

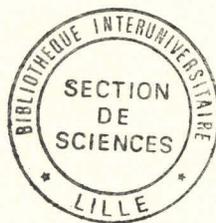
50376
1961
67

50376
1961
67

UNIVERSITÉ DE LILLE

Faculté des Sciences — Institut de Physique

DIPLOME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES



Réalisation d'un Oscillateur Etalon

5 MHz

JURY : *Président :* M. ROIG

Examineurs : M. WERTHEIMER
M. LURÇAT

Présenté à Lille, en Février 1961

par Jean CARLIER

14

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'Institut de Physique de Lille, sous la direction de Monsieur R. WERTHEIMER, Maître de Conférences, auquel nous tenons à exprimer nos sentiments de gratitude.

Nous tenons à remercier également le personnel technique du Laboratoire, et particulièrement Monsieur ROSSELS dont les conseils nous ont été précieux.

TABIE DES MATIERES

<u>I OSCILLATEUR ETALON DE FREQUENCE</u>	Pages
1 ^o / Principaux types d'oscillateurs étalon de fréquence.	2
2 ^o / Choix de la fréquence étalon.	3
3 ^o / Oscillateurs pilotés par quartz.	3
a) Propriétés piézoélectriques du quartz.	3
b) Caractéristiques d'un quartz.	3
c) Choix du type d'oscillateur à quartz.	4
4 ^o / Construction de l'oscillateur étalon.	6
a) Oscillateur.	6
b) Etage à charge cathodique.	6
c) Alimentation.	6
5 ^o / Mesure de la fréquence de l'oscillateur étalon.	7
 <u>II THERMOSTAT</u>	
1 ^o / Choix d'un thermostat.	8
a) Précision de température recherchée.	8
b) Choix de l'enceinte thermostatique.	8
c) Caractéristiques du thermostat.	8
2 ^o / Etude théorique du thermostat.	9
a) Thermomètre à résistances.	9
b) Amplificateur de tension.	10
c) Amplificateur de puissance.	10
d) Résistances chauffantes.	11
3 ^o / Construction du thermostat.	12
a) Ensemble thermomètre à résistance-résistances chauffantes	12
b) Amplificateur de tension.	14
c) Amplificateur de puissance.	14
d) Mise au point.	15
4 ^o / Alimentation.	15
5 ^o / Résultats du thermostat.	16

III RESULTATS DE L'ETALON DE FREQUENCE.

1 ^o / Présentation de l'ensemble Oscillateur étalon- Thermostat.	17
2 ^o /Variation de la fréquence en fonction de la tem- pérature.	18
3 ^o / Vieillissement du quartz.	18

<u>BIBLIOGRAPHIE.</u>	19
-----------------------	----

Le présent travail expose la réalisation d'un oscillateur étalon à quartz avec thermostat. Cet appareil pilote une chaîne de multiplication de fréquence décrite dans le D.E.S. de F. CAILLE. L'ensemble permet au Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne en cours d'achèvement à l'Institut de Physique de Lille, de mesurer avec précision la fréquence des raies d'absorption des gaz.

I- OSCILLATEUR ETALON

1^o/ Principaux types d'oscillateurs étalon.

La qualité fondamentale d'un oscillateur étalon est la stabilité de fréquence $\frac{\Delta F}{F \cdot t}$ ($t =$ temps). Pour les mesures de Spectroscopie Hertzienne faites au Laboratoire, la stabilité désirée est de l'ordre de 10^{-7} par jour. Les principaux oscillateurs fournissant cette stabilité sont:

a) Les oscillateurs de type MASER, mais leur construction n'est pas actuellement réalisable en notre laboratoire.

b) Les oscillateurs pilotés par quartz de haute qualité placé dans une enceinte thermostatique. C'est ce type d'oscillateur que nous avons choisi.

2^o/ Choix de la fréquence étalon.

La fréquence étalon a été choisie aussi élevée que possible, tout en restant dans une gamme de fréquence où la mesure et la stabilité restent bonnes. En effet, chaque multiplication introduit des perturbations parasites, d'où une dispersion de la fréquence terminale de la chaîne de multiplication.

La fréquence choisie est 5 MHz; le développement

de la technique a permis la fabrication d'excellents quartz sur cette fréquence; en outre, elle peut être comparée à celle de l'émetteur étalon anglais M.S.F. de fréquence 5 MHz.

Remarque : On ne peut utiliser directement la fréquence émise par M.S.F. comme fréquence étalon en raison du fading en ondes courtes, des fluctuations de phase qui en résultent, et des divers parasites qui perturbent les réceptions.

3^o/ Oscillateurs pilotés par quartz.

a) Propriétés piézoélectriques du quartz.

Une lame de quartz, non perpendiculaire à l'axe optique, jouit de la propriété suivante : Plongée dans un champ continu, elle subit une déformation; en alternatif, la déformation est particulièrement intense lorsque la fréquence du champ appliqué est égale à l'une des fréquences de résonance mécanique de la lame de quartz. Ces fréquences dépendent des données géométriques et de la position qu'occupait la lame par rapport aux axes du cristal. Les diverses coupes utilisées portent des indicatifs conventionnels (AT, BT, CT, DT, GT, MT, NT, X, ...) qui correspondent à des modes de vibration par flexion, élongation, cisaillement plan ou d'épaisseur, et à des formes différentes: barreau (SCHEIDE), anneaux(ESSEN), plaque, disque ou lentille.

b) Caractéristiques d'un quartz

La fréquence d'oscillation d'un quartz varie avec la température; on choisit la coupe et la forme du quartz pour que cette variation soit très faible dans un certain domaine de température. La courbe température fréquence est généralement une parabole (coupe CT, DT, NT, X, ...), ou une courbe du troisième degré présentant une longue inflexion (coupe AT, GT). Pour obtenir une bonne stabilité

de fréquence, le quartz est placé dans une enceinte thermostatique, dont la température est choisie en un point de la courbe où la pente de la tangente est minimale.

La lame de quartz est associée à deux électrodes, généralement obtenues par métallisation sous vide de deux faces; cet ensemble se comporte comme un circuit électrique à double résonance. (série et parallèle) extrêmement peu amorti (fig. I).

La valeur du quartz est caractérisée par son coefficient de qualité $Q = \frac{L_{eq}}{R}$; Q peut atteindre plusieurs millions pour des quartz spéciaux destinés à des étalons primaires de fréquence; C_I est la capacité entre électrodes.

Ordre de grandeur des éléments pour $F = 5$ MHz :

$$L = 8 \text{ H.}$$

$$C = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ pF.}$$

$$Q \approx 2.000.000.$$

$$C_I = 5 \text{ pF.}$$

Si le quartz est soumis à un choc, sa fréquence d'oscillation peut varier; en particulier, il peut ne plus reprendre exactement sa fréquence après un arrêt de l'oscillateur. Celui-ci doit donc fonctionner en permanence.

c) Choix du type d'oscillateur à quartz.

Nous avons choisi l'oscillateur BUTLER (fig. 2a). C'est un oscillateur à couplage cathodique ayant une très grande stabilité de fréquence. Il oscille sur la résonance série jusqu'aux très hautes fréquences. Il est décrit dans la revue Wireless Eng. (Juillet et Novembre 1944).

Condition d'oscillation : Le circuit oscillant de plaque de T_I doit être accordé sur la fréquence de résonance série du quartz.

