

Concours Blanc 1

L'emploi des calculatrices personnelles est autorisé.

Instructions générales

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction. 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 encadrés et non justifiés ne seront pas pris en compte.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points.

Le candidat prendra soin de bien numéroter les questions.

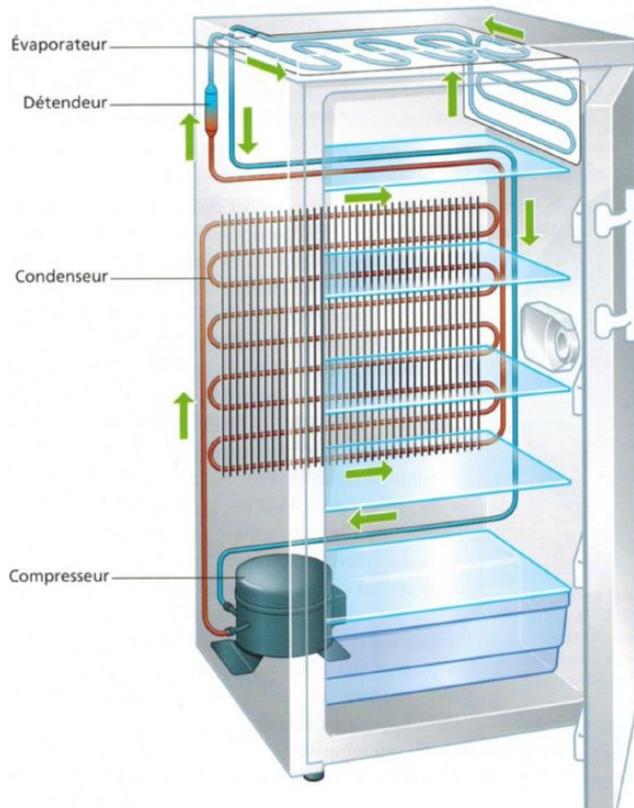
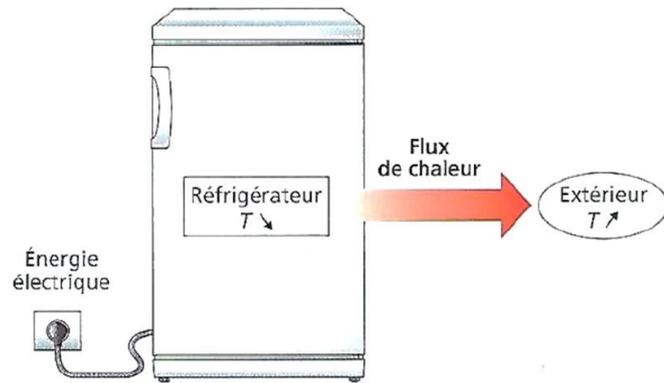
Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

La chimie représentera un tiers des points.

Etude d'un réfrigérateur à compresseur

Dans cette partie, on souhaite analyser le principe de fonctionnement du réfrigérateur à compresseur en s'appuyant sur le document 1.

Le principe du réfrigérateur est simple : il assure un transfert de chaleur depuis ses compartiments internes, qui se refroidissent, vers la pièce où il se trouve, qui se réchauffe. Ce transfert consomme de l'énergie électrique. [...]. Le compresseur comprime le fluide réfrigérant, alors froid et sous forme gazeuse, ce qui augmente sa température et sa pression. A la sortie du compresseur, le fluide est donc chaud et à haute pression. [...]. Ce gaz chaud et à haute pression circule ensuite à travers le condenseur, où il cède de la chaleur par diffusion vers l'extérieur et subit un changement d'état : le gaz se transforme en un liquide chaud sous haute pression. La condensation (plus exactement la liquéfaction) peut se produire à température élevée car la pression est importante. [...]. En poursuivant son chemin dans le circuit frigorifique, le liquide passe ensuite à travers un détendeur qui abaisse sa pression et sa température, ([...] la détente adiabatique s'effectue dans un fin capillaire). On obtient un mélange liquide-gaz à l'équilibre. Après cette chute de pression, le mélange liquide-gaz froid traverse l'évaporateur où il absorbe la chaleur de l'intérieur du réfrigérateur pour subir un second changement d'état : le liquide se met à bouillir, c'est-à-dire qu'il se vaporise. On obtient alors un gaz froid et à basse pression, qui repart dans le compresseur pour un nouveau cycle.



Document 1. Extrait du livre « La physique par les objets quotidiens » de C. Ray et J.C. Poizat

A) Principe de fonctionnement du réfrigérateur à compresseur

Le réfrigérateur est supposé être une machine cyclique et ditherme. Pour un cycle complet, on note Q_1 le transfert thermique reçu par le fluide réfrigérant de la part du milieu extérieur, Q_2 le transfert thermique reçu par le fluide réfrigérant de la part de l'intérieur du réfrigérateur et W le travail de compression permettant de faire fonctionner le réfrigérateur.

