

DS

TSI2

Physique

4h

10 novembre 2023

Ce sujet est en cinq parties indépendantes de poids globalement équivalents dans le barème.

I. Pompe à chaleur (G2E BCPST 2022)

II. Etude du rendement d'une éolienne (G2E BCPST 2022)

III. Ecoulement de la peinture sur un mur (G2E BCPST 2022)

IV. Mesure expérimentale de l'enthalpie massique de fusion de la glace (Agro-véto BCPST 2023)

V. Rendre l'eau potable (CCINP TSI 2019)

Recommandations importantes

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

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

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

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

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

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

Les résultats numériques doivent être accompagnés de leur unité.

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

Lisez l'énoncé en entier avant

(Calculatrice autorisée)

Données numériques utiles

Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Indice optique de l'air	$n_a = 1,00$
Indice optique de la glace	$n_g = 1,31$
Masse volumique de la glace	$\rho_g = 0,917 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Masse volumique de l'eau liquide	$\rho_\ell = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Enthalpie massique de fusion de la glace	$\ell_f = 333,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Capacité thermique massique de l'eau liquide	$c_\ell = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Rayon de la Terre	$R_T = 6\,400 \text{ km}$
Norme de l'accélération de la pesanteur	$g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Partie I POMPE A CHALEUR

Pour maintenir la température d'une maison constante, on utilise une pompe à chaleur qui est une thermopompe à compression utilisant l'ammoniac NH_3 comme vapeur condensable (schéma ci-dessous). Le cycle de transformations subi par le fluide est représenté dans le diagramme des frigoriste (pression P en bar, en ordonnées et h enthalpie massique en kJ.kg^{-1} , en abscisse).

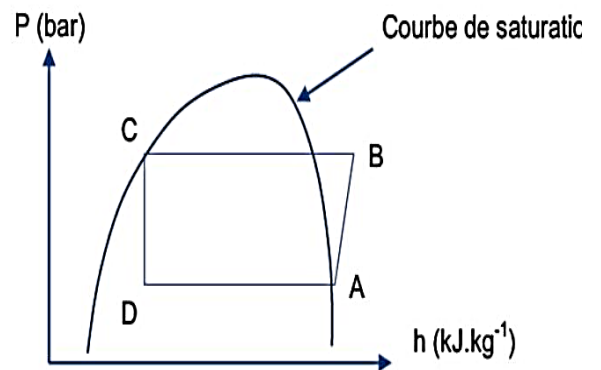
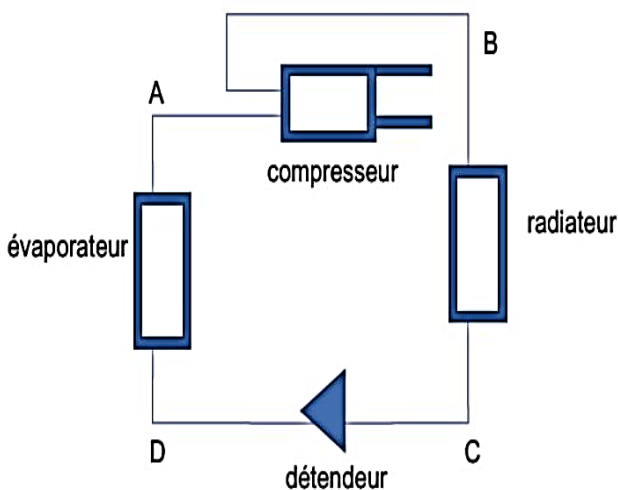
Dans cette machine, le fluide pris à l'état gazeux (vapeur juste saturante à la pression P_A et à la température θ_A) est comprimé de manière adiabatique jusqu'à l'état B (P_B, θ_B). Il est ensuite refroidi puis entièrement liquéfié à pression constante (état C correspondant au liquide juste saturant, température θ_C) dans un radiateur au contact de l'air de l'habitation. Il traverse ensuite un détendeur où il subit une détente isenthalpique qui ramène sa pression de P_B à P_A . Il se trouve alors partiellement liquéfié (état D). Il pénètre alors dans l'évaporateur (source froide) et se vaporise complètement à la pression P_A jusqu'au point A . L'évaporateur et le radiateur ne possèdent pas de parois mobiles.

On se place en régime permanent. Dans les différents organes de la machine, on négligera les variations d'énergie potentielle de pesanteur et d'énergie cinétique.

Les données sont les suivantes :

État	Pression P (en bars)	Température θ (en °C)	Enthalpie massique h (kJ.kg^{-1})
A	3,5	-5	1760
B	15	?	1980
C	15	38	660
D	3,5	?	?

On donne $\gamma = 1,33$ pour l'ammoniac.



1. Rappeler la définition de la pression de vapeur saturante.
2. Donner la loi de Laplace et rappeler ses conditions d'application. Calculer la température θ_B au point B.
3. Reproduire sur la copie le diagramme (P, h) et indiquer où se situe la courbe de rosée ainsi que la courbe d'ébullition. Préciser l'état physique du système dans les différents domaines. Quelle est la température θ_D au point D ?

Document 1 - On rappelle l'expression du premier principe sous forme de bilan enthalpique pour les fluides en écoulement permanent (appelé encore premier principe pour les systèmes ouverts ou encore « premier principe industriel ») :

Le premier principe pour les systèmes ouverts (PPI) s'écrit, entre les sections d'entrée S_e et de sortie S_s d'un écoulement :

$$\Delta_e^s \left(h + \frac{1}{2}c^2 + gz \right) = w_u + q$$

Dans le contexte étudié, on néglige les variations d'énergie potentielle et cinétique, ce qui conduit à :

$$h_s - h_e = w_u + q$$

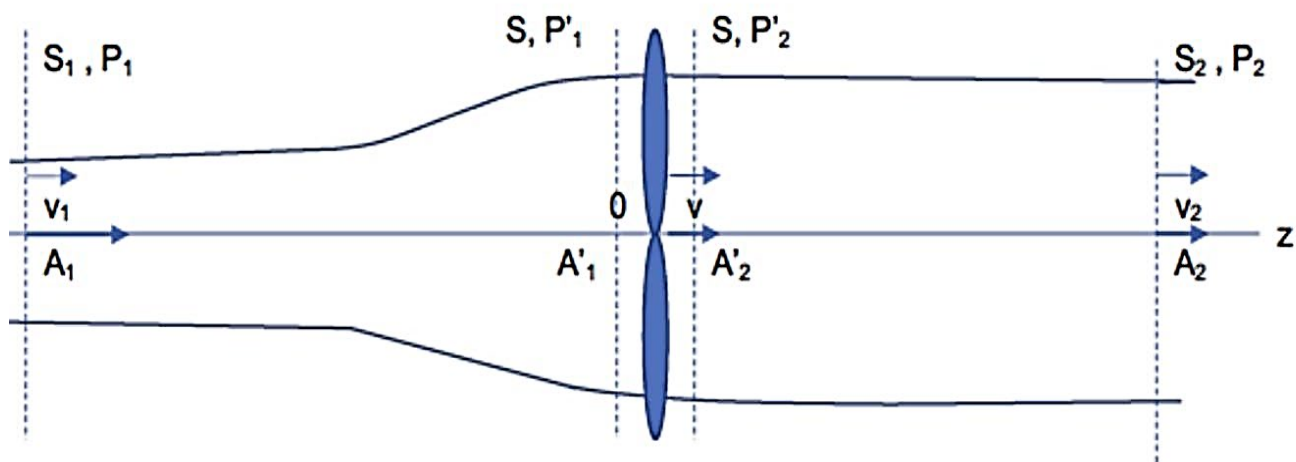
h est l'enthalpie massique du fluide, c sa vitesse de déplacement macroscopique, z son ordonnée (sur un axe vertical ascendant), w_u le travail massique utile (autre que celui des forces pressantes en entrée et sortie) et q le transfert thermique, tous deux algébriquement reçus entre S_e et S_s .

4. Déterminer les variations d'enthalpie du système au sein de chaque organe de la pompe à chaleur.
5. Sachant que le maintien de la température dans la maison impose une puissance de chauffage $\mathcal{P}_{th} = 10 \text{ kW}$, déterminer le débit massique D_m d'ammoniac nécessaire.
6. Calculer sur un cycle, la puissance mécanique $\mathcal{P}_m = \frac{\delta W}{dt}$ reçue par le fluide.
7. Expliquer à partir d'un schéma où l'on symbolisera la pompe à chaleur et les sources de chaleur chaude et froide, les échanges d'énergie Q_C avec la source chaude, Q_F avec la source froide et W le travail échangé. Préciser le signe de ses différentes grandeurs.
8. Définir puis calculer l'efficacité e de la pompe à chaleur.
9. Établir l'inégalité de Clausius.
10. Montrer que l'efficacité de la pompe à chaleur est inférieure à une valeur maximale e_{\max} que l'on calculera.

