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

E.1 - Étude technologique des installations, E.1-A : Physique appliquée

Session 2012 • Code sujet : **E.1-A, Unité U11** • Durée : **2 h** • Coefficient : **3**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Thermodynamique de la centrale négative N** (7 questions) — **Page 3**
2. **Psychrométrie de l’air au condenseur** (5 questions) — **Page 6**
3. **Pertes de charge et diamètres des tuyauteries frigorifiques** (3 questions) — **Page 9**
4. **Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 11**

Sujet officiel (PDF) : https://bpfroid.fr/assets/annales/bp-froid/U11 - Physique appliquée/2012/BP Froid - U11 - Physique appliquée - Session 2012 - 1-Sujet.pdf

1. Thermodynamique de la centrale négative N

L'étude porte sur la centrale négative N fonctionnant au R404A et sur ses cycles frigorifiques. À partir des documents techniques et du diagramme enthalpique, il faut caractériser les cycles avec ou sans échangeur sous-refroidisseur, puis déterminer un débit massique et plusieurs puissances.

Question 1.1. À partir des documents DT 2/6 et DT 6/6, déterminer la température de rosée de condensation Tk, sachant que l'écart total de température du condenseur est de 10 K.

L'écart total du condenseur est la différence entre la température de condensation et celle de l'air entrant. On applique $\mathbf{T_k = T_{air,entrée} + \Delta T_{Total\ condenseur}}$. Avec l'écart donné, $\mathbf{T_k = T_{air,entrée} + 10\ K}$. Lire la température d'air entrant dans les données de l'installation, puis exprimer T_k en °C.

✓ RÉPONSE À RETENIR

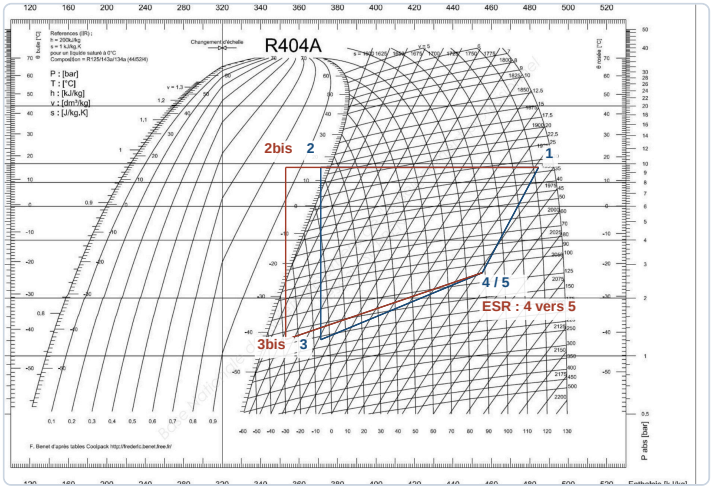
$\mathbf{T_k = T_{air,entrée} + 10\ K}$

Question 1.2. À partir du document DT 2/6, tracer sur le diagramme enthalpique les cycles frigorifiques sans échangeur sous-refroidisseur ESR et avec cet échangeur. Considérer une compression isentropique, une détente isenthalpique, des pertes de charge négligeables et un glissement de température nul.

Tracer les deux cycles sur le diagramme pression-enthalpie, en respectant les transformations ci-dessous. La détente est verticale sur ce diagramme, car elle conserve l'enthalpie. Avec l'ESR, le liquide se sous-refroidit de 2 à 2bis et la vapeur d'aspiration se réchauffe de 4 à 5. Les positions précises se lisent avec les conditions de fonctionnement de l'installation.

1. Sans ESR : compression 5-1, condensation 1-2, détente 2-3, évaporation 3-4, puis aspiration 4-5.
2. Avec ESR : compression 5-1, condensation 1-2, sous-refroidissement 2-2bis, détente 2bis-3bis, évaporation 3bis-4, puis réchauffement 4-5.

Trajets qualitatifs des deux cycles R404A



✓ RÉPONSE À RETENIR

Cycles à tracer : 5-1-2-3-4-5 sans ESR ; 5-1-2-2bis-3bis-4-5 avec ESR.

Question 1.3. Compléter le tableau des points caractéristiques des cycles en indiquant la température, la pression absolue et l'enthalpie des points 1, 2, 2bis, 3, 3bis, 4 et 5, ainsi que le volume spécifique lorsque la case correspondante est prévue.

