

R. P. GUYE  
M. BOSSART

# HORLOGERIE ÉLECTRIQUE



TOUS DROITS RÉSERVÉS  
COPYRIGHT BY JOURNAL SUISSE D'HORLOGERIE ET DE BIJOUTERIE  
PRINTED IN SWITZERLAND



**RENÉ P. GUYE**

INGÉNIEUR S.L.A.

AVEC LA COLLABORATION DE

**MAX BOSSART**

DIRECTEUR DE L'ÉCOLE D'HORLOGERIE DE SOLEURE

# HORLOGERIE ÉLECTRIQUE

OUVRAGE ADMIS OFFICIELLEMENT  
COMME MANUEL D'ENSEIGNEMENT PAR LES  
DIRECTIONS DES ÉCOLES D'HORLOGERIE SUISSES

ÉDITION DU JOURNAL SUISSE D'HORLOGERIE ET DE BIJOUTERIE

**SCRIPTAR S.A., LAUSANNE**

(SUISSE)



## PRÉFACE

On est toujours frappé, lorsqu'on lit un ouvrage se rapportant à l'horlogerie et traitant du développement historique d'un chapitre quelconque de cette science appliquée, des trésors d'ingéniosité qui ont été dépensés par les inventeurs, les chercheurs de toute sorte, avant de parvenir à l'état actuel. On est surpris par la variété des connaissances théoriques — physiques, mécaniques, etc. — qu'a nécessité la poursuite incessante de la précision, comme aussi par le nombre des savants célèbres, ou tout au moins notoires, dont on rencontre le nom au cours de l'exposé.

La lecture du livre de M. René Guye contribuera certainement à répandre et à fortifier cette impression. Elle intéressera donc vivement le lecteur curieux d'être introduit et guidé dans un domaine d'un intérêt aussi actuel que celui des horloges électriques. Elle rendra en même temps de précieux services aux spécialistes, à ceux que préoccupe la technique horlogère — parce qu'ils l'utilisent —, aux élèves des écoles d'horlogerie, qui y trouveront non seulement une foule de renseignements précieux mais encore une introduction à la chronométrie en général. Les mêmes problèmes se posent en effet dans les diverses branches de cette science. Il semble que cet ouvrage évitera à celui qui cherche à contribuer aux perfectionnements de l'horloge électrique, à l'inventeur, la fâcheuse aventure qui consiste à réinventer un mécanisme ou un procédé déjà connu. Il renferme en effet la description d'une multitude de dispositifs ; il est illustré de schémas très clairs ; et, s'il n'est pas complet, c'est bien que la perfection n'est pas de ce monde...

L'ouvrier, le rabilleur, l'horloger en un mot trouvera à la fin du volume des conseils d'ordre pratique concernant l'entretien, la réparation des instruments et appareils décrits au cours de l'ouvrage, conseils dont il sera certainement reconnaissant.

Les chapitres les plus étendus, les plus complètement traités, sont sans doute ceux relatifs aux centrales horaires et à la distribution de l'heure, ceux qui concernent par conséquent les horloges-mères et les horloges secondaires. On sent que c'est là le domaine de prédilection de l'auteur, celui dans lequel il se meut avec le plus de plaisir, une longue pratique lui ayant conféré des



compétences particulières. C'est volontairement d'ailleurs que l'étude de ces instruments a été développée, car ce sont les plus importants pour le praticien qui les rencontrera souvent sur sa route, alors que l'horloge à quartz ou l'horloge Shortt peuvent lui rester un peu moins familières.

Le livre renferme cependant sur ces derniers appareils de haute précision, et sur d'autres encore du même genre, des renseignements fort intéressants qui, du fait de la guerre n'ont pas été faciles à obtenir. On pourra juger des progrès réalisés dans la régularité de marche par des tableaux comparatifs portant sur les trente dernières années. On trouvera également des données précises sur la nouvelle horloge à quartz de l'Observatoire de Genève. Enfin la comparaison entre les horloges à quartz et les horloges électriques astronomiques modernes nous semble particulièrement suggestive, en ce qu'elle montre que la précision est à peu près la même pour les deux classes de garde-temps. C'est rassurant pour l'astronome, car l'horloge à quartz est un appareil d'une grande complication, exigeant une surveillance continue, et que jusqu'à nouvel ordre on hésite à acquérir.

