

# EXPERIENTIA

Vol. IX - Fasc. 11

Pag. 397-436

15. XI. 1953

## La conservation de l'heure avec les horloges à quartz

Par ED. GUYOT<sup>1</sup>, Neuchâtel

*Introduction.* Le problème de l'heure qui intéresse chacun dans un pays horloger comme la Suisse, comprend trois opérations distinctes: la détermination de l'heure, la conservation de l'heure et la distribution de l'heure. La détermination de l'heure est du domaine de l'astronomie. On entend sous ce terme l'observation astronomique qui permet de trouver l'heure à un moment donné: l'heure vraie si l'on a observé le soleil, l'heure sidérale s'il s'agit d'étoiles. Dès qu'on connaît l'heure, on s'efforce de la conserver au moyen d'appareils désignés sous le nom général de garde-temps et dont les plus connus à l'heure actuelle sont la montre et l'horloge. En outre, les observatoires qui possèdent l'heure exacte s'efforcent d'en faire profiter le plus grand nombre de personnes possible en la distribuant, c'est-à-dire en la diffusant par tous les moyens que la technique moderne met à notre disposition: signaux télégraphiques, horloges parlantes, téléphone, radio, etc.

*Clepsydres, sabliers, chandelles horaires, lampes horaires.* La conservation de l'heure se fait donc à l'aide de garde-temps. La précision de ces derniers a beaucoup varié au cours des siècles. Les plus anciens furent les clepsydres ou horloges à eau et les sabliers. Dans la clepsydre, le niveau de l'eau dans un récipient percé d'un trou à sa partie inférieure permettait de reconnaître les différents moments de la journée. Grâce à leur ingéniosité, les anciens perfectionnèrent les horloges à eau en leur adjoignant des flotteurs et autres indicateurs en relation avec un cadran qui permettait de lire l'heure directement. Dans les pays où le sable abonde, on employa le sablier qui resta très longtemps en usage. En 1800, un pasteur l'utilisa encore pour mesurer la longueur de ses sermons et certaines ménagères ne sauraient s'en passer lorsqu'elles cuisent un œuf. Mentionnons encore la chandelle horaire dont la combustion progressive permettait d'apprécier les heures dans la nuit et la lampe horaire dont le niveau de l'huile diminuait à mesure que les heures passaient.

*Pendules et montres.* Vers 1360 apparaît l'horloge à foliot dont la première semble avoir été construite par HENRI DE VICK. Cette horloge n'avait pas encore de balancier dont l'idée vint à GALILÉE qui ne la réalisa pas. C'est CHRISTIAN HUYGENS qui construisit la première horloge à pendule en 1657. En la perfectionnant, on arriva aux pendules de précision des obser-

vatoires. Quant à la montre qui apparut à peu près à la même époque que l'horloge à foliot, elle fut perfectionnée par HUYGENS lorsqu'il imagina le ressort spiral, et donna naissance à la science horlogère et chronométrique qui fait la prospérité de notre pays. Les chronomètres actuels sont basés sur les mêmes principes que les premières montres, mais ils sont plus précis, car on s'est efforcé de les mettre à l'abri des variations de température en les compensant et, en modifiant les courbes terminant le spiral, on a cherché à réaliser l'isochronisme des oscillations, c'est-à-dire à obtenir que la durée d'oscillation du balancier ne varie pas avec son amplitude.

Le balancier d'une montre comme celui d'une pendule fait une oscillation en un certain temps qui doit rester le même pour que le garde-temps soit précis. La pendule d'observatoire, par exemple, fait son oscillation complète (aller et retour) en deux secondes. Dans l'échappement à ancre utilisé pour les montres et les chronomètres, le balancier fait généralement cinq oscillations à la seconde, parfois dix. L'idée d'employer d'autres phénomènes oscillatoires pour mesurer le temps vint naturellement à l'esprit des physiciens.

*L'horloge à diapason.* En 1857, JULES LISSAJOUS utilisa les vibrations du diapason qu'il entretenait par un procédé électrique. Ce fut l'origine de l'horloge à diapason qui eut quelques succès autrefois, en particulier à l'Observatoire de Paris, où deux d'entre elles participèrent à la conservation de l'heure. Cependant, les variations de température influent sur la durée d'oscillation, c'est pourquoi il fallut employer un métal peu sensible à la température. Les diapasons en élénvar permirent de réduire sensiblement les écarts.

*L'horloge à quartz.* L'horloge à quartz est le garde-temps moderne le plus précis. Il est basé sur la découverte de l'effet piézoélectrique par les frères CURIE en 1880. Ces derniers constatèrent qu'en soumettant le quartz à un effort, il en résulte une certaine électricité potentielle induite. Inversement, lorsqu'un quartz est placé dans un champ électrique, il est légèrement déformé proportionnellement à la force et à la polarité de ce champ. Si le quartz est placé dans un champ électrique alternatif dont la fréquence lui permet de résonner, l'amplitude du mouvement est notablement augmentée. En 1921, WALTER G. CADY<sup>1</sup> fit la première

<sup>1</sup> Observatoire cantonal de Neuchâtel.

1 WALTER GUYTON CADY, Piezoelectricity (Mcgraw-Hill Book Company, Inc., London 1946).

étude concernant l'utilisation des oscillateurs à quartz pour le contrôle des fréquences. On s'aperçut bientôt qu'ils avaient une stabilité beaucoup plus grande que tous les appareils du même genre. Ils pouvaient servir à la fois comme étalon de fréquence et comme étalon de temps. Cependant, leurs fréquences étaient trop élevées pour qu'on puisse les accoupler aux moteurs synchrones. Le premier diviseur de fréquence permettant de ramener la fréquence à une valeur plus faible fut proposé en 1924 par CADY. D'autres virent le jour en 1927 et cette année-là apparut la première horloge à quartz présentée par HORTON et MARRISON<sup>1</sup> devant l'International Union of Scientific Radio Telegraphy. Depuis cette date, l'horloge à quartz n'a cessé de se développer et la plupart des observatoires se sont empressés de l'adopter comme garde-temps de précision. Voyant le développement pris par les horloges à quartz, l'Observatoire de Neuchâtel spécialisé dans la conservation de l'heure ne pouvait rester indifférent. C'est pourquoi la Commission de l'Observatoire adressa, le 11 décembre 1947, au Conseil d'Etat de la République et Canton de Neuchâtel, un rapport demandant l'installation d'horloges à quartz dans un local spécialement aménagé. Le Grand Conseil accorda un crédit de 330000 fr. dans ce but et les travaux commencèrent en 1948. Actuellement deux horloges à quartz sont installées (Fig. 1) ainsi que des comparateurs de fréquences (Fig. 2), des appareils récepteurs de signaux horaires (Fig. 3) et deux chronographes enregistreurs BELIN.

