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 en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BTS FED

Épreuve E42

Session 2019 • Code sujet : **19FE42PCA1** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Pompe à chaleur : cycle thermodynamique et efficacité** (5 questions) — **Page 3**
2. **Échanges thermiques de l'enveloppe du bâtiment** (3 questions) — **Page 6**
3. **Adoucisseur d'eau : échange ionique et régénération de la résine** (4 questions) — **Page 8**
4. **Panneaux solaires thermiques : pression de remplissage et rendement** (2 questions) — **Page 10**
5. **Nuisances sonores et prévention des risques** (2 questions) — **Page 11**
6. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 12**

Sujet officiel (PDF) : https://bts-fed.fr/assets/annales/bts-fed/E4.2 - Étude des systèmes - Physique-Chimie associées au système/2019/BTS FED - E4.2 - Étude des systèmes - Physique-Chimie associées au système - Session 2019 - 1-Sujet.pdf

1. Pompe à chaleur : cycle thermodynamique et efficacité

L'Hôtel de Ville est chauffé par une pompe à chaleur air-eau CIAT fonctionnant au R410A, dont le cycle idéal est présenté sur un diagramme enthalpique. Les questions portent sur les transformations du fluide, ses enthalpies, le travail du compresseur et l'efficacité théorique.

I. Cycle de la pompe à chaleur

Question 1. Indiquer la nature des transformations AB, BC, CD, DE et EA parmi compression, détente, refroidissement, vaporisation et liquéfaction, en précisant pour chacune si elle est isobare, isotherme, isentropique ou isenthalpique.

Le cycle suit le sens A → B → C → D → E → A. Sur le diagramme enthalpique, AB est une compression isentropique, BC un refroidissement isobare, CD une liquéfaction isobare et isotherme, DE une détente isenthalpique, et EA une vaporisation isobare et isotherme.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> AB : compression isentropique ; BC : refroidissement isobare ; CD : liquéfaction isobare et isotherme ; DE : détente isenthalpique ; EA : vaporisation isobare et isotherme.

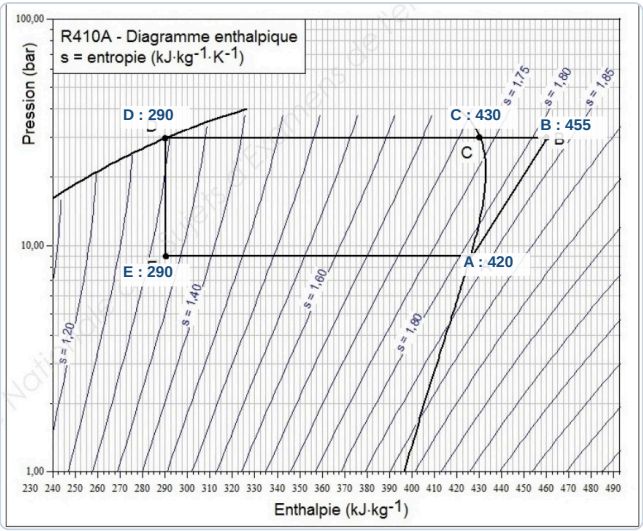
Question 2. À l'aide du diagramme enthalpique, déterminer les enthalpies massiques hA, hB, hC, hD et hE aux points A, B, C, D et E.

Les enthalpies se lisent sur l'axe horizontal du diagramme. La lecture des coordonnées des points donne :

Point	Enthalpie massique (kJ·kg⁻¹)
A	420
B	455
C	430
D	290
E	290

D et E ont la même enthalpie, conformément à la détente isenthalpique.

Diagramme enthalpique annoté



✓ RÉPONSE À RETENIR

hA = 420, hB = 455, hC = 430, hD = 290 et hE = 290 kJ·kg⁻¹.

Question 3. Expliquer la démarche et montrer que le travail massique w reçu par le fluide au niveau du compresseur vaut 35 kJ·kg⁻¹.

