

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)  $C_2H_6(g) + O_2(g) = CO(g) + H_2(g)$

On a donc :

- 1)  $C_2H_6(g) + \frac{7}{2}O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$   
 $\Delta_r H^0(298K) = -1450 kJ.mol^{-1}$
- 2)  $C_2H_6(g) + \frac{1}{2}O_2(g) = C_2H_6O(g)$   
 $\Delta_r H^0(298K) = -150 kJ.mol^{-1}$
- 3)  $C_2H_6O(g) + 3O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$   
 $\Delta_r H^0(298K) = -1300 kJ.mol^{-1}$
- 4)  $C_2H_6(g) + O_2(g) = 2CO(g) + 3H_2(g)$   
 $\Delta_r H^0(298K) = -100 kJ.mol^{-1}$

Données approchées :  $\Delta_r H^0(kJ.mol^{-1})$  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

La calorimétrie permet d'obtenir, par mesures de variation de températures, des valeurs de capacités thermiques, de chaleurs latentes de changement d'état et d'enthalpies de réaction.

Matériel :

- Un calorimètre supposé parfaitement calorifugé et dont on connaît la capacité thermique  $C = \mu c_{eau}$  où  $c_{eau}$  est la capacité thermique de l'eau liquide ( $c_{eau} = 4,18 J.g^{-1}.C^{-1}$ ) et  $\mu$  l'équivalent en masse d'eau du calorimètre ( $\mu$  est indiqué sur le calorimètre)
- Un thermomètre

Rq : Les transformations sont donc adiabatiques mais aussi monobares et les phases condensées utilisées sont supposées idéales. La capacité thermique et la masse volumique des solutions utilisées seront assimilées à celles de l'eau.

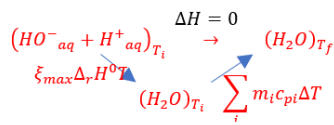
 **Gants, lunettes et blouses obligatoires pendant toute cette expérience !**

En utilisant un volume  $V_a = 100mL$  d'acide chlorhydrique ( $H^+ + Cl^-$ ) à la concentration  $C_a = 1mol/L$  et un volume  $V_b = 100mL$  de soude ( $HO^- + Na^+$ ) à la concentration  $C_b = 1mol/L$  dans le calorimètre, déterminer l'enthalpie de réaction de cette réaction acidobasique. Quelle est la principale source d'erreur lors de votre mesure ?

Vous répondrez aux problématiques proposées en suivant une démarche stimulant les compétences suivantes :

Grille de compétence	/1	/2	/3	/4
<b>Analyser</b>				
Identifier les paramètres pertinents (proposer un cycle de transformations)				
Proposer et justifier le protocole (en identifiant les paramètres à mesurer)				
<b>Réaliser</b>				
Savoir effectuer une mesure avec un appareil dont la documentation est fournie				
<b>Valider</b>				
Extraire des informations des données expérimentales et les exploiter				
<b>Communiquer</b>				
Proposer un bilan, une conclusion (en analysant les sources d'erreur et incertitudes)				

**Analyser**



La transformation est donc adiabatique, monobare (et monotherme) et les phases condensées utilisées sont idéales :

$$\Delta H(T) = Q = 0 = \xi_{max} \Delta_r H^0(T) + \sum_i m_i c_{pi} \Delta T$$

Il faut donc connaître les masses introduites, les températures et l'avancement de la réaction.

**Réaliser**

On assimilera les solutions d'acide et de base à des liquides dont la densité est unitaire.

Volume d'acide	Masse de base	Température initiale	Température finale
$V_a = 100\text{mL}$	$V_b = 100\text{mL}$	$\theta_0 = 25^\circ\text{C}$	$\theta_f = 31,2^\circ$

**Valider**

$n_{acide} = 0,100\text{mol}$  et  $n_{base} = 0,100\text{mol}$  La base est donc le réactif limitant et  $\xi_{max} = n_{base}$

$$\Delta_r H^0(T) = \frac{-\sum_i m_i c_{pi} \Delta T}{\xi_{max}} = -\frac{(m_{liquide} + \mu) c_{eau} \Delta T}{n_{base}}$$

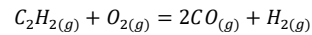
On trouve  $-60\text{kJ/mol}$

La principale source d'erreur provient de la lecture de la température : typiquement l'incertitude sur  $\Delta T$  est de  $1^\circ\text{C}$  (erreur de lecture, incertitude constructeur et aussi d'appréciation de la valeur finale)

$$\frac{\Delta(\Delta_r H^0(298))}{\Delta_r H^0(298)} \approx \frac{1}{6} \approx 15\%$$

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  $300\text{K}$  (on considèrera la combustion d'une mole d'acétylène).

Données :  $\Delta_f H^0(300\text{K})$  :  $C_2H_{2(g)}$ : 250 et  $CO_{(g)}$ : -100 (en  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$C_{pm}(\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$ :  $CO_{(g)}$ : 30;  $H_{2(g)}$ : 30;  $C_2H_{2(g)}$ : 40;  $O_{2(g)}$ : 30

La température maximale atteinte par les constituants correspond au cas de la réaction adiabatique (monobare), et alors :

$$\Delta_r H^0(T_i) \xi = -\sum_i n_i C_{pmi} (T_f - T_i)$$

La réaction étant totale, l'avancement de la réaction correspond à la quantité de matière du réactif limitant :

$$\begin{aligned}
 (T_f - T_i) &= -\frac{\Delta_r H^0(T_i) \xi}{\sum_i m_i c_{pmi}} = -\frac{\Delta_r H^0(T_i) n_0}{2n_0 C_{pmCO} + n_0 C_{pmH_2}} \\
 &= -\frac{\Delta_r H^0(T_i)}{2C_{pmCO} + C_{pmH_2}}
 \end{aligned}$$

$$T_f = T_i - \frac{\Delta_r H^0(T_i)}{2C_{pmCO} + C_{pmH_2}}$$

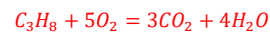
$$T_f = 5300\text{K}$$

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 ?

