

Activité 1 : Etude thermochimique de la combustion

A) Entraînement :

Calculer les enthalpies standards de réaction des réactions suivantes à 298 K après avoir attribué les bons coefficients stœchiométriques (on conservera un coefficient stœchiométrique unitaire pour le 1<sup>er</sup> réactif) :

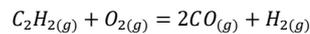
- 1)  $C_2H_6(g) + O_2(g) = CO_2(g) + H_2O(g)$
- 2)  $C_2H_6(g) + O_2(g) = C_2H_6O(g)$
- 3)  $C_2H_6O(g) + O_2(g) = CO_2(g) + H_2O(g)$
- 4)  $C_2H_6(g) + O_2(g) = CO(g) + H_2(g)$

Données approchées :  $\Delta_f H^0 (kJ.mol^{-1})$  à 298 K

| $C_2H_6(g)$ | $C_2H_6O(g)$ | $CO_2(g)$ | $H_2O(g)$ | $CO(g)$ |
|-------------|--------------|-----------|-----------|---------|
| -100        | -250         | -400      | -250      | -100    |

- B) Détermination expérimentale d'une enthalpie de réaction (1c6a-1760424)
- C) Température de flamme

La flamme d'un chalumeau oxy-acétylénique résulte de la combustion de l'acétylène  $C_2H_2$  par du dioxygène pur. Cette réaction permet d'atteindre des températures très élevées et trouve son application dans les opérations de soudage et d'oxycoupage. L'exothermicité de la réaction est telle que les produits de combustion  $CO_2$  et  $H_2O$  sont totalement dissociés en  $CO$  et  $H_2$ , la réaction à considérer est alors suivante :



Déterminer la température maximale atteinte (appelée température de flamme), sachant que les réactifs gazeux sont initialement en proportions stœchiométriques à 300K (on considèrera la combustion d'une mole d'acétylène).

Données :  $\Delta_f H^0(300K)$  :  $C_2H_2(g)$ : 250 et  $CO(g)$ : -100 (en  $kJ.mol^{-1}$ )

$C_{pm}(J.K^{-1}.mol^{-1})$ :  $CO(g)$ : 30;  $H_2(g)$ : 30;  $C_2H_2(g)$ : 40;  $O_2(g)$ : 30

Activité 2 : problème de physique

Sachant qu'une bouteille de 4,4kg de propane coûte environ 10 euros quel est le prix du MJ de propane ?

$$\Delta_f H^0(\text{propane}_{(g)}) = -100kJ.mol^{-1}, \quad \Delta_f H^0(H_2O_{(g)}) = -250kJ.mol^{-1}, \quad \Delta_f H^0(CO_{2(g)}) = -400kJ.mol^{-1}$$

Activité 3 : Chaleur latente de changement d'état (5cdb-1760431)

Activité 4 : Machine frigorifère

Vous avez à disposition une des cinq machines frigorifères de l'atelier. Ces cinq machines fonctionnent suivant le même principe que l'on va décrire dans un 1<sup>er</sup> temps.

A) Généralités

La machine est cyclique ditherme et nous supposons qu'elle impose au fluide frigorifère (ici du R134A) le cycle suivant :

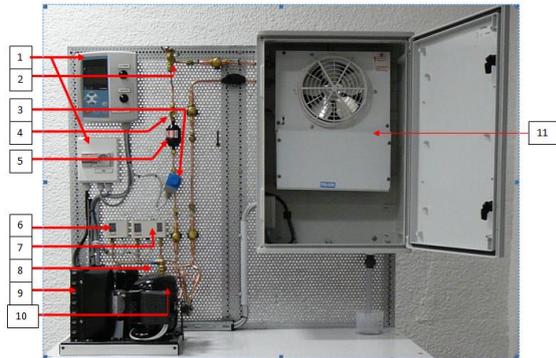
- En A, le fluide est un gaz saturé et entre dans le compresseur :  $A\{T_A, P_A\}$
  - La transformation  $A \rightarrow B$  est une compression supposée adiabatique et mécaniquement réversible, le fluide reste alors toujours à l'état gazeux (surchauffé) :  $B\{T_B, P_B\}$
  - La transformation  $B \rightarrow C$  est un refroidissement isobare jusqu'à la première goutte de liquide (il entre alors dans le condenseur) :  $C\{T_C, P_B\}$
  - La transformation  $C \rightarrow D$  est une liquéfaction à la pression  $P_B$  aboutissant à un liquide saturé :  $D\{T_C, P_B\}$
  - Le liquide est éventuellement refroidi de manière isobare et arrive au détendeur :  $E\{T_E, P_B\}$
  - Le liquide subit une détente isenthalpique (détente de Joule-Thomson) faisant apparaître un mélange diphasé en  $F\{T_F, P_A\}$
  - Vaporisation jusqu'à un gaz saturé en  $A\{T_F, P_A\}$  dans l'évaporateur.
- 1) Tracer le cycle précédent sur le diagramme  $p(h)$  fourni sachant que D et E sont confondus et avec les valeurs suivantes :

|                             |                           |                       |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| $P_A(\text{bar}) = 1,5 + 1$ | $P_B(\text{bar}) = 9 + 1$ | $T_E(^{\circ}C) = 40$ |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|

