

IEPS Colfontaine

Section Énergies et Environnement

Année scolaire 2006-2007

CLIMATISATION « SPLIT-SYSTEM » Étude théorique – Étude de cas

Travail de fin d'étude

La Rocca Francesco



INTRODUCTION	4
CONTRAINTES	5
DÉMARCHE PRÉSENTATION DU PROJET	6
REMERCIEMENTS	7
NOTIONS PRÉALABLES REQUISES	8
Changement de phase, changement d'état.	8
Relation Pression - Température.	9
Courbe de tension de vapeur	10
Chaleur sensible, chaleur latente	11
Equilibre d'énergie entre liquide et vapeur	12
Hygrométrie, Phénomène de condensation.....	13
Diagramme psychrométrique.....	14
ÉTUDE THÉORIQUE DU SPLIT-SYSTEM.....	15
Les quatre éléments de base	15
Pourquoi un compresseur, un détendeur ?	16
Processus simplifié – Exemple R22 chiffré.....	17
Processus complet – Exemple R22 chiffré.....	18
Éléments supplémentaires d'un SPLIT-SYSTEM	19
Températures types en fonctionnement normal - ΔT	20
Détendeur capillaire	21
Détendeur thermostatique	22
Notions de compresseur – termes et formules	23
Notions compresseur – Représentation des temps	24
Huile du carter - Retour.....	25
Vanne de service	25
Vanne de service	26
Exemples de pannes et symptômes	27
Résultat THERMOPHASE de l'exemple chiffré R22	28
Résultat COOLPACK de l'exemple chiffré R22.....	29
DESCRIPTION DU SPLIT-SYSTEM INSTALLÉ	30
Local à climatiser.....	30
Vues des éléments installés.	31
INSTRUMENTATION ET ACQUISITION DES DONNÉES	32
Pose manomètres	32
Relevé des pressions et températures induites	33
Vidange de l'installation	34
Tirage au vide	35
Remplissage.....	36
Poses des thermocouples.....	38
Localisation éléments et thermocouples sur la machine	39



Schéma de principe de l'installation	40
Programmation du DATALOGGER YOKOGAWA	41
Programmation du TESTO 560.....	42
Résultats collecte TESTO 560 (extrait).....	43
Résultats COOLPACK TESTO 560 (les moyennes des pressions).....	44
Bilan sur l'air, Mesures anémomètre	45
CONCLUSION	47
ANNEXES	48
Evaluation rapide de la puissance frigorifique.....	49
Caractéristiques techniques de l'installation	50
Réglementation à propos des fluides	51
Comparatifs des fluides de substitution.....	52
Caractéristiques R22 - Chlorodifluorométhane.....	53



INTRODUCTION

Origine et but du projet

La climatisation implantée à mon domicile ne fournissait plus le froid telle qu'elle le faisait à l'époque de l'installation en 1997.

De plus, le technicien responsable de l'installation n'était plus disponible.

De ces deux constatations est née l'idée de réaliser le Travail de Fin d'**Et**ude sur la climatisation résidentielle « SPLIT-SYSTEM ».

En finalité, ce TFE me permettrait ainsi de joindre l'utile à l'agréable,
À savoir:

- ☐ Intégrer bons nombres de concepts théoriques vus en classe
- ☐ Compiler les notes de synthèse et schémas élaborés au cours du temps
- ☐ Comprendre le fonctionnement d'une climatisation résidentielle « SPLIT-SYSTEM »
- ☐ Identifier, si possible, les anomalies et poser un diagnostic.
- ☐ M'affranchir partiellement des frigoristes (très sollicités pour les plus compétents)

Idée étendue au principe de faire du « DATALOGGING » qui devait permettre:

- ☐ d'accélérer le processus de compréhension
- ☐ de faciliter l'identification d'un problème et la pose d'un diagnostic



CONTRAINTES

Les contraintes du projet étaient multiples

- ☐ Un frigoriste devait m'aider à différentes actions (tirage au vide, recharge de fluide,)
- ☐ Acquérir un ensemble d'équipements (DATA LOGGER, capteurs, convertisseurs, logiciels).
- ☐ Le coût global devait rester modique et en rapport avec le coût de la machine elle-même.



DÉMARCHE PRÉSENTATION DU PROJET

1. Rappel des notions préalables requises
2. Etude théorique de la machine « SPLIT-SYSTEM ».
Le fil rouge a été le manuel FRIGOBASE
« Le froid et la 'clim' expliqués aux débutants »
3. Evaluation puissance frigorifique du local à climatiser
4. Identification du matériel déjà installé et emprunt de matériel de mesures (TESTO 560, 175, 445, DATALOGGER).
5. Intervention du frigoriste telle que le tirage, la recharge de fluide, récupération du fluide
6. Sélection, achat et implantation du matériel requis à l'acquisition de données.
7. Elaboration de scénarios de fonctionnement
8. Collections et interprétations des données résultant de campagne de mesures via les logiciels appropriés.



REMERCIEMENTS

Ce stage n'a pu être possible que du fait de personnes qui y ont aimablement consacré leur temps.

Mes remerciements vont à monsieur Angelo Barone, formateur, ainsi que monsieur Giovanni Di Caro (étudiant).

Un remerciement particulier est adressé à monsieur Carmelo Venti qui malgré des contraintes multiples à accepter de consacrer de son temps que je savais très précieux.

Les remerciements seraient incomplets si je ne citais l'implication de tous les moments et ce même pendant les vacances scolaires de monsieur Daniel Jaupart grand officier de la section énergies et environnement à l'IEPS Colfontaine.



NOTIONS PRÉALABLES REQUISES

Changement de phase, changement d'état.

Schématisation des états d'un fluide en fonction de la température. Les deux états auxquelles nous nous intéresserons plus spécialement seront les phases d'évaporation et de condensation.

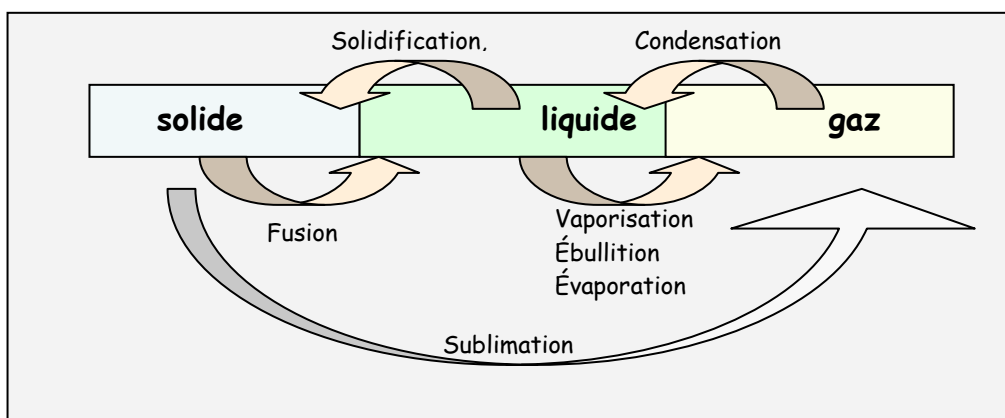
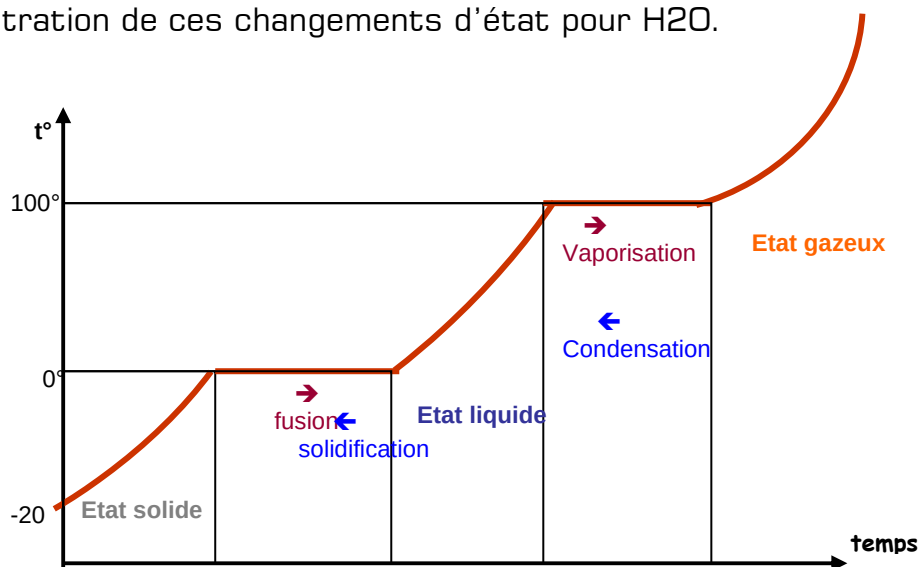
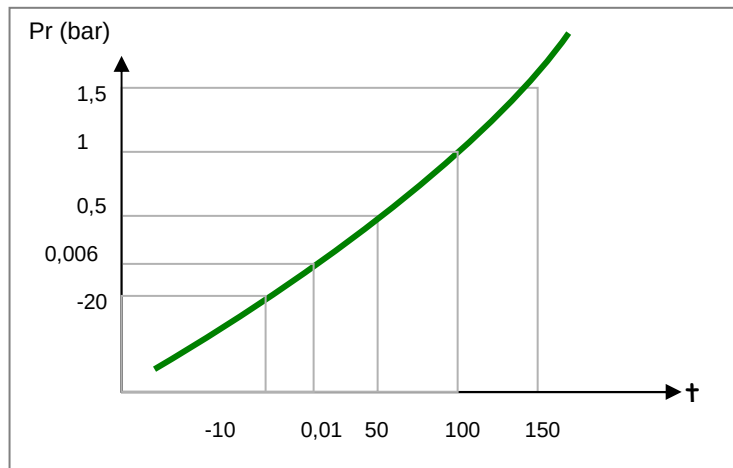


Illustration de ces changements d'état pour H₂O.



Relation Pression - Température.

La notion de changements d'états d'un fluide est fondamentale dans la compréhension de la production de froid.
Elle permet d'établir la « Relation Pression Température ».



On peut observer dans le cas d'H₂O que la variation de la pression est liée à celle de la température, si la t° augmente ou diminue, la pression fait de même.

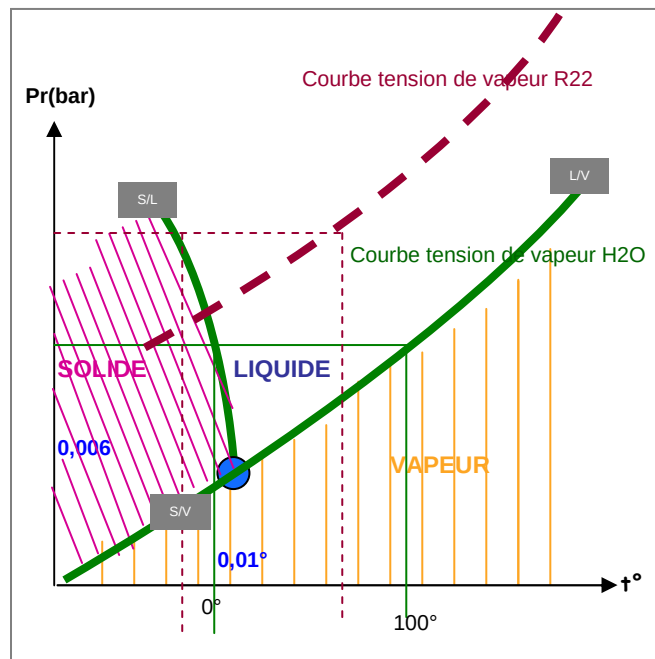
Ce phénomène est également applicable aux fluides frigorigènes.

En mesurant la pression d'un fluide on peut en déduire la température correspondante.

La notion de changements d'états d'un fluide permet d'établir également les notions de
« Courbe de tension de vapeur »,
« Chaleur sensible, chaleur latente »,
« Equilibre d'énergie entre liquide et vapeur ».



Courbe de tension de vapeur



Ce diagramme permet de visualiser les différents états d'un fluide et permet de comprendre plus facilement les changements d'états et notamment les phénomènes d'évaporation et de condensation fondamentaux à la climatisation.

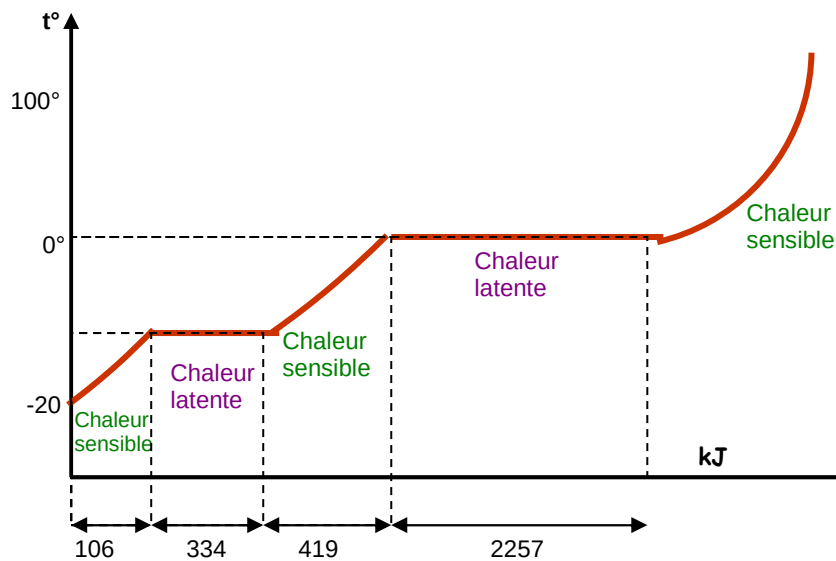
Dans le cas de la courbe de tension de vapeur du R22 on peut déterminer les pressions et températures où se situe le changement de phase, et de laquelle il s'agit.

Point remarquable, le **point triple** qui est le point où le fluide a les 3 phases en même temps et où la plus minimes variation de température ou de pression peut le faire basculer dans l'une des trois phases. (Exemple point triple H₂O → 0,01°C et 0,006 bar).



Chaleur sensible, chaleur latente

Valeur d'énergie **chaleur sensible**, **chaleur latente** pour H₂O



Ce diagramme permet, via la **chaleur latente**, de visualiser autrement la courbe de tension de vapeur.

Il permet également d'évaluer le potentiel de la chaleur latente. Notamment dans la phase d'évaporation/condensation. Dans le cas d'H₂O, on peut voir que dans cette phase l'énergie « latente » est de 2257 kJ c'est-à-dire bien plus grande que dans les autres phases et dans le cas de l'énergie provenant de la chaleur sensible.

