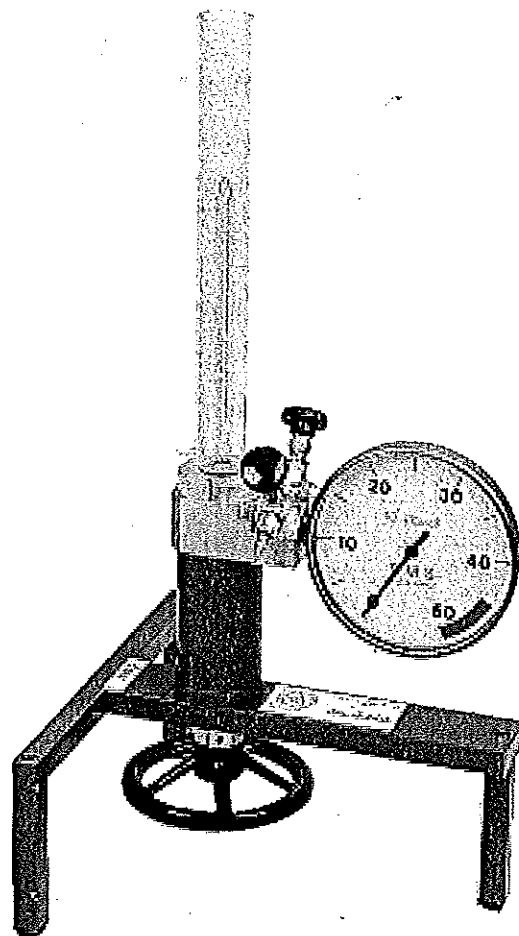


## APPAREIL POUR L'ETUDE DU POINT CRITIQUE



Réf : PHD 009 950

## 1. Introduction :

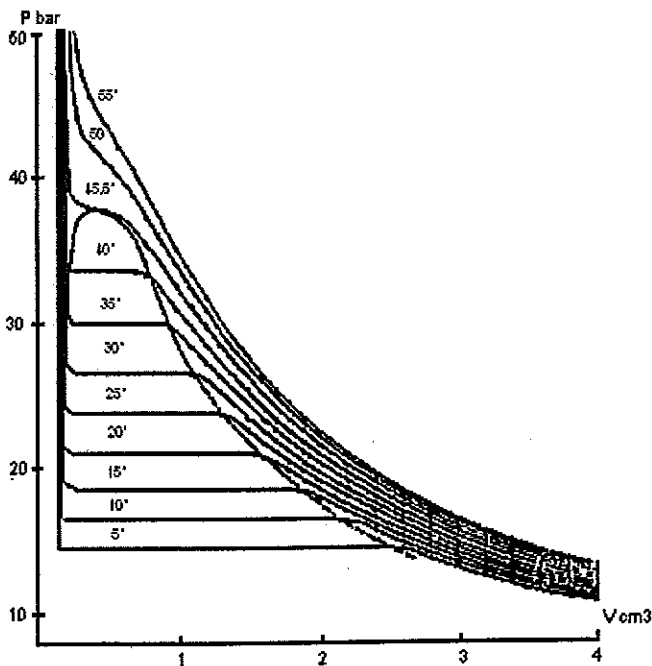
Cet appareil est destiné à l'étude de la compressibilité et de la liquéfaction d'un gaz. Il permet d'atteindre la pression et la température critique.

En travaux pratiques, il sera utilisé pour construire le réseau des isothermes dans le diagramme de Clapeyron.

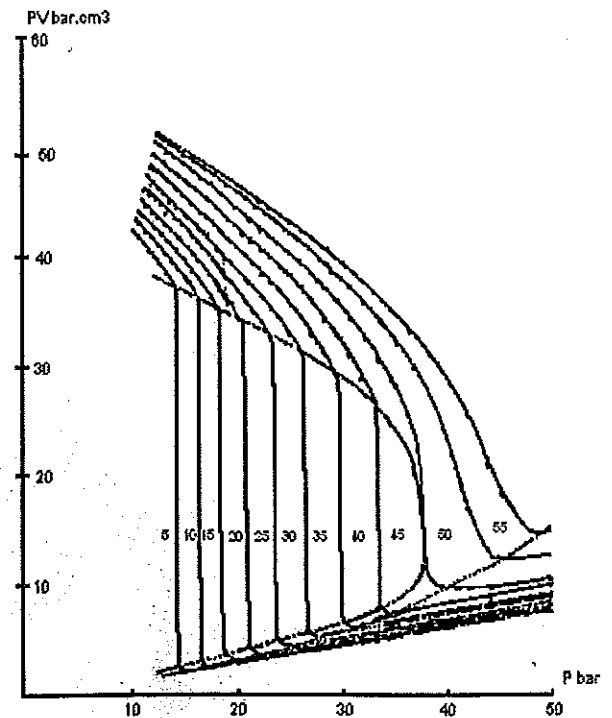
En cours on montrera la liquéfaction du gaz, on suivra l'évolution des volumes respectifs liquide-gaz au cours de la compression, et on montrera la continuité des états gazeux et liquide au dessus du point critique en réalisant l'expérience classique de contournement du point critique.

## Résultats expérimentaux :

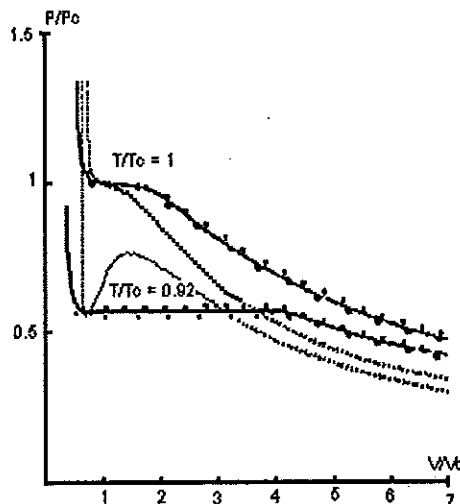
Diagrammes de CLAPEYRON :



Diagrammes d'AMAGAT :



Loi des états correspondants :



## **2. Description de l'appareil :**

(Voir figure 1)

Il comprend une éprouvette en verre épais et résistant dans laquelle on comprime le fluide à étudier.

Elle est fixée sur une chambre de pression en acier inoxydable. La chambre contient du mercure et son fond est fermé par une membrane déformable assurant une parfaite étanchéité.

Un manomètre à grand cadran permet de connaître la pression dans la chambre. La déformation de la membrane déplace le mercure et le chasse dans l'éprouvette comprimant le fluide.

Cette déformation est obtenue par piston actionné par un volant muni d'un axe fileté. Le corps du piston port une gorge recevant un joint d'étanchéité et un orifice percé dans le cylindre permet de faire le vide sous la membrane déformable.

La chambre de pression porte un ensemble de robinets servant à faire le vide dans l'appareil et à introduire le fluide à étudier, généralement de l'hexafluorure de soufre.

Une cuve parallélépipédique transparente formant jaquette thermostatique se place autour de l'éprouvette. Elle recevra de l'eau permettant de maintenir le fluide à une température connue. Un orifice de vidange se trouve en bas de la jacquette.

