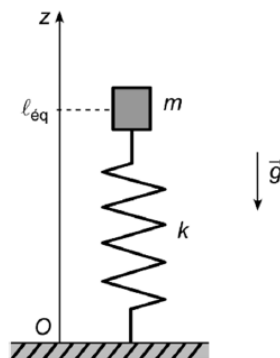


Figure 13 - Modélisation d'une suspension à ressort

Q35. Déterminer la longueur à l'équilibre du ressort, ℓ_{eq} , en fonction de g , k , ℓ_0 et de m .

Q36. Donner, en fonction de k et de m , l'expression de la pulsation propre ω_0 du système. Justifier son expression par une analyse dimensionnelle.

Une association simple de deux ressorts peut se faire en série ou en parallèle (**figure 14**). Soient deux ressorts de longueur à vide identique ℓ_0 et de constantes de raideur k_1 et k_2 . Selon l'association réalisée, la constante de raideur équivalente vaut k_s en série ou k_p en parallèle.

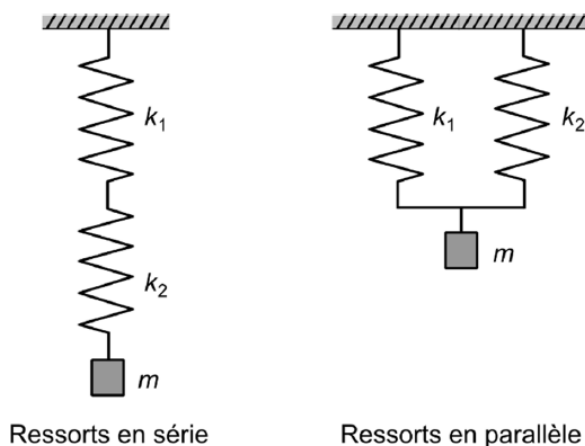


Figure 14 - Associations série et parallèle de deux ressorts

Q37. Démontrer que, pour une association de deux ressorts en parallèle, $k_p = k_1 + k_2$.

Q38. Les quatre amortisseurs étant supposés identiques, donner l'expression de la constante de raideur équivalente k_v de l'ensemble du véhicule, en fonction de la constante k de l'un d'entre eux.

Q39. En déduire l'expression de la pulsation propre de la voiture Ω_0 en fonction de ω_0 .

I.2 - Suspension avec amortissement

Pour le confort des occupants du véhicule, il est préférable d'en réduire rapidement les oscillations. Pour ce faire, la suspension comporte un dispositif amortisseur (**figure 15**) qui exerce une force de frottement fluide $\vec{F}_f$.

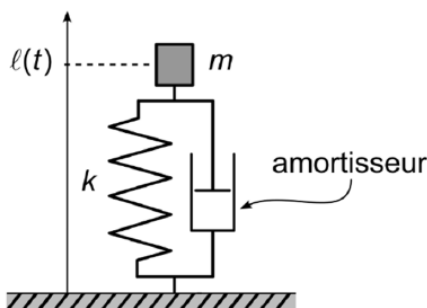


Figure 15 - Suspension avec amortisseur

La force de frottement fluide s'écrit :

$$\vec{F}_f = -h \frac{dz}{dt} \vec{e}_z$$

avec $z(t) = \ell(t) - \ell_0 + \frac{mg}{k}$ la variable repérant la position de la masse m à partir de sa position d'équilibre.

Q40. Montrer que l'équation différentielle du mouvement vertical d'un amortisseur de la voiture soutenant la masse m se met sous la forme :

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{dz}{dt} + \omega_0^2 z = 0$$

et déterminer les expressions de ω_0 et Q en fonction de k , h et de m .

Q41. En déduire, en fonction de h et de m , la valeur limite k_c de k permettant le retour le plus rapide du système à sa position d'équilibre (régime critique).

Q41. En déduire, en fonction de h et de m , la valeur limite k_c de k permettant le retour le plus rapide du système à sa position d'équilibre (régime critique).

Q42. À la construction du véhicule, le régime d'oscillations correspond au régime apériodique. Si l'on charge trop le véhicule, existe-t-il un risque de passer en régime pseudopériodique ?

L'amortisseur a été soumis à une excitation sinusoïdale de fréquence variable et l'amplitude des oscillations obtenues a été enregistrée pour différentes valeurs de m , ce qui a permis d'obtenir les courbes de résonance de la **figure 16**.

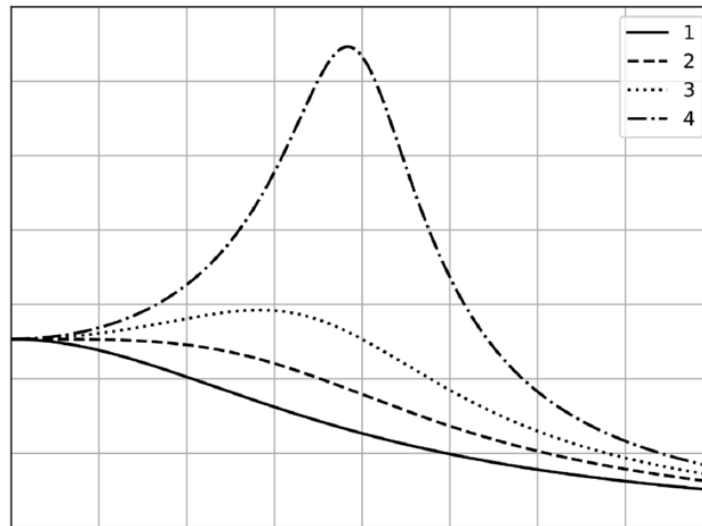


Figure 16 - Courbes de résonance

Q43. Proposer des grandeurs pour l'axe des abscisses et des ordonnées de la **figure 16**.

Q44. Expliquer quelle courbe correspond à la masse la plus élevée.

PARTIE 3 : Vidange et approvisionnement en eau de mer d'un aquarium

I.A – Vidange d'un aquarium

Q 1. On souhaite vidanger par gravité un aquarium cubique d'arête $a = 1,0$ m via une vanne située en dessous d'un aquarium. La section de la canalisation d'évacuation vaut $s = 10 \text{ cm}^2$. Estimer la durée τ nécessaire à la vidange totale de l'aquarium.

I.B – Pompage de l'eau de mer

Pour s'approvisionner en eau peu polluée, un musée puise cette ressource dans la mer à une profondeur de 50 m pour l'acheminer jusqu'à une citerne.

On choisit pour le repérage des altitudes un axe vertical ascendant (Oz) ayant pour origine O le niveau de la mer (figure 1).

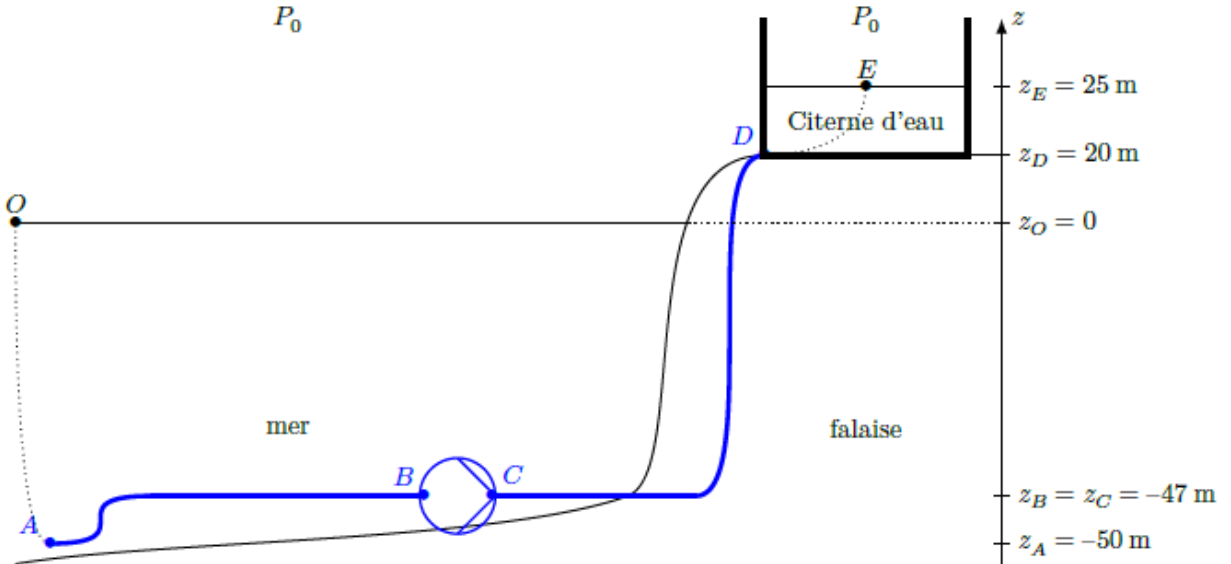


Figure 1 Pompage de l'eau de mer

Une pompe immergée fonctionne en permanence avec un débit volumique $Q_V = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Celle-ci est comprise entre les points B et C située à l'altitude $z_B = z_C = -47$ m. Le lieu de captage de l'eau se trouve au point A d'altitude $z_A = -50$ m.

On appelle *circuit d'aspiration* le tuyau reliant le point A lieu de captage au point B entrée de la pompe. Celui-ci a une longueur $L_a = 200$ m et un diamètre $D_a = 0,20$ m. De par sa configuration, le tuyau d'aspiration comporte deux coudes à 90° et d'autres irrégularités non représentées sur le schéma. On estime le coefficient de pertes de charge singulières pour le tuyau d'aspiration à $\alpha_a = 1,0$.

On appelle *circuit de refoulement* le tuyau reliant le point C , sortie de la pompe au point D , entrée de la citerne. Ce tuyau a une longueur $L_r = 100$ m et un diamètre $D_r = 0,20$ m. Il possède deux coudes à 90° et d'autres irrégularités non représentées sur le schéma. Le coefficient de pertes de charge singulières pour le tuyau de refoulement est estimé à $\alpha_r = 2,0$.

Le remplissage de la citerne se fait au point D d'altitude $z_D = 20$ m. La surface libre de l'eau de la citerne est à l'altitude $z_E = 25$ m. On considère que pression de l'air atmosphérique est uniforme et vaut $P_0 = 1,0 \times 10^5$ Pa. Les conduites d'aspiration et de refoulement ont une même rugosité $k = 1,2$ mm. Le coefficient de pertes de charge régulières est défini par

$$\lambda = \frac{2D\Delta P_{\text{reg}}}{\rho L v^2}$$

avec ΔP_{reg} représentant les pertes de charge régulières (en Pa), v la vitesse de l'écoulement (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), D le diamètre de la conduite (en m), L la longueur de la conduite (en m) et ρ la masse volumique de l'eau (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Le coefficient de pertes de charge singulières est défini par

$$\alpha = \frac{2\Delta P_{\text{sing}}}{\rho v^2}$$

avec ΔP_{sing} représentant les pertes de charge singulières (en Pa), v la vitesse de l'écoulement (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) et ρ la masse volumique (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Le nombre de Reynolds permet de prédire si un écoulement est laminaire ou turbulent. Il est défini comme

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad (\text{sans dimension}), \text{ avec :}$$

- d la taille typique de l'écoulement (ici le diamètre d'une conduite),
- η la viscosité dynamique,
- ρ la masse volumique du fluide,
- v la vitesse moyenne de l'écoulement.

- Q 2.** Aurait-il été possible de positionner la pompe au point E pour effectuer le même acheminement ? Justifier.
- Q 3.** Calculer v , la vitesse de l'eau dans les tuyaux.
- Q 4.** Calculer Re , le nombre de Reynolds associé à l'écoulement de l'eau dans les canalisations. En déduire la nature du régime d'écoulement.
- Q 5.** En expliquant la démarche, déduire à l'aide du diagramme de Moody (figure 7), le coefficient de pertes de charge régulières λ . On rappelle que la rugosité relative est définie par $\varepsilon = \frac{k}{D}$.
- Q 6.** Proposer une expérience permettant de mettre en évidence le phénomène de pertes de charge régulières.
- Q 7.** Calculer les pertes de charge régulières dans le tuyau d'aspiration $\Delta P_{\text{reg},a}$ et dans le tuyau de refoulement $\Delta P_{\text{reg},r}$.
- Q 8.** Déterminer les expressions puis les valeurs des pertes de charge singulières dans le tuyau d'aspiration $\Delta P_{\text{sing},a}$ et dans le tuyau de refoulement $\Delta P_{\text{sing},r}$.
- Q 9.** Rappeler les hypothèses nécessaires à l'application de la relation de Bernouilli.
- Q 10.** Déterminer l'expression de la différence de pression ΔP_a entre les points O et B .
- Q 11.** Déterminer l'expression de la différence de pression ΔP_r entre les points C et E .
- Q 12.** En déduire la puissance mécanique P_m de la pompe nécessaire à ce captage d'eau de mer. Commenter la valeur obtenue.

PARTIE 4 : Contrôle de la qualité de l'eau d'un aquarium

II.A – Étude préliminaire de diagrammes E-pH superposés

La figure 2 ci-dessous représente plusieurs diagrammes E-pH superposés.