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

On a une réserve d'énergie liée à la réaction :



Soit une enthalpie de réaction de  $-2100\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ . La bouteille contient 100mol de propane soit une énergie 210MJ à 10 euros soit 5 centimes le MJ de propane.

Activité 3 : Chaleur latente de changement d'état

Dans un calorimètre, introduire une masse d'eau d'environ 300g, tiédie à une température de  $40^\circ\text{C}$  et un morceau de glace de 15g Déterminer la chaleur latente de changement d'état de l'eau. Comparer à la valeur théorique :  $l = 334\text{kJ/kg}$ .

**Analyser**

Si on suppose le système calorifugé et cette transformation effectuée à pression constante, alors, en notant  $m$  la masse glace introduite et  $M$  la masse initiale en eau liquide :

$$\Delta H = Q = 0 = m\Delta h_{fus(eau)} + mc_{eau(l)}(T_{fin} - 0) + Mc_{eau(l)}(T_{fin} - T_{ini})$$

### Réaliser

On assimilera les solutions d'acide et de base à des liquides dont la densité est unitaire.

Masse de glace	Masse initiale d'eau	Température initiale	Température finale
$m = 12,55g$	$M = 152,48g$	$\theta_0 = 43,0C$	$\theta_f = 34,5C$

### Valider

On obtient alors  $\Delta h_{fus(eau)} = l = 287kJ/kg$ .

La valeur est plus faible que la valeur tabulée :

- Il reste au moins 10% d'incertitude sur la lecture des températures
- La connaissance exacte de  $m$  est compliquée !

L'ordre de grandeur est bon et on retiendra qu'une centaine kJ sont nécessaire pour la fusion d'1kg d'eau à 0°C (c'est l'ordre de grandeur d'un chauffage de 100°C d'1 kg de gaz d'air !)

Activité 4 : Machine frigorifique

Vous avez à disposition une des cinq machines frigorifiques 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

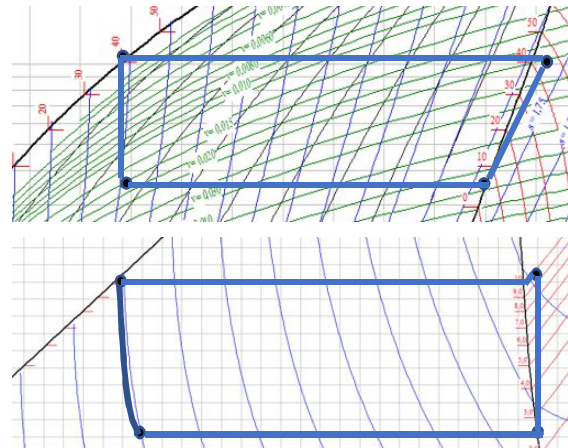
La machine est cyclique ditherme et nous supposons qu'elle impose au fluide frigorifique (ici du R134A) le cycle suivant :

- 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 :

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

- 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.

On obtient les graphes suivants :



On trouve dans les deux cas :

- $w = 30 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- $q_c = -170 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- $q_f = 140 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

On retrouve le premier principe appliqué au cycle complet car  $w + q_c + q_f = 0$

On trouve alors :  $COP \approx 5$

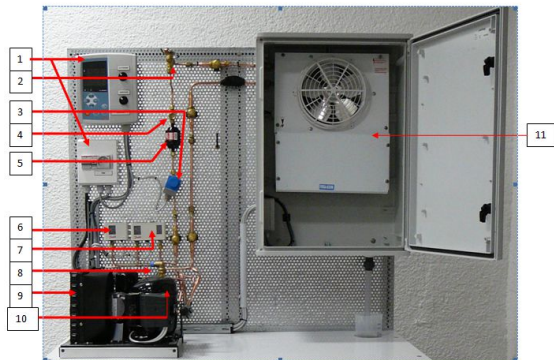
Sur le diagramme entropique on a avec la règle des moments :

$$x_l \approx 0,7$$

Et donc  $l_v = -\frac{q_f}{x_l} = 190 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

B) Vérification expérimentale

Machine frigo 1 : fluide R134A



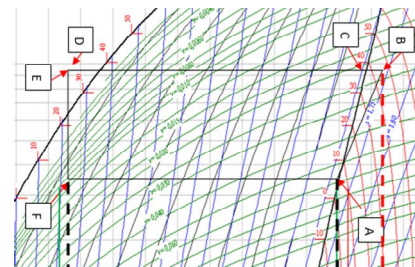
Numéro de repère	Nom	fonction
1	Armoire électrique	Assure l'alimentation et la régulation du système en température et pression
2	Détendeur thermostatique	Assure la détente du gaz et un remplissage optimum de l'évaporateur
3	Vanne électromagnétique	Coupe et actionne le passage du fluide en fonction de la consigne
4	Voyant liquide	Permet de contrôler l'état du liquide (humidité, acidité...)
5	Filtre <u>déshydrateur</u>	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.