Pour les observations qualitatives, on pourra se contenter d'ajuster la température en ajoutant de l'eau chaude ou froide dans la jacquette.

Pour le relevé précis des isothermes, il faudra utiliser une circulation d'eau provenant d'un bain thermostaté.

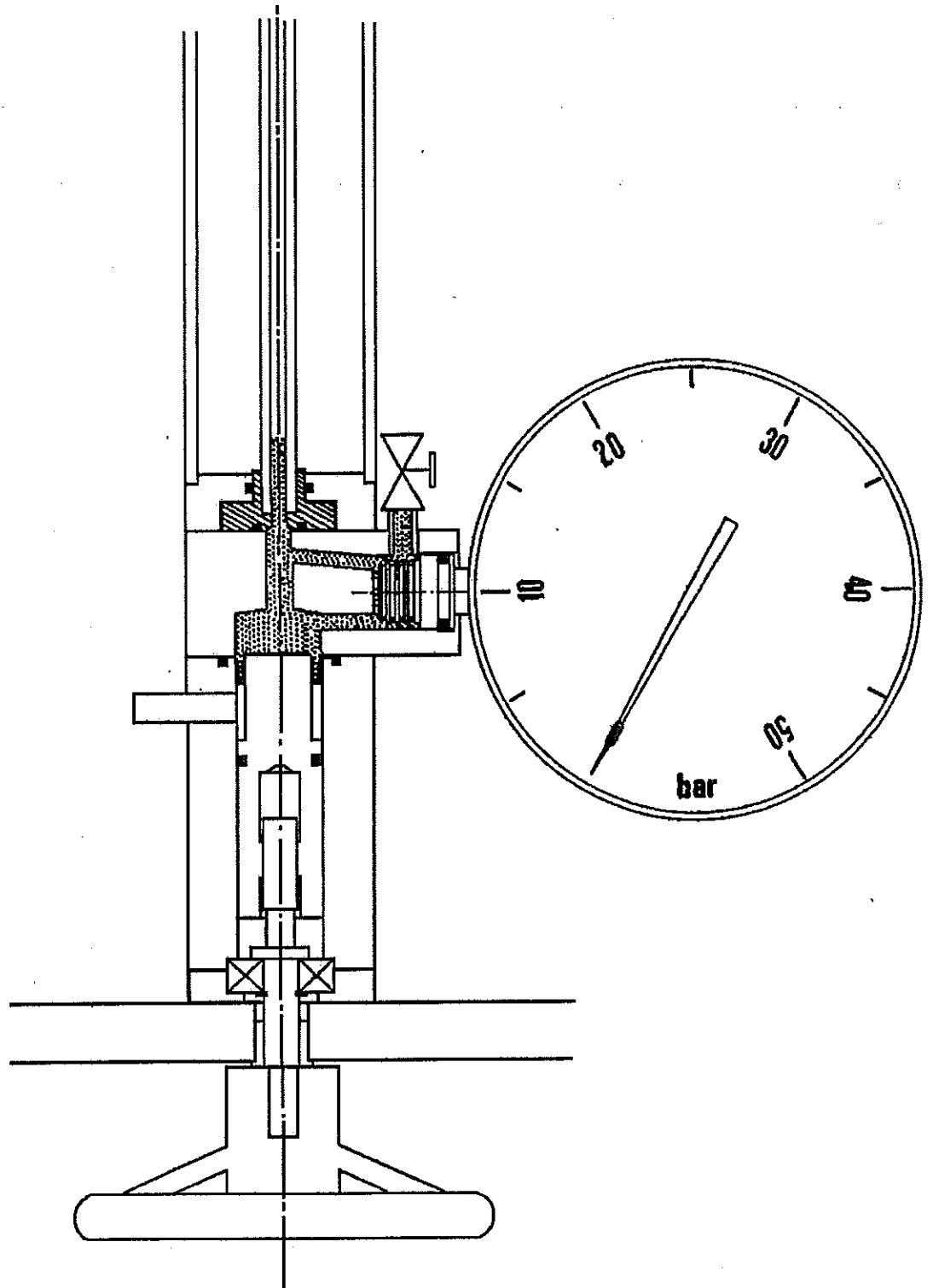


Figure 1

### **3. Sécurité de fonctionnement :**

Une série d'essais préliminaires à montrer que l'éprouvette réalisée dans un verre spécial à une pression d'éclatement supérieur à 110 bars.

Toutes les éprouvettes livrées sont éprouvées à une pression de 75 bars à la température de 60°C.

Les tests étant effectués à une température de 60°C, il est déconseillé de faire circuler une eau à plus de 60°C dans la jacquette.

D'autre part, le faible volume de l'éprouvette et la jacquette remplie d'eau l'entourant préviennent tout accident dû à une explosion éventuelle.

Pour assurer une parfaite sécurité, il est indispensable que la jacquette soit remplie d'eau avant la mise en pression du fluide.

#### **3.a. Transport et mise en station de l'appareil :**

Pour éviter les risques de casse pendant le transport, l'appareil est expédié avec l'éprouvette graduée et la jacquette transparente démontée.

Sur demande l'appareil peut être livré monté et rempli, pour cela une participation sera demandée au client. (Nous consulter). **Attention cette opération est possible uniquement en région parisienne.**

Il contient 270 grammes de mercure. Un bouchon de caoutchouc maintenu par une rondelle métallique bouche l'orifice supérieur pour le transport.

Monter l'éprouvette avec les trois vis à six pans ayant servies à maintenir par une rondelle métallique. L'orienter pour que la graduation soit lue du même côté que celle du manomètre.

Enfiler la jacquette en Plexiglas sur l'éprouvette. Son étanchéité est obtenue par un joint torique venant serrer l'embase de l'éprouvette.

Si la mise en place de la jacquette est difficile, graisser légèrement le joint avant montage.

La jacquette s'immobilise avec deux vis de fixation, sa face dépolie doit être à l'arrière de l'appareil. Obturer le tube de caoutchouc avec une pince de Mohr par exemple et remplir la jacquette d'eau.

### **4. Mise en pression de l'appareil :**

**IMPORTANT :** La remise sous pression de l'appareil est une étape très délicate nécessitant un strict respect des instructions de ce document. Notre service technique est à votre disposition pour vous fournir un soutien ou un complément d'information si vous l'estimez nécessaire.

Nous vous rappelons également que notre Garantie couvre tout défaut de fabrication mais ne couvre en aucun cas un dommage lié au non respect des consignes d'utilisation.