- 1) Identifier le nom des organes (compresseur, détendeur, condenseur ou évaporateur) dans lesquels les transferts d'énergie Q_1 , Q_2 et W s'opèrent. Préciser si Q_1 , Q_2 et W sont positifs ou négatifs.
- 2) Le compresseur met en jeu une compression rapide que l'on peut supposer adiabatique. Proposer une explication de l'augmentation de la température du gaz supposé parfait à l'issue de cette compression.
- 3) Dessiner l'allure du diagramme $P(T)$ pour le seul équilibre liquide / vapeur et préciser les phases dans chaque partie du diagramme et sur la courbe $P(T)$. A quelle condition une liquéfaction peut-elle s'observer à «température élevée» ?

4) Définir le coefficient de performance, noté COP , du réfrigérateur puis l'exprimer en fonction de Q_1 et Q_2 .

On suppose le régime stationnaire atteint : la température T_{ext} de l'extérieur et la température de consigne T_{int} à l'intérieur du réfrigérateur sont constantes.

5) Déterminer l'expression du coefficient de performance maximal du réfrigérateur, noté COP_c , en fonction de T_{int} et T_{ext} . Calculer ce COP_c si $T_{ext} = 25^\circ C$ et $T_{int} = 5^\circ C$.

B) Etude du cycle du fluide réfrigérant dans un diagramme entropique $T(s)$

Nous allons étudier plus précisément les différentes transformations que le fluide réfrigérant subit. L'écoulement du fluide réfrigérant est stationnaire, de débit massique D_m . Les variations d'énergies cinétique et potentielle du fluide seront négligées. Nous supposerons également que le fluide réfrigérant décrit le cycle suivant (on note $\{T_i, P_i\}$ le couple température-pression relatif à l'état i du fluide) :

- Avant d'entrer dans le compresseur, le fluide est un gaz surchauffé (état $A \{T_A, P_A\}$). Le compresseur impose une compression adiabatique et irréversible. Le fluide reste à l'état gazeux (état $B \{T_B, P_B\}$).

- Le fluide circule ensuite dans le condenseur où il opère un refroidissement isobare puis une liquéfaction complète isobare à la pression P_B . On obtient un liquide saturant (état $C \{T_C, P_C\}$).

- Le liquide subit une détente isenthalpique (détente de type Joule-Thomson sans travail indiqué et sans transfert thermique) faisant apparaître un mélange diphasé après avoir traversé le détendeur (état $D \{T_D, P_D\}$).

- Le fluide pénètre dans l'évaporateur et évolue de manière isobare jusqu'à l'état A .

On prendra les valeurs suivantes : $P_A = 2\text{bar}$, $P_B = 7\text{bar}$, $T_A = 5^\circ C$, $T_B = 55^\circ C$ et $D_m = 10^{-2}\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Une tolérance de $\pm 2\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ sur la lecture de l'enthalpie massique sera acceptée. Une tolérance de $\pm 1^\circ C$ sur la lecture des températures sera acceptée.

On rappelle, en tenant compte de nos hypothèses de travail, le premier principe de la thermodynamique appliqué à un fluide en écoulement dans une conduite, recevant une puissance thermique Φ_{th} et une puissance mécanique $P_{méca}$ (mise en jeu par les éventuelles parties mobiles d'une machine présente dans la conduite) avec h_e et h_s les enthalpies massiques du fluide à l'entrée et à la sortie de la conduite :

$$D_m(h_s - h_e) = \Phi_{th} + P_{méca}$$

6) Repérer sur le diagramme entropique fourni en document-réponse les domaines liquide, vapeur saturante et vapeur sèche. Reporter la position des points A , B , C et D sur le document-réponse fourni en annexe et à rendre avec la copie.

7) Donner, par lecture sur le diagramme entropique, les températures de liquéfaction T_l et de vaporisation T_v du fluide réfrigérant observées pour le cycle étudié.

8) En expliquant votre démarche, donnez la valeur du titre massique x_D au point D de deux manières différentes.

9) Exprimer puis calculer la puissance $\Phi_{th,2}$ reçue par le fluide pendant la transformation menant de l'état D à l'état A .

10) Exprimer puis calculer la puissance $P_{méca}$ reçue par le fluide pendant la transformation menant de l'état A à l'état B .

11) Exprimer puis calculer la puissance $\Phi_{th,1}$ reçue par le fluide pendant la transformation menant de l'état B à l'état C .

12) Les résultats précédents, aux incertitudes de lecture près, permettent d'écrire $P_{méca} \approx -(\Phi_{th,1} + \Phi_{th,2})$. Commenter cette relation.