- le diagramme E-pH de l'élément manganèse, représenté en ligne pleine, est limité aux espèces chimiques suivantes : Mn(s) , $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Mn}^{3+}(\text{aq})$, $\text{Mn(OH)}_2(\text{s})$ et $\text{Mn(OH)}_3(\text{s})$;
- le diagramme E-pH simplifié de l'élément iode, représenté en tirets, est limité aux espèces chimiques suivantes : $\text{I}_2(\text{aq})$, $\text{IO}_3^-(\text{aq})$ et $\text{I}^-(\text{aq})$;
- le diagramme E-pH de l'eau est tracé en pointillés.

Pour les diagramme E-pH des éléments manganèse et iode, la convention de tracé utilisée est la suivante : sur une frontière, seules les deux formes du couple oxydant-réducteur sont considérées et chaque espèce dissoute contenant le manganèse (ou l'iode) a une concentration de valeur égale à $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

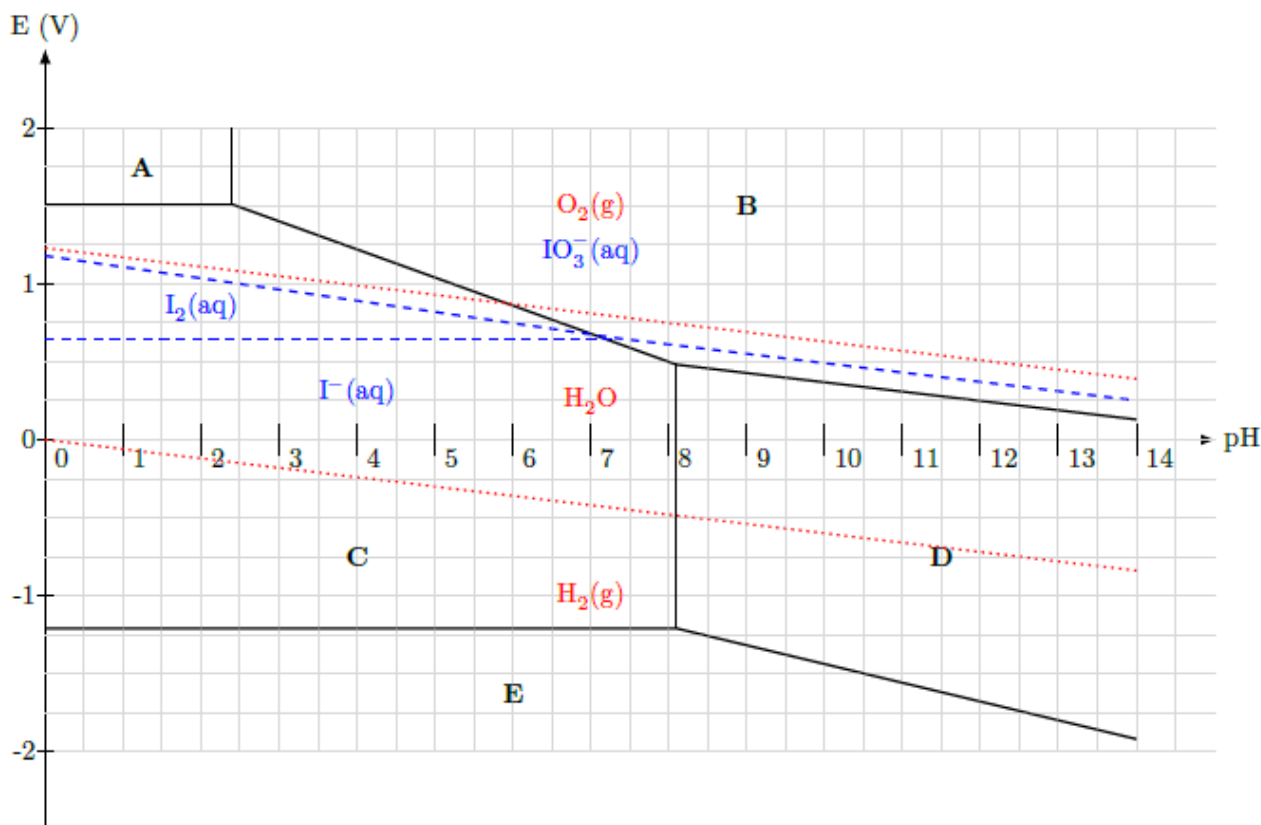


Figure 2 Diagrammes E-pH simplifiés de l'élément manganèse (en ligne pleine), de l'élément iode (en tirets) et de l'eau (en pointillés)

- Q 13.** Pour chacun des deux couples oxydant-réducteur de l'eau, préciser quelle espèce chimique est l'oxydant et laquelle est le réducteur.
- Q 14.** Déterminer le nombre d'oxydation de l'élément manganèse dans l'hydroxyde de manganèse (II) $\text{Mn(OH)}_2(\text{s})$ et de l'élément iode dans l'ion iodate $\text{IO}_3^-(\text{aq})$.
- Q 15.** Attribuer, en justifiant la réponse, les différents domaines du diagramme E-pH de l'élément manganèse, repérés par les lettres A, B, C, D et E (voir figure 2), aux différentes espèces considérées contenant l'élément manganèse.
- Q 16.** En utilisant les diagrammes E-pH de la figure 2, identifier quelles sont les espèces, contenant l'élément manganèse, stables dans l'eau en présence de dioxygène dissous.

II.B – Dosage du dioxygène dissous dans l'eau par la méthode de Winkler

Pour déterminer la concentration en dioxygène dissous dans l'eau, on utilise la méthode de Winkler dont le protocole est décrit ci-après :

Protocole

- **Étape 1 :** placer 2,1 g de chlorure de manganèse (II), de la soude en excès sous forme de pastilles solides et un barreau aimanté dans un erlenmeyer de 250 mL. Dans un grand cristalliseur, remplir l'erlenmeyer à ras bord avec l'eau à analyser (le cristalliseur permet de prévenir tout débordement de la solution). Boucher rapidement l'erlenmeyer et éviter de maintenir de l'air à l'intérieur.
- **Étape 2 :** agiter jusqu'à dissolution complète des réactifs et attendre environ trente minutes. On observe un précipité brun.
- **Étape 3 :** peser 3 g d'iodure de potassium. Verser le contenu de l'erlenmeyer dans un grand béccher contenant de l'acide sulfurique concentré et ajouter très rapidement les 3 g d'iodure de potassium (l'ajout d'acide sulfurique permet de ramener le pH de la solution à une valeur voisine de 1). Homogénéiser et agiter jusqu'à disparition totale du précipité brun et persistance d'une couleur jaune limpide.
- **Étape 4 :** prélever un volume $V_0 = 50$ mL de la solution et la doser avec une solution de thiosulfate de sodium de concentration $c_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Un indicateur coloré indique la fin du dosage.

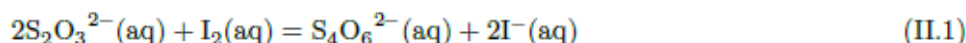
Q 17. Expliquer pourquoi il est nécessaire de se placer initialement (étapes 1 et 2 du protocole) en milieu fortement basique. On pourra justifier la réponse en prenant appui sur les diagrammes E-pH de la figure 2.

Q 18. Identifier la nature du précipité brun formé et écrire l'équation qui modélise sa formation (étape 2 du protocole). Proposer une explication à la nécessité d'attendre trente minutes.

Q 19. Écrire les équations qui modélisent les transformations chimiques qui interviennent lors du passage en milieu acide et de l'ajout d'iodure de potassium (étape 3 du protocole). On pourra justifier la réponse en prenant appui sur les diagrammes E-pH de la figure 2.

Q 20. Expliquer pourquoi l'iodure de potassium est ajouté en large excès.

Q 21. L'équation de la réaction support du titrage qui intervient lors de l'étape 4 est la suivante :



En déduire que la concentration en dioxygène dissous dans l'eau analysée, exprimée en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et notée $c(\text{O}_2)$, est donnée par la relation suivante :

$$c(\text{O}_2) = \frac{c_1 V_1}{4V_0}, \quad (\text{II.2})$$

où V_1 désigne le volume de solution de thiosulfate de sodium versé à l'équivalence et $V_0 = 50$ mL le volume prélevé au début de l'étape 4 du protocole.

Q 22. Exprimer, en micromoles par kilogramme d'eau, la valeur de la concentration $c(\text{O}_2)$ dans le cas où $V_1 = 8,3$ mL.

Q 23. Commenter la valeur de la concentration obtenue à la question 22 au regard de la figure 3 et sachant qu'on considère que la vie marine devient difficile lorsque la valeur de la concentration en dioxygène dissous devient inférieure à 90 micromoles de dioxygène par kilogramme d'eau.

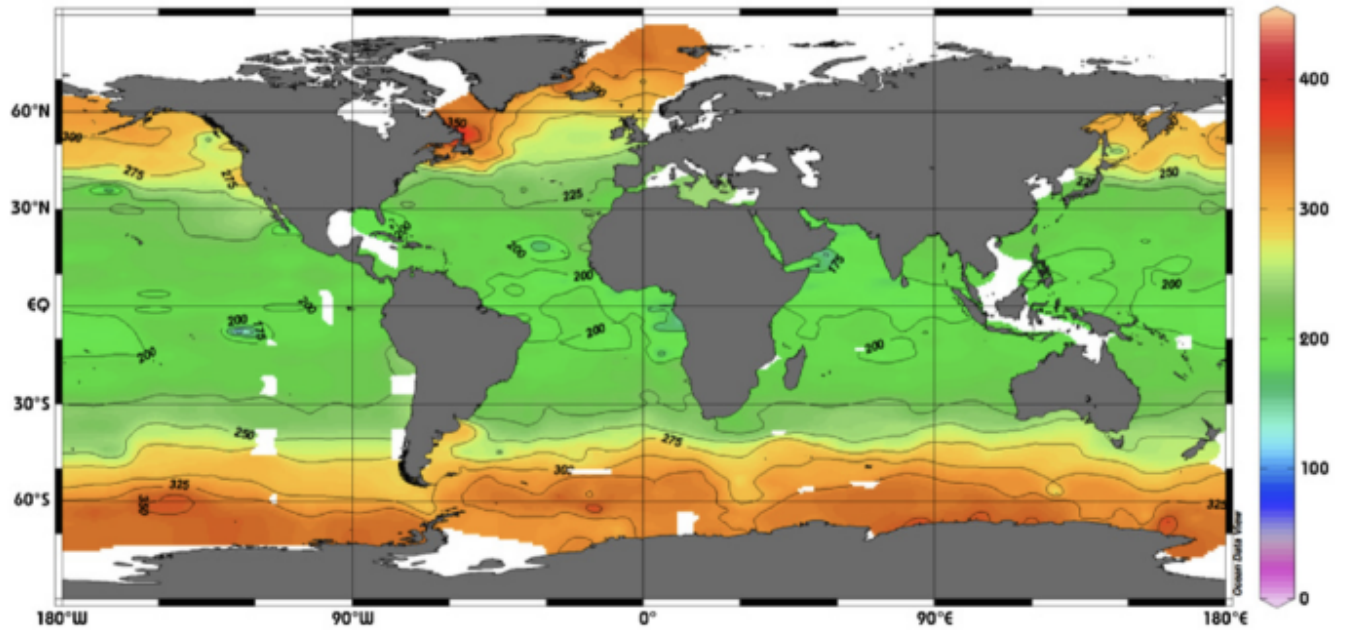


Figure 3 Concentration en dioxygène dissous dans les eaux de surface océaniques. L'échelle à droite de la figure indique les valeurs de concentration en micromoles de dioxygène par kilogramme d'eau (données eWOCE – <https://www.ewoce.org/>)

PARTIE 5 : Réfrigérateur à compresseur

Le réfrigérateur à compresseur est le réfrigérateur le plus courant dans les cuisines. Comment le reconnaître ? Si votre réfrigérateur fait du bruit de temps en temps, c'est justement à cause du compresseur !

Un réfrigérateur a pour but de refroidir les aliments qu'il contient pour permettre leur conservation. Pour cela, un fluide va décrire un cycle thermodynamique appelé cycle frigorifique.

On se propose, dans cette partie, d'étudier un modèle thermodynamique simple du fonctionnement du réfrigérateur.

On considère une machine frigorifique ditherme cyclique basée sur le principe de fonctionnement suivant : " Un fluide frigorigène circule entre les différents organes de la machine. Mis en mouvement par le compresseur, ce fluide refroidit la source froide et réchauffe la source chaude ".

Un schéma simplifié de ce réfrigérateur est donné **figure 6**.

