Banque PT, France

Session 2020, filière PT

Physique B, thermodynamique

Durée : 2 heures

Ce que traite le sujet

- Partie 1 : cycle d'une machine à vapeur avec surchauffe
- Partie 2 : optimisation du cycle par resurchauffe
- Partie 3 : consommation énergétique et biomasse
- Partie 4 : échangeur à plaques alimentant un lycée

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/banque-pt/pt/2020/physique-b-thermo

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

Epreuve de Physique B - Thermodynamique

Durée 2 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est interdit.

AVERTISSEMENT

À rendre en fin d'épreuve avec la copie 2 annexes impression recto/verso.

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 justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

Tournez la page S.V.P.

ÉTUDE D'UN RESEAU URBAIN DE CHALEUR

Le sujet choisi est l'étude simplifiée d'un site de production et de distribution d'un réseau urbain de chaleur.

On pourra s'aider des calculs suivants pour les applications numériques qui se feront avec deux chiffres significatifs.

0,72/3,05=0,24 0,85/3,5=0,24 17/3,6=4,7 ln(4)=1,4 4,2/17=0,25

On prendra:
- la masse volumique de l'eau liquide égale à $\rho_{EAU}=1,0\cdot10^{3}$ kg.m^{-3}.
- la capacité thermique massique de l'eau liquide $c_{EAU}=4,0\cdot10^{3}$ J.kg^{-1}.K^{-1} .

On négligera la variation d'énergie cinétique et d'énergie potentielle en regard de la variation d'enthalpie.

Document 1: L'unité de combustion et de valorisation des déchets d'une agglomération de taille moyenne

L'incinérateur brûle les déchets avec un apport de méthane et des entrées d'air frais. Le dioxyde de carbone, la vapeur et les particules sortantes de l'incinérateur de déchets sont récupérées pour le chauffage des éléments de deux chaudières. Les deux chaudières permettent d'obtenir de la vapeur sous haute pression destinée à entraîner un turboalternateur d'une part et à alimenter un réseau urbain de chaleur d'autre part.

L'incinérateur permet la combustion de 100 000 tonnes de déchets ménagers et assimilés par an**.** 1,3 % de la masse initiale des déchets est récupérée sous forme de suie par des filtres sur les cheminées et constitue des déchets dangereux. 11 % de la masse initiale des déchets est récupérée au bas de l'incinérateur sous forme de cendres. Ces cendres sont ensuite utilisées comme remblais sur les routes en zone non inondable. La puissance thermique des deux chaudières est de 20MW. C'est à dire un débit de 17 tonne/h de vapeur à 375°C sous 40 bar pour une seule chaudière. L'énergie envoyée vers le chauffage urbain est de 36 000 MWh par an. Le turbo-alternateur est d'une puissance électrique de 7 MW et permet une production électrique de 40 000 MWh par an.

Document 2: Description du cycle d'une machine à vapeur avec surchauffe

L'eau du réservoir de l'installation est d'abord pressurisée par un compresseur haute pression de manière isentropique de l'état A à l'état B.

L'eau liquide compressée subit ensuite des transformations isobares en passant successivement par les 3 entités constituant la chaudière:
- un économiseur qui l'amène à l' état de liquide saturant (état C);
- un ballon qui vaporise entièrement le liquide saturant à l'état de vapeur sèche saturante (état D);
- un surchauffeur qui l'amène à l'état de vapeur sèche surchauffée (état E) à 375°C.

Économiseur, ballon et surchauffeur sont tous chauffés par les fumées des combustions des déchets, ce chauffage s'effectue à pression constante.

La vapeur sèche haute pression subit ensuite une détente isentropique dans la turbine pour revenir à un mélange liquide-vapeur à la pression initiale. Le mélange

de titre élevé en vapeur est condensé jusque dans le domaine liquide avec un transfert thermique avec l'air extérieur puis revient à 25°C dans le réservoir de manière isobare.

Document 3: Description du turbo-alternateur:

La turbine est entraînée mécaniquement par la vapeur haute pression. La turbine entraîne un alternateur qui génère de l'électricité par induction. On considère un rendement de 90 % entre la puissance mécanique de la turbine et la puissance électrique générée par l'alternateur.