Dans le compresseur, le travail massique reçu par le fluide est égal à l'augmentation de son enthalpie : $w = h_B - h_A$. La lecture du diagramme donne $h_A = 420$ kJ·kg⁻¹ et $h_B = 455$ kJ·kg⁻¹. Ainsi, $w = 455 - 420 = 35$ kJ·kg⁻¹. Le travail est positif puisqu'il est reçu par le fluide.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$w = 35$ kJ·kg⁻¹.

II. Efficacité de la pompe à chaleur

Question 1. À partir des échanges énergétiques fournis pour le condenseur et l'évaporateur ainsi que du travail du compresseur, donner l'expression puis la valeur numérique de l'efficacité théorique e, définie comme la valeur absolue du rapport de la quantité de chaleur reçue par le fluide au travail fourni par le compresseur.

Pour le chauffage, la chaleur utile est celle cédée au condenseur, soit $|q_c| = 170$ kJ·kg⁻¹. Avec le travail reçu par le compresseur $w = 35$ kJ·kg⁻¹, l'efficacité vaut $e = |q_c|/w = 170/35$. Les unités se simplifient : l'efficacité est sans unité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$e = 170/35 \approx 4{,}9$, sans unité.

Question 2. Donner une interprétation énergétique de l’efficacité e de la pompe à chaleur.

L’efficacité compare la chaleur fournie au condenseur au travail reçu par le compresseur. Une efficacité de 4,9 signifie que 1 kJ de travail reçu permet de fournir environ 4,9 kJ de chaleur au bâtiment. Le complément provient de l’énergie prélevée dans l’air extérieur ; l’efficacité peut donc être supérieure à 1.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pour 1 kJ de travail reçu, la PAC fournit environ 4,9 kJ de chaleur au bâtiment.

2. Échanges thermiques de l’enveloppe du bâtiment

L’étude vise à estimer les pertes thermiques de l’enveloppe de l’Hôtel de Ville à partir des caractéristiques des parois verticales et de leurs résistances superficielles. Il faut décrire les modes de transfert, calculer la résistance thermique totale puis le flux thermique pour les températures données.

I. Description des trois modes de transfert thermique

Question I. Citer et décrire les trois modes de transfert thermique.

Les trois modes de transfert thermique sont :

- **Conduction :** transfert de proche en proche dans un matériau, sans déplacement global de matière.
- **Convection :** transfert lié au mouvement d’un fluide, liquide ou gaz.
- **Rayonnement :** transfert par ondes électromagnétiques, possible même dans le vide.

Dans chaque cas, l’énergie thermique se transfère spontanément de la zone la plus chaude vers la zone la plus froide.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Conduction dans les matériaux, convection par mouvement d’un fluide, rayonnement par ondes électromagnétiques pouvant se propager dans le vide.

II. Calcul du flux thermique à travers la paroi

Question 1. À partir des dimensions, de la conductivité thermique et des résistances superficielles fournies, et en vous aidant de l’annexe 1, calculer la résistance thermique R de la surface totale des parois verticales.

Grandeur	Valeur en unités SI
Épaisseur e	0,16 m
Surface S	1 056 m²
Conductivité λ	0,032 W·K⁻¹·m⁻¹
Résistances superficielles r_{si} et r_{se}	0,13 et 0,040 m²·K·W⁻¹

D’après l’annexe 1, **$R = (1/S)(e/\lambda + r_{si} + r_{se})$**. Ainsi, R = (0,16/0,032 + 0,13 + 0,040)/1 056 = 4,90 × 10⁻³ K·W⁻¹. La résistance est celle de la surface totale des parois, exprimée en K·W⁻¹.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pour l’ensemble des parois verticales du bâtiment, la résistance thermique totale vaut 4,90 × 10⁻³ K·W⁻¹.

Question 2. Calculer le flux thermique Φ, en kW, à travers la surface totale des parois verticales lorsque la température extérieure est de −4,0 °C et la température intérieure de +20,0 °C.