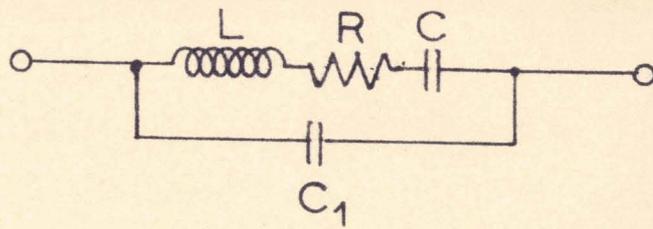


Fig.1 : SCHEMA EQUIVALENT AU QUARTZ

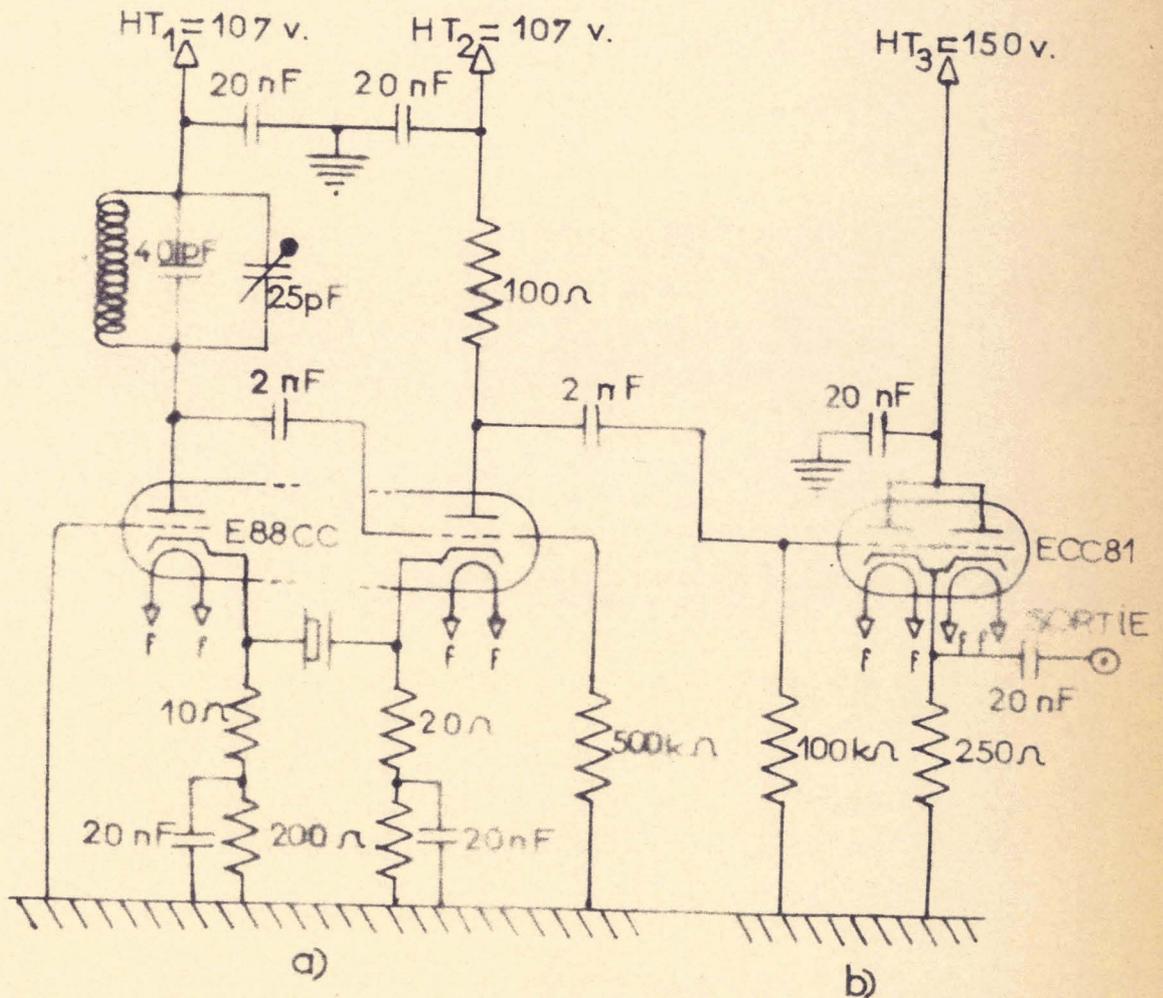


Fig. 2: OSCILLATEUR A QUARTZ

L'oscillateur est suivi d'un étage à charge cathodique (fig. 2b).

4°/ Réalisation de l'oscillateur étalon.

Les éléments utilisés ont été prévus pour un fonctionnement permanent. Le câblage a été réalisé en fil rigide.

a) Oscillateur proprement dit (fig. 2a).

Le quartz est un disque mince (taille AT), monté dans une ampoule vidée à culot noval. Il est relié aux cathodes des tubes de l'oscillateur par un bifilaire blindé. Les tubes de l'oscillateur sont constitués par une double triode HF à pente élevée de la série sécurité: E 88 CC. Le circuit oscillant est constitué:

- de 25 tours de fil de cuivre émaillé de 0,5 mm, enroulés sur un mandrin HF de 14 mm de diamètre sans noyau magnétique.

- de deux condensateurs de 20 pF, et d'un condensateur ajustable Phillips de 25 pF (modèle professionnel).

Les condensateurs de liaison et de découplage sont en mica; les résistances sont des résistances de précision.

b) Etage à charge cathodique (fig. 2b)

Il est constitué par une double triode ECC 81, les deux triodes étant reliées en parallèle.

Valeur de l'impédance de sortie:

$$z_s = \frac{I}{s + g + G_k} = \frac{10^3}{7 + 0,12 + 4} \quad z_s \approx 90$$

Sortie par fiche coaxiale à travers une capacité.

c) Alimentation (fig.3).

La tension plaque de chaque étage de l'oscillateur est stabilisée par un tube OB 2 (107 V.); celle de l'étage à charge cathodique est stabilisée par un tube OA 2 (150 V).