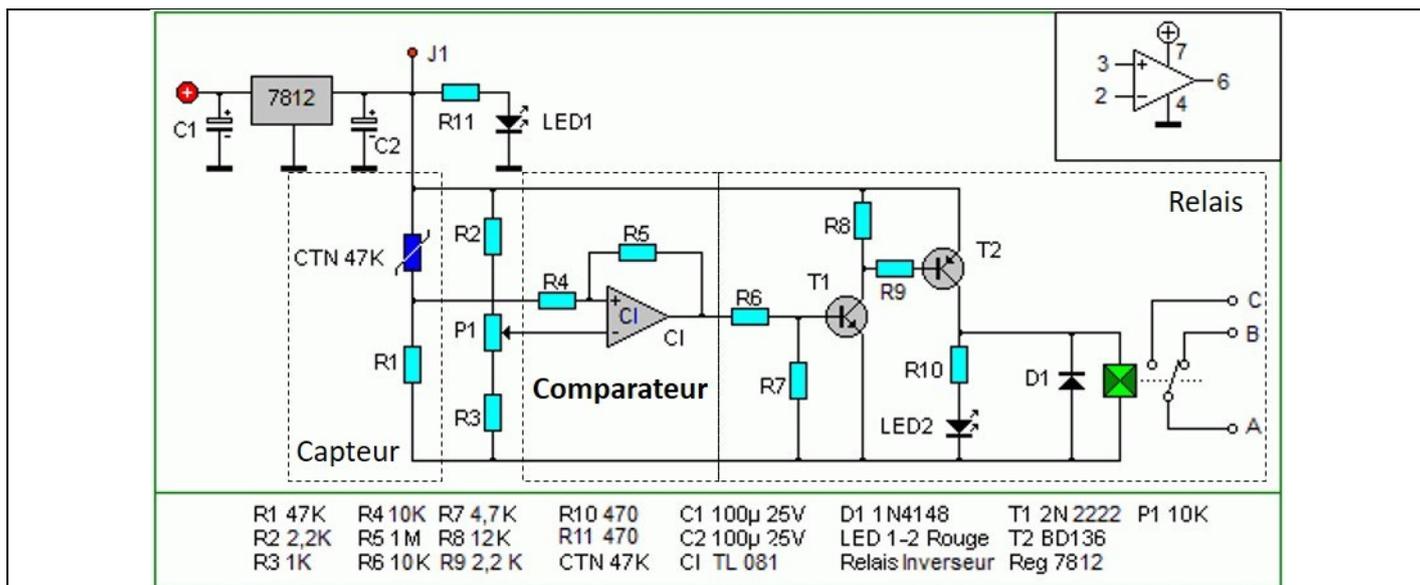
13) En déduire l'expression puis une estimation de la valeur du coefficient de performance COP_{vrai} (un seul chiffre significatif sera accepté pour la valeur de COP_{vrai}). Interpréter ce résultat.

14) Lors d'un processus adiabatique, on peut déterminer, à l'aide du diagramme entropique, le travail massique w_f des forces de viscosité du fluide car $w_f = -\int_{etat\ initial}^{etat\ final} T ds$. Estimer la puissance P_f associée à ces forces de viscosité lors de la compression (pour ce calcul la représentation de la transformation menant de l'état A à B sera linéarisée et donc assimilée à un simple segment reliant les points A et B). Commenter ce dernier résultat.

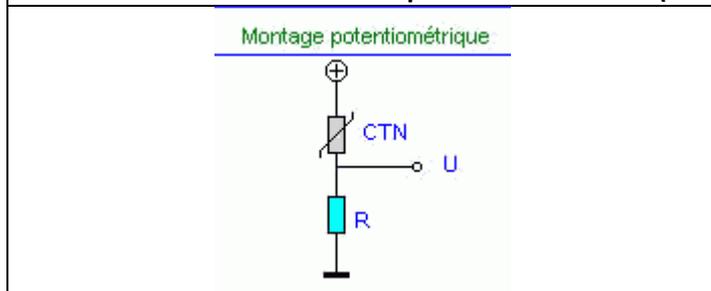
15) Si on suppose maintenant la compression adiabatique et réversible, comment est modifié le cycle dans le diagramme entropique ? On pourra mettre un point B' sur le document réponse et tracer le nouveau cycle dans une couleur différente. Recalculer alors $P'_{méca}$, ainsi que la valeur du coefficient de performance COP'_{vrai} . Commenter.