#### **4.a. Matériel nécessaire :**

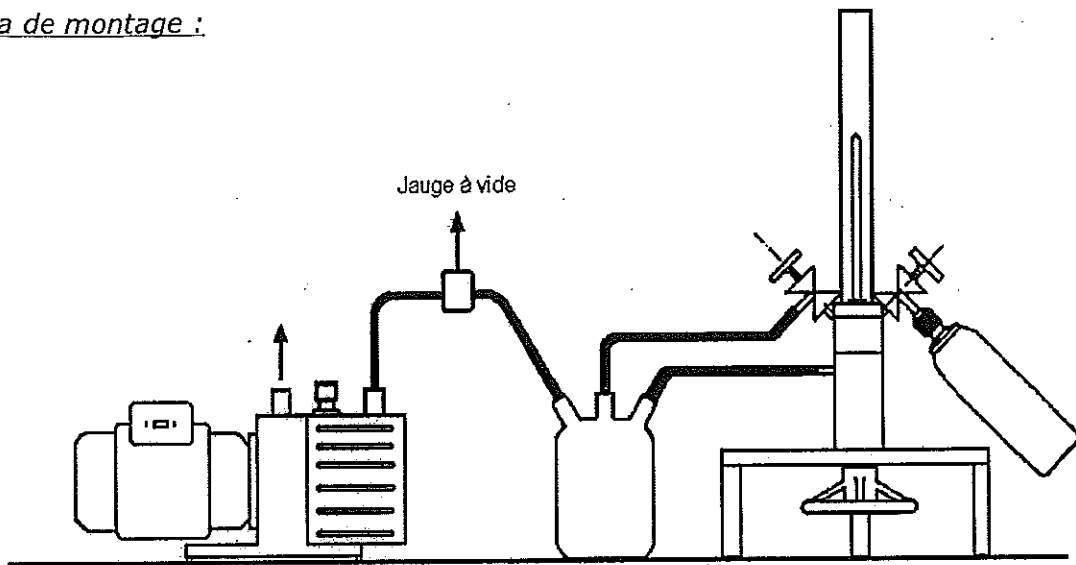
- Appareil PHD 009950, tracé des Isothermes de SF6, chargé en mercure et hors pression SF6.

- Pompe à vide  $5 \cdot 10^{-3}$  mBar (Réf : PHD 008892 ou équivalent)

- Piège à vide équipé des tuyaux adéquats (Réf : PHD 009953 ou équivalent)

- Cartouche SF6 (Réf : PHD 009940)

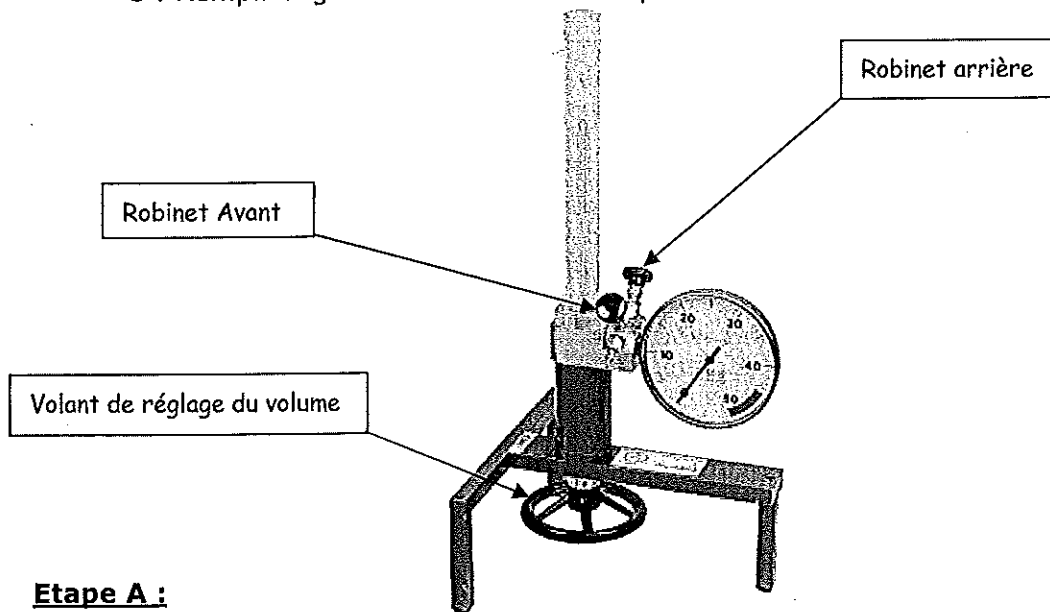
Schéma de montage :



**4.b. Procédure à suivre :**

Cette procédure correspond à une opération en 3 étapes distinctes A, B et C.

- A : Premier vide partiel de l'air ambiant contenu dans l'éprouvette
- B : Second vide partiel de SF6 contenu dans l'éprouvette
- C : Remplissage définitif et mise sous pression SF6



**Etape A :**

- 1 – dévisser le volant de réglage du volume de gaz de l'éprouvette au maximum (jusqu'à atteindre une butée). Vérifier que les deux volants en plastiques sont fermés.
- 2 – Brancher 2 tuyaux du piège à vide sur les deux têtes de la face arrière de l'appareil. Brancher le troisième tuyau à la pompe à vide (pompe à l'arrêt)
- 3 – Monter la cartouche de SF6 sur l'entrée de la face avant de l'appareil.
- 4 – Mettre en marche la pompe à vide et attendre 5 minutes (vidage du tuyau et du piège à vide)

5 - Ouvrir doucement le robinet arrière de l'appareil et attendre 1h30 (vide de l'appareil). Des gouttelettes de mercures peuvent apparaître dans le piège à vide (surplus de mercure)

6 - Fermer le robinet arrière.

**Etape B :**

7 - Ouvrir doucement le robinet avant et faire monter la pression en SF6 jusqu'à 2 ou 3 bars et refermer le robinet.

8 - Ouvrir doucement le robinet arrière et attendre 1h30 (vide du SF6)

9 - Fermer le robinet arrière.

**NE PAS ARRETER LA POMPE, NI DEBRANCHER LES TUYAUX A VIDE DE L'APPAREIL.**

**Etape C :**

10 - Ouvrir le robinet avant et laisser monter la pression jusqu'à environ 5 bars, fermer doucement le robinet

11 - Mettre la pompe à l'arrêt et démonter doucement les tuyaux à vide de l'appareil

12 - Enlever les robinets plastiques de l'appareil

Votre appareil est maintenant opérationnel. En tournant le volant, on fait monter le mercure dans l'éprouvette, celle-ci est graduée en 0.05ml sur 4ml. La pression est lue sur le manomètre.

La température sera lue sur un thermomètre placé dans la jaquette dans laquelle on établit une circulation d'eau à température constante.

On connaît ainsi à tout moment la valeur des trois variables : pression, volume, température. Après chaque variation de volume (ou de pression) il faut attendre un certain temps que la température soit stabilisée au sein du fluide avant de faire une lecture.

L'appareil est parfaitement étanche et la même charge peut servir à plusieurs manipulations successives.

Si la cartouche de SF6 n'est pas vide, elle peut éventuellement être conservée pour un remplissage ultérieur.

**Attention :** Les cartouches vides doivent être recyclées et ne peuvent être jetées.

A titre de précaution et pour éviter toute fuite éventuelle de gaz, pour le stockage de l'appareil entre chaque utilisation, on amènera le mercure au bas de l'éprouvette.