**Réaliser**

$T_A(^{\circ}C)$ = 5°C	$T_B(^{\circ}C)$ = 45°C	$T_C(^{\circ}C)$ = 37°C	$T_E(^{\circ}C)$ = 25°C	$T_F(^{\circ}C)$ = 4°C
---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------



**Valider**

L'efficacité réel de la machine est donnée par  $e = \frac{h_A - h_F}{h_B - h_A} = \frac{400 - 230}{430 - 400} \approx \frac{170}{30} \approx 6$

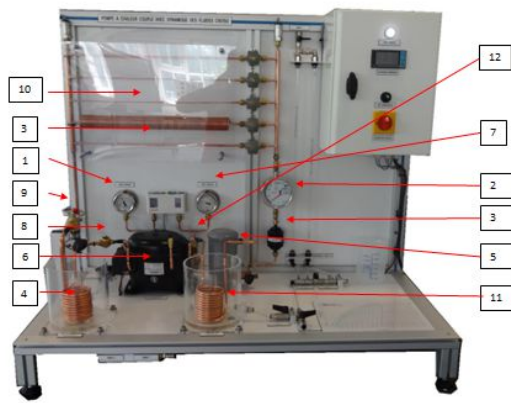


On a une entropie massique créée de l'ordre de 25J/kg/K.

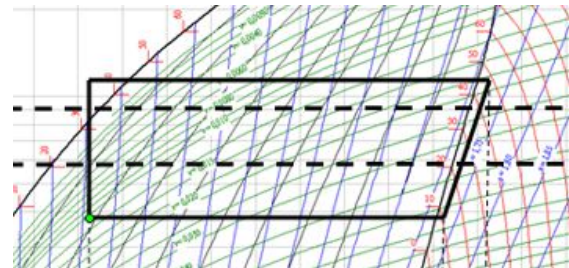
On peut estimer la puissance des forces de viscosité en analysant l'aire du trapèze :

$$w_f = \left( \Delta s * T_A + \frac{\Delta s}{2} \Delta T \right) \approx 7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Machine frigo 2 : fluide R134A



$T_A(^{\circ}C)$	$P_A(bar)$	$P_B(bar)$	$T_E(^{\circ}C)$	$T_{chaud}(^{\circ}C)$	$T_{froid}(^{\circ}C)$
$T_A(^{\circ}C)$ = 10	$P_A(bar)$ = 3,6	$P_B(bar)$ = 12,7	$T_E(^{\circ}C)$ = 33,7	$T_{chaud}$ = 36	$T_{froid}$ = 20



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

L'efficacité réel de la machine est donnée par  $e_{reel} = \frac{h_A - h_F}{h_B - h_A} = \frac{420 - 245}{420 - 400} \approx 8,75$

Et l'efficacité de Carnot de cette machine fonctionnant avec les mêmes sources :  $T_c = 33,7^{\circ}C$  et  $T_f = 10^{\circ}C$  est :  $e_c = \frac{T_f}{T_c - T_f} \approx 12$ . Les changements d'état, les chauffages et refroidissements (et même la détente de Joule) sont irréversibles, donc ces transformations conduisant à la dégradation de l'énergie entraînent un rendement réel moindre.

L'efficacité global est :

$$e_{global} = \frac{P_{eau}}{P_e} = \frac{D_{meau} c \Delta T_{eau}}{P_e} \approx \frac{10^{-2} \times 4185 \times 12}{200} \approx 2$$

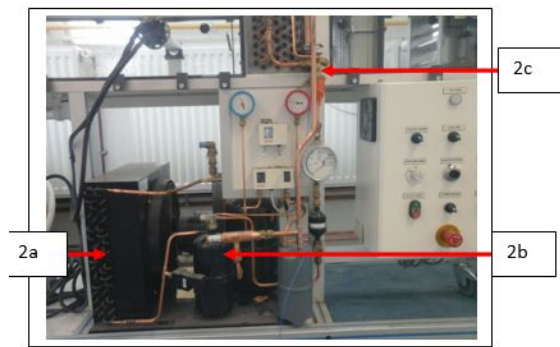
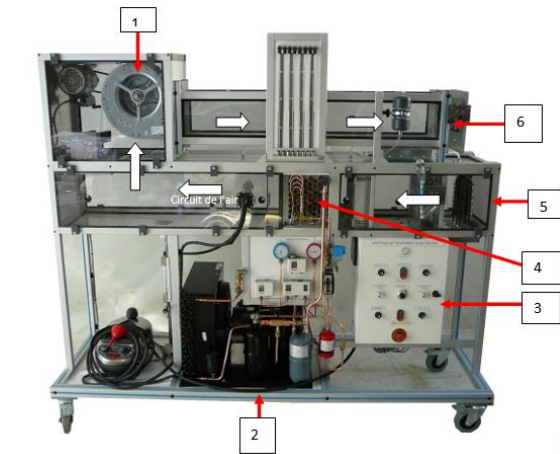
Pour cette machine :

- 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

**Réaliser :**

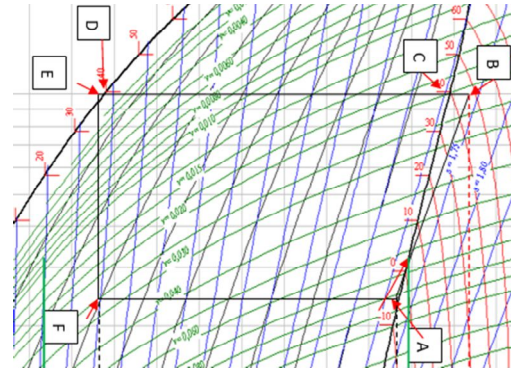


Item	Nom	Fonction
1	Pompe à air	Sa mise en rotation permet d'aspirer l'air extérieur
2	Machine frigorigène	Permet des échanges thermiques entre l'air et le fluide frigorigène
2a	Condenseur	Le fluide frigorigène y perd des calories
2b	Compresseur	Comprime le fluide de BP à la HP
2c	Détendeur	Détend de 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

- 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).
- En déduire la puissance thermique  $P_{theo}$  théoriquement cédée par le fluide frigorigène à l'air.
- 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  $c_{p,air} = 1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- Calculer le rendement  $r = \frac{P_{reelle}}{P_{theo}}$  lié à l'échange thermique avec le gaz.

