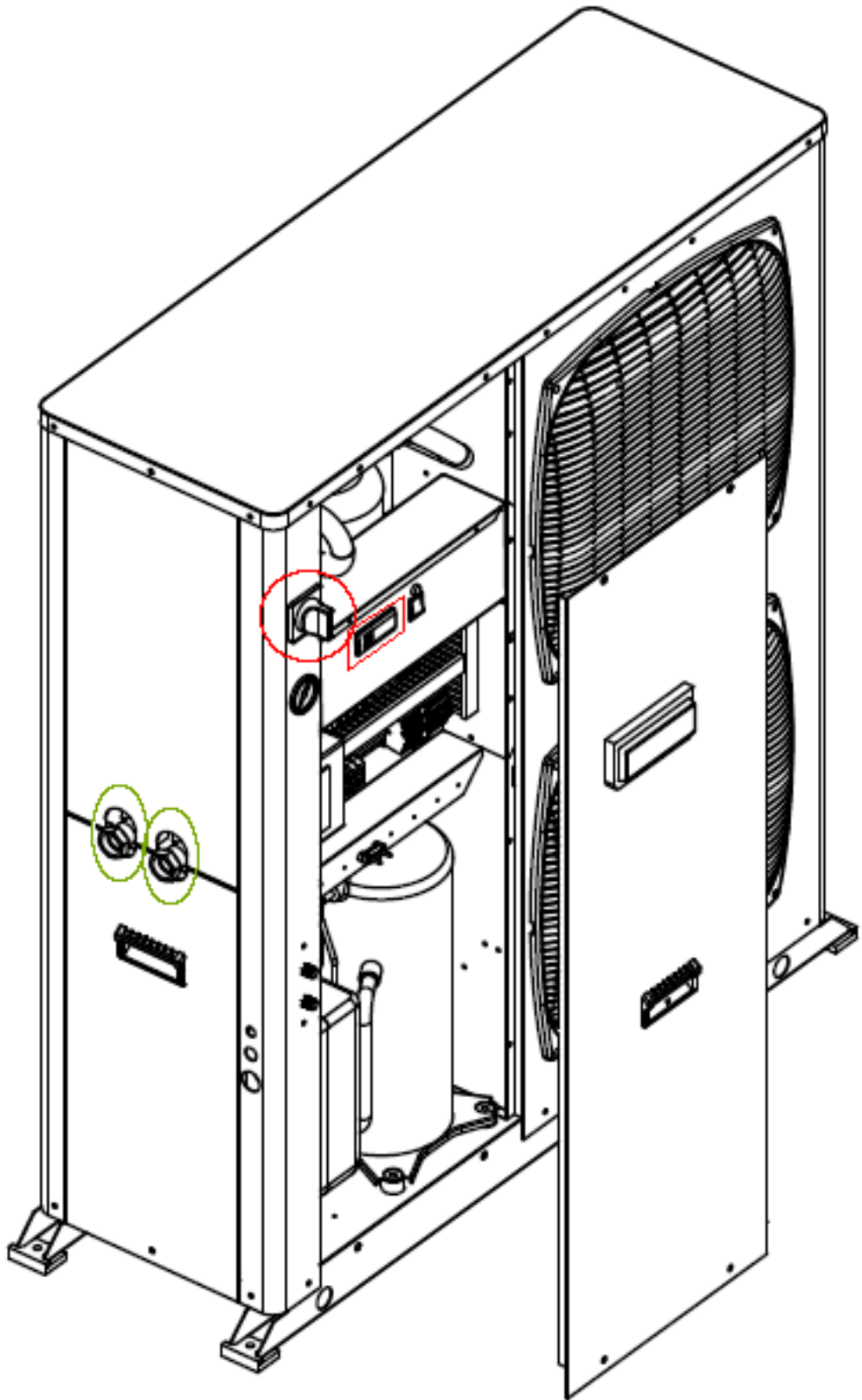


C. E. S. I. R. E.
Plateforme TTE

Pompe à chaleur (réfrigérateur)



manip Chartreuse



PRINCIPE

Les échanges thermiques de cette pompe à chaleur didactisée peuvent fonctionner dans les deux sens.