**4.c. Accessoire et options :**

- Pièces détachées standard sur cet appareil :

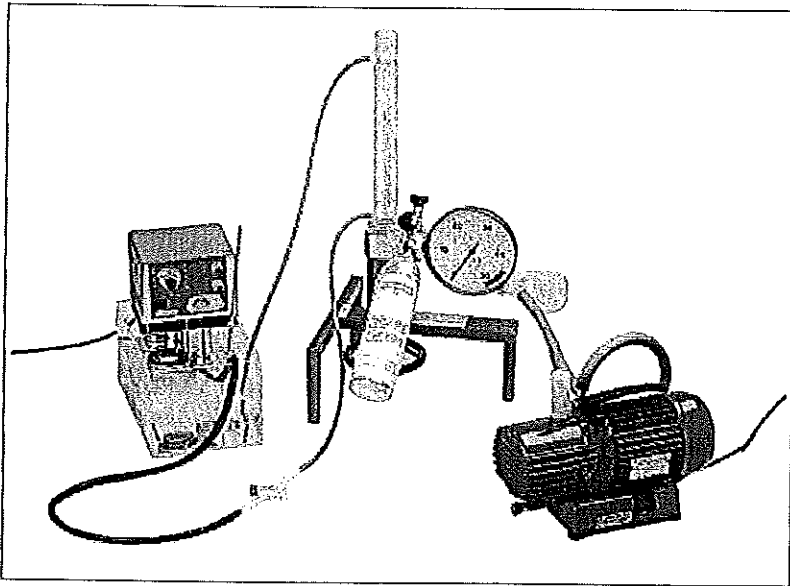
Pour toute information relative au changement de ces pièces, merci de contacter notre service SAV.

- Membrane caoutchouc pour appareil PHD 009950 Réf : PHD 009952
- Cartouche SF6 neuve Réf : PHD 009940
- Eprouvette pour appareil PHD 009950 (modèle vissé) Réf : PHD 009951
- Autres : nous consulter au : 01.30.66.59.72

- Prestations et services SAV :

- Intervention de remplissage sur site avec notre matériel Réf : SAV PHD 009950-1
- Location du kit de mise en pression SF6 (pompe et piège à vide – SF6 à prévoir) Réf : SAV PHD 009950-2
- Révision standard appareil SF6 – Remplissage mercure Réf : SAV PHD 009950-3

- Accessoires pour appareil SF6 :



- Pompe à vide  $5.10^{-3}$  mBar

PHD 008 892

- Bain thermostatique et circulation 100°C avec tuyaux souples et cuve

PHD 009 660

- Piège à vide avec tuyaux souples

PHD 009 953



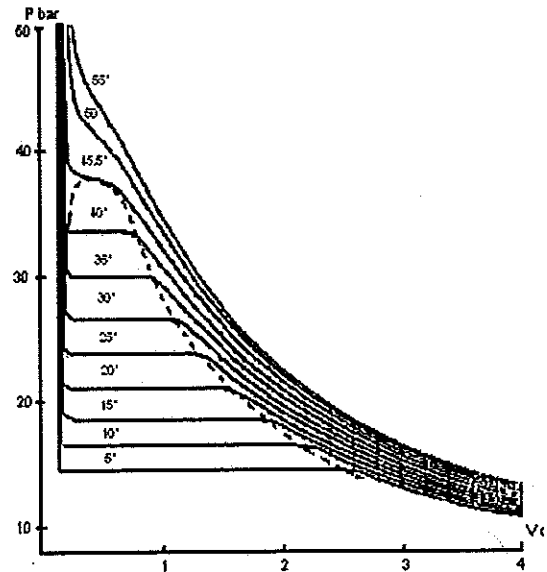
## 5. Résultats expérimentaux :

Le texte qui suit est extrait d'une publication faite sur les possibilités de l'appareil par Messieurs DEGUIN et GAUTIER, de l'Université Claude Bernard à Lyon. Il est intéressant de montrer :

### 5.a. Diagrammes de Clapeyron ( $SF_6$ et $C_2H_6$ ) :

Figure 4 : Diagrammes de Clapeyron, Réseaux d'isothermes de :

●  $SF_6$   
----- Courbe de saturation  
( $T : \pm 0.2^\circ C ; P \pm 0.5 \text{ bar} ; V \pm 0.05 \text{ cm}^3$ )



L'étendue des possibilités de l'appareil est démontrée par le réseau d'isothermes de l'hexafluorure de soufre (Figure 4). On observe en particulier des paliers bien horizontaux, indice de la pureté du gaz et de la validité des conditions de remplissage.

L'isotherme critique à tangente horizontale est correctement obtenue pour  $45,5^\circ C$  ; on peut suivre l'évolution des isothermes au dessus du point critique ; elles présentent d'abord deux inflexions très nettes, puis moins marquées et tendent finalement vers l'hyperbole caractérisant un gaz parfait éloigné de l'état liquide.

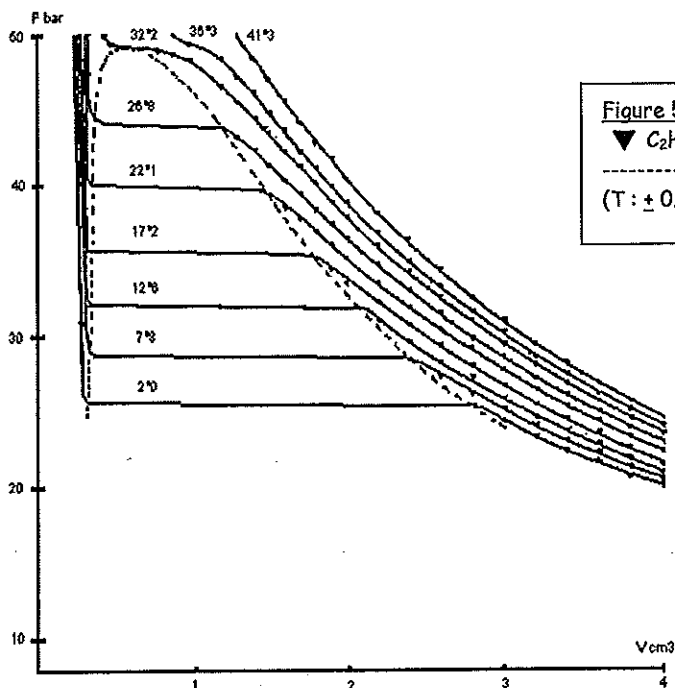


Figure 5 : Diagramme de Clapeyron. Réseaux d'isothermes de :

▼  $C_2H_6$   
----- Courbe de saturation  
( $T : \pm 0.2^\circ C ; P \pm 0.5 \text{ bar} ; V \pm 0.05 \text{ cm}^3$ )

Le réseau d'isotherme de l'éthane (Figure 5) a été juxtaposé au précédent à titre comparatif.

On remarquera que les températures d'isothermes sont différentes : elles n'ont pas été choisies au hasard mais pour illustrer la loi des états correspondants (Cf. : paragraphe suivant)

**5.b. Loi des états correspondants (SF<sub>6</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) :**

Supposons que l'équation d'état des gaz étudiés soit de la forme :  $F(P, V, T, A, B) = 0$  ne contenant en particulier que trois constantes, la fonction F étant la même pour tous les gaz.