Les valeurs numériques se relèvent sur le diagramme R404A aux conditions de fonctionnement de l'installation. La compression 5-1 est isentropique. Les points 2 et 2bis sont à la pression de condensation ; les points 3, 3bis, 4 et 5 sont à la pression d'évaporation. Les détentes étant isenthalpiques, les enthalpies se conservent. Le volume spécifique n'est à renseigner que pour le point 5, les autres cases étant grisées.

Point	Température	Pression absolue	Enthalpie	Volume spécifique
1	Lecture au diagramme	Condensation	Lecture au diagramme	Case grisée
2	Lecture au diagramme	Condensation	Lecture au diagramme	Case grisée
2bis	Lecture au diagramme	Condensation	Lecture au diagramme	Case grisée
3	Lecture au diagramme	Évaporation	$h_3 = h_2$	Case grisée
3bis	Lecture au diagramme	Évaporation	$h_{3bis} = h_{2bis}$	Case grisée
4	Lecture au diagramme	Évaporation	Lecture au diagramme	Case grisée
5	Lecture au diagramme	Évaporation	Lecture au diagramme	Lecture au diagramme

✓ RÉPONSE À RETENIR

$h_3 = h_2$; $h_{3bis} = h_{2bis}$. Seul le volume spécifique du point 5 est à relever.

Question 1.4. À partir des documents DT 2/6 et DT 6/6, calculer le débit massique du fluide frigorigène R404A avec l'échangeur sous-refroidisseur.

Le débit massique est le rapport entre la puissance frigorifique de la centrale et l'effet frigorifique massique avec ESR. La détente 2bis-3bis est isenthalpique, donc $\mathbf{h_{3bis} = h_{2bis}}$. À l'évaporateur, l'effet frigorifique vaut $\mathbf{h_4 - h_{3bis}}$. Calculer alors $\mathbf{q_{m/R404A} = \Phi_0 / (h_4 - h_{3bis})}$, avec Φ_0 en kW et les enthalpies en kJ/kg ; le résultat est en kg/s.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$q_{m/R404A} = \Phi_0 / (h_4 - h_{3bis})$

a

Question 1.5 a. En prenant le débit massique de R404A égal à 2844 kg/heure et en utilisant le document DT 6/6, calculer la puissance de l'échangeur sous-refroidisseur ΦESR.

Convertir le débit en kg/s : **2844 / 3600 = 0,79 kg/s**. La puissance échangée correspond au débit massique multiplié par la baisse d'enthalpie du liquide entre l'entrée et la sortie de l'ESR. Ainsi, $\mathbf{\Phi_{ESR} = q_m(h_2 - h_{2bis})}$. Avec les enthalpies en kJ/kg, la puissance obtenue est en kW. Relever h_2 et h_{2bis} au diagramme de l'installation.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$\Phi_{ESR} = 0{,}79(h_2 - h_{2bis})$ kW

b

Question 1.5 b. En prenant le débit massique de R404A égal à 2844 kg/heure et en utilisant le document DT 6/6, calculer la puissance calorifique au condenseur ΦK sans échangeur.

Convertir le débit donné : **2844 / 3600 = 0,79 kg/s**. Sans échangeur sous-refroidisseur, le condenseur évacue la différence d'enthalpie entre la sortie de compression et la sortie de condensation. On applique **$\Phi_K = q_m(h_1 - h_2)$**. Les enthalpies en kJ/kg et le débit en kg/s donnent directement une puissance en kW ; relever les deux enthalpies au diagramme.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$\Phi_K = 0{,}79(h_1 - h_2)$ kW

c

Question 1.5 c. En prenant le débit massique de R404A égal à 2844 kg/heure et en utilisant le document DT 6/6, calculer la puissance théorique du compresseur Pth.

Le travail massique théorique de compression est la différence entre l'enthalpie au refoulement et celle à l'aspiration : **$h_1 - h_5$**. Convertir le débit : **2844 / 3600 = 0,79 kg/s**. La puissance théorique vaut donc **$P_{th} = q_m(h_1 - h_5)$**. Avec les enthalpies en kJ/kg, le résultat s'exprime en kW ; lire h_1 et h_5 au diagramme.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$P_{th} = 0{,}79(h_1 - h_5)$ kW

2. Psychrométrie de l’air au condenseur

L’étude concerne le condenseur de la centrale N, qui doit évacuer une puissance de 120 kW avec un écart de température de l’air de 8 K. Il faut déterminer des caractéristiques et des débits de l’air, représenter son évolution sur le diagramme psychrométrique et compléter le tableau des états à l’entrée et à la sortie.