Les deux horloges à quartz de l'Observatoire de Neuchâtel ont été construites par le Département Oscilloquartz d'Ebauches S.A. à Neuchâtel. L'organe régulateur est un petit barreau de quartz dont la fréquence est de 100000 cycles/seconde; un diviseur de fréquence permet de la ramener à 1000 cycles/seconde et fournit le courant nécessaire pour actionner un moteur synchrone triphasé dont l'arbre fait, par conséquent, 10 tours à la seconde quand la fréquence nominale est atteinte. La roue phonique, grâce à une démultiplication, fait tourner une autre roue à la vitesse d'un tour/seconde. Cette roue possède un contact électrique qui se ferme à chaque seconde et donne un battement comme une pendule à balancier. Pour que l'exactitude du contact soit plus grande, la roue phonique ferme un contact tous les dixièmes de seconde et c'est la roue à seconde qui sélectionne le bon dixième.

La partie la plus importante de l'horloge est donc le quartz<sup>2</sup>. Ce dernier cristallise dans le système rhomboédrique; l'axe longitudinal est l'axe optique qu'on prend comme axe des Z (Fig. 4). Il y a 3 axes mécaniques perpendiculaires aux faces latérales YY, Y'Y',

Y"Y" et 3 axes électriques perpendiculaires aux 3 derniers et passant par les sommets de l'hexagone XX, X'X', X"X" (Fig. 5). Les morceaux de quartz utilisés sont coupés suivant des plans orientés par rapport à ces axes<sup>1</sup>.

Les cristaux coupés perpendiculairement à l'axe des X sont connus sous le nom de coupe X ou coupe d'angle nul. La normale à la face de la plaque fait un angle nul avec l'axe électrique. La coupe Y ou à 30° a sa normale parallèle à l'axe des Y, c'est-à-dire qu'elle fait un angle de 30° avec un axe électrique.

La fréquence  $f$  dépend tout d'abord des dimensions du quartz. Pour une coupe X, elle est donnée approximativement d'après YOUNG et BUECHE par la formule  $f = 2,86 \times 10^6/t$  où  $f$  est exprimé en cycles par seconde et où  $t$  est l'épaisseur de la plaque en millimètres. Pour une coupe Y, on a:  $f = 1,96 \times 10^6/t$ .

La fréquence dépend encore de la température. Pour une coupe X, la variation de fréquence pour une variation de température d'un degré centigrade est d'environ 22 cycles par mégacycle; la fréquence décroît quant la température croît. Pour la coupe Y, le coefficient est positif et varie entre 60 et 100 cycles par mégacycle et par degré centigrade. Il est donc possible de trouver une coupe telle que le changement de fréquence avec la température soit minimum. Chaque coupe a reçu un nom spécial.

<sup>1</sup> MILTON G. YOUNG, Fundamentals of Electronics and Control (Harper & Brothers, Publishers, New York 1952).

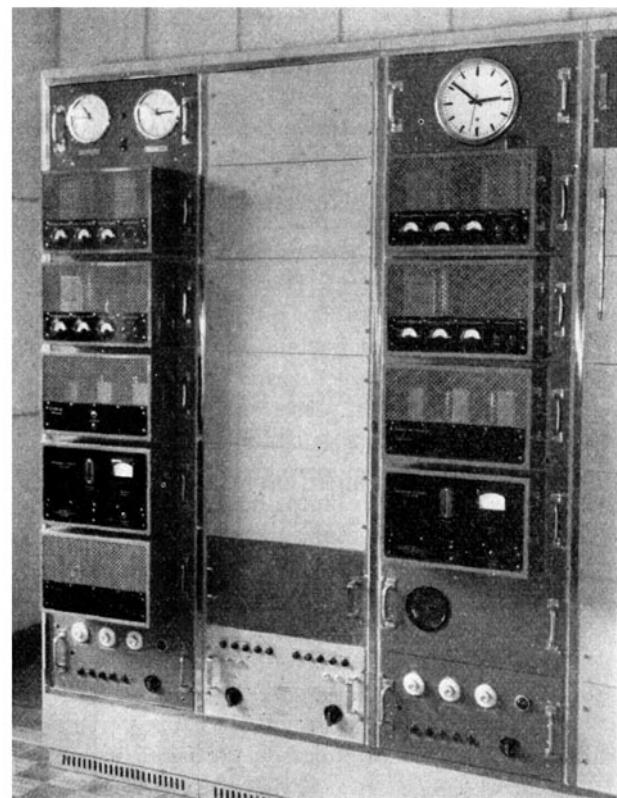


Fig. 1. Deux horloges à quartz de l'Observatoire de Neuchâtel.

<sup>2</sup> WARREN A. MARRISON, The evolution of the quartz crystal clock. Bell Telephone System, monograph B-1593 (1948).

<sup>2</sup> WALDEMAR I. BENDZ, Electronics for industry (John Wiley & Sons, Inc., New York 1947).

