

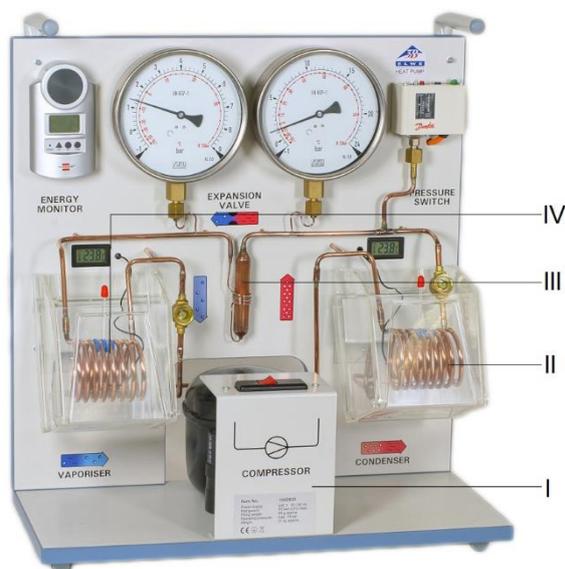
## Pompe à chaleur D

230 V, 50/60 Hz 1000820

115 V, 50/60 Hz 1000819

### Instructions d'utilisation

05/19 JS/ALF/GH



- I Compresseur
- II Condenseur
- III Soupape d'expansion
- IV Évaporateur

### 1. Description

La pompe à chaleur D sert à illustrer le fonctionnement d'un réfrigérateur ou d'une pompe à chaleur de compression électrique. Elle est constituée d'un compresseur avec un moteur d'entraînement, d'un condenseur, d'une soupape d'expansion et d'un évaporateur, et peut être utilisée comme pompe à chaleur air-eau ou eau-eau.

Ses composants sont reliés par un système fermé de tubes en cuivre, montés sur une plaque de base et peuvent, grâce à leur agencement transparent, être directement mis en rapport avec la succession de changements d'état dans le cycle de la pompe thermique. Constitués de serpentins en cuivre, l'évaporateur et le condenseur sont plongés dans un réservoir d'eau faisant office de réservoir thermique pour déterminer la chaleur absorbée ou dégagée. Deux thermomètres numériques, permettent de déterminer la température respective des deux réservoirs.

Afin de pouvoir observer l'état d'agrégation du fluide frigorigène, la pompe à chaleur est équipée de deux regards, un derrière l'évaporateur et un derrière le condenseur. Deux grands manomètres indiquent la pression avant et après la soupape d'expansion. L'alimentation comprend un dynamomètre permettant de déterminer la durée de service, la tension du secteur, la puissance actuellement absorbée et le travail électrique. Un disjoncteur de surpression coupe le moteur à compresseur du secteur en cas de surpression de 15 bars.

La pompe à chaleur D existe en deux modèles. La pompe à chaleur 1000819 est prévue pour une tension secteur de 115 V ( $\pm 10\%$ ) 60 Hz et la pompe à chaleur 1000820 pour une tension secteur de 230 V ( $\pm 10\%$ ) 50 Hz.

## 2. Consignes de sécurité

La pompe à chaleur D est conforme aux directives de sécurité relatives aux appareils électriques de mesure, de commande et de régulation ainsi qu'aux appareils de laboratoire conformément à la norme DIN EN 61010 Partie 1 et répond à la classe de protection I. Elle est conçue pour une utilisation dans des endroits secs adaptés aux matériels électriques.

Une utilisation conforme à la destination garantit un emploi de l'appareil en toute sécurité. La sécurité n'est cependant pas garantie si l'appareil fait l'objet d'un maniement inapproprié ou s'il est manipulé avec imprudence.

S'il s'avère que son utilisation ne peut plus se faire sans danger (par ex. dans le cas d'un endommagement visible), l'appareil doit être immédiatement mis hors service.

L'utilisation de l'appareil dans les écoles et centres de formation doit être contrôlée par du personnel qualifié, sous la responsabilité de ce dernier.