Pour le R134A :

$T_A(^{\circ}\text{C})$	$P_A(\text{bar})$	$P_B(\text{bar})$	$T_E(^{\circ}\text{C})$	$D_{mR134A}(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$
$T_A(^{\circ}\text{C}) = -5^{\circ}\text{C}$	$P_A(\text{bar}) = 1,5 + 1$	$P_B(\text{bar}) = 9 + 1$	$T_E(^{\circ}\text{C}) = 37^{\circ}\text{C}$	$D_{mR134A} = 65$



Pour l'air :

$T_{entrée} (^{\circ}\text{C})$	$T_{sortie} (^{\circ}\text{C})$	vitesse $v (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	section $S$ de sortie
$T_{entrée} = 24,8^{\circ}\text{C}$	$T_{sortie} = 11,3^{\circ}\text{C}$	$P_B(\text{bar}) = 4,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$S = 0,04 \text{ m}^2$

**Valider**

On a donc  $P_{theo} = D_{mR134A}(h_A - h_F) = \frac{65}{3600} \times (420 - 250) \approx 3 \text{ kW}$

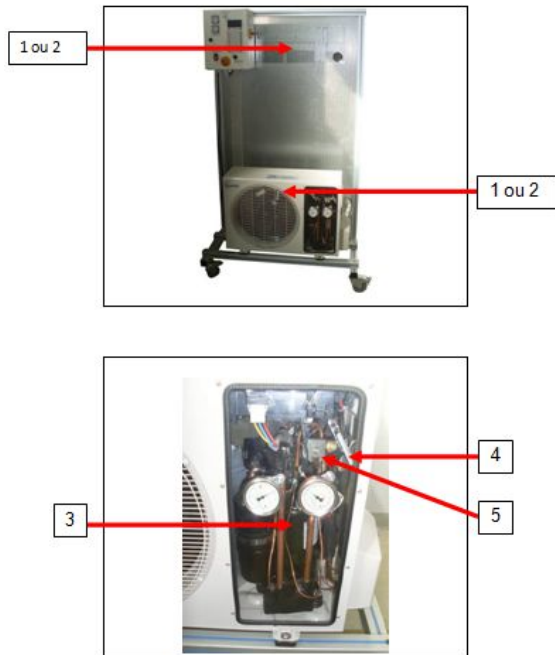
D'après le 1<sup>er</sup> principe des systèmes en écoulement :

$$P_{reel} = \rho_{air} c_{air} v S (T_{sortie} - T_{entrée}) \approx 2,5 \text{ kW}$$

Soit un rendement de chauffage :  $r = \frac{P_{reelle}}{P_{theo}} \approx 80\%$

Les pertes sont dues aux fuites thermiques : par la conduite en plexiglas par exemple

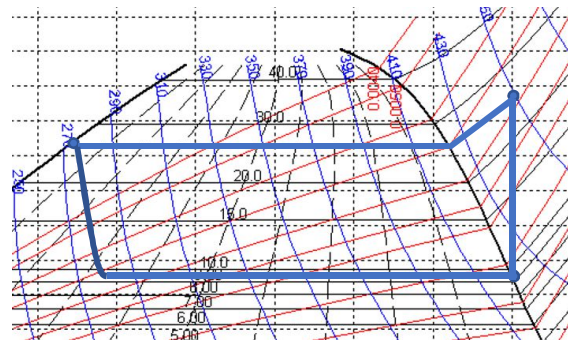
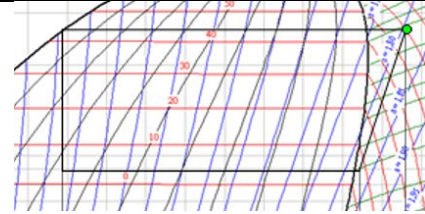
Machine climatiseur 4 : fluide R410 A



Numéro de repère	Nom	Description
1 ou 2	Évaporateur 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

**Réaliser :**

$P_A(\text{bar})$	$P_B(\text{bar})$	$T_E(^{\circ}\text{C})$
$P_A(\text{bar}) = 8 + 1$	$P_B(\text{bar}) = 25 + 1$	$T_E(^{\circ}\text{C}) = 43^{\circ}\text{C}$



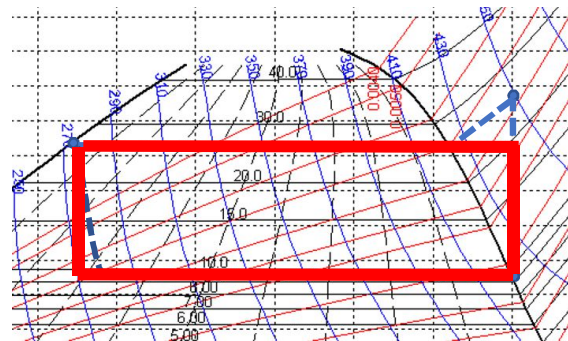
**Valider**

L'efficacité réelle de la machine est donnée par  $e =$

$$\frac{h_B - h_F}{h_B - h_A} = \frac{430 - 230}{450 - 430} \approx 5$$

Pour cette machine :

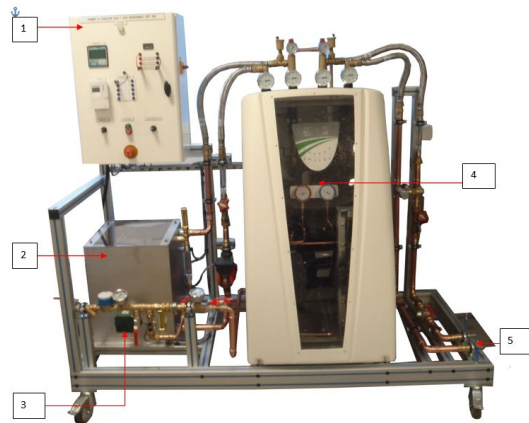
- 1) Mesurer  $P_A, P_B$ .
- 2) Tracer les cycles  $p(h)$  et  $T(s)$  de la machine en conservant nos modèles de transformations présentés au début de l'exercice (les points D et E sont confondus)
- 3) En déduire la valeur du COP
- 4) Comparer cette valeur à celle d'une machine de Carnot fonctionnant 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.