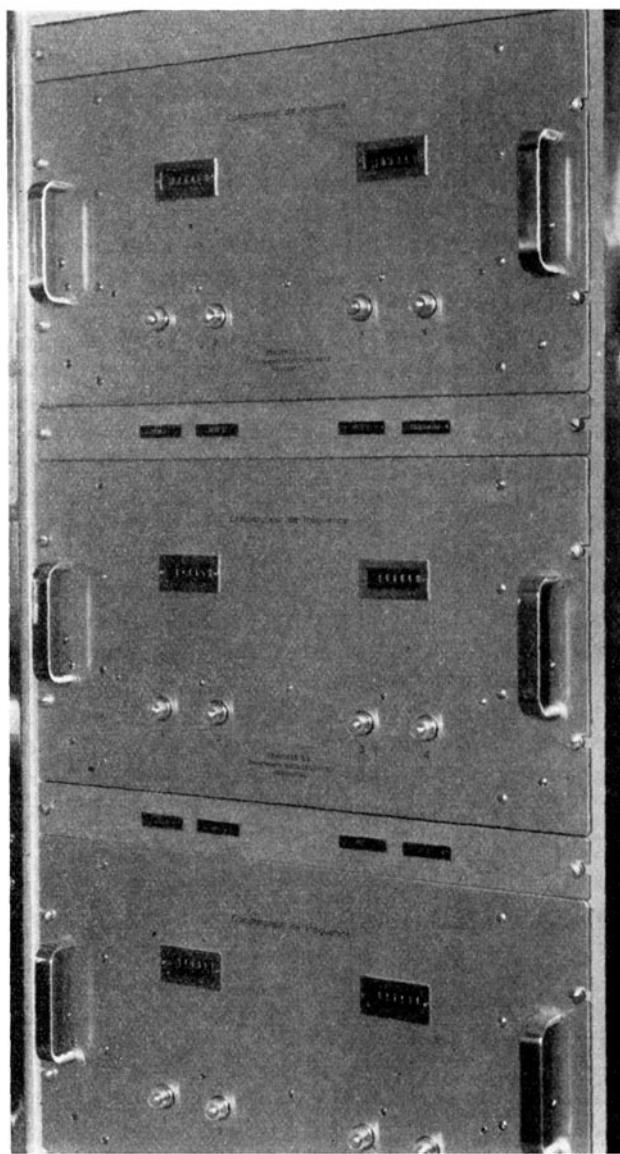


Fig. 2. Comparateurs de fréquence. Le dernier chiffre des nombres apparaissant dans les fenêtres des comparateurs correspond au cent-millième de seconde.

La coupe  $AT$ , par exemple, s'obtient en faisant tourner le plan de coupe autour de l'axe des  $X$  dans la direction négative d'un angle de  $35^\circ$  environ, la coupe  $BT$  en faisant tourner le plan de coupe d'un angle de  $49^\circ$  dans le sens positif.

D'après WALTER GUYTON CADY, Piezoelectricity, chaque coupe peut être nettement désignée par 3 angles  $\varphi$ ,  $\Theta$ ,  $\psi$ , désignant 3 rotations autour des axes de la manière suivante: soit  $OA$  la plaque de cristal dont les dimensions suivent les 3 axes sont  $l$  ( $X$ ),  $b$  ( $Y$ ) et  $t$  ( $Z$ ). On effectue tout d'abord une rotation  $\varphi$  autour de l'axe des  $Z$  et les axes deviennent  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1 = Z$ . Puis on effectue une rotation  $\Theta$  autour des axes  $Y_1$  et les axes deviennent  $X_2$ ,  $Y_2 = Y_1$ ,  $Z_2$ . Enfin on effectue une rotation  $\psi$  autour de l'axe  $Z_2$  et les 3 axes deviennent  $X'$ ,  $Y'$  et  $Z' = Z_2$  (Fig. 6). La rotation, vue de la partie

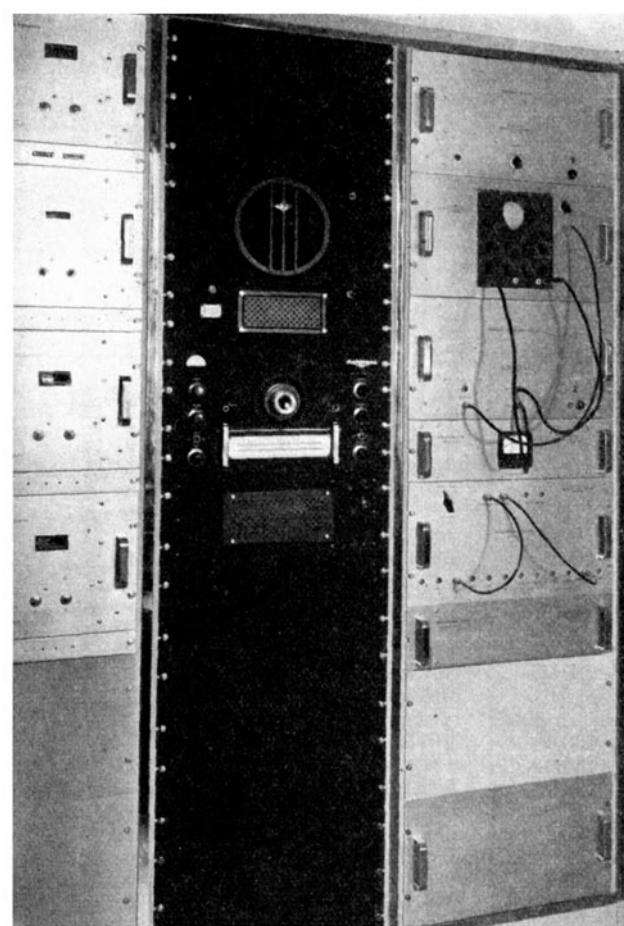


Fig. 3. Appareils récepteurs de T.S.F. grâce auxquels l'Observatoire de Neuchâtel reçoit les signaux horaires lui permettant de comparer son heure à celle des autres observatoires.

positive de l'axe de rotation, est positive si elle se fait dans le sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, négative dans l'autre sens. Grâce aux 3 angles  $\varphi$ ,  $\Theta$ ,  $\psi$ , il est possible de définir les différentes coupes. En voici quelques-unes, toujours d'après W. CADY.

Tableau 1

Coupe	$\varphi$	$\theta$	$\psi$
$X$	$0^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$
$Y$	$90^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$
$AT$	$-90^\circ$	$54^\circ 45'$	$90^\circ$
$BT$	$90^\circ$	$41^\circ$	$90^\circ$
$CT$	$-90^\circ$	$52^\circ$	$90^\circ$
$GT$	$-90^\circ$	$38^\circ 52'$	$\pm 45^\circ$

La Figure 7 donne la courbe de variation de la fréquence en fonction de la température pour quelques coupes particulières. On a reporté en abscisse la température exprimée en degrés centigrades et en ordonnée le changement de fréquence en cycles par mégacycle. On voit que la coupe  $GT$  est la plus favorable à ce point

de vue, car il n'y a pratiquement pas de variation plus forte que 1 cycle par mégacycle entre 0 et 100°. Pour

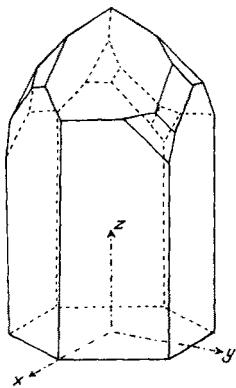


Fig. 4.

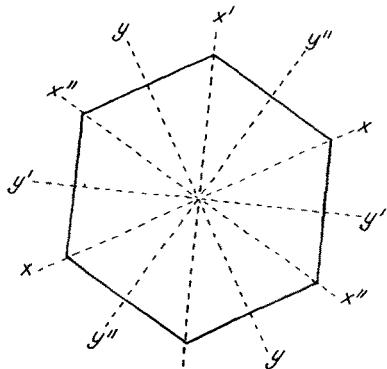


Fig. 5.