Il convient cependant d'être prudent dans son jugement. La lutte, ouverte aujourd'hui entre les garde-temps purement électriques et ceux qui utilisent la découverte de Galilée — l'isochronisme des oscillations du pendule pesant — pourrait bien se terminer par le triomphe complet et définitif des premiers. L'on peut même, avec un peu d'imagination, entrevoir le jour où une station centrale unique, dotée d'horloges à cristal qui se contrôlèrent mutuellement, distribuera au monde entier et continuellement l'heure du méridien d'origine...

Mais nous n'en sommes pas encore là, et le livre très intéressant de M. René Guye conserve toute son actualité.

*A. Jaquerod*, Professeur,  
Directeur du Laboratoire suisse de Recherches horlogères.



## AVANT-PROPOS

*Il existe dans la science de la mesure du temps un domaine commun à l'horlogerie, à la mécanique de précision et à l'électrotechnique : l'horlogerie électrique. Bien que cette technique ne soit pas une nouvelle venue, puisqu'elle est plus que centenaire, la littérature qui lui est consacrée est peu abondante et se limite fréquemment à l'étude de l'un ou l'autre de ses secteurs.*

*Les ouvrages descriptifs les plus connus ont été écrits au début de ce siècle et se bornent forcément à l'étude des seules horloges électriques en usage à ce moment, les horloges mères et les horloges secondaires.*

*Mais, depuis la fin de la première guerre mondiale, l'horlogerie électrique a connu un grand développement, des appareils dont le principe repose sur de nouvelles techniques électriques ont été construits. Cependant, les quelques ouvrages qui ont été édités depuis lors, de même que les publications faites dans les revues techniques, sont rarement consacrés à l'horlogerie électrique dans son ensemble mais presque toujours à l'étude ou à la description d'une catégorie bien déterminée d'horloges ou d'appareils horaires. Il est donc assez difficile au lecteur qui ne peut consulter les collections d'une grande bibliothèque de connaître et d'étudier cette technique en plein épanouissement.*

*C'est la raison pour laquelle l'auteur a estimé utile d'écrire cet ouvrage consacré à l'horlogerie électrique proprement dite et l'a conçu d'après un plan tel qu'il puisse répondre aux désirs de tous ceux qui ont à s'occuper de l'application de l'électricité à la mesure du temps et à l'indication de l'heure. Certains chapitres de cet ouvrage pourront peut-être sembler trop brefs, mais une longue pratique de l'horlogerie électrique a démontré à l'auteur qu'une importance particulière devait être accordée à l'étude des appareils horaires utilisés le plus couramment, tels que les horloges indépendantes, les horloges mères et secondaires ainsi que les horloges synchrones. Il a dû, en conséquence, abréger bien malgré lui l'étude des applications scientifiques de l'électricité à la chronométrie électrique ainsi que celle de divers appareils qui ne sont pas à proprement parler des horloges électriques, tels que les appareils de pointage des cartes de travail, les interrupteurs horaires automatiques, etc.*



*Il ne suffit pas que l'ingénieur ou le technicien trouve dans ce livre les indications utiles à la construction de ses appareils ou de ses horloges, mais il faut aussi pourvoir à l'information de l'horloger, du vendeur d'horloges et de son client, de l'architecte et du maître de l'ouvrage et de tous ceux qui, simplement, sont curieux des choses de la technique moderne.*

*Enfin, l'enseignement de la technique de la mesure électrique du temps dans les Ecoles d'Horlogerie ayant été grandement développé depuis plusieurs années, la Conférence des Directeurs de ces écoles a jugé nécessaire de pouvoir mettre à disposition des élèves et des futurs techniciens un manuel didactique suffisamment complet pour être à même de constituer une aide efficace à l'enseignement théorique et pratique.*

*La rédaction de cet ouvrage a été rendue difficile autant par les obstacles de toute nature dressés par la guerre, que par la difficulté d'obtenir en temps voulu les informations provenant de l'étranger. Néanmoins, plusieurs maisons étrangères ont pu faire parvenir à l'auteur une documentation aussi étendue que les événements de guerre l'ont permis et les maisons suisses n'ont épargné aucune peine pour lui remettre des collections complètes de plans, de schémas, de photographies et de renseignements de tous genres. La direction du Laboratoire suisse de Recherches horlogères, ainsi que celle de l'Observatoire cantonal de Neuchâtel ont ouvert largement la porte de leurs riches bibliothèques à l'auteur et lui ont ainsi permis d'enrichir singulièrement sa documentation.*