Partie II ETUDE DU RENDEMENT D'UNE EOLIENNE

La demande énergétique domestique va augmenter suivant les prévisions, de 50% d'ici à 2050. Ceci est lié à l'électrification croissante des habitats (augmentation du nombre d'appareils électriques, mise en place de bornes pour recharger les voitures électriques...). Il s'agit donc d'augmenter la production d'électricité en développant les différentes sources d'électricité possibles dont l'éolien qui produit aujourd'hui environ 6% de la consommation nationale.

On s'intéresse dans cette partie à l'étude du rendement d'une éolienne. On rappelle qu'une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, le plus souvent transformée ensuite en énergie électrique. L'éolienne de surface S est située à l'origine O d'un axe Oz horizontal. La figure ci-dessous montre l'écoulement d'air de part et d'autre de l'éolienne :



On note v_1 et v_2 la vitesse du vent en amont et en aval de l'éolienne. On suppose également que la pression est égale à la pression atmosphérique P_0 sur ces deux surfaces S_1 et S_2 : $P_1 = P_2 = P_0$. On se place dans les conditions d'application de la relation de Bernoulli. On note ρ la masse volumique de l'air.

11. Rappeler la relation de Bernoulli et ses hypothèses d'application.

On considère une ligne de courant où figure quatre points : A_1 loin de l'éolienne en amont, A'_1 immédiatement avant l'éolienne, A'_2 immédiatement après et A_2 loin de l'éolienne en aval.

12. Justifier, à l'aide de la conservation du débit volumique qu'il ne peut y avoir de discontinuité de la vitesse au niveau de l'éolienne. On notera v cette vitesse.

C'est donc une discontinuité de pression de part et d'autre de l'éolienne qui permet son fonctionnement.

13. Écrire la relation de Bernoulli entre A_1 et A'_1 puis entre A'_2 et A_2 . Pourquoi ne peut-on pas écrire la relation de Bernoulli entre les points A'_1 et A'_2 ?

14. En déduire l'expression de la différence de pression $P'_1 - P'_2$ en fonction de ρ , v_1 et v_2 .

15. La force exercée par le vent sur les pâles de l'éolienne vaut $F = (P'_1 - P'_2) \cdot S$. En déduire la puissance \mathcal{P} développée par cette force sur les pâles.

16. On peut montrer que $v = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$. En déduire une nouvelle expression de \mathcal{P} en fonction de v_1, v_2, S et ρ

On définit le rendement r de l'éolienne comme le rapport entre la puissance \mathcal{P} précédente et la puissance de l'énergie cinétique du vent $\mathcal{P}_{cin,1}$ (non perturbé par la présence de l'éolienne, de vitesse v_1 , de débit massique $D_{m,1}$ et traversant S) : $r = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_{cin,1}}$.

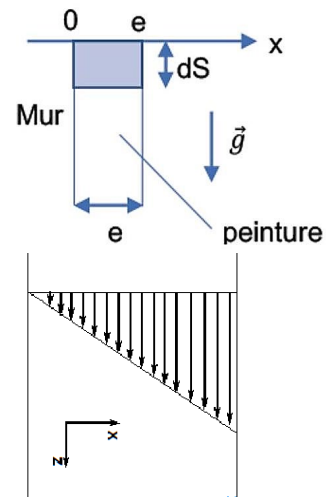
17. Exprimer l'énergie cinétique élémentaire $dE_{c,1}$ d'une particule de fluide de vitesse v_1 et de masse élémentaire dm .
18. En déduire l'expression de $\mathcal{P}_{cin,1} = \frac{dE_{c,1}}{dt}$ en fonction de $D_{m,1}$ et v_1 puis en fonction de v_1, S et ρ .
19. En déduire que le rendement de l'éolienne s'écrit : $r = \frac{1}{2}(1 - x^2)(1 + x)$ avec $x = \frac{v_2}{v_1}$.
20. Déterminer la valeur x_{max} conduisant au rendement maximal puis calculer le rendement maximal r_{max} .

Partie III ECOULEMENT DE LA PEINTURE SUR UN MUR

On cherche à peindre les murs d'une pièce rectangulaire de la maison de dimension longueur 6 m \times largeur 4 m \times hauteur 2,5 m avec 2 couches d'une peinture dont le pouvoir couvrant vaut 12 m² pour un litre de peinture.

21. Quel est le nombre de pots de peinture de volume 1,5 L nécessaires ?
22. Déterminer l'épaisseur de la couche de peinture déposée pour une couche de peinture appliquée.

La peinture est assimilée à un fluide newtonien de viscosité dynamique $\eta = 0,12 \text{ P}\ell$ et de masse volumique $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$. On s'intéresse ici à la résistance de la peinture aux coulures. On considère une couche de peinture d'épaisseur e appliquée sur un mur vertical.



L'écoulement est modélisé par un écoulement Couette plan de gradient de vitesse égale à 10 s^{-1} . On travaille sur une particule fluide définie entre $x = 0$ et $x = e$ et de surface dS . On note g l'accélération de la pesanteur. On donne $e = 0,080 \text{ mm}$.

23. Préciser l'unité S.I. de la viscosité dynamique.
24. Calculer la vitesse de l'écoulement à l'interface peinture/air.

Le nombre de Reynolds est défini par :

$$Re = \frac{Ud}{\nu} = \frac{Ud\rho}{\eta}$$

avec U vitesse moyenne de l'écoulement, d dimension transversale et ν viscosité cinématique.

25. Calculer le nombre de Reynolds pour le problème étudié et conclure sur la nature de l'écoulement
26. Exprimer la contrainte σ (force surfacique) exercée par la force de pesanteur sur la particule fluide en fonction de ρ, e et g . En supposant que la peinture n'offre pas de résistance aux coulures, exprimer le gradient de vitesse $\dot{\gamma} = \frac{dv}{dx}$ lié aux coulures. On constate que lors du séchage qui suit l'application aux murs, la viscosité de la peinture augmente. Quel est l'intérêt ?

La peinture présente en fait une résistance aux coulures et se comporte comme un fluide à seuil de Bingham : tant que la contrainte σ appliquée à la peinture est inférieure à une contrainte seuil $\sigma_S > 0$, celle-ci ne s'écoule pas ; si la contrainte dépasse σ_S , la peinture a un comportement de fluide visqueux newtonien. On a :

$$\begin{cases} \sigma < \sigma_S : \frac{dv}{dx} = 0 \\ \sigma > \sigma_S : \sigma = \sigma_S + \eta \frac{dv}{dx} \end{cases}$$

27. Représenter graphiquement la contrainte σ en fonction du gradient de vitesse $\dot{\gamma}$.
28. Dans l'exemple étudié ici, déterminer la contrainte seuil minimale $\sigma_{S,\min}$ pour laquelle il n'y a pas de coulures.
29. Calculer $\sigma_{S,\min}$ pour $e = 0,080 \text{ mm}$ et $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ et $\rho = 1,2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Partie IV DETERMINATION EXPERIMENTALE DE L'ENTHALPIE MASSIQUE DE FUSION DE LA GLACE

On propose dans cette sous-partie d'analyser les résultats expérimentaux obtenus par des étudiants à l'occasion d'une séance de travaux pratiques ayant pour but la détermination de la valeur de l'enthalpie massique de fusion de la glace.

30. Rappeler la définition de l'enthalpie massique de fusion de la glace.

La démarche expérimentale suivie pour déterminer l'enthalpie massique de fusion de la glace met en œuvre une technique calorimétrique particulière, la méthode des mélanges. Le protocole est détaillé dans le document 2, qui donne aussi toutes les indications utiles sur l'affichage des valeurs mesurées par les appareils utilisés.

Document 2 - Détermination de l'enthalpie massique de fusion de la glace par la méthode des mélanges

Protocole

1. Introduire une masse m_1 d'eau liquide connue (procéder à une pesée) dans le calorimètre.
2. Une fois l'équilibre thermique atteint, repérer la température θ_1 de l'eau (et donc du calorimètre).
3. Prélever 5 ou 6 glaçons et les placer dans un verre à pied et mesurer leur masse m_2 .
4. Attendre que les glaçons commencent à fondre et suivre leur température θ_2 .
5. Lorsque le thermomètre indique que la température des glaçons est $\theta_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, les introduire rapidement dans le calorimètre.
6. Une fois que les glaçons ont fondu et que l'équilibre thermique est atteint, repérer la température finale θ_f du système.

Résolution des appareils de mesure

- les masses sont mesurées à l'aide d'une balance électronique qui affiche la valeur de la masse au gramme près. On assimile la valeur mesurée d'une masse à une variable aléatoire suivant une loi uniforme sur un intervalle de largeur égale à un gramme, centré sur la valeur affichée par la balance.
- les températures sont repérées à l'aide d'un thermomètre électronique qui mesure et affiche la valeur de la température au dixième de degré Celsius près. On assimile la valeur mesurée d'une température à une variable aléatoire suivant une loi uniforme sur un intervalle de largeur égale à un dixième de degré Celsius, centré sur la valeur affichée par le thermomètre.