Et l'efficacité de Carnot de cette machine fonctionnant avec les mêmes thermostats :  $T_{chaud} = T_E$  et  $T_{froid} = T_F \approx T_A$  est :  $e_c = \frac{T_E}{T_E - T_A} \approx 8$ . Les changements d'état, les chauffages et refroidissements (et même la détente de Joule) sont irréversibles, donc ces transformations conduisant à la dégradation de l'énergie entraînent un rendement réel moindre.



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



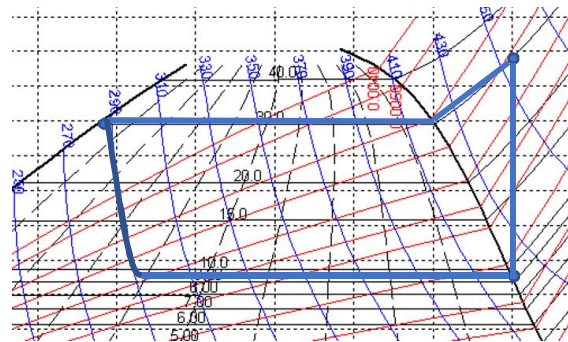
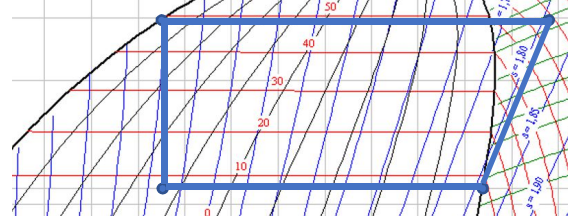
Numéro de repère	Nom
1	Armoire électrique : affichage de la température chaude de consigne, de la température extérieure simulée, des températures en entrée et sortie de compresseur et entrée détenteur.
2	Circuit primaire en eau : source froide
3	Résistance chauffante permettant de thermostatier la température 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 :

- 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).
- En déduire la valeur du COP
- 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  $T(s)$ .

**Réaliser :**

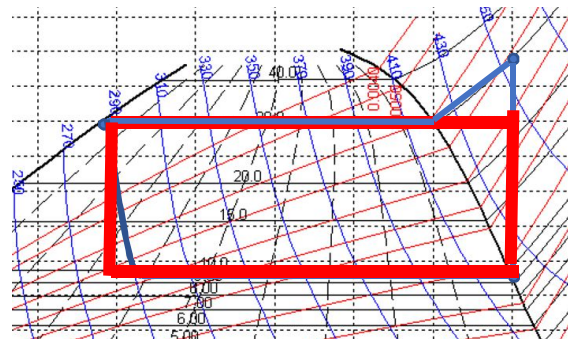
$P_A(\text{bar})$	$P_B(\text{bar})$	$T_E(^{\circ}\text{C})$
$P_A(\text{bar}) = 8 + 1$	$P_B(\text{bar}) = 30 + 1$	$T_E(^{\circ}\text{C}) = 43^{\circ}\text{C}$