*L'auteur exprime ses sincères remerciements à tous ceux qui l'ont ainsi aidé à mener à bien la rédaction de cet ouvrage ; sa gratitude toute particulière va à M. Max Bossart, Directeur de l'Ecole d'Horlogerie de Soleure, qui a bien voulu se charger de la rédaction du premier chapitre ainsi qu'aux élèves de son école qui ont exécuté une grande partie des dessins qui illustrent le texte.*

*Neuchâtel, janvier 1948.*



**Note.** La plupart des horloges et appareils décrits dans le présent ouvrage sont fabriqués par les maisons suivantes :

#### *Suisse*

Favag, fabrique d'appareils électriques S. A.	Neuchâtel
Fabrique des Montres Zénith S. A.	Le Locle
Landis & Gyr S. A.	Zoug
Fabrique d'horloges électriques W. Moser-Baer	Sumiswald
Schild & Cie S. A.	La Chaux-de-Fonds
Manufacture de montres « National », anciennement Vve Ch.-L. Schmid & Cie S. A.	La Chaux-de-Fonds
A. Schild S. A.	Granges
H. Buêche-Rossé, Manufacture d'horlogerie	Court
Horlogerie électrique S. A.	Reconvilier
S. A. des produits électrotechniques Siemens S. A.	Zurich
J.-G. Baer, fabrique d'horloges monumentales	Sumiswald

#### *France*

S. A. des Etablissements Léon Hatot, successeurs de Paul Garnier	Paris
S. A. des Ateliers Brillié frères	Levallois-Perret
Etablissements Henry-Lepaute	Paris
Jaeger-Le Coultre, Etablissements Ed. Jaeger	Paris
Compagnie des Compteurs (Branche suisse)	Paris, Genève
Stromberg Electric Cy (Stromberg France)	Chicago, Paris

#### *Angleterre*

The Synchronome Company	Alperton (Middlesex)
Gent & Co Ltd Faraday Works	Leicester

#### *Allemagne*

Heliowattwerke E.A.G.	Berlin
Telefonbau und Normalzeit GmbH.	Frankfort-s/M.
Elektrozeit A.G.	Frankfort-s/M.



## BIBLIOGRAPHIE

Les livres, opuscules et revues mentionnés ci-après ont été consultés ou cités par l'auteur ; ils sont particulièrement recommandés au lecteur qui désirerait compléter sa documentation. Les références sont indiquées dans le texte par un chiffre placé entre crochets, correspondant à la numérotation des ouvrages ou textes ci-dessous.

1. *L'électricité et ses applications à la chronométrie*, par Albert Favarger, ingénieur. 3e édition, Neuchâtel 1924.
- 2 a. *Die elektrischen Nebenuhren*,
- 2 b. *Die Synchronuhren*,
- 2 c. *Die Hauptuhren und Nebenuhren*, par F. Thiesen, ingénieur en chef. Berlin, 1936, 1937 et 1939.
- 3 a. *Electric clocks*,
- 3 b. *Electrical timekeeping*, par F. Hope-Jones MIE, FRAS. Londres 1931 et 1940.
4. *Modern electric clocks*, par Stuart M. Philpott. 3e édition, Londres 1945.
5. *Pendules électriques*, par J. Granier. Paris 1934.
6. *Horlogerie électrique*, par R. Lavest. Bienne 1931.
7. *Uhr und Strom*, par K. Scheibe et J. Stamm. Munich et Berlin 1943.
8. *Mécanique*, par G. Bruhat, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. Paris 1944.
9. *Pendule, spiral et diapason*, par H. Bouasse, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse. 2 volumes, Paris 1920.
10. *Horlogerie et chronométrie*, par Jules Andrade, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Besançon. Paris 1924.
11. *Le pendule en acier au nickel*, par Ch.-Ed. Guillaume. 2e édition, Genève 1908.
12. *La suspension à ressorts*, par Fr. Keelhof, professeur à l'Université de Gand. Genève 1909.
13. *Cours de magnétisme et d'électricité*, par H. Bouasse, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse. 3e édition. 3 volumes. Paris 1914.
14. *Electricité*, par G. Bruhat, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 5e édition. Paris 1943.
15. *Electricité*, par Louis Roulet, directeur de l'Ecole de mécanique et d'électricité de Neuchâtel. 4e édition. Fribourg 1947.
16. *Hilfsbuch für die Elektrotechnik (Schwachstromausgabe)*, par K. Strecker. 10e édition. Berlin 1928.
17. *Kapazität und Selbstinduktion*, par F. Ambrosius. 2e édition. Berlin et Leipzig 1922.
18. *The electromagnet*, par Sylvanus-P. Thompson. Londres 1891.
19. *Magnets*, par Ch.-R. Underhill FAIEE. New-York 1924.
20. *Les petites machines électriques de 1/2000 à 1/4 de CV. à courant continu et alternatif* par H. Lanoy. Paris 1941.
21. *Bauelemente der Feinmechanik*, par R. Richter et von Voss. Berlin 1929.
22. *Piézo-électricité*, par Ed. Palmans, professeur. Anvers 1946.
23. *Les ultra-sons*, par F. Draveil. Paris 1941.
24. *Journal suisse d'horlogerie et de bijouterie*. Lausanne.  
 Nombreux articles traitant de l'horlogerie électrique et des horloges de précision ; en particulier : 1946, Nos 7 à 12, et 1947, Nos 1 à 4. Edm. Guyot, directeur de l'Observatoire de Neuchâtel. Le problème de l'heure.