PARTIE 1: (poids approximatif dans le barème: 40%)

Question 1: On considère l'eau liquide incompressible (volume massique constant). A partir de l'identité thermodynamique avec l'énergie interne, montrer que, pour un tel liquide, une transformation isentropique se confond avec une transformation isotherme.

Question 2: Compléter le tableau en annexe, placer les points et tracer le cycle sur le diagramme {log(P),h} de l'eau fourni également en annexe.

Question 3: A partir de l'identité thermodynamique avec l'enthalpie, exprimer puis calculer le travail massique nécessaire pour compresser l'eau liquide de l'état A à l'état B.

Question 4: Exprimer puis calculer le transfert thermique massique total nécessaire pour chauffer l'eau dans les économiseur, ballon et surchauffeur.

Question 5: Exprimer puis calculer le rendement du cycle thermodynamique en considérant que l'objectif est de produire du travail mécanique par détente de la vapeur.

Question 6: Exprimer puis calculer le rendement de la machine en considérant que l'objectif est de produire du travail électrique.

Question 7: Estimer le titre en vapeur en F par une lecture sur le diagramme puis rappeler la règle des moments. Lire et donner les valeurs contenues dans cette dernière relation sans pour autant faire le calcul.

Question 8: Donner l'expression littérale de la création d'entropie massique sur un cycle en fonction des enthalpies massiques et des températures. On supposera que les échanges avec les sources se font aux deux températures extrêmes du fluide. Donner les valeurs nécessaires à l'application numérique sans pour autant faire le calcul.

Document 4: Un exemple d'optimisation du cycle

Une amélioration de la machine serait d'éviter de rentrer dans le domaine diphasé pendant le turbinage. Ce nouveau cycle nécessite un turbinage haute pression et un turbinage basse pression après réchauffe. Pour cela on peut turbiner isentropiquement dans les hautes pressions jusqu'à atteindre la courbe de saturation (E'), puis faire une réchauffe isobare dans les fumées de l'incinérateur pour atteindre à nouveau la température de 375ºC (E'') et enfin faire un nouveau turbinage isentropique dit basse pression pour revenir en entrée condenseur (F') sous 1,0 bar dans le domaine vapeur.

PARTIE 2: (poids approximatif dans le barème: 20%)

Question 9: Placer les points et tracer les nouvelles parties du cycle sur le diagramme en annexe. Compléter le tableau avec les nouveaux états du cycle en annexe.

Question 10: Exprimer puis calculer le rendement du cycle en considérant que l'objectif est de produire du travail mécanique par détente de la vapeur.

Question 11: Quel risque cherche-t-on à éviter avec ce nouveau cycle ?

Question 12: On suppose que l'état de l'eau (375°C ; 40 bar) en sortie des deux chaudières de l'unité de valorisation des déchets permet de restituer de l'énergie jusqu'à l'état (25°C; 1,0 bar). Exprimer puis calculer la puissance thermique restituable avec le débit annoncé. Commenter en comparant avec la puissance des chaudières annoncée dans le document 1.

Document 5: Site Ecoval, chaudières Biomasse et unité de valorisation des déchets

Depuis novembre 2012, plus de la moitié de la population ébroïcienne bénéficie d'un chauffage urbain généré à 96 % par des énergies renouvelables: ordures ménagères, plaquettes forestières, déchets verts. Le SETOM (Syndicat mixte pour l'étude et le traitement des ordures ménagères) de l'Eure a en effet mis en place une nouvelle chaufferie à bois sur son site d'ECOVAL à Guichainville près d'Evreux. Cette chaufferie est couplée à l'unité de valorisation énergétique des déchets pour alimenter un réseau de chaleur urbain.