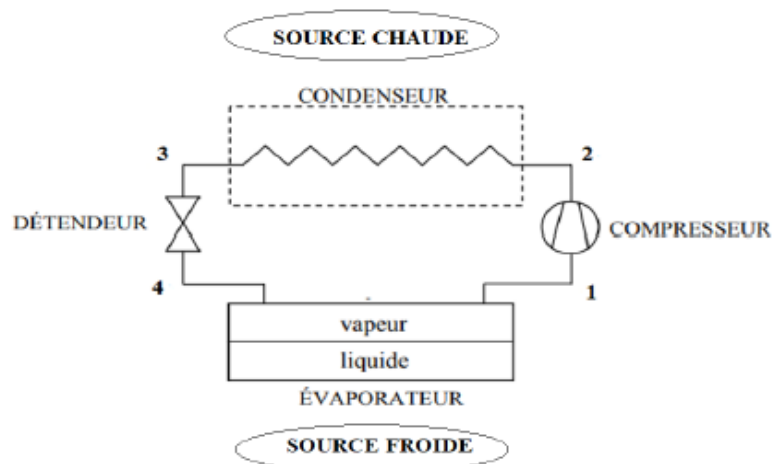


Figure 6 - Schéma simplifié du réfrigérateur

On notera Q_f et Q_c les transferts thermiques reçus algébriquement par le fluide de la part, respectivement de la source froide et de la source chaude au cours d'un cycle modèle.

On notera W , le travail reçu par le fluide au cours d'un cycle.

Q35. Donner et justifier les signes des quantités algébriques suivantes : Q_f , Q_c et W .

Q36. Sachant que le réfrigérateur est installé dans la cuisine, indiquer où se situe la source froide et où se situe la source chaude.

Le condenseur est la série de longs et fins tubes noirs situés généralement sur la face arrière du réfrigérateur.

Q37. Sans utiliser le diagramme enthalpique de la **figure 7**, indiquer si, lorsque le fluide traverse le condenseur, sa température est supérieure, inférieure ou égale à celle de l'air ambiant.

La **figure 7** représente le diagramme enthalpique (pression P en fonction de l'enthalpie massique h) d'un fluide frigorigène (ici le R134a). Les transformations au cours d'un cycle sont :

- 1 $\rightarrow$ 2 : compression adiabatique réversible du fluide dans le compresseur calorifugé ;
- 2 $\rightarrow$ 3 : échange thermique isobare à haute pression P_c dans le condenseur ;
- 3 $\rightarrow$ 4 : détente isenthalpique dans le détendeur ;
- 4 $\rightarrow$ 1 : échange thermique isobare à basse pression P_g dans l'évaporateur.

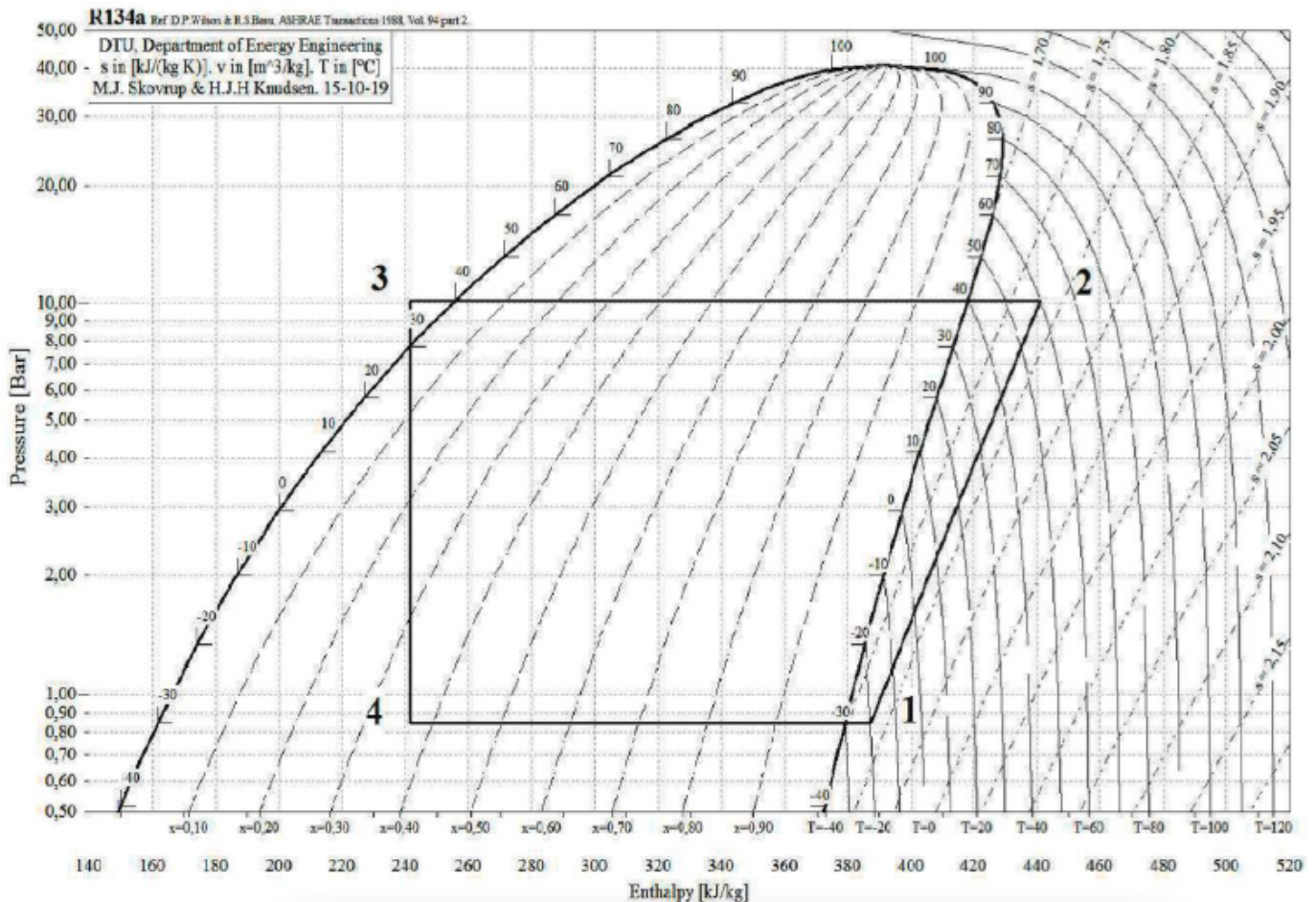


Figure 7 - Cycle suivi par le fluide R134a dans le diagramme enthalpique

Q38. En utilisant le diagramme enthalpique ci-dessus, répondre aux questions suivantes.

- Donner les valeurs des pressions P_e au sein de l'évaporateur et P_c au sein du condenseur.
- Déterminer le titre massique x_v en vapeur au point 4.
- Donner la valeur de la température T_2 en sortie du compresseur.

Q39. Donner l'expression générale du premier principe lorsqu'il est appliqué à un fluide en écoulement stationnaire unidimensionnel en nommant les grandeurs introduites.

Dans la suite des questions, on négligera les variations d'altitude et de vitesse du fluide.

Q40. Déterminer les transferts thermiques massiques reçus par le fluide de la part de la source froide q_f et de la source chaude q_c , ainsi que le travail indiqué (ou utile) massique w reçu au cours du cycle.

Q41. Montrer que l'efficacité e_1 de ce réfrigérateur est proche de 3,0.

Q42. En appliquant les deux principes de la thermodynamique à un cycle réversible, montrer que l'expression de l'efficacité de Carnot pour une machine frigorifique fonctionnant entre une source chaude T_c et une source froide T_f , est donnée par :

$$e_{\text{Carnot}} = \frac{T_f}{T_c - T_f}.$$

Q43. Donner une valeur numérique approchée de l'efficacité de Carnot du réfrigérateur dans le cas d'une source froide à la température $T_f = 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ et d'une source chaude à la température $T_c = 23 \text{ }^\circ\text{C}$. Comparer à la valeur trouvée pour le cycle précédent. Le résultat de cette comparaison était-il prévisible ? Justifier la réponse apportée.

Du givre peut se former à l'intérieur du réfrigérateur : en effet, l'évaporateur étant très froid, la vapeur d'eau se transforme en fines couches de glace appelée givre.

Q44. Nommer le changement d'état relatif à cette formation du givre.

Si on laisse s'accumuler une couche de givre, on admet que l'entropie créée S_c augmente pour un même transfert thermique pris à la source froide lors d'un cycle.

Q45. Montrer que l'on obtient pour un cycle réel la relation suivante :

$$\frac{Q_c}{Q_f} = -\alpha \frac{T_c}{T_f}$$

où α est une constante à préciser en fonction de T_f , Q_f et de S_c .

En prenant une valeur de α égale à 1,55, l'efficacité du réfrigérateur est à présent égale à $e_2 = 1,50$.

Q46. En déduire la surconsommation électrique du réfrigérateur due à la présence de givre. On pourra donner le résultat en pourcentage.

Aides de calcul :

Partie 1 :

$$6,5 \cdot \ln(14) = 17 ; \ln(14) = 2,6$$

Partie 3 :

$$1,1/3,14 = 0,35 ; \sqrt{(2/9,8)} = 0,45 ; 4/360 = 1,1 \cdot 10^{-2} ; 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 9,8 \cdot 2,5 \cdot 10^3 = 2,8 \cdot 10^3 ;$$

$$\frac{1}{2} \cdot 10^3 \cdot (0,35)^2 = 63$$

Partie 4 :

$$5 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 / 200 = 2,08 \cdot 10^{-4}$$

Partie 5 :

$$276/20 = 13,8$$

Données et formulaire

Accélération de la pesanteur	$g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Masse volumique de l'eau	$\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Viscosité de l'eau	$\eta = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Masse volumique du verre	$\rho_v = 2,5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Conductivité thermique du verre	$\lambda_v = 1,1 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
Capacité thermique massique du verre	$c_v = 720 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Couples oxydant-réducteur et potentiels standards À 298 K et pour pH=0 :

Couple oxydant-réducteur	Valeur du potentiel standard
$\text{Mn}^{3+}(\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$	1,51 V
$\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}$	1,23 V
$\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^{-}(\text{aq})$	0,62 V
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$	0,08 V

Masses molaires

Espèce chimique	Valeur de la masse molaire
Soude (NaOH)	$40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Chlorure de manganèse (II)	$126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Dioxygène (O_2)	$32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Iodure de potassium (KI)	$166 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\cos a \cos b = \frac{1}{2}(\cos(a - b) + \cos(a + b))$$

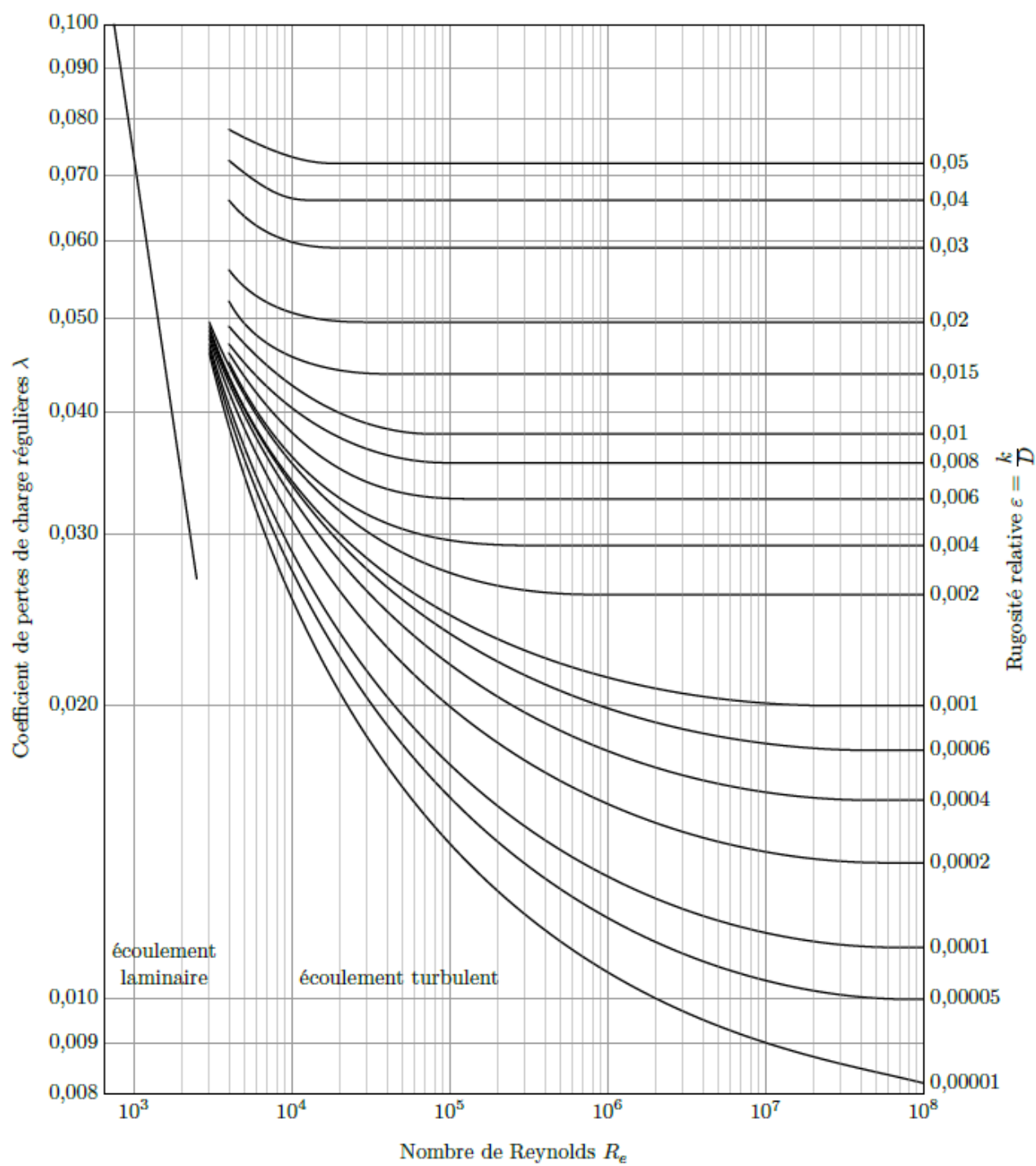


Figure 7 Diagramme de Moody

• • • FIN • • •

Rapports de jury sur le Concours Blanc de physique-chimie

Sujet Banque PT modélisation 2022 :

S'il n'est pas indispensable de traiter toutes les questions dans l'ordre, il faut limiter les sauts entre différentes parties et surtout les indiquer clairement. On rappelle que le barème récompense le fait de traiter de manière cohérente des parties significatives du sujet.

