Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du BP Froid, veuillez visiter :
bpfroid.fr/annales-sujets-et-corriges

BP FROID • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

E4 - U40 SCIENCES PHYSIQUES

Session 2012 • Code sujet : **BP-SC.1** • Durée : **2 h 00** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude du compresseur de la pompe à chaleur (4 questions) **Page 3**

2. Le puits canadien (3 questions) **Page 5**

3. Rafraîchissement de l'air ambiant (3 questions) **Page 7**

4. Chauffage d'appoint au butane (9 questions) **Page 9**

5. Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 12**

Sujet officiel (PDF) : https://bpfroid.fr/assets/annales/bp-froid/U40 - Sciences physiques/2012/BP Froid - U40 - Sciences physiques - Session 2012 - 1-Sujet.pdf

1. Étude du compresseur de la pompe à chaleur

Le chalet est équipé d'une pompe à chaleur réversible air-air, dont le schéma représente les étapes du circuit frigorifique autour de l'évaporateur, du compresseur, du condenseur et du détendeur. Les questions portent sur l'état et la pression du fluide, la température en sortie de compresseur, la formule développée du tétrafluoroéthane et l'impact écologique de trois fluides frigorigènes.

Question 1.1. Pour chacune des étapes 1 et 2 du schéma du circuit frigorifique, indiquer l'état du fluide frigorigène (solide, liquide ou vapeur) et l'ordre de grandeur de sa pression (haute pression ou basse pression).

L'étape 1 correspond à la sortie de l'évaporateur et à l'entrée du compresseur : le fluide y a absorbé de la chaleur et s'est vaporisé, tout en restant à basse pression. Le compresseur élève ensuite la pression du fluide. À l'étape 2, qui correspond à sa sortie, le fluide est donc toujours à l'état de vapeur, mais à haute pression. Le liquide apparaît après le condenseur, avant le détendeur.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Étape 1 : vapeur à basse pression. Étape 2 : vapeur à haute pression.

Question 1.2. À partir de p1 = 5,1 bar, p2 = 15 bar et T1 = 12,5 °C, calculer la température T2 du fluide en sortie de compresseur avec la relation T2/T1 = (p2/p1)^0,17, en utilisant des températures en kelvins. Donner le résultat en degrés Celsius, arrondi à l'unité. On rappelle T(K) = T(°C) + 273.

La relation utilise les températures en kelvins. On convertit d'abord : $T_1 = 12{,}5 + 273 = 285{,}5\,\mathrm{K}$. Puis $T_2 = T_1 \times (p_2/p_1)^{0{,}17} = 285{,}5 \times (15/5{,}1)^{0{,}17} \approx 342{,}97\,\mathrm{K}$. En degrés Celsius, $T_2 = 342{,}97 - 273 \approx 69{,}97\,^\circ\mathrm{C}$. Après arrondi à l'unité, la température en sortie de compresseur est de 70 °C.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $T_2 \approx 70\,^\circ\mathrm{C}$

Question 1.3. Écrire la formule développée du 1,1,1,2-tétrafluoroéthane, constituant majoritaire du R407c, en vous aidant de la formule développée de l'éthane fournie.

Le nom 1,1,1,2-tétrafluoroéthane indique que trois atomes de fluor remplacent les hydrogènes du premier carbone et qu'un fluor remplace un hydrogène du second. Les deux carbones sont liés par une liaison simple. Chaque carbone conserve quatre liaisons : le premier porte trois fluor, le second porte un fluor et deux hydrogènes. La formule brute est donc $\mathrm{C_2H_2F_4}$.

```
      F   H
      |   |
F - C - C - F
      |   |
      F   H
```

✓ RÉPONSE À RETENIR

Formule développée : $CF_3 - CH_2F$, soit $C_2H_2F_4$.

Question 1.4. À l'aide du tableau comparant les classes, les indices ODP et GWP et la durée de vie du R134a, du R12 et du R22, ainsi que de votre expérience professionnelle, justifier le choix actuel d'utiliser le R134a.

Le tableau montre que le R134a, un HFC, a un ODP nul : il ne contribue pas à l'appauvrissement de la couche d'ozone selon cet indice. Son GWP de 1300 est inférieur à celui du R12 et du R22. Sa durée de vie, 16 ans, est aussi très inférieure à celle du R12. Ces avantages écologiques expliquent le choix du R134a parmi les fluides comparés, même si son GWP reste élevé et que son impact climatique n'est pas nul.