La production d'énergie thermique permet l'alimentation de 20 000 habitants en eau chaude sanitaire et en chauffage collectif. L'énergie issue de la combustion de la biomasse est de l'énergie renouvelable qui vient en substitution à la consommation d'énergie fossile. En complément, brûler du bois en remplacement du fioul ou du gaz équivaut à une réduction des émissions de CO_2 de 20 000 tonnes par an. *(Source: SETOM d'Evreux)*

Informations clés sur la production énergétique renouvelable du SETOM	
Tonnage annuel de bois-énergie	25 à 30 000 tonnes/an
Tonnage annuel de déchets ménagers incinérées	100 000 tonnes/an
Besoins de chauffage	20 000 équivalents habitants
Puissance des chaudières à déchets	20 MW ou 2 x17 tonnes/h de vapeur à 380°C sous 38 bars
Puissance des chaudières à bois	2 x 8 MW
Puissance des chaudières d'appoint et secours	3 x 15 MW au gaz naturel
Production totale de chaleur	117 GWh/an
Production de chaleur par les déchets	36 GWh/an
Production de chaleur par le bois	54 GWh/an
Longueur du réseau de chaleur	3 + 25 km
Température du réseau de chaleur	105°C
Puissance de production électrique de l'usine	Turbo-alternateur de 7 Mwé Thermodyn
Production d'électricité de l'usine	47 GWh/an
Vente d'électricité sur le réseau	37 GWh/an
Vente de chaleur	96 GWh/an

(Source: SETOM d'Evreux)

PARTIE 3: (poids approximatif dans le barème: 10%)

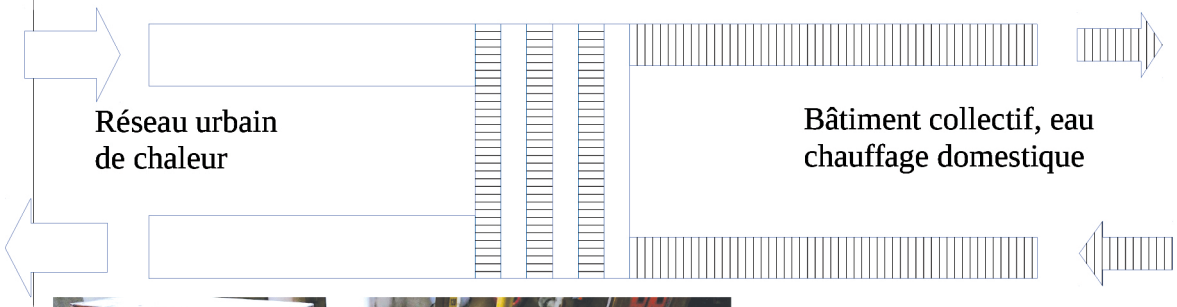
Question 13: A l'aide des informations annoncées, estimer la consommation énergétique annuelle d'un habitant en chauffage et eau chaude sanitaire collectif. Commenter sachant qu'un logement peu isolé, ayant une surface habitable de 100 m^2, consomme une énergie annuelle de 15000 kWh en chauffage électrique sans eau chaude sanitaire.

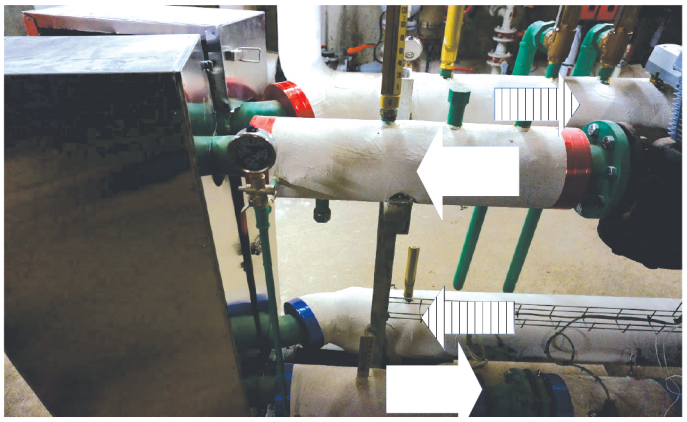
Question 14: On peut estimer à environ 250g l'émission de CO_2 pour 1,0 kWh de chauffage produit avec des combustibles d'origine fossile. On cite la phrase : «*En complément, brûler du bois en remplacement du fioul ou du gaz équivaut à une réduction des émissions de CO_2 de 20 000 tonnes par an. »*. Commenter les contraintes de l'apport en bois puis estimer la réduction d'émission pour valider cette phrase.