Les résultats obtenus par un groupe d'étudiants sont les suivants :

$$m_1 = 250 \text{ g}; m_2 = 32 \text{ g}; \theta_1 = 18,7 \text{ }^\circ\text{C}; \theta_2 = 0,0 \text{ }^\circ\text{C}; \theta_f = 9,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

31. En supposant que le système {eau+glaçons} évolue de façon adiabatique, établir, à l'aide d'un bilan énergétique, la relation suivante :

$$\ell_f = - \frac{m_1}{m_2} c \ell (\theta_f - \theta_1) - c \ell (\theta_f - \theta_2) .$$

Afin d'exploiter le résultat de leurs mesures et de prendre en compte les incertitudes de mesure, les étudiants rédigent et utilisent le programme python suivant :

```
1  ## importation des bibliothèques
2  import numpy as np
3  import numpy.random as rd
4
5  ## Constantes physiques
6  # Capacité thermique massique de l'eau liquide
7  c = 4.18E3
8
9  ## fonctions définies par l'utilisateur
10 def lf(m1,m2,Tf,Te,Tg):
11     '''
12     Renvoie la valeur de lf à partir de
13     - masse d'eau liquide m1 à température initiale Te (en K)
14     - masse de glace m2 à température initiale Tg (en K)
15     - température finale Tf (en K)
16     '''
17     return -(m1/m2)*c*(Tf-Te)-c*(Tf-Tg)
18
19 def calcul_lf(N,m1,m2,Tf,Te,Tg,delta_m,delta_T):
20     '''
21     Renvoie la valeur de l'enthalpie massique de fusion et calcule l'incertitude-type
22     par la méthode de Monte-Carlo, étant donné les valeurs des grandeurs utiles et
23     les largeurs de leurs intervalles de variation. Ces grandeurs sont considérées comme
24     des variables aléatoires avec une loi de probabilité uniforme sur ces intervalles de
25     variation.
26     '''
27     # Création d'un tableau vide contenant N termes
28     liste = np.empty(N)
29     # tirage aléatoire des valeurs des grandeurs (méthode de Monte-Carlo)
30     for i in range(N):
31         me_sim = m1 + (delta_m/2)*rd.uniform(-1,1)
32         mg_sim = m2 + (delta_m/2)*rd.uniform(-1,1)
33         liste[i] = lf(me_sim,mg_sim,Tf,Te,Tg)
34     return [np.mean(liste),np.std(liste)]
35 a=10000
36 resultat = calcul_lf(100000,0.250,0.032,282.7,291.7,273.0,0.001,0.1$)
37 print("Moyenne = %.2f kJ/kg ; écart-type = %.2f kJ/kg"%(resultat[0]/1000,resultat[1]/1000))
```

32. Expliquer pourquoi ce programme, bien que sa syntaxe soit correcte, ne fournit pas une valeur satisfaisante de l'incertitude-type sur la mesure de l'enthalpie massique de fusion de la glace.

Une fois l'erreur corrigée, le programme fournit le résultat suivant :

```
1  Moyenne = 253.38 kJ/kg ; écart-type = 3.03 kJ/kg
```

33. En s'appuyant sur le calcul d'un écart normalisé, comparer la valeur obtenue pour l_f à la valeur de référence donnée dans le tableau de valeurs numériques en début du sujet (page 2).

34. Proposer une critique succincte du protocole suivi.

Partie V Rendre l'eau potable

Plusieurs possibilités s'offrent au randonneur pour purifier l'eau de source trouvée en chemin, afin de pouvoir la consommer sans danger pour la santé. Il opte pour la solution de l'alcool iodé.

Document 3 - L'eau en voyage, comment rendre l'eau potable (d'après le site routard.com)

Quels sont les différents moyens dont un voyageur dispose pour traiter son eau ?

1) Ébullition

Selon les différents avis, il faut faire bouillir l'eau d'une à dix minutes. L'ébullition permet de désinfecter l'eau avant de la boire mais pas de la stériliser.

En altitude, n'oubliez pas que l'eau bout à une température plus basse et que les germes ont donc plus de chance de résister. Il est donc vivement conseillé de traiter votre eau ou de la filtrer.

2) Désinfection chimique

Les désinfectants chimiques du voyageur sont efficaces sur les bactéries. Parmi eux, certains éliminent également les virus et les parasites. Ils doivent toujours être utilisés avec une eau bien claire. Il est essentiel d'attendre un délai suffisant avant de la boire, de 15 minutes à 2 heures selon le produit utilisé.

Les différents désinfectants :

Le plus efficace est l'iode, disponible en France en pharmacie sous forme d'alcool iodé à 2 %. On l'utilise à dose de 5 à 10 gouttes par litre d'eau selon la turbidité (aspect trouble de l'eau) et avec un temps de contact de 30 minutes. Son utilisation doit pourtant rester ponctuelle, l'utilisation prolongée présentant un risque pour la thyroïde. Il existe aussi des résines iodées qui équipent certains systèmes pour le voyageur.

Les autres désinfectants de l'eau disponibles sont des agents dérivés du chlore. Le problème avec les agents chlorés, c'est que leur efficacité dépend beaucoup du pH de l'eau, ce que le voyageur ne peut contrôler.

Par ailleurs, tous ces désinfectants chimiques, alcool iodé et agents chlorés, ont une efficacité qui diminue lorsque l'eau est froide (<10 °C). Il faut alors doubler le temps de contact.

3) Filtrage

Une micro-filtration de porosité absolue entre 0,2 et 0,4 µm arrêtera efficacement les bactéries et les parasites, mais pas les virus, qui sont trop petits. Un avantage de ce procédé, c'est que l'eau peut être consommée immédiatement.

Document 4 - D'après le guide « Antiseptiques et désinfectants » du centre de Coordination de la Lutte contre les Infections Nosocomiales de l'Inter-région Paris - Nord

Les produits iodés sont bactéricides, virucides, fongicides et sporicides.

L'iode sous forme moléculaire (le diiode, I₂) est capable de traverser rapidement la membrane cellulaire. Son action est due à son pouvoir oxydant, comme les autres halogénés, sur les protéines enzymatiques et membranaires.

Les produits iodés sont stables entre pH = 1 et pH = 6.

Les matières organiques (protéines, sérum, sang...) diminuent l'activité des dérivés iodés.

Document 5 - Alcool iodé à 1 % (d'après la fiche de l'Agence Nationale de Sécurité du médicament). Premier extrait.

La préparation satisfait à la monographie Préparations liquides pour application cutanée (0927).

Définitions

a) Formule :

Composants	Quantité (g)	Fonction	Référentiel
Diiodé	1,00	Substance active	Ph. Eur.
Potassium (iodure de)	0,60	Solvant	Ph. Eur.
Éthanol à 96 % en volume	54,7	Excipient	Ph. Eur.
Eau purifiée q.s.p.	100,0	Excipient	Ph. Eur.

« q.s.p » signifie que l'on ajoute la quantité d'eau purifiée nécessaire pour obtenir 100,0 g d'alcool iodé.

Dans le cas d'utilisation d'éthanol à 90 % en volume, il convient de se référer au texte général Alcométrie de la Pharmacopée française.

b) Teneur

Diiodé libre (I_2) : de 0,95 % en masse à 1,05 % en masse.

Iodure de potassium (K^+ , I^-) : de 0,57 % en masse à 0,63 % en masse.

Production (quantités du tableau)

Précaution : utilisez des récipients de verre pour la préparation.

Dissolvez l'iodure de potassium puis le diiodé dans 5 mL d'eau purifiée ; agitez et ajoutez la quantité d'alcool indiquée. Complétez avec de l'eau purifiée.

Caractères

Aspect : liquide limpide brun foncé.

Odeur d'éthanol et d'iode.

35. On souhaite préparer la solution d'alcool iodé en suivant le descriptif du document 5. Préciser le matériel le plus adapté pour :
- obtenir 5 mL d'eau purifiée,
 - préparer les quantités adéquates de diiodé solide et d'iodure de potassium solide.
36. Le processus de désinfection de l'eau repose sur des réactions chimiques. Quelle est la nature de ces réactions chimiques d'après les documents 3 et 4 ? On ne demande pas d'équation bilan de réaction.
37. Expliquer pourquoi il y a un délai entre l'utilisation du désinfectant et le moment où l'on peut consommer l'eau. Ce délai s'allonge lorsque la température diminue. Sur quel paramètre la température joue-t-elle ?
38. On parle de « pouvoir oxydant » dans le document 4. Justifier cette affirmation à l'aide de la notion de nombre d'oxydation. On s'intéressera au couple I_2/I^- .

On s'intéresse maintenant au dosage du diiode.

Document 6 - Alcool iodé à 1 % (d'après la fiche de l'Agence Nationale de Sécurité du médicament). Deuxième extrait.

Dans une fiole conique, introduisez 10,00 g d'alcool iodé. Ajoutez 20 mL d'eau et 1 mL d'acide sulfurique dilué. Titrez par le thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en présence de solution d'amidon.

1 mL de thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ correspond à 12,69 mg de diiode.

Teneur (en g pour 100 g) en diiode :

$$\frac{V \times C \times 12,69}{m}$$

V = volume versé en mL de thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

C = titre exact du thiosulfate de sodium $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

m = prise d'essai d'alcool iodé en grammes.