Rapport détaillé - Partie physique

Moyennement bien traitée dans l'ensemble. Souvent peu de choses après 14, certains abandonnent avant. Tendance à appliquer des formules sans réfléchir à la situation. Les ordres de grandeurs et les phénomènes expérimentaux doivent être connus.

1. Généralement correct pour ce qui est de l'allure, les valeurs de début et fin du domaine linéaire sont (très) rarement donnés. 2. Le plus souvent satisfaisant, la compréhension de l'intérêt du montage suiveur est très variable.
3. La lecture des valeurs sur l'oscillogramme est bien faite dans la majorité des copies, les remarques sur le fait d'avoir le même signal en sortie du suiveur sont souvent erronées.
4. Bien traité dans de nombreuses copies, mais un nombre assez important de candidats ne relèvent pas la manifestation du slew rate.
5. De nombreuses confusions entre saturation en tension et saturation en courant.
6. Le schéma de l'amplificateur non inverseur et le calcul du gain correspondants sont souvent bien faits, il y a quand même un certain nombre de schémas faux (rétroaction sur l'entrée + notamment).
7. Question assez étonnamment mal traitée même avec l'expression correcte du gain précédent, les valeurs des résistances proposées sont peu réalistes (1Ω ...) et les limitations imposées (gain de l'AO en régime statique, produit gain-bande passante) sont souvent ignorées.
8. Question plutôt bien traitée lorsqu'elle était abordée.
9. Les candidats ont rencontré de nombreuses difficultés sur cette question, le jury insiste sur la nécessité de raisonner sur le montage proposé et de ne pas chercher à appliquer des formules sans réflexion préalable.
10. Question simple généralement bien traitée.
11. Des références vagues à un temps caractéristique du circuit (ou de l'AO) n'étaient pas suffisantes, la mention explicite de la constante de temps $\tau = RC$ était attendue. Des réponses qui mentionnaient le temps de charge / décharge du condensateur pouvaient également convenir.
12. Dans l'ensemble des réponses trop vagues, une justification correcte requerrait ici une suite de raisonnements logiques en précisant clairement les grandeurs électriques concernées.
13. Question abordée dans seulement un peu plus de la moitié des copies, alors que la réponse (à justifier) était donnée.
14. Question très classique qui, comme la précédente, n'a pas été assez abordée. Les réponses données étaient dans l'ensemble satisfaisantes.
15. Assez peu de réponses, les commentaires étaient ici trop vagues.
16. Peu abordé, mais quelques réponses pertinentes.
17. Réponse souvent trop expéditive, il est demandé aux candidats d'explicitier brièvement leur réponse.
18. Des réponses très pertinentes, sinon peu abordé et parfois sans conviction.
19. Assez bien réussie quand elle était abordée, justifications souvent trop succinctes.
20. Très peu abordée, mais des réponses pertinentes.
21. Quasiment jamais traitée, quelques bonnes réponses.

Sujet CCS TSI 2024 :

Les trois parties ont été en moyenne réussies de manière équivalente par les candidats. Dans la 1re partie, c'est l'application de la relation de Bernoulli avec pertes de charge qui a posé le plus de problèmes. La 1re question portant sur la durée de vidange, relativement classique, était présentée sous forme de question non guidée. Très peu de candidats ont présenté correctement et de manière complète la méthode à suivre pour répondre à cette question. Dans la 2e partie, le placement des espèces chimiques dans un diagramme potentiel-pH est plutôt bien compris. L'exploitation de ce diagramme pour déterminer la stabilité de différentes espèces l'est en revanche beaucoup moins. Le dosage en lui-même, relativement complexe, a dérouté la majeure partie des candidats, qui n'ont pas réussi à suivre les différentes étapes dans le diagramme potentiel-pH.

I.A- Vidange d'un aquarium

Q1. Dans les questions « peu ou pas guidées », il est bien indiqué qu'il est souhaitable d'illustrer la démarche par un schéma. Le simple fait de réaliser un schéma descriptif apportait donc déjà une bonification. Un certain nombre de candidats retrouvent correctement la formule de Torricelli donnant la vitesse de sortie de l'eau. Peu en revanche posent bien l'équation différentielle que satisfait la hauteur d'eau dans le récipient, en tant que fonction du temps. Beaucoup de résultats numériques aberrants pour la durée de vidange sont obtenus au final.

I.B- Pompage de l'eau de mer

Dans cette partie, il fallait bien comprendre qu'on s'intéressait au début au calcul des pertes de charge, à la fois singulières et régulières, dans les conduites en amont et en aval de la pompe. Lorsqu'il s'agissait d'écrire la relation de Bernoulli, il devait donc être évident que ces pertes allaient être prises en compte. Cela n'a pas semblé l'évidence pour beaucoup de candidats.

Q2. Un nombre minime de candidats pensent à mentionner le problème de la cavitation, ou à minima l'impossibilité d'aspirer de l'eau sur une hauteur supérieure à un certain seuil.

Q3. Cette question aisée a conduit certains candidats à réaliser deux calculs de vitesse, l'un pour le circuit d'aspiration, l'autre pour le circuit de refoulement, alors que les vitesses étaient évidemment les mêmes du fait de l'égalité des diamètres des tuyaux. Quelques confusions sont également à noter pour le calcul de la section d'un tuyau.

Q4. Question hors-programme qui a donc été « neutralisée » : aucun point n'a été attribué dans le barème à cette question, même en cas de réponse correcte par le candidat.

Q5. En lien avec la question précédente hors-programme, les candidats qui ont expliqué le principe de lecture graphique sur le diagramme de Moody ont bénéficié des points, indépendamment de la valeur du nombre de Reynolds utilisé.

Q6. Beaucoup de confusions entre mise en évidence des pertes de charge singulières et régulières. Un schéma accompagné d'explications était attendu.

Q7. En lien avec la question hors-programme, seul l'exposé du principe de calcul littéral a été valorisé, indépendamment de toute application numérique.

Q8. Question plutôt bien traitée mais avec parfois des résultats numériques aberrants. Rappelons que la conversion en bar d'une pression, ou ici d'une perte de charge, apporte un éclairage sur sa valeur.

Q9. à Q11. Entre les points proposés pour appliquer la relation de Bernoulli, des pertes de charge existaient. Il était dès lors indispensable d'en tenir compte dans l'écriture de la relation de Bernoulli généralisée. Beaucoup de candidats ne l'ont pas fait, et ceux qui y pensent le font souvent avec des erreurs d'homogénéité parfois manifestes.

Q12. Question finale très peu réalisée correctement. Des résultats numériques aberrants qu'il ne faut alors pas manquer de mettre en doute.

II- Contrôle de la qualité de l'eau de l'aquarium

II.A- Étude préliminaire de diagrammes E-pH superposés

Q13. Le couple autre que O_2/H_2O , donné dans l'énoncé, a la plupart du temps été bien identifié, soit de mémoire, soit en se basant sur le diagramme E-pH.

Q14. Le détail du calcul du nombre d'oxydation était attendu, avec notamment la mention explicite des nombres d'oxydation des éléments hydrogène et oxygène.

Q15. Question plutôt bien traitée avec une justification correcte du positionnement relatif des différentes espèces, sauf parfois pour le positionnement à nombre d'oxydation égal qui pose davantage de difficulté.

Q16. Le fait d'expliquer le principe de détermination de la stabilité d'une espèce, en utilisant des diagrammes E-pH superposés, a été valorisé. Beaucoup de candidats se sont contentés de décrire la stabilité dans l'eau, en omettant l'importance de la stabilité conjointe avec le dioxygène, cruciale pour le dosage qui suivait.

II.B- Dosage du dioxygène dissous dans l'eau par la méthode de Winkler

Q17. Le fait que l'espèce C, stable dans l'eau en présence de dioxygène dissous, devienne par passage en milieu basique l'espèce D, instable et réagissant avec le dioxygène, a d'emblée posé de gros problèmes à la majeure partie des candidats.

Q18. Dès lors, l'identification du précipité brun n'a pas été concluante pour la plus grande partie des candidats. La nécessité d'attendre est certes liée au fait qu'une réaction est lente, mais la mention explicite de la problématique de la cinétique était attendue.

Q19. Question pour laquelle beaucoup de candidats étaient déjà perdus dans la compréhension de la succession des étapes du dosage.

Q20. Question très mal interprétée en général.

Q21. Le facteur 4 au dénominateur dans l'expression de la concentration en O_2 se devait évidemment d'être soigneusement justifié, ce qu'ont fait correctement les meilleurs candidats. L'écriture en terme de quantités de matière du passage à l'équivalence doit être énoncée de manière plus correcte.

Q22. et Q23. Questions indépendantes de ce qui précédait, qui ont permis aux candidats qui ont lu l'énoncé jusqu'au bout de bénéficier de points faciles, à condition de bien respecter l'unité imposée.

Sujet CCINP TSI 2024 :

Les correcteurs ont corrigé quelques très bonnes copies, mais malheureusement trop rares.

Beaucoup de candidats ne font pas suffisamment d'efforts sur l'orthographe et la présentation des copies. Il est recommandé de soigner l'écriture et la présentation en soulignant ou en encadrant les résultats obtenus à la règle. Pour plus de clarté, il est conseillé de séparer visiblement les différentes questions entre elles en sautant par exemple une ou deux lignes.

Les candidats doivent répondre, autant que possible, aux questions dans l'ordre. En laissant des zones blanches pour les questions non traitées, cela permet de reprendre les questions non traitées initialement sans tout mélanger.

Il est rappelé qu'une partie de la note attribuée prend en compte la rigueur, l'honnêteté scientifique, l'orthographe et la présentation. Cette partie est loin d'être négligeable.

Lorsque les résultats d'une question sont donnés, cela permet aux candidats de vérifier un résultat ou bien de fournir un point d'entrée supplémentaire dans l'exercice. Ces résultats ne sont pas donnés pour que les candidats essaient de tricher dans la démarche pour retrouver à tout prix le résultat attendu. Le manque d'honnêteté est du plus mauvais effet et dessert les candidats.

Certaines copies laissent perplexes lorsqu'on sait qu'elles font suite à au moins deux années de CPGE.

Erreurs les plus fréquentes

Au-delà des erreurs scientifiques, on lit souvent des réponses contenant un argument mais celles-ci restent évasives sans répondre réellement à la question posée. On se demande alors si le candidat, possédant un morceau seulement de la réponse, a vraiment compris ce qu'on lui demandait.

Les candidats doivent porter une attention particulière à ce que leur argumentation vienne clairement répondre à la question posée, sans laisser de doute au correcteur.

Remarques sur le sujet, le texte et sa compréhension

Le sujet était clair et explicite sur ce qui était demandé. Il ne présentait pas de difficulté particulière et les candidats ont généralement bien répondu aux questions posées.

Toutefois, de nombreuses copies ne répondent que partiellement aux énoncés (ex. Q3, Q17, Q25, Q27, Q35, Q39, Q48) et oublient des schémas demandés ou bien ne justifient pas les résultats bien que cela soit explicitement demandé.

Problèmes ou difficultés rencontrés lors de la correction

De trop nombreuses copies sont trop peu rédigées. Peu de candidats introduisent le système sur lequel ils appliquent les principes de la thermodynamique, les lois utilisées (loi de Faraday, loi d'Ohm par exemple) ne sont quasiment jamais énoncées et les raisonnements sont rarement développés, ce qui impose au correcteur de faire beaucoup d'effort pour identifier les étapes de raisonnement.

Dans de trop nombreux cas, les méthodes mobilisées par les candidats semblent suées, toutefois, leur application pâtit d'une maîtrise assez superficielle des outils de calcul ou des hypothèses sous-jacentes.