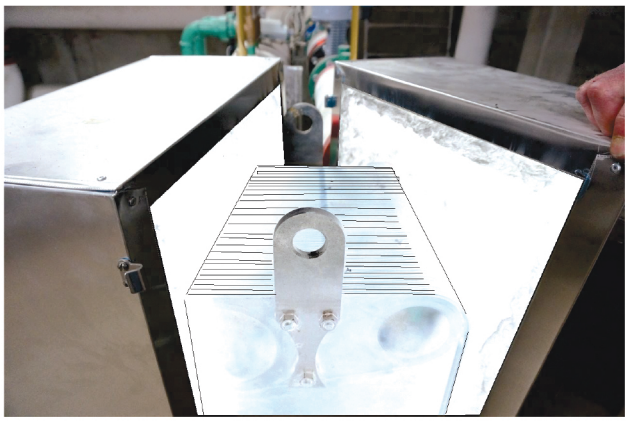
Document 6: Alimentation d'un lycée par réseau de chaleur :

Chaque bâtiment est raccordé au réseau de chaleur par un échangeur où l'eau du réseau urbain transfère sa chaleur à l'eau du circuit domestique circulant dans les installations de chauffage du bâtiment.

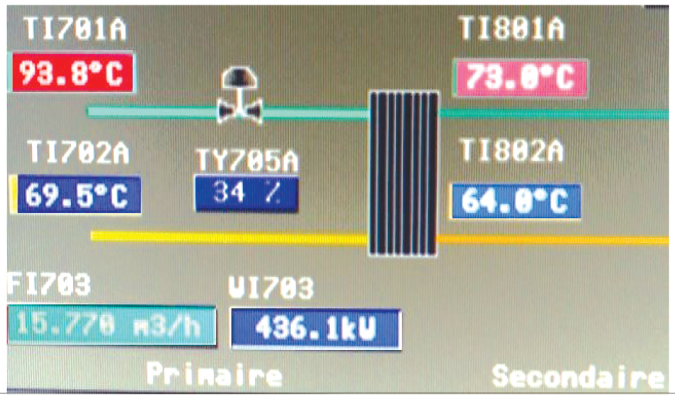
On alimente un lycée consommant en hiver une puissance de 420 kW avec une température extérieure de 5°C. On considère que la température côté réseau urbain passe de 95°C à 70°C et que le débit côté réseau urbain est de 15 $m^3/h = 4{,}2 \cdot 10^{-3}\ m^3/s$







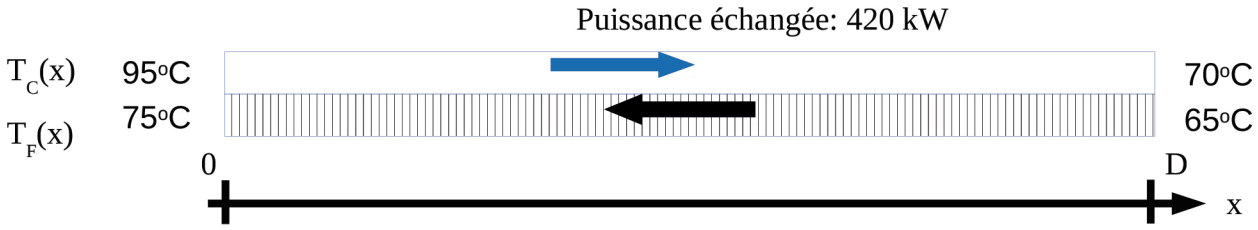
<u>Échangeur à plaques verticales</u>
par plaque :
dimension 1m x 0,20m x 5 mm



<u>Écran de contrôle</u>
dans l'armoire électrique. Températures, débit et puissance différents de ceux donnés dans le reste de l'énoncé

PARTIE 4: (poids approximatif dans le barème: 30%)