L'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur vaut $\Delta T = 20{,}0 - (-4{,}0) = 24{,}0$ K. Pour une paroi, le flux thermique est $\Phi = \Delta T / R$. En utilisant $R = 4{,}90 \times 10^{-3}$ K·W^{-1}, on obtient $\Phi \approx 24{,}0/(4{,}90 \times 10^{-3}) \approx 4{,}9 \times 10^{3}$ W, soit environ 4,9 kW. Le transfert s'effectue de l'intérieur chaud vers l'extérieur froid.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le flux thermique sortant des locaux, de l'intérieur vers l'extérieur, est d'environ 4,9 kW.

3. Adoucisseur d’eau : échange ionique et régénération de la résine

Un adoucisseur à résine échangeuse d’ions est installé pour limiter les problèmes dus à l’eau dure dans l’Hôtel de Ville. L’étude demande d’expliquer son intérêt et son fonctionnement, puis de déterminer la masse de chlorure de sodium nécessaire à la régénération après le traitement d’un volume d’eau donné.

I. Principe de fonctionnement de la résine échangeuse d’ions

Question 1. Rédiger une note de service à l’attention du maître d’œuvre expliquant les problèmes causés par une eau trop dure et l’intérêt d’installer des adoucisseurs d’eau dans l’Hôtel de Ville.

Note de service à l’attention du maître d’œuvre
Une eau dure n’est pas dangereuse pour la santé, mais elle favorise les dépôts de calcaire, notamment de carbonates de calcium et de magnésium, dans les appareils où l’eau est chauffée. Ces dépôts peuvent aussi laisser des traces sur les lavabos, baignoires et robinetteries. Dans l’Hôtel de Ville, l’adoucisseur limitera l’entartrage des équipements et les traces sur les surfaces lavées. Il contribuera à préserver le bon fonctionnement des installations et à réduire les besoins d’entretien. L’eau dure reste potable.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L’adoucisseur limite l’entartrage des appareils et les traces de calcaire, sans rendre l’eau dure impropre à la consommation.

Question 2. Citer les ions responsables de la dureté de l’eau et expliquer le fonctionnement d’un adoucisseur à résine échangeuse d’ions.

Les ions responsables de la dureté sont les ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+}. La résine contient des ions sodium Na^{+} échangeables. Au passage de l’eau, elle fixe les ions calcium et magnésium et libère des ions sodium :

- $2\ R–Na + Ca^{2+} \rightarrow R_2–Ca + 2\ Na^{+}$;
- $2\ R–Na + Mg^{2+} \rightarrow R_2–Mg + 2\ Na^{+}$.

Lorsque la résine est saturée, une solution concentrée de chlorure de sodium la régénère : les ions sodium remplacent ceux fixés par la résine, puis les ions calcium et magnésium sont évacués.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La résine échange ses ions Na^{+} contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+}, puis se régénère avec une solution de NaCl.

II. Étude quantitative de l'adoucissement et de la régénération de la résine

Question 1. Montrer que la quantité de matière totale d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} captés par la résine lors du traitement de 100 m³ d'eau, dont le titre hydrotimétrique passe de 25 °f à 10 °f, est égale à 150 mol.

Selon l'annexe, le titre hydrotimétrique vérifie $TH = 10^4 \times ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$. La résine capte la différence de concentration correspondant à la baisse de dureté : $(25 - 10) / 10^4 = 1{,}5 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}. Le volume traité vaut 100 m^3 = 100 000 L. La quantité totale captée est donc $n = 1{,}5 \times 10^{-3} \times 100\,000 = 150$ mol. Il s'agit de la somme des quantités de matière des ions Ca^{2+} et Mg^{2+}.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La résine capte au total **150 mol** d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+}.

Question 2. Présenter les étapes de la démarche permettant au technicien de déterminer la masse de chlorure de sodium nécessaire à la régénération de la résine, en précisant les données et connaissances mobilisées, puis calculer cette masse.