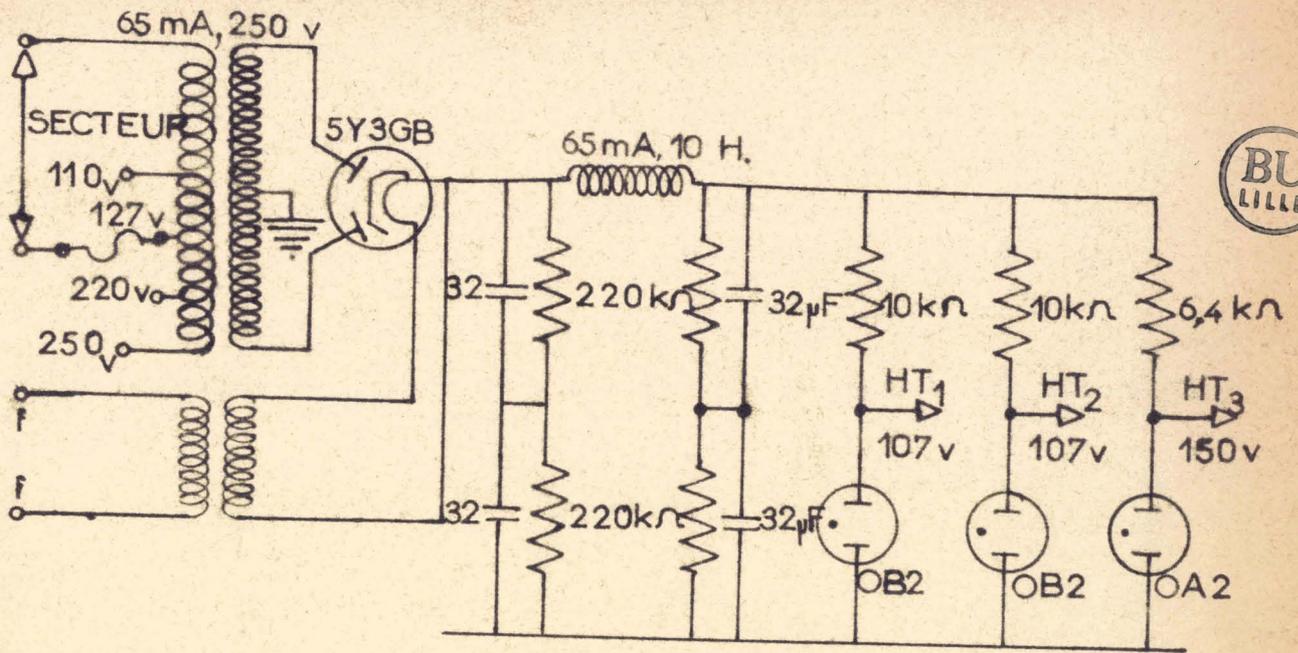


Fig.3 : ALIMENTATION STABILISÉE
DE L'OSCILLATEUR

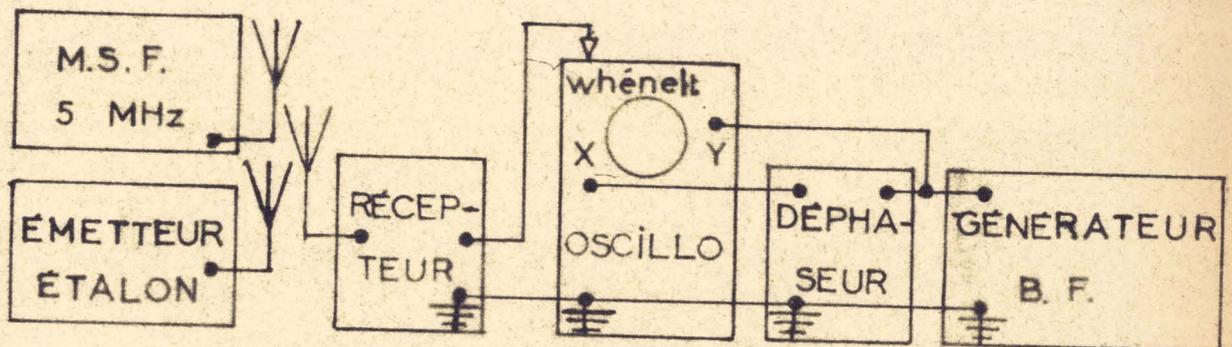


Fig.4 : PRINCÍPE DE LA MESURE
DE LA FRÉQUENCE DE L'OSCILLATEUR

- Intensité totale du courant redressé : 45 mA, fourni par une valve biplaque 5 Y 3 GB. (120 mA).
- Transformateur : 250 V, 65 mA.
- Bobine de filtrage : 10 H, 65 mA.
- Condensateurs de filtrage : 32 - 32 μ F, 500 V, montés en série, et équilibrés par des résistances de 220 k Ω .
- Courant moyen dans chaque tube OA 2 ou OB 2 : 10 mA

d) Réglages.

Les résistances des cathodes de l'oscillateur ont été réduites jusqu'à leur valeur limite produisant l'accrochage.

L'accord du circuit oscillant s'effectue en recherchant la résonance de la tension de sortie par variation du condensateur ajustable accessible du panneau avant. Cette tension a été ajustée, au cours des essais, à 0,5 V, par modification de la résistance d'anode du tube T₂ de l'oscillateur. (fig. 2a)

5^o/ Mesure de la fréquence de l'oscillateur étalon (fig. 4).

Un récepteur accordé sur 5 MHz reçoit simultanément les ondes émises par l'émetteur M.S.F. de fréquence $F = 5$ MHz, et celles émises par l'oscillateur étalon de fréquence F' très voisine de 5 MHz. A la sortie du récepteur, nous recueillons un signal de fréquence $|F' - F|$ que l'on applique au whentel d'un oscillographe cathodique; aux plaques de déviation horizontale et verticale, on applique des tensions sinusoïdales déphasées provenant d'un générateur BF. Lorsque sur l'écran de l'oscillographe apparaît un demi-cercle immobile, la fréquence du générateur BF est égale à celle du battent $\Delta F = |F' - F|$. D'où la fréquence de l'oscillateur étalon :

$$F' = F \pm \Delta F.$$

L'indétermination sur le signe de ΔF est levée par l'étude de la courbe température-fréquence $\Delta F = f(T)$: pour une tension inférieure à celle correspondant à une tangente à pente nulle sur la courbe $\Delta F = f(T)$, la fréquence croît quand la température croît.

II THERMOSTAT

I^o/ Choix du thermostat

a) Précision de température recherchée.

Au voisinage de la courbe $\Delta F = f(T)$ où la pente de la tangente est minimale, on a un $\Delta F/F$ négligeable pour un ΔT inférieur à 0,1 degré C.

b) Choix de l'enceinte thermostatique.

L'enceinte thermostatique est un vase de Dewar de 80 mm de diamètre intérieur, et de 200 mm de profondeur.

Ses dimensions ont été choisies en fonction :

-des dimensions de l'enceinte du quartz :

	<u>hauteur</u>	<u>diamètre</u>
dimensions du quartz utilisé:	48	24
dimensions maxima du montage réalisé:	140	45

- de l'encombrement occupé par la source de chaleur.

- des dimensions du châssis: le vase de Dewar est fixé verticalement sur le châssis, l'ouverture étant orientée vers le bas.

c) Caractéristiques du thermostat.

Pour maintenir un vase de Dewar à la température de 75°, -température moyenne de fonctionnement d'un quartz HF de bonne qualité -, il faut lui fournir une puissance calorifique de 3 watts environ. Les caractéristiques principales du thermostat choisi sont les suivantes:

- puissance de chauffage maximum: 9 W, fournie par des

tubes électroniques de puissance.

- régulation continue de la température, au moyen d'un thermomètre à résistances, et d'un amplificateur asservi, assurant une bonne précision de régulation. (fig.5).

- les divers éléments ont été prévus pour un fonctionnement permanent.

2°/ Etude théorique du thermostat.

a) Thermomètre à résistances (fig.6a).

Il est constitué par un pont de WHEATSTONE A.R.B.M. formé de deux résistances R_e et R'_e indépendantes de la température, et de deux résistances R_I et R_2 à coefficient de température élevé: $a = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$.

Le pont est alimenté entre A et B par une tension alternative basse fréquence V , pour permettre une amplification facile de la tension de déséquilibre $v = V_N - V_M$. Le détecteur est un transformateur T_I dont l'impédance vue du primaire est Z .

Appliquons le théorème de THEVENIN au circuit vu des points N et M (fig.6b) :

- impédance équivalente :

$$R_{NM} = \frac{I}{\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_I}} + \frac{I}{\frac{1}{R'_e} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_e R_I}{R_e + R_I} + \frac{R'_e R_2}{R'_e + R_2}$$

- f.e.m. du générateur de tension équivalent :

$$e = V_N - V_M = (V_N - V_A) + (V_A - V_M) = V \left[\frac{R_e}{R_e + R_I} - \frac{R_2}{R'_e + R_2} \right]$$

$$= \frac{R_e R'_e - R_I R_2}{(R_e + R_I)(R'_e + R_2)}$$

d'où la tension de déséquilibre v :

$$v = Zi = Z \cdot \frac{e}{R_{NM} + Z}$$

$$= ZV \cdot \frac{R_e R'_e - R_I R_2}{(R_e + R_I)R'_e R_2 + (R'_e + R_2)R_e R_I + Z(R_e + R_I)(R'_e + R_2)}$$