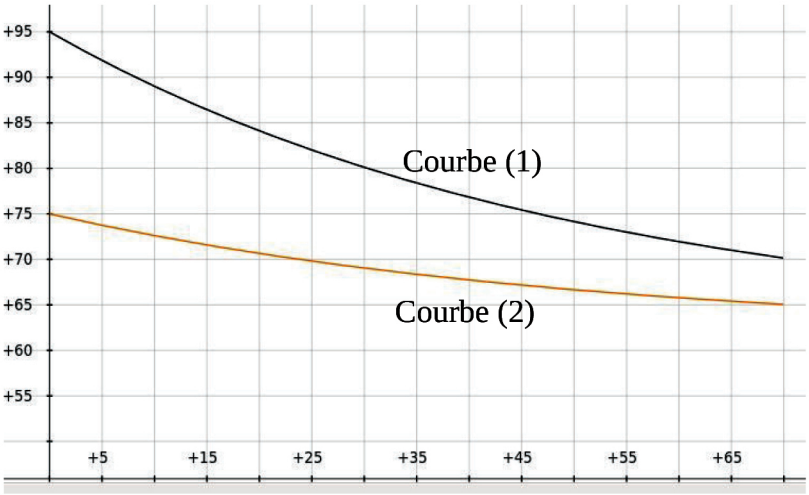
Question 15: Est ce que la valeur du débit correspond aux besoins de chauffage du lycée? Justifier par un calcul.



On prend un modèle d'échangeur à contre courant pour modéliser l'échangeur à plaques. On suppose ainsi que l'échange se fait avec une seule plaque rectangulaire de largeur L=0,20 m et de longueur D=70 m selon l'axe x. On suppose une invariance du modèle selon la largeur. On note T_C la température du fluide chaud (primaire) et T_F la température du fluide froid (secondaire).

On suppose que le flux thermique surfacique φ reçu par le fluide froid en $W.m^{-2}$ est de la forme $\varphi(x)=h(T_C(x)-T_F(x))$ (loi de Newton). On suppose que h ne dépend ni des débits ni des températures des deux circuits. On note D_C et D_F les débits massiques du fluide chaud (primaire) et du fluide froid (secondaire)

Ordres de grandeur du coefficient de transfert thermique surfacique h en $W.m^{-2}.K^{-1}$	
Échangeurs Liquide-liquide	100-2000
Échangeurs Liquide-gaz	30-300
Échangeurs type Condenseur	500-5000



Question 16: Identifier et nommer les courbes (1) et (2).

Question 17: En relevant les températures extrémales, justifier pourquoi on utilise un modèle à contre courant (courants des fluides en sens opposé) plutôt qu'un modèle à co-courant (courants des fluides dans le même sens).

Tournez la page S.V.P.

Question 18: Faire deux bilans enthalpiques locaux puis montrer que

$$\frac{d(T_C - T_F)}{(T_C - T_F)} = \frac{-h \cdot L}{c_{EAU}} \left(\frac{1}{D_C} - \frac{1}{D_F}\right) dx \quad (1)$$

on posera $\alpha = \frac{h \cdot L}{c_{EAU}} \left(\frac{1}{D_C} - \frac{1}{D_F}\right)$

Question 19: Faire deux bilans enthalpiques entre les entrées et les sorties en faisant apparaître la puissance totale échangée P > 0 puis montrer que

$$\alpha = \frac{h \cdot L}{P} \left[(T_C(0) - T_F(0)) - (T_C(D) - T_F(D)) \right]$$

Question 20: Étudier le signe de α en fonction des débits et en fonction de l'évolution du différentiel de température $(T_C - T_F)(x)$ En déduire une information numérique sur le débit du fluide froid qui circule dans le lycée.

Question 21: Enfin en intégrant l'expression (1) montrer que

$$h = \frac{P}{L \cdot D} \frac{\ln\left(\frac{T_C(0) - T_F(0)}{T_C(D) - T_F(D)}\right)}{(T_C(0) - T_F(0)) - (T_C(D) - T_F(D))}$$

Question 22: Calculer h et commenter ainsi la qualité du transfert thermique local.

FIN DU SUJET

Les photos ont été prises au lycée L.S Senghor d'Evreux.