Fluide	Classe	ODP	GWP	Durée de vie
R134a	HFC	0	1300	16 ans
R12	CFC	1	8500	130 ans
R22	HCFC	0,07	1700	15 ans

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le R134a a un ODP nul et, parmi les trois fluides comparés, le GWP le plus faible.

2. Le puits canadien

Un puits canadien fait circuler l'air dans un tube enterré pour échanger de la chaleur avec la terre et réguler la température de l'air envoyé dans le chalet. L'étude porte sur la vitesse de l'air dans le tube, le choix de son diamètre et la pression de sortie calculée avec l'équation de Bernoulli et les niveaux indiqués sur le schéma.

Question 2.1. Pour un tube cylindrique de diamètre intérieur 200 mm traversé par un débit d'air de 300 m³/h, calculer la vitesse de l'air en m/s à l'aide des formules du débit et de la section fournies. Arrondir le résultat au dixième.

Le diamètre intérieur est $0,200\ \text{m}$, donc le rayon vaut $0,100\ \text{m}$. Le débit converti en secondes est $Q = 300/3600 = 0,0833\ \text{m}^3/\text{s}$. La section du tube vaut $S = \pi R^2 = \pi \times 0,100^2 \approx 0,0314\ \text{m}^2$. Avec $Q = vS$, on obtient $v = Q/S = 0,0833/0,0314 \approx 2,65\ \text{m/s}$, soit $2,7\ \text{m/s}$ au dixième.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $v = 2,7\ \text{m/s}$

Question 2.2. Dire si le diamètre du tube est correctement choisi et justifier la réponse en comparant la vitesse calculée à la plage recommandée de 1,5 à 3,5 m/s.

Critère	Valeur
Vitesse calculée	2,7 m/s
Plage recommandée	1,5 à 3,5 m/s
Comparaison	1,5 < 2,7 < 3,5

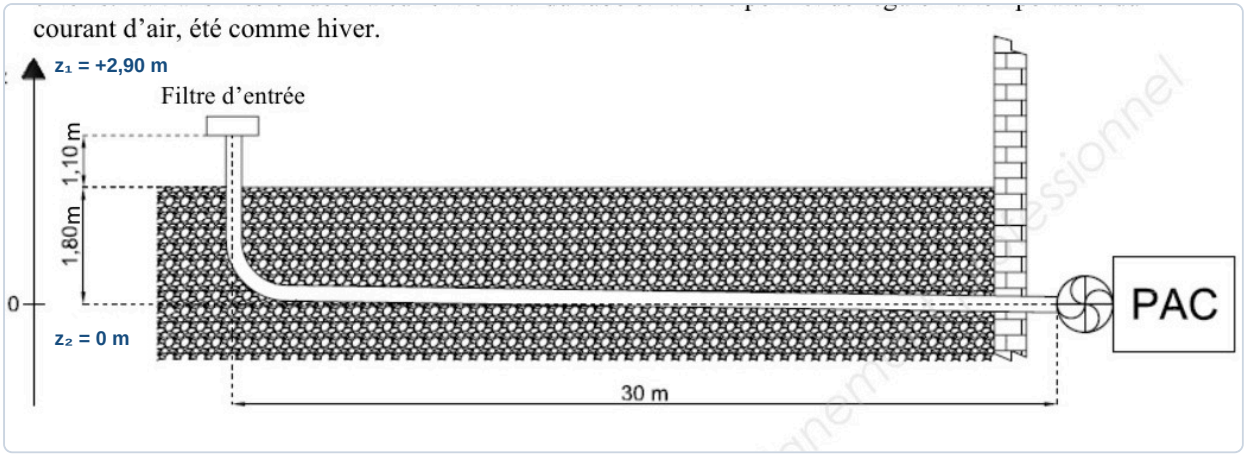
La vitesse calculée respecte la plage requise pour les échanges thermiques. Le diamètre intérieur de 200 mm est donc correctement choisi pour le débit donné.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Oui, le diamètre est adapté : la vitesse de 2,7 m/s est dans la plage recommandée.