Question 2.1. À l’aide du document DT 6/6, déterminer la température de l’air à la sortie du condenseur.

Le document DT 6/6 donne la température sèche de l’air à l’entrée. Le condenseur réchauffe l’air de $8\,K$, soit une hausse de $8\,^{\circ}C$. On applique donc $T_{s,sortie} = T_{s,entrée} + 8$. Relever la valeur d’entrée dans DT 6/6 puis effectuer cette addition pour obtenir la température sèche de sortie, en degrés Celsius.

Température de sortie

2.1 A l’aide du document DT 6/6, déterminer la température de l’air à la sortie du condenseur.

T sèche sortie = T sèche entrée + 8 °C

✓ RÉPONSE À RETENIR

$T_{s,sortie} = T_{s,entrée,DT6} + 8\,^{\circ}C$.

Question 2.2. À l’aide du document DT 6/6, calculer le débit massique de l’air qmas au condenseur.

Pour le réchauffement sensible, $\Phi = q_{mas} c_p \Delta T$, donc $q_{mas} = \Phi / (c_p \Delta T)$. Avec $\Phi = 120\,kW = 120\,kJ/s$, $c_p = 1{,}005\,kJ/(kg \cdot K)$ et $\Delta T = 8\,K$, $q_{mas} = 120 / (1{,}005 \times 8) = 14{,}93\,kg/s$. En une heure, $14{,}93 \times 3\,600 \approx 53\,731\,kg/h$.

Débit massique de l’air

2.2 A l’aide du document DT 6/6, calculer le débit massique de l’air $\mathbf{q_{mas}}$ au condenseur.

qmas = 120 / (1,005 × 8) = 14,93 kg/s

14,93 × 3 600 ≈ 53 731 kg/h

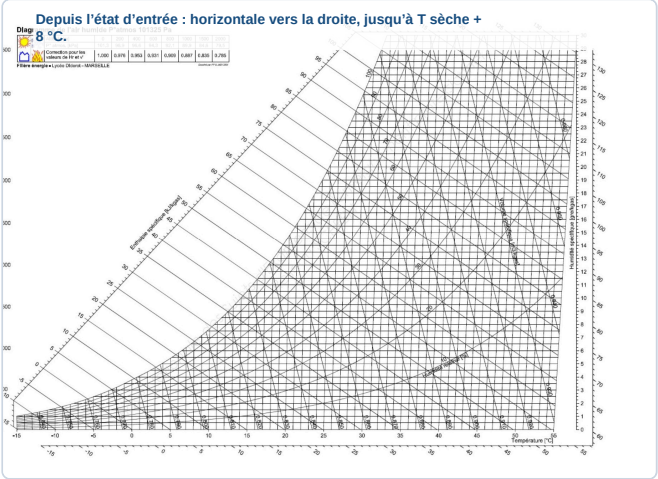
✓ RÉPONSE À RETENIR

$q_{mas} \approx 14{,}93\,kg/s$, soit $53\,731\,kg/h$.

Question 2.3. Tracer sur le diagramme psychrométrique l’évolution de l’air lors de son passage dans le condenseur.

Le condenseur réchauffe l’air sans apport ni retrait d’eau : l’humidité absolue reste constante. Sur le diagramme psychrométrique, repérer l’état d’entrée déterminé à partir de DT 6/6, puis tracer une horizontale vers la droite jusqu’à la température sèche augmentée de $8\,^{\circ}C$. Le point atteint est l’état de sortie. Les valeurs d’entrée du document technique fixent la position exacte de cette évolution.

Construction de l’évolution sur le diagramme



✓ RÉPONSE À RETENIR

Tracer une horizontale à humidité absolue constante, de l’état d’entrée jusqu’à une température sèche supérieure de $8\,^{\circ}C$.

Question 2.4. Compléter le tableau des états à l’entrée et à la sortie du condenseur en indiquant la température sèche, la température de rosée, l’enthalpie, le volume spécifique, l’humidité relative et l’humidité absolue.