C) Etude du thermostat du réfrigérateur

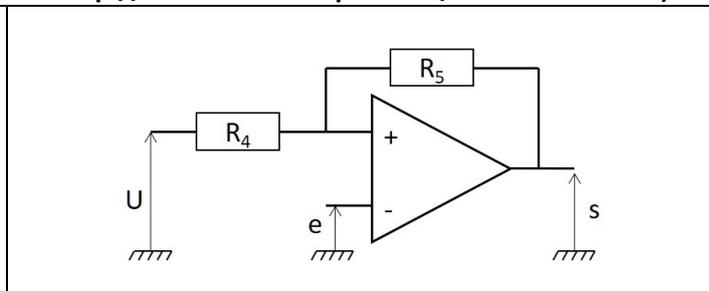
Le thermostat d'un réfrigérateur permet de régler la température du compartiment à réfrigérer. A partir d'une valeur de consigne en température T_{con} donnée, il indique via un relais au compresseur s'il doit se mettre en marche ou pas. Pour éviter de solliciter trop fréquemment le compresseur, celui-ci ne doit se mettre en marche que si la température mesurée dépasse un certain seuil, noté T_+ . Il fonctionnera jusqu'à ce que la température mesurée descende en dessous d'un autre seuil, noté T_- . On a ainsi : $T_- < T_{con} < T_+$. Un exemple de montage électrique réalisant cette fonction est donné sur le document 2.



Document 2. Schéma électrique d'un thermostat (source : <http://www.electronique-3d.fr/Thermostat.html>)



Document 3. Schéma électrique d'un montage potentiométrique



Document 4. Schéma du comparateur

C1) Etude du capteur

Le capteur de température est ici basé sur une thermistance, appelée CTN pour Coefficient de Température Négatif. En effet, sa résistance R_{CTN} diminue quand la température augmente, ce que l'on modélisera par : $R_{CTN} = \alpha T_{mes}$. Ce capteur va alors délivrer une tension U proportionnelle à la température mesurée T_{mes} via un montage potentiométrique, expliqué en document 3.

16) En imaginant que le montage potentiométrique est alimenté en $V_{J1} = 12V$ (potentiel au point J1 sur le document 2), exprimer la tension U en fonction de V_{J1} , $R = R_1$ et R_{CTN} , la résistance de la CTN. Relier alors la tension U à la température mesurée T_{mes} . On précisera le signe de α .

La présence de R_2 en parallèle de la CTN permet de linéariser l'expression précédente sous la forme : $U = U_0 + \beta T_{mes}$ avec $U_0 > 0$ et $\beta < 0$ en $V/^\circ C$.

C2) Etude du comparateur

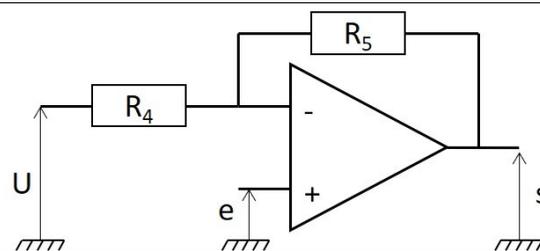
La température de consigne T_{con} est ajustée à l'aide du potentiomètre $P1$. On obtient alors sur l'entrée inverseuse du composant CI une tension e qui lui est proportionnelle. On étudie alors le circuit comparateur du document 2, simplifié sur le document 4.

17) Comment appelle-t-on le composant CI ? Si on le suppose idéal, tracer la caractéristique entrée-sortie de ce composant.

18) Comment appelle-t-on ce type de comparateur ? Expliquer son fonctionnement en donnant en particulier les tensions de seuil e_+ et e_- en fonction de e , R_4 et R_5 . Tracer la caractéristique entrée-sortie $s = f(U)$ du comparateur.

19) En fonction des données, retrouver les valeurs de U_0 et β pour que $T_- = 4^\circ C$ et $T_+ = 6^\circ C$. On supposera de plus que $V_{sat} = 10V$ et $e = 5V$.

Le thermostat tout juste acheté, Franklin s'aperçoit qu'il ne marche pas. En y regardant de plus près, il voit que le composant CI a été monté à l'envers comme sur le document 5.



Document 5. Câblage du composant CI

20) Expliquer quel est le problème ? Pourquoi ce montage ne fonctionne-t-il pas en comparateur ? Quelle est la fonction réalisée par ce montage ?