Question 2.3. Avec v1 = 0, p1 = 101 300 Pa et v2 = 2,7 m/s, calculer la pression de sortie p2 en appliquant l'équation de Bernoulli. Utiliser la masse volumique de l'air ρ = 1,3 kg/m³, g = 9,8 m/s² et les niveaux z1 et z2 indiqués sur le schéma. Donner le résultat en pascals, arrondi à l'unité.

Le schéma indique que le filtre est à $1,10 + 1,80 = 2,90\ \text{m}$ au-dessus du niveau de sortie. On prend donc $z_1 = 2,90\ \text{m}$ et $z_2 = 0\ \text{m}$. D'après Bernoulli, $p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2) + \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2)$. Ainsi, $p_2 = 101300 + 1,3 \times 9,8 \times 2,90 - \frac{1}{2} \times 1,3 \times 2,7^2 = 101332,2075\ \text{Pa}$, soit $101332\ \text{Pa}$ à l'unité.

Niveaux utilisés dans Bernoulli



✓ RÉPONSE À RETENIR

$p_2 = 101\,332\ \text{Pa}$

3. Rafraîchissement de l’air ambiant

En été, la pompe à chaleur sert à rafraîchir l’air du chalet, et l’air à la sortie du puits canadien est à 12,5 °C. À partir du débit, de la durée de fonctionnement et des propriétés thermiques de l’air, il faut déterminer le volume et la masse d’air pulsé puis la chaleur absorbée dans la pièce à 22 °C.

Question 3.1. Pour un débit d’air pulsé de 300 m³/h et un fonctionnement de la pompe à chaleur pendant 30 minutes, calculer le volume V d’air pulsé dans le chalet, en mètres cubes.

Le débit volumique est $300\ \mathrm{m^3/h}$ et la durée de fonctionnement vaut $30\ \mathrm{min}$. On la convertit en heures : $30/60 = 0{,}5\ \mathrm{h}$. Le volume se calcule avec la relation $V = Q \times t$. En remplaçant par les valeurs données, $V = 300 \times 0{,}5 = 150\ \mathrm{m^3}$. Les heures s’annulent dans le produit du débit par la durée : le résultat est bien un volume en mètres cubes.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> En 30 minutes, le volume d’air pulsé dans le chalet est de $150\ \mathrm{m^3}$.

Question 3.2. Déduire la masse m d’air pulsé en kilogrammes à partir du volume calculé et de la masse volumique de l’air ρ = 1,3 kg/m³.

Grandeur	Valeur ou calcul	Résultat
Volume d’air V	Question 3.1	$150\ \mathrm{m^3}$
Masse volumique ρ	Donnée du sujet	$1{,}3\ \mathrm{kg/m^3}$
Masse m	$m = \rho \times V = 1{,}3 \times 150$	$195\ \mathrm{kg}$

La masse d’air se déduit de la masse volumique et du volume : $m = \rho V$. On utilise le volume calculé à la question 3.1 et la masse volumique indiquée dans les données. Les mètres cubes se simplifient avec $\mathrm{kg/m^3}$, ce qui donne bien une masse en kilogrammes. Aucun arrondi supplémentaire n’est nécessaire pour ce produit.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> La masse d’air pulsé pendant les 30 minutes de fonctionnement est de $195\ \mathrm{kg}$.

Question 3.3. Calculer, en kJ, la chaleur absorbée par cette masse d’air à 12,5 °C lorsqu’elle est ventilée dans une pièce où l’air est à 22 °C. Utiliser Q = m.C.ΔT et la capacité thermique massique de l’air Cair = 1 000 J/(kg.°C).

1. L’air passe de $T_1 = 12{,}5\ ^\circ\mathrm{C}$ à $T_2 = 22\ ^\circ\mathrm{C}$, donc $\Delta T = 22 - 12{,}5 = 9{,}5\ ^\circ\mathrm{C}$.
2. Avec $Q = mC_{air}\Delta T$, on remplace par $m = 195\ \mathrm{kg}$ et $C_{air} = 1\,000\ \mathrm{J/(kg.^\circ C)}$: $Q = 195 \times 1\,000 \times 9{,}5 = 1\,852\,500\ \mathrm{J}$.
3. Comme $1\ \mathrm{kJ} = 1\,000\ \mathrm{J}$, $Q = 1\,852{,}5\ \mathrm{kJ}$. Le signe est positif : l’air absorbe de la chaleur en se réchauffant.

