

50376
1961
72

UNIVERSITE DE LILLE

Faculté des Sciences - Institut de physique

50376
1961
72

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES



MESURE PRECISE DE LA FREQUENCE
D'UN OSCILLATEUR ETALON 5 MHz .

Jury : Président : M. PEREZ
Examineurs : M. WERTHEIMER
M. BECART

Présenté à Lille, en Juin 1961

par Jean BELLET



030 026348 1

Ce travail a été dirigé par Monsieur WERTHEIMER ,
Maître de conférences auquel je tiens à exprimer
mes sentiments de vive gratitude.

Je tiens également à remercier Monsieur ROSSELS
dont les conseils m'ont été précieux.

T A B L E D E S M A T I E R E S

PRINCIPE DE LA MESURE

- 1 - Causes d'erreur?
- 2 - Evaluation de ces erreurs.
- 3 - Précision de la mesure.
- 4 - ~~Signe~~ du battement .
- 5 - Mesure pratique.
- 6 - Matériel employé.

OSCILLATEUR BASSE FREQUENCE

- 1 - Principe.
- 2 - Gammes de fréquences.
- 3 - Caractéristiques.

SYSTEME DEPHASEUR

- 1 - ETAGE SEPARATEUR
- 2 - ETAGE DEPHASEUR DE π .
- 3 - DEPHASAGE DE $\frac{\pi}{2}$
- 4 - RESULTATS.

Un oscillateur à quartz dont la fréquence voisine de 5 MHz dérive lentement dans le temps, pilote une chaîne de multiplication de fréquences. Les hautes fréquences ainsi réalisées servent à mesurer les raies d'absorption des gaz, raies obtenues par la spectroscopie hertzienne.

Il est nécessaire de pouvoir mesurer la fréquence du quartz d'une façon rapide et avec une précision de 10^{-7} .

PRINCIPE DE LA MESURE

Le schéma en est donné par la figure 1.

Un récepteur est réglé pour capter l'émission de fréquence étalon $F = 5 \text{ MHz}$ de l'émetteur anglais M.S.F. Il reçoit en même temps le signal de l'oscillateur local de fréquence F_e voisine de F . A la sortie du récepteur nous recueillons donc un signal basse fréquence :

$\delta F = |F_e - F|$; La mesure de F_e se ramène donc à la détermination de δF .

Nous comparons δF à la fréquence variable f d'un oscillateur basse fréquence . Pour cela nous traçons sur l'écran d'un oscillographe cathodique une circonférence en appliquant aux plaques horizontales et verticales deux tensions sinusoïdales , égales, de même fréquence et déphasées de $\pi/2$. Ces deux tensions sont obtenues à partir d'un générateur basse fréquence par un système déphaseur . Le battement δF étant appliqué au whenelt de ce même oscillographe nous observons une demi circonférence lumineuse et stable lorsque $\delta F = f$

Il nous reste donc à déterminer f le plus exactement possible.

1 - CAUSES D'ERREUR

Recherchons maintenant les erreurs qui s'introduisent au cours de cette mesure :

- Erreur sur la fréquence étalon M.S.F. à la réception
- Erreur de mesure ξ lors de l'appréciation de la stabilité de l'oscillogramme.
- Erreur sur la mesure de f .