1. Chaque ion Ca^{2+} ou Mg^{2+} capté correspond à deux ions Na^+ libérés. Pour 150 mol d'ions captés, la résine doit donc retrouver 300 mol de Na^+.
2. Chaque unité de NaCl fournit un ion Na^+ : n(NaCl) = 300 mol.
3. La masse molaire du chlorure de sodium est M(NaCl) = 23,0 + 35,5 = 58,5 g·mol^{-1}. La masse requise vaut m = n × M = 300 × 58,5 = 17 550 g, soit 17,55 kg.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **m(NaCl) = 17,55 kg**, soit environ **17,6 kg**.

4. Panneaux solaires thermiques : pression de remplissage et rendement

Trois panneaux solaires thermiques Unical Titanium, remplis d'eau glycolée MPG30%, contribuent à la production d'eau chaude sanitaire de l'Hôtel de Ville. Il faut vérifier la pression au point haut lors du remplissage à l'arrêt, puis calculer le rendement des panneaux à partir de la puissance solaire reçue et de la puissance transmise au fluide.

I. Condition de pression pour le remplissage du système à l'arrêt

Question I. À partir de la pression appliquée au point A, du dénivelé entre A et P et des données sur le fluide, montrer que la pression au point P est supérieure à la pression atmosphérique et que la condition de remplissage est satisfaite.

Le point P est situé 12 m au-dessus de A : la pression diminue de $\Delta p = \rho g h$. Ainsi, $p_P = p_A - \rho g h = 3,0 \times 10^5 - 1,02 \times 10^3 \times 9,81 \times 12 = 1,80 \times 10^5$ Pa. Cette pression dépasse la pression atmosphérique de $1,00 \times 10^5$ Pa : la condition de remplissage est remplie.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $p_P \approx 1,80$ bar $> p_{\text{atm}} = 1,00$ bar : remplissage possible.

II. Rendement des trois panneaux solaires

Question II. À partir de la puissance solaire par unité de surface de 700 W·m⁻², de la surface absorbante indiquée dans le document technique pour les trois panneaux Titanium et de la puissance reçue par l'eau glycolée, calculer le rendement η des panneaux solaires.

Le document technique indique une surface absorbante nette de 1,8 m² par panneau Titanium. Pour les trois panneaux, la puissance solaire incidente se déduit de l'irradiance de 700 W·m⁻².

Grandeur	Calcul	Valeur
Surface absorbante totale	3 × 1,8	5,4 m²
Puissance solaire incidente	700 × 5,4	3 780 W
Puissance reçue par le fluide	2,31 kW convertis en W	2 310 W

Le rendement est le rapport entre la puissance reçue par le fluide et la puissance solaire incidente : $\eta = \frac{2310}{3780}$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\eta \approx 0,61$, soit $61\ \%$.

5. Nuisances sonores et prévention des risques

La pompe à chaleur en fonctionnement génère un niveau sonore de 90 dBA à proximité, tandis que l'annexe rappelle la valeur limite d'exposition et les principes généraux de prévention du bruit. Il faut expliquer l'intérêt de la pondération dBA et proposer les mesures de prévention prioritaires pour un travailleur exposé.

I. Mesure du niveau sonore

Question I. Expliquer l'intérêt de mesurer le niveau sonore en dBA.

La pondération A applique une correction selon la fréquence afin de tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine, moins sensible aux sons graves qu'aux fréquences moyennes. Le niveau en dBA représente ainsi mieux le bruit perçu qu'une mesure non pondérée. Il sert à évaluer l'exposition sonore du travailleur et à la comparer aux valeurs réglementaires de prévention.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le dBA pondère le bruit selon la sensibilité de l'oreille et permet d'évaluer l'exposition sonore.