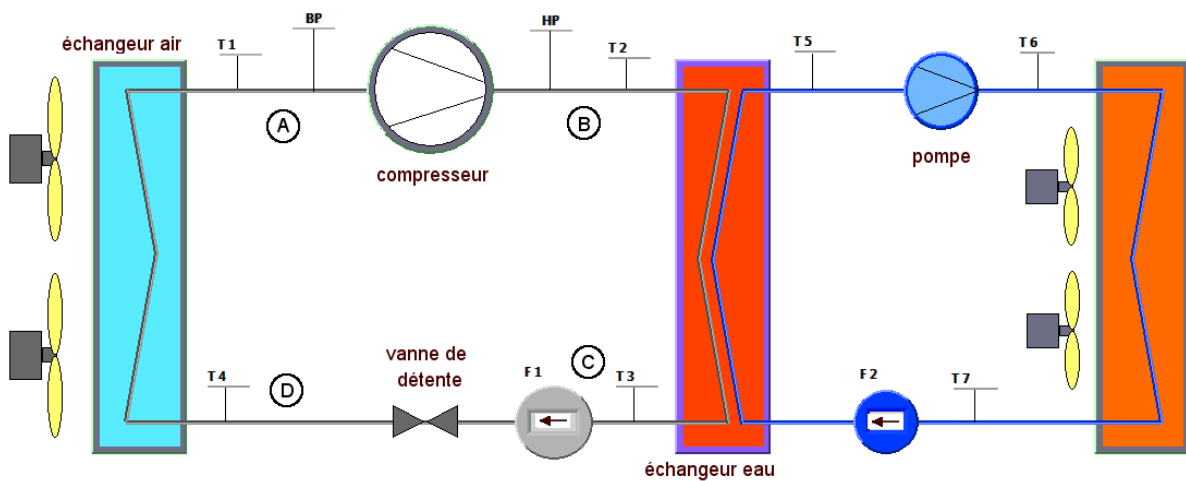
Elle est constituée d'une base de climatiseur avec circuit échangeur de chaleur avec l'air ambiant (représentation sur la page de gauche), contenant un circuit échangeur d'eau dont les sorties ont été cerclées de vert sur le schéma. Celui-ci est relié à un réservoir d'eau (bonbonne bleue) et un ventilateur, placé au-dessus (non représentés).

Des thermocouples sont placés aux endroits stratégiques du dispositif :

Désignation	Emplacement physique de la mesure
T_1	Circuit frigorifique : aspiration compresseur
T_2	Circuit frigorifique : refoulement compresseur
T_3	Circuit frigorifique : entrée vanne de décompression
T_4	Circuit frigorifique : sortie vanne de décompression
T_5	Circuit eau : sortie échangeur eau
T_6	Circuit eau : entrée ventilo-convecteur
T_7	Circuit eau : sortie ventilo-convecteur

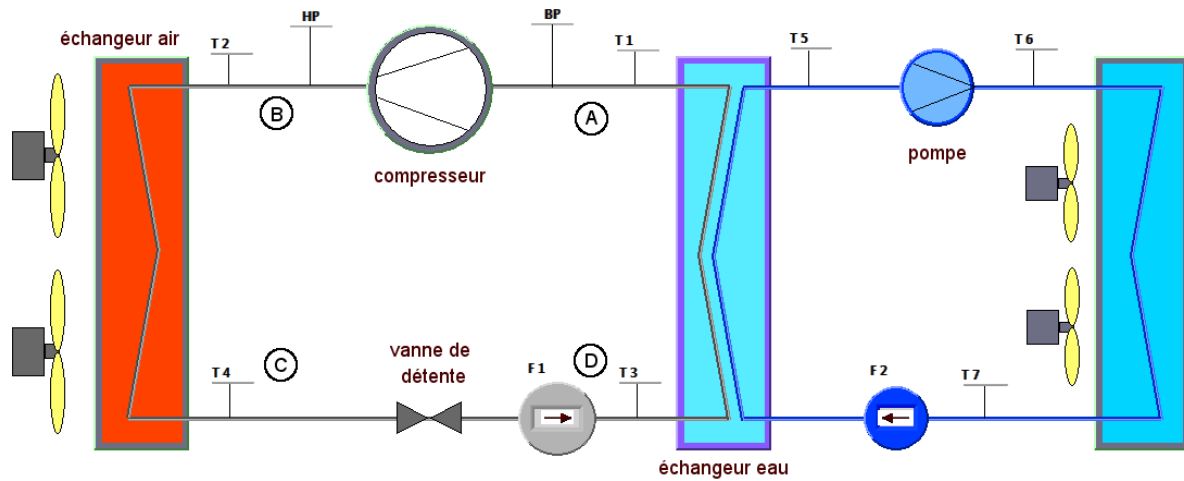
Un système d'aiguillage permet de :