Donc $\Delta F_e = \Delta F + \xi + \Delta f$

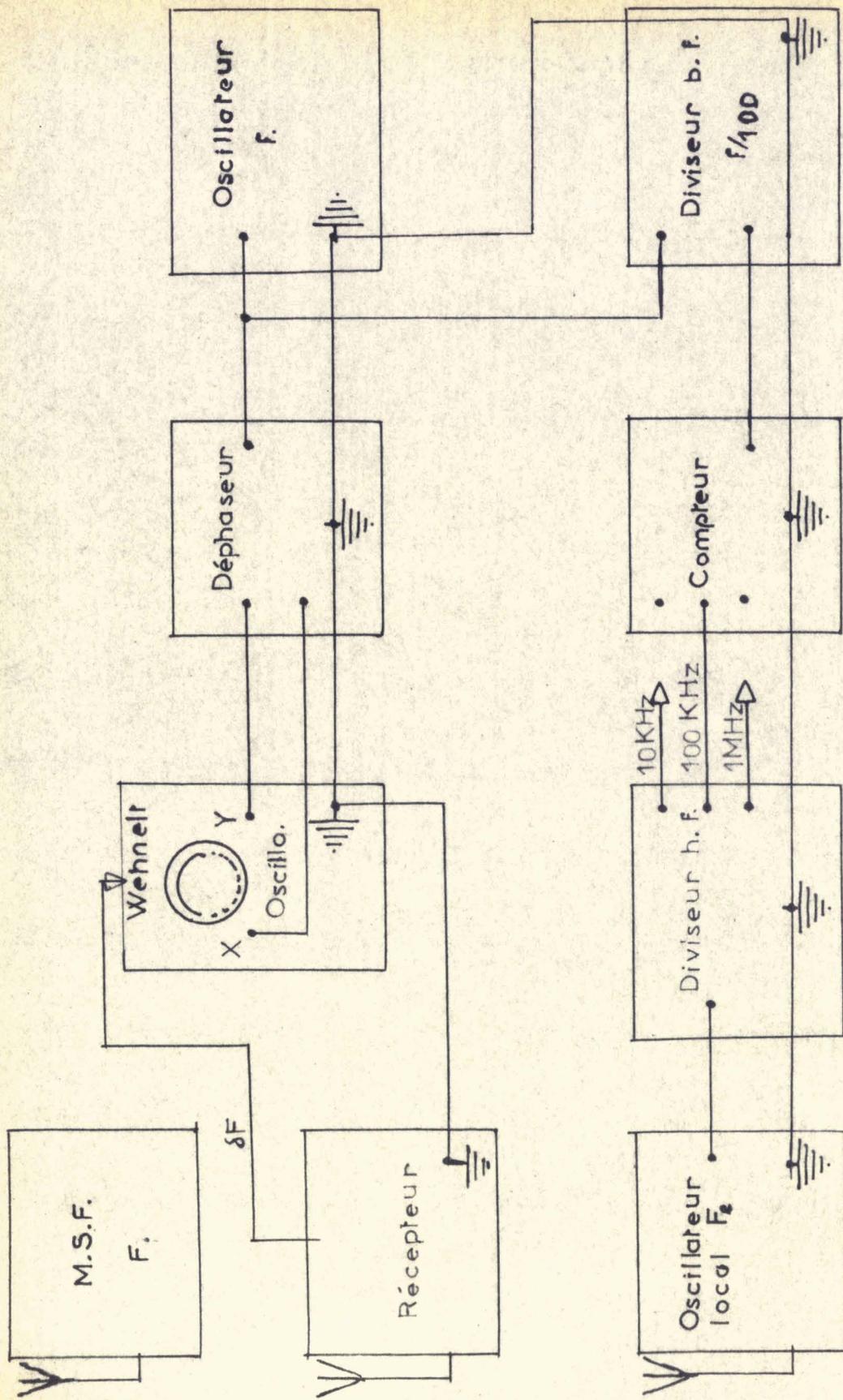


FIG.1 Principe de la mesure

2 - EVALUATION DE CES ERREURS

La fréquence étalon est connue à la réception avec une précision voisine de 10^{-8} donc $\Delta F = 10^{-8} \times 5 \cdot 10^6 = 5 \cdot 10^{-2}$ Hz.

L'erreur ξ dépend naturellement de l'observateur. Elle reste toujours inférieure à quelques centièmes d'Hz.

f est mesurée à l'aide d'un compteur piloté par une fréquence sous multiple de F_e . Le D.E.S. de J. Messelyn décrit le diviseur de fréquence qui permet d'obtenir une division de F_e par 50 et 500. Nous disposons donc de fréquences voisines de 1 MHz, 100 kHz et 10 kHz. Le compteur est par exemple piloté par $\frac{F_e}{50}$.

En première approximation nous considérons que cette fréquence est exactement 100 kHz. Nous obtenons ainsi f donc δF puis F_e . Il nous est alors possible d'apporter une première correction à la fréquence pilote du compteur $\frac{F_e}{50}$ ce qui entraîne également une correction sur f donc δF puis F_e . Nous pouvons ainsi apporter des corrections successives et rendre l'erreur sur f aussi petite que nous le jugeons nécessaire.

Il faut toutefois remarquer qu'il existe encore une cause d'erreur sur f due à la lecture du compteur. f est voisine de 250 Hz. Le compteur piloté par $\frac{F_e}{50}$ et utilisé en périodemètre affiche un nombre voisin de 400 avec une erreur d'une unité.

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{400}$$

L'erreur est trop importante. Il est donc nécessaire pour augmenter la sensibilité de la lecture de diminuer f. On adjoint donc une division de f par 100.

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{400 \times 100} \quad \Delta f = 0,6 \cdot 10^{-2}$$

f devient alors négligeable devant les autres causes d'erreur. Le compteur doit être piloté par 100 kHz car le 10 kHz donne un Δf de $6 \cdot 10^{-2}$ Hz trop important.

3 - PRECISION DE LA MESURE

Toutes les erreurs qui s'introduisent au cours de la mesure ont été évaluées :

$$\Delta Fe = 5.10^{-2} + \xi + 0,6.10^{-2} \ll \frac{1}{10} \text{ Hz}$$

Fe est donc connue avec une précision égale à

$$\frac{\Delta Fe}{Fe} = \frac{1}{5.10^7} = 2.10^{-8}$$

Cette précision est tout à fait suffisante pour les mesures de spectroscopie hertzienne qui se recourent à 10^{-6} près.

4 - SIGNE DU BATTEMENT

Il reste encore un problème : le signe de δF . Il a été résolu en mesurant la fréquence de $\frac{Fe}{50} \neq 100 \text{ kHz}$. Un compteur utilisé en fréquencemètre est assez précis pour montrer que $\frac{Fe}{50}$ reste inférieur à 100 kHz de quelques Hz donc $Fe = F - \delta F$

5 - MESURE PRATIQUE

La mesure de Fe se fait donc de la façon suivante :

- Recherche de la demi circonférence immobile sur l'écran de l'oscillographe par variation de f.
- lecture immédiate de f.
- Correction successives à apporter à f .
- $Fe = (5.10^6 - f) \pm 0,1 \text{ en Hz}$

Prenons l'exemple où le compteur affiche 40.000 quand l'oscillogramme est stabilisé.

	$\frac{Fe}{50} \text{ Hz}$	N	$\frac{f}{100} \text{ Hz}$	f Hz	Fe Hz
Mesure	10^5	40.000	2,5	250	$5.10^6 - 250$
Correction du 1er Ordre	$10^5 - 5$	40.000	$2,5 = 1,2.10^{-4}$	$250 - 0,012$	$5.10^6 - 249,99$

La correction est suffisante l'erreur sur f étant inférieure à 10^{-2} Hz.

Nous en déduisons donc que

$$f_e = 4\,999\,750,0 \pm 0,1 \text{ Hz}$$

6 - MATERIEL UTILISE

La mesure nécessite :

- Un oscillateur basse fréquence .
- Un système déphaseur donnant deux tensions sinusoïdales de même fréquence, égales et déphasées de $\frac{\pi}{2}$.
- Un diviseur basse fréquence (division par 100) .
- Un compteur .
- Un diviseur haute fréquence (D.E.S. J.Messelyn) .

Les deux premiers appareils constituent la partie pratique du D.E.S.

OSCILLATEUR BASSE FREQUENCE

Nous avons utilisé comme oscillateur basse fréquence un étage amplificateur à contre réaction avec réaction positive par l'intermédiaire d'un pont de Wien (schéma figure 2).