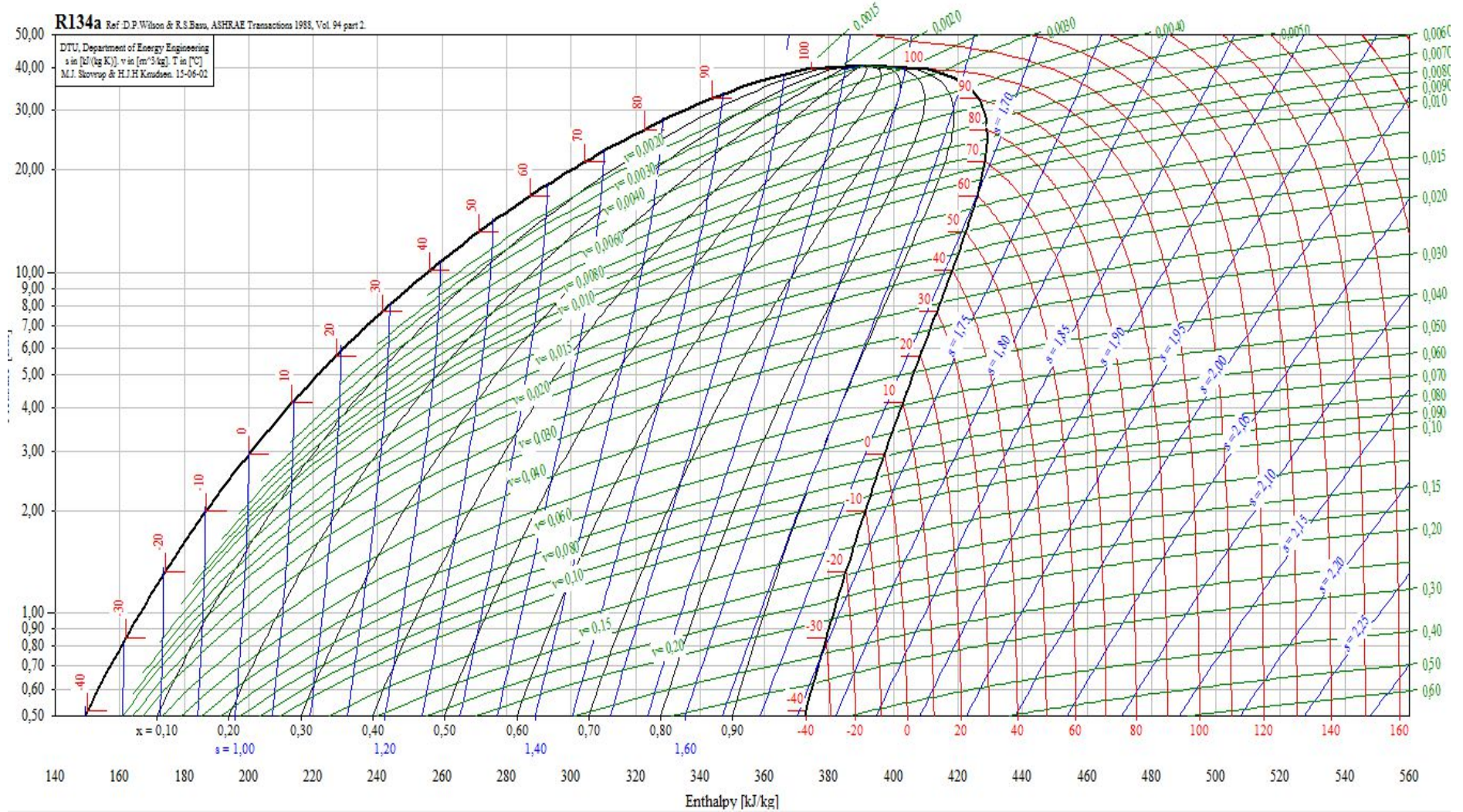


**Valider**

L'efficacité réel de la machine est donnée par  $e = \frac{h_A - h_F}{h_B - h_A} \approx 4$

Et l'efficacité de Carnot de cette machine fonctionnant avec les mêmes thermostats :  $T_{chaud} = T_E$  et  $T_{froid} = T_F$  est :  $e_c = \frac{T_F}{T_E - T_F} \approx 9$ . Les changements d'état, les chauffages et refroidissement (et même la détente de Joule) sont irréversibles, donc ces transformations conduisant à la dégradation de l'énergie entraînent un rendement réel moindre.