- soit relier la sortie de la vanne de décompression au circuit Echangeur Air, et son entrée à l'Echangeur Eau ; ceci est réalisé en tournant le bouton noir situé sur la face avant vers "froid". On est alors en fonctionnement "Pompe à chaleur" (PAC) pour la bonbonne d'eau. Schéma de principe :



Dans ce mode de fonctionnement, l'évaporateur est l'Echangeur Air, et le condenseur est l'Echangeur Eau.

- soit relier l'entrée de la vanne de décompression au circuit Echangeur Air, et sa sortie à l'Echangeur Eau ; ceci est réalisé en tournant le bouton noir vers "chaud". On est alors en fonctionnement "Production d'eau glacée" (dans la bonbonne). Schéma :



Dans ce mode de fonctionnement, l'évaporateur est l'Echangeur Eau, et le condenseur est l'Echangeur Air.

- Attention : lorsque le bouton "sonde extérieure" est dans la position basse, le type de fonctionnement ne dépend plus de la position du bouton chaud/0/froid. Il est alors imposé par la température T_{ext} du cadran situé au-dessous du bouton "sonde extérieure", et par la température de consigne (cf p. 7).

Si $T_{ext} > T_{consigne}$: fonctionnement "Production d'eau glacée".

Si $T_{ext} < T_{consigne}$: fonctionnement PAC.

La mesure des différentes pressions, températures et débits est interfacée, mais il est conseillé de localiser physiquement l'emplacement des différentes sondes de mesures.

La mesure du débit de fréon (F_2), auquel on n'a pas accès dans les manip Vercors et Charreusse, permet de calculer directement la puissance perdue par le fréon au niveau de l'Echangeur Eau, compte tenu des spécificités du fréon (voir dernière page).

On peut ainsi comparer à celle gagnée par l'eau dans ce même échangeur ($\rho_{eau} = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$; $c_{eau} = 4,186 \text{ kJ/kg/}^\circ\text{C}$).

1. AUTOMATISATION DES MESURES

Ceci peut être fait à n'importe quel moment. Allumer l'ordinateur avant la PAC permet de visualiser l'évolution des températures et pression à la mise en route (recommandé).

- Allumer l'ordinateur, utilisateur "IUT Grenoble"
- Ouvrir Visuapac (sur le bureau), appuyer sur la petite flèche blanche en haut à gauche pour démarrer, et indiquer dans quel fichier se feront les enregistrements (le noter!).
- Cliquer sur l'onglet "Grandeurs thermodynamiques" pour visualiser l'évolution des températures, pressions et débits de fréon et d'eau au cours du temps. Vérifier que T_4 et T_5 sont sur ON. Le bouton "état enregistrement" doit indiquer "marche" pour que l'enregistrement soit effectif. Sur le graphique, les températures sont indiquées en Celsius, les pressions en bars, et F_1 le débit de liquide frigorigène en l/h . Pour identifier le code couleur des grandeurs représentées, les faire défiler en cliquant sur ▲ ou sur ▼ en haut à droite du graphique.
- Retrouver le schéma de principe, et les valeurs exactes des mesures, en appuyant sur l'onglet "synoptique PAC" ou "synoptique Prod. Eau Glacée".