1 - PRINCIPE -

La figure 3 rappelle les différentes possibilités offertes par la réaction . Si a est le gain de l'amplificateur nous avons $a = \frac{v_s}{v_1}$
 Une partie de la tension de sortie βv_s se trouve reportée à l'entrée donc $v_e = v_1 - \beta v_s$. Le nouveau gain a pour valeur $a' = \frac{a}{1 - \beta a}$.

- Si le module de $1 - \beta a$ est > 1 $a' < a$. Il y a contre réaction.
- Si le module de $1 - \beta a$ est < 1 $a' > a$. Il y a réaction positive.
- Si $1 - \beta a = 0$ donc $\beta a = 1$ a' est infini. Il y a oscillation. C'est ce qu'il nous faut réaliser.

La réaction positive se fait par l'intermédiaire du pont de Wien . V_A étant la tension de sortie **et** V_B la tension reportée à la grille du premier tube $\frac{V_B}{V_A} = \beta$

$$\beta = \frac{1}{1 + (R + \frac{1}{j C \omega}) (G + j C \omega)} = \frac{-1}{\beta + j (R C \omega - \frac{1}{R C \omega})}$$

Comme a est réel nous n'aurons $\beta a = 1$ que pour β réel

Cette condition détermine la fréquence d'oscillation

$$f = \frac{1}{2 \pi R C} . \text{ Nous avons alors } \beta = \frac{1}{3} .$$

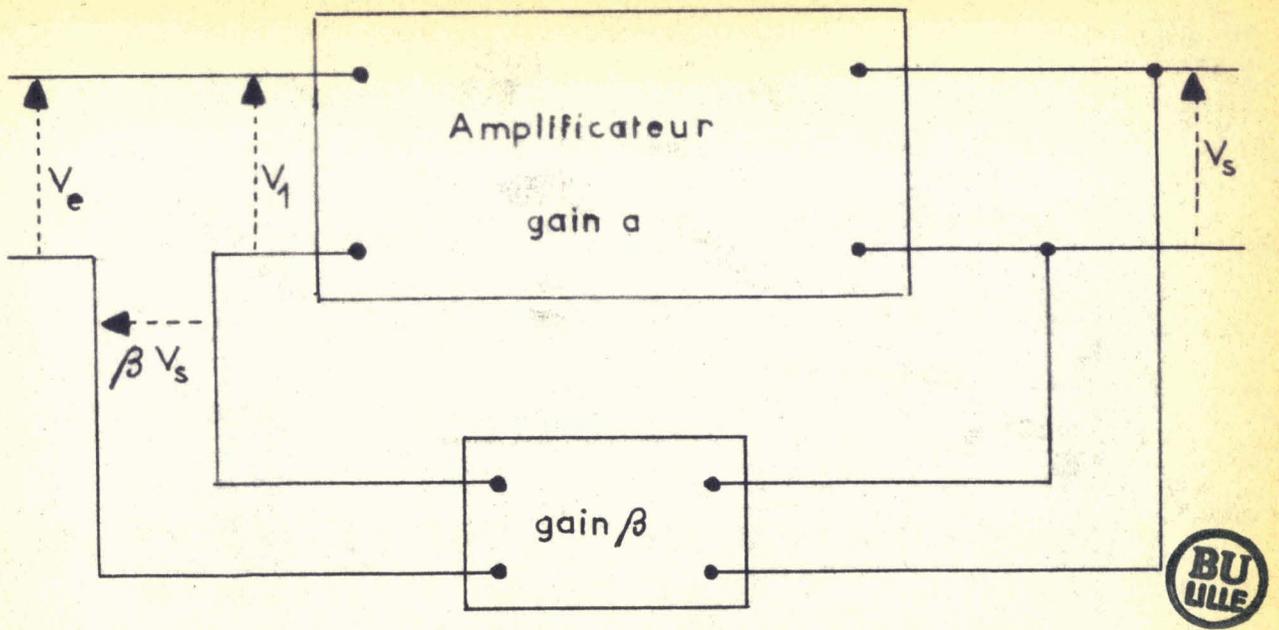


FIG. 3

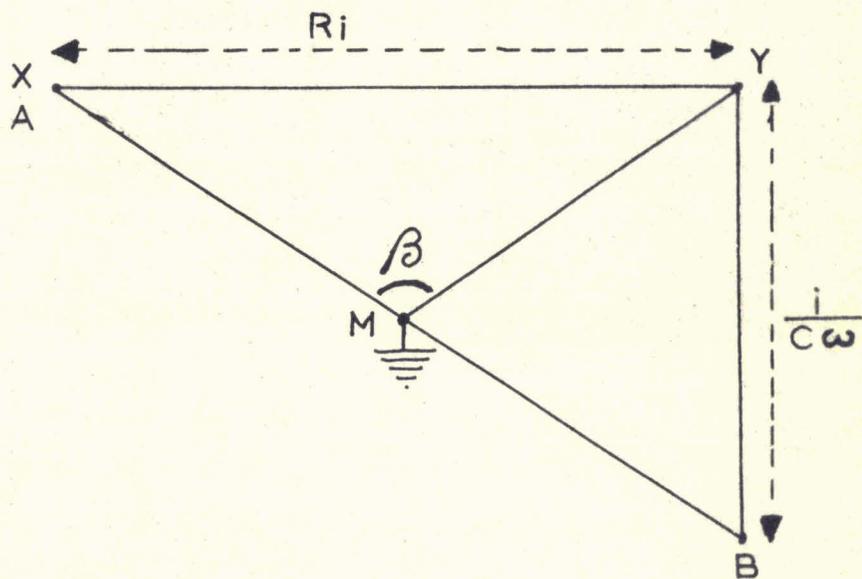


FIG. 5

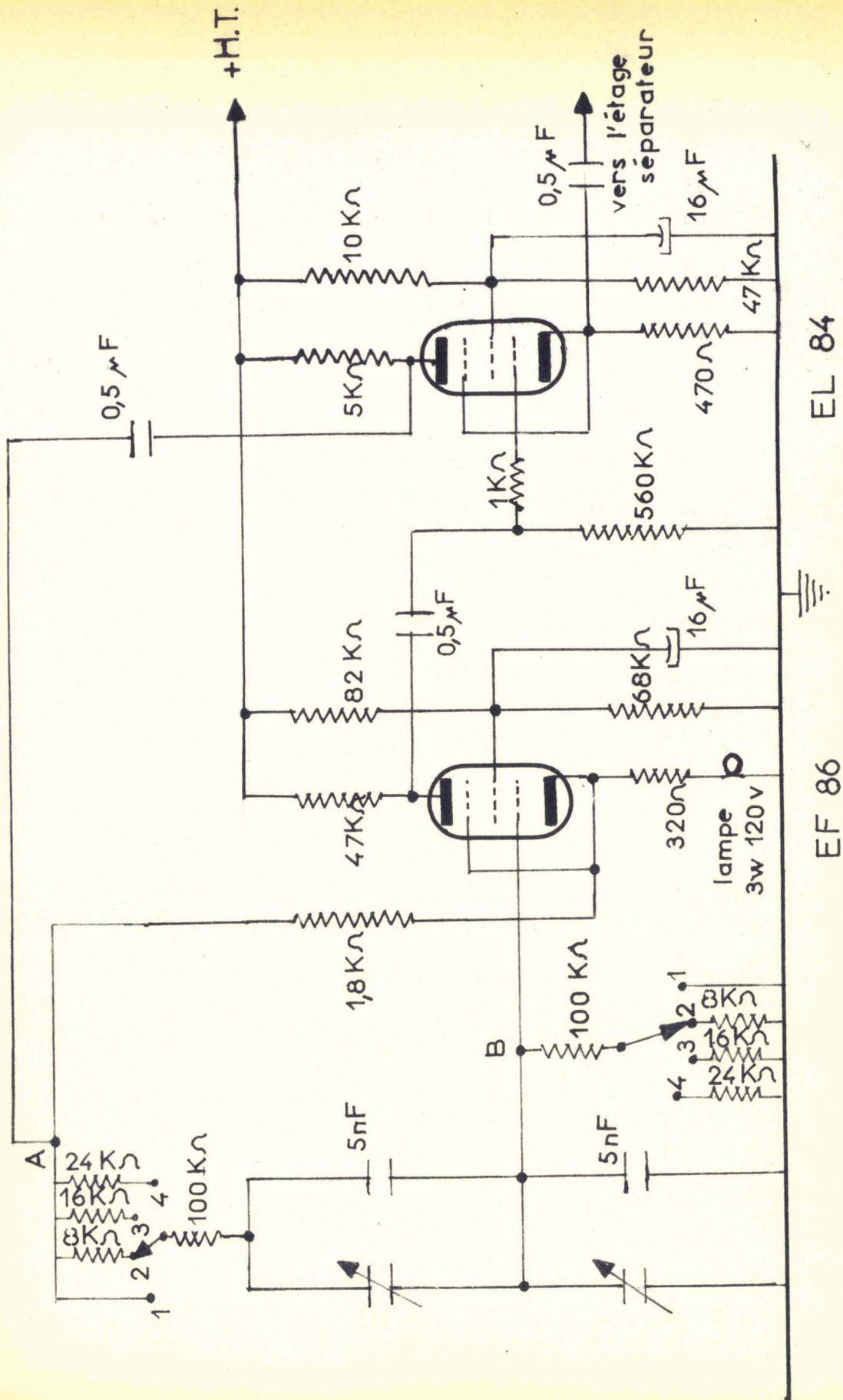


FIG. 2 Oscillateur b. f.

Il reste à réaliser $a = 3$ ou plus exactement a légèrement supérieur à 3 pour que β a soit légèrement supérieur à 1 ce qui empêche l'oscillateur de décrocher a est ici, le produit des gains de deux amplificateurs à résistance ; il est donc positif . Il a une valeur élevée aussi pour le réduire introduisons nous une contre réaction -
Celle ci se fait par l'intermédiaire de la chaîne 1,8 k Ω résistance de cathode . En outre les résistances de cathode non découplées des deux tubes provoquent déjà une contre réaction.