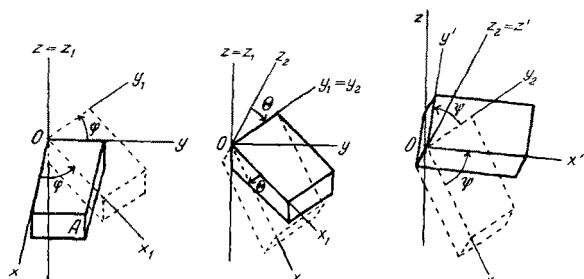


Fig. 6.

les autres coupes, on choisit comme température du quartz celle pour laquelle la courbe est horizontale, c'est-à-dire passe par un maximum ou un minimum. Pour la coupe CT, par exemple, la température de 25° est la plus favorable.

*Contrôle d'une horloge à quartz.* Il y a plusieurs moyens de contrôler les horloges à quartz. On peut tout d'abord utiliser la détermination de l'heure qui donne la correction de l'horloge à un moment donné. On porte ensuite dans un système de coordonnées rectangulaires le temps en abscisse et la correction de l'horloge en ordonnée. Par les points ainsi obtenus, on fait passer aussi bien que possible une courbe régulière. Cependant, les points ne se trouveront pas tous exactement sur la courbe, car une détermination de l'heure est entachée d'une erreur qui peut atteindre quelques centièmes de seconde dans les cas les plus défavorables. La courbe qui passe le mieux par tous les points est une droite dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire lorsque la marche de la pendule est constante et qu'il n'y a pas de dérive du quartz. Mais dans la plupart des cas la courbe n'est pas linéaire car la marche varie avec le temps. Le quartz a tendance à vibrer toujours plus rapidement. On admet alors que la correction de l'horloge est une fonction du temps du deuxième degré. Si l'on désigne cette correction par  $E$ , on peut donc poser:

$$E = at^2 + bt + c \quad (1)$$

$t$  étant le temps compté à partir d'une origine choisie à volonté et  $a, b, c$ , des coefficients constants. S'il n'y a pas de dérive du quartz, l'équation se ramène à

$$E = bt + c,$$

et la marche vaut alors

$$\frac{dE}{dt} = b.$$

Lorsque la marche n'est pas constante, on a:

$$\frac{dE}{dt} = 2at + b.$$

La marche est donc une fonction linéaire du temps et le coefficient  $a$  est le coefficient de dérive. La dérive est d'autant plus faible que ce coefficient est plus petit. La marche au temps choisi comme origine vaut donc  $b$  et l'accroissement de la marche d'un jour à l'autre vaut  $2a$ .

Les coefficients  $a, b$  et  $c$  diffèrent d'une horloge à l'autre. Pour les déterminer, il suffirait de trois observations. Mais la précision de la détermination de l'heure n'est pas suffisante pour qu'on puisse se contenter de trois équations. On utilise donc un grand nombre d'observations, ce qui donne autant d'équations qu'on résout par la méthode des moindres carrés. Soient:

$$E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$$

les corrections fournies par la détermination de l'heure

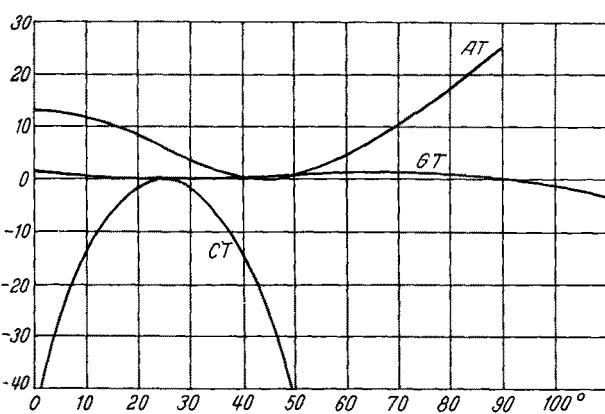


Fig. 7. La fréquence en fonction de la température d'après MASON,  
Quartz crystal applications, Bell Syst. T. J. 22 (1943).

aux temps

$$t_1, t_2, t_3, \dots, t_n.$$

On dispose des  $n$  équations:

$$E_1 = at_1^2 + bt_1 + c,$$

$$E_2 = at_2^2 + bt_2 + c,$$

$$E_3 = at_3^2 + bt_3 + c,$$

.....

$$E_n = at_n^2 + bt_n + c.$$

C'est un système de  $n$  équations du premier degré à trois inconnues  $a, b, c$ . On forme tout d'abord les équations normales:

$$\frac{\sum_i^n E_i t_i^2}{\sum_i^n t_i^2} = a - \frac{\sum_i^n t_i^4}{\sum_i^n t_i^2} + b \frac{\sum_i^n t_i^3}{\sum_i^n t_i^2} + c,$$

$$\frac{\sum_i^n E_i t_i}{\sum_i^n t_i} = a - \frac{\sum_i^n t_i^3}{\sum_i^n t_i} + b \frac{\sum_i^n t_i^2}{\sum_i^n t_i} + c,$$

$$\frac{\sum_i^n E_i}{n} = a - \frac{\sum_i^n t_i^2}{n} + b \frac{\sum_i^n t_i}{n} + c$$

qu'on résout par la méthode habituelle. Nous avons appliqué ce procédé aux deux horloges à quartz de l'Observatoire de Neuchâtel, pour l'horloge  $HQ_1$  du 6 janvier au 27 octobre 1952 et pour l'horloge  $HQ_2$  du 11 mars 1952 au 25 février 1953. Nous sommes arrivés aux résultats suivants:

#### *Pour l'horloge $HQ_1$*

Équations normales:

$$-2,502 = 30207,718 a + 152,873 b + c,$$

$$-2,872 = 51545,627 a + 219,939 b + c,$$

$$-2,679 = 43460,025 a + 197,600 b + c,$$

d'où l'on tire:

$$a = -0,0000715629; b = +0,017263; c = -2^{\circ}979.$$

#### *Pour l'horloge $HQ_2$*

Équations normales:

$$-2,619 = 11256,885 a - 23,375 b + c,$$

$$-2,856 = 20192,686 a - 36,572 b + c,$$

$$-5,903 = 17162,694 a - 481,586 b + c,$$

d'où l'on tire:

$$a = -0,000016271; b = +0,0069413; c = -2^{\circ}274.$$

Grâce à ces coefficients, nous pouvons calculer  $E$  pour chaque détermination de l'heure en utilisant la formule (1) et faire la différence entre la valeur observée ( $O$ ) et la valeur calculée ( $C$ ). Voici les résultats par exemple pour  $HQ_1$ :