Les correcteurs le répètent tous les ans mais lorsque la question demande de « justifier », la réponse en elle-même doit absolument être complétée par une explication sous peine de ne pas récolter la totalité des points attribués.

Les questions de chimie offrent souvent la possibilité de gagner de nombreux points sans être trop difficiles, il ne faut donc surtout pas négliger ces parties de programme.

De nombreuses questions sont notées sur plusieurs points. Le candidat ne doit pas hésiter à écrire son raisonnement même lorsque celui-ci n'aboutit pas, des éléments de réponse intéressants peuvent être malgré tout valorisés.

En physique-chimie, il ne s'agit pas que d'utiliser une formule : il faut aussi justifier, rédiger et commenter.

Q38. Les mesures des pressions sont très souvent correctes. Quelques erreurs sur la détermination du titre massique.

Q39. Souvent abordée, cette question n'est quasiment jamais correcte dans son ensemble : soit l'énoncé est erroné (confusion avec le premier principe infinitésimal ou même le premier principe pour une transformation finie), soit les grandeurs sont incorrectement nommées.

Q43. De nombreux candidats oublient de convertir la température en Kelvin.

Q44. Le changement d'état mis en jeu n'était ni une solidification ni une sublimation mais bien une condensation.

Corrigé concours blanc

Partie 1 : Compteur d'impulsions analogique

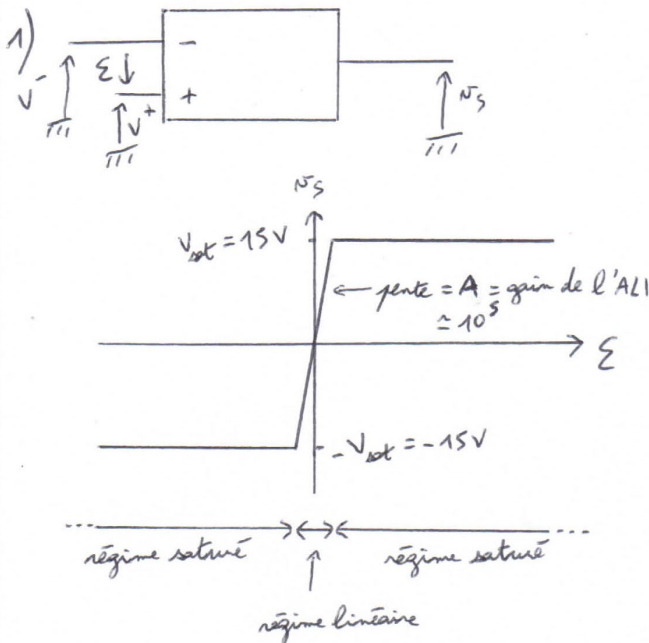
BANQUE PT 2022

EPREUVE D'INFORMATIQUE ET MODELISATION
DE SYSTEMES PHYSIQUES

PREMIERE PARTIE :

Suivi de la consommation d'eau d'une habitation
Compteur d'impulsions analogique

A) Généralités sur les ALI :



2) $V^+ = V_e$ et $V^- = V_s$

* il y a une boucle de rétroaction entre la sortie de l'ALI et l'entrée inverseuse, c'est un gage de stabilité du régime linéaire.

* L'ALI est de gain infini, donc en régime linéaire, $\Sigma = 0$, $V^+ = V^-$

$\Rightarrow \boxed{V_s = V_e}$ en régime linéaire

* C'est le montage suiveur.

* Ce montage a une très grande impédance d'entrée (infinie si l'ALI est idéal) et une très faible impédance de sortie (nulle si l'ALI est idéal). Il permet l'adaptation d'impédance entre 2 étages successifs d'un circuit.

3) $\rightarrow$ tension sinusoïdale

$\rightarrow$ l'amplitude correspond à 3,3 divisions

$\Rightarrow$ amplitude = 6,6 V (calibre 2V/div)

$\rightarrow$ la période correspond à 4 carreaux

$\Rightarrow$ période $T = 400 \mu s$ (calibre 100 μs /div)

$\Rightarrow$ fréquence $f = \frac{1}{T} = 2,5 \text{ kHz}$

Ici, l'ALI fonctionnera bien en régime linéaire

car : $\rightarrow$ l'amplitude = 6,6 V $< V_{sat} = 15V$, donc pas de saturation en tension

$\rightarrow f = 2,5 \text{ kHz}$, fréquence raisonnable / vitesse de balayage de l'ALI (slew rate)

$$\text{pente} \approx \frac{\text{amplitude}}{\frac{T}{4}} = \frac{6,6}{\frac{400}{4}} = \frac{6,6}{100} = 0,1 V/\mu s$$

$$< S = 1 \text{ à } 10 V/\mu s$$

$\rightarrow$ pas de saturation en courant de sortie

car il n'y a pas de charge en sortie $\Rightarrow i_s = 0$

$\Rightarrow V_s = V_e$ (régime linéaire)

$\Rightarrow$ on observera la même chose en sortie.

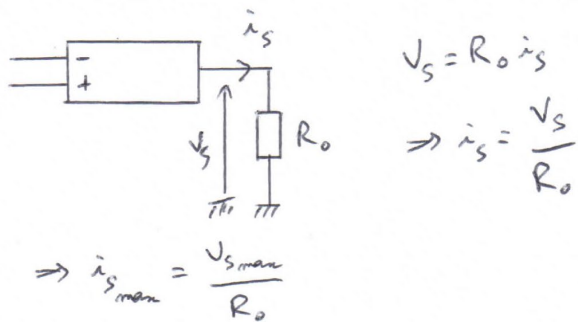
4) On met ici en évidence une limitation de l'ALI : la vitesse de balayage est limitée : il ne peut donner une pente supérieure à une valeur limite S . C'est une limitation en fréquence du comportement linéaire. On parle de "slew rate".

Le signal descend de 6 divisions verticales en un peu plus d'une division horizontale.

$$S = \frac{6 \times 2 V}{1 \times 1 \mu s}$$

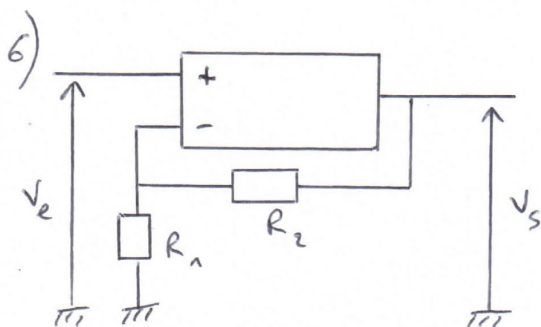
$$\Rightarrow \boxed{S \approx 12 V/\mu s}$$

5) C'est la saturation de l'intensité de sortie qui est mise en évidence ($i_s \leq i_{s,max}$).



$\alpha V_{s, \max} = 2,0 \text{ divisions} \times 2 \text{ V/div} = 4,0 \text{ V}$
 $(< V_{\text{sat}}, \text{ ce n'est pas de la saturation en tension! })$

$$\Rightarrow i_{s, \max} = \frac{4,0}{50} \text{ A} \Rightarrow i_{s, \max} = 80 \text{ mA}$$



$\ast \text{ ALI idéal} \Rightarrow i^+ = i^- = 0$
 $i^- = 0 \Rightarrow V^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$

$\uparrow$
diviseur de tension

$\ast$ il y a une boucle de rétroaction entre la sortie de l'ALI et l'entrée inverseuse, c'est un gage de stabilité du régime linéaire.

$\ast$ l'ALI est de gain infini, donc en régime linéaire

$$V^+ = V^-$$

$\ast$ or $V^+ = V_e \Rightarrow V_e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$

$\ast V_s = A_o V_e$ avec $A_o = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

A_o est le gain de ce montage.

7) $\ast A_o = 10 : R_1 = 1 \text{ k}\Omega, R_2 = 9 \text{ k}\Omega$
 $A_o = 100 : R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega, R_2 = 99 \text{ k}\Omega$
 $A_o = 1000 : R_1 = 100 \Omega, R_2 = 99,9 \text{ k}\Omega$

$\ast$ On sait que pour un tel montage, le produit (gain $\times$ bande passante) est constant : le produit du gain statique A_o ($A_o = 1 + \frac{R_2}{R_1}$) par la fréquence de coupure f_c du système bouclé est identique à celui de l'ALI seul ($A \approx 10^5$ et $f_o \approx 10 \text{ Hz}$) : $A_o f_c = A f_o$.

$\ast$ Avec une tension d'entrée continue (fréquence nulle), il n'y a pas cette limitation en fréquence, on peut donc avoir un gain très grand. Le gain sera toutefois limité par le gain de l'ALI seul : $A \approx 10^5 \Rightarrow A_o \leq 10^5$

$\ast$ Pour $f = 10 \text{ kHz}$, il faut $f \ll f_c$ (fréquence de coupure). Prenons $f_c \gtrsim 100 \text{ kHz}$.

$$A_o f_c = A f_o \Rightarrow A_o = A \frac{f_o}{f_c}$$

$$\Rightarrow A_o \leq 10^5 \frac{10}{100 \cdot 10^3} \approx 10$$

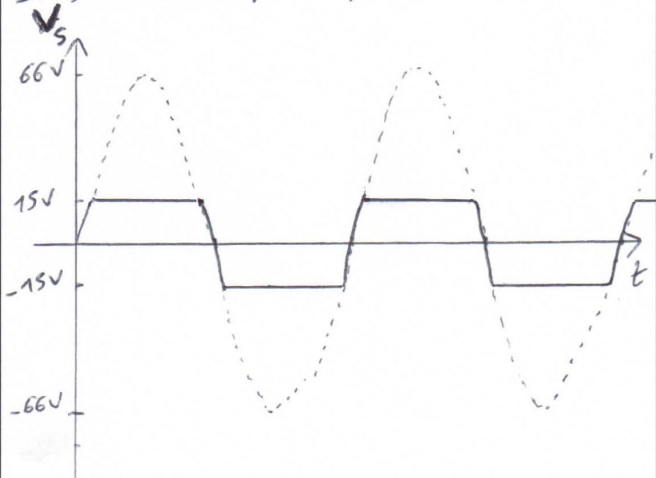
$$\Rightarrow A_o \leq 10$$

8) L'amplitude de la tension d'entrée est 6,6 V.

$$A_o = 10 \Rightarrow V_{s, \max} = 10 \times 6,6 = 66 \text{ V} > V_{\text{sat}}$$

impossible, il y a saturation en tension

$\Rightarrow$ se sature dès que $|V_s| > 15 \text{ V}$.



B) Compteur d'impulsions:

3) ALI idéal $\Rightarrow i^+ = 0$

$\Rightarrow$ on a le même courant dans C et dans R

$$\Rightarrow i = -C \frac{du_c}{dt} \quad \Rightarrow \boxed{i = 0}$$

$\uparrow$ convention générateur $\uparrow$ stationnaire

$$V^+ - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{de masse}}}{V} = R \underset{\substack{\uparrow \\ 0}}{i} - V_0 \quad \Rightarrow \boxed{V^+ = -V_0}$$

$= -1V$

on suppose la terre au potentiel nul (masse choisie à la terre),

donc le générateur de tension V_0 est supposé à masse flottante...

L'énoncé aurait pu être plus clair...

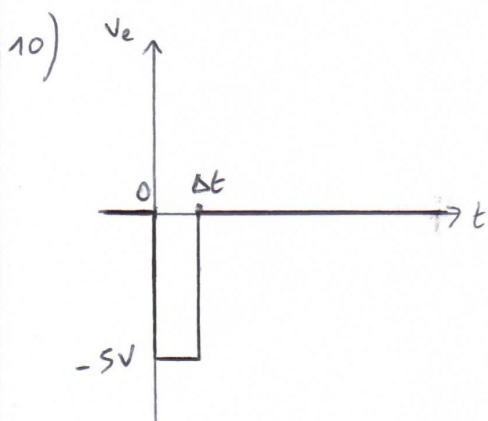
$$V^- = V_e = 0 \quad \text{ou} \quad V^+ = -V_0 = -1V < 0$$

$$\Rightarrow \Sigma = V^+ - V^- = -1V < 0$$

$$\Rightarrow \boxed{V_S = -V_{sat}} = -7V$$

$$u_c = V^+ - V_S = -V_0 - (-V_{sat})$$

$$\boxed{u_c = V_{sat} - V_0 = 6V}$$



11) Il faut $\Delta t \ll T = RC$, T étant le temps caractéristique du circuit RC.

On a continuité de l'énergie stockée par le condensateur $\frac{1}{2} C u_c^2$, donc continuité de la tension u_c .

$\Delta t \ll T \Rightarrow u_c$ ne varie quasiment pas durant Δt .

12) A $t=0^+$, $V^- = V_e = -5V$

$$V^+ = u_c + V_S = 6 + V_S$$

$$\text{Si } V_S = -V_{sat}, V^+ = 6 - 7 = -1V > V^-$$

$$\Rightarrow V_S = +V_{sat}$$

$\Rightarrow$ contradiction

$$\Rightarrow \boxed{V_S \text{ bascule à } +V_{sat}}$$

A $t=\Delta t^+$, $V^- = V_e = 0$

$$V^+ = u_c + V_S = 6 + V_S$$

$$\text{Si } V_S = +V_{sat}, V^+ = 6 + 7 = 13V > V^- = 0$$

$$\Rightarrow V_S = +V_{sat}$$

$\Rightarrow$ pas de contradiction

$\Rightarrow V_S$ reste à V_{sat} à $t=\Delta t$, il n'y a pas de basculement.