L'amplitude des oscillations est stabilisée par l'introduction d'une lampe à filament métallique comme résistance de cathode . Quand l'amplitude des oscillations croit le courant alternatif à travers la lampe devient plus intense donc la résistance du filament qui varie avec la température augmente. Ceci a pour effet d'augmenter la contre réaction donc de diminuer le gain et les oscillations décroissent . Le mécanisme inverse se produit quand l'amplitude des oscillations tend à diminuer.

2 - GAMMES DE FREQUENCES

Elles sont centrées sur la valeur du battement $\Delta F = 270$ Hz au moment de la réalisation de l'oscillateur.

Le pont de Wien est constitué par $R = 100$ k Ω et $C = 5$ nF ce qui devrait donner $f = \frac{1}{2\pi RC} = 318$ Hz. Nous obtenons

expérimentalement 312 Hz ce qui est valable compte tenu de la précision avec laquelle les éléments sont déterminés.

Un double condensateur variable permet d'augmenter simultanément les deux capacités de 5 nF dans chaque bras du pont. Celui-ci n'est donc pas déséquilibré . L'introduction régulière de la capacité variable produit donc une diminution continue de la fréquence d'oscillation.

Pour toute l'étendue de cette première gamme nous avons $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta f}{f} = \frac{8}{100}$

Un commutateur à quatre positions permet de mettre en série avec les 100 k Ω des résistances de 0, 8 k Ω , 16 k Ω et 24 k Ω . Ceci est réalisé dans les deux bras du pont afin de ne pas le déséquilibrer.

L'addition de la résistance de $8k$ a pour effet de diminuer f de Δf
tel que $\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{8}{100}$. La capacité variable n'étant pas introduite

nous retrouvons donc la fréquence inférieure de la première gamme.

Par addition des résistances de $16k$ et $24k$ nous constituons donc les gammes 3 et 4 suivant le principe précédent.