Quelle que soit la forme de cette équation, ces trois constantes peuvent être calculées à partir des valeurs critiques de la pression, du volume et de la température  $P_c, V_c, T_c$  de sorte que l'équation d'état s'écrit maintenant :

$$\Phi(P, V, T, P_c, V_c, T_c) = 0$$

Pour des raisons d'homogénéité, elle ne s'exprime d'ailleurs qu'en fonction des rapports :

$$\omega = \frac{P}{P_c} \qquad \psi = \frac{V}{V_c} \qquad \theta = \frac{T}{T_c}$$

C'est-à-dire des coordonnées « réduites », de sorte qu'elle devient finalement :

$$\Phi(\omega, \psi, \theta) = 0$$

C'est l'équation d'état réduite.

**5.c. Courbes de pression de vapeur saturante (SF<sub>6</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) :**

A chaque température correspond dans le digramme de Clapeyron, un palier de liquéfaction. L'ensemble de ces paliers constitue, dans un diagramme pression-température, la courbe de pression de vapeur saturante, limitée vers le haut par le point critique. La figure 7 présente les courbes de pression de vapeur saturante pour SF<sub>6</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

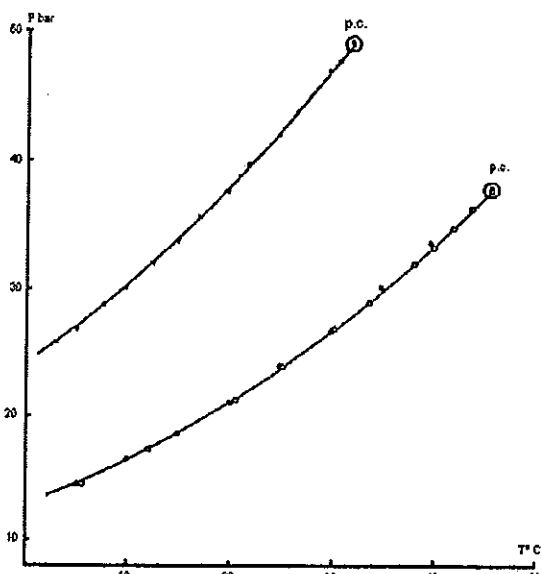


Figure 7 : Courbe de pression saturante.  
 Valeurs de la littérature : ○ SF<sub>6</sub>    ▽ C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>  
 Points expérimentaux : ● SF<sub>6</sub>    ▼ C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

Nous avons également reporté sur ce diagramme les valeurs saturantes de la littérature pour SF<sub>6</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

Une donnée supplémentaire serait fournie par la pente de la tangente à la courbe à une température T : la chaleur de vaporisation L (T) donnée par la formule de Clapeyron.

$$L(T) = \frac{T}{J} (V_g - V_l) \frac{dP}{dT}$$

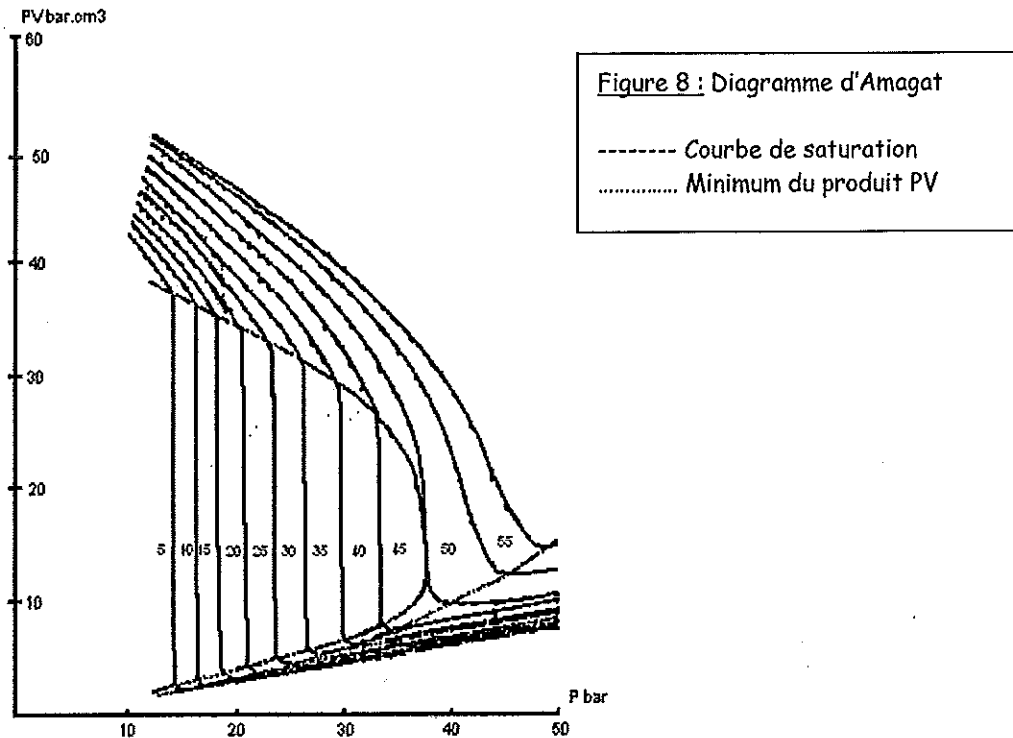
#### 5.d. Ecart à l'état parfait SF<sub>6</sub> :

Plusieurs types de diagrammes sont fréquemment utilisés pour mettre en évidence l'écart à l'état parfait. Nous en considérerons deux :

##### - Diagramme d'Amagat :

C'est un diagramme donnant le produit PV en fonction de la pression. Pour l'état parfait,  $PV = nRT$ , les isothermes y seraient les droites horizontales.

La figure 8 montre que la réalité est bien différente. Dans la zone considérée, le gaz est plus compressible qu'un gaz parfait : le facteur de compressibilité  $Z = PV/nRT$  y est inférieur à 1. Une détente Joule-Thomson produirait un refroidissement.



Dans ces conditions, deux gaz ayant même pression réduite et même température réduite sont dits dans des « états correspondants ». Un exemple d'équation d'état est donné par la loi de Van Der Waals :

$$\left( P + \frac{A}{V^2} \right) (V - B) = RT$$

Dont l'équation réduite est :

$$\left(\omega + \frac{3}{\psi^2}\right)(3\psi - 1) = 8\theta$$

Il s'agit alors de tracer le diagramme de Clapeyron de deux gaz en coordonnées réduites  $\omega$  et  $\psi$  et de montrer que, pour deux températures « correspondantes », c'est-à-dire pour la même température réduite  $\theta = 1$  (isotherme critique) et  $\theta = 0.092$  dans le cas de SF<sub>6</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

Le tableau ci-contre donne les valeurs numériques des températures correspondantes utilisées ici dans les diagrammes de Clapeyron de SF<sub>6</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

SF6		T/Tc	C2H6	
°C	°K		°K	°C
55	328	1.030	314.4	41.3
50	232	1.014	308.7	36.5
45.5	318.5	1.000	305.2	32.2
40	313	0.983	299.9	26.9
35	308	0.967	295.1	22.1
30	303	0.951	290.3	17.3
25	298	0.936	285.6	12.6
20	293	0.920	280.8	7.8
15	288	0.904	276.0	3.0
10	283	0.889	271.2	-1.8
5	278	0.873	266.4	-6.6

Les courbes « correspondantes » des 2 gaz sont assez bien superposées. Toutefois, il faut signaler que ces courbes s'écartent notablement des isothermes d'un fluide régi par l'équation d'état de Van Der Waals.