État	Température sèche	Température de rosée	Enthalpie	Volume spécifique	Humidité relative	Humidité absolue
Entrée	Valeur DT 6/6	Lecture au diagramme	Lecture au diagramme	Lecture au diagramme	Lecture au diagramme	Lecture au diagramme
Sortie	Entrée + 8 °C	Identique à l’entrée	Lecture au diagramme	Lecture au diagramme	Lecture au diagramme	Identique à l’entrée

Le réchauffement conserve l’humidité absolue et donc la température de rosée. Relever les autres propriétés aux deux états sur le diagramme psychrométrique, après avoir placé l’entrée puis la sortie à $T_{s,entrée} + 8\,^{\circ}C$.

Repères pour compléter le tableau

2.4 Compléter le tableau de relevés

Désignation des points	Température sèche (°C)	Température rosée (°C)	Enthalpie kJ/kg_{as}	Volume spécifique m^3/kg_{as}	Humidité relative %	Humidité absolue g_{eau}/kg_{as}
Entrée condenseur						
Sortie condenseur						

Sortie : T sèche +8 °C ; rosée et humidité absolue inchangées

✓ RÉPONSE À RETENIR

À la sortie : température sèche augmentée de $8\,^{\circ}C$; température de rosée et humidité absolue inchangées.

Question 2.5. À l'aide du document DT 6/6, calculer le débit volumique de l'air qvas au condenseur, en m³/h.

Le débit volumique se déduit du débit massique par $q_{vas} = q_{mas} v_{as}$, où v_{as} est le volume spécifique de l'air en m^3/kg. Avec le débit massique calculé à la question 2.2, exprimé en kg/h, et le volume spécifique relevé pour l'état d'air retenu dans DT 6/6, le produit donne directement le débit en m^3/h.

Calcul du débit volumique

2.5 A l'aide du document DT 6/6, calculer le débit volumique de l'air au condenseur **$\mathbf{q_{vas}}$ (m3/h)**.

qvas = qmas × vas

qvas = 53 731 × vas (m³/h)

✓ RÉPONSE À RETENIR

$q_{vas} = 53\,731\, v_{as,DT6}\, m^3/h$, avec $v_{as,DT6}$ en m^3/kg.

3. Pertes de charge et diamètres des tuyauteries frigorifiques

L'étude porte sur les tuyauteries d'aspiration et de liquide qui alimentent les évaporateurs de la centrale N. Il faut calculer les pertes de charge totales et unitaires, puis déterminer les diamètres des deux lignes à l'aide de l'abaque R404A et justifier les choix par des tracés.

Question 3.1. À partir des documents DT 5/6 et DT 6/6, déterminer en kPa la perte de charge totale ΔP de la ligne d'aspiration, avec une chute équivalente de température d'évaporation ΔT égale à 1 K.

La chute équivalente d'évaporation est de $1\ \mathrm{K}$. Relever dans les documents techniques la température d'évaporation, puis les pressions de saturation du R404A à cette température et à une température inférieure de $1\ \mathrm{K}$. La perte de charge est leur différence : $\Delta P = p_{\mathrm{sat}}(T_{\mathrm{évap}}) - p_{\mathrm{sat}}(T_{\mathrm{évap}} - 1\ \mathrm{K})$. Exprimer les pressions en kPa et retenir la valeur positive obtenue.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\Delta P = p_{\mathrm{sat}}(T_{\mathrm{évap}}) - p_{\mathrm{sat}}(T_{\mathrm{évap}} - 1\ \mathrm{K})$, en kPa.

Question 3.2. À l'aide du document DT 6/6, calculer la perte de charge unitaire j, en kPa/m, de la ligne d'aspiration et de la ligne liquide. Utiliser une perte de charge de 24 kPa pour la ligne liquide et une longueur équivalente de 18,3 m pour chacune des deux lignes.

La perte de charge unitaire se calcule par $j = \Delta P / L_{eq}$. La longueur équivalente vaut $18{,}3\ \mathrm{m}$ pour chacune des lignes.