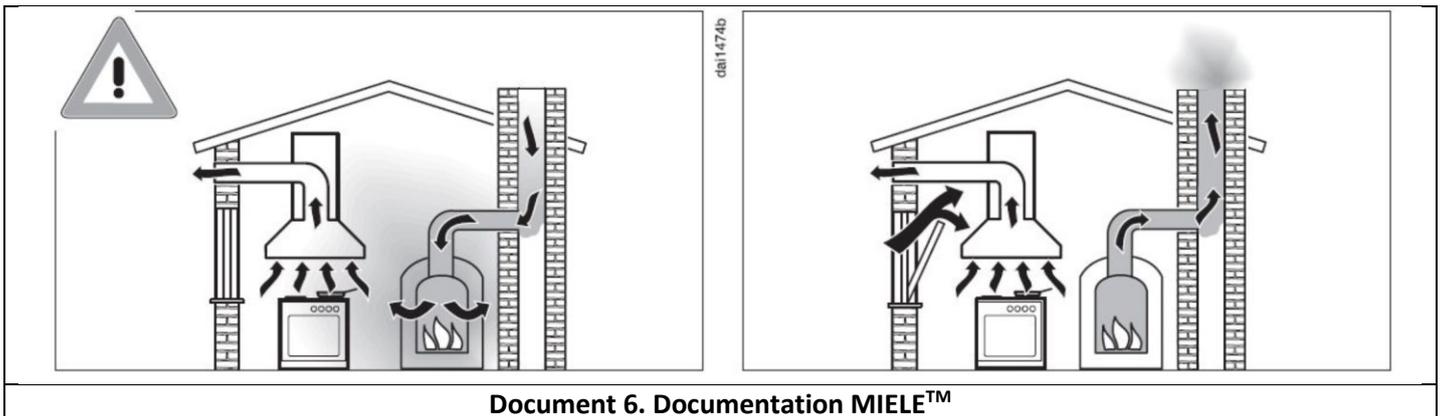
Etude d'une hotte aspirante

L'installation d'une hotte aspirante placée au-dessus d'une plaque de cuisson nécessite une réflexion avant achat. Par exemple, il convient d'apprécier le débit volumique d'air que le dispositif peut traiter afin de renouveler convenablement les gaz présents dans la cuisine.

A) Généralités

21) Pour assurer un bon renouvellement de l'air d'une cuisine, la hotte doit pouvoir déplacer 10 fois par heure le volume d'air de votre cuisine. Estimer le débit volumique D_v que la hotte doit imposer pour une cuisine de surface $20m^2$ et de $2,5m$ de hauteur de plafond.

22) Dans la documentation donnée par le constructeur MIELE™, on retrouve le schéma ci-dessous (Document 6) pour un système l'évacuation d'air vers l'extérieur. Expliquer, succinctement et clairement, pourquoi l'une des deux installations n'est pas acceptable.



Dans la suite, nous allons chercher à évaluer la puissance P_u qu'une hotte doit fournir à l'air ambiant pour qu'il soit évacué vers l'extérieur avec un débit volumique D_v . Nous travaillerons avec les hypothèses suivantes (dans le référentiel supposé galiléen lié à la cuisine où le champ de pesanteur terrestre est $g \approx 10m \cdot s^{-2}$) :

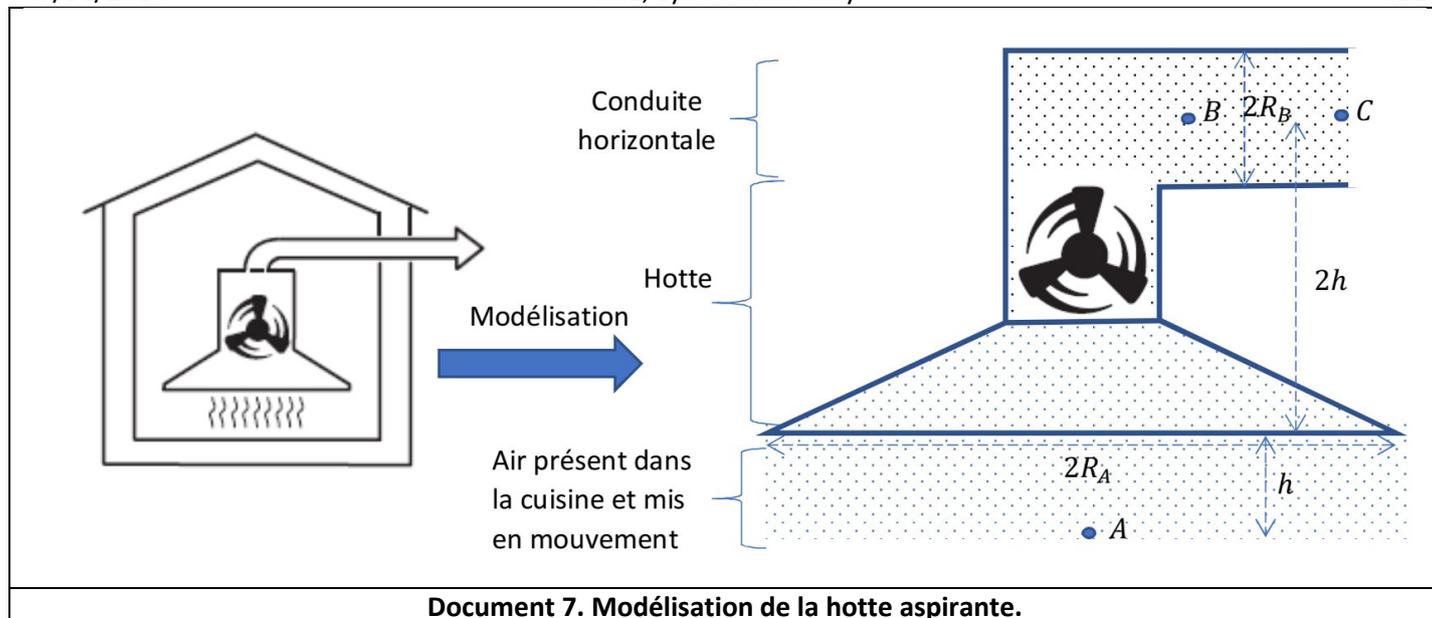
- On négligera, dans un premier temps, la viscosité du gaz (et tout autre phénomène de diffusion).
- L'écoulement étudié est stationnaire et sa vitesse suffisamment faible pour considérer le fluide de masse volumique ρ uniforme.
- Le moteur de la hotte, avec ses pales, impose un écoulement contenu au sein même de la hotte, dans une canalisation horizontale menant le gaz à l'extérieur mais aussi dans un cylindre de hauteur h situé sous la hotte. Ce cylindre, de rayon R_A , est de même axe de symétrie de révolution que celui de la hotte (cf. document 7).
- Les points B et C appartiennent à une même ligne de courant.
- En dehors de l'écoulement, l'air de la cuisine est au repos, à la pression atmosphérique $P_0 = 1bar$ et à la température $T_0 = 300K$.