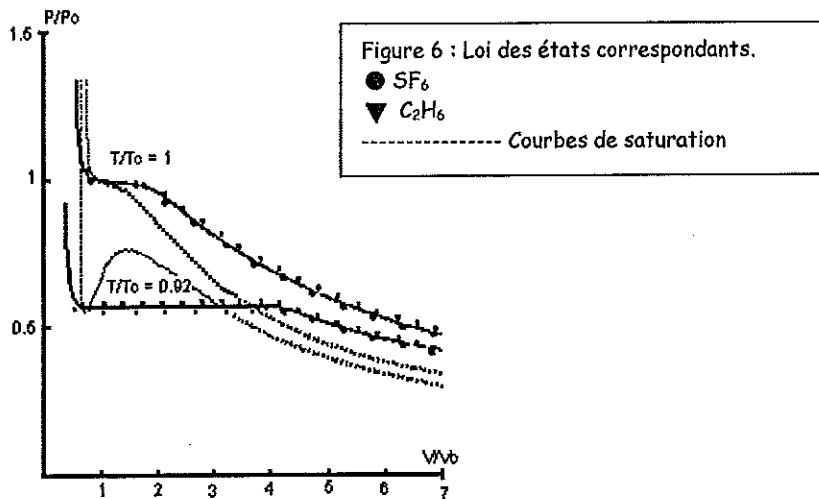


DIAGRAMME PV = F (1/v) coefficient du viriel (SF6) (voir figure 9)

L'équation d'état du fluide réel peut s'exprimer sous forme de développement en série d'une variable, par exemple :

$$PV = nRT \left[ 1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \frac{D}{V^3} + \dots \right]$$

Pour connaître entièrement l'état d'un fluide dans les conditions P, V, T il est nécessaire de déterminer B, C, D, ... appelés coefficients du viriel.

Remarquons que :

$$\lim_{1/v \rightarrow 0} (PV) = Y_{0=nr}$$

(On tend vers l'état parfait).  
et :

$$\lim_{1/v \rightarrow 0} \frac{d(PV)}{d\left(\frac{1}{V}\right)} = BnrT = BY_0$$

Ce qui veut dire en fait que lorsque  $1/v$  est petit, les termes  $1/v$ , d'ordre supérieur sont négligeables et que le produit  $PV = f(1/v)$  et vers l'origine par la droite de pente.

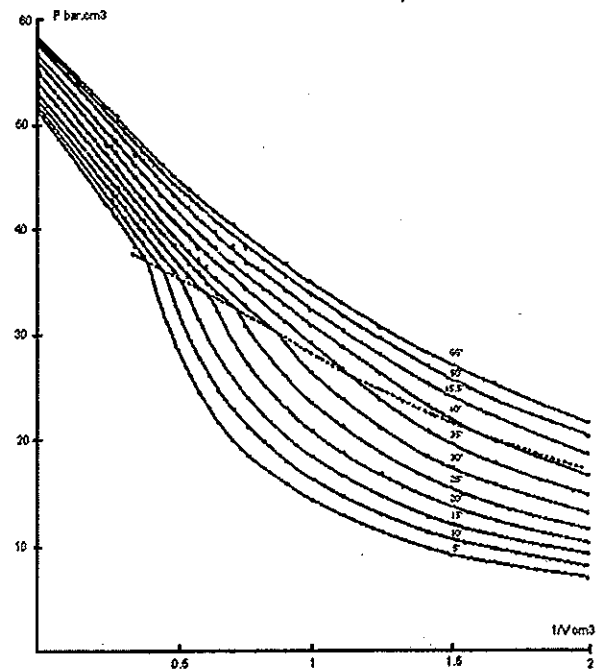
$$S = BnRT = BY_0 = \frac{\Delta(PV)}{\Delta\left(\frac{1}{v}\right)}$$

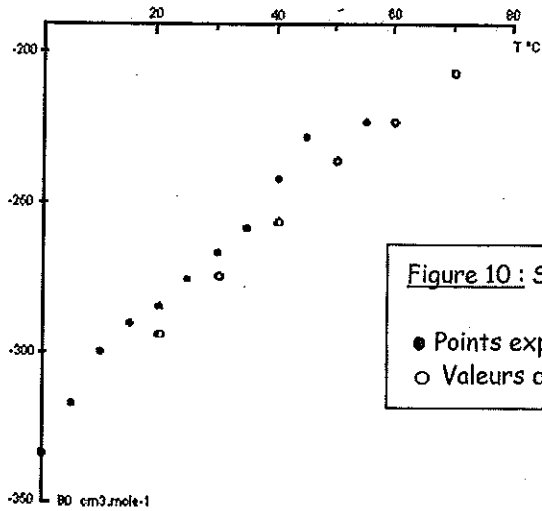
$B$ , deuxième coefficient du viriel, correspondant au volume  $V$ . On l'exprime en fait pour une mole :

$$B_0 = \frac{B}{n} = \frac{\Delta(PV) RT}{\Delta\left(\frac{1}{v}\right) Y_0^2}$$

Les courbes de la figure 9 montrent que l'approximation est valable pour  $1/V$  petit ; elles permettent de calculer  $B_0$  qui est, en fait fonction de la température.

Figure 9 : Diagramme  $PV = f(1/V)$   
----- Courbe de saturation





La figure 10 donne l'évolution de  $B_0$  en fonction de  $T$  pour l'hexafluorure de soufre, avec les valeurs expérimentales et les valeurs de la littérature.

Figure 10 : Second coefficient du viriel

● Points expérimentaux  
 ○ Valeurs de la littérature

Les coefficients d'ordre supérieur sont plus délicats à évaluer.

Indiquons seulement que le troisième coefficient du viriel est de signe positif, comme le montre la courbure des tracés.

- Loi des diamètres rectilignes :

Soient  $V_1$  et  $V_g$  les volumes respectifs du liquide et de la vapeur saturante sur la courbe de saturation, fonctions de la température, et  $V_c$  le volume critique. Les courbes représentant  $V_c/V_1(T)$  et  $V_c/V_g(T)$  en fonction de  $T$  se raccordent sans discontinuité au point critique. L'ensemble des milieux des cordes verticales de la courbe ainsi formée est une droite de pente négative (loi des diamètres rectiligne). On écrit généralement cette loi sous la forme :

$$\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_g}$$

$$\frac{2}{V_c} = \frac{P_1 + P_g}{2P_c} = 1 + \frac{3}{4} \frac{P_1}{P_c} - \frac{T^1}{T_{CK}^J}$$