25. *Annales françaises de chronométrie*. Besançon.
25. 1 1934. No 2. Marius Lavet. Synchronisation des pendules électriques.
25. 2 1936, 3e trimestre. Marius Lavet. Les distributions d'heure (tirage à part).
25. 3 1936. No 3. P. Decaux. Les distributions d'heure.
25. 4 1938, Nos 1 et 4. Dr ing. Max Schuler. Le pendule partiellement équilibré de l'Université de Göttingue.
25. 5 1938. No 1. Dr A. Scheibe. Mesure du temps au P.T.R. de Berlin au moyen d'horloges à quartz.
25. 6 1938. No 2. Marius Lavet. Application des nouveaux aciers à aimant à l'horlogerie.
25. 7 1944, Nos 3 et 4. Marius Lavet. Les horloges de commutation à mouvement mécanique remonté électriquement.
26. *Archiv für technisches Messen* (ATM). Berlin. 1941-1943. Dr A. Scheibe. Quartzuhren.
27. *Bulletin de la Société neuchâtoise des Sciences naturelles*, Neuchâtel.  
1942. H. Rivier. La Société neuchâtoise des Sciences naturelles 1832-1942.
28. *Le Génie civil*, Paris.  
1910. Béache. L'horlogerie électrique (tirage à part).
29. *Deutsche Uhrmacher Zeitung*, Leipzig.
29. 1 1926. G. Schönberg, ingénieur. Elektr. Zeitverteilungssysteme über grosse Gebiete (tirage à part).
29. 2 1927. G. Schönberg, ingénieur. Die Zeitverteilung in Städten nach dem Zentralregulierungssystem (tirage à part).
29. 3 1933. E. Novak. Pendelantrieb von Satori.
29. 4 1943. Baltzer. Neue elektrischen Uhren.
30. *Uhrmacher Woche*, Leipzig.  
1932. G. Schönberg, ingénieur. Die elektrische Uhr des Uhrmachers.
31. *Zeitschrift für Instrumentenkunde*. Berlin.  
1942, No 9. H. Dobberstein. Kleinquartzuhren (traduction française du Journal suisse d'horlogerie et de bijouterie).
32. *U. E. I. Zeitschrift* Berlin.  
1931. H. A. Meixner, ingénieur. Die W. Z. Elektrouhr (tirage à part).
33. *Zeitschrift für Fernmeldetechnik*. Berlin.  
1923, Nos 2 et 3. J. Willigut, ingénieur en chef ; Die elektrischen Zeitdienstanlagen in den Reichsbahnbezirk Berlin.