Données 3

Formules chimiques :

- Diiode : I_2 solide ou en solution aqueuse
- Iodure de potassium : KI solide ou (K^+ , I^-) en solution aqueuse
- Thiosulfate de sodium : $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solide ou (2Na^+ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) en solution aqueuse
- Solution d'acide sulfurique : H_2SO_4

Masse molaire de l'iode : $M(\text{I}) = 126,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Masse volumique de l'eau liquide = $\mu_{\text{eau}} = 1 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$

La solution d'amidon est bleue en présence de diiode et incolore sinon.

Potentiers standard d'oxydo-réduction à $25 \text{ }^\circ\text{C}$:

- $E^\circ (\text{I}_2 / \text{I}^-) = 0,62 \text{ V}$
- $E^\circ (\text{S}_4\text{O}_6^{2-} / \text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,08 \text{ V}$

Volume moyen d'une goutte de solution aqueuse = $V_g = 0,05 \text{ mL}$

39. Faire un schéma annoté du dosage avec la verrerie utilisée. Où met-on la solution d'alcool iodé ? Où met-on la solution de thiosulfate ?
40. Dans l'alcool iodé, la substance qui réagit lors du dosage est le diiode. Ecrire la réaction de dosage. Justifier qualitativement que cette réaction est totale.
41. Comment l'équivalence du dosage est-elle repérée dans le protocole présenté dans le **document 6** ? Décrire en justifiant ce que l'on voit.
42. Etablir le lien entre la quantité de matière $n(\text{I}_2)$ de diiode présent dans la masse m d'alcool iodé dosé, le volume V' (en litres) de solution de thiosulfate versée à l'équivalence du dosage et la concentration C de la solution de thiosulfate de sodium.
43. Donner l'expression de la masse m' de diiode présent dans la masse m dosée en fonction de $n(\text{I}_2)$ et de $M(\text{I})$, la masse molaire de l'iode.

44. Montrer avec soin que l'on retrouve l'expression de la teneur en diiode annoncée dans le **document 6**. On rappelle que la teneur correspond à un pourcentage.

Lors du dosage d'une solution d'alcool iodé utilisée pour la désinfection, selon le protocole du document 6, on obtient un volume équivalent de thiosulfate de sodium de 10,1 mL.

45. Quelle est la masse de diiode contenue dans la prise d'essai. On attend ici un résultat numérique avec deux chiffres significatifs.

46. Quelle masse approximative de diiode ingurgite-t-on lorsque l'on boit un litre d'eau dans laquelle on a mis une dizaine de gouttes de cet alcool iodé ?

• • • FIN • • •

Extraits des rapports de jury du DS2

Partie I, II et III G2E BCPST 2022

REMARQUES GÉNÉRALES

On ne peut que regretter de devoir répéter de nombreuses choses déjà écrites dans les rapports précédents, ce qui incite à penser que les candidats ne prennent pas la peine de lire ces rapports, alors qu'ils contiennent pourtant des conseils pertinents pour leur préparation aux concours, en complément ou confirmation de ceux dispensés par les enseignants.

Les candidats sont invités à lire de façon diagonale le sujet au début de l'épreuve afin d'identifier les parties du sujet, qui, à la première lecture, donnent les meilleures chances de succès. Sur la forme On déplore un certain nombre de copies de présentation trop peu soignée : nombreuses ratures, résultats non mis en évidence (on attend a minima qu'ils soient soulignés), questions traitées dans un ordre aléatoire (si des parties indépendantes peuvent être traitées dans un ordre quelconque, il est attendu que les questions d'une même partie soient abordées de façon connexe et consécutivement). Des réponses illisibles ne peuvent être comptées justes.

En dehors de l'aspect présentation, trop de copies présentent un français approximatif, que ce soit du point de vue syntaxique ou orthographique : de futurs ingénieurs doivent avoir le souci de la composante communication, indissociable de leur futur métier.

Sur le fond De nombreux problèmes d'homogénéité sont constatés :

- Homogénéité dimensionnelle : trop de candidats ne connaissent pas les unités des grandeurs usuelles en physique et ne sont pas choqués de voir une égalité entre une distance et un angle, une force et un travail, une énergie et une puissance ; à ce sujet, il n'est pas inutile de rappeler qu'une puissance s'exprime en Watt (W) plutôt qu'en $J \cdot s^{-1}$ même si cela est dimensionnellement juste. Il est légitime d'attendre des candidats qu'ils soient à même de répondre aux questions d'analyse dimensionnelle élémentaire figurant dans le sujet. Non, une résistance thermique ne s'exprime pas en Ω pas plus qu'un débit massique en $W \cdot J \cdot g^{-1}$! De même, le travail est parfois exprimé en $g \cdot m^2 \cdot s^{-2}$. On trouve parfois $P = mgz$ et $W = -mgz^2$.
- Homogénéité mathématique : un vecteur ne peut être égal à un scalaire, cela est pourtant le cas dans bien des copies pour les parties mécaniques et isolation thermique. Dans un domaine connexe, trop de candidats rencontrent des difficultés pour projeter un vecteur sur des axes (dans un plan !).
- Homogénéité d'ordre de grandeur : les notations usuelles « Δ », « δ » et « d » sont souvent mal comprises et on lit des égalités entre des grandeurs finies et des grandeurs infinitésimales ($\Delta EC = \delta W$ pour le théorème de l'énergie cinétique).

On constate un manque de recul de la part des candidats devant certaines valeurs numériques :

- Il est peu probable que la vitesse d'ascension du sac de sable mû par la grue dépasse allégrement la centaine de mètres par seconde.
- Dans la pompe à chaleur, trouver des températures du fluide allant de $2,7 \times 10^{-5}$ K à 94×10^3 K (pas dans la même copie heureusement), devrait susciter des réactions.
- Que dire de l'épaisseur d'une couche de peinture de 90 m, en particulier lorsqu'elle est appliquée sur les murs d'une pièce dont la plus grande dimension est 6 m ???? Les applications numériques effectuées à partir d'une expression algébrique juste sont quelquefois entachées d'erreur, montrant un manque d'entraînement à l'usage de la calculatrice de certains candidats. Remarques de détail

REMARQUES PARTICULIÈRES

Partie D

18. On lit plus souvent une propriété liée à la notion de pression de vapeur saturante que sa définition. De nombreuses imprécisions conduisent à une définition fautive comme « molécule ou espèce chimique à l'état gazeux »

19. Les expressions de la loi de Laplace sont généralement connues, ses conditions d'application un peu moins. Il n'est pas inutile de rappeler qu'elle ne s'applique qu'au seul gaz parfait (parfois c'est pour un fluide incompressible). On mentionne seulement le caractère adiabatique, ou bien un système adiabatique irréversible. Si une adiabatique réversible est bien une isentropique, cela n'a rien à voir avec une isenthalpique. Comme souvent, certains font le calcul en employant les degrés Celsius, ce qui mène à des résultats aberrants.

20. Confusion fréquente entre courbes d'ébullition et de rosée, ce qui tendrait à prouver que les candidats concernés n'ont pas compris le sens de ces mots. Lié sans doute à la mauvaise compréhension de la notion de pression de vapeur saturante, beaucoup de candidats ne pensent pas que les points A et D, étant sur une même isobare de l'équilibre liquide-vapeur, sont à la même température. Ils s'intéressent alors au caractère isenthalpique de la transformation CD pour trouver la température de D. Selon les cas, ils la déduisent de la loi de Laplace (cf. confusion signalée plus haut entre isentropique et isenthalpique), ou appliquent un calcul qui serait adapté au gaz parfait mais pas au mélange diphasé. On rappelle que $\Delta h = cp\Delta T$ ne s'applique pas pour un changement d'état.

21. En général bien traité, quelques confusions puissance/énergie exceptées.

22. Quelques candidats ne pensent pas à utiliser les données numériques fournies et se lancent dans des calculs adaptés au gaz parfait mais pas au mélange diphasé.
23. Peu de candidats font lien entre la puissance thermique de chauffage donnée et la transformation BC, ne pouvant conclure.
24. Rarement traitée, pour les mêmes raisons que la précédente.
25. La pompe à chaleur est une machine ditherme courante mais reste un mystère pour trop de candidats qui n'attribuent pas les signes corrects aux grandeurs énergétiques.
26. Au fait que la notion d'efficacité soit mal assimilée (même si des relations « intérêt » / « coût » sont très majoritairement invoquées), se rajoutent les problèmes de signe de la question précédente ainsi que la difficulté à associer les transferts énergétiques avec les transformations décrites en en-tête de cette partie.
27. C'est une question de cours : encore faut-il l'avoir appris !
28. Beaucoup de candidats ont retenu qu'une efficacité devait être strictement inférieure à un (confusion avec le rendement d'un moteur) alors que c'est justement l'inverse pour une pompe à chaleur, et trafiquent leurs résultats pour que ce soit le cas. On rappelle que dans le calcul de $T_c / T_c - T_f$, T_c au numérateur doit se mettre en K .