- 2) En déduire, par lecture graphique, les valeurs des grandeurs suivantes :
- Le travail massique  $w$  du compresseur
  - Le transfert thermique  $q_f$  mis en jeu au niveau de l'évaporateur
  - Le transfert thermique  $q_c$  mis en jeu au niveau du condenseur
- 3) Vérifier que vos mesures conduisent à  $q_f + q_c + w \approx 0$ . Pourquoi ?
- 4) Exprimer puis calculer le coefficient de performance de cette machine réfrigérante.
- 5) Dessiner le cycle précédent dans un diagramme  $T(s)$ .
- 6) Montrer qu'il est possible de retrouver les valeurs de  $q_f$  et  $q_c$  sur ce diagramme  $T(s)$
- 7) Evaluer, à l'aide du diagramme  $T(s)$ , la fraction massique en liquide au point F. En déduire la chaleur latente de vaporisation du fluide pour cette basse pression.

B) Vérification expérimentale

Machine frigo 1 : fluide R134A

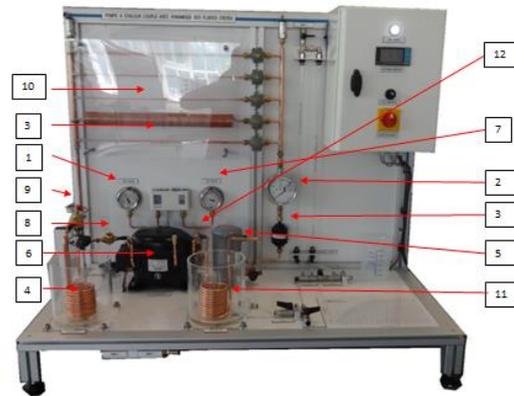


| Numéro de repère | Nom                                     | fonction   |
|------------------|---|--|
| 1                | Armoire électrique                      | Assure l'alimentation et la régulation du système en température et pression                     |
| 2                | Détendeur thermostatique                | Assure la détente du gaz et un remplissage optimum de l'évaporateur                              |
| 3                | Vanne électromagnétique                 | Coupe et actionne le passage du fluide en fonction de la consigne                                |
| 4                | Voyant liquide                          | Permet de contrôler l'état du liquide (humidité, acidité...)                                     |
| 5                | Filtre déshydrateur                     | Protège le système contre l'humidité, les acides et les particules solides                       |
| 6                | Pressostat BP de régulation             | Assure la régulation du système  |
| 7                | Combinée pressostatique HBP de sécurité | sécurité HP et BP du compresseur, réarmement manuel  |
| 8                | Soupape de sécurité                     | Permet de décharger le fluide frigorigène en cas de haute pression                               |
| 9                | Condenseur                              | Dissipe les calories absorbées à l'évaporateur   |
| 10               | Compresseur                             | Véhicule le fluide dans l'installation passe de la BP à la HP                                    |
| 11               | Evaporateur                             | Cet échangeur thermique est placé dans une armoire afin de simuler le refroidissement d'un local |

Pour cette machine :

- Mesurer  $P_A, T_A, P_B, T_B$  et  $T_E$  (dans cette machine le liquide est légèrement sous refroidi de manière isobare  $D \neq E$ ).
- Représenter le diagramme  $p(h)$ .
- En déduire la valeur du COP
- Tracer la compression adiabatique sur un diagramme entropique.
- La compression  $A \rightarrow B$  est-elle bien réversible ? En déduire l'entropie massique créée à l'aide du diagramme  $T(s)$ .
- On montre que le travail massique  $w_f$  des forces de viscosité lors de la compression est donné par  $\int_{transfo} T ds$ . Estimer le travail massique de ces forces de frottement.