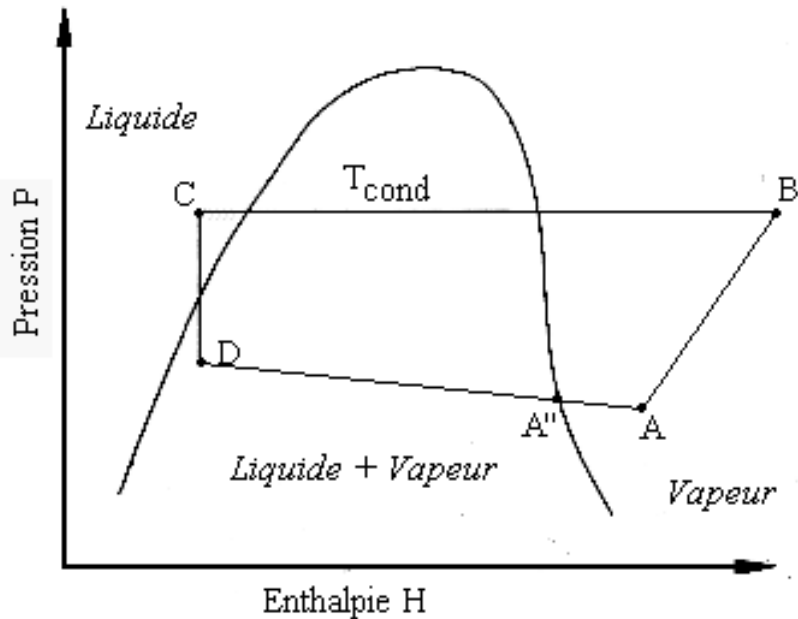
2. MISE EN ROUTE DE LA PAC

- Si cela n'a pas été fait avec l'enseignant, vérifier la fermeture / ouverture des différentes vannes (voir fin de ce fascicule, p.9).
- Sur le côté gauche de l'appareil, mettre les interrupteurs D1, D2, D2-1, D3, D4, D5 en position haute. On entend tourner le ventilateur de la climatisation.
- Vérifier que le bouton "sonde extérieure" est dans la position basse (pas de sonde extérieure), et que le bouton noir situé sur la face avant est sur "0"..
- Tourner le bouton noir vers "froid" pour un fonctionnement en pompe à chaleur pour la bonne d'eau. Le compresseur se déclenche au bout de 30s environ.
- Chercher où se produit, dans le dispositif expérimental, la mesure de T_4 . Identifier le détendeur.
- Relever les mesures (onglet "synoptique") lorsqu'on arrive à un fonctionnement d'équilibre, *i.e.* au bout de 10 mn environ.
- Appuyer sur l'onglet "grandeurs électriques" pour relever la puissance fournie à la machine frigorigène (**attention : facteur 10 sur les tensions et intensités!!!**).

3. CHANGEMENT DE RÉGIME

Il peut se faire en appuyant sur le bouton "sonde extérieure". Imposer une température T_{ext} via le cadran au-dessous de l'interrupteur "sonde extérieure" (environ $15^{\circ}C$). Relever les mesures lorsqu'on arrive à un fonctionnement d'équilibre, *i.e.* au bout de 10 mn environ.

CYCLE RÉEL DE LA PAC



- Si l'on mesure la température à l'entrée du compresseur, on constate que le point A à l'entrée du compresseur n'est pas situé sur la courbe de saturation, ou de rosée (point A''). On surchauffe le gaz à la sortie de l'évaporateur : dans ces conditions, on assure que le compresseur travaille uniquement avec du gaz, ce qui évite sa détérioration en cas de fonctionnement avec un mélange liquide-gaz.