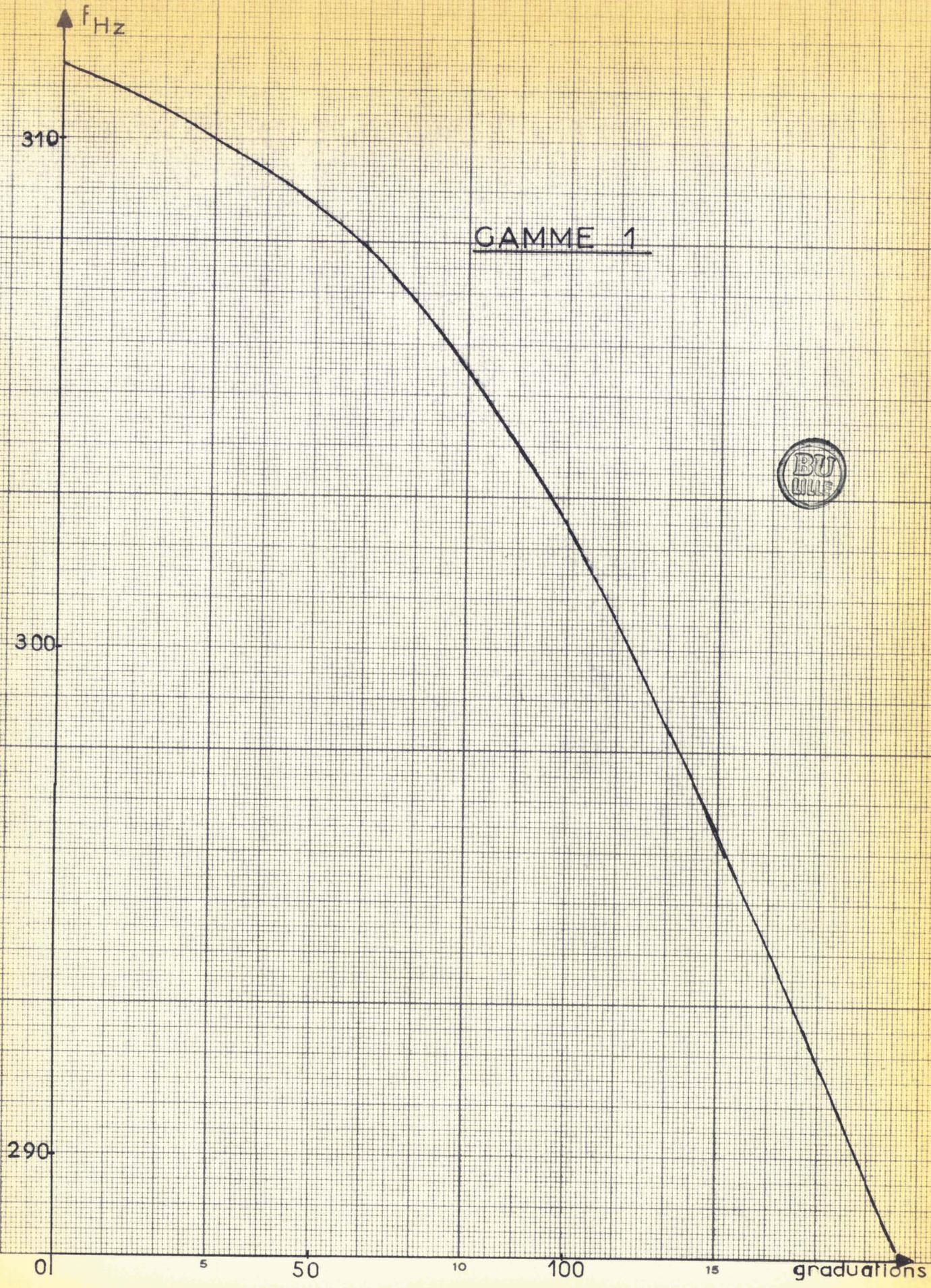
3 - CARACTERISTIQUES

Nous avons obtenu les 4 gammes de fréquences suivantes :

- 1 - 312 Hz à 289 Hz
- 2 - 289 Hz à 267 Hz
- 3 - 269 Hz à 249 Hz
- 4 - 252 Hz à 236 Hz

Les courbes d'étalonnage qui suivent ne nécessitent pas un tracé très précis car elles ne servent pas à une détermination directe de f . Elles indiquent simplement la région où il faut chercher à réaliser la stabilité de l'oscillogramme.

La stabilité de la fréquence de l'oscillateur est de l'ordre de $\frac{1}{10}$ d'hertz.