B) Etude entre les points B et C

Le fluide étudié est dans la canalisation horizontale de rayon R_B constant. Le champ des vitesses est supposé horizontal et uniforme sur chaque section droite de cette canalisation. Les points B et C sont sur une même horizontale. Le point C , à l'extérieur, est à la pression atmosphérique. On note v_B et P_B la vitesse et la pression en B et v_C et P_C la vitesse et la pression en C .

23) Quelle est la relation entre v_B et v_C . Justifier.

24) Démontrer en tenant compte des hypothèses que $P_B = P_0$.



C) Etude entre les points A et B

25) On a $R_A = 4R_B$. Justifier que $v_A \ll v_B$.

26) Effectuer un bilan de puissance entre A et B. En déduire l'expression de la puissance P_u en fonction de P_A , P_B , v_A , v_B , z_A , z_B , ρ et D_v .

27) Démontrer que $P_u \approx \rho D_v \left(3gh + \frac{D_v^2}{2(\pi R_B^2)^2} \right)$

D) Bilan et analyse

28) En utilisant le modèle du gaz parfait, exprimer puis calculer la masse volumique ρ du gaz étudié. On donne sa masse molaire $M \approx 30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et on prend $R \approx 10 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

29) On considère : $h = 0,5 \text{ m}$, $R_B = 0,1 \text{ m}$, $D_v = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Estimer la valeur de P_u . Cette valeur est-elle réaliste pour une hotte de cuisine ?

Une hotte doit aussi permettre le filtrage de l'air aspiré. Un filtre est alors placé en entrée de la hotte. Les molécules constituant le filtre retiennent certaines particules et l'air aspiré devient alors de meilleure qualité. La présence du filtre impose cependant de prendre en compte la viscosité de l'air qui entraîne un phénomène de perte de charge important entre les points A et B.

30) Pour un filtre encrassé utilisé en cuisine, on a un travail massique lié aux forces de viscosité de $w_f = 1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Estimer la puissance P_f que le moteur doit fournir pour cette seule perte de charge (on prendra encore $D_v = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Conclure.

Etude du tirage d'une cheminée

Il est conseillé de passer assez de temps sur cette partie, toutes les pistes explorées seront prises en compte même si elles ne conduisent pas à un résultat final chiffré.

En vous inspirant de l'étude précédemment réalisée sur la hotte aspirante, répondre aux problématiques suivantes.

On désire construire une cheminée dans une maison, modélisée sur le document 8.

31) Quelle est la hauteur minimale du conduit pour éviter que les fumées refoulent dans la maison ?

32) A Aix-en-Provence il y a souvent du mistral : quelle est l'influence du vent sur le tirage de la cheminée ?

On sera amené à faire des hypothèses simplificatrices qu'on explicitera et qu'on validera ou non avec la hauteur trouvée pour le conduit de cheminée.

Vous aurez à introduire vous-même des valeurs numériques pour certains paramètres non fournis ci-dessus.

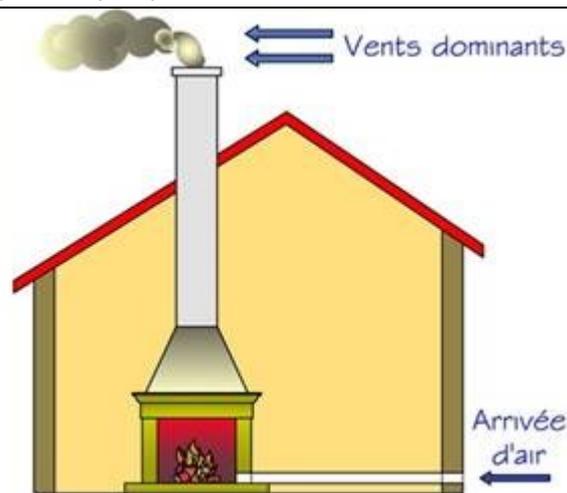
Vous aurez aussi à expliquer de manière CONCISE MAIS PRECISE les étapes de votre raisonnement ; n'hésitez pas à réaliser des schémas à la fois pour vous aider et pour illustrer votre démarche.