- Comme le compresseur est thermiquement isolé, on mesure en sortie du compresseur une température correspondant au point B situé sur l'isentropique passant par A . S'il y avait plus de fuites thermiques, la température mesurée en sortie du compresseur ferait placer le point B à droite de l'isentropique qui passe par A , car il faudrait fournir plus de travail que pour une compression adiabatique pour arriver à la même surpression, et le fréon récupérerait la dissipation au niveau du moteur.

- Entre le condenseur et la vanne de détente, on trouve un point C situé dans la région "liquide" et non pas exactement sur la courbe de rosée : les dimensions du dispositif sont calculées pour sous-refroidir légèrement le liquide. La détente dans la vanne est ainsi plus régulière, l'écoulement du fluide n'étant pas perturbé par un mélange liquide-gaz.

- Enfin, à cause de certaines spécificités de ce dispositif expérimental, la pression peut varier entre les points B et C , et entre les points D et A . Repérer la position des manomètres pour placer tout d'abord les points dont on est sûr. Ensuite, dans un premier temps on placera les autres points en considérant que $P_D = P_A$, que $P_B = P_C$ et que la transformation $C - D$ est isenthalpique. Ensuite on pourra s'interroger sur l'adéquation entre l'isotherme sur laquelle se retrouvent les points ainsi placés et les températures effectivement mesurées. Enfin, on pourra se reporter page suivante pour quantifier une possible perte de charge due à la viscosité.

SPÉCIFICITÉS DU CYCLE DE LA MANIP C

- Le gaz frigorigène (*R407c*) n'est pas un corps pur, mais un mélange. Les isothermes ne sont donc pas nécessairement horizontales dans la zone de coexistence liquide/gaz. Vérifier ce qu'il en est sur le diagramme de Mollier fourni.

Perte de charge dans l'échangeur à air

La perte de charge (= différence de pression entre l'entrée et la sortie) d'un tuyau dans lequel coule un fluide visqueux s'écrit :

$$\Delta P = \frac{8\eta QL}{\pi r^4}$$

où Q est le débit volumique du liquide, η sa viscosité, L est la longueur du tuyau et r son rayon.

L'échangeur à air est constitué de tuyaux longs et fins, le passage du fluide frigorigène y est donc susceptible de générer une perte de charge non négligeable. La structure contient 4 tuyaux en parallèle, de longueur L environ $13m$, dont $L_1 \approx 12m$ de diamètre intérieur $r_1 \approx 2mm$, suivi de $L_2 \approx 1m$ de diamètre intérieur $r_2 \approx 0,5mm$. La perte de charge totale sera donc la somme des deux pertes de charges successives, dans la partie large puis dans la partie fine de chaque tuyau, dans lequel s'écoule un débit $Q = \frac{F_1}{4}$.

Données concernant le *R407c* liquide (qu'on considérera comme valides aux pressions et températures considérées) :

- viscosité $\eta = 209 Pa.s$

- chaleur spécifique $\tilde{c}_P = 1,41 kJ/K/kg$; chaleur latente de vaporisation $L_v = 1209 kJ/kg$

- masse volumique $\rho = 1,14.10^3 kg/m^3$

Données concernant le *R407c* gazeux :

Voir table extraite de Nabizadeh Mayinger 1997, page suivante.

Table IV. Viscosity of gaseous R407C at nominal isotherms T_n

p	ρ	η	p	ρ	η
(MPa)	($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	($\mu\text{Pa} \cdot \text{s}$)	(MPa)	($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	($\mu\text{Pa} \cdot \text{s}$)
$T_n=297.15$ K			$T_n=314.15$ K		
0.101	3.55	12.19	0.101	3.29	12.99
0.289	10.55	12.12	0.279	9.53	12.96
0.608	23.36	12.06	0.468	16.41	12.99
0.911	37.18	12.50	1.106	42.79	13.29
0.995	41.37	12.64	1.353	54.87	13.52
			1.481	61.77	13.72
			1.504	63.06	13.80
			1.531	64.59	13.83
$T_n=323.15$ K			$T_n=333.15$ K		
0.101	3.25	13.40	0.101	3.15	13.70
0.291	9.66	13.39	0.332	10.71	13.74
0.459	15.54	13.41	0.736	24.80	13.86
0.815	28.88	13.61	1.160	41.20	14.18
1.156	43.07	13.87	1.508	56.34	14.44
1.456	57.08	14.07	1.962	79.28	14.95
1.676	68.56	14.22	2.273	98.26	15.41
1.796	75.39	14.42	2.412	108.10	15.81
1.889	81.04	14.65	2.446	110.66	15.83
1.974	86.57	14.75	2.501	115.01	16.04