290 f Hz

GAMME 2



280

270

0

5

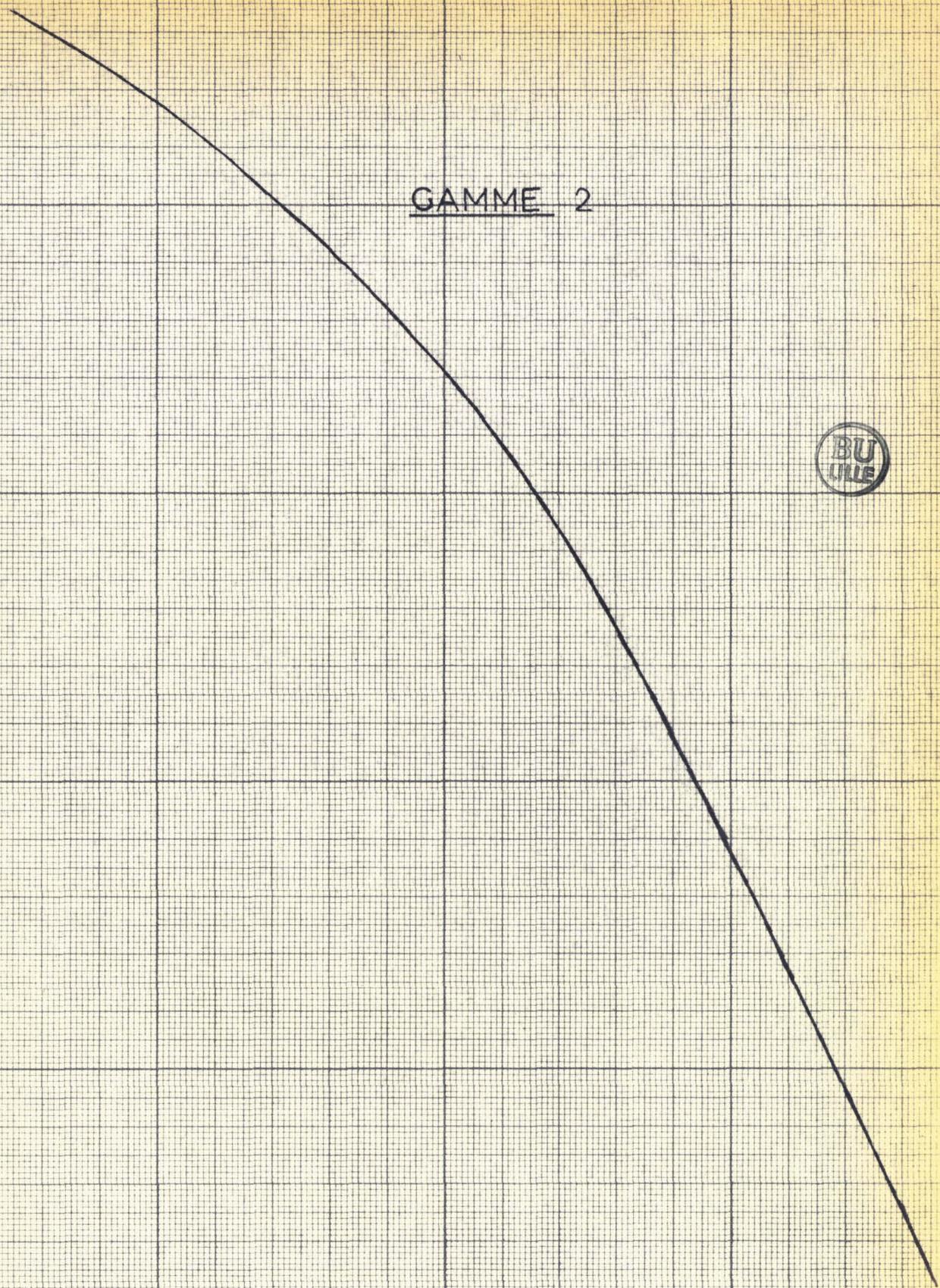
50

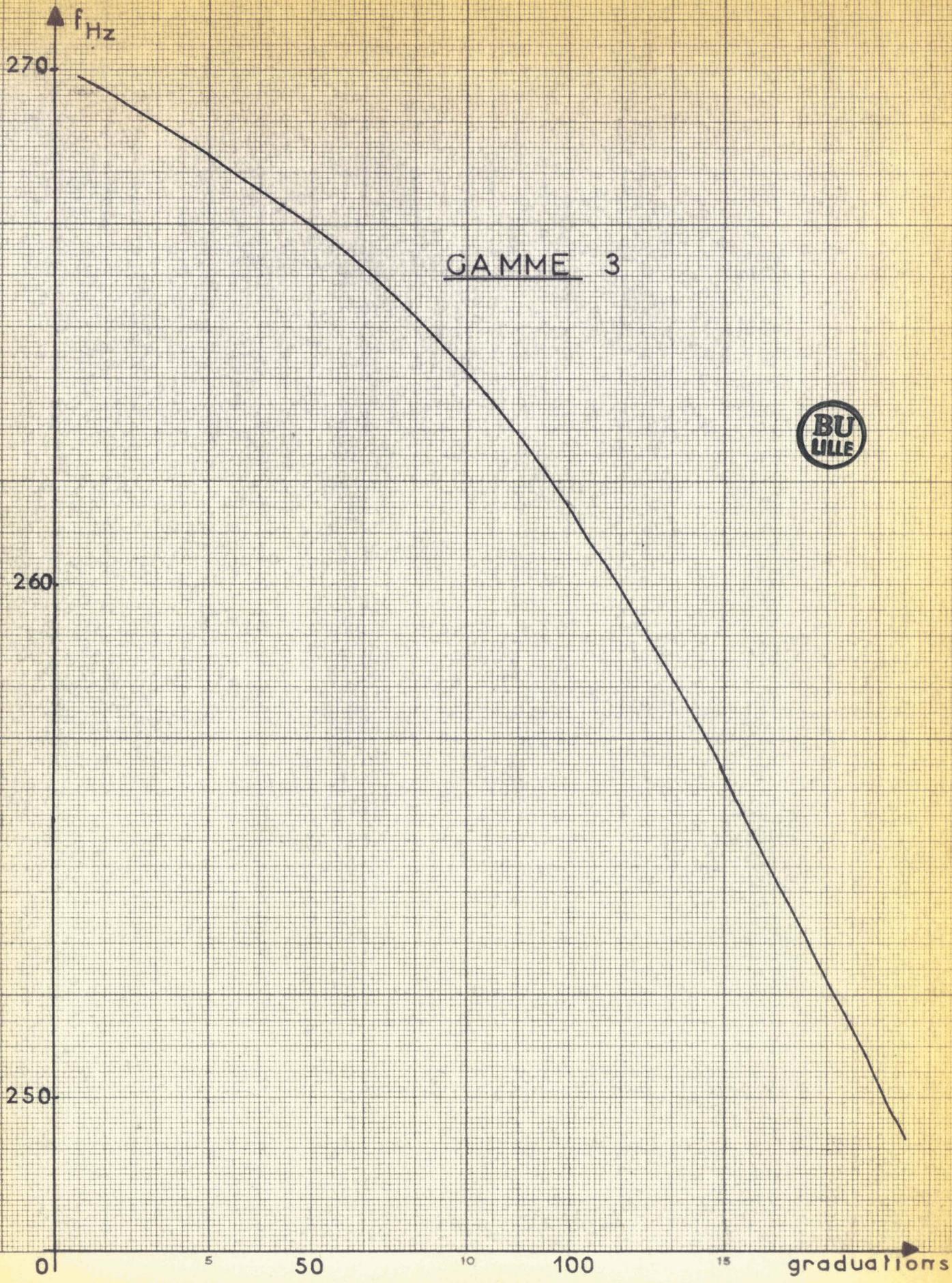
10

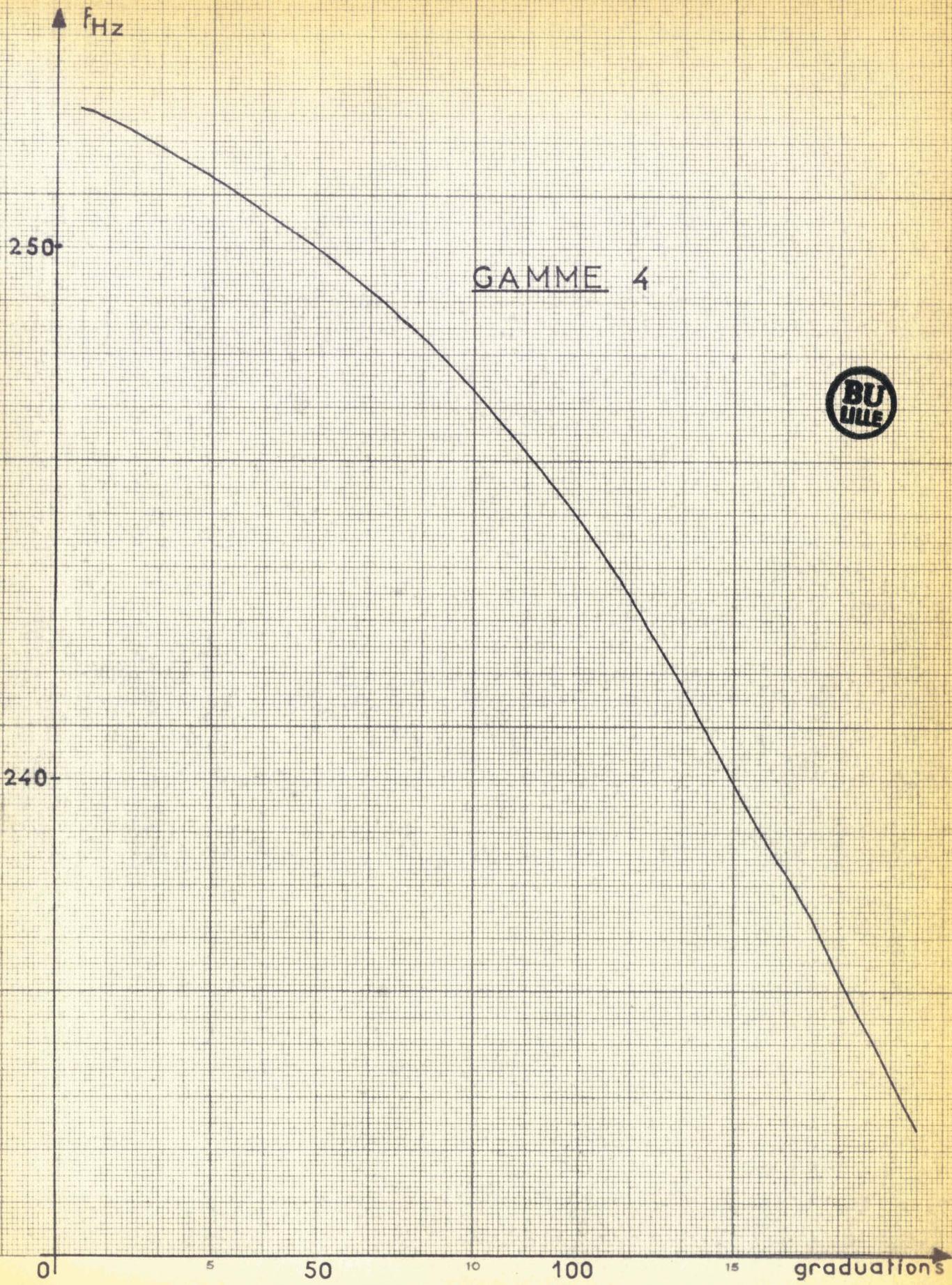
100

15

graduations







SYSTEME DEPHASEUR

Pour obtenir un cercle sur l'écran de l'oscillographe il faut disposer de deux tensions sinusoïdales égales, constantes, de même fréquence et déphasées de $\frac{\pi}{2}$ quelle que soit la fréquence. Ces conditions ne sont pas rigoureuses. Si elles ne sont pas tout à fait réalisées quand f varie la circonférence se déforme plus ou moins en une ellipse. Il faut simplement éviter que le déphasage varie trop avec f ce qui conduirait à une ellipse aplatie et rendrait la comparaison de $\delta\tau$ et f assez difficile. En outre une modification trop importante de l'amplitude des tensions déphasées pourrait faire sortir l'oscillogramme du cadran ou au contraire le rendre trop petit. Ceci nécessiterait une retouche continuelle des amplificateurs X et Y de l'oscillographe lors de la recherche de la stabilité de la demi-circonférence lumineuse.

1 - ETAGE SEPARATEUR (fig.4)

C'est une triode avec charge cathodique. Toute variation dans les circuits qui suivent cet étage ne peut donc pas modifier la fréquence de l'oscillateur.

Une sortie directe est prévue après l'étage séparateur.

Elle alimentera le diviseur basse fréquence.

2 - ETAGE DEPHASEUR DE π

C'est également une triode mais ici $R_a = R_k$

Nous disposons donc en A et B (fig.4) de deux tensions égales et en opposition de phase.