- Avant une première mise en service, vérifier si la tension secteur indiquée est conforme aux exigences locales.
- Avant toute mise en service, vérifier que la pompe à chaleur et le câble du secteur sont bien exempts de tout endommagement et mettre l'appareil hors service en le protégeant contre une marche involontaire en cas de pannes de fonctionnement ou de dommages visibles.
- Ne branchez la pompe à chaleur qu'à des prises de courant avec mise à la terre du neutre.

Risque de surchauffe : En service, le compresseur de la pompe à chaleur peut être très chaud.

- Ne pas gêner la libre circulation de l'air autour du compresseur.
- Ne pas isoler thermiquement le compresseur.
- Ne lancer une réinitialisation du disjoncteur de surpression qu'au moins 10 minutes après son démarrage.

Le fluide frigorigène à l'intérieur des pompes à chaleur reste en surpression, même lorsque le compresseur est arrêté.

- Toujours utiliser les poignées pour transporter l'appareil.
- Ne jamais tordre et détériorer les tubes en cuivre.

Le fluide frigorigène ne doit pas atteindre le compresseur en phase liquide car cela risquerait de le surcharger.

Le lubrifiant issu du compresseur ne doit pas pénétrer dans le circuit de refroidissement.

- Toujours ranger, transporter et utiliser la pompe à chaleur en position verticale.
- Si l'appareil a été basculé, le laisser reposer au moins 7 heures avant de l'utiliser.
- N'envoyer la pompe à chaleur que dans le carton d'origine en position debout sur la palette jetable.