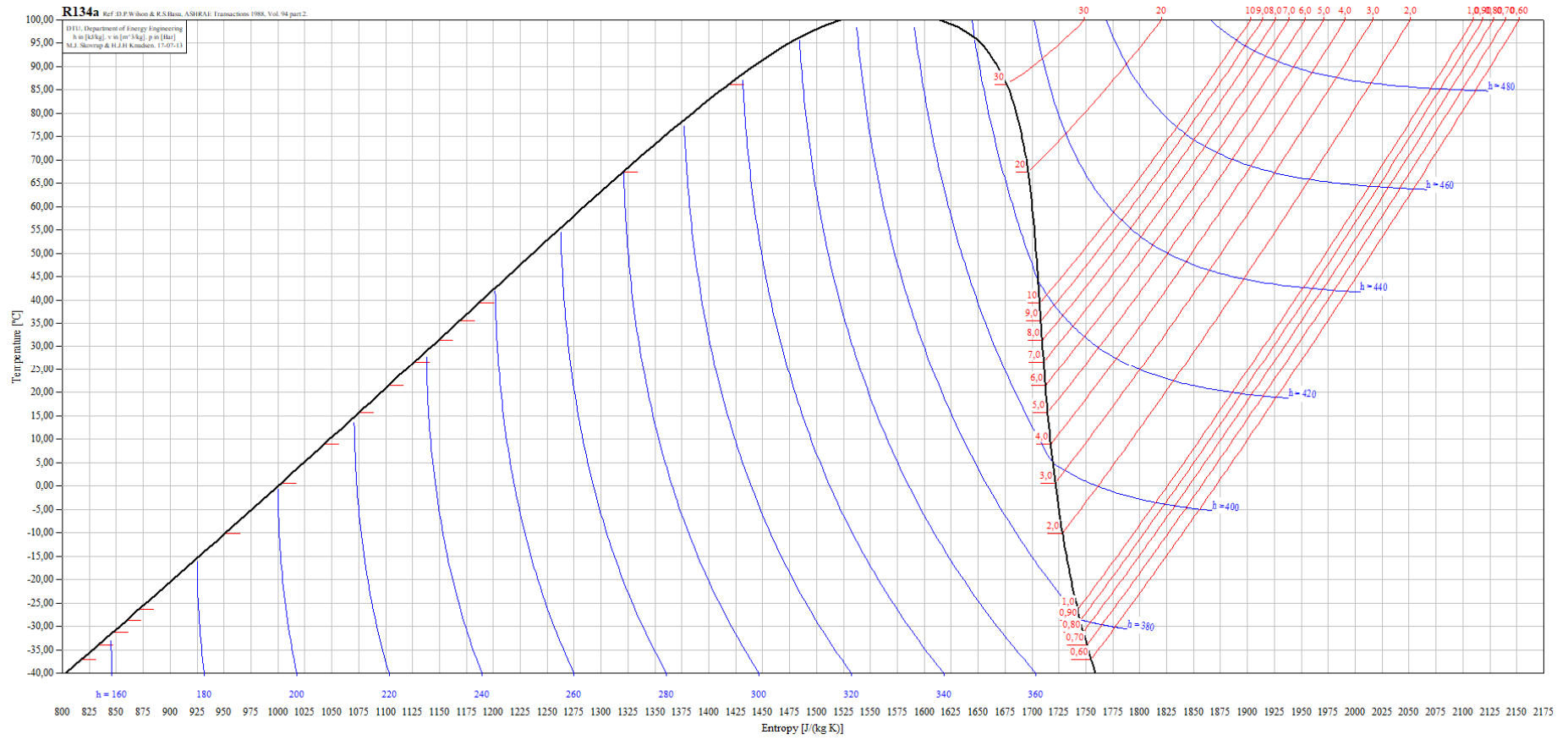




Diagramme pour les machines 1, 2, 3

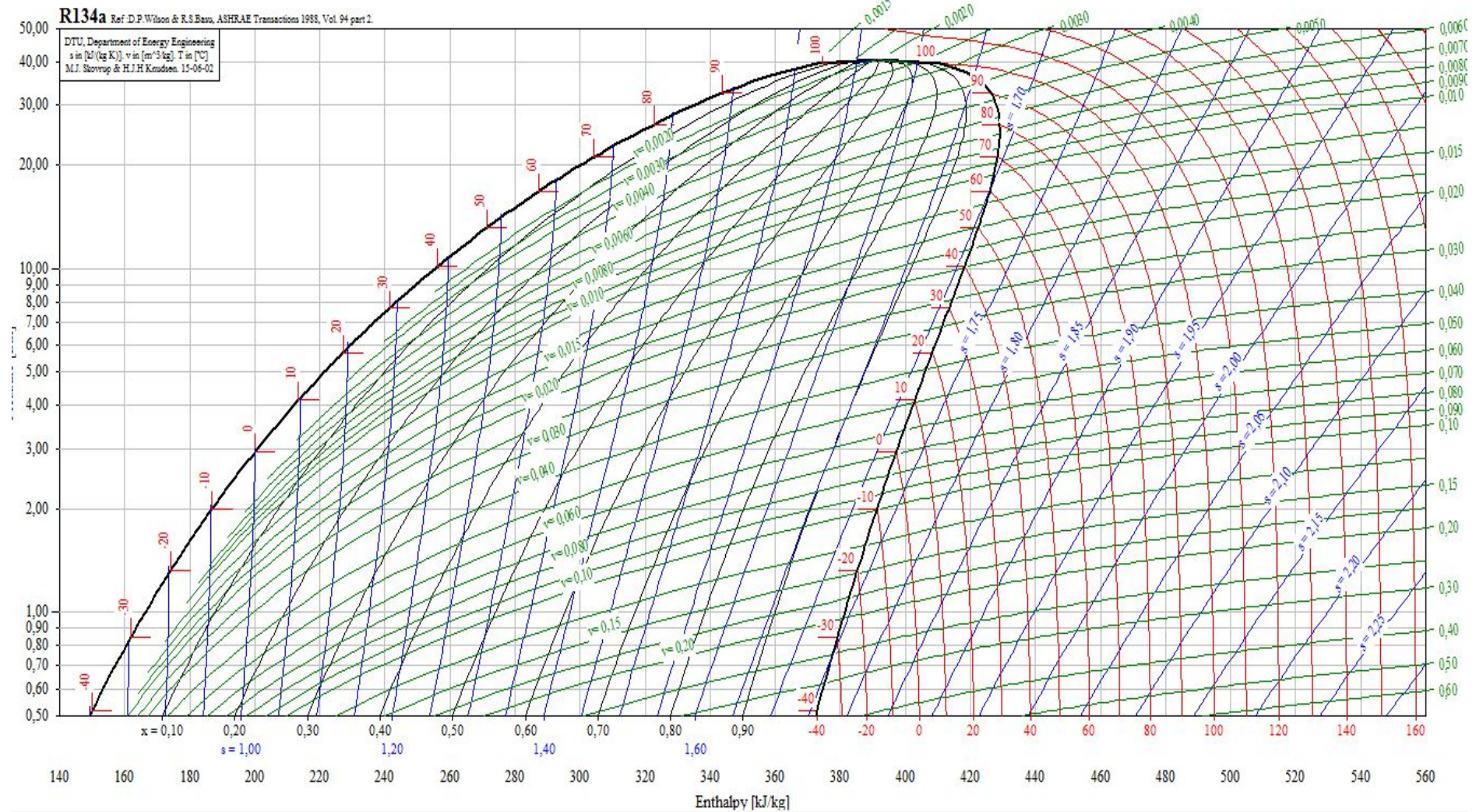


Diagramme pour les machines 1, 2, 3