Partie E

29. La relation de Bernoulli est le plus souvent connue, même s'il arrive que r soit remplacée par m , ou P par S , ou bien qu'on oublie le carré sur la vitesse ; de même, ce carré disparaît parfois quand il s'agit d'exprimer une énergie cinétique. $\Delta P + \rho + 1/2 \rho v^2 = c$ a trop souvent été lu.
30. Généralement correcte.
31. La raison qui interdit l'application de la relation de Bernoulli de part et d'autre de l'éolienne est floue (écoulement non stationnaire, point d'arrêt...?).
32. En partie traitée.
33. Trop de candidats ignorent la relation entre force et puissance ; les confusions entre pression et puissance (« La puissance est une force surfacique », sic), toutes deux représentées par la lettre P , ne sont pas rares.
34. Réponses rares.
35. Généralement correcte lorsqu'elle est traitée.
36. Généralement correcte lorsqu'elle est traitée.
37. Peu traitée.
38. L'expression du rendement étant donnée, il est étonnant que trop peu de candidats l'aient exploitée pour répondre à cette question

Partie G

46. Hormis des problèmes d'applications numériques et le fait que des candidats peignent sol et plafond (l'énoncé précisait : « les murs »), bien traitée lorsqu'elle l'est. Le nombre de pots de peinture est le plus souvent correct. On peut quand même trouver 400 pots ou même 80000 pots (pour remplir le volume de la pièce !). Un candidat a quant à lui estimé sans aucun calcul qu'il fallait environ 33 pots....
47. Curieusement peu traitée à la suite de la précédente ; des résultats aberrants ne surprennent pas leurs auteurs (90 m d'épaisseur déjà cité plus haut).
48. Habituels problèmes concernant les unités, déjà cités.
49. Peu de réponses : même si l'énoncé citait le terme d'écoulement de Couette, aucune connaissance à ce sujet n'était requise : il suffisait de savoir ce qu'est un gradient. Un nombre non négligeable de candidats ont répondu correctement à cette question en utilisant la notion de gradient mentionnée dans l'énoncé.
50. Définition et conséquences généralement connues. L'expression du nombre de Reynolds est le plus souvent donnée, mais sa valeur numérique rarement correcte.
51. Peu de réponses, rarement satisfaisantes, excepté ce qui concerne l'intérêt de l'augmentation de la viscosité lors du séchage qui relevait du bon sens élémentaire.
52. Généralement juste mais rarement traitée (fin d'énoncé et manque de temps ?).
53. Rarement traitée.
54. Rarement traité

Partie IV Agro-véto BCPST 2023

Le sujet proposait une grande variété de types de questions. Environ 20 % du barème étaient dédiés à la restitution de connaissances et à l'énoncé de lois physiques. Une part significative des questions permettait d'évaluer des compétences essentielles telles que la construction d'une démarche argumentée et sa mise en œuvre ou encore la confrontation d'un modèle avec des résultats expérimentaux. Cette dernière compétence a notamment été déclinée selon des modalités nouvelles dans l'esprit de la réforme du programme officiel : il était ainsi proposé une question d'analyse d'un programme informatique et la validation d'une valeur numérique mesurée expérimentalement par un test d'écart normalisé.

- Comme les années précédentes, on peut regretter que certaines techniques calculatoires, comme le calcul intégral, constituent un obstacle pour une part importante des candidats, y compris lorsque les questions sont guidées. La rigueur indispensable à la conduite de calculs de quelques lignes est trop souvent absente. Lorsqu'un résultat est fourni dans l'énoncé et qu'un candidat cherche à l'obtenir de manière non rigoureuse, et quelquefois malhonnête, cela ne donne lieu à l'attribution d'aucun point. Cette démarche doit être absolument proscrite.
- L'interprétation physique des résultats des calculs, quand elle est présente, permet souvent de lire des remarques très pertinentes dans les copies. Ces remarques, qui doivent rester brèves et précises, sont valorisées.
- Les questions autour de l'exploitation de résultats expérimentaux à l'aide d'un code informatique en langage Python n'ont pas été évitées par les candidats. La moitié des candidats ont abordé la question portant à proprement parler sur le code, et la moitié de ceux qui ont répondu ont apporté une réponse partiellement ou entièrement satisfaisante.

REMARQUES PARTICULIÈRES

23. La moitié des candidats ont su définir correctement l'enthalpie massique de fusion de la glace. Quelques candidats, heureusement rares, confondent l'enthalpie massique avec une température.

24. Il est important de préciser les lois utilisées (par exemple le premier principe de la thermodynamique) et d'expliciter les hypothèses qui conduisent à la conclusion finale.

25. La moitié des candidats ont abordé cette question, et la moitié de ceux qui ont répondu ont apporté une réponse partiellement ou entièrement satisfaisante.

26. Il ne faut pas confondre la notion d'écart relatif et celle d'écart normalisé. Cette dernière notion, apparue avec la réforme des programmes, doit être mieux intégrée par les candidats.

27. Beaucoup de candidats ont répondu à cette question avec des arguments assez divers, mais le plus souvent pertinents

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS POUR L'ANNÉE SUIVANTE

- Les candidats sont invités à répondre précisément aux questions en fonction de leur formulation : le verbe « donner » signifie qu'aucune justification n'est attendue, à l'inverse d'autres verbes comme « établir », « démontrer », etc.
- Afin de se voir attribuer la totalité des points aux réponses abordées, il est primordial de répondre en exposant brièvement l'argumentation scientifique (par exemple les hypothèses faites, les lois utilisées, les simplifications envisagées) avant le développement des calculs. Un résultat non justifié est susceptible de ne rapporter aucun point ou une fraction très faible des points attribués à la réponse. Lorsque le résultat à établir est donné dans l'énoncé, le jury est très attentif à voir figurer sur la copie toutes les étapes de démonstration ; aucune tentative malhonnête de parvenir au résultat final sans démonstration claire n'est jamais récompensée.
- Afin de parvenir à une bonne maîtrise de la discipline, les candidats doivent, au cours de leurs deux années de préparation, s'interroger sur le sens des outils mathématiques qu'ils emploient et l'importance de les utiliser avec rigueur.
 - o Dans une égalité, un vecteur ne peut pas être égal à un scalaire.
 - o Il faut être plus vigilant aux signes : la norme d'un vecteur ne peut être négative, mais les coordonnées de ce vecteur dans une base peuvent l'être.
 - o Dans une intégrale, l'écriture de l'élément différentiel est indispensable (et, la plupart du temps, cet élément différentiel participe à l'homogénéité de la relation).
 - o Il faut posséder un certain nombre de notions géométriques de base utilisées en sciences expérimentales, notamment les expressions des périmètres, aires et volumes usuels.
- Lorsque l'on trouve un résultat incohérent (valeur numérique aberrante par exemple) et qu'on ne parvient pas à déceler son erreur, il est recommandé de signaler brièvement que le résultat obtenu n'est pas satisfaisant afin de montrer son recul.

Partie V CCINP TSI 2019

Le sujet était de difficulté modérée, proche du cours, avec quelques questions ouvertes pour une meilleure mise en contexte des résultats obtenus. Certaines questions testaient la capacité des étudiants à chercher une information dans des documents « grand public ». Les parties les plus réussies sont les parties I.1 et II.2. Les questions les moins réussies sont celles sur le dosage, souvent laissées de côté et les bilans d'énergie en thermodynamique, traitées sans rigueur.

REMARQUES GÉNÉRALES

Le plus souvent, les copies sont présentées avec soin. Les correcteurs insistent toujours sur le fait que les résultats doivent être mis en valeur (idéalement encadrés à la règle) et les mots clés soulignés dans les réponses rédigées. Les applications numériques doivent être menées jusqu'au bout : un résultat laissé sous forme de fraction ne donne pas lieu à attribution de points. De nombreux commentaires s'appuyaient sur les résultats numériques qui étaient donc d'une importance non négligeable. La consigne donnée sur la première page de l'énoncé à propos du nombre de chiffres significatifs n'a quasiment pas été suivie. Son objectif était pourtant de permettre la simplification des calculs. On rappelle que « 600 000 » contient 6 chiffres significatifs. Les applications numériques demandées étaient choisies de manière à pouvoir être faites de tête sans difficulté si elles étaient bien posées.

Quand une justification était demandée, une réponse isolée (par exemple : "La puissance est nulle" en Q1) ne donnait pas lieu à attribution de points. Lorsqu'un raisonnement était demandé, il fallait faire preuve de rigueur et de précision (par exemple : utilisation de la conservation de l'énergie mécanique en Q22). Comme les parties étaient indépendantes les unes des autres dans une large mesure, elles pouvaient être abordées dans l'ordre souhaité par les candidats. Cependant, au sein d'une partie, il faut traiter les questions dans l'ordre.

Il est fortement conseillé aux candidats de laisser de la place entre les questions pour revenir sur une question laissée de côté, plutôt que d'y répondre au milieu d'une autre partie.

Dans de nombreuses copies, on constate un fort contraste entre les différentes parties : par exemple, la mécanique est traitée correctement mais les connaissances élémentaires de thermodynamique font manifestement défaut.