### 3. Composants

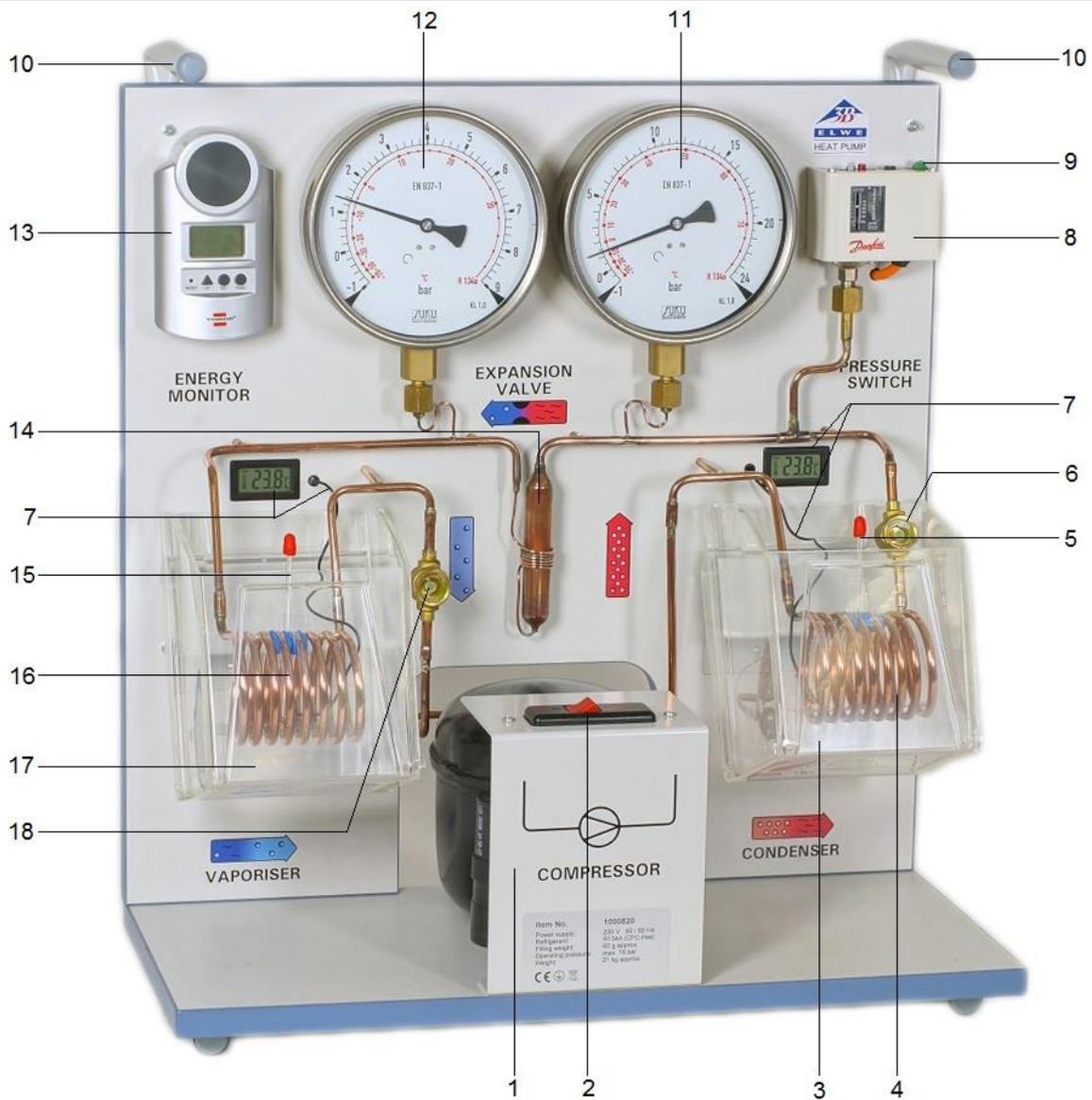


Fig. 1 Composants de la pompe à chaleur

- |   |  |
|---|--|
| 1 Compresseur                                       | 11 Manomètre côté haute pression           |
| 2 Interrupteur du compresseur                       | 12 Manomètre côté basse pression           |
| 3 Réservoir d'eau autour du condenseur              | 13 Contrôleur d'énergie                    |
| 4 Serpentin du condenseur                           | 14 Soupape d'expansion                     |
| 5 Agitateur, côté condenseur                        | 15 Agitateur, côté évaporateur             |
| 6 Regard, côté condenseur                           | 16 Filament spiralé de l'évaporateur       |
| 7 Thermomètre numérique avec capteur de température | 17 Réservoir d'eau autour de l'évaporateur |
| 8 Disjoncteur de surpression                        | 18 Regard, côté évaporateur                |
| 9 Bouton de réenclenchement du disjoncteur          | Câble d'alimentation (à l'arrière)         |
| 10 Poignées de transport                            |  |

#### 4. Accessoires

La "sonde de température NTC avec pince de mesure" (1021797) permet de réaliser des mesures à différents emplacements des tubes en cuivre, car elle peut être directement fixée sur les tubes en cuivre avec un bon transfert de chaleur. Elles s'utilisent avec l'interface « VinciLab (1021477) » de saisie et d'évaluation de données.

#### 5. Caractéristiques techniques

Puissance du compresseur :	120 W, en fonction du régime
Frigorigène :	R 134A (Tétrafluoroéthane $C_2H_2F_4$ )
Température d'ébullition :	-26°C à 1 bar
Réservoirs thermiques :	de 2 000 ml chacun
Manomètre :	160 mm Ø, jusqu'à 9 bars (côté basse pression, conduite d'aspiration), jusqu'à 24 bars (côté haute pression, conduite de refoulement)
Disjoncteur :	se coupe à 15 bars
Thermomètre :	
Température de mesure :	-20°C à 110°C
Résolution :	0,1°C
Précision :	±1°C
Intervalle de mesure :	env. 10 s
Utilisation avec deux piles bouton LR44	
Tension secteur :	115 V, 60 Hz ou 230 V, 50 Hz
Dimensions :	750 x 350 x 540 mm <sup>3</sup>
Masse :	env. 21 kg

#### 6. Manipulation

##### 6.1 Remplir les réservoirs d'eau.

- Remplir les réservoirs d'eau et les glisser respectivement, l'arête inférieure en avant, sous le serpentin de l'évaporateur ou du condenseur.

- Tourner les réservoirs d'eau de façon à ce que l'arête supérieure soit orientée vers la paroi arrière.
- Soulever les réservoirs d'eau, les basculer vers la paroi arrière et les emboîter dans la tôle de fixation.