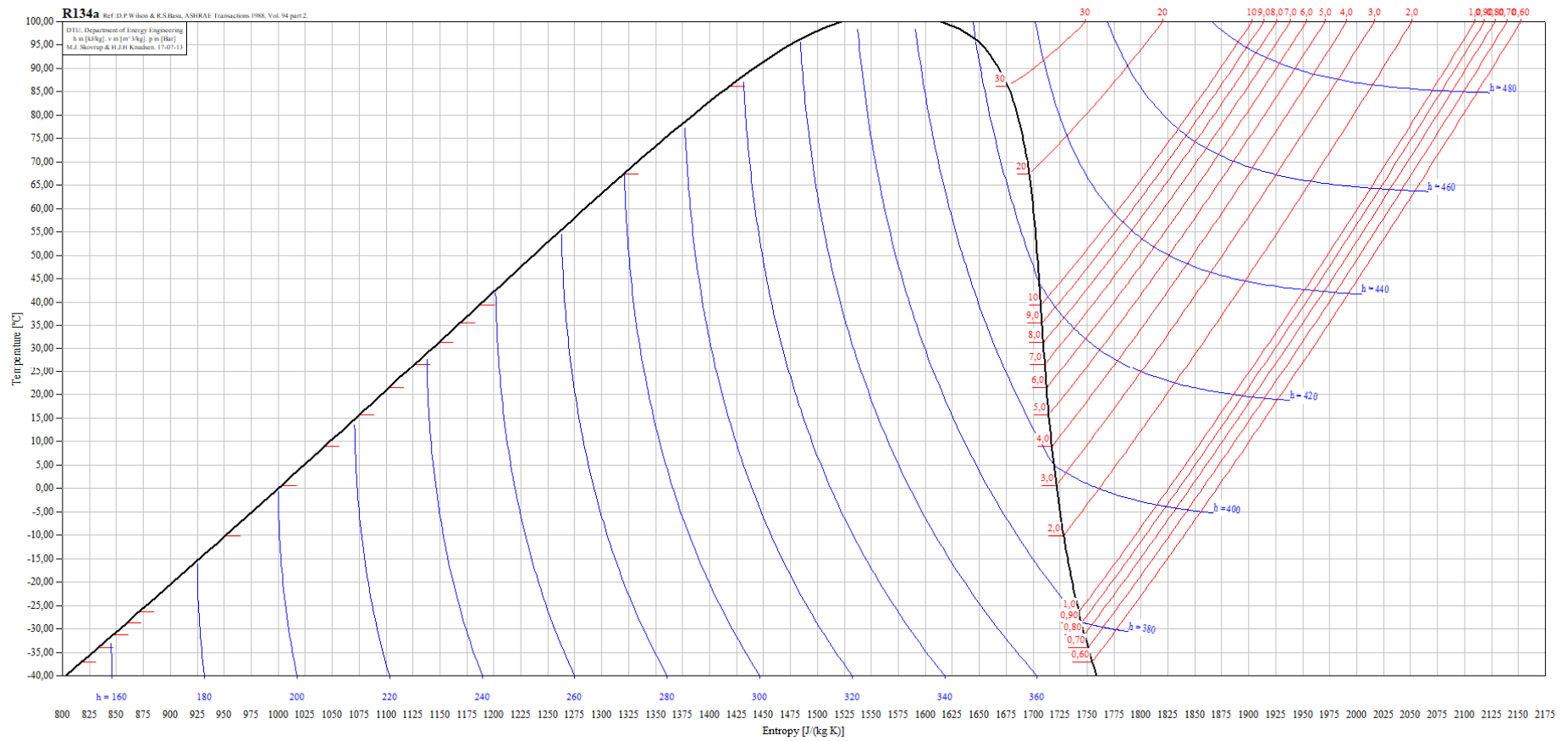




Diagramme pour les machines 4 et 5 :

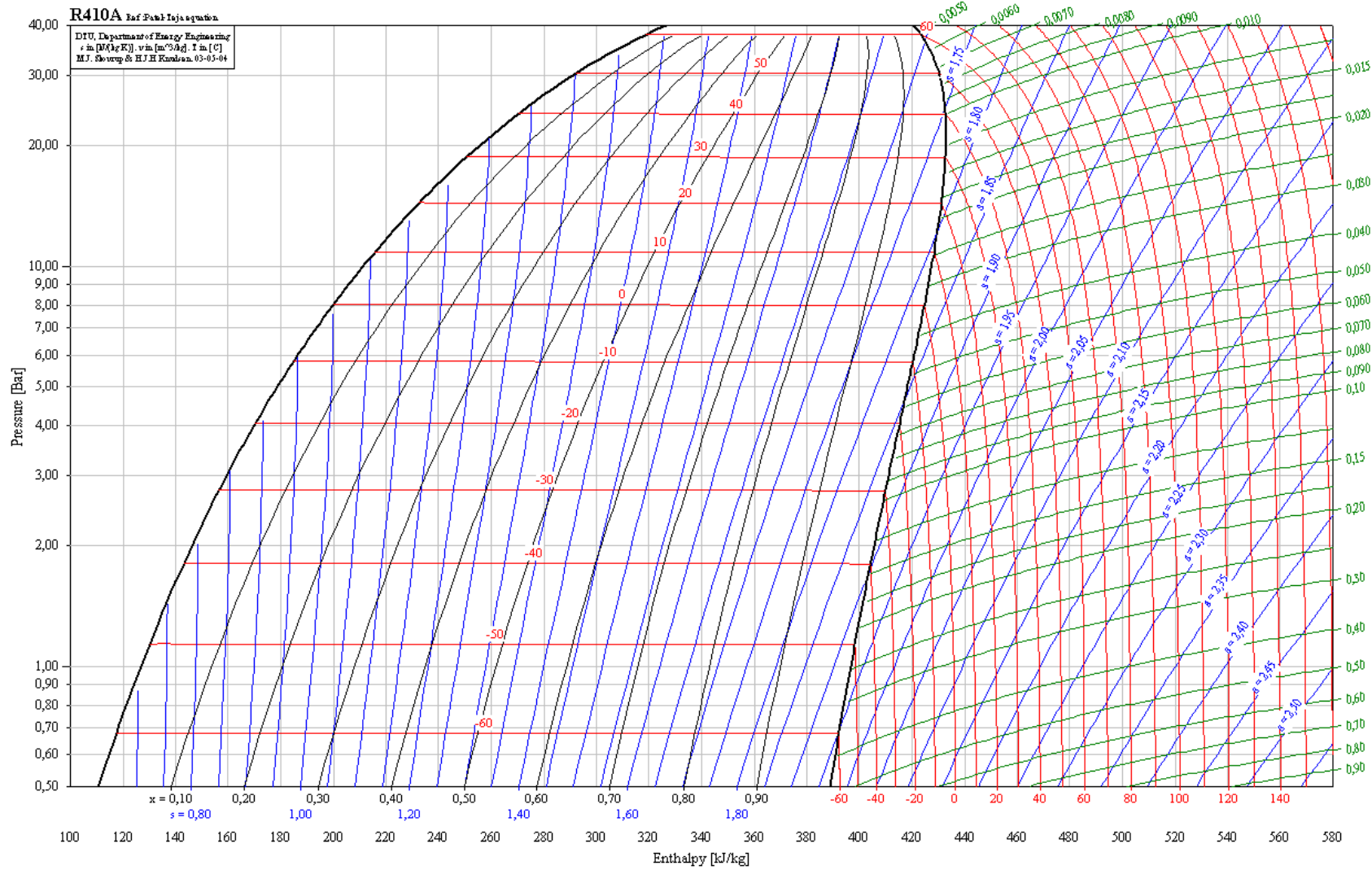


Diagramme pour les machines 4 et 5