Données :

Vitesse minimale du mélange air-fumée dans le conduit afin d'éviter un refoulement : 5 ms^{-1}

Masse volumique de l'air à 10 °C : $\rho_{ext} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Température dans le conduit, supposée à peu près uniforme : 150 °C



Document 8. Cheminée d'une maison

Dosage du vin

A) Dosage du dioxyde de soufre dans le vin

Le dioxyde de soufre (SO_2) est, avec l'acide ascorbique, le seul antiseptique autorisé dans le vin. Le viticulteur en introduit de petites quantités à différents stades de la fabrication du vin pour contrôler les différentes fermentations qui ont lieu naturellement. Celui-ci doit cependant être utilisé en quantités très limitées sinon il est responsable d'odeurs et de goûts désagréables, il peut favoriser certains troubles au cours du vieillissement et par ailleurs, il est toxique. Ainsi, la réglementation européenne prévoit un maximum de 210mg/L de SO_2 pour les vins blancs ou rosés.

33) Donner la configuration électronique des atomes d'oxygène O et de soufre S . En déduire la structure de Lewis de la molécule de dioxyde de soufre. Enoncer la règle de l'octet et ses conditions d'application.

Un laboratoire départemental d'analyse doit déterminer la concentration de dioxyde de soufre $SO_{2(aq)}$ dans un vin blanc.

Un technicien dose ce dernier à l'aide d'une solution aqueuse de diiode $I_{2(aq)}$. Pour cela, il introduit dans un erlenmeyer un volume $V_1 = (20,00 \pm 0,02)$ mL de vin blanc limpide très peu coloré en vert pâle, 4mL d'acide sulfurique incolore et 1mL d'empois d'amidon également incolore.

La solution titrante, de concentration en diiode $C_2 = (1,00 \pm 0,01) \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ est ensuite ajoutée jusqu'à l'équivalence repérée par le changement de couleur du milieu réactionnel. L'équivalence est obtenue après avoir versé un volume $V_{2E} = (6,0 \pm 0,06)$ mL de solution de diiode.

34) Ecrire les demi-équations redox pour les couples $I_{2(aq)}/I^-$ et $SO_4^{2-}/SO_{2(aq)}$.

35) En déduire l'équation-bilan support du dosage.

36) Préciser, en justifiant, le changement de couleur qui permet de repérer l'équivalence.

37) Etablir la relation liant les quantités de matière $n(I_2)$ et $n(SO_2)$ à l'équivalence du dosage, en déduire la concentration molaire C_1 en dioxyde de soufre de ce vin et en déduire sa concentration massique C_{mexp} en dioxyde de soufre.

38) Déterminer l'incertitude relative $\frac{\Delta C_{mexp}}{C_{mexp}}$. En déduire un encadrement de la concentration massique C_{mexp} obtenue par le technicien.

39) Cette concentration est-elle conforme à la réglementation européenne ? Justifier.

40) Cette méthode est-elle applicable au dosage de SO_2 dans un vin rouge ?

B) Acidité « totale » d'un vin et acide tartrique

L'acide tartrique est l'acide majoritaire dans le vin. Parmi les acides faibles que peut contenir le vin, on trouve également deux gaz dissous dans l'eau dont la présence contribue à apporter de l'acidité au vin, le dioxyde de soufre et le dioxyde de carbone.