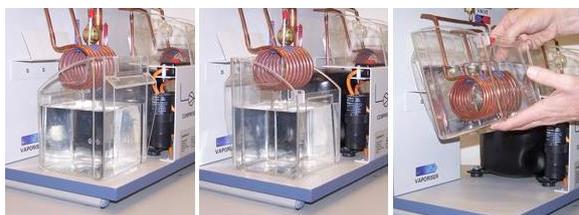


Fig. 3 Montage du réservoir d'eau sur la pompe à chaleur  
A gauche : Réservoir d'eau avec arête inférieure orientée vers la pompe à chaleur  
Au centre : Réservoir d'eau pivoté et arête inférieure orientée vers l'avant  
A droite : Réservoir d'eau emboîté dans la tôle de fixation

##### 6.2 Mise en service

- Si la pompe à chaleur a été basculée, la laisser reposer au moins 7 heures avant de l'utiliser.
- Avant la mise en service, remplir les deux réservoirs d'eau et brancher la pompe à chaleur sur le secteur.
- Mettre le compresseur en marche.

Précision : Le dynamomètre fonctionne également lorsque le compresseur est arrêté.

#### 7. Cycle de la pompe à chaleur

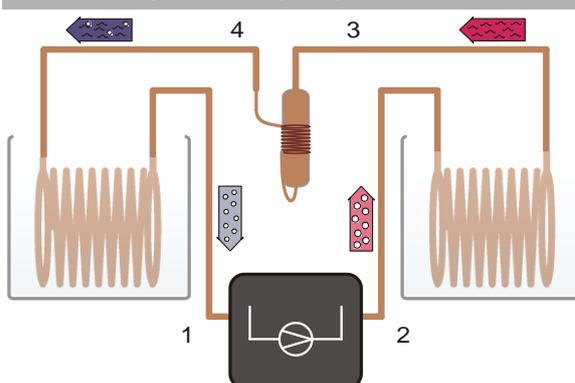


Fig. 4 Représentation schématique de la pompe à chaleur avec compresseur (1→2), condenseur (2→3), soupape d'expansion (3→4) et évaporateur (4→1)

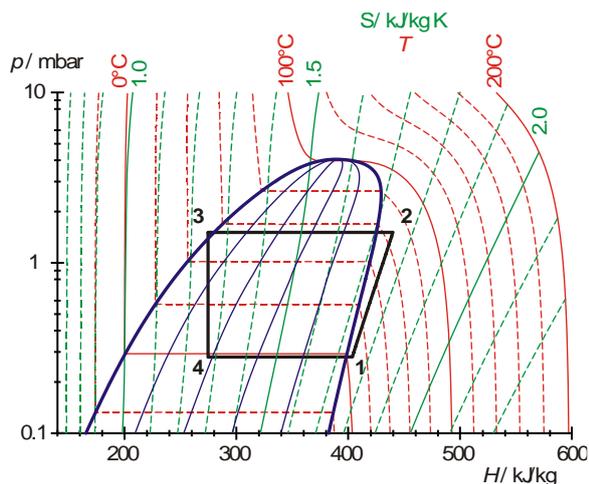


Fig. 5 Représentation du cycle idéal de la pompe à chaleur dans le diagramme de Mollier (cf. paragraphe 8.2)

Le cycle de la pompe à chaleur est divisé en quatre phases : compression (1→2), condensation (2→3), expansion adiabatique (3→4) et évaporation (4→1) :

#### Compression :

Le fluide de travail gazeux est aspiré par le compresseur, est comprimé de  $p_1$  à  $p_2$  sans modifier l'entropie ( $s_1 = s_2$ ) et surchauffé. La température passe de  $T_1$  à  $T_2$ . La condensation mécanique par unité de masse correspond à  $\Delta w = h_2 - h_1$ .

#### Condensation :

Dans le condenseur, le fluide refroidit considérablement et condense. La chaleur libérée (chaleur de surchauffe et chaleur de condensation) augmente la température du réservoir jusqu'à  $T_2$ . Elle s'élève par unité de masse à  $\Delta q_2 = h_2 - h_3$ .

#### Expansion adiabatique :

Le fluide condensé atteint la soupape d'expansion, où sa pression est réduite par expansion adiabatique (c'est à dire sans intervention mécanique). La température diminue également, car un travail doit être effectué contre les forces d'attraction intermoléculaires du fluide (Effet Joule-Thompson). L'enthalpie reste constante ( $h_4 = h_3$ ).