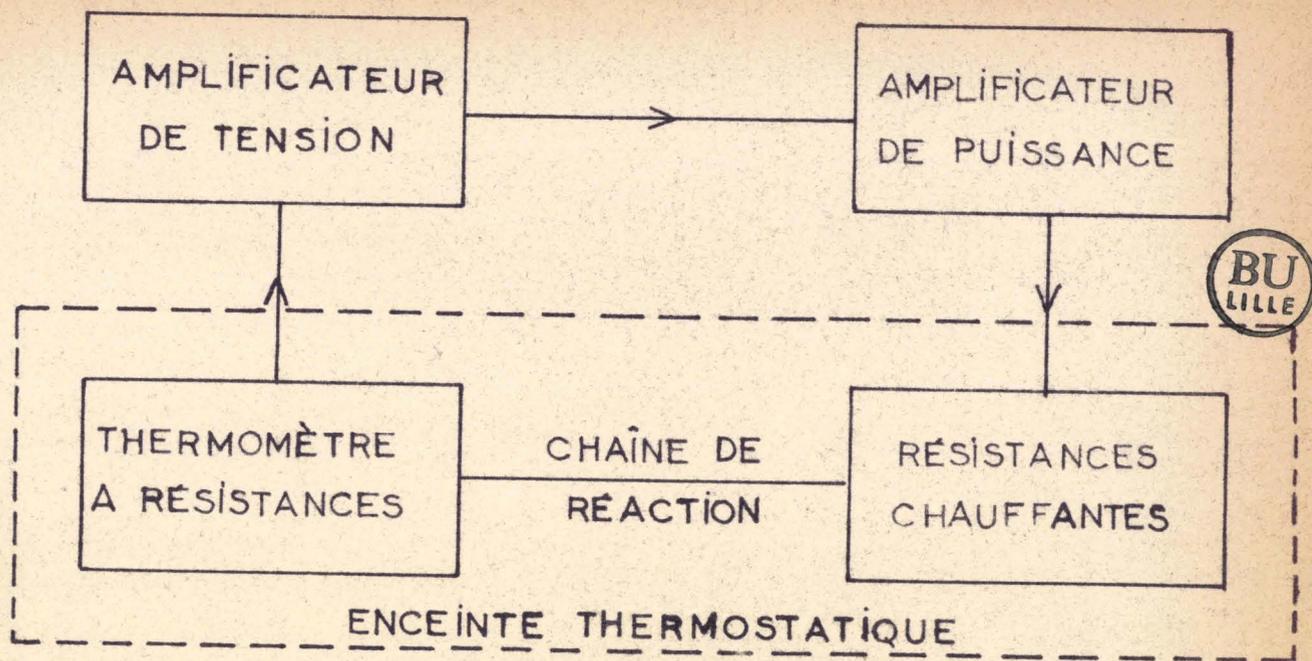


Fig. 5 : SCHÉMA DE PRINCIPE DU THERMOSTAT

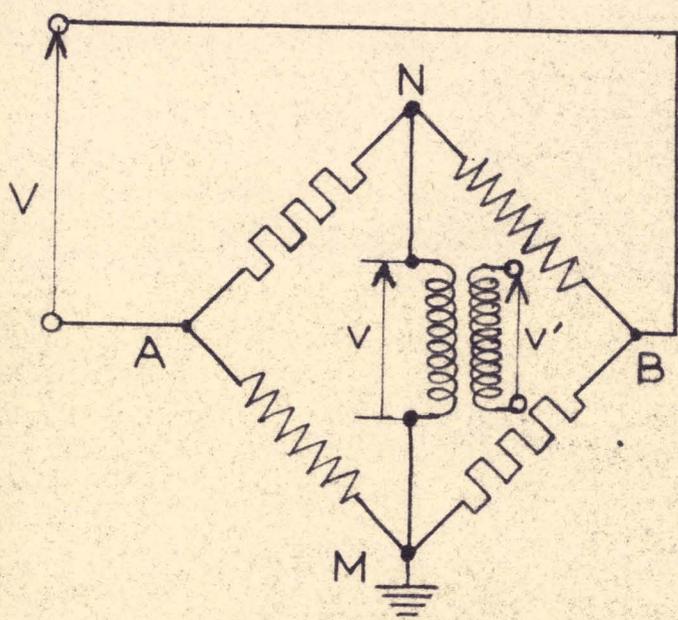


Fig. 6a).

THERMOMÈTRE A RÉSISTANCES

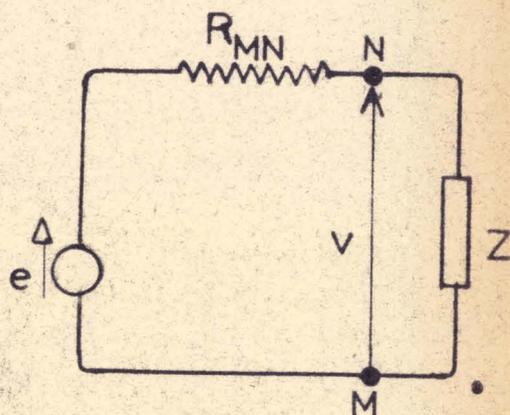


Fig. 6b).

GÉNÉRATEUR DE TENSION ÉQUIVALENT

Supposons qu'à une certaine température t' , le pont soit équilibré : $v = 0$, d'où $R_e R'_e = R'_1 R'_2$, avec R'_1 et R'_2 : valeur des résistances R_1 et R_2 à la température d'équilibre t' .

$$R_1 = R'_1 [1 + a(t - t')]$$

$$R_2 = R'_2 [1 + a(t - t')]$$

Supposons en outre que l'on ait choisi les résistances telles que $R_e = R'_e = R'_1 = R'_2$, donnant ainsi le maximum de sensibilité au pont; pour un faible désaccord de température, $a(t - t')$ est négligeable par rapport à 1; d'où l'expression de la tension de déséquilibre :

$$v = -ZV \frac{a(t - t')}{2(R_e + Z)} = K.V.(t' - t)$$

$$\text{avec } K = \frac{a}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_e}{Z}}$$

K est réel si Z est réelle: ceci est réalisé en accordant le primaire(ou le secondaire) du transformateur T_I ; alors v et V sont en phase si t inférieure à t' .

b) Amplificateur de tension (fig 7a).

La tension de sortie $v' = N_I v$ du transformateur T_I est appliquée à la grille d'un tube pentode. La tension de sortie v'_1 est disponible aux bornes d'un circuit oscillant placé dans le circuit plaque et accordé sur la fréquence de la tension V d'alimentation du pont.

Gain en tension de l'amplificateur: $a_I = \frac{v'_1}{v'} = -s R$, s étant la pente du tube pentode, et R la résistance équivalente au C.O. accordé.

c) Amplificateur de puissance.

Il est formé par un étage push-pull dont les deux tensions d'entrée v_2 et $v'_2 = -v_2$ sont fournies par un étage cathodyne (fig.7b).

Fig. 7a)

AMPLIFICATEUR DE TENSION

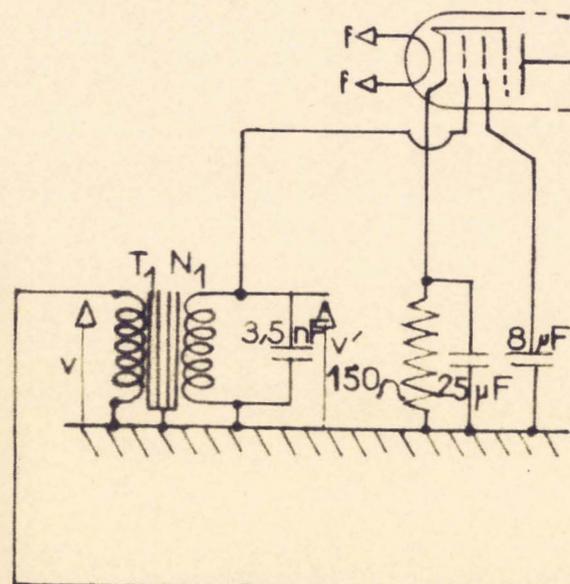


Fig. 7 b)