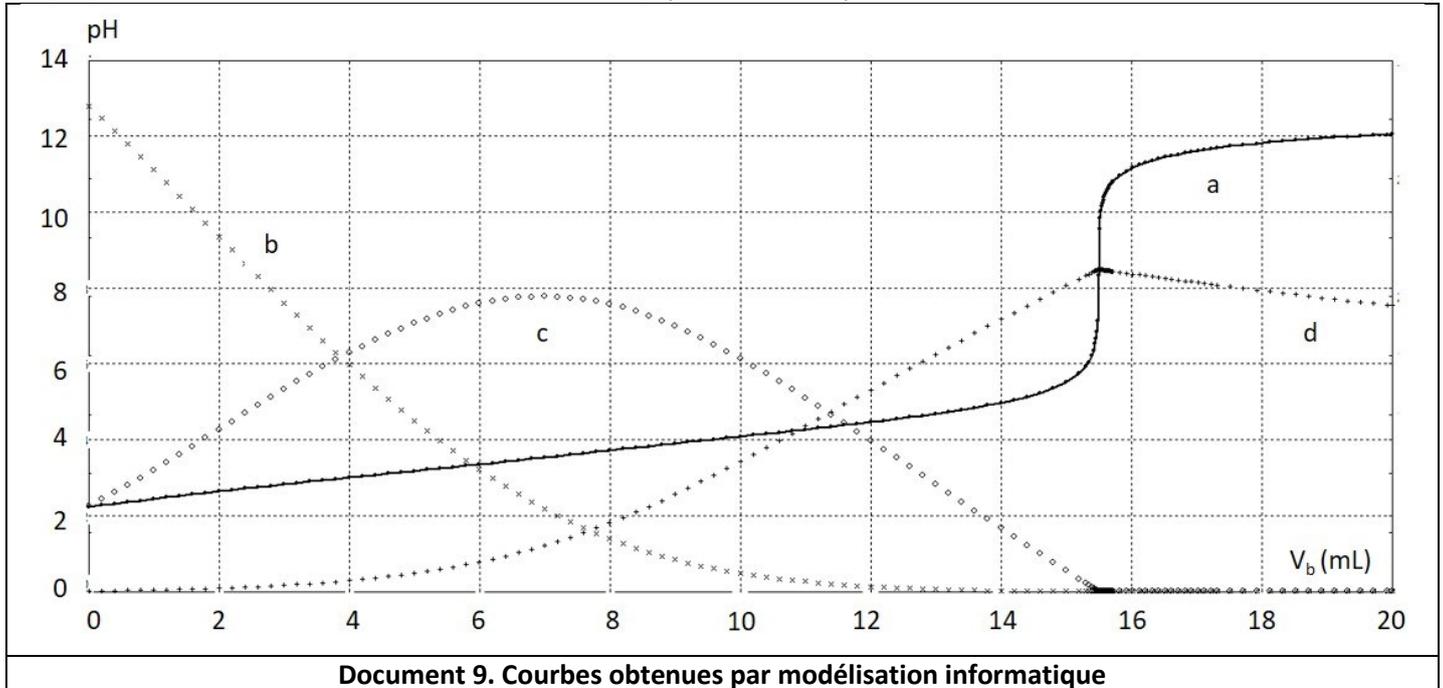
L'acidité du vin se mesure en g/L équivalent d'acide tartrique.

Pour déterminer l'acidité totale d'un vin blanc d'appellation protégée, on introduit un volume $V_a = 20,0 \text{ mL}$ de ce vin dans une fiole à vide et on procède au dégazage du vin.

On lui ajoute progressivement, grâce à une burette, un volume V_b d'hydroxyde de sodium ($Na_{(aq)}^+ + HO_{(aq)}^-$) de concentration molaire $C_b = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$. La courbe, notée a , du pH en fonction du volume versé V_b est figurée ci-dessous (document 9).

Par modélisation informatique, on superpose à cette courbe les courbes en fonction du volume versé V_b , notées b , c et d , des fractions molaires des trois formes de l'acide tartrique,

$$x(H_2T) = \frac{n(H_2T)}{n(H_2T) + n(HT^-) + n(T^{2-})} \quad x(HT^-) = \frac{n(HT^-)}{n(H_2T) + n(HT^-) + n(T^{2-})} \quad x(T^{2-}) = \frac{n(T^{2-})}{n(H_2T) + n(HT^-) + n(T^{2-})}$$



Document 9. Courbes obtenues par modélisation informatique

- 41) Identifiez les courbes *b*, *c* et *d*.
- 42) Quelles sont les réactions acido-basiques qui se déroulent au cours du titrage ?
- 43) On ne voit sur la courbe *a* qu'un saut de pH car les deux réactions ont lieu simultanément. Comment écririez-vous l'équation globale du dosage alors ?
- 44) Calculez la concentration de la solution d'acide tartrique, en déduire l'acidité du vin.
- 45) Quel est l'intérêt du dégazage du vin ?

Données :

Élément	H	C	O	N	S
Masses molaires atomiques M (g.mol ⁻¹)	1,00	12,0	16,0	14,0	32,1
Numéro atomique	1	6	8	7	16

Masse molaire de l'acide tartrique, noté H₂T : M(H₂T) = 160g.mol⁻¹

L'acide tartrique se comporte comme un diacide en solution aqueuse, avec pK_{a1} = 2,9 et pK_{a2} = 4,5

En présence d'empois d'amidon, le diiode I_{2(aq)} donne à une solution aqueuse une teinte violet foncé. Les ions iodure I⁻, les ions sulfate SO₄²⁻ et le dioxyde de soufre SO_{2(aq)} en solution sont incolores.

Pour évaluer l'incertitude-type d'une mesure $M = f(x_1, x_2)$ telle que $M = x_1 \times x_2$, on peut utiliser la formule

suivante qui donne l'incertitude relative sur M :

$$\frac{\Delta M}{M} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$$