# TABLE DES MATIÈRES

## PREMIÈRE PARTIE

### L'HORLOGERIE ÉLECTRIQUE ET SES RAPPORTS AVEC L'ÉLECTROTECHNIQUE ET LA MÉCANIQUE

#### Introduction

CHAPITRE PREMIER. NOTIONS GÉNÉRALES D'ÉLECTRICITÉ	27
I. LE COURANT CONTINU	27
A. <i>Le courant électrique</i>	27
a. Les effets du courant électrique	27
b. Les générateurs de courant continu	27
c. La force électro-motrice	28
d. Quantité d'électricité	28
e. Intensité	28
f. Résistance	29
g. Loi d'Ohm	29
B. <i>Définition des unités fondamentales</i>	29
a. Intensité	29
b. Différence de potentiel ou tension	29
c. Résistance	29
d. La résistance d'un conducteur	29
C. <i>Puissance et travail du courant électrique</i>	30
a. Puissance	30
b. Travail	30
D. <i>Loi des courants dérivés</i>	31
E. <i>Les effets chimiques du courant électrique</i>	32
a. L'électrolyse	32
b. Accumulateurs	34
c. Piles	35
d. Couplage des piles	38
	13



# TABLE DES MATIÈRES

## PREMIÈRE PARTIE

### L'HORLOGERIE ÉLECTRIQUE ET SES RAPPORTS AVEC L'ÉLECTROTECHNIQUE ET LA MÉCANIQUE

#### Introduction

CHAPITRE PREMIER. NOTIONS GÉNÉRALES D'ÉLECTRICITÉ.	27
1. LE COURANT CONTINU.	27
A. <i>Le courant électrique</i> .. .. .	27
a. Les effets du courant électrique .. .. .	27
b. Les générateurs de courant continu .. .. .	27
c. La force électro-motrice .. .. .	28
d. Quantité d'électricité .. .. .	28
e. Intensité .. .. .	28
f. Résistance .. .. .	29
g. Loi d'Ohm .. .. .	29
B. <i>Définition des unités fondamentales</i> .. .. .	29
a. Intensité .. .. .	29
b. Différence de potentiel ou tension .. .. .	29
c. Résistance .. .. .	29
d. La résistance d'un conducteur .. .. .	29
C. <i>Puissance et travail du courant électrique</i> .. .. .	30
a. Puissance .. .. .	30
b. Travail .. .. .	30
D. <i>Loi des courants dérivés</i> .. .. .	31
E. <i>Les effets chimiques du courant électrique</i> .. .. .	32
a. L'électrolyse .. .. .	32
b. Accumulateurs .. .. .	34
c. Piles .. .. .	35
d. Couplage des piles .. .. .	38



# TABLE DES MATIÈRES

## PREMIÈRE PARTIE

### L'HORLOGERIE ÉLECTRIQUE ET SES RAPPORTS AVEC L'ÉLECTROTECHNIQUE ET LA MÉCANIQUE

#### Introduction

CHAPITRE PREMIER. NOTIONS GÉNÉRALES D'ÉLECTRICITÉ.	27
1. LE COURANT CONTINU.	27
A. <i>Le courant électrique</i> .. .. .	27
a. Les effets du courant électrique .. .. .	27
b. Les générateurs de courant continu .. .. .	27
c. La force électro-motrice .. .. .	28
d. Quantité d'électricité .. .. .	28
e. Intensité .. .. .	28
f. Résistance .. .. .	29
g. Loi d'Ohm .. .. .	29
B. <i>Définition des unités fondamentales</i> .. .. .	29
a. Intensité .. .. .	29
b. Différence de potentiel ou tension .. .. .	29
c. Résistance .. .. .	29
d. La résistance d'un conducteur .. .. .	29
C. <i>Puissance et travail du courant électrique</i> .. .. .	30
a. Puissance .. .. .	30
b. Travail .. .. .	30
D. <i>Loi des courants dérivés</i> .. .. .	31
E. <i>Les effets chimiques du courant électrique</i> .. .. .	32
a. L'électrolyse .. .. .	32
b. Accumulateurs .. .. .	34
c. Piles .. .. .	35
d. Couplage des piles .. .. .	38