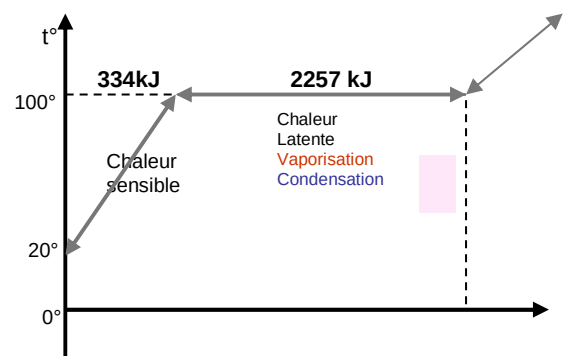
La chaleur latente se définit par: «*Chaleur qu'il faut retirer ou ajouter à une unité de masse d'un corps pour le faire changer d'état (pression et température constantes)* »

La chaleur latente provoque un changement d'état sans pour autant provoquer un changement de température

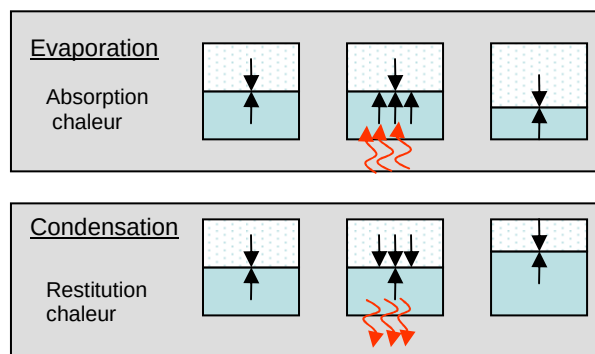
Exemple

On veut vaporiser complètement 1 kg d'eau à 20°
1) Chaleur sensible : $Q = mc\Delta t \rightarrow 1 \cdot 4,18 \cdot 80 = 334 \text{ kJ}$
2) chaleur latente : $Q = l \cdot m \rightarrow 2257 \cdot 1 = 2257 \text{ kJ}$
Total : $334 + 2250 = 2591 \text{ kJ}$

Chaleur massique
«c» eau : **4,18** kJ/kg.K
«c» glace : **2,09** kJ/kg.K



Equilibre d'énergie entre liquide et vapeur



Ce schéma permet d'expliquer le phénomène d'évaporation et de condensation par l'équilibrage d'énergie durant le changement de phase.

Evaporation: le fluide est en équilibre L/V, si on lui apporte de la chaleur la t° du fluide augmente, le liquide entre en ébullition, sa pression augmente et l'ébullition s'arrête lorsque la pression de la partie gaz arrive à compenser la pression partie liquide.

Condensation: le fluide est en équilibre L/V, si on lui soustrait de la chaleur la t° du fluide diminue, le gaz se condense, sa pression diminue et la condensation s'arrête lorsque la pression de la partie liquide arrive à compenser la pression partie gaz.



Hygrométrie, Phénomène de condensation

Une masse d'air sec est susceptible d'absorber une certaine quantité d'eau sous forme de vapeur. Lorsque l'on travaille à pression constante, cette quantité de vapeur d'eau est limitée à un maximum qui est fonction de la température de l'air sec.

Par exemple :

à 0°C l'air sec peut absorber 4,84 g d'eau par m³ d'air sec,

à 20°C l'air sec peut en absorber 17,30 g.

Lorsque l'air à une température donnée atteint la **quantité maximale de vapeur**, on dit qu'il est **saturé**.

Lorsque l'air absorbe une quantité d'eau inférieure à la quantité maximale possible à la température considérée, on parle d'humidité relative qu'on définit de la façon suivante :

$$HR [\%] = \frac{\text{quantité d'eau réellement absorbée}}{\text{quantité d'eau absorbable au maximum à la température considérée}}$$

Lorsque l'air est **saturé** **HR = 100 %**, lorsque l'air est **sec** **HR = 0 %**

Plus la température de l'air est élevée, plus grande est la quantité d'eau absorbable, plus l'air est froid, moins il peut absorber d'eau.

Supposez une masse d'air à une température et humidité relative données.

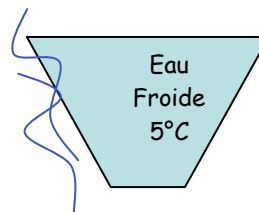
Si on refroidit cette masse d'air, **HR** augmentera, si on continue à refroidir **HR** atteindra finalement 100 %.

En fait on arrive au point de saturation, le phénomène de **condensation** apparaît.

La température qui fait atteindre HR 100% est le **point de rosée**.

Exemple:

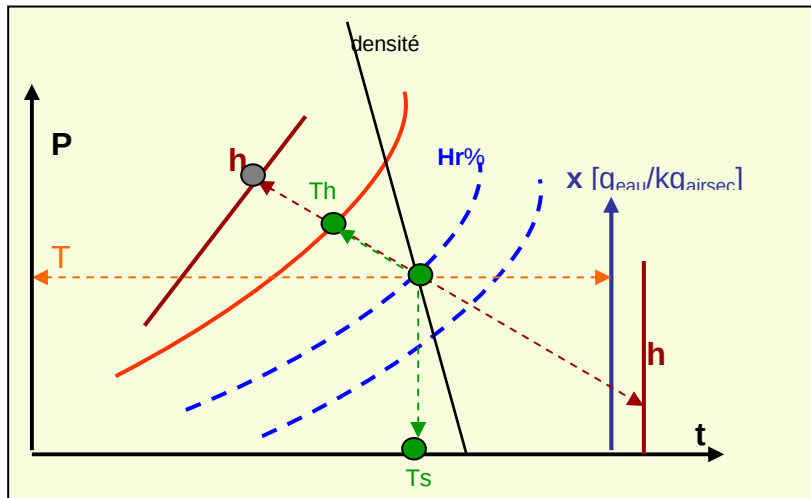
Air chaud
30°C



L'Air à proximité du verre qui est à 5°C se refroidit et ne peut plus contenir autant de vapeur d'eau qui pouvait en contenir à 30°C , HR augmente jusqu'à 100% (point de rosée) la condensation apparaît alors sur la surface extérieure du verre.



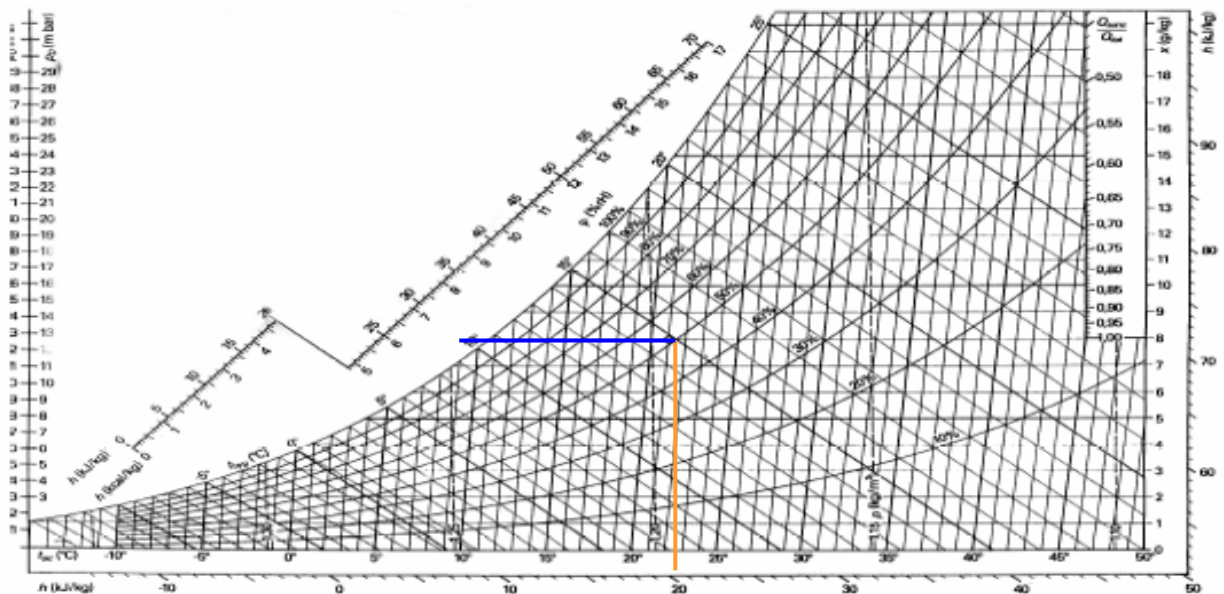
Diagramme psychrométrique



Teneur en eau : x

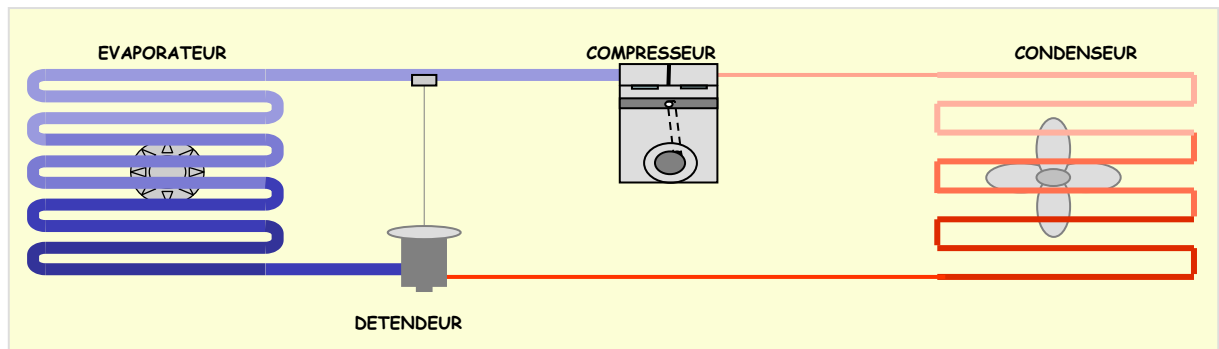
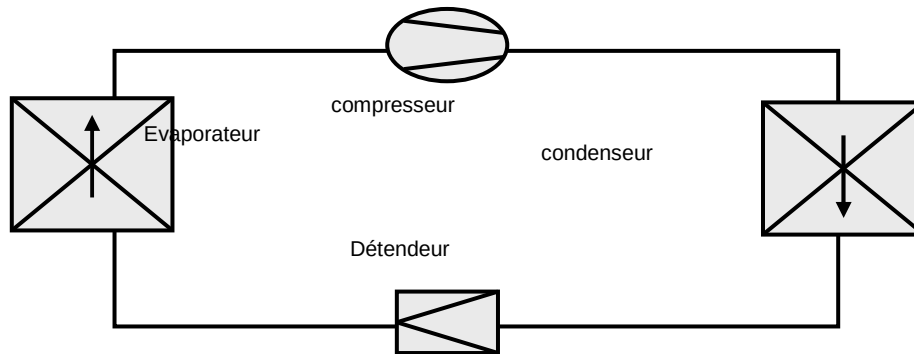
C'est la masse de vapeur d'eau contenue dans 1 kg d'air sec.
Il s'exprime en kilogramme d'eau par kilogramme d'air sec (kg d'eau/kg d'air sec).

L'humidité relative HR est l'expression de ce rapport en %.
Elle peut se lire à l'aide des courbes situées à l'intérieur du diagramme.



ÉTUDE THÉORIQUE DU SPLIT-SYSTEM

Les quatre éléments de base



Le fluide provenant du détendeur sous forme liquide et à une température inférieure à celle du local à climatiser circule dans l'évaporateur.

Au fur et à mesure de son parcours le fluide au contact de l'air chaud au travers de l'évaporateur se met en ébullition et absorbe la chaleur de l'air du local à climatiser.

A la sortie de l'évaporateur le fluide se trouve complètement à l'état vapeur, il est maintenant aspiré par le compresseur et amené à une pression plus élevée pour que la t° soit supérieure à l'air extérieur.

A présent, le compresseur refoule dans le condenseur le fluide comprimé toujours à l'état vapeur et à une plus haute t° que l'air extérieur.

Au fur et à mesure de son parcours le fluide au contact de l'air extérieur au travers du condenseur se condense et rejette la chaleur dans l'air extérieur.

A la sortie du condenseur le fluide se trouve complètement à l'état liquide, il est maintenant injecté dans le détendeur qui le ramène à la pression de départ et donc à la température de départ, le cycle peut recommencer.



Pourquoi un compresseur, un détendeur ?

Le phénomène d'évaporation qui permet d'absorber la chaleur s'effectue à une t° donnée, celle du local à refroidir, et à une pression qui permet au fluide frigorigène d'être à l'état liquide pour qu'il puisse s'évaporer au moment où il entre dans l'évaporateur.

Le raisonnement est similaire pour la condensation mais pour pouvoir condenser la température du fluide frigorigène à l'état gazeux sa température doit être supérieure à la température ambiante extérieure.

La seule manière de procéder consiste alors à comprimer les gaz à la sortie de l'évaporateur pour les amener à une t° supérieure à celle extérieure (relation t° -pression).

De manière analogue, le liquide qui se trouve à haute pression à la sortie du condenseur doit être amené à une t° inférieure (relation t° -pression), la manière de procéder consiste alors à détendre.

En résumé, le fluide frigorigène à l'état liquide et donc à basse t° traverse l'évaporateur où il s'évapore en absorbant une partie de la chaleur du local.