13) loi des mailles: $V_S = -u_c + Ri - V_0$

* suite au basculement, $V_S = +V_{sat}$

$$\Rightarrow u_c = Ri - V_{sat} - V_0$$

$$\text{ou } i = -C \frac{du_c}{dt} \quad (\text{cf 3)})$$

$$\Rightarrow RC \frac{du_c}{dt} + u_c = -(V_{sat} + V_0)$$

$$\text{on pose } \boxed{T = RC}$$

$$\Rightarrow u_c = K e^{-t/T} + (-(V_{sat} + V_0))$$

$\uparrow$
solution générale
de l'équation homogène

$\uparrow$
solution particulière

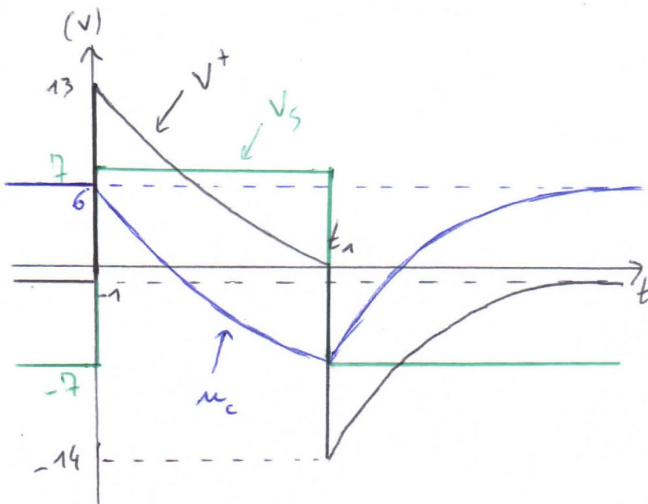
On va atteindre le régime permanent, l'ALI ne bascule pas.

16) * pour $t < 0$ et $t > t_1$, $V_s = -V_{sat} = -7V$

$$\text{et } u_c = V^+ - V_s = V^+ + V_{sat} = V^+ + 7V$$

* pour $0 < t < t_1$, $V_s = +V_{sat} = 7V$

$$\text{et } u_c = V^+ - V_s = V^+ - V_{sat} = V^+ - 7V$$

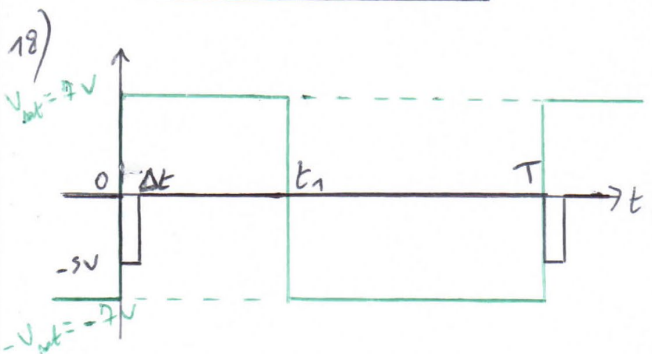


17) Pour réinitialiser le dispositif, il faut qu'au cours de la phase 2, le régime permanent soit atteint.

Si on considère que le régime permanent est atteint au bout de 5τ , alors

$$\text{il faut } T > t_1 + 5\tau = \tau \ln 14 + 5\tau \approx 7,6\tau$$

$$\Rightarrow \text{il faut } T \gtrsim 8\tau$$



$$18) \langle V_s \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_s dt = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} V_s dt + \frac{1}{T} \int_{t_1}^T V_s dt$$

$$\langle V_s \rangle = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} V_{sat} dt + \frac{1}{T} \int_{t_1}^T (-V_{sat}) dt$$

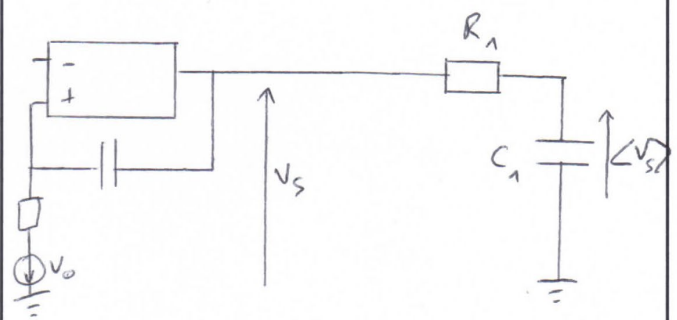
$$= \frac{1}{T} V_{sat} (t_1 - 0) + \frac{1}{T} (-V_{sat}) (T - t_1)$$

$$= \frac{V_{sat}}{T} (t_1 - T + t_1) = V_{sat} \left(\frac{2t_1}{T} - 1 \right)$$

$$\boxed{\langle V_s \rangle = V_{sat} (2ft_1 - 1)}$$

20) Pour ne conserver que la valeur moyenne du signal, il faut utiliser un filtre passe-bas de fréquence de coupure f_c très petite devant la fréquence des impulsions f : $f_c \ll f$

Ainsi, les différents harmoniques seront dans la bande coupée.



filtre passe-bas du 1^{er} ordre (pas terrible mais simple!)

$$H_1 = \frac{\frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{1}{1 + j\omega R_1 C_1} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$$

$$\Rightarrow \omega_c = \frac{1}{R_1 C_1} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

$$\text{on veut } f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \ll f \Rightarrow R_1 C_1 \gg \frac{1}{2\pi f}$$

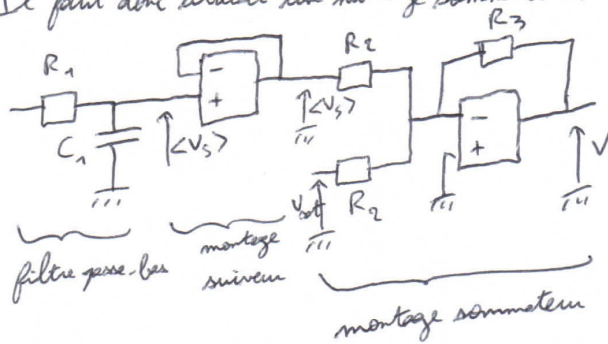
$$R_1 C_1 \gg \frac{1}{60} \Rightarrow R_1 C_1 \gg 0,1$$

$$\boxed{C_1 = 10\mu F} \text{ et } \boxed{R_1 = 1M\Omega}$$

21) En sortie du filtre passe-bas, on a une tension égale à $V_{sat}(2ft_1 - 1)$.

Si on ajoute une tension égale à V_{sat} , alors on aura une tension directement proportionnelle à f .

Il faut donc utiliser un montage sommateur.



On peut vérifier que le montage proposé est un sommateur :

$$V^+ = 0$$

$V^+ = V^-$ (car $\exists$ boucle de rétroaction entre la sortie de l'ALI et l'entrée $\ominus$) $\Rightarrow$ régime linéaire $\Rightarrow V^+ = V^-$

$$\Rightarrow V^- = 0 = \frac{\langle V_s \rangle}{R_2} + \frac{V_{sat}}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

th de Millman

$$\Rightarrow V = - \frac{R_3}{R_2} (\langle V_s \rangle + V_{sat})$$

$$= 2 V_{sat} t_1 f$$

$\Rightarrow V$ est proportionnel à f .

Problème 2 : Suspension de voiture

Q33. Un exemple de référentiel est le référentiel terrestre, ou « référentiel du laboratoire », lié au solide Terre supposé immobile. Il peut être considéré comme galiléen pour une expérience courte (inférieure à l'heure par exemple) dans laquelle les effets de la rotation terrestre ne se font pas sentir.

Un référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen l'est lui-même.

Q34. La masse M est répartie de façon équivalente sur quatre amortisseurs en parallèle, donc chaque amortisseur supporte une masse : $m = \frac{M}{4}$.

1 Suspension passive

1.1 Suspension sans amortissement

Q35. À l'équilibre, les différentes forces se compensent (première loi de Newton) :

$$\text{Poids : } \vec{P} = -mg\vec{e}_z \quad (10)$$

$$\text{Force de rappel : } \vec{F}_{el} = -k(l - l_0)\vec{e}_z \quad (11)$$

Donc à l'équilibre :

$$\vec{P} + \vec{F}_{el} = \vec{0} \Leftrightarrow -mg - k(l_{eq} - l_0) = 0 \Leftrightarrow l_{eq} = l_0 - \frac{mg}{k} \quad (12)$$

Q36. Le système est un oscillateur harmonique, de pulsation propre :

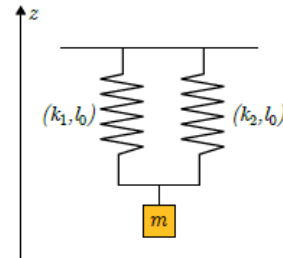
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (13)$$

avec k la constante de raideur du ressort en kg.s^{-2} et m la masse en kg . La pulsation propre s'exprime en rad.s^{-1} (dimension T^{-1}).

On peut sinon retrouver ce résultat par une mise en équation simple avec un PFD.

Q37. Pour une association de deux ressorts en parallèle, on peut écrire la force totale subie sous la forme :

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\ &= k_1(l - l_0)\vec{e}_z + k_2(l - l_0)\vec{e}_z \\ &= (k_1 + k_2) \times (l - l_0)\vec{e}_z \\ \vec{F} &= k_p(l - l_0)\vec{e}_z \end{aligned}$$



Donc on a bien additivité des raideurs : $k_p = k_1 + k_2$

Q38. Pour un véhicule à 4 roues, les quatre amortisseurs sont en parallèle, donc pour l'ensemble du véhicule, la raideur équivalente est :

$$k_v = 4k \quad (14)$$

Q39. Alors la pulsation propre de l'oscillateur constitué par le véhicule est :

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{k_v}{M}} = \sqrt{\frac{4k}{4m}} = \sqrt{\frac{k}{m}} = \omega_0 \quad (15)$$

1.2 Suspension avec amortissement

Q40. On applique le principe fondamental de la dynamique (PFD) sur le système masse m en référentiel galiléen, subissant les forces suivantes :

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_{el} + \vec{F}_f$$

En projection sur l'axe z :

$$\begin{aligned}
 m \frac{d^2 z}{dt^2} &= -mg - k(l(t) - l_0) - h \frac{dz}{dt} \\
 \text{avec } l(t) &= z(t) + l_0 - \frac{mg}{k} \\
 m \frac{d^2 z}{dt^2} &= -mg - k(z(t) + l_0 - \frac{mg}{k} - l_0) - h \frac{dz}{dt} \\
 \Leftrightarrow \frac{d^2 z}{dt^2} &= -\frac{k}{m} z(t) - \frac{h}{m} \frac{dz}{dt} \\
 \Leftrightarrow \frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{h}{m} \frac{dz}{dt} + \frac{k}{m} z(t) &= 0
 \end{aligned} \tag{16}$$

avec par identification avec la forme canonique suivante :

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{\partial z}{\partial t} + \omega_0^2 z(t) = 0 \tag{17}$$

les expressions de la pulsation propre et du facteur de qualité :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad Q = \frac{\sqrt{km}}{h} \tag{18}$$

Q41. La valeur limite du facteur de qualité Q donnant lieu au régime critique est $Q = \frac{1}{2}$, ce qui correspond à une valeur limite de la raideur :

$$k_c = \frac{h^2}{2m} \tag{19}$$

Q42. D'après l'expression précédente, Q augmente avec la masse m . Donc une masse plus élevée (chargement du véhicule) permet au système de passer en régime pseudo-périodique ($Q > \frac{1}{2}$).

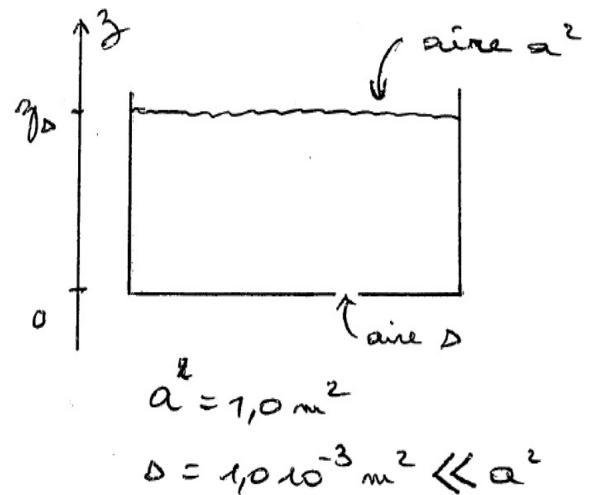
Q43. Le graphique présenté ci-dessous est un tracé de l'amplitude des oscillations (en mètres) en fonction de la fréquence d'excitation (en hertz).