F. <i>Les effets magnétiques</i> .. .. .	39
a. Champ magnétique .. .. .	39
b. Aimantation par induction .. .. .	41
c. Champ magnétique produit par un courant électrique ..	43
d. L'électro-aimant élémentaire .. .. .	45
e. Déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique	47
f. Instruments de mesure .. .. .	48
g. Induction .. .. .	49
h. Courants de Foucault .. .. .	51
i. Self-induction .. .. .	52
2. LE COURANT ALTERNATIF.	52
A. <i>Le courant alternatif et sa production</i> .. .. .	52
a. Courant alternatif simple ou monophasé .. .. .	52
b. Courants alternatifs combinés ou polyphasés .. .. .	54
B. <i>Transformateurs</i> .. .. .	56
C. <i>Moteurs</i> .. .. .	57
D. <i>Redresseurs</i> .. .. .	57
3. LES TUBES ÉLECTRONIQUES.	58
A. <i>Les trois utilisations du tube électronique</i> .. .. .	58
a. Comme redresseur .. .. .	59
b. Comme amplificateur .. .. .	60
c. Comme oscillateur .. .. .	61
B. <i>Le tube de Braun et l'oscillographe cathodique</i> .. .. .	62
C. <i>La cellule photo-électrique</i> .. .. .	63
CHAPITRE II. L'ÉLECTRO-AIMANT.	65
1. LE CALCUL DE L'ÉLECTRO-AIMANT.	65
A. <i>Caractéristiques générales</i> .. .. .	65
B. <i>Le calcul de l'électro-aimant</i> .. .. .	66
2. QUELQUES ELECTRO-AIMANTS UTILISÉS EN HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.	68
A. <i>Electro-aimants à armature plate</i> .. .. .	69
B. <i>Electro-aimants à armature basculante et à armature plongeante</i> .. .. .	70

C. <i>Les inconvénients de ces genres d'électros</i> .. .. .	71
D. <i>Electro-aimants à armature polarisée</i> .. .. .	72
a. <i>Avantages</i> .. .. .	72
b. <i>Etude de quelques modèles</i> .. .. .	72
3. LES MATERIAUX FERRO-MAGNETIQUES UTILISES EN HORLOGERIE ELECTRIQUE.	74
CHAPITRE III. LE DISPOSITIF DE CONTACT.	77
1. DÉFINITIONS ET CARACTÉRISTIQUES.	77
2. CONDITIONS ÉLECTRIQUES.	77
A. <i>L'action du courant de self-induction</i> .. .. .	78
a. <i>Le courant de self-induction</i> .. .. .	78
b. <i>Le coefficient de self-induction et son calcul</i> .. .. .	78
B. <i>Les effets du courant de self-induction</i> .. .. .	81
C. <i>La protection électrique du contact</i> .. .. .	82
3. CONDITIONS MÉCANIQUES.	85
A. <i>Les conditions mécaniques et chimiques que le contact doit         remplir</i> .. .. .	85
B. <i>Les précautions à prendre</i> .. .. .	86
C. <i>La construction du contact</i> .. .. .	88
CHAPITRE IV. LE BALANCIER PENDULAIRE.	91
1. DÉFINITIONS ET LOIS DE L'OSCILLATION.	91
A. <i>Définitions</i> .. .. .	91
B. <i>La loi de l'oscillation</i> .. .. .	91
C. <i>Les trois caractéristiques importantes</i> .. .. .	93
a. <i>La longueur du pendule</i> .. .. .	93
b. <i>La variation de la marche diurne en fonction de la lon-             gueur</i> .. .. .	93
c. <i>La variation de la marche diurne en fonction de l'am-             plitude de l'oscillation</i> .. .. .	94
D. <i>Le réglage du pendule</i> .. .. .	95
	15



2. INFLUENCES DUES A LA VARIATION DES CONDITIONS EXTERIEURES.	95
A. <i>Influence des variations de température sur la période — la compensation thermique</i> . . . . .	95
B. <i>Influences mécaniques</i> . . . . .	99
a. <i>Influence des frottements</i> . . . . .	99
b. <i>Amortissement dû au milieu ambiant</i> . . . . .	101
c. <i>Résistances mécaniques</i> . . . . .	103
3. LA SUSPENSION DU BALANCIER.	104
A. <i>Les divers genres de suspensions</i> . . . . .	104
B. <i>Le point de flexion du ressort</i> . . . . .	105
4. INFLUENCE DES COURANTS DE FOUCAULT.	106
5. LA SYNCHRONISATION DES PENDULES ET SES CONDITIONS.	106
A. <i>Généralités</i> . . . . .	106
B. <i>Conditions de stabilité</i> . . . . .	108
6. ETUDE PRATIQUE D'UN PENDULE.	109