✓ RÉPONSE À RETENIR

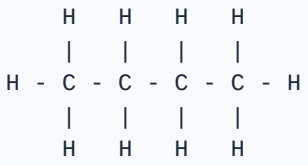
La chaleur absorbée par les $195\ \text{kg}$ d'air est de $1\,852{,}5\ \text{kJ}$.

4. Chauffage d’appoint au butane

Le chalet possède un chauffage d’appoint fonctionnant au butane C4H10, dont les caractéristiques indiquent notamment sa consommation et la présence d’un contrôleur d’atmosphère. Les questions évaluent la formule et la masse molaire du butane, les quantités de matière et de gaz nécessaires à sa combustion, ainsi que le rôle du dispositif de sécurité.

Question 4.1. Donner la formule développée du butane.

Le butane est un alcane à chaîne linéaire de quatre atomes de carbone. Chaque carbone doit former quatre liaisons : les carbones aux extrémités sont liés à trois hydrogènes, et les carbones centraux à deux hydrogènes. Cette représentation montre les liaisons de la formule développée.



✓ RÉPONSE À RETENIR

Formule développée : chaîne C-C-C-C avec 10 hydrogènes, soit C_4H_{10}.

Question 4.2. Calculer, en g/mol, la masse molaire du butane à partir de sa formule C4H10 et des masses molaires atomiques fournies.

La formule brute indique 4 atomes de carbone et 10 atomes d’hydrogène. La masse molaire est la somme des masses molaires de tous les atomes : $M = 4M_C + 10M_H$. En remplaçant par les valeurs fournies, $M = 4 \times 12 + 10 \times 1 = 48 + 10 = 58\ \mathrm{g/mol}$. La masse molaire du butane est donc de 58 g/mol.

✓ RÉPONSE À RETENIR

M(C_4H_{10}) = 58 g/mol

Question 4.3. En vous aidant des caractéristiques du fabricant, donner la masse maximale de butane consommée par l’appareil en une heure.

Caractéristique	Valeur indiquée
Consommation de butane	110 à 216 g/heure
Consommation maximale	216 g/heure

La question demande la masse maximale consommée pendant une heure. On retient donc la borne supérieure de la plage de consommation donnée par le fabricant, et non la valeur minimale.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Masse maximale consommée en une heure : 216 g.

Question 4.4. Calculer le nombre maximal de moles de butane consommées en une heure. Arrondir le résultat au centième.

La quantité de matière se calcule avec $n = m/M$. Pour la consommation maximale, la masse vaut $m = 216\ \mathrm{g}$, et la masse molaire du butane est $M = 58\ \mathrm{g/mol}$. Donc $n = 216/58 = 3,724...\ \mathrm{mol}$. Après arrondi au centième, l'appareil consomme au maximum 3,72 mol de butane en une heure.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Quantité maximale consommée : 3,72 mol de butane.

Question 4.5. Recopier et équilibrer l'équation bilan de la combustion du butane dans le dioxygène, qui produit du dioxyde de carbone et de l'eau.

1. Le butane contient 4 atomes de carbone : placer 4 CO_2.
2. Il contient 10 atomes d'hydrogène : placer 5 H_2O.
3. À droite, cela donne 13 atomes d'oxygène, donc $13/2$ O_2. Multiplier tous les coefficients par 2 pour obtenir des entiers, puis vérifier le nombre d'atomes de chaque élément.

✓ RÉPONSE À RETENIR

2 C_4H_{10} + 13 O_2 → 8 CO_2 + 10 H_2O

Question 4.6. Calculer le nombre de moles de dioxygène nécessaire à la combustion de 3,72 moles de butane.

L'équation équilibrée indique que 2 moles de butane consomment 13 moles de dioxygène. La proportion est donc $13/2$ mole de dioxygène par mole de butane. Pour $3,72\ \mathrm{mol}$ de butane : $n(\mathrm{O_2}) = 3,72 \times 13/2 = 24,18\ \mathrm{mol}$. Il faut donc 24,18 mol de dioxygène.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Quantité nécessaire : 24,18 mol de O_2.

Question 4.7. Calculer, en litres, le volume de dioxygène correspondant en utilisant le volume molaire VM = 22,4 L/mol. Arrondir le résultat au dixième.