Machine frigo 2 : fluide R134A

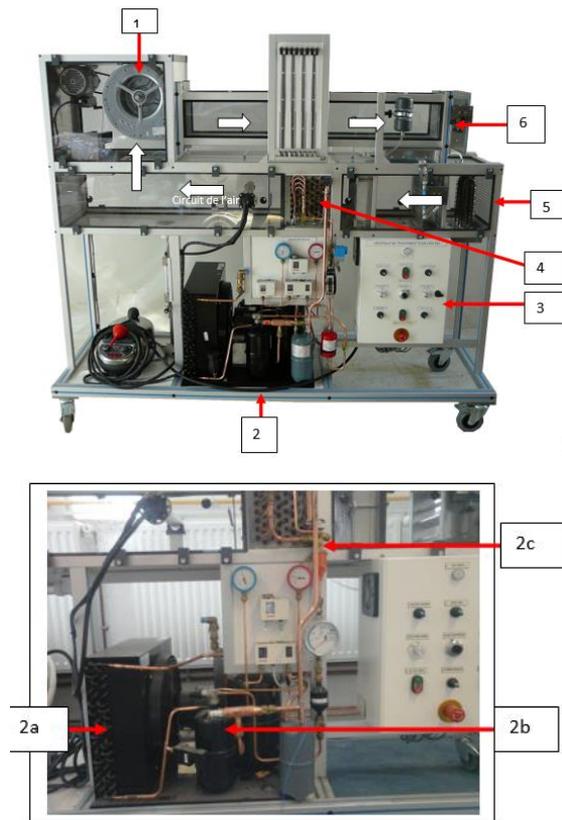


| ITEM | DESIGNATION                                     | Fonction  |
|------|---|---|
| 1    | Manomètre BP                                    | Permet la mesure de la basse pression   |
| 2    | Débitmètre fluide frigorigène                   | Permet la mesure du débit entre les différents organes                          |
| 3    | Déshydrateur                                    | Permet de filtrer les éventuelles traces d'humidité ou d'acidité dans le fluide |
| 4    | Evaporateur à eau                               | Bocal jouant le rôle de thermostat froid  |
| 5    | Bouteille anti-coup de liquide                  | Permet d'avoir une réserve de liquide   |
| 6    | Compresseur hermétique                          | Permet d'assurer le passage de HP à la BP                                       |
| 7    | Manomètre HP                                    | Donne la lecture de la HP   |
| 8    | Voyant indicateur d'humidité entrée compresseur | Permet de vérifier la présence d'humidité dans le fluide                        |
| 9    | Détendeur                                       | Permet une détente entre la HP et BP  |
| 10   | Ligne mécanique des fluides                     |   |
| 11   | Condenseur à eau                                | Joue le rôle de thermostat chaud  |
| 12   | Soupape de sécurité                             | Sécurité mécanique  |

Pour cette machine :

- Mesurer :
  - $P_A, T_A, P_B, T_B$  et  $T_E$ ,
  - la température  $T_{chaud}$  de l'eau chaude au contact du condenseur et la température  $T_{froid}$  de l'eau au contact de l'évaporateur
  - le débit massique de l'eau (on proposera un protocole pour cette mesure)
  - le débit volumique du fluide frigorigène (on donne la masse volumique du fluide frigorigène  $\rho = 1,188 kg.L^{-1}$ )
  - mesurer la puissance électrique  $P_e$  absorbée.
- Représenter le diagramme  $p(h)$  sachant que le gaz à l'état A est une vapeur sèche.
- Déterminer l'efficacité  $e_{reel}$  de la machine ainsi que l'efficacité  $e_{carnot}$  de la machine de Carnot qui aurait travaillé entre les deux isothermes  $T_A$  et  $T_E$ . Conclure
- Déterminer l'efficacité  $e_{global} = \frac{P_{eau}}{P_e}$  où  $P_{eau}$  est la puissance échangée avec l'eau froide.

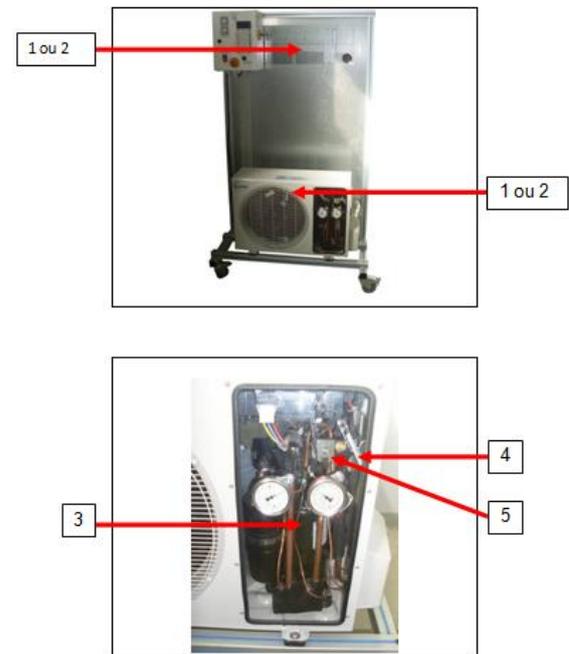
Machine de refroidissement de l'air 3 : fluide R134A