Q44. La courbe correspondant à la masse la plus élevée est la courbe 4, qui correspond à la plus grande résonance, donc au facteur de qualité le plus élevé (régime pseudo-périodique).

PARTIE 3 : Vidange et approvisionnement en eau de mer d'un aquarium

IA | Vidange d'un aquarium

1) - La section Δ de la vidange est faible devant l'aire a^2 de la surface libre de l'eau dans l'aquarium, la vidange se fait donc "lentement" : on est en situation d'un écoulement quasi-stationnaire.



- On modélise l'écoulement comme parfait (travail des forces de viscosité sans doute négligeable), incompressible et homogène, en plus d'être quasi-stationnaire $\rightarrow$ on applique la relation de Bernoulli le long du tube de courant constitué par les parois de l'aquarium entre la surface libre d'aire a^2 et la surface de vidange d'aire Δ :

- sur ces deux surfaces la pression est p_0 , pression atmosphérique

- la pression cinétique $\frac{1}{2} \rho v^2$ est négligeable sur la surface libre

$$\text{donc on a } p_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 + \rho g z_0 = p_0 + \frac{1}{2} \rho v^2 + 0$$

$$\text{qui devient } \rho g z_0 = \frac{1}{2} \rho v^2 \rightarrow v = \sqrt{2 g z_0} \text{ vitesse du fluide}$$

au niveau de la vidange, vitesse qui va donc diminuer au fur et à mesure de la vidange, puisque z_0 diminue de $z_0 = a$ à $z_0 = 0$.

- L'écoulement est incompressible et homogène $\rightarrow$ le débit volumique

se conserve le long du tube de courant, on écrit donc 2

$$v \cdot \Delta = v_0 \cdot a^2 \quad \text{avec} \quad v_0 = -\frac{dz_0}{dt} > 0$$

$$\text{donc} \quad v = -\frac{a^2}{\Delta} \cdot \frac{dz_0}{dt}$$

Les deux équations donnent donc l'équation différentielle vérifiée par z_0 l'altitude de la surface libre : $-\frac{a^2}{\Delta} \cdot \frac{dz_0}{dt} = \sqrt{2gz_0} \quad \forall z_0$

équation différentielle non linéaire $\rightarrow$ on sépare les variables t et z_0 :

$$\frac{dz_0}{\sqrt{z_0}} = -\frac{\Delta}{a^2} \sqrt{2g} \cdot dt \quad \text{et on intègre entre } z_0 = a \text{ (} t=0 \text{)} \\ \text{et } z_0 = 0 \text{ (} t=\tau \text{)} :$$

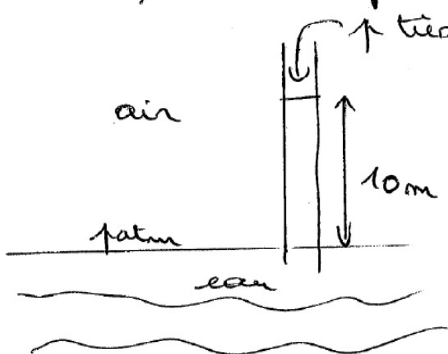
$$\int_a^0 \frac{dz_0}{\sqrt{z_0}} = -\frac{\Delta}{a^2} \sqrt{2g} \cdot \int_0^\tau dt \rightarrow \left[2\sqrt{z_0} \right]_a^0 = -\frac{\Delta}{a^2} \sqrt{2g} \cdot \tau$$

$$\text{ce qui donne donc} \quad \tau = \sqrt{\frac{2a}{g}} \times \frac{a^2}{\Delta} \quad \text{AN} \quad \tau = 4,5 \cdot 10^2 \text{ s}$$

l'hypothèse de l'écoulement quasi-stationnaire est valide (près de 8 min pour $\Delta z_0 = 1 \text{ m}$).

IB | Pompage de l'eau de mer

2) Il aurait été impossible de placer la pompe en E pour effectuer cet acheminement d'eau car on ne peut "aspirer" de l'eau à partir d'une hauteur supérieure à 10 m par rapport à son point de captage.



En effet quand on "aspire" de l'eau, c'est l'atmosphère au niveau du point de captage qui pousse la colonne d'eau à monter. Quand la colonne atteint la hauteur $h = \frac{p_{atm}}{\rho g} \approx 10 \text{ m}$,

la pression qu'elle exerce en son pied équilibre la pression atmosphérique

et elle ne monte plus. Pour faire monter l'eau d'un dénivelé supérieur à 10 m, il convient donc de réaliser un refoulement de la pompe, qui doit être placée à moins de 10 mètres au-dessus de la surface de captage (où règne l'atm).

3

3) Les tuyaux ont pour diamètre $D_a = D_n = 0,20 \text{ m}$ et le débit volumique est $Q_v = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. La vitesse débitante $\bar{v}$ dans les tuyaux est $\bar{v}$ telle que $Q_v = \bar{v} \cdot \frac{\pi D^2}{4}$ donc la vitesse recherchée par l'énoncé est bien celle-là :

$$\bar{v} = \frac{4Q_v}{\pi D^2} \quad \text{AN} \quad Q_v = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{soit } Q_v = \frac{40}{3600} = 1,11 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\rightarrow \bar{v} = 0,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

4) Pour l'écoulement de l'eau dans les conduites, Re est défini par $Re = \frac{\rho \cdot D \cdot \bar{v}}{\eta}$

$$\text{AN} \quad \left. \begin{array}{l} \rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \\ \eta = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pl} \end{array} \right\} (\text{eau}) \quad \left\{ \begin{array}{l} D = 0,20 \text{ m} \\ \bar{v} = 0,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{array} \right.$$

$$\rightarrow Re = 7,1 \cdot 10^4$$

$Re = 7,1 \cdot 10^4 > 2300$ pour l'écoulement dans les conduites, l'écoulement est donc classifié turbulent : les pertes de charge régulières sont essentiellement dues à la friction de l'eau sur les parois dans la couche limite, de faible épaisseur par rapport à D . Dans ce cas, la rugosité k des parois est un facteur déterminant dans les pertes de charge régulières, une lecture du diagramme de Moody s'impose.

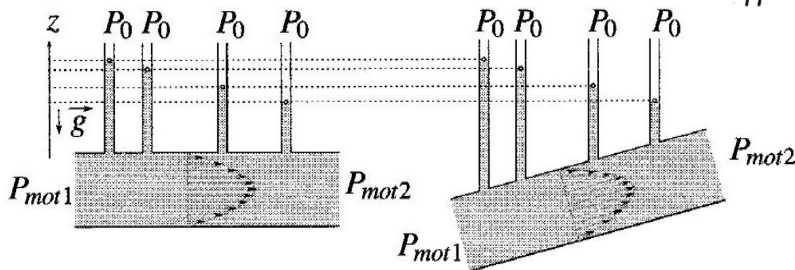
5) $k = 1,2 \text{ mm}$
 $D = 0,2 \text{ m}$ } $\varepsilon = \frac{k}{D}$ rugosité relative vaut

4

$$\varepsilon = \frac{1,2}{0,2} \cdot 10^{-3} \quad \underline{\varepsilon = 6 \cdot 10^{-3}}$$

Sur le diagramme de Moody on suit donc la courbe correspondant à $\varepsilon = 6 \cdot 10^{-3}$ et on lit l'ordonnée du point de la courbe d'abscisse $Re = 7 \cdot 10^4$: on relève $\lambda \approx 0,034$ par extrapolation entre les graduations 0,030 et 0,040 sur l'échelle log. verticale.

6) Pour observer le phénomène de pertes de charge régulières, on peut ménager des prises de "pression motrice" ($p + \rho g z$) latérales sur une conduite de section constante (pour avoir $\frac{1}{2} \rho v^2$ constant), horizontale ou inclinée. Ainsi, la perte de charge peut se traduire par une perte de pression motrice ($p + \rho g z$), qui se matérialise par une diminution de la hauteur de la surface libre de liquide dans les prises latérales tout au long de l'écoulement.



Pertes de charge dans un écoulement de Poiseuille cylindrique.

7) $\Delta P_{reg,a} = \lambda \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot \frac{L_a}{D}$ avec $v \equiv \bar{v}$ vitesse débitante.

AN $L_a = 200 \text{ m}$
 $\lambda = 3,4 \cdot 10^{-2}$
 $D = 0,2 \text{ m}$
 $v = 0,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ } $\underline{\Delta P_{reg,a} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Pa}}$

D'autre part $L_n = \frac{L_a}{2}$ donc $\underline{\Delta P_{reg,n} = \frac{\Delta P_{reg,a}}{2} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ Pa}}$

8) On écrit $\Delta P_{\text{sing},a} = \alpha_a \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$

5

$$\Delta P_{\text{sing},n} = \alpha_n \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

avec $\begin{cases} \alpha_a = 1,0 \\ \alpha_n = 2,0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta P_{\text{sing},a} = 63 \text{ Pa} \\ \Delta P_{\text{sing},n} = 125 \text{ Pa} \end{cases}$

9) BERNOLLI avec un seul I ...

la relation de BERNOLLI s'écrit entre deux sections ou le long d'une ligne de courant, pour un écoulement modélisé comme parfait, stationnaire, incompressible et homogène.

Ici, on applique la relation de BERNOLLI sous sa forme "généralisée" c'est-à-dire que l'écoulement n'est pas parfait, puisqu'on prend soin de modéliser les pertes de charge le long des conduites.

10) On écrit la relation "généralisée" sur la ligne de courant entre les points O et B ; en O le fluide est statique puisque la mer est un réservoir infini, l'eau est en écoulement dans la conduite seulement. On a donc

$$P_0 + \rho g \cdot 0 + \frac{1}{2} \rho \cdot 0^2 - \left(P_B + \rho g z_B + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) = \underbrace{\Delta P_{\text{reg},a} + \Delta P_{\text{sing},a}}_{\substack{\text{pertes de charge} \\ \text{entre O et B}}} \\ \text{donc} \\ P_{\text{tot O}} > P_{\text{tot B}}$$

ce qui donne $P_B - P_0 = \Delta P_a = -\Delta P_{\text{reg},a} - \Delta P_{\text{sing},a} - \rho g z_B - \frac{1}{2} \rho v^2$

11) De même entre C et E, on écrit la relation de BERNOLLI :

$$\left(P_C + \rho g z_C + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) - \left(P_E + \rho g z_E + \frac{1}{2} \rho \cdot 0^2 \right) = \Delta P_{\text{reg},n} + \Delta P_{\text{sing},n}$$

ce qui donne $P_E - P_C = \Delta P_n = -\Delta P_{\text{reg},n} - \Delta P_{\text{sing},n} + \rho g (z_C - z_E) + \frac{1}{2} \rho v^2$

12) On applique toujours la relation de BERNOULLI "généralisée", & cette fois entre B et C, avec prise en compte de l'élément actif "pompe" qui va donner de l'énergie au fluide pour avoir $P_{\text{stat C}} > P_{\text{stat B}}$. Ainsi on écrit:

$$\left(\underbrace{P_C + \rho g z_C + \frac{1}{2} \rho v^2}_{\text{J m}^{-3}} \right) - \left(P_B + \rho g z_B + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) = \Delta P_{\text{stat}}$$

on multiplie même par $Q_v \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$ pour accéder aux puissances en jeu ($\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$)

$$Q_v \cdot (P_C + \rho g z_C - (P_B + \rho g z_B)) = P_m \text{ puissance délivrée par la pompe}$$

avec $z_B = z_C \rightarrow P_B = Q_v \cdot (P_C - P_B)$
 $= Q_v \cdot (P_C - P_E - (P_B - P_0))$
 puisque $P_E = P_0$

→ en utilisant les résultats des questions précédentes, il vient:

$$\underline{P_m = Q_v \cdot (\Delta P_{\text{reg},n} + \Delta P_{\text{sing},n} + \Delta P_{\text{reg},a} + \Delta P_{\text{sing},a} + \rho g z_E)}$$

AN $Q_v = \frac{40}{3600} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$z_E = 25 \text{ m}$

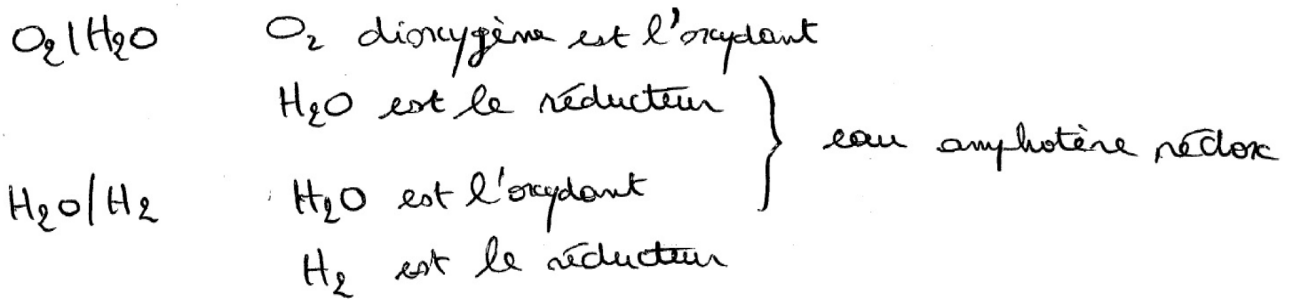
→ $P_m = \frac{40}{3600} \cdot (2,1 \cdot 10^3 + 1,1 \cdot 10^3 + 63 + 125 + 10^3 \cdot 9,8 \cdot 25)$

soit $P_m = 2,8 \text{ kW}$

le terme de pesanteur est très largement prépondérant, les termes de perte de charge apparaissant comme des termes correctifs.