UTILITÉ DU DIAGRAMME DE MOLLIER (VOIR PAGE SUIVANTE) EN SYSTÈME OUVERT :

Un système ouvert peut échanger non seulement de l'énergie mais aussi de la matière avec l'extérieur. C'est le cas d'un système en écoulement permanent, et par extension un système en circuit fermé (comme celui auquel on a affaire) peut être décrit comme un circuit ouvert. Dans ce cas, c'est l'enthalpie et non l'énergie interne qui est la grandeur la plus pratique à considérer.

En effet, le premier principe nous dit que la variation de l'énergie interne de cette partie du fluide (qui constitue un système fermé, puisqu'on suit les molécules du fluide) $U_2 - U_1$ est égale à la somme du travail W et de la chaleur Q (dans la convention thermodynamique où ce qui est effectivement reçu par le fluide est > 0 , et ce qui est cédé à l'extérieur est < 0), échangés avec le fluide pendant la transformation. Attention : W est la somme du travail fourni par l'extérieur W_{ext} (par exemple, par le compresseur) et du travail des forces de pression exercées sur le système considéré par le reste du fluide W_{reste} .

Ce travail W_{reste} est égal à $P_1V_1 - P_2V_2$ (c'est-à-dire à la différence entre le travail échangé lorsqu'un volume V_1 de fluide sort d'une zone où la pression est P_1 , et celui qu'il faut fournir pour faire entrer un volume V_2 de fluide dans une zone où la pression est P_2) ($\Rightarrow doc$). Ainsi le premier principe s'écrit :

$$U_2 - U_1 = Q + W_{ext} + P_1V_1 - P_2V_2$$

En introduisant l'enthalpie $H = U + PV$, on obtient finalement :

$$H_2 - H_1 = Q + W_{ext}$$

VANNES DU CIRCUIT D'EAU

Hors entretien, **les raccordements au réseau général doivent être fermés.**

Pour le fonctionnement de base :

- l'entrée de la bonbonne bleue doit être ouverte.
- le bypass (court-circuit) entrée/sortie de la bonbonne bleue doit être fermé.
- les deux vannes vers l'Echangeur Eau (cf entrées entourées de vert sur le schéma de la page 2) doivent être ouvertes.