ÉTAGE CATHODYNE

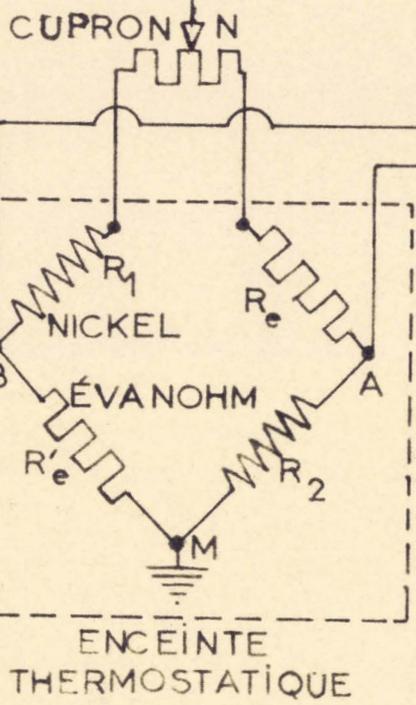
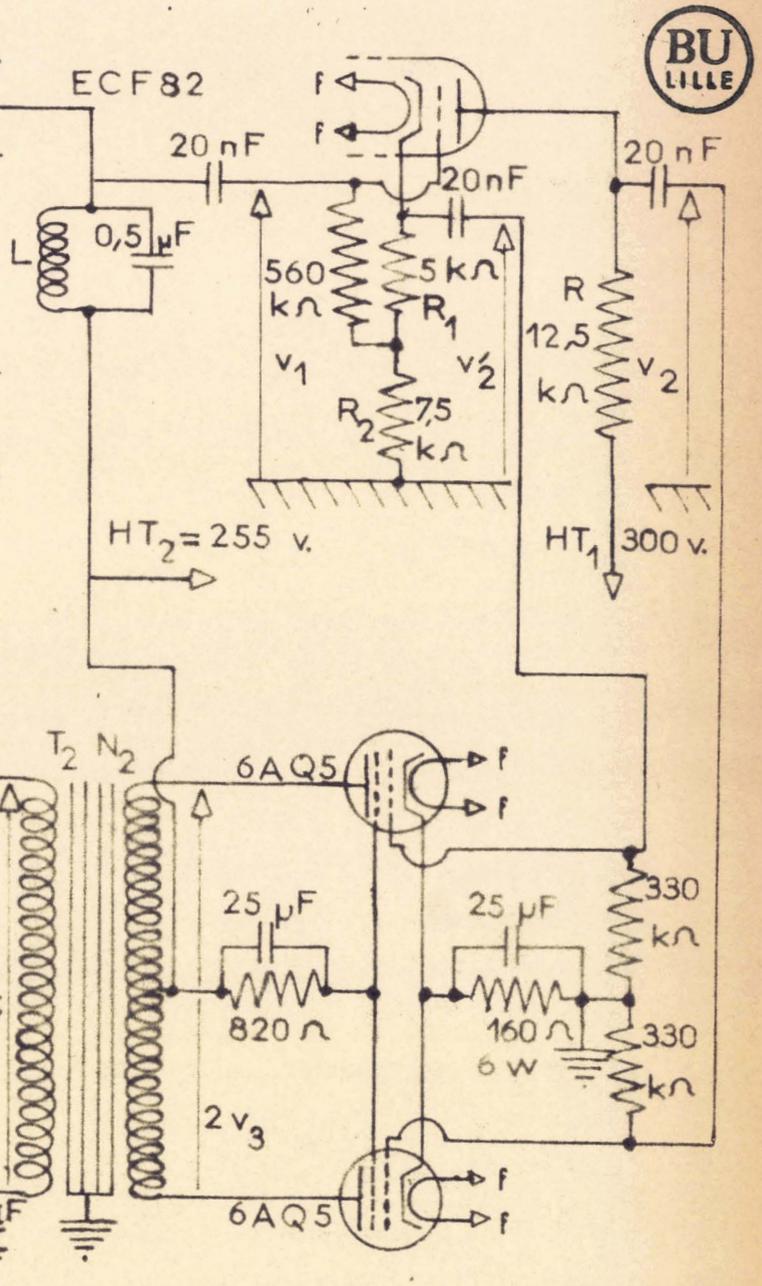
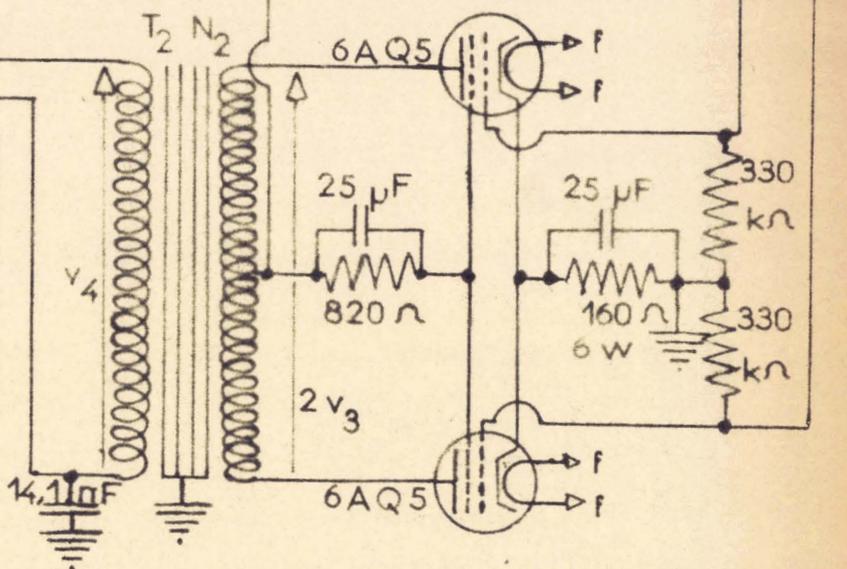


Fig. 7d)

PONT DE WHEATSTONE

Fig. 7c)

ÉTAGE PUSH-PULL



Calcul du gain de l'étage cathodyne: $a_2 = \frac{v_2}{v_I}$

$$R_I + R_2 = R \quad v_a = -(R + R_I + R_2)i = 2v_2.$$

$$v_2 = -R \cdot i = -v'_2 \quad v_g = v_I - R_I i = v_I + \frac{R_I}{R} \cdot v_2.$$

$$i = s v_g + g v_a$$

$$-\frac{v_2}{R} = s(v_I + \frac{R_I}{R} \cdot v_2) + g \cdot 2v_2.$$

$$\text{d'où } a_2 = \frac{v_2}{v_I} = - \frac{I}{\frac{I}{sR} + \frac{R_I}{R} + k}$$

s, g et k étant respectivement la pente, la conductance interne et le coefficient d'amplification du tube au voisinage du point de fonctionnement.

L'étage push-pull (fig.7c) a pour charge un transformateur de puissance T_2 dont l'impédance apparente au primaire est $R_{aa} = 2 R_a$. Le gain d'un tube

$$\text{est: } a_3 = \frac{v_3}{v_2} = - \frac{s}{G_a + g} \quad G_a = \frac{I}{R_a}$$

La tension disponible au secondaire du transformateur T_2 de rapport N_2 est:

$$v_4 = N_2 \cdot 2v_3$$

Le gain de la chaîne d'amplification est:

$$\frac{v_4}{v} = N_I \cdot a_I \cdot (2N_2 \cdot a_2 \cdot a_3).$$

il est réel et négatif.

d) Résistances chauffantes.

La tension de sortie v_4 est appliquée aux bornes d'une résistance chauffante R intérieure au vase de Dewar.

$$\text{Puissance dissipée: } P = \frac{v_4^2}{R}$$

En fait, l'ensemble fonctionne en auto-oscillateur: le secondaire du transformateur T_2 est connecté aux points A et B du pont de WHEATSTONE (fig.7d) de manière que les tensions v_4 et V soient en phase pour t inférieure à t' ;

la résistance chauffante R est la résistance équivalente au pont de WHEATSTONE vue des points A et B.

Pour t supérieure à t', la tension de déséquilibre du pont: $v = K.V.(t' - t)$ change de signe; v_4 et V sont alors en opposition de phase; il y a contre-réaction, le système ne peut osciller. Si t décroît, et devient inférieure à t', le système oscille à nouveau pour un désaccord de température tel que

$$|v_4| \geq |V| \quad \text{ou} \quad |v_4| \geq \frac{V}{K(t' - t)}$$

soit $t' - t \geq \frac{1}{K} \left| \frac{V}{v_4} \right|$;

le thermostat fournit de la chaleur à l'enceinte thermostatique; la température de celle-ci s'élève, entraînant une diminution de la puissance de chauffage. Il y a bien régulation continue de la température.

3^e/Construction du thermostat.

a) Construction de l'ensemble thermomètre à résistances-résistances chauffantes.

Cette réalisation a présenté de grandes difficultés techniques. Nous exposerons seulement le montage définitif.

Choix des résistances du pont:

- les résistances AM et BB' sont en nickel. Au-delà de 100°, le nickel peut être remplacé par du balco.
- les résistances AA' et DM sont en évanohm.
- la résistance A'NB est en cupron, qui se soude mieux que l'évanohm. Elle est disposée sur une plaquette-relai extérieure à l'enceinte thermostatique et reliée en douze points aux plots d'un contacteur permettant ainsi de faire varier la température d'équilibre.

Les caractéristiques essentielles de ces résistances sont indiquées dans le tableau ci-dessous:

	Coeff. de température: $a = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$	Résistivité en $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$	Température limite d'utilisation	COMPOSITION				
				Fe	Ni	Cr	Cu	Al
Nickel	0,006	7,2	100° C		99,9			
Balco	0,0045	20	590 -	30	70			
Evanohm	$\pm 0,000020$	133	300 -		74,5	20	2,75	2,75
Cupron	0,0004	48,8	500 -		45		55	

Caractéristiques mécaniques des résistances utilisées

Résistance	Diamètre du fil	Résistance A/m à 20°C.	Longueur (m)	valeur de la résistance à 85 °C.	Isolement
Nickel	0,1	10	2,10	2 x 140	2 couches soie
Evanhom	0,5	6,4	22 15,5	140 100	souplisseau de 1 mm
Cupron	0,2	16	2,5	40	—

La disposition et les dimensions des différents éléments situés à l'intérieur du vase de Dewar sont indiqués sur la figure 8.

Les résistances en nickel et en évanhom sont bobinées en simple couche sur deux mandrins concentriques en laiton afin d'obtenir une bonne inertie thermique du système. La résistance de nickel ayant un encombrement dix fois plus faible que celle de l'évanohm, elle a été placée près de l'ouverture du vase de Dewar. Ces résistances ont été protégées par un vernis à base d'aldite cuite au four à 100° C.