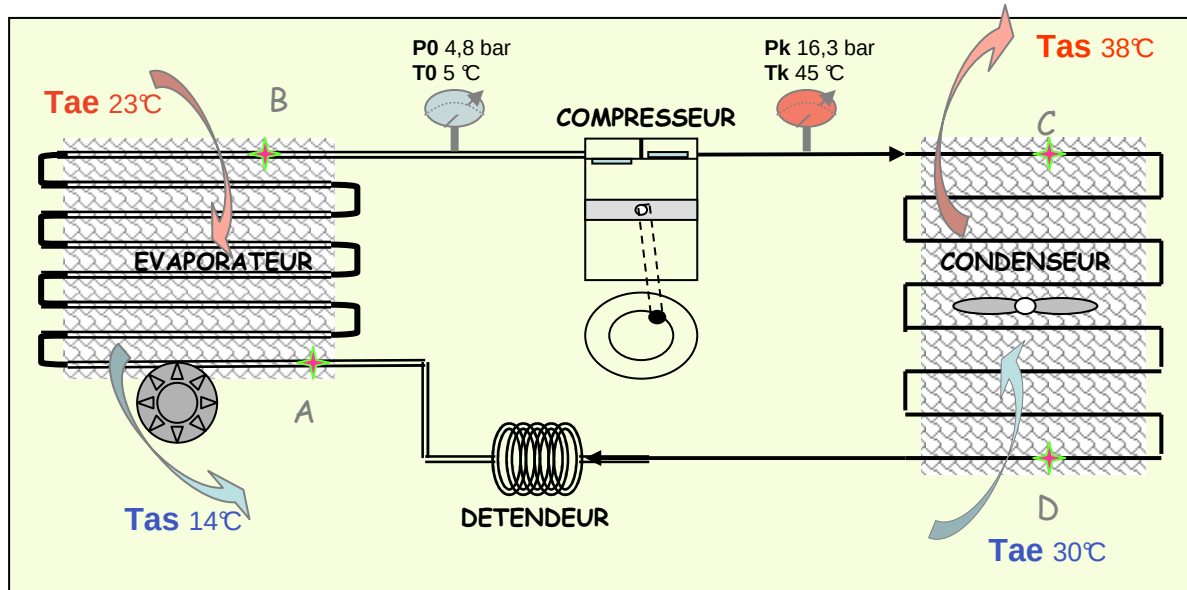
Les gaz sont alors aspirés par le compresseur et amenés à une pression et donc à une t° supérieure qui permettra ensuite la condensation et le rejet de la chaleur dans l'air extérieure.

Une climatisation peut être assimilée à un ascenseur faisant la navette entre deux étages:

1) Les personnes entrent dans la cabine à l'étage inférieur	évaporation
2) La cabine est amenée à l'étage supérieur (extérieur)	compression
3) Les personnes sortent de la cabine à l'étage supérieur	condensation
4) La cabine vide est ramenée à l'étage inférieur	détente



Processus simplifié – Exemple R22 chiffré



Tae = t° ambiante entrée, Tas = t° ambiante sortie

Le processus reste similaire à celui présenté lors de la description des 4 éléments de base d'une machine frigorifique.

Provenant du détendeur, le R22 (t° ébullition -40°C) circule dans l'évaporateur à l'état liquide et à une pression de 4,8 bars.

Le fluide à 5°C absorbe la chaleur à l'air ambiant du local à 23°C au travers de l'évaporateur.

Le processus d'évaporation prend place de la première gouttelette de liquide (A) jusqu'à la dernière (B).

A la sortie de l'évaporateur, le fluide maintenant à l'état vapeur est aspiré par le compresseur et comprimé jusqu'à 16,3 bars.

Le R22 à l'état vapeur est alors refoulé vers le condenseur.

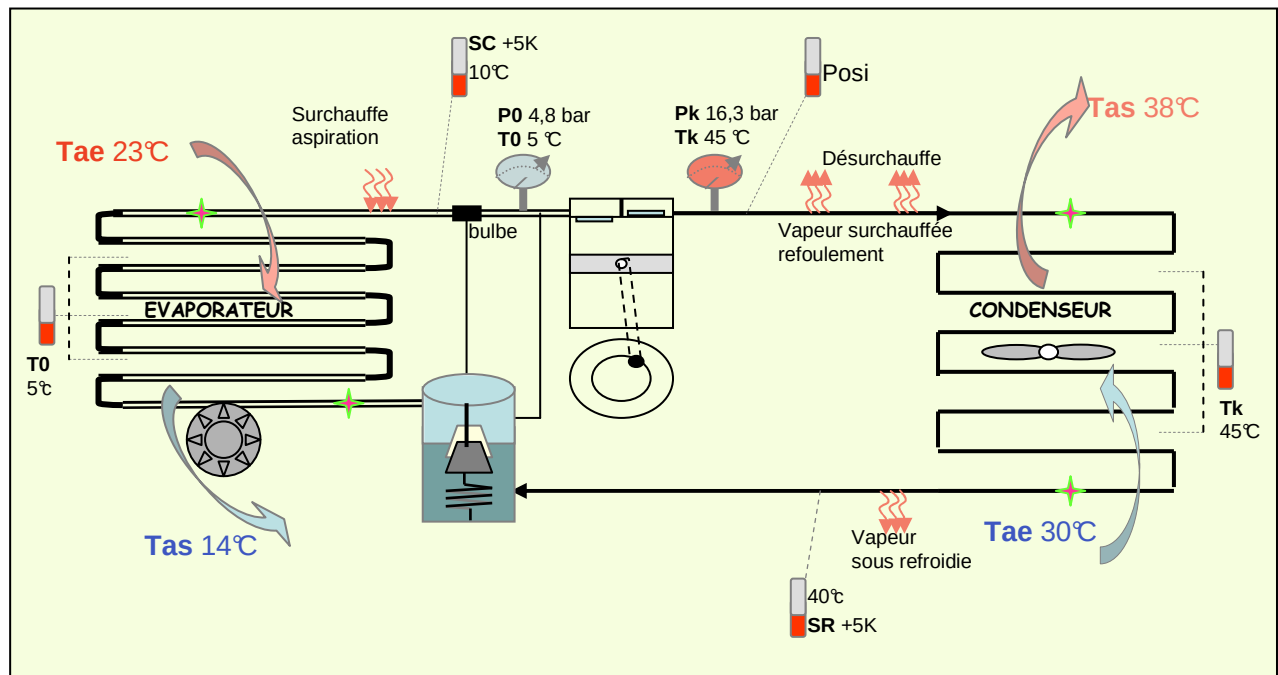
Le fluide à 45°C rejette, au travers du condenseur, la chaleur à l'air ambiant extérieur qui se trouve à 30°C.

Le processus de condensation prend place de la première gouttelette de liquide (C) jusqu'à la dernière (D).

Le fluide maintenant complètement à l'état liquide est injecté dans le détendeur dont le rôle est d'amener la pression de 16,3 bars à la pression de départ de 4,8 bars.



Processus complet – Exemple R22 chiffré



Au processus vu précédemment, il faut préciser que la t° du fluide à l'état vapeur à la sortie de l'évaporateur à 5°C continue à s'élever au travers de la tuyauterie d'aspiration du compresseur pour atteindre 10°C «*surchauffe*».

La surchauffe assure que les vapeurs aspirées par le compresseur soient exemptes de liquide synonyme de risque de destruction pour le compresseur (coup de liquide).

Par contre, au refoulement du compresseur les vapeurs surchauffées à 75°C cèdent leur chaleur au travers de la tuyauterie et jusqu'à l'entrée du condenseur «*désurchauffe*».

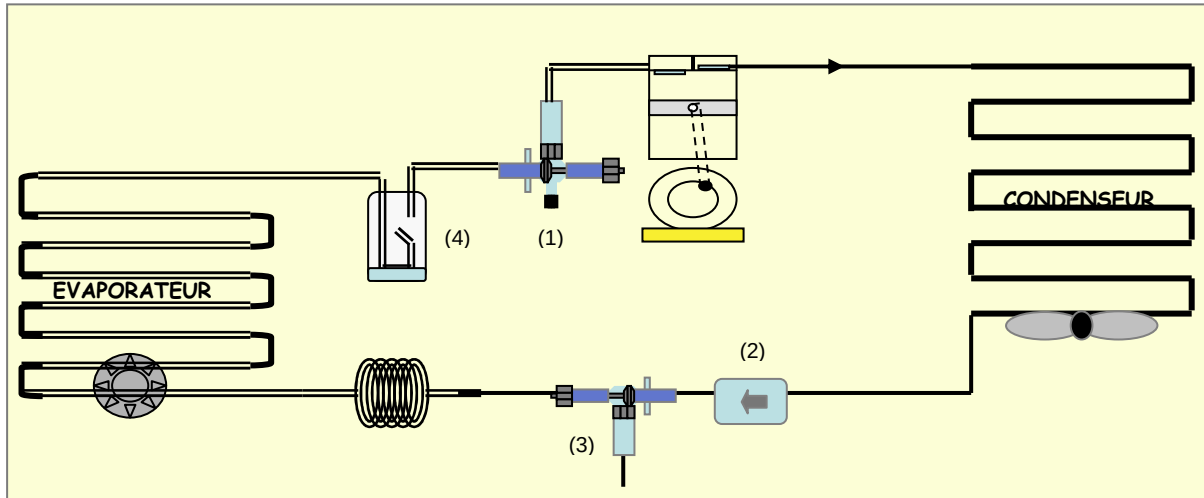
A la sortie du condenseur, le fluide à l'état liquide et à 45°C cède encore de la chaleur jusqu'à 40°C «*sous refroidissement*».

Précisons encore que le bulbe relié au détendeur permet de réguler l'injection du fluide vers l'évaporateur.

Le couple détendeur-bulbe permet de réguler le remplissage optimal de l'évaporateur pour en obtenir la puissance frigorifique maximale.



Éléments supplémentaires d'un SPLIT-SYSTEM

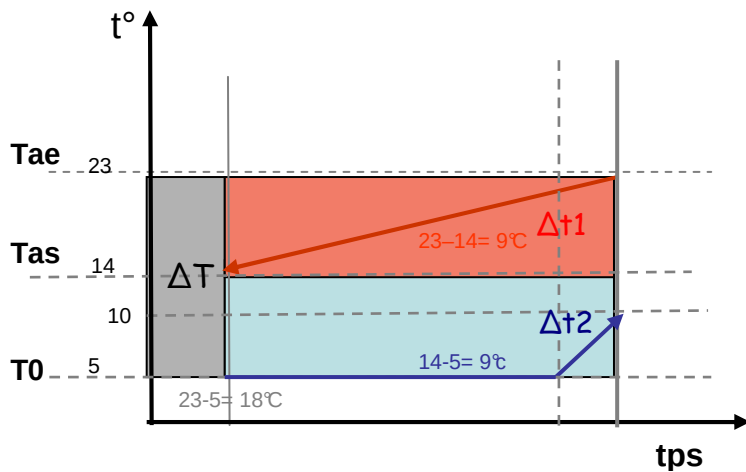
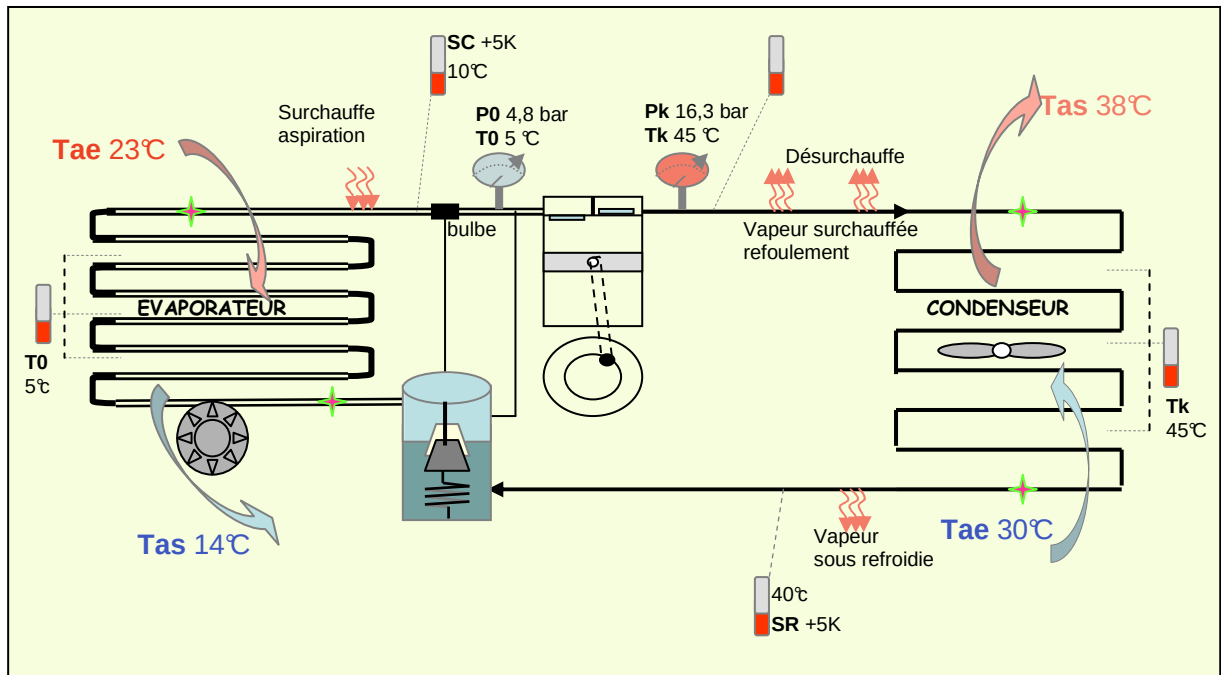


En pratique d'autres éléments s'avèrent indispensables.

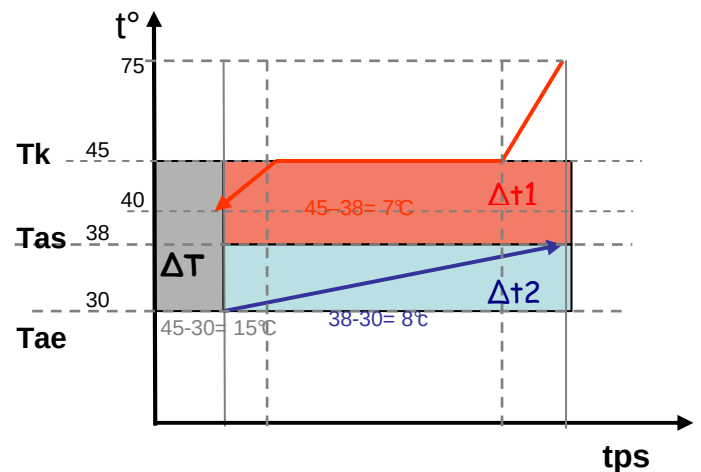
1. Vanne BP: permet d'isoler l'unité extérieure
2. Filtre-Déshydrateur: Permet de maintenir le fluide propre et sec afin d'éviter que le détendeur ne se bouche, que l'humidité mélangé à huile du compresseur ne devienne acide et perde son pouvoir lubrificateur. On détermine que le filtre n'est plus efficace si on observe entre l'entrée et la sortie une différence de $t^{\circ} > 1^{\circ}$ ou si on observe une différence de pression mise en évidence par la formation de givre (pré détente).
3. Vanne HP: Permet d'isoler l'unité intérieure
4. Anti-coup de liquide: Permet de piéger le liquide qui se trouverait encore présent à l'issue de la phase d'évaporation, liquide synonyme de danger pour le compresseur (coup de liquide)



Températures types en fonctionnement normal - ΔT



$\Delta t_1 = T_{ae} - T_{as}$	$08^\circ\text{C} \rightarrow 10^\circ\text{C}$
$\Delta t_2 = T_{as} - T_0$	$08^\circ\text{C} \rightarrow 10^\circ\text{C}$
$\Delta T = T_{ae} - T_0$	$16^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$



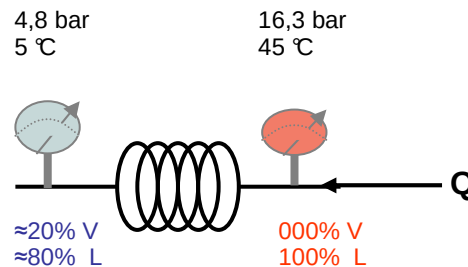
$\Delta t_1 = T_{as} - T_{ae}$	$05^\circ\text{C} \rightarrow 10^\circ\text{C}$
$\Delta t_2 = T_k - T_{as}$	$05^\circ\text{C} \rightarrow 10^\circ\text{C}$
$\Delta t = T_k - T_{ae}$	$10^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$

BP conditionné par ΔT évaporateur
HP conditionné par ΔT condenseur



Détendeur capillaire

Ce type de détendeur est très souvent utilisé en climatisation résidentielle car bon marché. Le fluide à l'état liquide et à haute pression traverse le capillaire (tuyau de petite section) à la sortie duquel il subit une détente pour être ramené à basse pression et basse température.