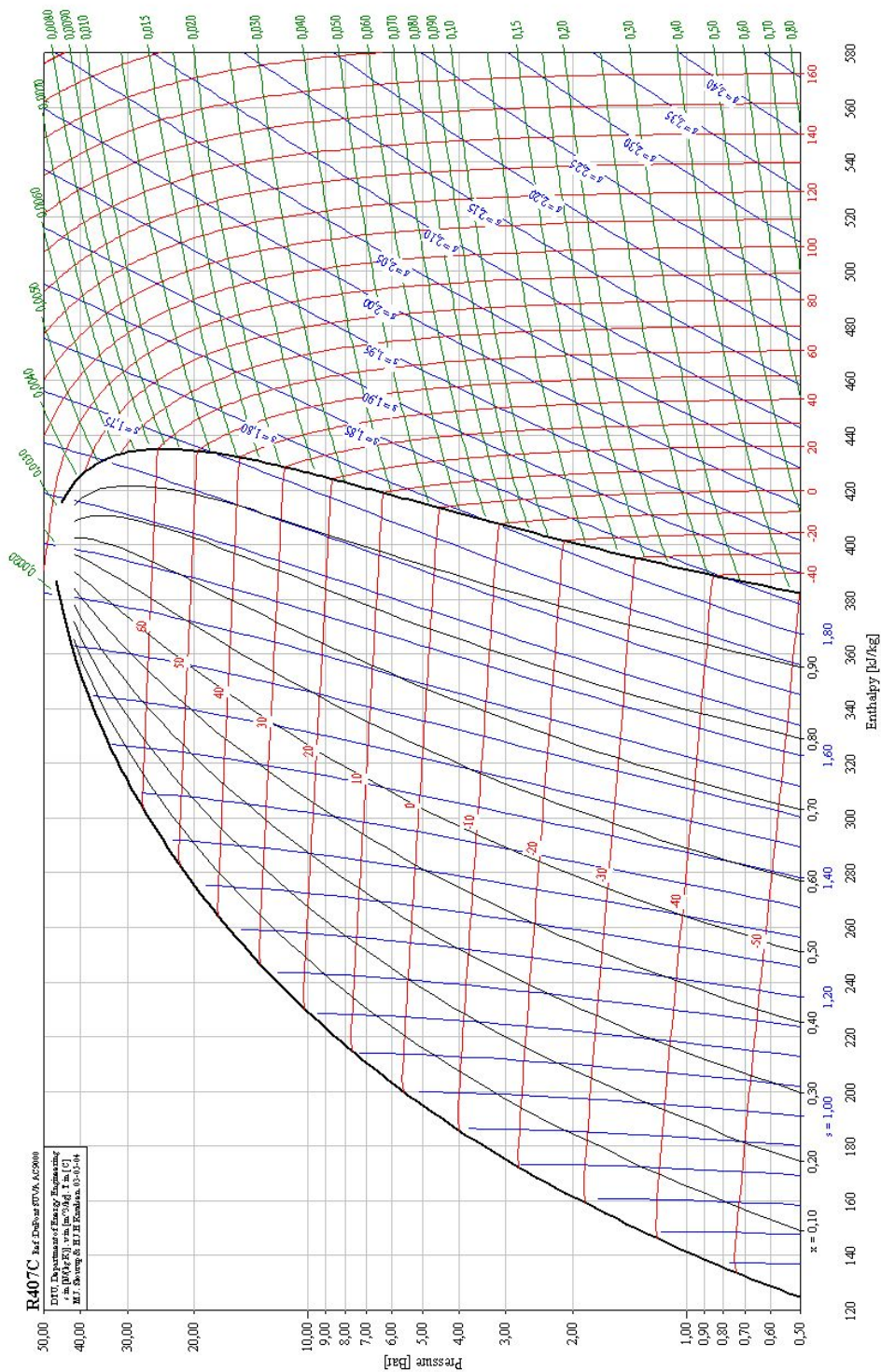
CHANGEMENT DE LA TEMPÉRATURE DE CONSIGNE

Il s'effectue via le régulateur Invensys ECH210, situé sur la face avant de la pompe à chaleur didactisée. Un mode d'emploi détaillé du régulateur peut être trouvé dans le gros classeur où sont rassemblées toutes les documentations de la PAC didactisée.

Pour changer la température de consigne :

- Appuyer simultanément sur \wedge (signe double) et \vee (signe double) : "SET" apparaît.
- Rappuyer simultanément sur \wedge et \vee : "COOL" apparaît. Si on veut changer la consigne de température en mode pompe à chaleur, faire apparaître "HEAT" avec \wedge (double) ou \vee (double).
- Rappuyer simultanément sur \wedge et \vee : la température de consigne apparaît. La modifier avec \wedge ou \vee .
- Pour revenir au menu : maintenir appuyé sur \wedge et \vee simultanément.