Le détecteur du pont de WHEATSTONE est un transformateur de rapport $N_I = 10$, dont le secondaire est accordé par une capacité de 3.500 pF. L'impédance du transformateur seul vu du primaire est alors équivalente à 330 Ω . D'où la

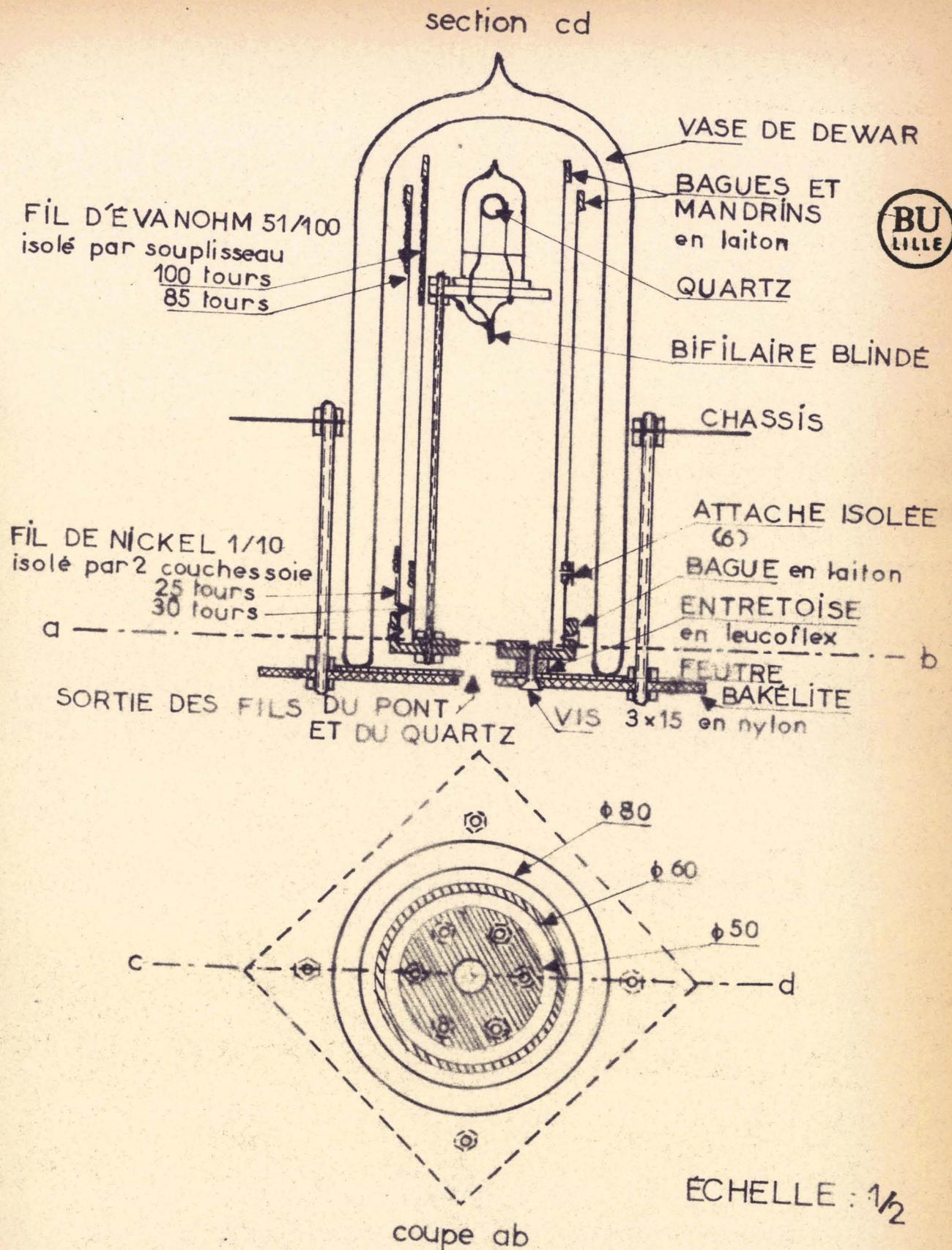


Fig. 8: ENCEINTE THERMOSTATIQUE

valeur numérique du coefficient de proportionnalité

$$K = \frac{a}{2} \cdot \frac{I}{I + \frac{Re}{Z}} \quad K = 0,002I.$$

b) Amplification de tension.

Le secondaire du transformateur d'entrée est connecté à la grille de commande de la partie pentode d'un tube ECF82 (6X8); le circuit oscillant d'anode est constitué par :

- une bobine de 1.200 tours à spires jointives de fil de cuivre émaillé de 0,3 mm de diamètre, placée dans un pot en "Ferrocube".

$$L \neq 80 \text{ mH} \quad Q = 22 \text{ à } 800 \text{ Hz.}$$

- un condensateur au papier de $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ en parallèle sur la bobine. Ce circuit oscillant résonne à 800 Hz; cette valeur de la fréquence a été choisie pour éviter à la fois les perturbations dues au secteur en trop basse fréquence, et les capacités parasites en haute fréquence.

Valeur du coefficient de qualité de l'amplificateur sélectif déduit de la courbe de résonance en fonction de la fréquence : $Q = 9$.

Résistance équivalente au circuit oscillant à 800 Hz : $R = 3.600 \Omega$.

$$\text{Gain de l'amplificateur : } a_1 = \frac{V_I}{V_I} \neq -14$$

c) Amplificateur de puissance. 1-étage cathodyne (fig.7b):

On utilise la partie triode du tube ECF 82

$$\text{gain : } a_2 = \frac{2}{V_I} \neq -0,9.$$

La polarisation de grille ($V_g = -8,8$), et la tension d'alimentation ($B = 300 \text{ V}$, $V_{g,cc} = -14 \text{ V}$) ont été choisies élevées pour permettre le passage de signaux de grande amplitude avec le minimum de distorsion.

2-étage push-pull (fig.7c).

Les tubes employés sont des 6 AQ 5, tétrodes de

puissance à faisceaux dirigés.

La charge est constituée par un transformateur de puissance de 10 W, de rapport $N_2 = 1/10$, fermé sur une impédance équivalente à 140 Ω . Le primaire et le secondaire sont séparés par un écran relié à la masse.

$$\text{Gain d'un étage : } a_3 = \frac{v_3}{v_2} \approx -20$$

Gain total de l'amplificateur de puissance.

$$\frac{v_4}{v_2} = a_2 \cdot 2a_3 \cdot N_2 = 3,6.$$

d) Mise au point.

Les potentiels des bras du pont ont été fixés par rapport aux mandrins en reliant ceux-ci à la masse, ainsi que le sommet M du point opposé au point mobile N.

Les différences de longueur, section et isolement des fils de nickel et d'évanhom ont introduit dans les bras du pont des capacités et des selfs inductions parasites; pour obtenir à la température d'équilibre un désaccord de tension nul, il a fallu équilibrer les impédances non réelles en ajoutant en parallèle sur l'un des bras une capacité de 14.100 pF. Néanmoins, nous avons constaté dans le fonctionnement en amplificateur, qu'il subsistait un bruit de fond de 0,5 volt, correspondant à une puissance inférieure à 1/1.000 de la puissance moyenne de chauffage. Ceci est dû à l'ondulation résiduelle de la tension d'alimentation.

4°/ Alimentation

L'alimentation doit permettre le débit permanent d'un courant de 100 mA. Elle est réalisée suivant le schéma classique (fig. 3a).

Eléments utilisés :

- valve biplaque : 5 Y 3 GB, 120 mA.
- transformateur : 300 V, 120 mA.
- bobine de filtrage: 5 H, 120 mA.

- condensateurs de filtrage : $(32 - 32)10^{-6}$ F en série, équilibrés par des résistances de 220 k Ω .

Nous avons ajouté un dispositif de sécurité schématisé fig. 9b, qui coupe la tension d'alimentation du thermostat si la tension aux bornes des résistances de chauffage augmente anormalement. En effet, le fil résistant en nickel semble fragile, bien qu'il ait été protégé par un vernis isolant, et que la puissance maximum dissipée dans ce fil est 50 fois plus faible que celle indiquée par le fabricant : par suite de rupture du fil ou de défaut d'isolement, le thermostat peut alors fonctionner à puissance maximum, d'où une élévation importante de la température qui détruirait à la fois le quartz et l'ensemble thermomètre à résistances-chauffantes.