Une lecture très attentive du sujet est indispensable pour répondre précisément et complètement aux questions posées. Le sujet contient des indications que les candidats doivent utiliser avec profit :

- les variables à partir desquelles exprimer un résultat (exemple : Q2) ;
- des indications d'unités ;
- les définitions des termes (exemple : dénivelé, à ne pas confondre avec distance parcourue) ;
- la nature des phénomènes (exemple : simple réflexion de la lumière en Q59).

La stratégie du « grappillage » (réponses à des questions dans le désordre, prélevées un peu partout dans le sujet), souvent menées dans des copies par ailleurs assez vides, n'est pas payante.

REMARQUES PARTICULIÈRES

Q47. La verrerie de base est mal connue. Il faut être capable de l'associer correctement à la précision requise.

Q52. Un bilan redox doit être justifié par deux demi-équations redox.

Q54. La relation à l'équivalence est rarement juste. Elle doit dans tous les cas être justifiée.

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS POUR L'ANNÉE SUIVANTE

Nous conseillons aux candidats de relire les rapports des années précédentes, toujours d'actualité. Nous proposons ici le portrait du candidat idéal...

Le candidat idéal ne fait pas d'impasse sur le programme de CPGE : il est capable de traiter des exercices sur n'importe quelle partie du programme. Il fait une lecture attentive du sujet. Aidé de ses connaissances, il sait alors parfaitement ce que l'on attend de lui. Ses démonstrations sont rigoureuses et n'omettent aucun argument. Il s'est entraîné à faire des applications numériques de tête. La présentation de sa copie suit les indications déjà données plus haut :

- les parties sont faites dans l'ordre souhaité par le candidat, dans la mesure où elles sont indépendantes : le candidat commence par ses points forts. Au sein d'une partie, les questions sont traitées dans l'ordre, quitte à prévoir de la place pour revenir sur une question laissée de côté.
- Les numéros de questions sont indiqués, sans erreur.
- Les résultats sont mis en valeur.
- Les erreurs sont barrées proprement et le contenu faux est réécrit à part : pas de superposition qui conduit à des amas illisibles.
- Le stylo choisi apporte du contraste à l'écriture : encre foncée, trait bien marqué.

Correction DS 2

I. La pompe à chaleur

1. La pression de vapeur saturante p_{sat} est la pression du gaz lorsqu'il en équilibre avec le liquide (si on a affaire à un mélange, il s'agit de la pression partielle).
2. La loi de Laplace s'applique à un gaz parfait de $\gamma = \text{cste}$ subissant une transformation isentropique. Elle impose tout au long de la transformation :

$$pV^\gamma = \text{cste}$$

ou encore, en combinant cette relation avec l'équation d'état des gaz parfaits :

$$p^{1-\gamma} T^\gamma = \text{cste}$$

En admettant que la transformation AB est réversible et que l'ammoniac se comporte comme un gaz parfait, on écrit :

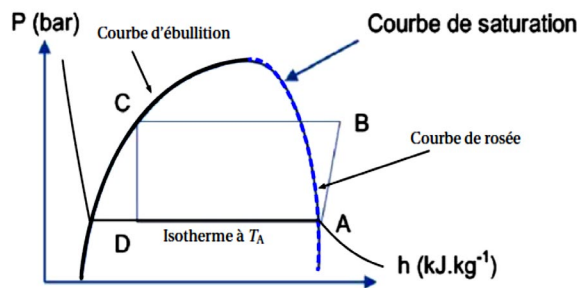
$$p_A^{1-\gamma} T_A^\gamma = p_B^{1-\gamma} T_B^\gamma$$

d'où :

$$T_B = T_A \left(\frac{p_B}{p_A} \right)^{1-1/\gamma}$$

$$\boxed{\text{AN}} \quad T_B = (273 - 5) \times \left(\frac{15}{3,5} \right)^{1-1/1,33} \Rightarrow T_B \approx 385 \text{ K} \approx 112 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. Le système est gazeux aux points A et B, donc à droite de la courbe de saturation (enthalpies massiques élevées). Sous cette courbe on trouve des mélanges diphasés liquide-gaz, et à sa gauche (enthalpies massiques faibles) le liquide. La courbe délimitant le domaine d'existence du liquide (reps. gaz) est la courbe d'ébullition (reps. rosée).



Au cours d'un changement d'état réversible, T et p restent fixées. Les isothermes forment donc un palier horizontal sous la courbe de saturation, ce qui implique :

$$\theta_D = \theta_A = -5 \text{ }^\circ\text{C}$$

4. D'après le tableau de données, et en utilisant le fait que la transformation DC est isenthalpique, on obtient :

$$\begin{aligned} h_B - h_A &= 220 \text{ kJ.kg}^{-1} \\ h_C - h_B &= -1320 \text{ kJ.kg}^{-1} \\ h_D - h_C &= 0 \\ \mathbf{h_A - h_D} &= \mathbf{1100 \text{ kJ.kg}^{-1}} \end{aligned}$$

5. Le fluide échange de l'énergie avec l'habitation au cours de l'étape BC, lors de son passage dans le radiateur qui ne possède pas de parois mobiles. Le travail utile w_{BC} est donc nul, et le PPI impose :

$$h_C - h_B = q_{BC}$$

$$\text{d'où : } \dot{D}_m(h_C - h_B) = \dot{D}_m q_{BC} = -P_{th}$$

Le signe - est lié à la définition de P_{th} , puissance algébriquement reçue par la maison.

$$\text{On en déduit : } \dot{D}_m = P_{th} / (h_B - h_C)$$

$$\text{AN } \dot{D}_m = 10 \cdot 10^3 / 1320 \cdot 10^3 = 1 / 132 \Rightarrow \mathbf{\dot{D}_m \approx 7,6 \text{ L.s}^{-1}}$$

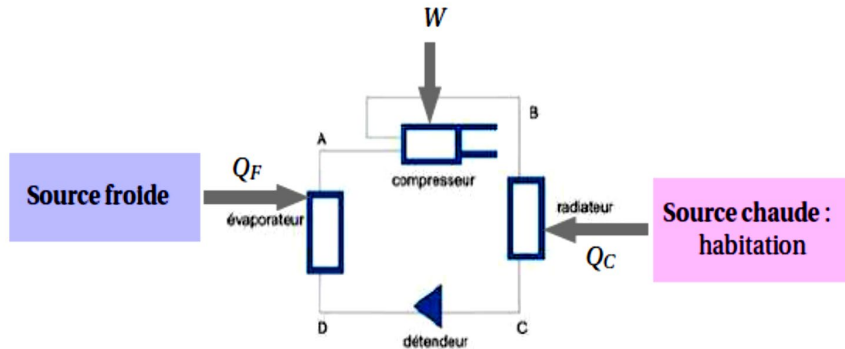
Cet ordre de grandeur semble réaliste.

6. Le fluide ne reçoit pas de travail utile au cours des étapes BC et DA, donc le travail global reçu est :

$$w = w_{AB} + w_{CD} = h_B - h_A + h_D - h_C = h_B - h_A \text{ et donc la puissance reçue est : } P_m = \dot{m}(h_B - h_A)$$

$$\text{AN } P_m = 7,6 \cdot 10^{-3} \times 220 \cdot 103 \Rightarrow P_m \approx 1,7 \text{ kW}$$

7. Les transferts thermiques sont définis comme algébriquement reçus par le fluide :



Le fluide reçoit effectivement un travail dans le compresseur, donc $W > 0$.

Le fluide fournit effectivement un transfert thermique à la source chaude (rôle de radiateur), $Q_C < 0$

Le fluide reçoit effectivement un transfert thermique de la part de la source froide, donc $Q_F > 0$.

8. L'efficacité est le rapport de la grandeur utile (ici la puissance reçue par l'habitation) sur la grandeur coûteuse (ici la puissance mécanique fournie à la machine), soit :

$$e = P_{th}/P_m$$

$$\text{AN } e = 10/1,6 \Rightarrow e \approx 6,0$$

L'ordre de grandeur obtenu est correct : une pompe à chaleur de très bonne qualité (A+++) doit avoir une efficacité supérieure à 5,1.

9. Considérons un fluide parcourant un cycle ditherme, au cours duquel il est mis en contact avec deux sources de températures T_F et T_C . Il reçoit lors de ces étapes l'entropie :

$$S_e = Q_C/T_C + Q_F/T_F$$

Par ailleurs, la variation d'entropie du fluide sur l'ensemble du cycle est : $\Delta S = S_e + S_{créée}$ avec $S_{créée} \geq 0$ par définition et $\Delta S = 0$ puisqu'il s'agit d'un cycle.

On en déduit que $S_e \leq 0$, ce qui correspond à l'inégalité de Clausius :

$$Q_C/T_C + Q_F/T_F \leq 0$$

L'égalité est obtenue lorsque le cycle est parcouru de façon réversible.