3 - DEPHASAGE DE $\frac{\pi}{2}$

Entre E et B se trouvent en série une résistance R et une capacité C. $V_{AB} = (R + \frac{1}{j C \omega}) i$ comme l'indique la représentation

vectorielle de la figure 5.

La masse est le milieu de AB soit le point M. Considérons les tensions disponibles en X et Y par rapport à la masse :

+ H.T.

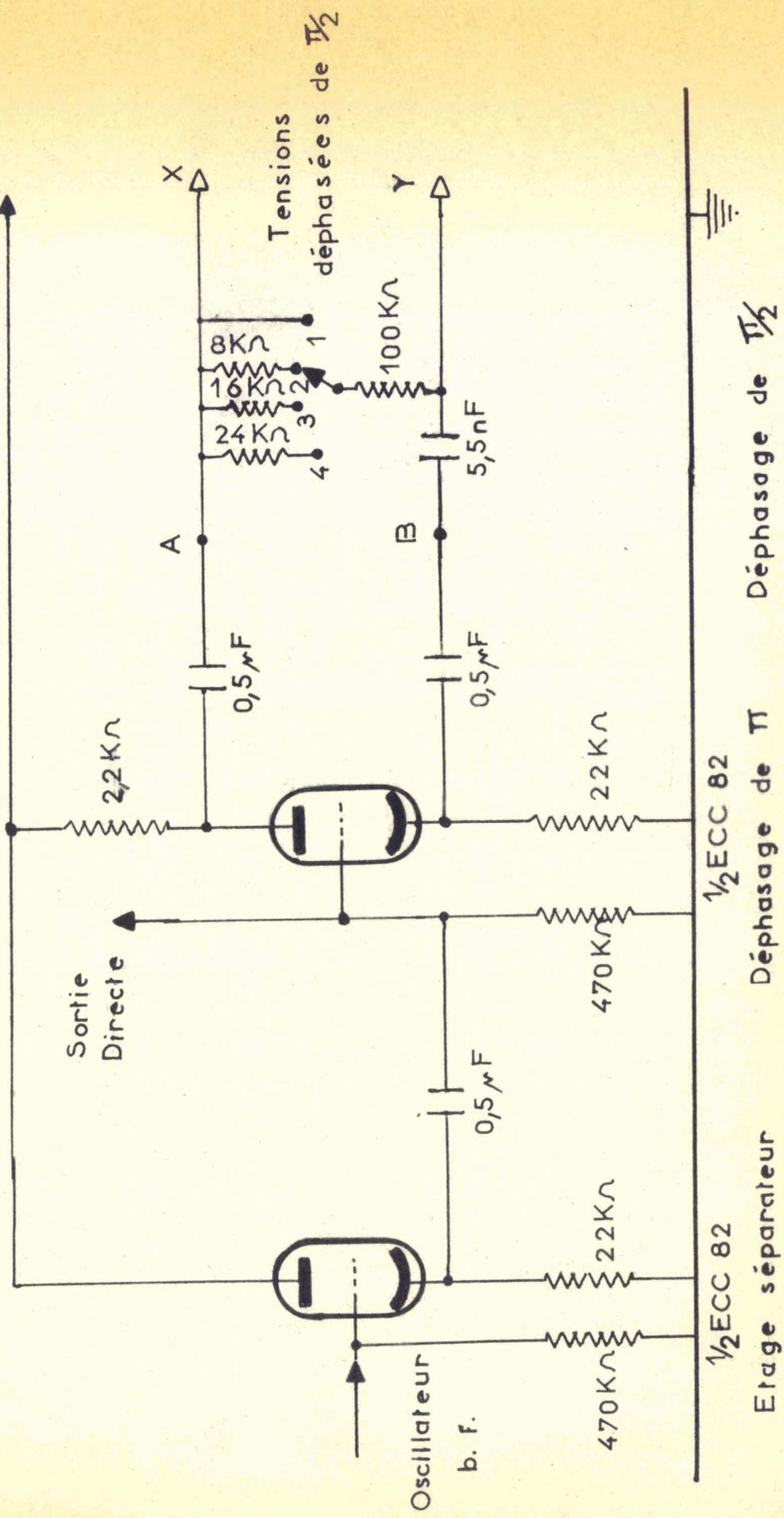


FIG.4 Déphaseur

- Elles sont égales .

- Elles sont déphasées d'un angle β tel que $\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = R C \omega$

$$\text{Si } \beta = \frac{\pi}{2} \quad R C \omega = 1$$

En X et Y nous disposons donc de deux tensions égales et déphasées $\pi/2$ à la seule condition que $R C \omega = 1$.

C'est cette même condition qui détermine la fréquence f de l'oscillateur basse fréquence. Il suffit donc de donner à R et C les mêmes valeurs que dans le pont de Wien :

- $R = 100 \text{ k} \Omega$ + résistance suivant la gamme utilisée

Ceci nécessite donc l'emploi d'un commutateur à 3 circuits (2 pour les bras du pont de Wien , 1 pour le déphaseur)

- $C = 5 \text{ nF}$ + capacité variable

C'est ce qui a été réalisé sans toutefois réemployer une capacité variable . Nous nous sommes bornés à réaliser l'égalité des capacités (donc la condition exacte $R C \omega = 1$) pour le milieu de chaque gamme en mettant $C = 5 \text{ nF} + 1/2$ de la capacité variable du pont de Wien . Le déphasage s'écarte donc un peu de $\pi/2$ lorsque f atteint les extrémités des gammes mais comme nous l'avons signalé ceci n'a guère d'importance pour la mesure.

4 - RESULTATS

Quelque soit f nous obtenons en X et Y deux tensions :

- de même amplitude .

- constantes à 10% (quand f varie la tension du générateur varie un peu et ceci se répercute sur les tension V_A et V_B).

- déphasées de $\pi/2$ pour le milieu de chaque gammes déphasées de $\frac{\pi}{2} \pm$ quelques degrés pour les extrémités de chaque gamme.