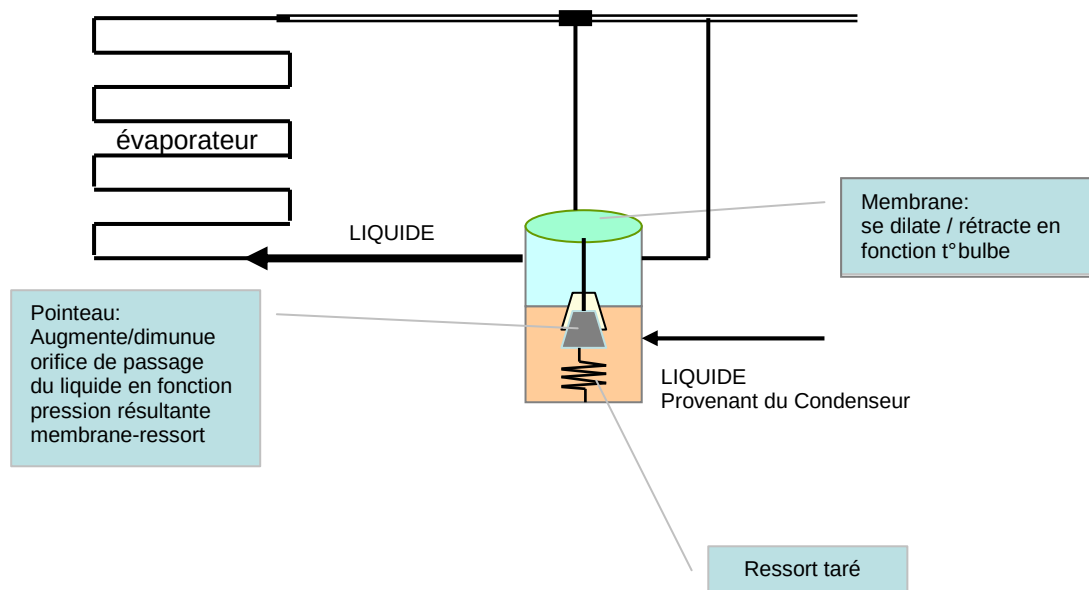
- Les caractéristiques du détendeur, longueur et diamètre, sont calculés très précisément.
- La haute pression HP est fonction de

$\Delta t_1 = T_{as} - T_{ae}$	05°C → 10°C
$\Delta T = T_k - T_{ae}$	10°C → 20°C
- Le débit est fonction des caractéristiques du capillaire et de la perte de charge qui s'y produit.
- Souvent placé dans l'unité extérieure à cause du sifflement au démarrage et à l'arrêt du compresseur.
- Comme montré dans l'exemple R22 chiffré, à l'entrée du détendeur le fluide se trouve à l'état à 100% liquide mais à la sortie il se retrouve à 80% liquide et 20% vapeur.
La vaporisation des 20% de liquide a servi à absorber les 40°C (45°C – 5°C).

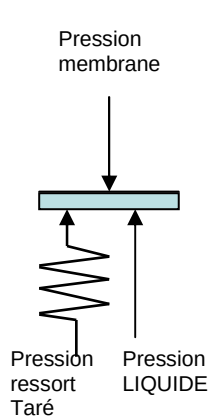
ΔHP , ΔBP et % vaporisation dépendent des conditions d'utilisation.



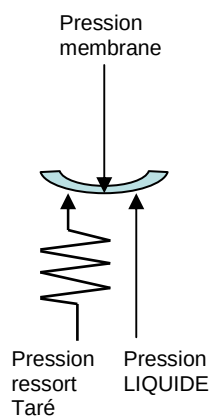
Détendeur thermostatique



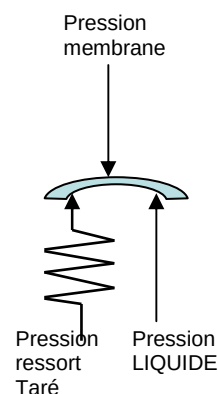
SC normale



SC >>



SC <<



Lors d'une surchauffe (SC) normale les pressions conjuguées du ressort et du liquide se contre balancent avec la pression de la membrane générée par la t° du bulbe, l'ouverture permet le remplissage de l'évaporateur de manière optimale.

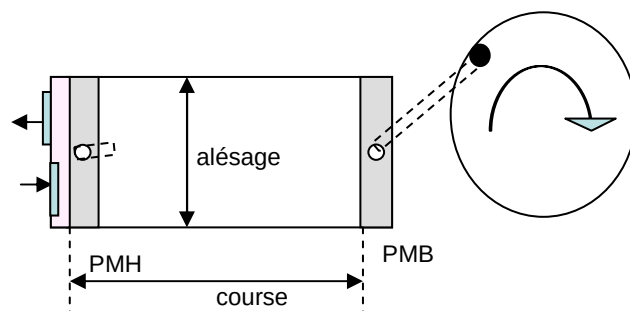
Si la SC augmente signifiant que le liquide n'est pas suffisant, la pression de la membrane est plus grande, appuie plus sur le pointeau et permet une ouverture plus grande et donc plus de liquide.

Si la SC diminue, raisonnement inverse.

Voilà donc comment le couple bulbe-détendeur régule le remplissage optimal de l'évaporateur.



Notions de compresseur – termes et formules

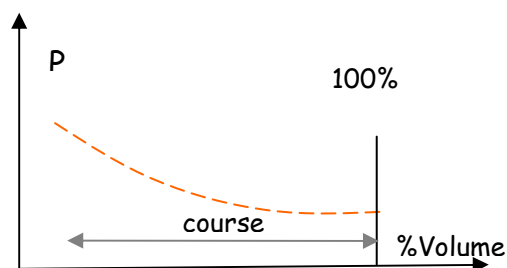


$$C = (\pi \cdot D^2) / 4 * L * n$$

C cylindrée [cm³]
D alésage
L course
N nombre de cylindre

$$Vb = 60 * C * N / 10^6$$

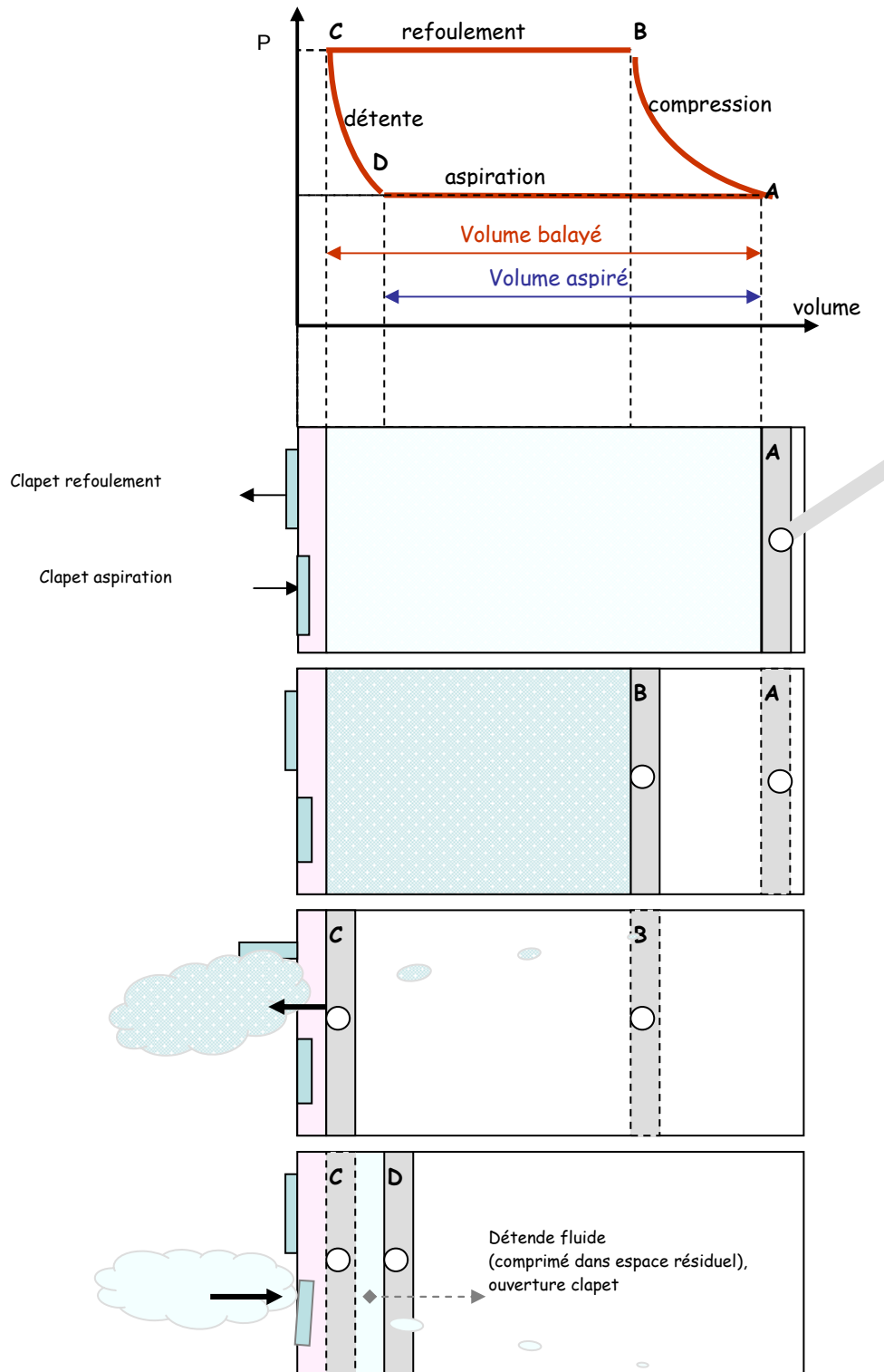
Vb volume balayé [m³/h]
C cm³
N tours/minute



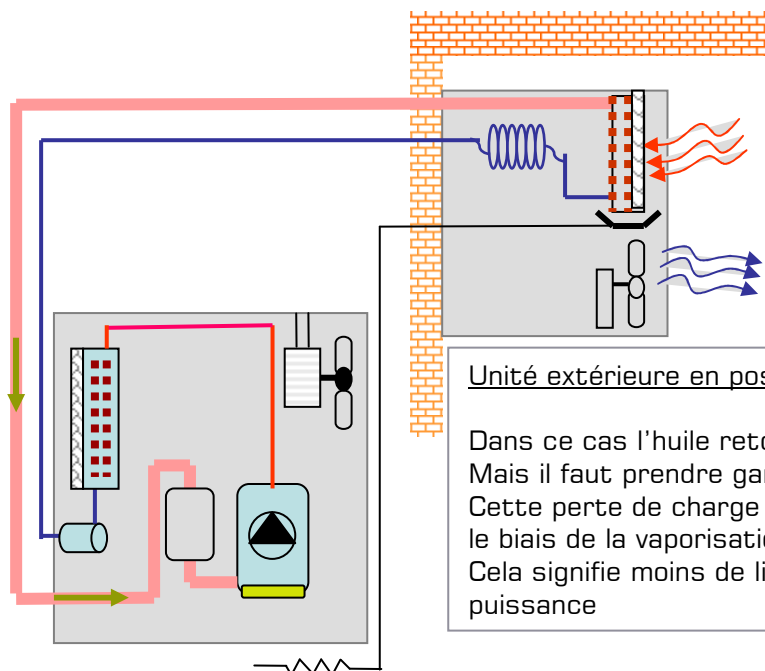
Notions compresseur – Représentation des temps

Rendement volumétrique

$$\eta_v = \text{volume aspiré} / \text{volume balayé}$$

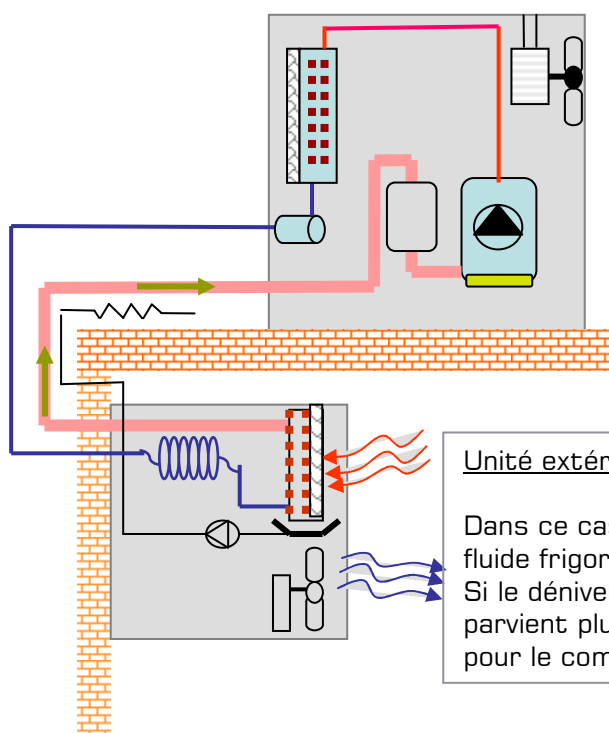


Huile du carter - Retour



Unité extérieure en position plus basse que l'unité intérieure.