Tableau II<sup>1</sup>

$HQ_1$ 1952	$E$ observé	$E$ calculé	$O-C$
	en s		
Janvier			
6,72	-2,987	-2,979	-0,008
12,73	-2,852	-2,878	+0,026
25,72	-2,763	-2,737	-0,026
26,77	-2,610	-2,662	+0,052
Février			
14,76	-2,371	-2,414	+0,043
21,78	-2,283	-2,336	+0,053
27,83	-2,239	-2,274	+0,035
Mars			
2,81	-2,206	-2,236	+0,030
11,81	-2,135	-2,158	+0,023
15,88	-2,147	-2,127	-0,020
27,88	-2,072	-2,049	-0,023
Avril			
2,84	-2,020	-2,018	-0,002
8,83	-2,016	-1,981	-0,035
13,86	-1,968	-1,965	-0,003
17,84	-1,997	-1,955	-0,042
27,86	-1,968	-1,940	-0,028
Mai			
7,83	-1,969	-1,937	-0,032
13,87	-1,970	-1,946	-0,024
17,88	-1,984	-1,953	-0,031
22,83	-1,981	-1,965	-0,016
30,82	-1,993	-1,992	-0,001
Juin			
4,86	-2,014	-2,014	0,000
10,85	-2,055	-2,044	-0,011
14,90	-2,092	-2,068	-0,024
21,86	-2,121	-2,113	-0,008
26,88	-2,156	-2,151	-0,005
30,86	-2,209	-2,183	-0,026
JUILLET			
4,87	-2,228	-2,218	-0,010
10,88	-2,265	-2,274	+0,009
16,85	-2,339	-2,335	-0,004
23,88	-2,402	-2,414	+0,012
29,85	-2,491	-2,486	-0,005
Août			
4,86	-2,554	-2,564	+0,010
8,86	-2,609	-2,618	+0,009
12,85	-2,677	-2,675	-0,002
21,91	-2,793	-2,813	+0,020
25,86	-2,867	-2,877	+0,010
29,88	-2,913	-2,944	+0,031
Septembre			
2,85	-2,969	-3,012	+0,043
13,82	-3,221	-3,213	-0,008
28,84	-3,480	-3,516	+0,036
Octobre			
5,83	-3,692	-3,668	-0,024
9,81	-3,776	-3,758	-0,018
15,91	-3,947	-3,900	-0,047
27,80	-4,201	-4,215	+0,014

<sup>1</sup> On a aussi des résultats analogues pour  $HQ_2$  entre les dates de 1952, mars 11,81, et 1953, février 25,84.

Dans la figure 8, nous avons reporté pour la pendule  $HQ_1$  le nombre de jours qui se sont écoulés depuis le 6 janvier 1952 en abscisse et la correction de la pendule en ordonnée. Les cercles représentent les valeurs observées; la courbe passe par les valeurs calculées au moyen de la formule du second degré.

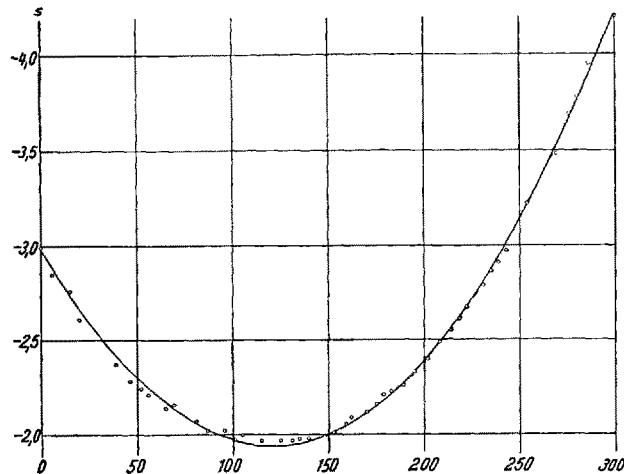


Fig. 8. Variation de la correction de l'horloge  $HQ_1$  en fonction du temps.

Si l'on prend la moyenne arithmétique des différences  $O-C$ , on trouve  $\pm 0,021$  pour l'horloge  $HQ_1$  et  $\pm 0,015$  pour l'horloge  $HQ_2$ . A quoi sont dues ces différences? Tout d'abord aux erreurs de la détermination de l'heure. Cette dernière n'est pas parfaite et comprend des erreurs dues à l'instrument, à l'observateur, au catalogue d'étoiles et aux conditions météorologiques. En outre, les différences  $O-C$  proviennent aussi des variations des horloges. Nous avons supposé que la correction de ces dernières était une fonction parabolique du temps. Il se pourrait qu'une telle fonction ne représente pas tout à fait bien les corrections. Enfin, les différences  $O-C$  peuvent aussi être attribuées aux variations de la vitesse de rotation de la terre. En effet, la durée d'une rotation de la terre nous sert d'étalon de temps et toute variation dans cette durée a pour conséquence une variation apparente de la marche des horloges. Les recherches effectuées ces dernières années dans les observatoires ont révélé des variations de la vitesse de rotation de la terre. Il existe des variations à longue période et à courte période. Les observations des 15 dernières années ont mis en évidence une variation annuelle dont la cause semble météorologique et qui provoque une variation de la correction des horloges de l'ordre de  $0^{\circ}13$  au maximum. A un moment donné, l'horloge terrestre tarde de  $0^{\circ}06$  environ et à un autre moment, elle avance de  $0^{\circ}06$ . Pour l'année 1953, il semble que les variations sont plus faibles que celles trouvées précédemment puisque pour l'horloge  $HQ_1$  les plus forts résidus sont  $+0,053$  le 21 février et  $-0,047$  le 15 octobre. Pour  $HQ_2$ , on trouve  $-0,037$  le 7 décembre et  $+0,054$  le 25 février 1953. Pour éliminer autant que possible les er-

reurs dues aux déterminations de l'heure, nous avons reporté dans le tableau suivant les moyennes des résidus pour chaque mois et pour chaque pendule.