#### Évaporation :

Dans l'évaporateur, le fluide de travail s'évapore totalement par absorption de chaleur. Ceci entraîne le refroidissement du réservoir à la température  $T_1$ . La chaleur absorbée par unité de masse est égale à  $\Delta q_1 = h_1 - h_4$ .

Le fluide évaporé est aspiré par le compresseur pour subir une nouvelle compression.

Remarque :

Le fluide frigorigène expansé s'évapore et retire la chaleur du réservoir gauche.

Dans des conditions idéales, le système de tuyauterie transporte le réfrigérant gazeux pur de l'évaporateur au compresseur en passant par le voyant.

Lorsque la température de l'eau diminue, l'absorption de chaleur par le serpentin de l'évaporateur diminue et, par conséquent, des gouttes de réfrigérant peuvent devenir visibles dans le voyant gauche.

Cela n'a pratiquement aucune influence sur le fonctionnement de la pompe à chaleur, mais doit être réduit au minimum en faisant circuler constamment l'eau.

Pour la détermination du coefficient de performance, une fenêtre de température limitée devrait être utilisée :

Température de départ env. 20°C à 25°C, température de terminaison dans le réservoir gauche env. 10°C à 12°C.

## 8. Exemples d'expériences

### 8.1 Rendement du compresseur

Le rendement  $\eta_{co}$  du compresseur est le résultat du rapport entre la quantité de chaleur  $\Delta Q_2$  amenée au réservoir d'eau chaude par unité de temps  $\Delta t$  et la puissance d'entraînement  $P$  du compresseur. Plus l'écart de température entre le condenseur et l'évaporateur est grand et plus elle diminue.

$$\eta_{co} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

$c$  = Capacité thermique de l'eau et  
 $m$  = masse de l'eau.

Pour déterminer le rendement :

- Brancher la pompe à chaleur.
- Remplir chaque réservoir d'eau avec 2000 ml d'eau et les emboîter dans la tôle de fixation.
- Mettre le compresseur en marche et le laisser tourner env. 10 minutes pour qu'il atteigne sa température de service.
- Remplacer l'eau et placer les deux capteurs de température dans les réservoirs d'eau.
- Bien remuer l'eau des réservoirs tout au long de l'expérience.
- Mesurer et noter la température de départ des deux réservoirs d'eau.
- Pour le mesurage du temps, appuyez sur la touche RESET du mesureur d'énergie et allumez le compresseur au moment de la relâcher.

- A intervalles réguliers, relever et noter la durée de service, la puissance absorbée et les températures des deux réservoirs d'eau.

**Remarque :** Une fois que le compresseur a été automatiquement éteint par le disjoncteur de surpression, relevez le temps mesuré et continuez la mesure à la prochaine mise en marche.

## 8.2 Représentation dans le diagramme de Mollier

Le cycle idéal peut être déterminé dans le diagramme de Mollier par une mesure des pressions  $p(3)$  et  $p(4)$  avant et après la soupape d'expansion et par une mesure de la température  $T(1)$  avant le compresseur:

$T(1)$  et  $p(4)$  définissent le point 1 dans le diagramme de Mollier (cf. Fig. 5). L'intersection des isentropes avec les droites horizontales  $p(3) = \text{constante}$  donne le point 2. L'intersection des droites horizontales avec la ligne d'ébullition donne le point 3 et la perpendiculaire à la droite horizontale  $p(4) = \text{constante}$  donne le point 4.

La mesure complémentaire des températures  $T(2)$ ,  $T(3)$ , et  $T(4)$  donne un aperçu plus large des cycles qui se sont déroulés dans la pompe à chaleur :

La température externe  $T(4)$  correspond à la température relevée sur l'échelle thermométrique du manomètre correspondant. Cette échelle thermométrique repose sur la courbe de tension de vapeur du fluide. Cette mesure montre également que le fluide après la soupape d'expansion est un mélange de liquide et de gaz.

La température externe mesurée  $T(3)$  diffère de la température relevée sur le manomètre côté haute pression. Le fluide ne contient aucune partie gazeuse et est totalement liquide.