Ligne	Calcul	Résultat
Liquide	$24/18{,}3$	$1{,}31\ \mathrm{kPa/m}$
Aspiration	$\Delta P_{asp}/18{,}3$	$\mathrm{kPa/m}$

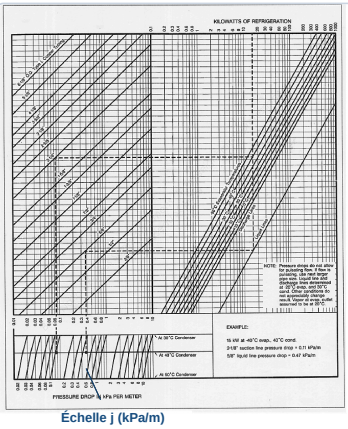
Pour l'aspiration, utiliser la perte totale déterminée à la question 3.1.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Ligne liquide : $1{,}31\ \mathrm{kPa/m}$. Aspiration : $\Delta P_{asp}/18{,}3\ \mathrm{kPa/m}$.

Question 3.3. Déterminer le diamètre de la ligne liquide et celui de la ligne d'aspiration à l'aide de l'abaque des pertes de charge R404A. Justifier les réponses par les tracés sur l'abaque.

Sur l'abaque R404A, utiliser la puissance frigorifique et les températures de fonctionnement de la centrale. Reporter la perte unitaire de chaque ligne sur l'échelle inférieure « pressure drop in kPa per meter », puis suivre les tracés jusqu'aux courbes correspondant aux conditions de fonctionnement. Lire alors le diamètre commercial de la ligne d'aspiration et de la ligne liquide. Le repère liquide utilise $j = 1{,}31\ \mathrm{kPa/m}$; celui de l'aspiration utilise le résultat de la question 3.2.

Repérage de l’échelle de perte de charge



Échelle j (kPa/m)

✓ RÉPONSE À RETENIR

Diamètres des lignes liquide et d’aspiration : à lire aux intersections des tracés avec les courbes de fonctionnement correspondantes.

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

Bilan de l'épreuve : Épreuve écrite E.1-A de physique appliquée du BP Monteur dépanneur en froid et climatisation, session 2012, unité U11. D'une durée de 2 h et de coefficient 3, elle est notée sur 20 points. Elle étudie une centrale négative au R404A et évalue l'analyse des cycles frigorifiques, les bilans thermiques, la psychrométrie de l'air au condenseur et le calcul des pertes de charge pour dimensionner les tuyauteries.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le cycle frigorifique étudié suppose une compression isentropique et une détente isenthalpique.
- La puissance thermique transférée s'obtient à partir du débit massique et de la variation d'enthalpie.
- Le diagramme psychrométrique permet de lire les propriétés de l'air à partir de son état.
- La perte de charge unitaire j, exprimée en kPa/m, s'utilise avec l'abaque pour déterminer un diamètre.

Points de vigilance & attentes du jury

- Distinguer les points caractéristiques des cycles avec et sans échangeur sous-refroidisseur.
- Respecter les unités et les colonnes du tableau lors du relevé des propriétés sur les diagrammes.
- Vérifier la cohérence des unités dans les calculs de débits et de puissances.
- Présenter des tracés lisibles sur l'abaque pour justifier les diamètres des deux lignes.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment tracer les cycles frigorifiques sur le diagramme enthalpique ?

Placez les états à partir des pressions et températures des documents, puis reliez-les selon les transformations imposées. La compression suit une isentrope et la détente une isenthalpe. Tracez séparément les cycles avec et sans échangeur sous-refroidisseur.

Q : Comment représenter l'évolution de l'air au condenseur sur le diagramme psychrométrique ?

Repérez l'état d'entrée à partir des données disponibles, puis placez l'état de sortie en utilisant sa température. Reliez les deux états et lisez sur le diagramme les propriétés nécessaires pour compléter le tableau.

Q : Quelle est la durée de l'épreuve et comment les points sont-ils répartis ?

L'épreuve dure 2 h et totalise 20 points. La thermodynamique vaut 9 points, la psychrométrie 7 points et la mécanique des fluides 4 points. Le coefficient officiel de l'épreuve est 3.

Q : Que faut-il fournir pour justifier les diamètres des tuyauteries ?

Utilisez l'abaque des pertes de charge R404A et faites apparaître les tracés qui conduisent au diamètre retenu pour chaque ligne. Les pertes unitaires et les longueurs équivalentes doivent correspondre aux données du sujet.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bpfroid.fr/assets/annales/bp-froid/U11 - Physique appliquée/2012/BP Froid - U11 - Physique appliquée - 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.