Tableau III

1952	$HQ_1$	$HQ_2$
	en s	
Janvier . . . . .	+ 0,011	
Février . . . . .	+ 0,044	- 0,006
Mars . . . . .	+ 0,002	- 0,002
Avril . . . . .	- 0,022	
Mai . . . . .	- 0,021	- 0,002
Juin . . . . .	- 0,012	+ 0,003
Juillet . . . . .	0,000	+ 0,001
Août . . . . .	+ 0,014	+ 0,004
Septembre . . . . .	+ 0,024	+ 0,017
Octobre . . . . .	- 0,019	+ 0,009
Novembre . . . . .		- 0,019
Décembre . . . . .		- 0,034
1953		
Janvier . . . . .		- 0,020
Février . . . . .		+ 0,025

On constate qu'il existe un fort maximum en février 1952 qui semble se retrouver en février 1953 et un maximum plus faible en septembre 1952. La terre est en avance sur son horaire en février et en septembre, tandis qu'elle est en retard surtout en avril et à la fin de l'année. L'amplitude de la variation n'est pas de  $0^{\circ}13$  comme l'ont trouvé les auteurs jusqu'en 1949, mais de  $0^{\circ}044 + 0^{\circ}022 = 0^{\circ}066$  pour  $HQ_1$  et de  $+ 0^{\circ}025 + 0^{\circ}034 = 0^{\circ}059$  pour  $HQ_2$ . Cependant ces chiffres sont encore influencés par le déplacement du pôle que nous n'avons pas pu éliminer parce que le service international des latitudes n'a pas encore publié ses résultats pour cette période.

*Utilisation des signaux horaires.* En enregistrant les signaux horaires diffusés par un observatoire, on peut contrôler une horloge à quartz. L'Observatoire de Neuchâtel enregistre régulièrement les signaux horaires émis par la station anglaise de Rugby à 10 h, Temps Universel (T.U.). Il utilise pour cet enregistrement le chronographe BELIN, grand modèle, qui permet d'obtenir le millième de seconde. Le tableau suivant donne les résultats de la comparaison de l'horloge à quartz  $HQ_2$  aux signaux de Rugby.

La première colonne contient la correction de  $HQ_2$  d'après Rugby et la marche d'après Rugby, la deuxième colonne les mêmes chiffres d'après les déterminations de l'heure de Neuchâtel et la troisième colonne la différence entre la correction d'après Rugby et la correction d'après Neuchâtel ( $N.-R.$ ), c'est-à-dire la différence entre les heures de Rugby et de Neuchâtel (Tabl. IV).

Les marches ne diffèrent pas beaucoup suivant quelles sont déterminées par Rugby ou par Neuchâtel. La plus forte différence vaut  $0^{\circ}003$ . Pour Rugby, la marche moyenne est de  $+ 0^{\circ}0030$  et la moyenne des écarts entre cette moyenne et les chiffres individuels de  $\pm 0^{\circ}008$ .

Tableau IV

1953 Janvier	Correction et marche Rugby	Correction et marche Neuchâtel	Déférence N.-R.
	en s		
1	- 1,797 2	- 1,735 4	+ 0,062
2	- 1,795 3	- 1,731 3	+ 0,064
3	- 1,792 3	- 1,728 3	+ 0,064
4	- 1,789 3	- 1,725 4	+ 0,064
5	- 1,786 4	- 1,721 4	+ 0,065
6	- 1,782 3	- 1,717 3	+ 0,065
7	- 1,779 2	- 1,714 4	+ 0,065
8	- 1,777 4	- 1,710 4	+ 0,067
9	- 1,773 1	- 1,706 4	+ 0,067
10	- 1,772 3	- 1,702 3	+ 0,070
11	- 1,769 3	- 1,699 3	+ 0,070
12	- 1,766 3	- 1,696 4	+ 0,070
13	- 1,763 2	- 1,692 4	+ 0,069
14	- 1,761 3	- 1,688 3	+ 0,073
15	- 1,758 3	- 1,685 3	+ 0,073
16	- 1,755 4	- 1,682 4	+ 0,073
17	- 1,751 2	- 1,678 3	+ 0,073
18	- 1,749 1	- 1,675 4	+ 0,074
19	- 1,748 1	- 1,671 4	+ 0,077
20	- 1,747 4	- 1,667 3	+ 0,080
21	- 1,743 3	- 1,664 4	+ 0,079
22	- 1,740 4	- 1,660 4	+ 0,080
23	- 1,736 3	- 1,656 3	+ 0,080
24	- 1,733 1	- 1,653 3	+ 0,080
25	- 1,732 3	- 1,650 4	+ 0,082
26	- 1,729 4	- 1,646 4	+ 0,083
27	- 1,725 4	- 1,642 3	+ 0,083
28	- 1,721 4	- 1,639 4	+ 0,082
29	- 1,717 3	- 1,635 3	+ 0,082
30	- 1,714 3	- 1,632 4	+ 0,082
31	- 1,711 6	- 1,628 3	+ 0,083
1	- 1,705	- 1,625 3	+ 0,080
	Moyennes + 0,0030	+ 0,0035	+ 0,074

Pour Neuchâtel, la marche moyenne vaut + 0<sup>0</sup>0035 et la moyenne des écarts  $\pm 0^{\circ}0005$ . On voit que la récep-

tion de ces signaux est très bonne et que les erreurs dues à la transmission et à la réception sont faibles.

Cependant il y a une différence entre l'heure de Neuchâtel et l'heure de Rugby qui est de + 0<sup>0</sup>062 le 1<sup>er</sup> janvier, de + 0<sup>0</sup>080 le 1<sup>er</sup> février et qui vaut en moyenne + 0<sup>0</sup>074. Des différences de plusieurs centièmes de secondes entre 2 stations horaires sont courantes. Le Bureau international de l'heure (BIH) qui centralise toutes les heures de réception des signaux horaires et les publie dans son Bulletin horaire, arrive à des chiffres encore plus forts. Au cours d'une année, la différence entre Neuchâtel et Rugby a varié de la manière suivante; nous ne donnons que les valeurs mensuelles moyennes:

	en s	en s
1952 Février	+ 0,053	Août
Mars	+ 0,042	Septembre
Avril	+ 0,037	Octobre
Mai	+ 0,026	Novembre
Juin	+ 0,018	Décembre
Juillet	+ 0,009	1953 Janvier

Pour l'année entière, la différence vaut en moyenne + 0<sup>0</sup>034, mais elle varie au cours de l'année.

A quoi sont dues ces différences? La différence systématique de + 0<sup>0</sup>034 peut être due en partie à la différence de longitude conventionnelle entre Neuchâtel et Greenwich, mais la variation au cours de l'année est attribuable à une ou plusieurs autres causes, peut-être météorologiques.

Il est possible que dans la détermination de l'heure d'une ou des deux stations de Neuchâtel et de Greenwich subsistent des erreurs à caractère périodique dues, par exemple, à la réfraction latérale, à l'influence de la température sur la lunette et ses accessoires, etc.