| Item | Nom   | Fonction  |
|------|---|---|
| 1    | Pompe à air   | Sa mise en rotation permet d'aspirer l'air extérieur                |
| 2    | Machine frigorigène                                       | Permet des échanges thermiques entre l'air et le fluide frigorigène |
| 2a   | Condenseur  | Le fluide frigorigène y perd des calories                           |
| 2b   | Compresseur   | Comprime le fluide de BP à la HP                                    |
| 2c   | Détendeur   | Détend de la HP à la BP   |
| 3    | Boîtier électrique  | Permet la commande de la pompe et de la machine frigo               |
| 4    | Echangeur thermique avec l'air traité de la machine frigo | Prélève des calories à l'air  |
| 5    | Entrée d'air  | Entrée de l'air extérieur « chaud »                                 |
| 6    | Sortie d'air  | Sortie de l'air traitée et refroidi                                 |

- 1) Mesurer  $P_A, P_B$ . Tracer le cycle  $p(h)$  de la machine en conservant nos modèles de transformations présentés au début de l'exercice (les points D et E sont ici confondus).
- 2) En déduire la puissance thermique  $P_{theo}$  théoriquement cédée par le fluide frigorigène à l'air.
- 3) En utilisant l'anémomètre, proposer et réaliser les mesures permettant d'évaluer la puissance thermique  $P_{reelle}$  effectivement échangée avec l'air. On donne la masse volumique de l'air  $\rho_{air} \approx 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et la capacité thermique massique à pression constante de l'air  $c_{p,air} = 1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- 4) Calculer le rendement  $r = \frac{P_{reelle}}{P_{theo}}$  lié à l'échange thermique avec le gaz.

Machine climatiseur 4 : fluide R410 A



| Numéro de repère | Nom                       |   |
|------------------|---------------------------|---|
| 1 ou 2           | Evaporateur ou Condenseur | Absorbe les calories contenues dans l'air ou Dissipe les calories absorbées à l'évaporateur |
| 3                | Compresseur               | Véhicule le fluide dans l'installation et passe de la basse pression à la haute pression    |
| 4                | Détendeur                 | Assure un remplissage optimum de l'évaporateur et passe de la HP à la BP                    |
| 5                | Vanne 4 voies             | Assure l'inversion de cycle   |

Pour cette machine :

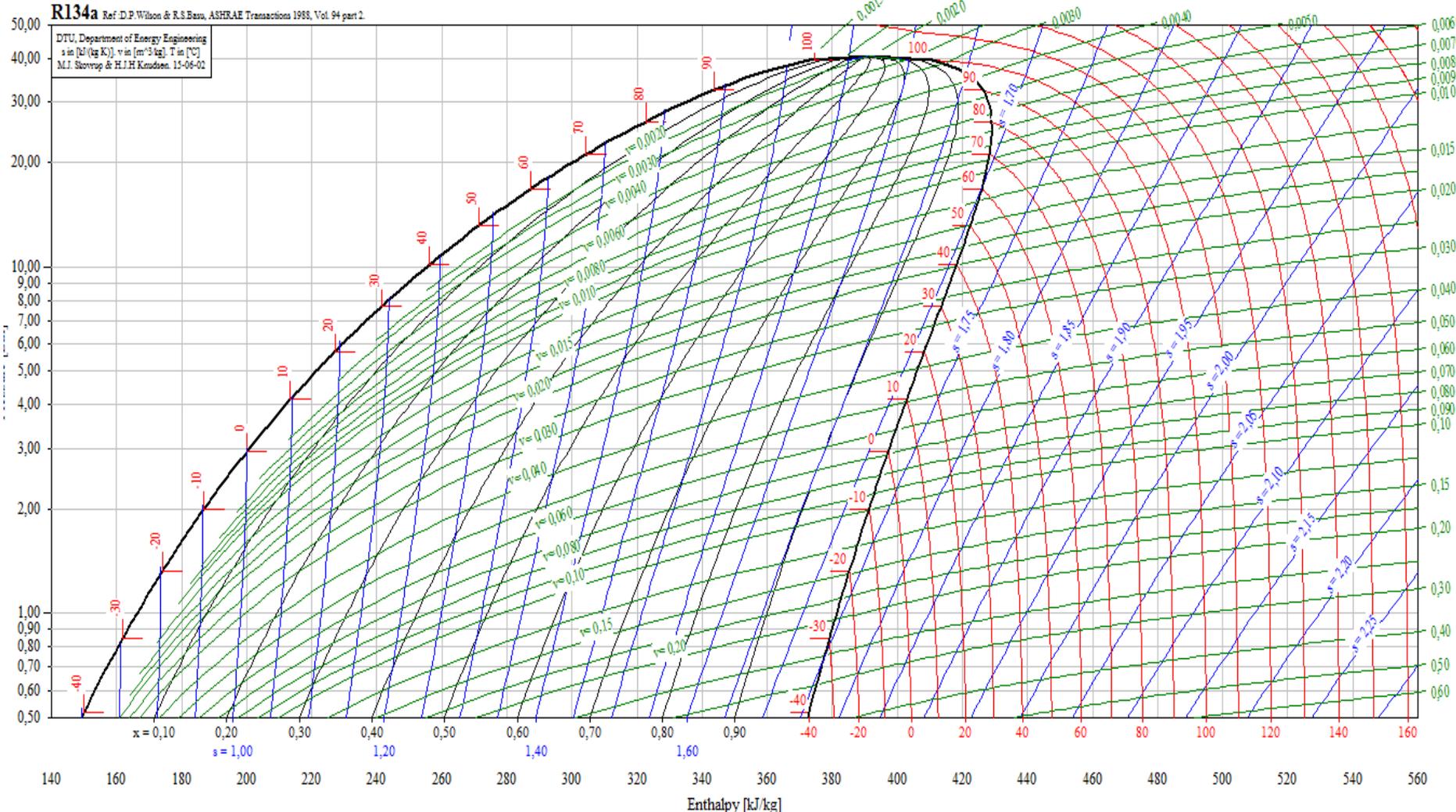
- 1) Mesurer  $P_A, P_B$ .
- 2) Tracer les cycles  $p(h)$  et  $T(s)$  de la machine en conservant nos modèles de transformations présentés au début de l'exercice (les points D et E sont confondus)
- 3) En déduire la valeur du COP
- 4) Comparer cette valeur à celle d'une machine de Carnot fonctionnant entre deux isothermes et deux adiabatiques. On tracera le cycle de Carnot le plus proche de la machine dans le diagramme entropique  $T(s)$ . Interpréter.