Diagramme de Mollier du R407c

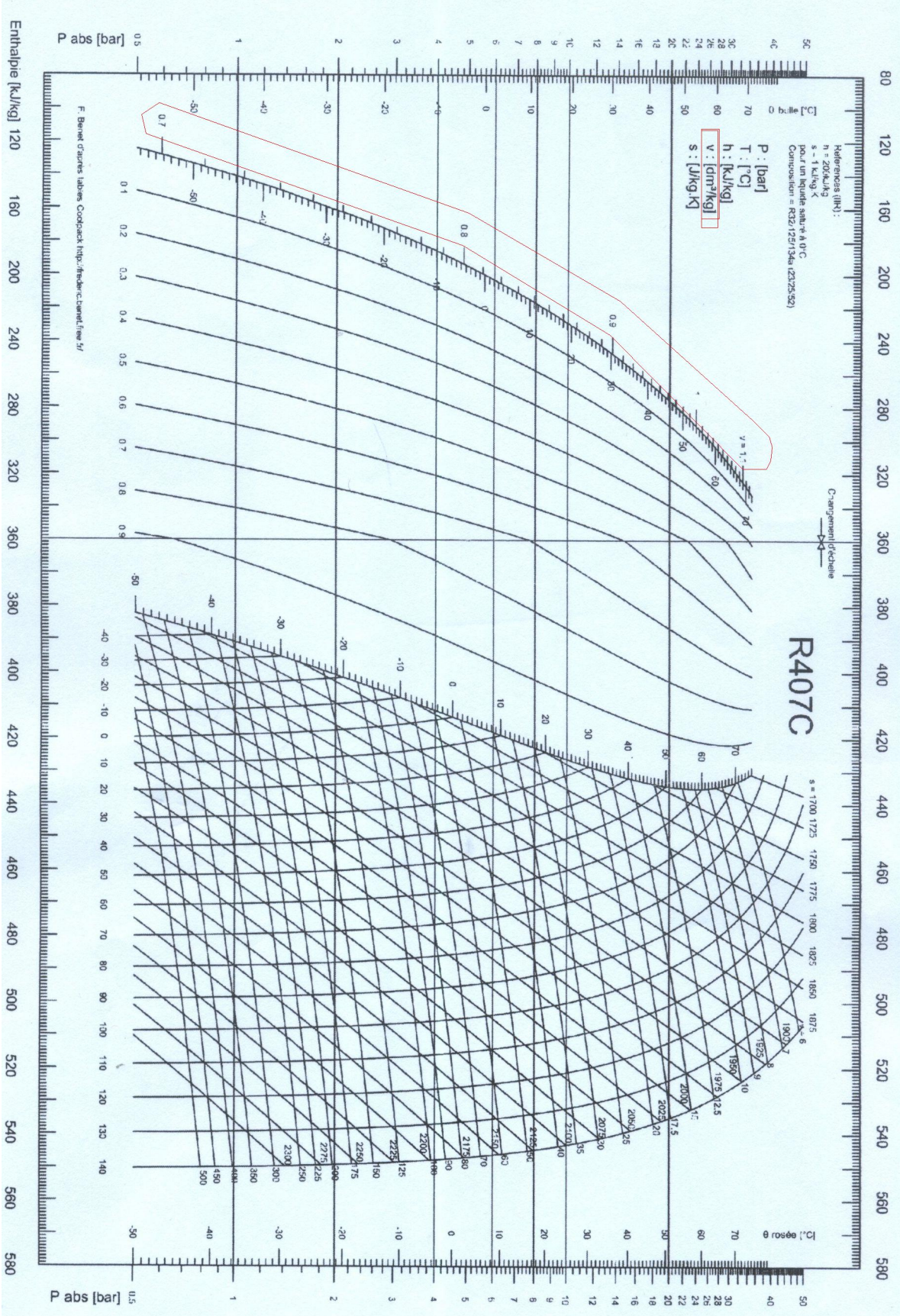


Dans le diagramme fourni, les graduations portées sur la partie gauche de la courbe d'équilibre liquide-vapeur donnent le volume massique du fréon.

Les isothermes (en rouge) et les isentropiques (en vert) peuvent être considérées comme verticales dans la partie liquide.

Les enthalpies massiques correspondent aux graduations 120 à 580 ($kJ/K/kg$).

DOCUMENT N°2 : diagramme enthalpique du R407C



En rouge : données relatives à la masse volumique de la phase liquide.