Enfin, il se pourrait aussi, que la différence de longitude varie réellement, la terre étant susceptible de se déformer au cours de l'année. Cependant les variations trouvées semblent un peu fortes pour être provoquées par une pareille cause.

*Utilisation de la fréquence de Droitwich.* La station de T.S.F. de Droitwich émet pendant la journée une fréquence de 200 kc/s relativement stable et qui est contrôlée tous les jours à 10<sup>h</sup>30 T.U. par l'Observatoire de Greenwich. Cette fréquence est captée par une des antennes de l'Observatoire de Neuchâtel et connectée sur les plaques de déflection d'un oscilloscopie cathodique en même temps que la fréquence de l'horloge à quartz à comparer.

Cette fréquence qui est de 100 kc/s est multipliée auparavant par 2 pour obtenir du 200 kc/s. La figure de LISSAJOUS obtenue sur l'oscilloscopie est un cercle. Grâce à un dispositif spécial, un point de ce cercle est plus lumineux que les autres et si la fréquence de l'horloge est rigoureusement égale à celle de Droitwich, ce point lumineux reste immobile.

Dès qu'il existe une petite différence entre les 2 fréquences, le point lumineux décrit le cercle dans un sens

ou dans l'autre avec une vitesse d'autant plus grande que la différence de fréquence est grande. En désignant par  $T$  le temps que met le point lumineux pour décrire le cercle, on obtient la marche relative  $\Delta M$  de l'horloge à quartz par rapport à l'horloge de Droitwich par la formule:  $\Delta M = 432/T$ ,  $T$  étant exprimé en secondes et  $\Delta M$  en millisecondes.

Le tableau ci-dessous donne les résultats des comparaisons de l'horloge  $HQ_2$  à la fréquence de Droitwich pendant le mois de janvier 1953. La première colonne contient le jour du mois, la seconde  $T$  en secondes, la troisième la différence des fréquences de Droitwich et de  $HQ_2$  exprimée en millisecondes ( $D.-HQ_2$ ), la quatrième la correction de la fréquence de Droitwich fournie par l'Observatoire de Greenwich ( $G.-D.$ ) qui est communiquée aux observatoires par les soins du service horaire de l'Observatoire de Greenwich, et la cinquième la marche de  $HQ_2$  en millisecondes (ms), qui est égale à la somme des chiffres des colonnes 3 et 4.

Tableau V

1953 Janvier	$T$ en s	$D.-HQ_2$ en ms	$G.-D.$ en ms	$HQ_2$ en ms
1	+ 57,6	+ 7,5	- 3,4	+ 4,1
2	+ 65,4	+ 6,6	- 3,1	+ 3,5
3	+ 63,5	+ 6,8	- 3,3	+ 3,5
4	+ 64,5	+ 6,7	- 3,4	+ 3,3
5	+ 54,0	+ 8,0	- 4,4	+ 3,6
6	+ 56,1	+ 7,7	- 4,2	+ 3,5
7	+ 62,6	+ 6,9	- 3,5	+ 3,4
8	+ 61,7	+ 7,0	- 3,5	+ 3,5
9	+ 58,4	+ 7,4	- 3,9	+ 3,5
10	+ 56,1	+ 7,7	- 4,1	+ 3,6
11	+ 60,0	+ 7,2	- 4,0	+ 3,2
12	+ 60,0	+ 7,2	- 4,0	+ 3,2
13	+ 60,0	+ 7,2	- 3,9	+ 3,3
14	+ 61,7	+ 7,0	- 3,9	+ 3,1
15	+ 60,8	+ 7,1	- 4,3	+ 2,8
16	+ 56,8	+ 7,6	- 4,3	+ 3,3
17	+ 227,4	+ 1,9	+ 1,3	+ 3,2
18	+ 216,0	+ 2,0	+ 1,1	+ 3,1
19	+ 172,8	+ 2,5	+ 0,6	+ 3,1
20	+ 240,0	+ 1,8	+ 1,1	+ 2,9
21	+ 254,1	+ 1,7	+ 1,5	+ 3,2
22	+ 160,0	+ 2,7	+ 0,6	+ 3,3
23	+ 196,4	+ 2,2	+ 0,7	+ 2,9
24	+ 160,0	+ 2,7	0,0	+ 2,7
25	+ 127,0	+ 3,4	+ 0,1	+ 3,5
26	+ 149,0	+ 2,9	+ 0,2	+ 3,1
27	+ 130,9	+ 3,3	- 0,3	+ 3,0
28	+ 135,0	+ 3,2	- 0,2	+ 3,0
29	+ 172,8	+ 2,5	+ 0,4	+ 2,9
30	+ 144,0	+ 3,0	- 0,1	+ 2,9
31	+ 102,8	+ 4,2	- 1,4	+ 2,8
		Moyenne		+ 3,23

D'après Droitwich la marche moyenne de l'horloge  $HQ_2$  vaut donc + 0,0032 pour le mois de janvier 1953 avec un écart moyen de  $\pm 0,0002$ . Cette comparaison est d'une grande précision et l'on peut même constater qu'au cours du mois la marche a légèrement diminué par suite de la dérive du quartz. Cependant, cette

comparaison nous donne la marche instantanée et si cette dernière varie au cours de la journée on commet une erreur assez grande sur la marche en admettant comme marche diurne, la marche instantanée à 1030 h T.U. En réalité, il ne semble pas qu'il y ait de grandes variations au cours de la journée et la marche fournie par Droitwich joue bien avec les autres. En effet, nous avons trouvé:

Tableau VI

	Marche	Ecart en s
D'après nos déterminations de l'heure . . . . .	+ 0,0035	$\pm 0,005$
D'après Rugby . . . . .	+ 0,0030	$\pm 0,008$
D'après Droitwich . . . . .	+ 0,0032	$\pm 0,002$

*Précision d'une horloge par rapport à une autre.* En comparant une horloge à quartz à une autre horloge par l'intermédiaire d'un comparateur de fréquences, on obtient sa marche par rapport à cette horloge de référence. Nous avons étudié la précision de cette marche relative dans un mémoire que la Société suisse de chronométrie publiera dans son Bulletin annuel pour 1953. Il résulte de cette étude qu'en admettant