Machine 5 (Pompe à chaleur eau-eau) : fluide R410A

| Numéro de repère | Nom   |
|------------------|---|
| 1                | Armoire électrique : affichage de la température chaude de consigne, de la température extérieure simulée, des températures en entrée et sortie de compresseur et entrée détenteur. |
| 2                | Circuit primaire en eau : source froide   |
| 3                | Résistance chauffante permettant de thermostatier la température de l'eau du circuit primaire   |
| 4                | Pompe à chaleur sur laquelle on peut lire la HP et la BP ainsi que la température de l'eau des circuits primaire et secondaire en eau   |
| 5                | Circuit secondaire en eau   |

Pour cette machine :

- 1) Mesurer  $P_A, P_B$ . Tracer le cycle  $p(h)$  de la machine en conservant nos modèles de transformations présentés au début de l'exercice (les points D et E sont confondus).
- 2) En déduire la valeur du COP
- 3) Comparer cette valeur à celle d'une machine de Carnot fonctionnant entre deux isothermes et deux adiabatiques. On tracera le cycle de Carnot le plus proche de la machine dans le diagramme entropique  $T(s)$ .



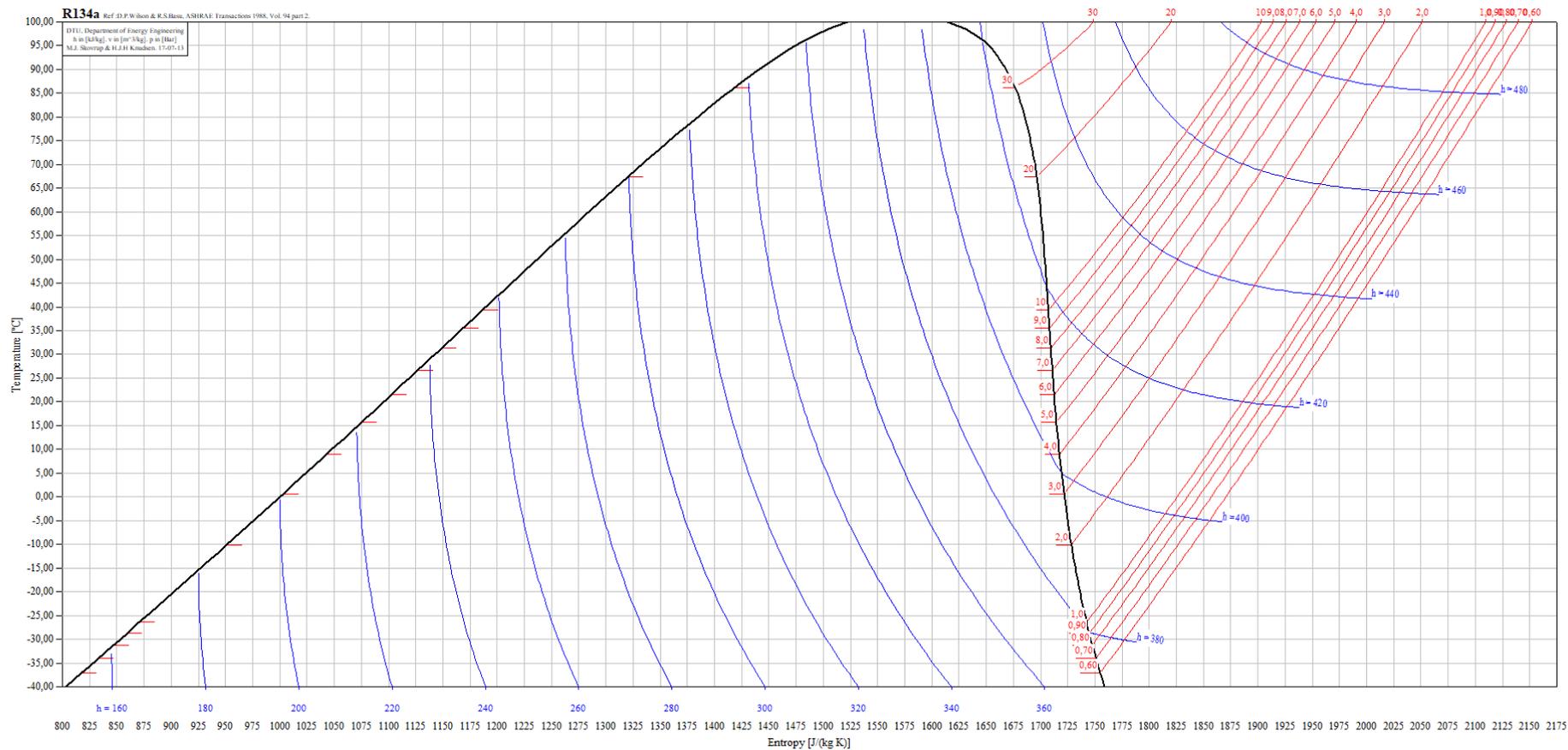


Diagramme pour les machines 1, 2, 3

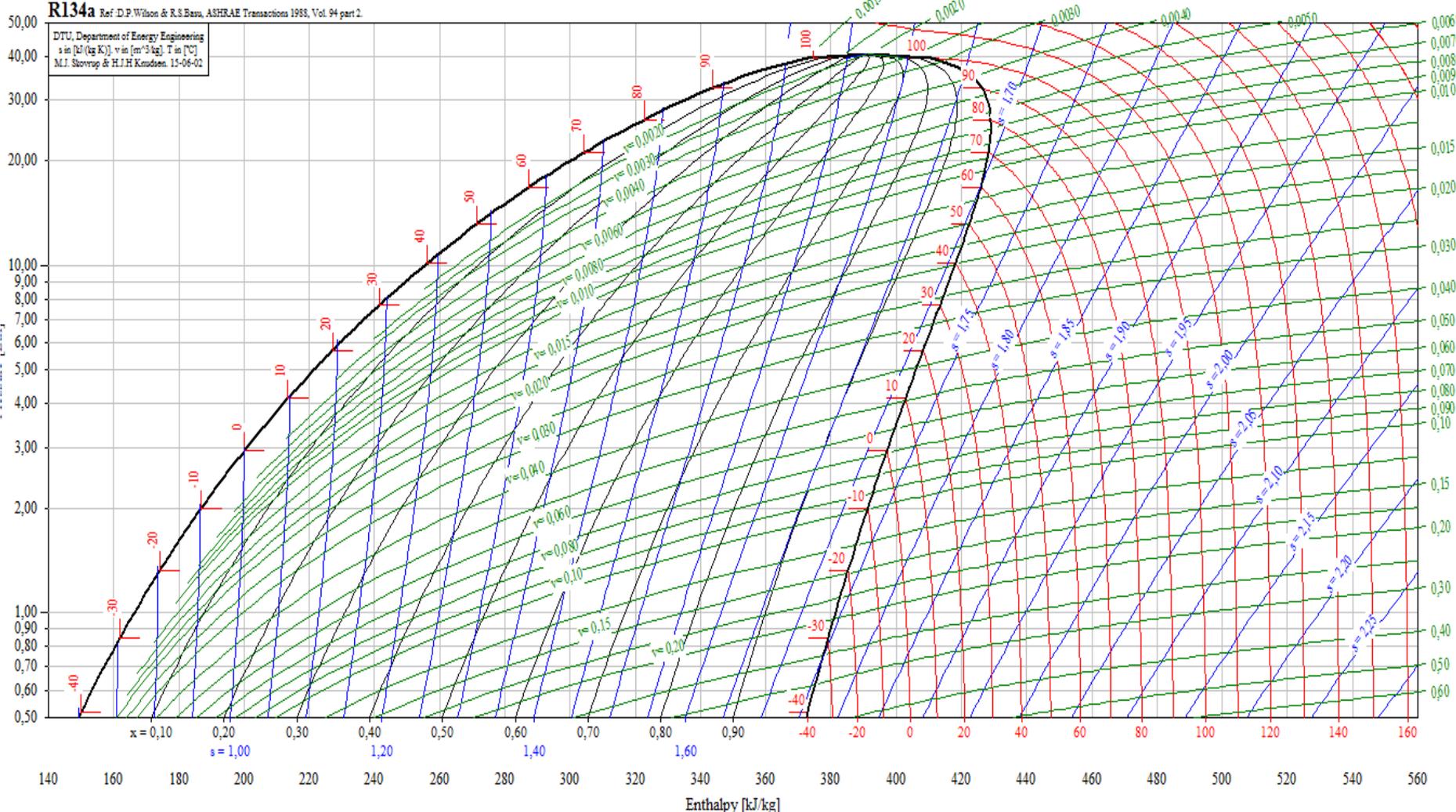


Diagramme pour les machines 1, 2, 3

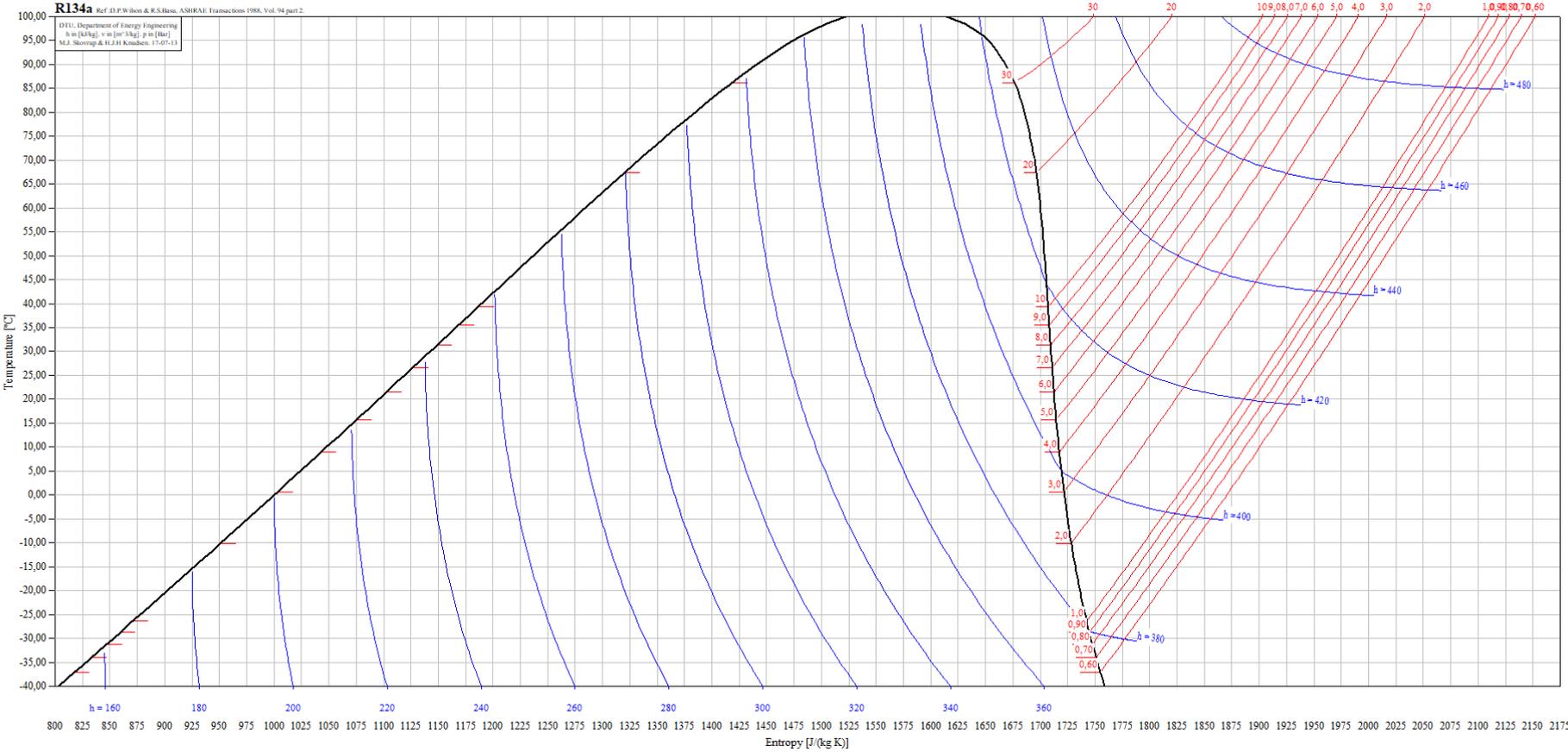


Diagramme pour les machines 4 et 5 :