Inconvénient de ce dispositif de sécurité: le thermostat cesse de fonctionner si le relai principal n'est plus excité par suite d'une coupure ou d'une chute importante de la tension du secteur.

5°/ Résultats

Gain total de la chaîne d'amplification:

$$A = \left| \frac{v_4}{v} \right| = |N_1 a_1 \cdot 2a_2 a_3 N_2| \approx 500$$

Or, nous avons: (II, 2°/, a)

$$v = K V(t' - t), \quad \text{avec } K = 0,0021.$$

$$\text{d'où } t' - t = \frac{1}{K} \cdot \left| \frac{v}{v_4} \right| \approx 1^\circ \text{ C.}$$

L'écart entre la température d'équilibre et la température intérieure au vase de Dewar est indépendant de la température d'équilibre tant que le gain en tension est constant. Ceci est réalisé pour une tension de chauffage inférieure à 26 V., correspondant à une puissance de 5 W. Au delà, il y a écrêtage de la tension de sortie, essentiellement par les tubes de puissance. La puissance maximale de chauffage que peut fournir le thermostat est

de l'ordre de 9 W. Au cours des essais, nous avons maintenu pendant plusieurs heures la température du vase Dewar à 98° C. avec une puissance inférieure à la moitié de la puissance maximale. Ceci permet d'obtenir une grande précision de régulation au voisinage de la température de fonctionnement. Après un arrêt prolongé du thermostat, la tension de chauffage tend vers une tension d'équilibre suivant une courbe exponentielle (fig. 10). Celle-ci a été tracée pour une température d'équilibre de 87° C., température de fonctionnement du quartz utilisé.

La précision de température à l'intérieur de l'enceinte thermostatique est grande : elle est estimée supérieure à 0,01° C. Avec une amplification suffisamment grande, ce type de thermostat permet d'atteindre, selon M. DECAUX, une précision de 10^{-4} ° C.

III RESULTATS.

1°/ Présentation de l'ensemble Oscillateur étalon-Thermostat.

Les deux montages sont réalisés sur un seul châssis, de dimensions standard; toutes les commandes sont ramenées sur le panneau avant :

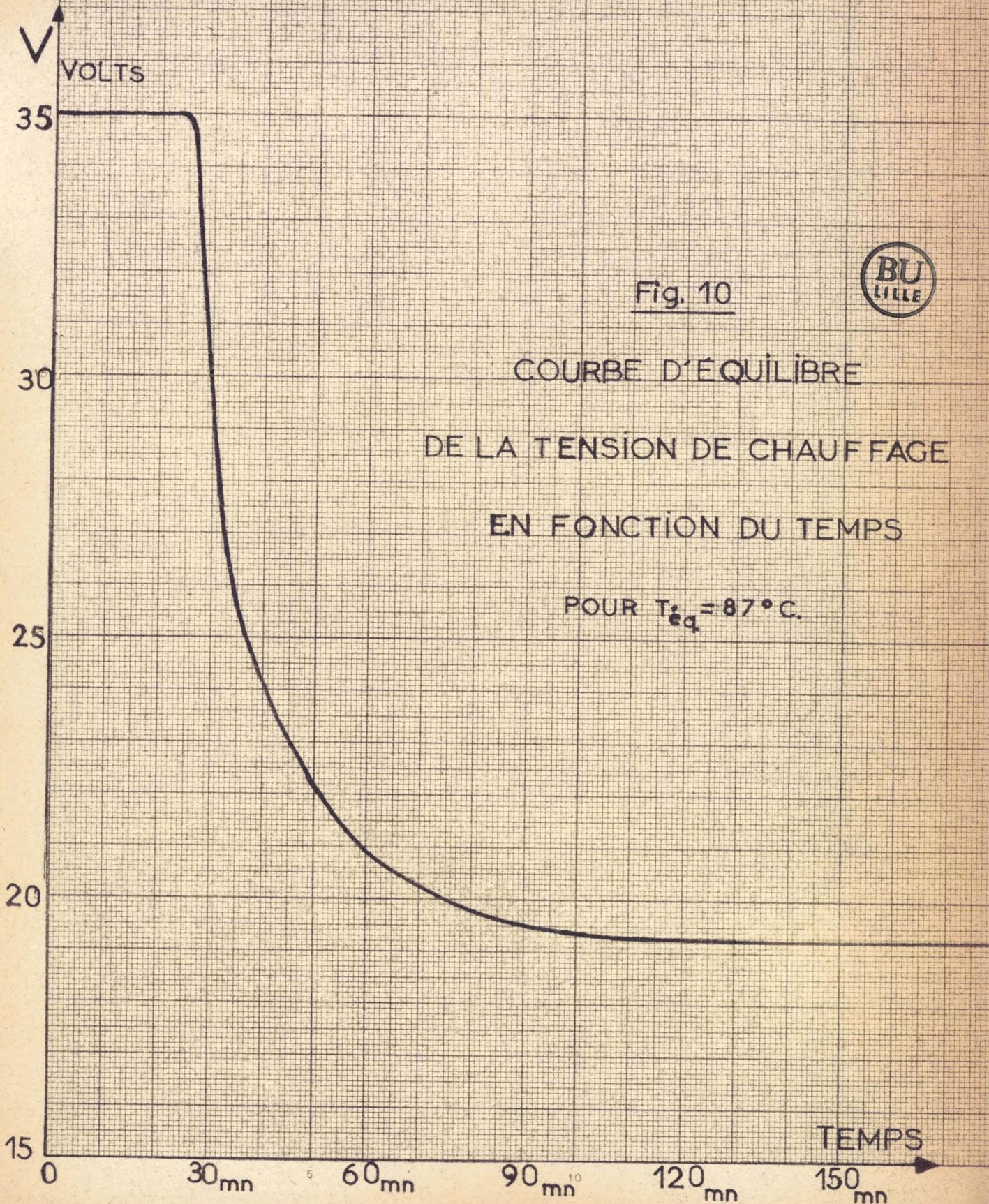
- interrupteurs unipolaires, avec lampes témoins, pour l'oscillateur et pour le thermostat.
- bouton-poussoir pour exciter le relai principal du thermostat lors de la mise en marche.
- interrupteur bipolaire avec lampe témoin pour la mise en service ou non de la sécurité.
- commande du contacteur à 12 positions. Chaque position correspond à une température d'équilibre qui dépend des connexions faites entre le contacteur et la plaquette-relai supportant la résistance en cupron. Ces connexions ont été établies en tenant compte de la température de fonctionnement du quartz utilisé.



Fig. 10

COURBE D'ÉQUILIBRE
DE LA TENSION DE CHAUFFAGE
EN FONCTION DU TEMPS

POUR $T_{eq} = 87^{\circ}C.$



Plot	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Température d'équilibre °C.	42	54	65	74	84	85	86	87	88	89	90	93

- un voltmètre construit à partir d'un microampèremètre continu et d'un pont redresseur indique la tension de chauffage.

- un trou de 14 mm de diamètre dans le panneau avant permet éventuellement de préciser l'accord du C.O. de l'oscillateur 5 MHz à l'aide d'une clé à tube H.F.

2°/ Courbe Température -Fréquence.

Nous avons mesuré la fréquence de l'oscillateur étalon suivant la méthode indiquée en I,5°, quand la température du quartz varie de la température ambiante à 98°C. La courbe obtenue présente une tangente horizontale pour T = 87° C.(fig.II).

3°/ Vieillissement du quartz.

Pour cette température de fonctionnement, nous avons constaté que le quartz vieillissait: sa fréquence d'oscillation varie avec le temps suivant la courbe de la fig.I2. -Actuellement, la variation de fréquence est inférieure à 0,5 Hz par jour, soit une précision supérieure à 10^{-7} , suffisante pour les mesures faites au Laboratoire.