10. L'efficacité maximale est obtenue dans le cas réversible, soit lorsque : $Q_F = -Q_C \cdot T_F / T_C$

Le premier principe pour un cycle s'écrit :

$$\Delta U = W + Q_C + Q_F = 0 \text{ d'où : } W = -Q_C - Q_F = -Q_C (1 - T_F/T_C)$$

Avec la même définition de l'efficacité que précédemment, $-Q_C$ étant le transfert thermique algébriquement reçu par l'habitation (grandeur utile) et W le travail mécanique reçu par la machine (grandeur coûteuse), on en déduit :

$$e_{max} = -Q_C/W = 1/(1 - (T_F/T_C))$$

$$\text{soit : } e_{max} = T_C/(T_C - T_F)$$

$$\text{AN } e_{max} = 273+38 / (38 - (-5)) \Rightarrow e_{max} \approx 7,2$$

L'efficacité réelle est bien inférieure à cette valeur

II. Etude du rendement d'une éolienne

29. La relation de Bernoulli est valable entre deux points A et B d'une ligne de courant (ou entre deux sections d'un écoulement unidimensionnel) dans un écoulement permanent de fluide parfait et incompressible soumis au champ de pesanteur (axe Oz choisi ascendant), en l'absence de travail utile :

$$\left[p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z \right]_A = \left[p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z \right]_B$$

30. On sait que le débit volumique se conserve pour un fluide incompressible, et que ce débit s'écrit $D_v = Sv$ pour un écoulement unidimensionnel de vitesse v sur une section S . En supposant qu'on est dans ce cadre ici sur les sections passant par A'_1 et A'_2 , on peut donc écrire :

$$v'_1 S = v'_2 S$$

d'où :

$$v'_1 = v'_2 = v$$

31. D'après la relation de Bernoulli entre A_1 et A'_1 , de même altitude :

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p'_1 + \frac{1}{2}\rho v^2$$

et de même entre A'_2 et A_2 :

$$p'_2 + \frac{1}{2}\rho v^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Entre A'_1 et A'_2 le fluide reçoit un travail utile, ce qui interdit l'application de la relation de Bernoulli.

32. En additionnant les deux relations membre à membre, et en exploitant l'égalité $p_1 = p_2 = p_0$, on obtient :

$$p'_2 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p'_1 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

d'où :

$$p'_1 - p'_2 = \frac{1}{2}\rho (v_1^2 - v_2^2)$$

33. La puissance développée par la force F est Fv , soit :

$$\mathcal{P} = \frac{1}{2}\rho v (v_1^2 - v_2^2)$$

34. En remplaçant v par son expression on obtient :

$$\mathcal{P} = \frac{1}{2}\rho (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)$$

35. La particule de fluide de vitesse v_1 et de masse élémentaire dm a pour énergie cinétique :

$$dE_{c1} = \frac{1}{2} dm v_1^2$$

36. On en déduit immédiatement :

$$\mathcal{P}_{cin,1} = \frac{1}{2} D_{m,1} v_1^2$$

puis, avec $D_{m,1} = \rho D_{v,1} = \rho S v_1$:

$$\mathcal{P}_{cin,1} = \frac{1}{2} \rho S v_1^3$$

37. Le rendement est :

$$r = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_{cin,1}} = \frac{(v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)}{v_1^3} = \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2}\right) \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right)$$

On obtient donc bien :

$$r = \frac{1}{2}(1 - x^2)(1 + x)$$

38. Pour déterminer le rendement maximal, on étudie l'annulation de la dérivée de r par rapport à x :

$$\frac{dr}{dx} = \frac{1}{2}(-2x)(1+x) + \frac{1}{2}(1-x^2) = -\frac{1}{2}(3x^2 + 2x - 1)$$

Les racines du polynôme entre parenthèses sont :

$$x = \frac{-2 \pm \sqrt{4 + 4 \times 3}}{2 \times 3} = \frac{-1 \pm 2}{3}$$

Or $0 < x < 1$, donc :

$$x_{max} = \frac{1}{3}$$

ce qui conduit à :

$$r_{max} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{9}\right) \left(1 + \frac{1}{3}\right) = \frac{184}{293} = \frac{16}{27}$$

soit :

$$\underline{r_{max} \approx 0,59}$$

III. Écoulement de la peinture sur un mur

46. Notons L la longueur de la pièce, ℓ sa largeur et h sa hauteur. La surface totale des murs est alors :

$$S = 2(L + \ell)h$$

Puisqu'il faut deux couches de peinture, la surface à peindre est :

$$S' = 2S = 4(L + \ell)h$$

Le pouvoir couvrant étant s , chaque pot de peinture de volume V_p permet de recouvrir une surface :

$$S_p = V_p s$$

Pour déterminer le nombre de pots n nécessaires, il faut donc diviser S' par S_p et arrondir à l'entier supérieur, soit en notant $E(x)$ la partie entière de x :

$$n = E\left(\frac{S'}{S_p}\right) + 1 = E\left(\frac{4(L + \ell)h}{V_p s}\right) + 1$$

AN $n = \frac{4 \times (6 + 4) \times 2,5}{1,5 \times 12} + 1 = \frac{25}{4,5} + 1 \Rightarrow n = 6 \text{ pots}$

47. Pour une couche appliquée, on sait que le volume $V_o = 1 \text{ L}$ de peinture est étalé sur $S_o = 12 \text{ m}^2$, ce qui correspond à une épaisseur e de couche telle que :

$$V_o = S_o e$$

soit :

$$e = \frac{V_o}{S_o}$$

AN $e = \frac{10^{-3}}{12} \Rightarrow e \approx 83 \mu\text{m}$

Notons que ce résultat est cohérent avec la valeur numérique proposée dans la suite de l'énoncé.

48. La viscosité dynamique s'exprime en Pa.s, soit en $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.

49. Le gradient de vitesse étant $\alpha = cste = 10 \text{ s}^{-1}$, on peut écrire :

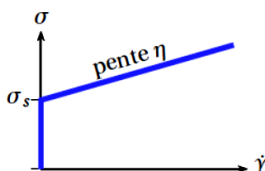
$$\alpha = \frac{dv}{dx} = \frac{\Delta v}{\Delta x} = \frac{v(e) - v(0)}{e}$$

soit, puisque la condition d'adhérence au niveau de la paroi impose $v(0) = 0$:

$$v(e) = \alpha e$$

AN $v(e) = 10 \times 80.10^{-6} \Rightarrow v(e) = 0,8 \text{ mm.s}^{-1}$

52. L'allure de σ est la suivante :



50. Le nombre de Reynolds est défini par :

$$Re = \frac{Ud}{\nu} = \frac{Ud\rho}{\eta}$$

avec U vitesse moyenne de l'écoulement, d dimension transversale et ν viscosité cinématique.

Le profil de vitesses étant affine, la vitesse moyenne est simplement :

$$U = \frac{v_{min} + v_{max}}{2} = \frac{v(0) + v(e)}{2} = \frac{v(e)}{2}$$

Notons que l'on pourrait également utiliser directement $v(e)$ comme ordre de grandeur de cette vitesse moyenne.

La dimension transversale de l'écoulement étant e , on obtient :

$$Re = \frac{v(e)e\rho}{2\eta}$$

AN $Re = \frac{0,8.10^{-3} \times 80.10^{-6} \times 1,2.10^3}{2 \times 0,12} = 8 \times 4.10^{-5} \Rightarrow Re = 32.10^{-5}$

$Re \ll Re_c = 2000$, donc l'écoulement est laminaire.

De plus $Re \ll 1$, donc l'écoulement est rampant.

51. La force de pesanteur exercée sur la particule est :

$$d\vec{P} = dm\vec{g} = \rho e dS\vec{g}$$

ce qui donne pour la contrainte (force surfacique) :

$$\sigma = \rho e g$$

Pour un fluide newtonien en écoulement unidirectionnel, on sait que cette contrainte s'exprime :

$$\sigma = \eta \frac{dv}{dx} = \eta \dot{\gamma}$$

d'où :

$$\dot{\gamma} = \frac{\rho e g}{\eta}$$

Si la viscosité augmente, $\dot{\gamma}$ diminue, donc la vitesse d'écoulement de la peinture diminue, ce qui correspond bien au résultat souhaité. Il faudrait cependant que η soit infinie pour qu'elle reste en place sur le mur, ce qui est évidemment impossible, c'est pourquoi on utilise en fait un fluide à seuil.

53. On souhaite ici que la peinture ne coule pas pour la contrainte liée à la pesanteur, soit :

$$\sigma_{s,min} = \rho e g$$

54. Avec les valeurs proposées on obtient :

AN $\sigma_{s,min} = 1,2.10^3 \times 9,8 \times 80.10^{-6} = 1,2 \times 9,8 \times 8.10^{-2} \Rightarrow \sigma_{s,min} \approx 0,94 \text{ Pa}$

IV. Mesure expérimentale de l'enthalpie massique de fusion de l'eau

23. Enthalpie massique de fusion de la glace : L_f

A la température T_f de changement d'état de la glace sous une pression P , la fusion d'une masse m de glace à température et pression constante produit une variation d'enthalpie $\Delta H = mL_f$.

24. On réalise un bilan enthalpique sur le système (eau liquide + glace). La transformation est adiabatique et isobare, elle est donc isenthalpique.