PARTIE 4 : Contrôle de la qualité de l'eau d'un aquarium

13) Couples rédox de l'eau :

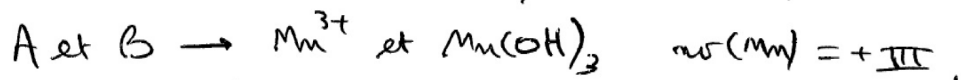
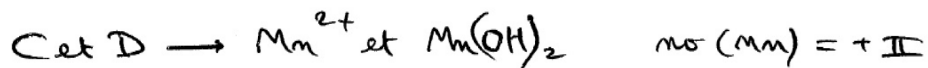


14) no(Mn) dans $\text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s})$: +II

no(I) dans $\text{IO}_3^- (\text{aq})$ est tel que $\text{no}(\text{I}) + 3 \times (-2) = -1$
 $\rightarrow \text{no}(\text{I}) = +\text{V}$.

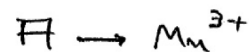
15) Les espèces sont classées du bas vers le haut par no croissant et pour un no donné, la frontière entre deux espèces est verticale, les domaines de stabilité se distribuant en fonction des propriétés acido-basiques de ces espèces.

Ainsi on attribue les domaines de stabilité :



Au no +II $\text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s})$ se forme en milieu où HO^- est présent donc son domaine de stabilité est à pH élevé, à droite de la frontière verticale.

Idem au no +III avec $\text{Mn}(\text{OH})_3$.



16) Les espèces contenant l'élément Mn stables dans l'eau en présence de O_2 dissous sont celles dont le domaine de stabilité

recourir en partie les domaines de stabilité de H_2O et O_2 . δ

→ Mn et $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ont des domaines de stabilité disjointes avec O_2 donc ne sont pas stables

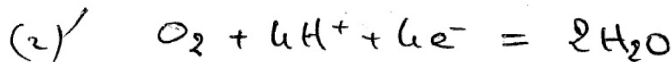
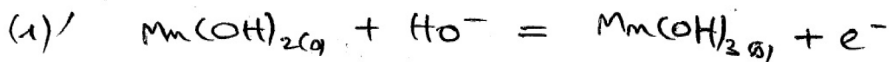
→ les autres espèces Mn^{2+} , Mn^{3+} , $\text{Mn}(\text{OH})_3$ sont stables dans l'eau avec O_2 dissous.

II - B) Dosage du dioxygène dissous dans l'eau par méthode de Winkler

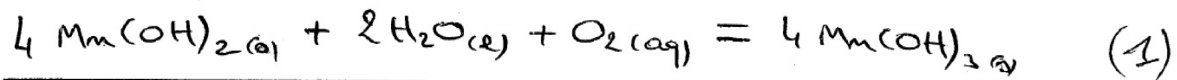
17) Le sel chlorure de manganèse II se dissout dans l'eau en $2\text{Cl}^- + \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$. En milieu fortement basique, $\text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$ précipite, comme le prévoit le diagramme E-pH, en $\text{Mn}(\text{OH})_{2(s)}$.

Or $\text{Mn}(\text{OH})_{2(s)}$ et $\text{O}_{2(\text{aq})}$ dissous dans l'eau ont des domaines de stabilité disjointes donc réagissent l'un sur l'autre : connaissant la quantité de $\text{Mn}(\text{III})$ formée par l'oxydation de $\text{Mn}(\text{II})$ par O_2 , on pourra en déduire la concentration en O_2 dissous.

18) $\text{Mn}(\text{OH})_2$ est oxydé en $\text{Mn}(\text{OH})_3$ (milieu très basique) par O_2 qui est lui réduit en H_2O .

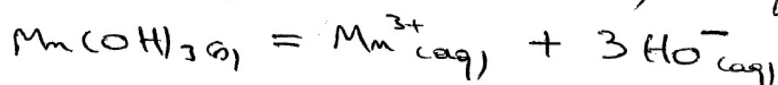


4 x (1)' + (2)' m à m pour faire apparaître l'échange d'électrons :

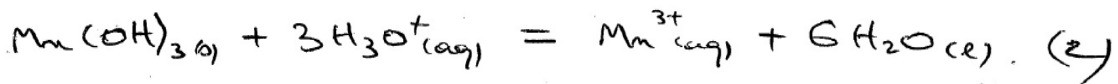
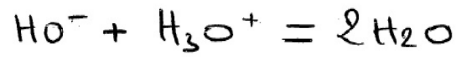


Il faut attendre 30 minutes pour une raison cinétique : la réaction n'est pas infiniment rapide.

19) On ramène la solution contenant le précipité de $\text{Mn}(\text{OH})_{3(s)}$ en milieu pH = 1 pour ramener $\text{Mn}(\text{III})$ sous forme Mn^{3+} :

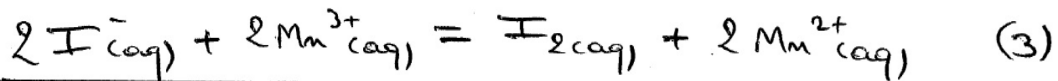
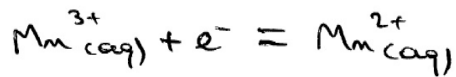
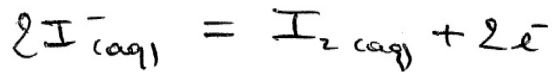


grâce à la réaction des ions hydroxyde avec les ions oxonium : 9



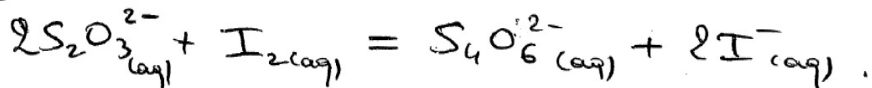
Ajout de la solution d'iodure de potassium $\text{K}^+ + \text{I}^-$:

I^- et Mn^{3+} ont des domaines de stabilité disjointes donc réagissent l'un sur l'autre, I_2 est formé (la solution à l'issue de l'étape 3 est jaune limpide), ainsi que Mn^{2+} ($\text{pH} = 1$) :



20) On ajoute I^- en large excès pour être sûr de faire réagir tout Mn^{3+} et ainsi doser I_2 : connaissant la quantité de I_2 formée, on remonte à la quantité de Mn^{3+} ayant réagi.

21) Titrage à l'étape 4 :



À l'équivalence du dosage $\frac{m_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{ versé}}}{2} = m_{\text{I}_2 \text{ ini présent}}$

avec $m_{\text{I}_2 \text{ ini présent}} = \frac{m_{\text{Mn}^{3+}}}{2} \rightarrow m_{\text{Mn}^{3+}} = m_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{ versé}}$

donc $m_{\text{Mn}(\text{OH})_3 \text{ formé}} = m_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{ versé}}$

et avec l'équation (1) on a donc $\frac{m_{\text{Mn}(\text{OH})_3}}{4} = m_{\text{O}_2 \text{ ini présent}}$.

$$\underline{\underline{\text{Q.}}} \quad m_{\text{O}_2 \text{ ini présent}} = \frac{m_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{ versé}}}{4}$$

avec $\begin{cases} M_{O_2 \text{ init}} = C(O_2) \cdot V_0 & (\text{quantité qui était présente avant réaction pour le volume } V_0 \text{ de solution au début de l'étape 4).} \\ M_{S_2O_8^{2-}} = C_1 \cdot V_1 \end{cases}$ 20

$$22) \quad \left. \begin{array}{l} V_1 = 8,3 \text{ mL} \\ V_0 = 50 \text{ mL} \\ C_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{array} \right\} \rightarrow C(O_2) = \frac{C_1 V_1}{4 V_0} = 2,08 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$= 208 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

1 L d'eau correspond à 1 kg d'eau

$$\underline{C(O_2) = 208 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

23) Près de la Méditerranée, la valeur est proche de l'isotitre $225 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, l'aquarium dont il est question ici reproduit donc les conditions de la Grande Bleue.

La carte montre que dans les zones froides, proches des pôles, la concentration en O_2 dissous est élevée, et elle diminue en allant vers les zones géographiques chaudes près de l'Équateur.

Le réchauffement climatique affecte beaucoup, sur le court terme, la température de surface des mers donc la concentration en O_2 dissous diminue ... au risque d'atteindre des valeurs critiques proches de $90 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ d'eau...

Rq Situation des eaux de la Méditerranée à l'été 2024 :

https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2024/08/22/en-graphiques-la-meditteranee-frappee-depuis-juillet-par-une-vague-de-chaaleur-inedite_6290418_4355770.html

Partie 5 : Réfrigérateur à compresseur

35. Le fluide prélève de la chaleur à la source froide, $Q_f \geq 0$ et en cède à la source chaude $Q_c \leq 0$.
Le transfert de chaleur du froid vers le chaud est possible grâce au travail reçu par le fluide $W \geq 0$.
36. La source froide est l'air à l'intérieur du réfrigérateur. La source chaude est l'air de la cuisine.
37. Dans le condenseur, le fluide se refroidit au contact de l'air ambiant. Sa température est donc supérieure à celle de l'air ambiant.
38. a) On lit sur l'axe des ordonnées: $P_e = P_4 = P_1 = 0,85 \text{ bar}$
b) On lit sur la courbe isotitre $x_4 = 0,36$.
c) On lit sur l'isotherme passant par le point 2: $T_2 = 60^\circ\text{C}$.
39. $\Delta(e_c + e_p + h) = w_i + q_{th}$
- e_c est l'énergie cinétique massique du fluide
 - e_p est l'énergie potentielle massique du fluide
 - h est l'enthalpie massique du fluide
 - w_i est le travail indiqué massique reçu par le fluide de la part de pièces mécaniques
 - q_{th} est le transfert thermique massique reçu par le fluide
40. Les variations d'altitude et de vitesse du fluide étant négligeables, le premier principe s'écrit $\Delta h = w_i + q_{th}$.
Dans l'évaporateur, $\Delta h_{41} = q_f = h_1 - h_4 = 390 - 240 = 150 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
Dans le condenseur, $\Delta h_{23} = q_c = h_3 - h_2 = 240 - 440 = -200 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
Dans le compresseur adiabatique, $\Delta h_{12} = w = 440 - 390 = 50 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
41. Pour un réfrigérateur l'efficacité est définie par $e_1 = \frac{\text{utile}}{\text{coût}} = \frac{q_f}{w}$. On obtient donc $e_1 = \frac{150}{50} = 3,0$.

42. Premier principe appliqué au fluide sur un cycle: $\Delta U = Q_c + Q_f + W = 0$.
 Second principe appliqué au fluide sur un cycle réversible : $\Delta S = S_{ech} + S_c = S_{ech} = \frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} = 0$.
 $e_{Carnot} = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{-Q_c - Q_f}$ en utilisant le premier principe écrit précédemment.
 En utilisant le second principe, $Q_c = -\frac{T_c}{T_f} Q_f$, d'où $e_{Carnot} = \frac{Q_f}{\frac{T_c}{T_f} Q_c - Q_f} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$.
43. $e_{Carnot} = \frac{273+23}{23-3} = \frac{276}{20} = 13,8$. $e_1 < e_{Carnot}$ ce qui était prévisible car un cycle réversible est un cycle idéal, le cycle réel présente toujours des irréversibilités par exemple du fait des frottements dans le compresseur, la détente isenthalpique dans le détendeur est également toujours irréversible.
44. Il s'agit du changement de phase de l'état gazeux à l'état solide c'est à dire de la condensation (inverse de la sublimation).
45. Pour un cycle réel, le second principe au fluide sur un cycle s'écrit:

$$\Delta S = S_{ech} + S_c = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} + S_c = 0$$

On obtient donc $\frac{Q_c}{T_c} = -S_c - \frac{Q_f}{T_f}$

$$\frac{Q_c}{Q_f} = -\frac{T_c}{Q_f} S_c - \frac{T_c}{T_f} = -\frac{T_c}{T_f} \left(1 + S_c \frac{T_f}{Q_f} \right)$$

On obtient donc $\frac{Q_c}{Q_f} = -\alpha \frac{T_c}{T_f}$ avec $\alpha = 1 + S_c \frac{T_f}{Q_f}$.

46. Sans givre, la consommation est $W_1 = \frac{Q_F}{e_1}$, en présence de givre, elle est de $W_2 = \frac{Q_F}{e_2}$. Comme $e_2 = e_1/2$, $W_2 = 2W_1$. La surconsommation est donc égale à $W_2 - W_1 = W_1$, elle est donc de 100%.