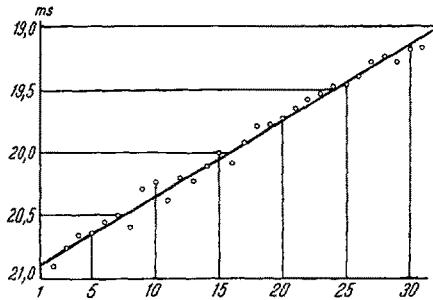


Fig. 9. Marche relative de l'horloge à quartz  $HQ_2$  par rapport à l'horloge  $HQ_1$  en janvier 1953. En abscisse: le jour du mois, en ordonnée: la marche relative exprimée en ms (millisecondes). Les cercles représentent les marches observées, la droite la marche calculée. En moyenne, la différence entre la marche observée et la marche calculée vaut  $\pm 0,05$  ms pour ce mois.

une fonction du second degré pour la correction de l'horloge exprimée en fonction du temps, les résidus entre les valeurs observées et calculées sont très faibles. En utilisant des comparaisons faites pendant 1 mois chaque jour à la même heure, les résidus, c'est-à-dire les différences entre les valeurs observées et calculées, atteignent au maximum 0,2 ms aussi bien pour la marche diurne que pour la correction relative (Fig. 9). Ce résultat montre que la correction d'une horloge est bien une fonction du second degré du temps et que les résidus sont tout à fait négligeables vis-à-vis de la précision d'une détermination de l'heure.

**Summary**

Time is measured by timekeepers the oldest of which are clepsydrae and sand-glasses. In the Middle Ages, the lamp timekeeper was used. The first foliot clocks appeared about 1360, and the first pendulum clock, planned by Huygens, in 1657. The diapason clock, which uses the vibrations of a tuning-fork, was built by JULES LISSAJOUS in 1857.

The crystal clock is the most modern timekeeper. It is based upon piezoelectricity discovered in 1880 by the CURIE brothers. Since 1921 quartz oscillators have been used for the control of frequencies.

The Observatory of Neuchâtel has two crystal clocks built by the Oscilloquartz department of Ebauches S.A. in Neuchâtel. The year regulated by a small quartz

crystal, the frequency of which is of 100 c/s. To control a crystal clock, its correction is taken to be a function of the second degree of time, and each astronomical determination of time gives a dot on the curve representing the correction which is a parabola. By means of the method of least squares, we can determine the constants of this parabola; and the differences between the observed corrections and the computed corrections allow us to measure the variations of the earth's rotation.

It is also possible to compare the frequency of crystal clocks with the frequency of the broadcasting station at Droitwich in England. Precision of measurement is about 1/10,000 s. The precision of a clock compared with another clock measured by a frequency comparator, is very high. The daily error is never more than 0.2 ms.

## Die Wirkung synaptotroper Substanzen auf gewisse efferente und afferente Strukturen des autonomen Nervensystems

Von H. KONZETT und E. ROTHLIN<sup>1</sup>, Basel

Die Nikotinwirkung auf die Synapsen des vegetativen Systems, die in einer primären Erregung und sekundären Lähmung besteht, wurde von SCHMIEDERG schon 1870 am Herzwagus aus scharfsinnigen Experimenten erschlossen<sup>2</sup>; er lokalisierte den Nikotineffekt in die «Zwischenapparate» zwischen Vagusnerv und Vagusnerv-Endigung. Langley gelang der Nachweis dieser typischen Nikotinwirkung 1889 am sympathischen Ganglion<sup>3</sup>. Mit Hilfe des Nikotintestes konnte Langley in der Folge in systematischen Untersuchungen seine Lehre von den Umschaltstellen des autonomen Nervensystems, den Synapsen, begründen. So charakteristisch erwies sich die Nikotinwirkung auf die autonomen Ganglien, dass «nikotinartig» in der Folge ein fester Begriff für einen bestimmten Wirkungstypus wurde. Bei der Untersuchung der nikotinartigen Wirkung quaternärer Ammoniumbasen fanden BURN und DALE 1914 im Tetraäthylammonium eine Substanz mit nur lähmender Wirkung<sup>4</sup>. Dieser Befund wurde 1926 von HUNT<sup>5</sup> bestätigt. Aber erst durch die neuere eingehende Untersuchung der Tetraäthylammoniumverbindung von ACHESON und MOE (1945/46) wurde das allgemeine Interesse an ganglionär blockierenden Substanzen geweckt<sup>6</sup>. In den Methoniumverbindungen entdeckten PATON und ZAIMIS bald

nachher (1948) ganglionär blockierende Substanzen von besonderer Wirksamkeit<sup>1</sup>.

Weder Nikotin noch die anderen bisher bekannten synaptotropen, das heißt an vegetativen Ganglien wirksamen Substanzen entfalten ihre Wirkung ausschließlich an den synaptischen Strukturen. Am Ganztier kann daher der ganglionäre Effekt im Rahmen der Gesamtwirkung maskiert sein. Zum Studium der reinen synaptotropen Wirkung sind deshalb Versuche an einem isolierten Ganglion vorzuziehen.

Infolge anatomisch günstiger Verhältnisse ist es möglich, das obere sympathische Halsganglion der Katze isoliert zu durchströmen und auf diese Weise Pharmaka elektiv an die Synapsen heranzubringen. Die so applizierten Substanzen können an den präganglionären Nervenendigungen, an den Ganglienzellen selbst und an den hier beginnenden postganglionären Fasern wirken. Werden die präganglionären Nervenendigungen durch eine dem Durchströmungsversuch vorangegangene Durchtrennung der präganglionären Fasern zur Degeneration gebracht, so ist die Wirkung der mit der Durchströmungsflüssigkeit zugeführten Pharmaka auf das postganglionäre Neuron beschränkt, nämlich auf die Ganglienzellen und den Beginn der postganglionären Fasern. Zur Erfassung der an den ganglionären Synapsen ausgelösten Wirkungen können die Aktionsströme von den postganglionären Nervenfasern abgeleitet oder die Reaktion eines von diesen Nerven versorgten Erfolgsorgans gemessen werden.

<sup>1</sup> Pharmakologisches Laboratorium der Sandoz AG., Basel.

<sup>2</sup> Zit. bei W. HEUBNER, Arch. exp. Pathol. 204, 33 (1947).

<sup>3</sup> J. N. Langley und W. L. DICKINSON, Proc. Roy. Soc. 46, 423 (1889).

<sup>4</sup> J. H. BURN und H. H. DALE, J. Pharm. exp. Therap. 6, 417 (1914/15).

<sup>5</sup> R. HUNT, J. Pharm. exp. Therap. 28, 367 (1926).

<sup>6</sup> G. H. ACHESON und G. K. MOE, J. Pharm. exp. Therap. 87, 220 (1946).

<sup>1</sup> W. D. M. PATON und E. J. ZAIMIS, Nature 162, 810 (1948).