RQ : le texte suppose de manière implicite le caractère parfait du calorimètre.

$$\Delta H = \Delta H_{eau} + \Delta H_{glace} = Q_P = 0$$

On applique la loi de Joule 2 pour le liquide. À l'état initial, la glace est fondante ($\theta_2 = 0^\circ C$). À l'état final, la fusion est totale.

$$\Delta H_{eau} = m_1 c_l (\theta_f - \theta_1)$$

$$\Delta H_{glace} = m_2 L_f + m_2 c_l (\theta_f - \theta_2)$$

$$\Delta H = m_1 c_l (\theta_f - \theta_1) + m_2 L_f + m_2 c_l (\theta_f - \theta_2) = 0$$

soit

$$L_f = -\frac{m_1}{m_2} c_l (\theta_f - \theta_1) - c_l (\theta_f - \theta_2)$$

25. Deux erreurs se sont glissées dans le programme proposé :

- Typographique (ligne 35) : la variable d'entrée permettant d'estimer l'incertitude type sur la température ΔT est introduite sous la forme 0.1\$. Le dollar est une coquille de l'énoncé.

- Méthodologique (ligne 32) : on doit tenir compte de l'incertitude de mesure des températures mesurées T_f , T_e et T_g . Il manque la définition des trois températures simulées dans la méthode de Monté Carlo.

$$T_{sim} = T + (\Delta T / 2) \text{rd.uniform}(-1,1)$$

La liste $list[i]$ doit faire apparaître T_{f_sim} , T_{e_sim} et T_{g_sim} .

26. On détermine l'écart normalisé :

$$Z = \frac{|L_f(\text{moy}) - L_f(\text{table})|}{u_{L_f}} = \frac{|253.38 - 333,5|}{3,03} \approx 26$$

L'écart normalisé est supérieur à 2, la valeur calculée de L_f n'est pas satisfaisante.

27. La méthode choisie ne tient pas compte de la capacité thermique du calorimètre qui doit apparaître dans le bilan enthalpique. Celle-ci n'est certainement pas négligeable. Le texte indique de plus que l'on attend l'équilibre thermique, une fois les glaçons fondus. Il n'y a pas ici de prise en compte de fuites thermiques éventuelles qu'il aurait été souhaitable de modéliser.

V. Rendre l'eau potable

35. L'eau purifiée doit être introduite avec précision : on utilise une **pipette jaugée**. Les solides sont quant à eux pesés dans une **coupelle en verre** (à l'aide d'une spatule) avec une **balance de précision**.

Remarque : dans le protocole, il est ensuite demandé de compléter à nouveau avec l'eau purifiée donc on peut se demander si une éprouvette pourrait suffire.

36. D'après ces documents, les réactions de purifications sont des réactions d'oxydo-réduction.

Doc. 4 : « Son action est due à son pouvoir oxydant » ; Doc. 3 : « iode » « chlore », espèces rédox.

37. Il est nécessaire d'attendre un délai suffisant car la réaction est sûrement une **réaction lente**. La température est un **facteur cinétique**.

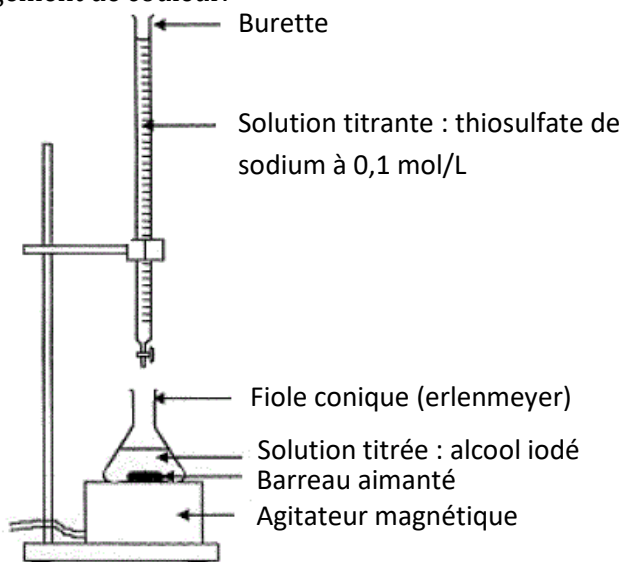
38. Plus le nombre d'oxydation d'une espèce est grand, plus son pouvoir oxydant est fort.

Dans le cas du couple I_2 / I^- on a $n.o. (I_2) = 0$ et $n.o. (I^-) = -1$.

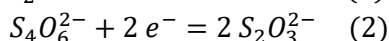
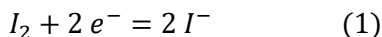
Le nombre d'oxydation de I_2 est supérieur à celui de I^- : c'est l'oxydant du couple, d'où l'affirmation « son action est due à son pouvoir oxydant ».

39. La solution d'alcool iodé est la solution titrée, elle se situe dans la **fiolle conique** (erlenmeyer). Le thiosulfate de sodium est la solution titrante, elle est placée dans la **burette**.

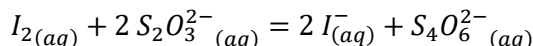
Remarque : il n'est pas précisé que le milieu réactionnel est agité mais c'est sûrement le cas car l'équivalence est repérée par changement de couleur.



40. Demi-équations rédox :



D'où la réaction de dosage :



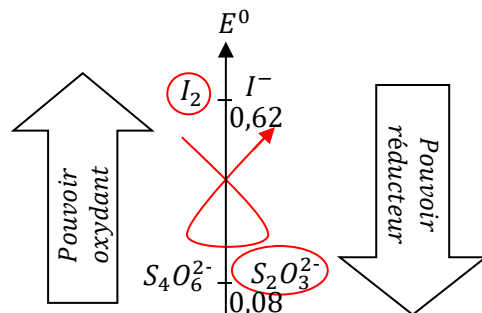
Pour justifier qualitativement que la réaction est totale, on peut comparer les potentiels standards des deux couples sur une échelle de potentiel (ci-contre). L'oxydant le plus fort en présence réagit avec le réducteur le plus fort en présence : ici la « règle du gamma est respectée » et les E^0 sont assez éloignés. La réaction peut être considérée comme totale.

Remarque : quantitativement on peut calculer la valeur de la constante de réaction,

$$\text{Demi équation (1)} : K_1^0 = 10^{\frac{2}{0,06} \times 0,64}$$

$$\text{Demi équation (2)} : K_2^0 = 10^{\frac{2}{0,06} \times 0,08}$$

Equation de réaction du dosage :



$$(1) - (2) \text{ alors } K^0 = \frac{K_1^0}{K_2^0} = 10^{\frac{2}{0,06}(0,62-0,08)} = 10^{18} \gg 10^4 \text{ la réaction est bien totale}$$

41. Le dosage est réalisé en présence d'amidon. La solution d'amidon est bleue en présence de diiode et incolore sinon. A l'état initial, la solution dans la fiole est bleue car il y a présence de diiode dans la solution titrée. A l'équivalence, tout le diiode aura été consommé : la solution va se décolorer.

42. A l'équivalence, les réactifs introduits dans les proportions stœchiométriques sont entièrement consommés : il y a changement de réactif limitant. On peut écrire :

$$\frac{n(I_2)}{1} = \frac{n(S_2O_3^{2-})}{2} \Rightarrow \frac{n(I_2)}{1} = \frac{C \times V'}{2}$$

43. On peut écrire : $m' = n(I_2) \times M(I_2) = n(I_2) \times 2M(I)$

44. Définition de la teneur massique en pourcentage :

$$t = \frac{m'}{m} \times 100 = \frac{n(I_2) \times 2M(I)}{m} \times 100 = \frac{C \times V' \times 2M(I)}{2m} \times 100$$

Avec $M(I) = 126,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; C en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V' en L soit V (en mL) = $V' \cdot 10^{-3}$; m en g

On en déduit :

$$t = \frac{C \times V \cdot 10^{-3} \times 126,9}{m} \times 100 = \frac{C \times V \times 12,69}{m} \quad \text{CQFD}$$

45. Le protocole précise « 1 mL de thiosulfate de sodium à 0,1 mol/L correspond à 12,69 mg de diiode ». Le volume versé à l'équivalence étant de 10,1 mL, on a donc une masse de $12,69 \times 10,1 = 0,13 \text{ g}$ (0,1 g avec un seul chiffre) de diiode dans la prise d'essai.

46. Dix gouttes représentent un volume de $10 \times 0,05 = 0,5 \text{ mL}$. La solution étant principalement constituée d'eau, on peut considérer que les dix gouttes correspondent à une masse de 0,5 mg d'alcool iodé ($\mu_{eau} = 1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$).

Or, cet alcool iodé contient 0,13 g de diiode soit une teneur de 1,3 % (la masse de prise d'essai était de 10 g). On en déduit la masse de diiode présente dans les dix gouttes : $m_{I_2} = 0,5 \times 1,3 \% = 6,5 \mu\text{g}$.

Remarque : en ne gardant qu'un seul chiffre au résultat de la Q57, on a $5 \mu\text{g}$.