Le diagramme de l'annexe a été réalisé avec coolpack développé par Technical University of Denmark

IMPRIMERIE NATIONALE – 20 1105 – D'après documents fournis

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

CONSIGNES

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

ANNEXES A RENDRE :

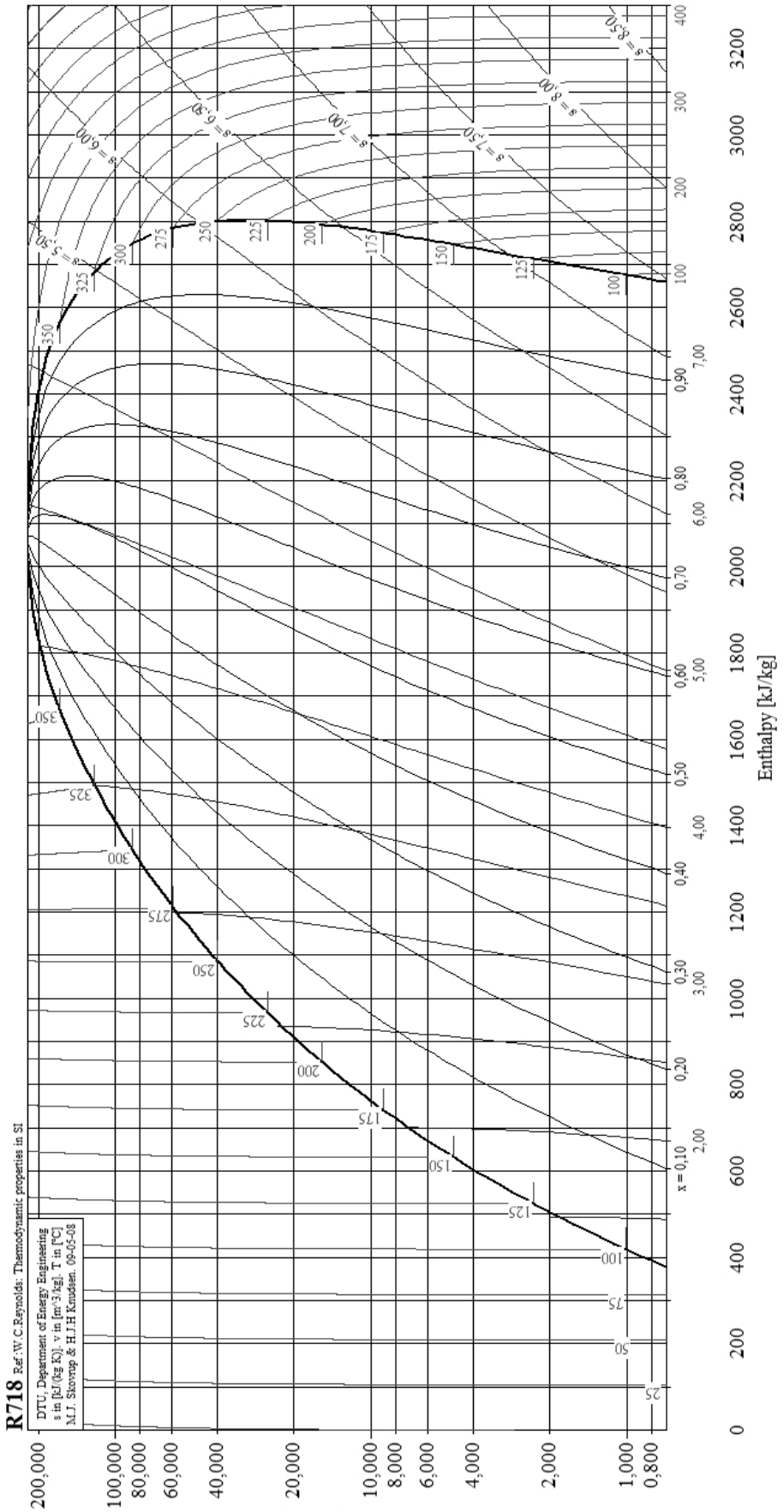
Question 2

États		Pression	Température	h(kJ.kg^{-1})
A	Entrée compresseur	1,0 bar	25°C	
B	Entrée économiseur	40 bar		
C	Entrée ballon			
D	Entrée surchauffeur			
E	Entrée turbine		375°C	
F	Entrée condenseur	1,0 bar		

Question 9

États		Pression	Température	h(kJ.kg^{-1})
E'	Entrée réchauffe			
E''	Entrée turbine BP		375°C	
F'	Entrée condenseur	1,0 bar		

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PT chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Équations différentielles linéaires du premier ordre

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/banque-pt/pt