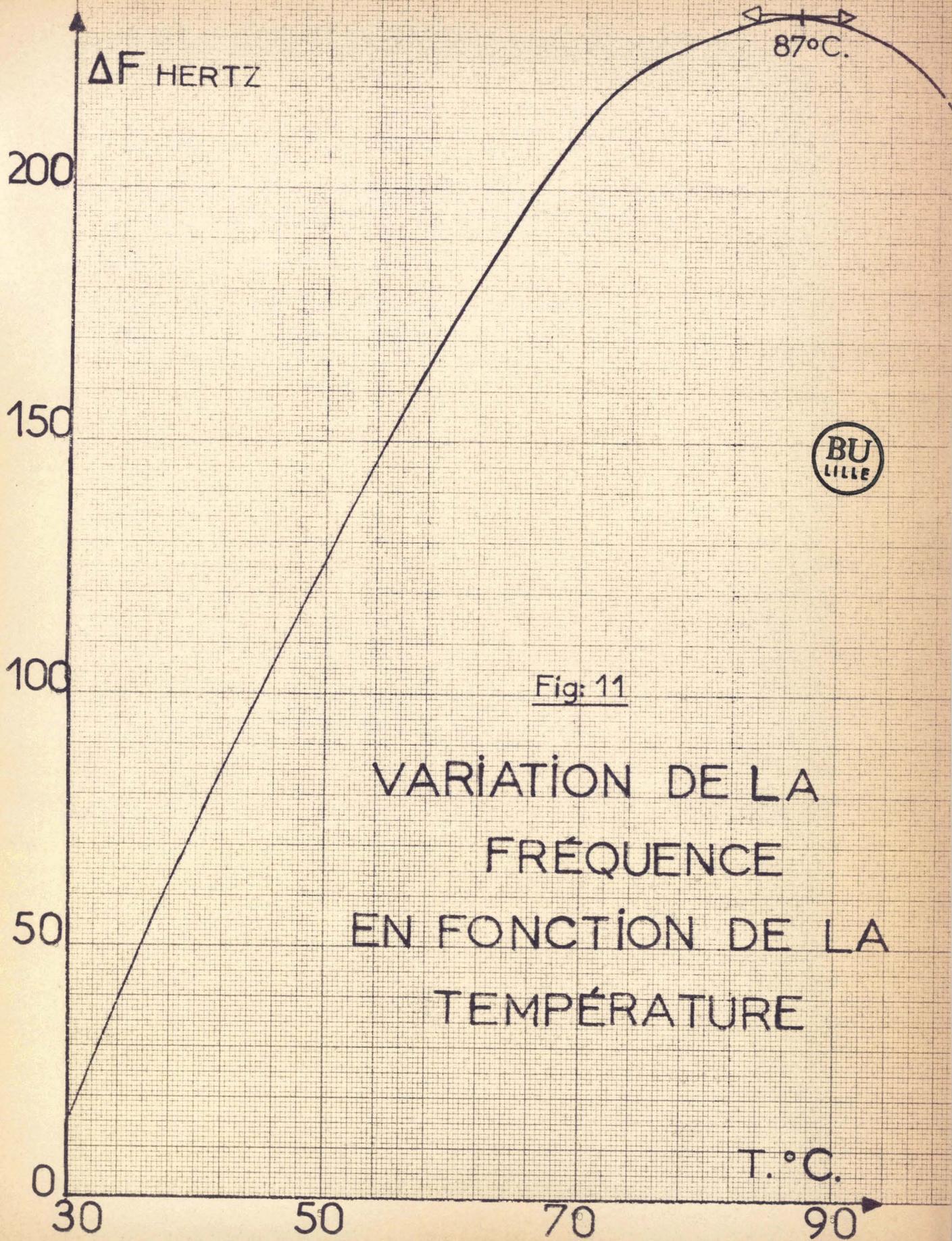


Fig: 11

VARIATION DE LA
FRÉQUENCE
EN FONCTION DE LA
TEMPÉRATURE

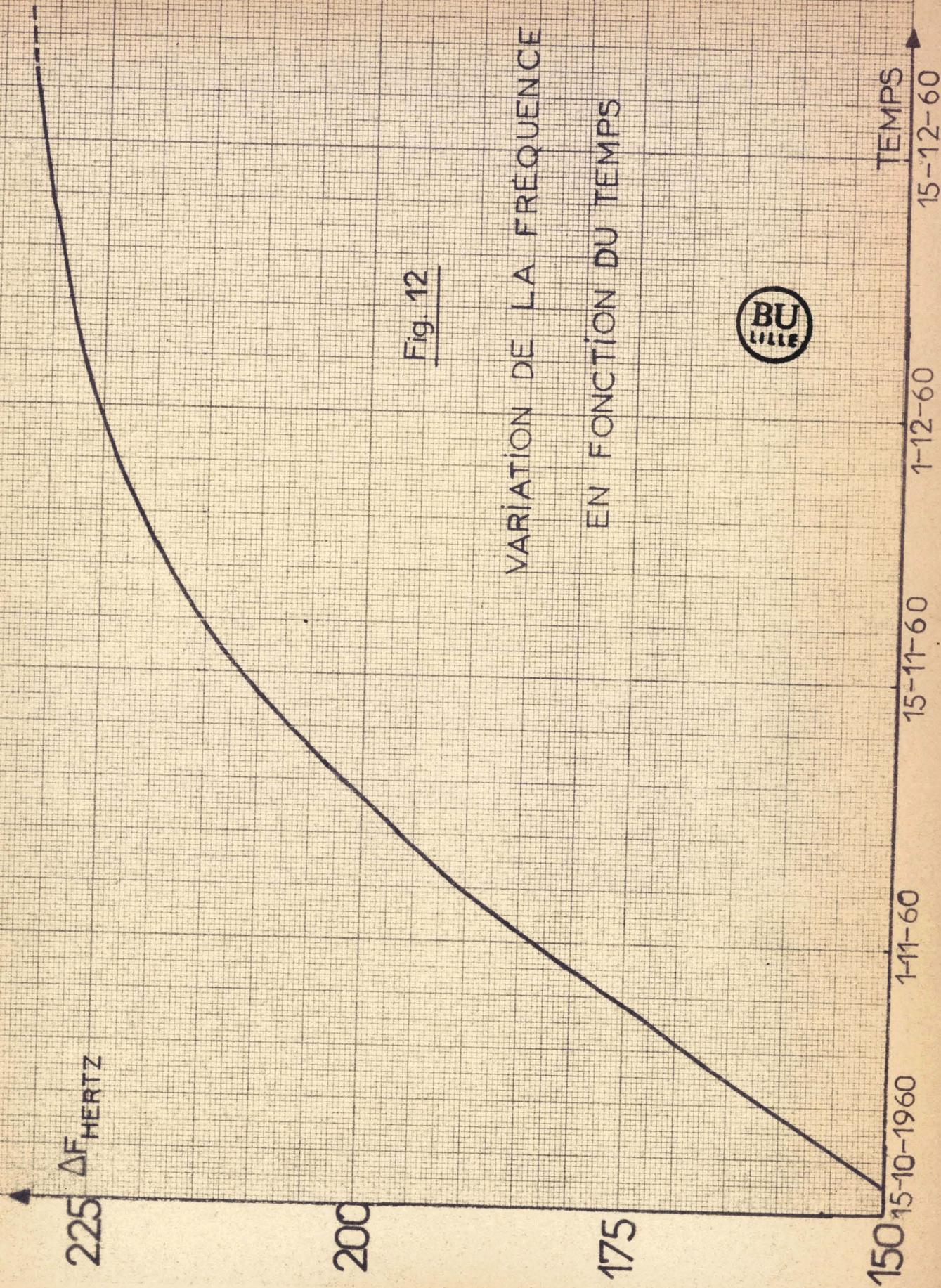
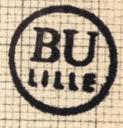


Fig. 12

VARIATION DE LA FRÉQUENCE
EN FONCTION DU TEMPS



BIBLIOGRAPHIE

- GOUDET G. -Electronique Industrielle. Eyrolles, Ed. Paris (1957)
-Thèse. Faculté de Paris. Masson, Ed. Paris. (1942)
- DECAUX B. -La mesure précise du temps. Masson, Ed. Paris (1959)
- MONTGOMERY C.G. -Technique des mesures en micro-ondes. Chiron,
Ed. Paris.
- MICHAUD C. Revue technique Thomson-Houston N° 31. (sept. 1959):
Les étalons de fréquences.
- Wireless Eng. (juillet 1944): Oscillateur type Butler.
" " (nov. 1944): Oscillateur à couplage cathodique.
- Documentation C S F : Quartz, filtres à quartz, pilotes à
quartz, étalons de fréquence (1960).
- XIII^e Assemblée Générale de l'U.R.S.I. Londres (sept. 1960).