Dans ce cas l'huile retourne au compresseur par gravité. Mais il faut prendre garde au dénivelé de la tuyauterie liquide. Cette perte de charge peut provoquer une pré-détente par le biais de la vaporisation du fluide. Cela signifie moins de liquide à l'évaporateur, donc perte de puissance



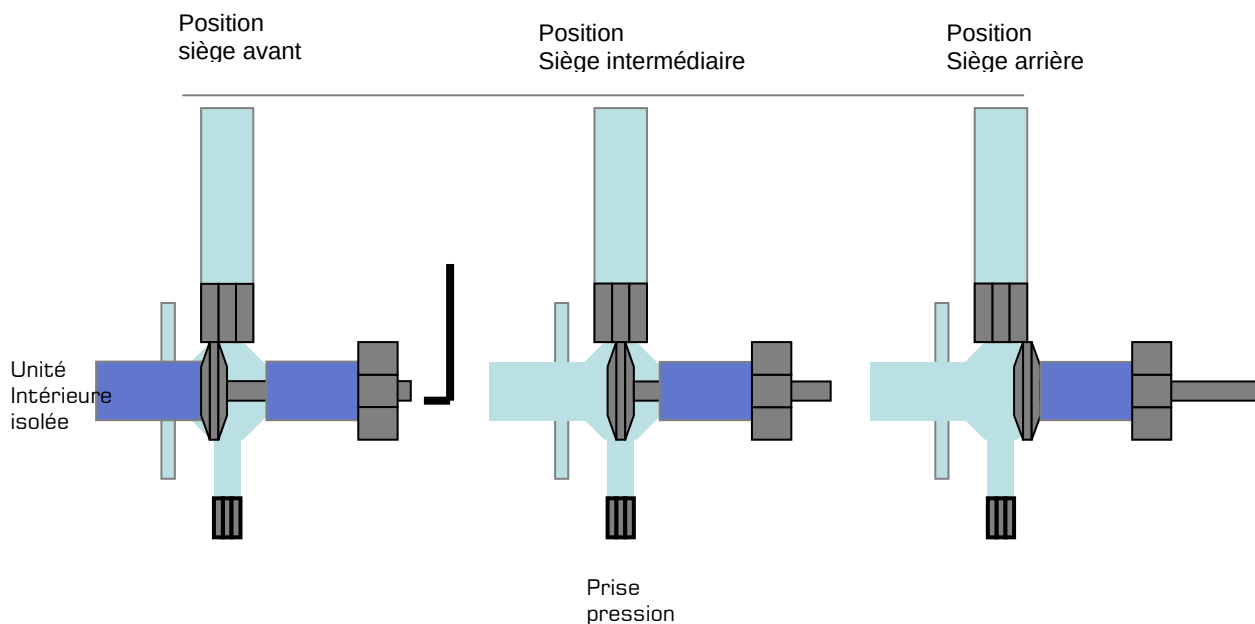
Unité extérieure en position plus haute que l'unité intérieure

Dans ce cas l'huile est aspirée par la vitesse des vapeurs du fluide frigorigène (jusque +/- 5m/sec)
Si le dénivelé entre les unités est trop important l'huile ne parvient plus à remonter et retombe par gravité, donc risque pour le compresseur.



Vanne de service

Si on veut procéder à certaines opérations telles que le tirage au vide, la charge en fluide, etc. ..., en bref si on désire isoler certaines parties de l'installation il est important de comprendre le fonctionnement de cette vanne.

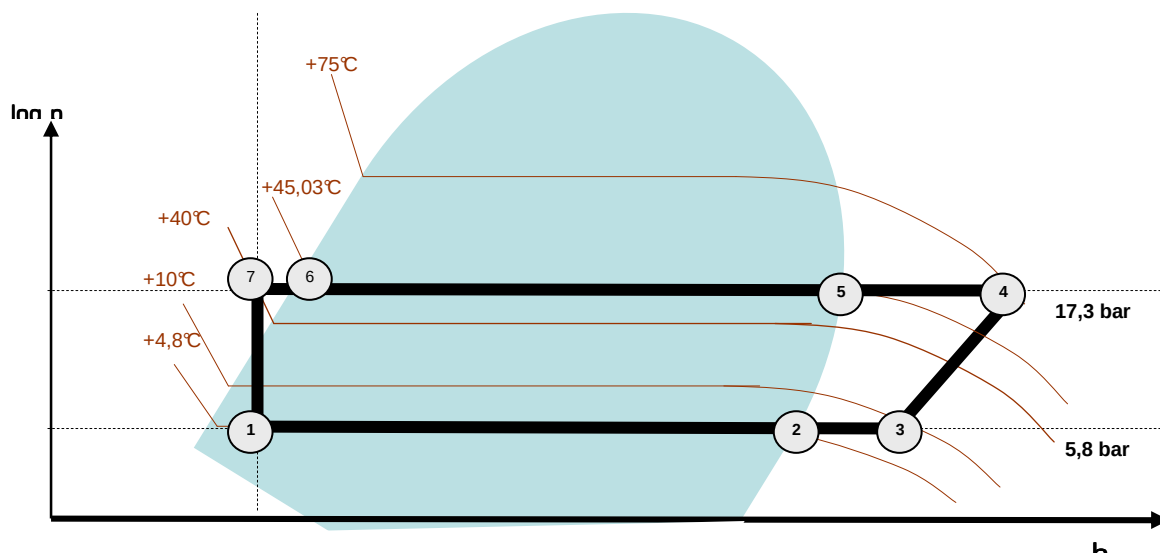


Exemples de pannes et symptômes

Pré-détente, symptômes • SC trop élevée • Puissance frigorifique trop faible • BP trop faible • ΔT anormal sur ligne liquide	Pré-détente, exemples • Vanne liquide étranglée • Dénivelé trop important • Ligne liquide traverse endroit chaud • Filtre déshydrateur colmaté
Détendeur trop petit, symptômes • SC trop élevée • BP trop faible	Détendeur trop petit, exemples • Capillaire partiellement colmaté ou écrasé • Capillaire mal dimensionné
Manque de fluide, symptômes • SR trop faible • SC trop élevée • BP trop faible	Manque de fluide, exemples • Fuite • Charge trop faible
Evaporateur trop petit, Symptômes • SC faible • BP trop faible	Evaporateur trop petit, exemples • Filtres encrassés • Tubes et ailettes encrassés • Problème ventilo • Recyclage air non réalisé
Condenseur trop petit, Symptômes • SR faible • HR trop élevée	Condenseur trop petit, exemples • Tubes et ailettes encrassés • Emplacement mal choisi • Ventilo tourne à l'envers • Prise d'air entre condenseur et ventilo • Il y a recyclage d'air chaud au
Compresseur trop petit, symptômes • BP trop élevé • HP trop faible	
Excès de charge, symptômes • SR trop élevé et absence d'incondensable • HP trop élevée	
Incondensable, symptômes • SR trop élevé et présence d'incondensable • HP trop élevée	



Résultat THERMOPHASE de l'exemple chiffré R22



Pt	ETAT	T	P	V	H	S	U	X
1	LIQVAP	4.80	5.799.996	0.000000	249.657	11.786	244.153	0.219
2	ROSEE	4.80	5.799.997	0.040612	407.061	17.449	383.506	1.000
3	VAPEUR	10.00	5.799.999	0.041763	410.910	17.586	386.687	1.000
4	VAPEUR	75.00	17.299.998	0.016118	445.177	17.768	417.293	1.000
5	ROSEE	45.03	17.299.989	0.013276	417.301	16.930	394.334	1.000
6	EBULLITION	45.03	17.299.989	0.000902	256.429	11.874	254.869	0.000
7	LIQUIDE	40.00	17.300.000	0.000884	249.657	11.665	248.302	0.000

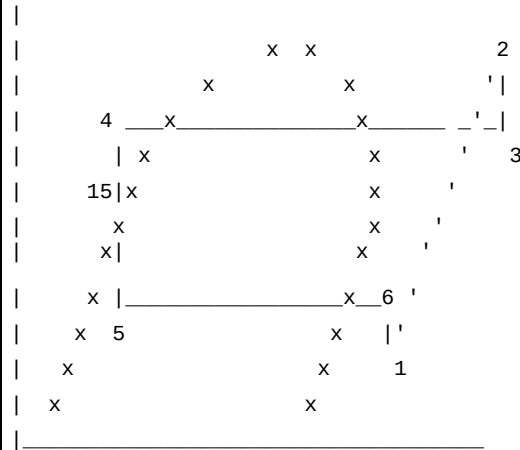


Résultat COOLPACK de l'exemple chiffré R22

R22 / T₀=5°C / T_k=45°C / SR 5 °K / SR 5 °K

Réfrigérant: R22

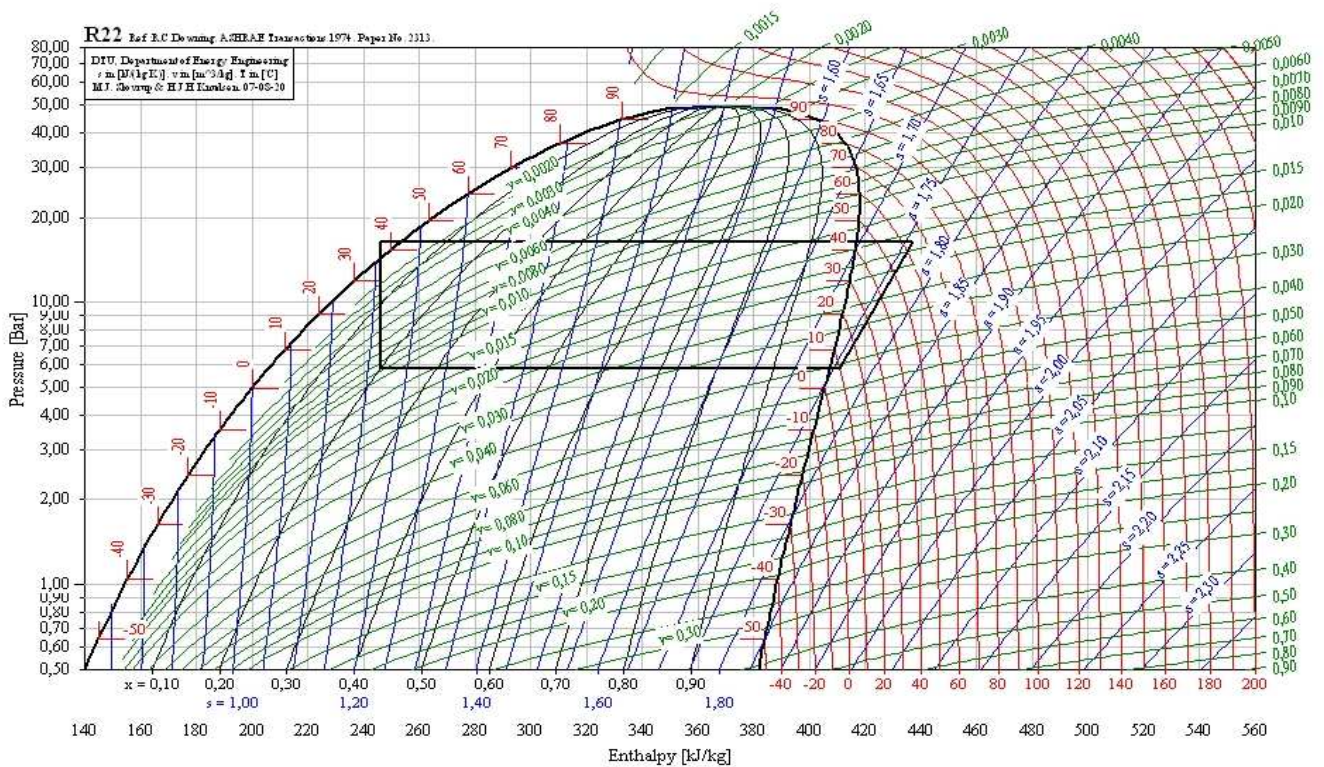
Values at points 1-6,15 for the selected one stage cycle



Pt	T [°C]	P [bar]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kgK)]
1	9,999	5,838	0,041464	410,860	1,7579
2	67,618	17,290	0,015492	438,643	1,7579
3	67,618	17,290	0,015492	438,643	1,7579
4	40,000	17,290	N/A	249,674	N/A
5	N/A	5,838	N/A	249,674	N/A
6	10,000	5,838	0,041461	410,860	1,7579
15	N/A	17,290	N/A	249,674	N/A

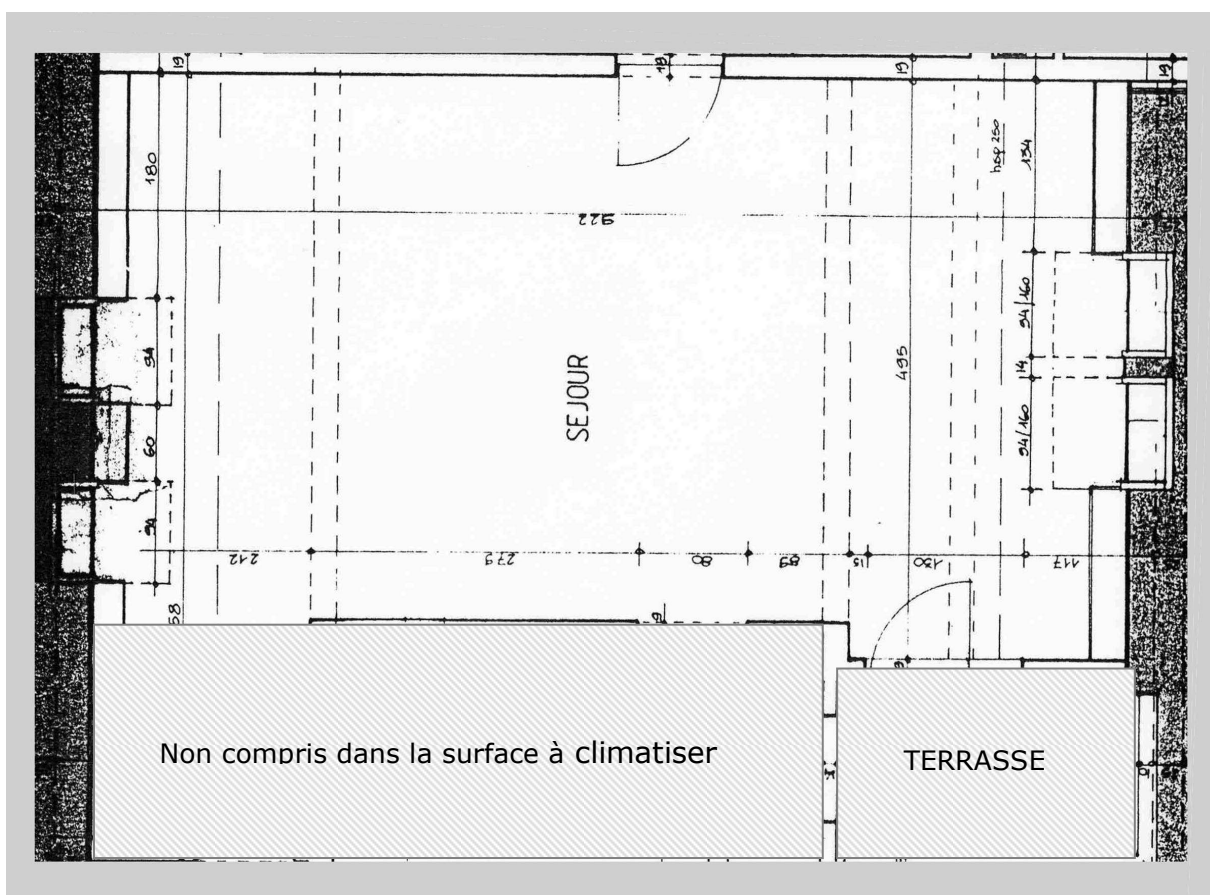
Data:

Te [°C]	= 5,00
Tc [°C]	= 45
DT subcooling [K]	= 5,00
DT superheat [K]	= 5,00
Dp condenser [Bar]	= 0,00
Dp liquid line [Bar]	= 0,00
Dp evaporator [Bar]	= 0,00
Dp suction line [Bar]	= 0,00
Dp discharge line [Bar]	= 0,00
Isentropic efficiency	= 0,70



DESCRIPTION DU SPLIT-SYSTEM INSTALLÉ

Local à climatiser



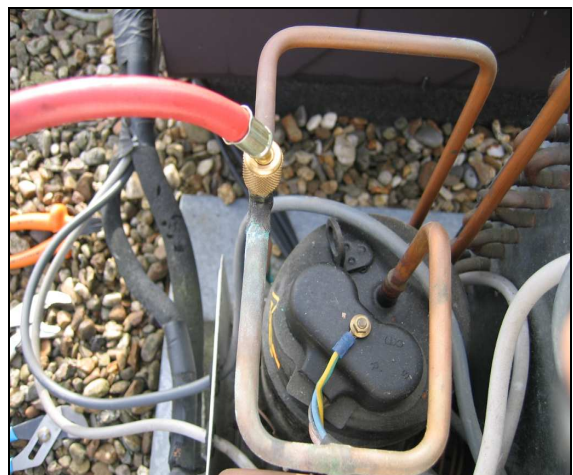
Vues des éléments installés.



INSTRUMENTATION ET ACQUISITION DES DONNÉES

Pose manomètres

- Mettre les gants
- Vérifier que la vanne est en siège arrière
- Dévisser le capuchon sans perdre le joint d'étanchéité
- Raccorder le flexible
- Tout en appuyant sur le percuteur de façon à éviter la perte de fluide, visser d'un coup
- Attention, raccord « coudé » sur installation
- Ramener la vanne en siège intermédiaire
- Lire les pressions & températures correspondantes.
- Refermer capot avant de mettre en fonctionnement



Relevé des pressions et températures induites

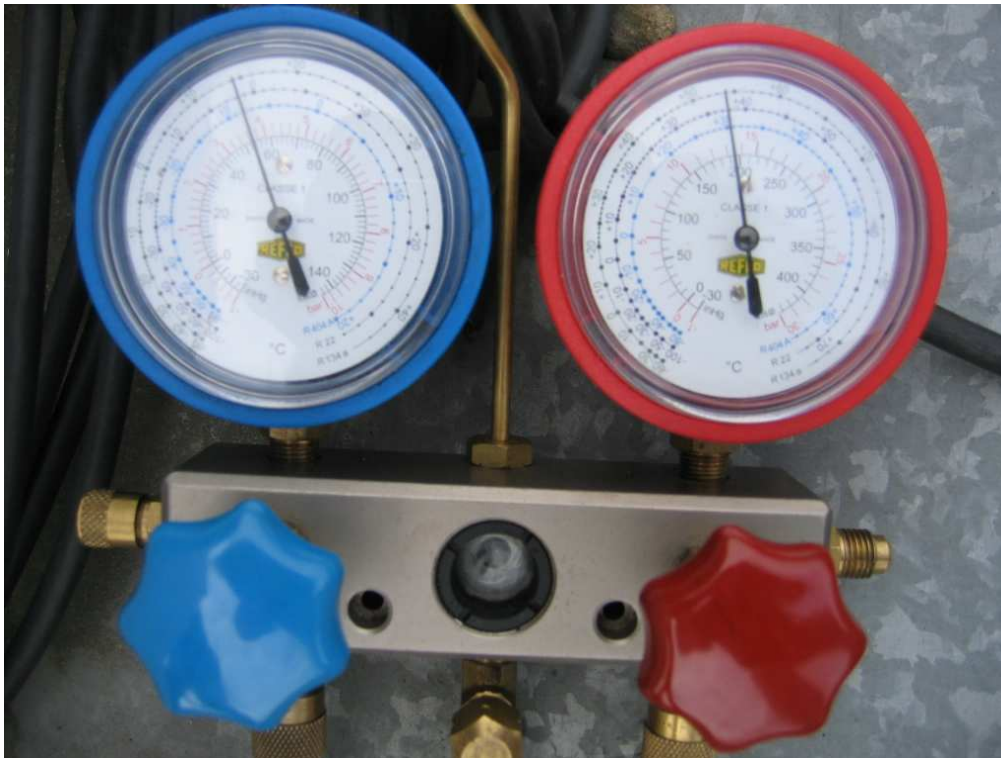
Pressions en fonctionnement

BP 3,5 bars → 3,8 bars

HP 12,8 bars → 13,2 bars

T° ambiante extérieure 16°C

T° air condenseur à l'entrée 10°C, sortie 27°C



Vidange de l'installation

- ☐ Vidange de l'installation via un groupe de transfert composé de condenseur, compresseur, vannes, purificateur d'huile
- ☐ Le fluide frigorigène est stocké dans une bouteille spéciale (cylindre) obtenues auprès du collecteur agréé (caution de 250 € par bouteille) seul autorisé à se déplacer avec du CFC (sauf en Flandre).
- ☐ Le fluide est ensuite analysé, la destruction ou le recyclage sera facturé



Tirage au vide

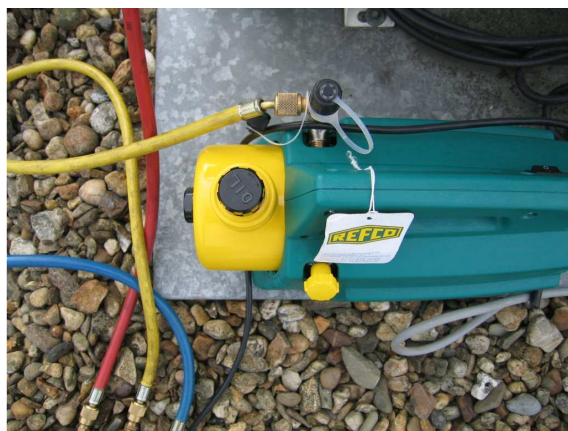
On peut vider l'installation par la HP ou par la BP

Si on vide par la HP c'est plus rapide cependant, il y a une légère perte d'huile au fluide, visualisé par une légère fumée s'échappant de la machine à faire le vide.

Si on vide par la BP, on est en phase liquide donc pas de perte d'huile mais c'est plus long

Rq. une bouteille de fluide d'un litre en phase liquide atteint 33 fois son volume en phase gazeuse.

- Fermer les 2 vannes de service (siège avant)
- Raccorder flexible BP
- Fermer vanne HP & ouvrir celle BP
- Manomètre BP = 0 bar (Patm)
- Raccorder flexible de service sur pompe à vide
- Mettre en route la pompe
- Vérifier que BP diminue
- Laisser tirer au vide
- Fermer vanne BP et arrêter la pompe
- Vérifier si la pression BP remonte alors circuit pas étanche
- Mettre les vannes de service en siège arrière
- attendre 1' que BP et HP s'égalisent
- Démonteur flexible BP (dévisser en poussant puis dégager et remettre capuchon)

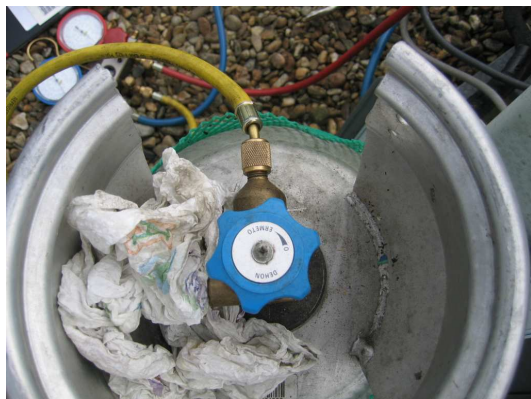


Remplissage

- Peser la bouteille de gaz
- Raccorder le tuyau jaune sur la bouteille
- Purger l'air du tuyau jaune
- Charger en BP (phase L)
- Poids bouteille 19176 Kg
- Masse à charger 1,5 Kg
-

Rq. Charger 50g supplémentaires puisqu'on prévoit de rebrancher plusieurs fois les manos pour réaliser la collecte des données

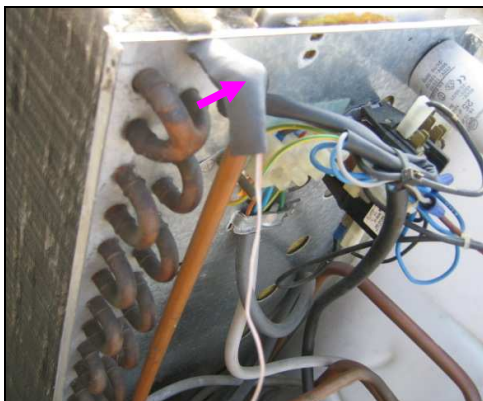




Poses des thermocouples

Une fois la nouvelle charge de fluide injectée et avant de procéder à l'enregistrement des données (DATALOGGING) il faut effectuer la pose de thermocouples qui seront reliés au datalogger et réaliser la programmation de celui-ci.

Rq. Le datalogger à disposition ne disposant que de 6 canaux il a fallu sélectionner les points de mesures les plus adéquats sur l'installation.



Localisation éléments et thermocouples sur la machine

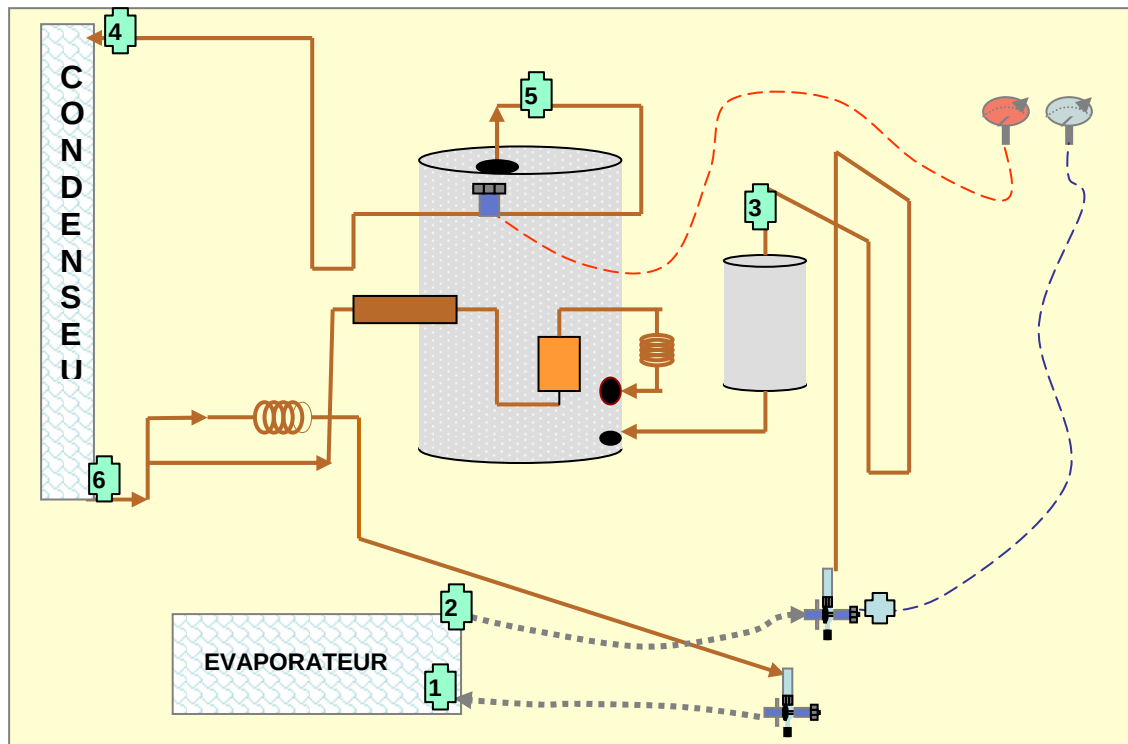
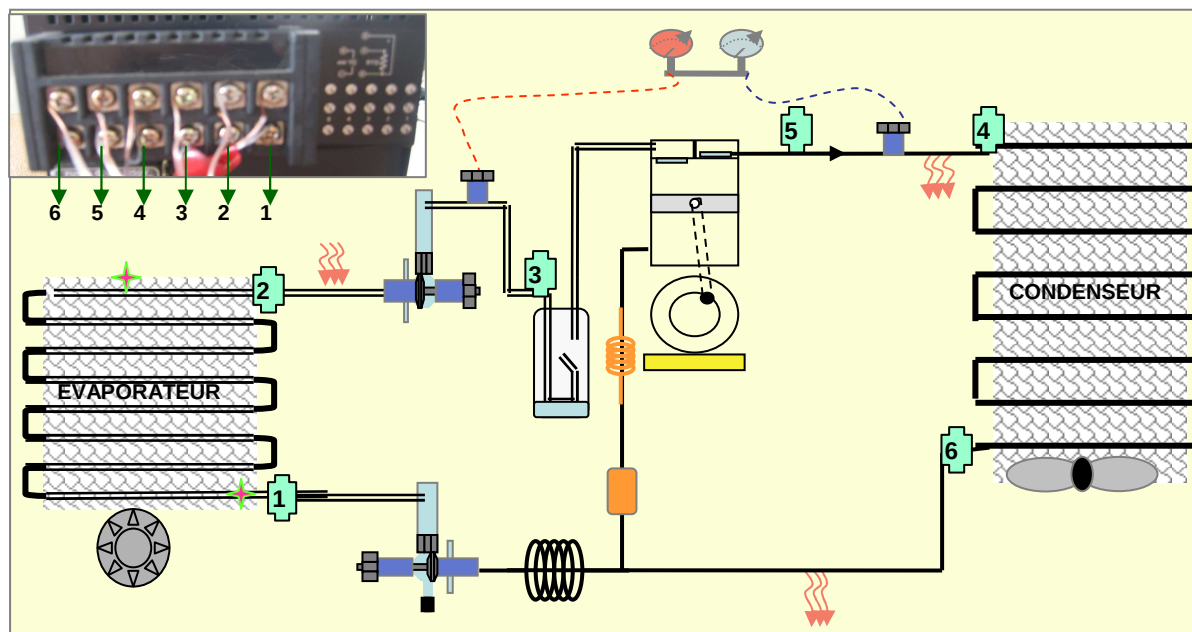
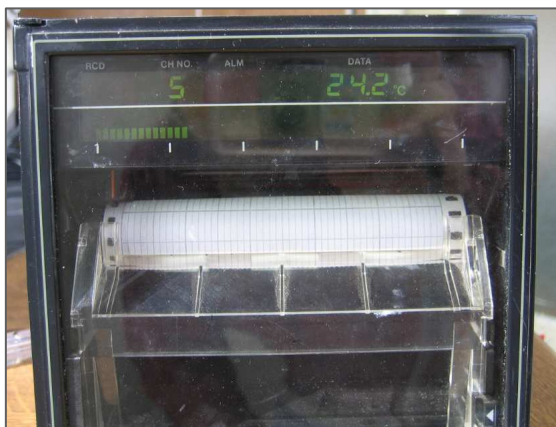