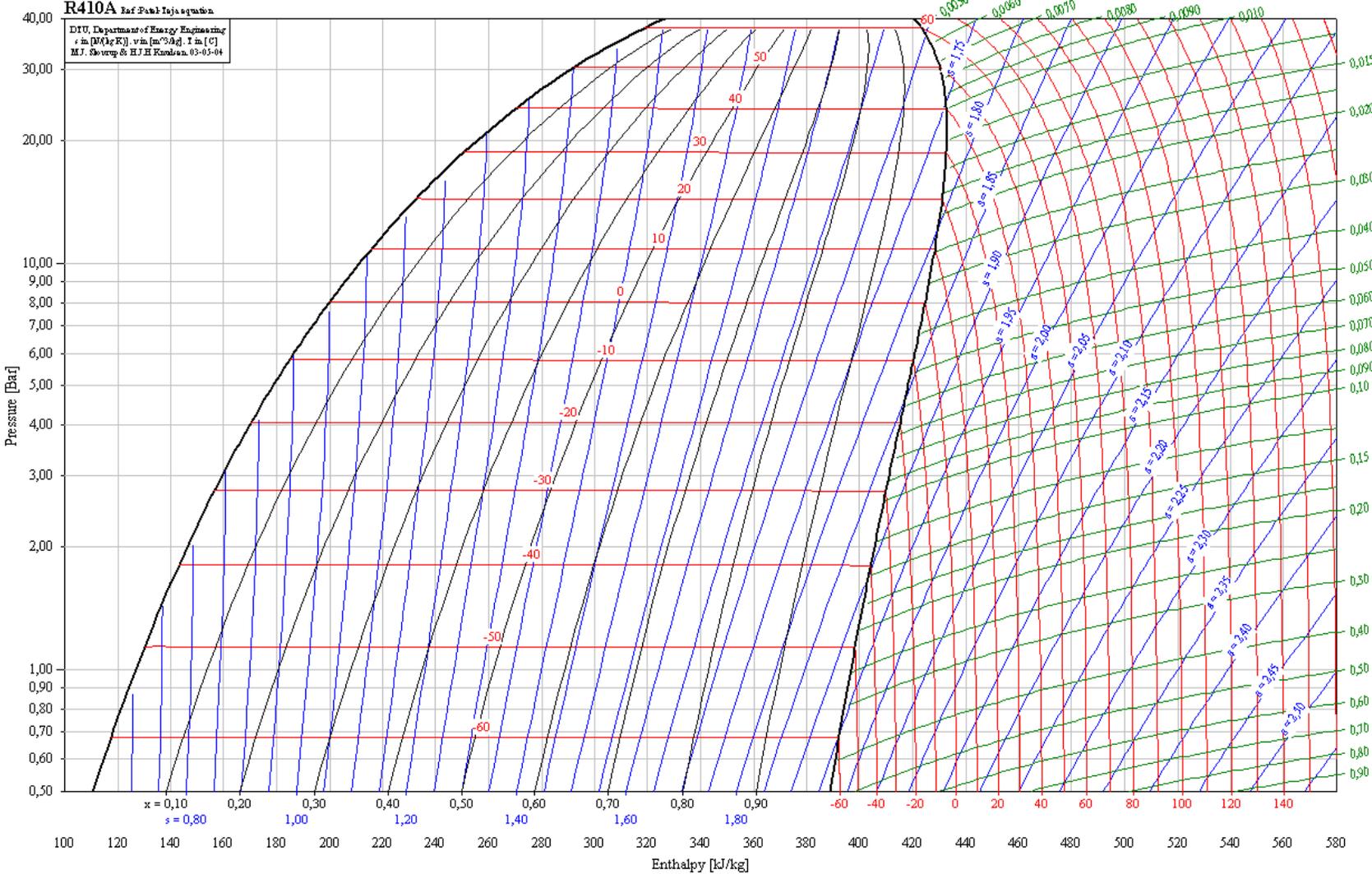


Diagramme pour les machines 4 et 5