II. Mesures de prévention

Question II. À partir de l'extrait du Code du travail de l'annexe 4, indiquer les mesures de prévention à mettre en œuvre prioritairement pour réduire les risques liés au bruit pour un travailleur situé à proximité de la pompe à chaleur.

À proximité de la PAC, le niveau de 90 dBA dépasse de 3 dBA la VLE de 87 dBA pour une exposition prolongée. Il faut évaluer l'exposition, puis agir en priorité sur le danger et à la source :

- Réduire le bruit de la PAC : équipement moins bruyant, entretien, capotage ou écran acoustique.
- Privilégier les protections collectives : isoler la zone et éloigner le poste de travail.
- Limiter la durée d'exposition, planifier les interventions et informer les salariés.
- Utiliser des protections auditives individuelles en complément si les mesures collectives ne suffisent pas.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> 90 dBA dépasse la VLE de 87 dBA. Réduire d'abord le bruit à la source et protéger collectivement ; les protections individuelles complètent ces mesures.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2019)

Bilan de l'épreuve : L'épreuve E42 de Physique et Chimie associées au système, session 2019, code 19FE42PCA1, dure 2 heures et possède un coefficient 2. À partir de l'étude d'un Hôtel de Ville, ses cinq parties évaluent le cycle et l'efficacité d'une pompe à chaleur, les transferts thermiques, l'adoucissement et la régénération de l'eau, le rendement solaire et la prévention des nuisances sonores.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Pour une paroi, $R = (e/\lambda + rsi + rse)/S$; le flux thermique se déduit de l'écart de température rapporté à R.
- Pour le compresseur, le travail massique se détermine par la variation d'enthalpie du fluide ; l'efficacité compare la chaleur reçue au travail fourni.
- Le titre hydrotimétrique vérifie $TH\ (°f) = 10^4 \times ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$, avec les concentrations en $mol \cdot L^{-1}$.
- En hydrostatique, $\Delta p = \rho g h$; le rendement solaire est le rapport de la puissance reçue par le fluide à la puissance solaire reçue par les panneaux.

Points de vigilance & attentes du jury

- Lire les points et les transformations directement sur le diagramme enthalpique, puis associer chaque étape à sa caractéristique.
- Convertir les unités avant les calculs, notamment les centimètres en mètres, les m^3 en litres et les bars en pascals.
- Respecter les signes des échanges énergétiques et la définition de l'efficacité donnée dans l'énoncé.
- Pour le bruit, privilégier la réduction à la source et les protections collectives avant les équipements individuels.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment déterminer le travail massique du compresseur sur le diagramme ?

Lire les enthalpies aux états d'entrée et de sortie du compresseur, puis calculer leur différence selon la convention de signe de l'énoncé. Présenter les valeurs relevées, l'opération et l'unité $kJ \cdot kg^{-1}$.

Q : Comment calculer la quantité d'ions responsables de la dureté captés par la résine ?

Utiliser la variation du titre hydrotimétrique pour obtenir la variation de la somme des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+}. Multiplier cette concentration par le volume traité en litres afin d'obtenir une quantité de matière en moles.

Q : Le sujet indique-t-il un barème détaillé ou un temps par partie ?

Le sujet précise une durée totale de 2 heures et un coefficient de 2, mais ne présente pas de barème détaillé par question ni de temps imposé pour chaque partie. Répartissez le temps selon le nombre et la difficulté des tâches.

Q : Quelles priorités de prévention faut-il retenir pour le risque sonore ?

Il faut d'abord supprimer ou réduire le bruit à la source, puis privilégier les mesures de protection collective. Les protections individuelles interviennent en complément si les protections collectives sont insuffisantes.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bts-fed.fr/assets/annales/bts-fed/E4.2 - Étude des systèmes - Physique-Chimie associées au système/2019/BTS FED - E4.2 - Étude des systèmes - Physique-Chimie associées au système - Session 2019 - 1-Sujet.pdf
Ressources BTS Fluides Énergies Domotique : 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.