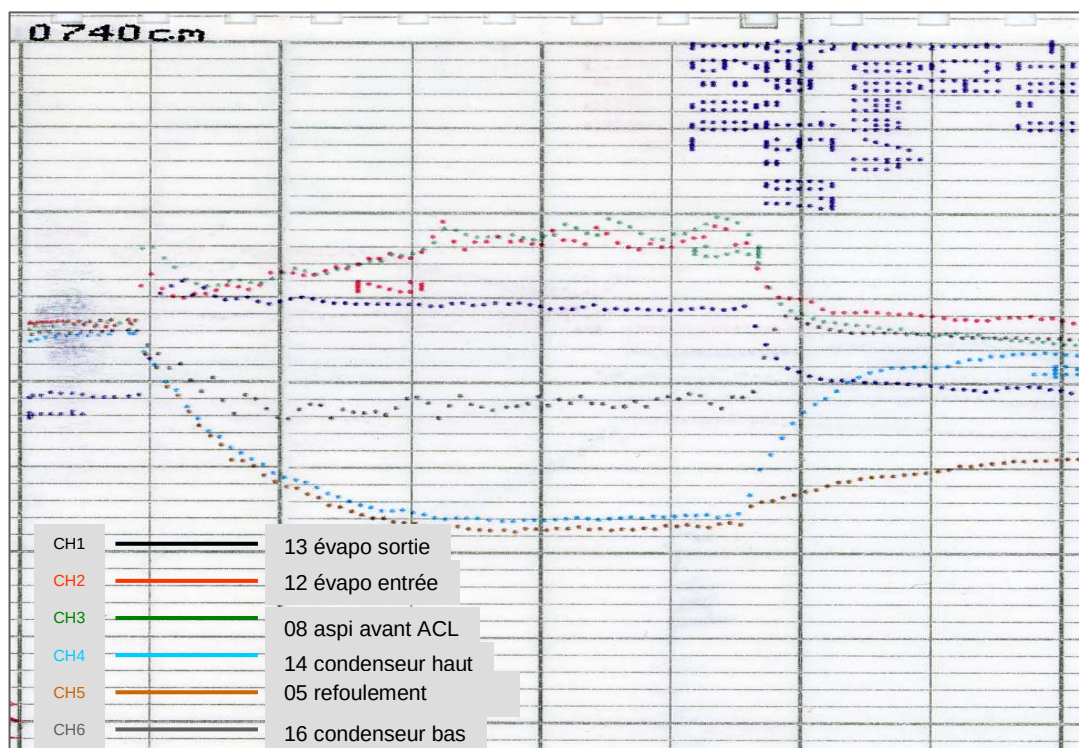
Schéma de principe de l'installation



Programmation du DATALOGGER YOKOGAWA



Résultats graphique DATALOGGER



Programmation du TESTO 560

Les MANIFOLDs conventionnels sont remplacés par le TESTO 560 afin d'effectuer également des relevés de pressions.

Il sera programmé pour effectuer des mesures toutes les 30 sec.



testo 560

Date: testo 560 Options Fenêtre Fin Aide

Informations clients: <pas de client sélectionné>

Informations appareil: TESTO

Transférer à: Paolo

Valeurs clients Données sources Valeurs Utilisation

aperçu des valeurs

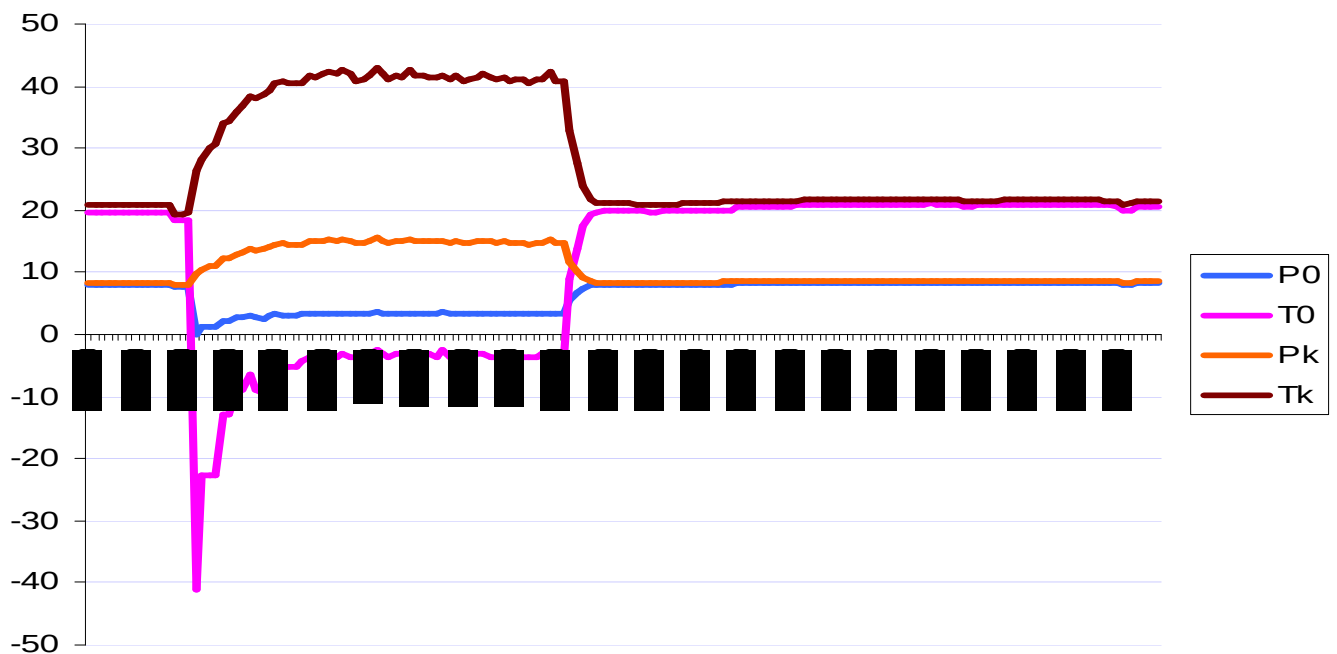
Client	Description	Installation	Description	Pressions	Température	Sur-chauffe (bleu)
					4/09/2007	
					4/09/2007	
					4/09/2007	
-001		-01			6/09/2007	
-199		-99			6/09/2007	
-004		-01			6/09/2007	
					6/09/2007	
-199		-99			6/09/2007	
					6/09/2007	
-002		-01		3/03/2007		
				17/03/2007	17/03/2007	
-003		-01			17/03/2007	
-004		-01		26/03/2007	26/03/2007	
-005		-01			16/04/2007	
		-02			16/04/2007	
-006		-01		5/05/2007		5/05/2007
		-02		18/05/2007		
-008		-01		25/05/2007		
-009		-01		26/05/2007		
				2/06/2007		
-010		-10		7/06/2007		
-012		-01		9/06/2007		
				9/06/2007		
-013		-01		11/06/2007		
-200		-01		18/08/2007		
-199		-99				
-012		-11			4/09/2007	
-199		-99		4/09/2007	4/09/2007	
				4/09/2007	4/09/2007	
-001		-01		6/09/2007	6/09/2007	
-004		-01		6/09/2007	6/09/2007	
				6/09/2007	6/09/2007	
-199		-99			6/09/2007	
					6/09/2007	
		-01		13/09/2007		
-198		-01		15/09/2007		



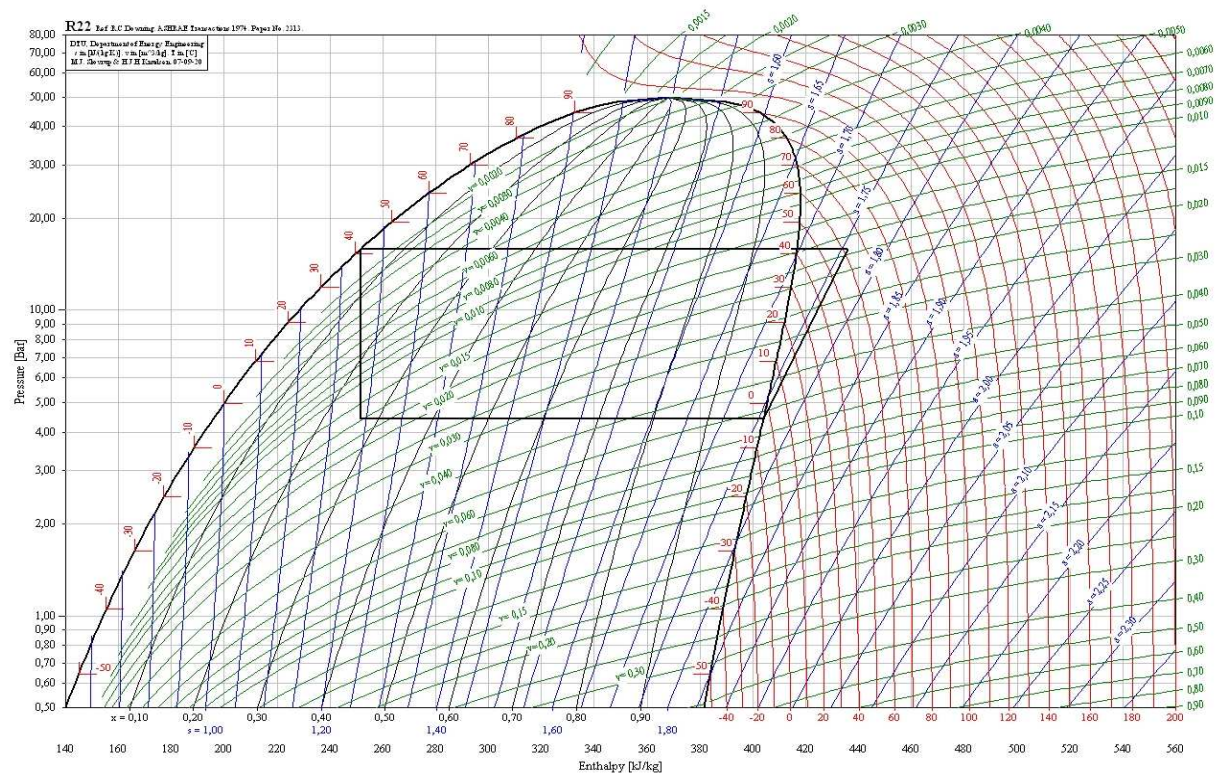
Résultats collecte TESTO 560 (extrait)

15/09/200		R2	Relat	P	TO	Pk	Tk
	15:55:3			8	19,	8,3	20,
	15:56:0			8	19,	8,3	20,
	15:56:3			7,	18,	7,9	19,
	15:57:0			7,	18,	7,9	19,
	15:57:3			7,	18,	8	19,
	15:58:0			0	-41	9,8	26,
	15:58:3			1,	-	10,	28,
	15:59:0			1,	-	10,	30
	15:59:3			1,	-	11,	30,
	16:00:0			2,	-	12,	34
	16:00:3			2,	-	12,	34,
	16:01:0			2,	-8,8	12,	36
	16:01:3			2,	-8,8	13,	36,
	16:02:0			3	-6,5	13,	38,
	16:02:3			2,	-8,8	13,	38
	16:03:0			2,	-9,5	13,	38,
	16:03:3			3,	-5,1	14,	39,
	16:04:0			3,	-4,4	14,	40,
	16:04:3			3,	-5,1	14,	40,
	16:05:0			3,	-5,1	14,	40,
	16:05:3			3,	-5,1	14,	40,
	16:06:0			3,	-4,4	14,	40,
	16:06:3			3,	-3,7	15	41,
	16:07:0			3,	-4,4	14,	41,

16:07:30			3,4	-3,7	15,1	42
16:08:00			3,4	-3,7	15,2	42,3
16:08:30			3,4	-3,7	15,1	42
16:09:00			3,5	-3	15,3	42,5
16:09:30			3,4	-3,7	15,1	42
16:10:00			3,4	-3,7	14,6	40,7
16:10:30			3,5	-3	14,7	41
16:11:00			3,5	-3	15	41,8
16:11:30			3,6	-2,4	15,5	43
16:12:00			3,5	-3	15,1	42
16:12:30			3,4	-3,7	14,7	41
16:13:00			3,5	-3	15	41,8
16:13:30			3,5	-3	14,9	41,5
16:14:00			3,5	-3	15,3	42,5
16:14:30			3,5	-3	15	41,8
16:15:00			3,5	-3	15	41,8
16:15:30			3,5	-3	14,9	41,5
16:16:00			3,4	-3,7	14,9	41,5
16:16:30			3,6	-2,4	15	41,8
16:17:00			3,4	-3,7	14,7	41
16:17:30			3,5	-3	15	41,8
16:18:00			3,3	-4,4	14,6	40,7
16:18:30			3,5	-3	14,8	41,2
16:19:00			3,5	-3	14,9	41,5
16:19:30			3,5	-3	15,1	42