Le volume de dioxygène se calcule par $V = nV_M$, avec $n = 24,18\ \text{mol}$ et $V_M = 22,4\ \text{L/mol}$. La substitution donne $V = 24,18 \times 22,4 = 541,632\ \text{L}$. L'arrondi au dixième donne $541,6\ \text{L}$. Il s'agit du volume de dioxygène nécessaire à la combustion de 3,72 mol de butane.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Volume de dioxygène : 541,6 L.

Question 4.8. Sachant que l'air contient 20 % de dioxygène en volume, calculer, en litres, le volume d'air nécessaire à cette combustion. Arrondir le résultat à l'unité.

Le dioxygène représente 20 % du volume d'air. Le volume d'air total est donc le volume de dioxygène divisé par 0,20. Avec le volume non arrondi obtenu précédemment : $V_{air} = 541,632 / 0,20 = 2708,16\ \text{L}$. En arrondissant à l'unité, il faut environ 2 708 L d'air pour fournir le dioxygène nécessaire à la combustion.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Volume d'air nécessaire : 2 708 L.

Question 4.9. Expliquer la raison pour laquelle cet appareil est équipé d'un contrôleur d'atmosphère.

Le contrôleur d'atmosphère sert à prévenir les risques liés à une aération insuffisante pendant le fonctionnement de l'appareil. Il repère une dégradation de l'atmosphère, notamment un manque d'oxygène, et commande la sécurité de coupure du gaz par thermocouple.

- Il limite le risque d'asphyxie.
- Il réduit aussi le risque d'intoxication au monoxyde de carbone en cas de combustion incomplète.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Il détecte une atmosphère dangereuse et déclenche la coupure du gaz pour protéger les occupants.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2012)

Bilan de l'épreuve : Épreuve E4 - U40 Sciences physiques du BP Monteur dépanneur en froid et climatisation, session 2012, code BP-SC.1, d'une durée de 2 heures et de coefficient 2. Le sujet étudie le confort thermique d'un chalet équipé d'une pompe à chaleur, d'un puits canadien et d'un chauffage au butane. Il évalue les compétences en thermodynamique, mécanique des fluides, thermique, chimie et sécurité.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- La relation T2/T1 = (p2/p1)^0,17 s'applique avec les températures exprimées en kelvins.
- Pour un tube, Q = vS et S = πR² ; convertir le débit en m³/s et le diamètre en rayon en mètres.
- L'équation de Bernoulli relie pression, altitude et vitesse : p + ρgz + ½ρv² reste constante le long d'un écoulement idéal.
- La chaleur échangée s'évalue par Q = mCΔT ; les coefficients de l'équation équilibrée donnent les proportions molaires de la combustion.

Points de vigilance & attentes du jury

- Convertir les degrés Celsius en kelvins avant d'appliquer la relation thermodynamique du compresseur.
- Harmoniser les unités avant les calculs de débit, de section, de pression ou de quantité de matière.
- Pour Bernoulli, tenir compte des différences de niveau z1 et z2 lues sur le schéma.
- Présenter les étapes de calcul, les unités et les arrondis explicitement demandés.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer la vitesse de l'air dans le tube à partir du débit ?

Convertissez le débit en m³/s et le diamètre en mètres. Calculez la section avec S = πR², puis appliquez Q = vS, soit v = Q/S. Exprimez la vitesse en m/s et comparez-la à la plage indiquée.

Q : Comment utiliser Bernoulli pour trouver la pression de sortie ?

Écrivez l'équation aux deux points et utilisez les niveaux z1 et z2 du schéma. Isolez p2 en gardant les pressions en pascals, les vitesses en m/s et la masse volumique en kg/m³.

Q : Comment organiser les deux heures d'épreuve ?

Les quatre parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément. Répartissez le temps selon les questions et les calculs à effectuer, puis gardez quelques minutes pour vérifier les unités, les justifications et les arrondis demandés.

Q : Qu'attend-on dans la rédaction des calculs et des réponses ?

Le sujet précise que la clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction comptent dans l'appréciation des copies. Indiquez la formule, les valeurs utilisées, le résultat avec son unité et l'arrondi demandé.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bpfroid.fr/assets/annales/bp-froid/U40 - Sciences physiques/2012/BP Froid - U40 - Sciences physiques - Session 2012 - 1-Sujet.pdf
Ressources BP Froid : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.