Pour mesurer la température externe, il est recommandé d'utiliser (cf. 4. Accessoires) :

Une sonde de température NTC  
avec pince de mesure 1021797  
VinciLab 1021477  
Licence Coach 7

## 8.3 Coefficient de performance théorique

Le coefficient de performance théorique du cycle idéal peut être calculé à partir des enthalpies spécifiques relevées dans le diagramme de Mollier  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3$  :

$$\eta_{th} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

## 8.4 Courant massique du fluide

Si les enthalpies  $h_2$  et  $h_3$  du cycle idéal, ainsi que la quantité d'eau  $\Delta Q_2$  amenée au réservoir d'eau

chaude par intervalle de temps  $\Delta t$  sont déterminées, il est possible d'en déduire le courant massique du fluide.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

## 9. Contrôleur d'énergie



Fig. 6 Contrôleur d'énergie

Touche	Fonction
Touche de remise à zéro RESET	Enfoncez la touche avec un objet pointu pour supprimer toutes les données de la mémoire, y compris l'heure et les réglages programmés
Touche d'avancement UP	Réglez l'heure, le prix et les programmes de prix en même temps avec la touche d'avancement UP
Touche de réglage SET	Réglez l'heure, le prix et les programmes de prix en même temps avec la touche de réglage SET
Touche de fonction FUNC	Changez le mode d'affichage

Réglage de l'heure :

- Appuyez sur la touche FUNC jusqu'à ce que « CLOCK » apparaisse en bas à droite sur l'afficheur.
- Appuyez sur la touche SET jusqu'à ce que les heures clignotent. Réglez les heures avec la

touche UP et confirmez avec la touche SET. Procédez de la même façon pour le réglage des minutes.

Affichage des fonctions de mesure :

- Appuyez brièvement sur la touche FUNC pour faire afficher les informations suivantes : Courant absorbé, nombre de watts, consommation batterie.

### 10. Diagramme de Mollier

Pour représenter le cycle d'une pompe à chaleur à compression, on utilise souvent le diagramme Mollier du fluide. Ce diagramme représente la pression  $p$  du fluide par rapport à son enthalpie spécifique  $h$  (l'enthalpie est une mesure du pouvoir calorifique du fluide, une augmentation de la pression et de la partie gazeuse entraîne généralement une augmentation de l'enthalpie).

Le diagramme de Mollier représente également les isothermes ( $T = \text{const.}$ ) et les isentropes ( $S = \text{const.}$ ) ainsi que la concentration massique relative de la phase liquide du fluide. A gauche de la ligne d'ébullition le fluide est totalement condensé. A droite de la courbe de rosée, le fluide se présente sous forme de vapeur surchauffée et à l'intérieur des deux lignes sous forme de mélange liquide et gazeux. Les deux lignes se rencontrent au point critique.

Voir Fig. 7 en page 7.

### 11. Changement de pile

- Retirer le couvercle à l'arrière du thermomètre et retirer les piles vides.
- Remplacez les piles. Respectez la polarité correcte.
- Refermer le couvercle.
- Si vous n'utilisez pas l'instrument pendant un certain temps, retirez les piles.
- Ne jetez jamais les piles usagées dans les ordures ménagères ! Veillez à respecter les prescriptions obligatoires en vigueur (FR : Piles et batteries usagées, UE : 2006/66/CE).

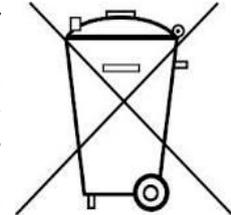
### 12. Rangement, entretien et nettoyage

La pompe à chaleur est sans entretien.

- Ranger la pompe à chaleur dans un endroit propre, sec et à l'abri de la poussière.
- Débrancher la pompe à chaleur avant le nettoyage.
- Utiliser un chiffon doux et humide.

### 13. Traitement des déchets

- Pour d'éventuels retours, réparations, etc., la pompe à chaleur doit être envoyée dans le carton d'origine en position debout sur la palette jetable. C'est pourquoi, ne pas mettre au rebut le carton d'origine et la palette jetable.
- Si la pompe à chaleur doit être jetée, ne pas le jeter dans les ordures ménagères. Il est important de respecter les consignes locales relatives au traitement des déchets électriques.
- Ne jetez jamais les piles usagées dans les ordures ménagères ! Veillez à respecter les prescriptions obligatoires en vigueur (FR : Piles et batteries usagées, UE : 2006/66/CE).