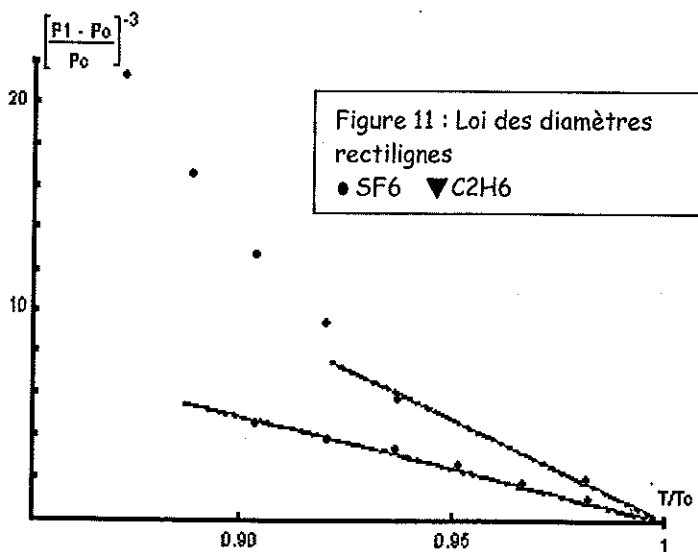
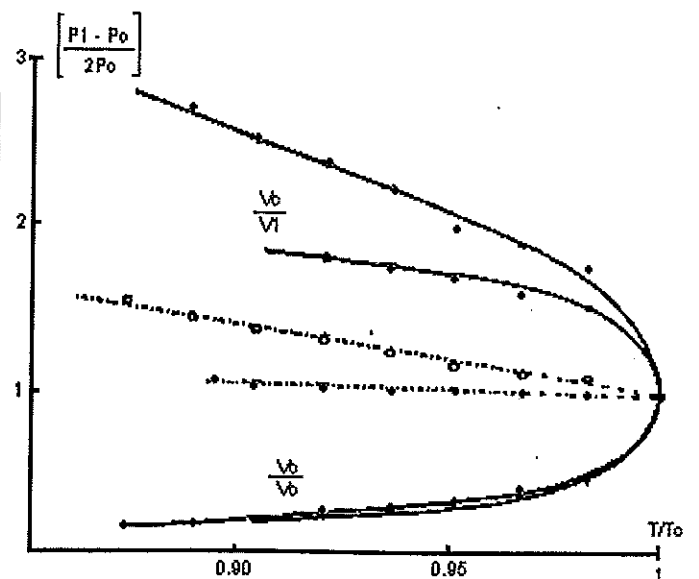


Figure 11 : Loi des diamètres rectilignes  
 ● SF6 ▼ C2H6



Où  $P_1$ ,  $P_g$  et  $P_c$  sont des masses volumiques du liquide, de la vapeur et du fluide au point critique. L'expérience montre aussi que :

$$\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_g}$$

$$\frac{1}{V_c} = \frac{P_1 - P_g}{P_c} = \frac{7}{2} \frac{F}{H} \left( 1 - \frac{T^{1/3}}{T_{GK}^J} \right)$$

Cette deuxième relation n'étant bien vérifiée qu'au voisinage du point critique.

Ces formules traduisent, en principe, la loi des états correspondants. Nous remarquons que les courbes  $V_c/V_g$ , de SF<sub>6</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> sont pratiquement superposées. Par contre, un important écart se manifeste entre les 2 courbes :  $V_c/V_1$  associées aux deux fluides. Cet écart provient des erreurs importantes sur la détermination des faibles volumes  $V_1$  dans les réseaux d'isothermes des figures 4 et 5.

#### **5.e. Observations qualitatives :**

Divers phénomènes statistiques ou dynamiques peuvent être observés en dessous et au voisinage du point critique. Grâce au tube en verre et à la cuve transparente, ils peuvent être soit vus par l'opérateur, soit enregistrés au moyen d'un appareil photographique ou cinématographique.

#### **5.f. Aspect du ménisque à diverses températures (SF<sub>6</sub>) :**

En complément des courbes de densité du liquide et de la vapeur, l'observateur de la surface de séparation donne une indication qualitative sur les écarts de densité entre les deux phases. La courbure du ménisque diminue quand la température augmente. Au voisinage de la température critique (45.5°C), le ménisque est absolument plat, mais l'indice de réfraction est encore légèrement différent pour les deux phases. Sous incidence oblique, ce ménisque apparaît comme une lame. Puis au passage des conditions critiques, il disparaît progressivement en donnant une zone floue, très lente à disparaître.

#### **5.g. Opalescence critique (SF<sub>6</sub>) :**

La présence d'irrégularités de densité au sein d'un milieu provoque la diffusion de la lumière. Or au voisinage des conditions critiques, de fortes fluctuations de densité se manifestent dans les fluides. L'intensité de la lumière diffusée est une fonction fortement décroissante de la longueur d'onde (de l'ordre de  $1/\lambda^4$ ).

Ainsi un faisceau incident de lumière blanche donne lieu à un faisceau nettement bleuté. C'est l'opalescence critique.

Expérimentalement, ce phénomène est observé lors d'un refroidissement lent du fluide initialement amené à une température supérieure à la température critique (1 à 2 degré par exemple). Selon le mode opératoire, l'évolution revêt deux aspects distincts.

- Si le fluide est au préalable homogénéisé par un temps de maintien assez long à une température élevée (50°C pendant une heure pour le SF<sub>6</sub> par exemple). L'opalescence se place à un brouillard blanchâtre. Enfin se produit la séparation des phases et l'apparition d'un ménisque plan.

- Si on recommence immédiatement l'expérience sans attendre l'homogénéisation, l'opalescence puis le brouillard reste localisés au voisinage du milieu du tube, sur l'ancien emplacement du ménisque.

### 5.h. Continuité de l'état liquide et de l'état gazeux (SF<sub>6</sub>) :

La courbe de saturation est l'isotherme critique délimitent dans le diagramme de Clapeyron 4 zones différentes : liquide, liquide+vapeur, vapeur, gaz. Cette distinction est en fait théorique, comme le montre l'expérience de « **contournement du point critique** » mettant en évidence la **continuité** de l'état liquide et de l'état gazeux.

La figure 14 décrit cette expérience réalisée avec l'hexafluorure de soufre. Le cycle effectué comporte les phases successives suivantes :

- Trajet **abc** : détente le long de l'isotherme 42°C à partir d'un point à l'intérieur de la courbe de saturation vers un point **c** extérieur.

Au point **b**, le ménisque disparaît vers le bas de l'éprouvette, indiquant la disparition de la phase dense.

- Trajet **cd** : élévation de température à volume constant (2.3cm<sup>3</sup>) au-delà du point critique (48°C).

- Trajet **de** : compression isotherme à 48°C.

- Trajet **ef** : diminution de température à volume constant (0.7 cm<sup>3</sup>) en dessous du point critique (42°C).

- Trajet **fga** : retour au point initial le long de l'isotherme 42°C. Au point **g**, le ménisque réapparaît vers le haut indiquant la présence de la phase liquide dans le tube.

- Pendant le parcours **bcdefg**, le fluide aura été successivement à l'état de vapeur, à l'état hypercritique et à l'état liquide sans que l'on puisse à aucun moment observer une transition entre ces états. Signalons que cette expérience est réalisable en moins de 10 minutes.