Résultats COOLPACK TESTO 560 (les moyennes des pressions)

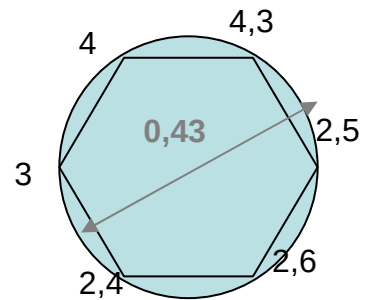


Bilan sur l'air, Mesures anémomètre

Sortie condenseur 10°C



Relevés anémomètre



$$\text{Vitesse} = \frac{(4,3 + 2,5 + 2,6 + 2,4 + 3 + 4)}{6} = 3,13 \text{ m/s}$$

$$\text{Surface} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 * 0,43^2}{4} = 0,145 \text{ m}^2$$

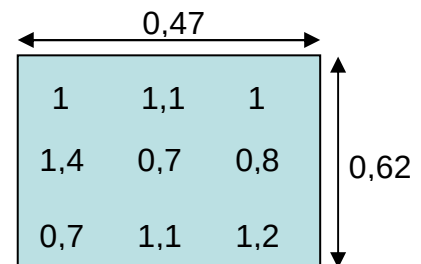
$$\text{Débit} = \text{Vitesse} * \text{Surface} * 3600$$

$$Q_v = 3,13 * 0,145 * 3600 = 1633,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

Entrée condenseur 27°C



Relevés anémomètre



$$\text{Vitesse} = \frac{(1 + 1,1 + 1 + 1,4 + 0,7 + 0,8 + 0,7 + 1,1 + 1,2)}{9} = 1$$

$$\text{Surface} = 0,47 * 0,62 = 0,29 \text{ m}^2$$

$$\text{Débit} = \text{Vitesse} * \text{Surface} * 3600$$

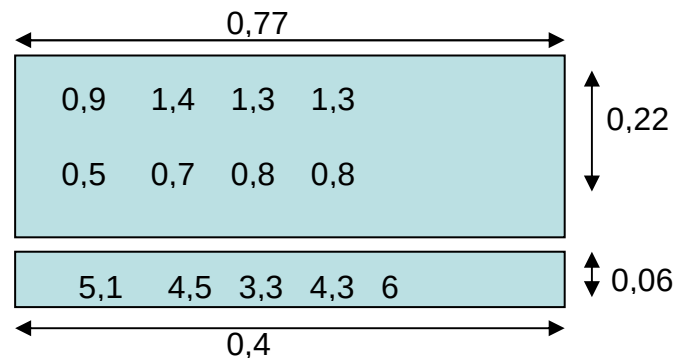
$$Q_v = 1 * 0,29 * 3600 = 1044 \text{ m}^3/\text{h}$$



Evaporateur



Relevés anémomètre



Entrée évaporateur 16,5°C

$$\text{Vitesse} = \frac{(0,9+1,4+1,3+1,3+0,5+0,7+0,8+0,8)}{8} = 0,96 \text{ m/s}$$

$$\text{Surface} = 0,77 * 0,22 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$\text{Débit} = \text{Vitesse} * \text{Surface} * 3600$$

$$Q_v = 0,96 * 0,16 * 3600 = 553 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sortie évaporateur 9°C

$$\text{Vitesse} = \frac{(5,1+4,5+3,3+4,3+6)}{5} = 4,64 \text{ m/s}$$

$$\text{Surface} = 0,06 * 0,4 = 0,024 \text{ m}^2$$

$$\text{Débit} = \text{Vitesse} * \text{Surface} * 3600$$

$$Q_v = 4,64 * 0,024 * 3600 = 401 \text{ m}^3/\text{h}$$



CONCLUSION

Le projet m'a permis de faire la synthèse théorique et de comprendre la nécessité de certaines notions.

Il m'a permis également de mettre en pratique des points tels que :

- Le branchement et utilisation d'instruments aussi divers que les manifold, les TESTOs, détecteur de fuite, DATALOGGER, thermocouples, ...
- L'acquisition de données et leur interprétation.
- Exploitation des logiciels attachés au TESTO560, TESTO175.

En outre, ce projet me motivera à ne pas en douter à effectuer les interventions par moi-même, ce qui me contraindra à garder la matière abordée à l'esprit plutôt qu'elle ne se volatilise avec le temps.

Dans le futur, j'envisage de mettre en pratique ce qui avait été envisagée au départ, à savoir l'achat de DATALOGGER numérique (pression et température) implanté à demeure de manière à faire un « monitoring » à la demande ou en cas de soucis.



ANNEXES



Evaluation rapide de la puissance frigorifique

(1) Ne prendre que la paroi où l'apport par ensoleillement est le plus élevé

CALCULS		
Surface	Coefficients	Puissance

1. RAYONNEMENT DU SOLEIL (1)		
1.1. Fenêtres		
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
1.2. Murs exposés au soleil		
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=

2. TRANSMISSIONS		
2.1. Fenêtres		
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
m² x		=
2.2. Murs		
m² x		=
m² x		=
m² x		=

TABLEAU COEFFICIENTS			
1. ENSOLEILLEMENT			
1.1. Fenêtres	Protection		
Orientation	aucune	intérieure	extérieure
N.O.	240	120	50
O.	420	225	90
S.O.	290	145	70
S.	130	80	40
S.E.	105	70	35
E.	130	80	35
N.E.	80	50	35
Coupoles	400	220	85
1.2. Murs exposés au soleil			
selon construction/isolation			30 à 50
2. TRANSMISSIONS			
2.1. Fenêtres			30
2.2. Murs			
non exposés au soleil ou intérieurs			8
2.3. PLafonds			
sous local non climatisé			6
sous grenier sans isolation			24
sous grenier avec isolat. 5 cm			14
sous toit plat/terrace sans isolat.			52
sous toit plat/terrace isolat. 5 cm			18
2.4. PLanchers			
sur cave/terre-plein			0
sur locaux et halls non climatisés			7
3. RENOUVELLEMENTS D'AIR			
volume local (1 renouvellement/heure)			6
4. APPORTS INTERIEURS			
nombre de personnes présentes			x 150
éclairage pendant heures chaudes			x 1
TL pendant heures chaudes			x 1,25
machines électriques			x 1
nombre de p.c.			x 170

3. RENOUVELLEMENTS D'AIR		
m³ x		=
4. APPORTS INTERIEURS		
		=
		=
		=
		=
		=
		=



Caractéristiques techniques de l'installation

marque: ROCA			
N° fabrication: 3389692732s/146			
modèle: DFO-461-21/A			
Réfrigérant	R22	1,500 kg	
Puissance absorbée	1670		W
Puissance frigorifique	4150		W

Pressions	HP	BP	
Pression de service nominale	21	10,5	kg/cm ²
Pression de service max	28,12	10,5	kg/cm ²
pression "timbre"	28,12	10,5	kg/cm ²
pression "tarée vanne sécurité"	28,12	21	kg/cm ²
pression réalisée	31	15	kg/cm ²
déconnexion du limiteur de pression	23,5		kg/cm ²

Pression de service nominale	20,60	10,30	bar
Pression de service max	27,59	10,30	bar
pression "timbre"	27,59	10,30	bar
pression "tarée vanne sécurité"	27,59	20,60	bar
pression réalisée	30,41	14,72	bar
déconnexion du limiteur de pression	23,05		bar

Caractéristiques			
unité intérieure DFM50S			
unité extérieure DFO 50			
puissance frigorifique	4200		W
débit unité intérieure (grande vitesse)	800		m ³ /h
déshumidification (grande vitesse)	2,7		l/h
alimentation 230.1.50			
voltage min	198		v
voltage max	264		v
ampérage	4,00		A
puissance absorbée	1690		W
diam tubes raccordement liquide	6,35		mm
diam tubes raccordement vapeur	12,7		mm

Dimensions DFM50S			
h	360		mm
l	1000		mm
p	205		mm
poids	13,5		kg

Dimensions DFO50			
h	673		mm
l	740		mm
p	279		mm
poids	57		kg

longueur des tubes			
standard	7,5		m
max	20		m
limite de diff de hauteur	7		m
charge additionnelle	25		g/m



Réglementation à propos des fluides

» Le remplacement d'un fluide frigorigène est une opération délicate à étudier au cas par cas sachant qu'il y a des coûts non négligeables de remplacement et de traitement des fluides.

► Quelle est l'évolution de la réglementation ?

Depuis 1998 :

Les CFC (R11, R12, ...) sont interdits.

Les HCFC (R22, ...) sont tolérés (jusqu'en 2015) mais le passage vers les HFC implique un changement de certains composants de l'installation, ainsi qu'un changement de toute l'huile contenue dans l'installation.

Concernant les HFC (R134a, R407c et le R410), rien n'est encore décidé dans l'état actuel des choses au niveau belge, concernant leur éventuel remplacement.

► Choix du fluide pour une installation de climatisation existante

Les CFC (R11, R12, ...) sont remplacés par du R22. Par contre pour une installation au R22, vu que sa durée de vie est de l'ordre de 15 ans et qu'il est fort coûteux de le remplacer, beaucoup attendent l'échéance 2015. S'il est vraiment nécessaire de changer R22 par un HFC (R134a, R407c, ...), il faut s'attendre à des investissements importants tels que le remplacement du compresseur et, suivant la puissance de la machine, le détendeur ou le condenseur. Il faut aussi remplacer l'huile minérale par de l'huile synthétique; la procédure de remplacement est longue et coûteuse.

Source :

<http://www-energie.arch.ucl.ac.be/CDRom/Climatisation/ameliorer/cliameliorRemplacerFluid.htm>



Comparatifs des fluides de substitution

COMPARATIFS DES FLUIDES DE SUBSTITUTION

Fluide	Statut		substitut de	changement d'huile	type d'huile*			Changement de matériel	comparatif des caractéristiques thermodynamiques	Rentabilité du changement de fluide
	HCFC	HFC			type	O/N	M			
R413A		X	R12	N	x	x	x	N	=	TB
R134a		X	R12	O			x	O	-	D
R409A	X		R12	O		x	x	N	=	B
R401A	X		R12	O		x	x	N	=	B
R407C		X	R22	O			x	O	=	B
R410A		X	R22	O			x	O	+	B
R417a(l59)		X	R22	N	x	x	x	N	=	TB
R404A		X	R502	O			x	O	=	M
R507		X	R502	O			x	O	=	M
R408A	X		R502	O		x	x	N	=	B
R402A	X		R502	O		x	x	N	=	B
R403B	X		R502	N	x	x	x	N	=	B
Iscéon 89		X	R13 b1	N	x	x	x	N	-	B
R23		X	R13	O			x	O	+	M

* M : minérale / A : alkybenzène / E : Ester ** - : inférieur au fluide substitué / = : proche / + : supérieur *** TB : Très Bon / B : Bon / M : Moyen / D : Déconseillé

RECOMMANDATIONS DE SUBSTITUTION CALORIE

A des fins de maintenance

Anciens fluides utilisés :	R12	à remplacer par	R413A
	R22		R417a(l59)
	R502		R403B / R408A / R402A

Pour des installations neuves

Anciens fluides utilisés :	R12	à remplacer par	R134a
	R22		R407C / R410A
	R502		R404A / R507

Source : <http://kitesurfer.free.fr/substitution.PDF>



Caractéristiques R22 - Chlorodifluorométhane



Le Chlorodifluorométhane est un hydrochlorofluorocarbure (HCFC). Il est aussi connu sous les appellations HCFC-22, R22, ou Fréon 22, et est utilisé généralement dans des applications de climatisation.

Le Chlorodifluorométhane a été employé la première fois comme alternative au [R11](#) et [R12](#), mais plus tard il a été convenu qu'il n'était pas assez écologique, bien que son potentiel d'épuisement de l'ozone soit 0.05 (parmi le plus bas pour les haloalkanes contenant du chlore).

Il sera bientôt interdit d'utilisation par le protocole de Montréal, pour être remplacé par des réfrigérants plus respectueux de l'environnement tels que [R410a](#) (un mélange azéotropique de difluorométhane et de pentafluoroéthane), [R134a](#) (tetrafluoroéthane 1,1,1,2) et [R407c](#).

Désignation du R22 [CHClF2](#) :

la lettre R signifie Réfrigérant

le chiffre des centaines représente le nombre d'atomes de carbone -1

le chiffre des dizaines représente le nombre d'atomes d'hydrogène +1

le chiffre des unités représente le nombre d'atomes de fluor dans la molécules

Démonstration :

Nombre d'atomes de carbone 0=> 0

Nombre d'atomes d'hydrogène 1=> (1+1)=2

Nombre d'atomes de fluor 2=>2

Résultat : R022

Incolore

Ininflammable

Odeur : légèrement éthérée

Ce gaz appartient à la famille des hydrochlorofluorocarbures (HCFC)



Propriétés

Masse molaire

Poids moléculaire : 86.48 g/mol

Phase liquide

Masse volumique de la phase liquide (1,013 bar au point d'ébullition) : 1413 kg/m³

Equivalent gaz/liquide (1,013 bar et 15 °C) : 385 vol/vol

Point d'ébullition (1,013 bar) : -40.8 °C

Chaleur latente de vaporisation (1,013 bar au point d'ébullition) : 233.95 kJ/kg

Point critique

Température critique : 96 °C

Pression critique : 49.36 bar

Phase gazeuse

Masse volumique du gaz (1,013 bar au point d'ébullition) : 4.706 kg/m³

Masse volumique de la phase gazeuse (1,013 bar et 15 °C) : 3.66 kg/m³

Facteur de compressibilité (Z) (1,013 bar et 15 °C) : 0.9831

Masse volumique (air = 1) (1,013 bar et 21 °C) : 3.08

Volume spécifique (1,013 bar et 21 °C) : 0.275 m³/kg

Chaleur spécifique à pression constante (Cp) (1,013 bar et 30 °C) : 0.057 kJ/(mole.K)

Chaleur spécifique à volume constant (Cv) (1,013 bar et 30 °C) : 0.048 kJ/(mole.K)

Rapport des chaleurs spécifiques (Gamma:Cp/Cv) (1,013 bar et 30 °C) : 1.178253

Viscosité (1,013 bar et 0 °C) : 0.0001256 Poise

Autres données

Solubilité dans l'eau (1 bar et 25 °C) : 0.7799 vol/vol

GWP (Global Warming Potential) : 1700

Source : Article de Wikipédia, l'encyclopédie libre.