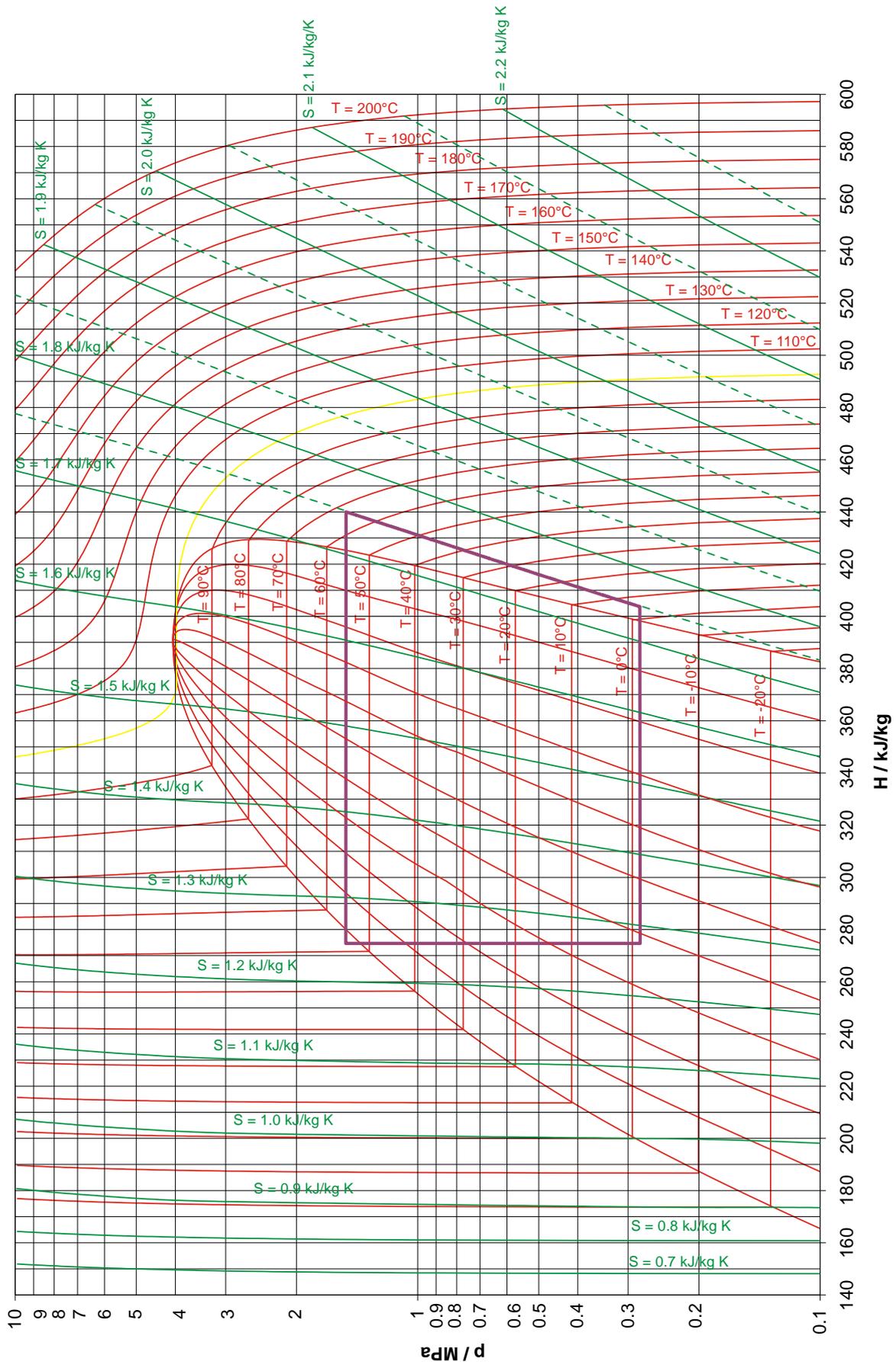


Fig. 7 Diagramme de Mollier