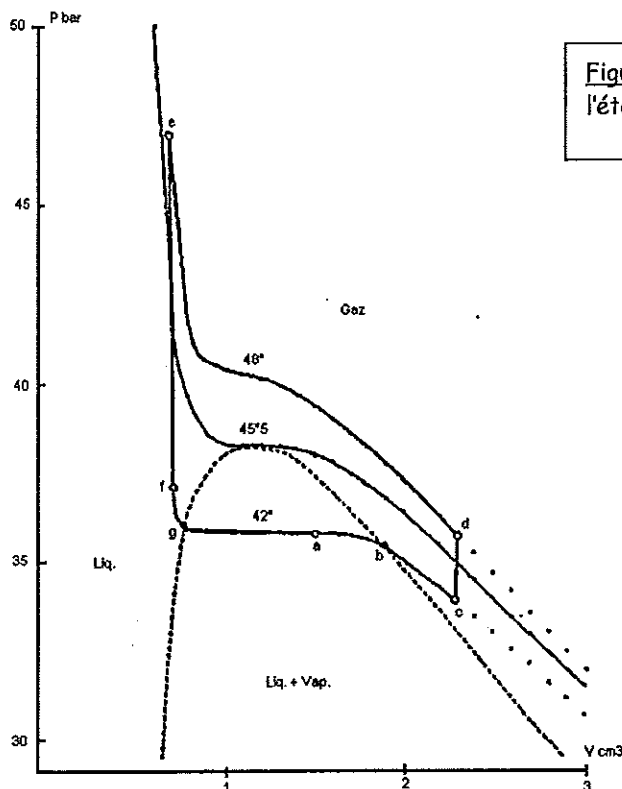


Figure 14 : Continuité de l'état liquide et de l'état gazeux.



### 5.i. Phénomènes dynamiques :

#### - Détentes :

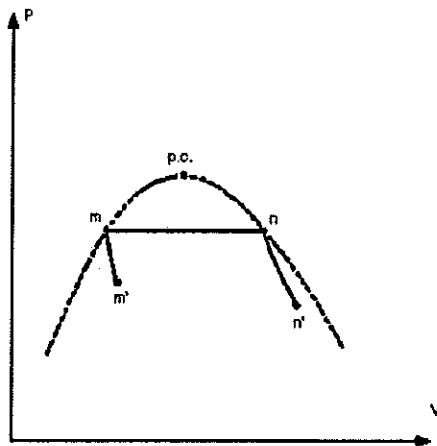
Le fluide ayant été amené à une température très proche de la température critique ( $0.2^{\circ}\text{C}$  en dessous par exemple), nous avons indiqué que le ménisque apparaît comme une lame très mince. On effectue alors une brève et faible détente. On constate le développement de brouillards à partir du ménisque et de part et d'autre. Pour tenter d'expliquer ce phénomène, analysons le processus sur le diagramme de Clapeyron.

En un point donné du fluide, on est en présence d'une phase homogène (liquide ou vapeur selon la position par rapport au ménisque). Soient donc deux points M et N de part et d'autre du ménisque. Les états thermodynamiques associés à chacun de ces points sur le diagramme de Clapeyron se situent sur la courbe de saturation aux extrémités du palier de liquéfaction, respectivement en **m** et **n**. Dans une détente adiabatique, l'évolution est d'abord purement locale et s'effectue donc, pour chacun de ces deux états, selon les adiabatiques  $mm'$  et  $nn'$  (Figure 15).

Localement, la vapeur devient sursaturante et liquide sous-tendu. Ces états métastables cessent par apparition de gouttelettes de condensation ou de bulle d'évaporation.

La formation et le développement de ces brouillards sont particulièrement favorisés par l'existence de germes de nucléation dans la région du ménisque.

Des détente plus importantes font apparaître des phénomènes plus complexes : tourbillons, alternance de bulle et de gouttelettes dans l'une et l'autre phase, etc...



#### - Compression :

Une compression brève et faible ne provoque pas d'état métastable. Toutefois, le retour lent à la température primitive fait apparaître une légère opalescence et un brouillard.

Une compression rapide et assez forte fait disparaître le ménisque. Elle crée au sein du fluide des inhomogénéités de densité sensibles, surtout dans la phase supérieure.

Sur l'emplacement du ménisque subsiste une zone sombre lenticulaire. Ces fortes fluctuations d'indice ne sont pas visibles pour de brèves compressions, mêmes rapides, à des températures inférieures ( $10^{\circ}$  par exemple) à la température critique. Elles sont donc l'indication qualitative d'un important coefficient de compressibilité au voisinage du point critique.

- Autres observations :

D'autres phénomènes peuvent être observés au voisinage du point critique, lorsque les deux phases coexistent. Si on crée un « choc thermique » de faible amplitude (environ 2 degrés) par remplacement rapide de l'eau de la cuve, des tourbillons violents de bulles ou de gouttelettes se produisent en alternance dans la phase liquide et dans la phase gazeuse. Au cours de ces traitements et selon d'amplitude et de la durée du « choc thermique » apparaissent également des brouillards très fins de condensation ou d'évaporation se propageant selon un front d'onde dans tout le tube et disparaissant au sein de la phase correspondante.

L'analyse de ces phénomènes dynamiques est délicate, les conditions de leur apparition sont difficiles à définir avec précision. Ils sont très certainement régis par les différences locales de densités, de température, d'énergie superficielle fournie ou absorbée lors de l'apparition ou de la disparition des bulles et des gouttes, etc...

Signalons enfin qu'un enregistrement photographique de ces phénomènes évolutifs à été réalisé : l'opalescence bleutée, les brouillards de condensation, les compressions et les détente adiabatiques y sont présentées.

**6. Conclusion :**

L'appareillage présenté permet de mettre en évidence qualitativement et quantitativement les propriétés thermoplastiques des fluides au voisinage du point critique et de ce fait, rend accessible à l'enseignement pratique nombre d'expériences indiqués dans les cours de thermodynamiques.

## **7. Bibliographies :**

1. DEGUIN A., GAUTHIER J.P., MESNARD G., MICHEL P ;  
Bull. Un. Phys., 1973, 559, 157-175.
2. WENTORF R.H.,  
J.Chem. Phys., 1956, 24 607-615
3. REAMER H.H., SAGE B.H.,  
Am. J. Phys., 1957, 27, 58-63
4. SORINA G.A., EFREMOVA G.D.,  
Russ. J. Phys. Chem. 1966, 40, 143-145
5. H. YAMADA,  
Rev. SC. Instr., 1974, 45, 640-642
6. « Handbook of Chemistry and Physics »  
5<sup>st</sup> édition (1970-1971), Chemical Rubber Company Ed., Cleveland (Ohio).
7. INSTITUT NATIONAL DE SECURITE (France),  
C.D.U., 613-63, Note 538-47-67
8. MEARS 1 W.H., ROENTHAL E., SINKA J.V.,  
J. Phys; Chem., 1969, 73, 2254-2261
9. RAZNEJEVIC K.,  
"Tables et diagrammes thermodynamiques", Eyrolles, Paris, 1970.
10. GUGGENHEIM E.A.  
J. Chem. Phys., 1945, 12, 253-261

Contact commercial : [stephanie.kowalkowski@didalab.fr](mailto:stephanie.kowalkowski@didalab.fr)

[jerome.lambert@didalab.fr](mailto:jerome.lambert@didalab.fr)

Contact SAV : [sav@didalab.fr](mailto:sav@didalab.fr)