## DEUXIÈME PARTIE

### LES HORLOGES ÉLECTRIQUES

CHAPITRE V. L'UTILISATION DE L'ÉLECTRICITÉ POUR LA MESURE DU TEMPS.	113
1. INTRODUCTION — LA MESURE DU TEMPS.	113
2. HISTORIQUE.	114
3. CLASSIFICATION DES HORLOGES ÉLECTRIQUES.	118
A. <i>Choix du critère de classification</i> . . . . .	118
B. <i>La classification</i> . . . . .	120
4. LES APPAREILS POUR LA MESURE DU TEMPS AUTRES QUE LES HORLOGES ÉLECTRIQUES.	121
CHAPITRE VI. LES HORLOGES INDÉPENDANTES A REMONTOIR ÉLECTRIQUE.	123
1. CARACTÉRISTIQUES DE CES HORLOGES.	123

2. REMONTOIR A ÉLECTRO-AIMANT.	124
A. <i>Les débuts</i> .. .. .	124
B. <i>Horloges à balancier pendulaire</i> .. .. .	125
a. Remontoir Riefler .. .. .	125
b. Remontoir Leroy .. .. .	126
C. <i>Horloges à balancier circulaire</i> .. .. .	126
a. Horloges à courant fort (Heliowattwerke-Aron, Elektrozeit, Telephonbau und Normalzeit) .. .. .	126
b. Horloges à courant faible (« Reform », Elektrozeit, « Supremo », Favag) .. .. .	128
3. REMONTOIR A MOTEUR.	137
A. <i>Les moteurs</i> .. .. .	137
a. Le moteur à induction .. .. .	137
b. Production du champ tournant .. .. .	137
c. Moteurs à disques de Ferraris .. .. .	138
d. Limitation du remontage .. .. .	139
e. Moteurs à induit en court-circuit .. .. .	140
B. <i>Horloges à balancier pendulaire (Zénith, E. et F. Engel)</i>	140
C. <i>Horloges monumentales à remontoir électrique (Favarger-Favag, J.-G. Baer)</i> .. .. .	143
D. <i>Horloges à balancier circulaire (Zénith, Heliowattwerke, chronomètre de marine Favag-Nardin)</i> .. .. .	147
4. REMONTOIR ÉLECTRO-THERMIQUE.	154
A. <i>Horloges à courant fort (Pneura)</i> .. .. .	154
5. ÉTUDE CRITIQUE.	155
CHAPITRE VII. HORLOGES INDÉPENDANTES DONT LES OSCILLATIONS DE L'ORGANE RÉGLANT SONT ENTRETENUES ÉLECTRIQUEMENT.	157
1. CARACTÉRISTIQUES DE CES HORLOGES.	157
2. HORLOGES A BALANCIER PENDULAIRE.	157
A. <i>Horloges à électro-aimant (Hipp-Favag)</i> .. .. .	158
B. <i>Horloges à aimant permanent et à solénoïde (Féry, « Ato », « Bulle-Clock »)</i> .. .. .	162
C. <i>Constructions spéciales (Horloges Froment, « W. Z. », Satori, Baumann, pendule de Gregory)</i> .. .. .	167
D. <i>Auto-entretien des oscillations par cellule photo-électrique (Général Ferrié)</i> .. .. .	172
	17





b. Le réseau d'éclairage électrique .. .. .	226
c. L'inducteur électromagnétique .. .. .	226
B. <i>Les lignes de liaison</i> .. .. .	226
C. <i>Les services accessoires</i> .. .. .	228
3. LES IMPULSIONS DE COURANT.	228
a. Leur fréquence .. .. .	228
b. Leur polarité .. .. .	229
4. GROUPEMENT DES HORLOGES ET DES APPAREILS RÉCEPTEURS.	231
A. <i>Groupeement en parallèle</i> .. .. .	232
B. <i>Groupeement en série</i> .. .. .	232
CHAPITRE X. LES HORLOGES MÈRES.	235
1. CARACTÉRISTIQUES.	235
2. LES ORGANES D'ÉMISSION DES IMPULSIONS DE COURANT.	236
A. <i>L'interrupteur</i> .. .. .	237
B. <i>L'inverseur de courant</i> .. .. .	239
C. <i>Le distributeur</i> .. .. .	239
3. LES SYSTÈMES D'HORLOGES MÈRES.	241
A. <i>Horloges mères à remontoir à électro-aimant (Elektrozeit,             Siemens-Halske)</i> .. .. .	242
B. <i>Horloges mères à remontoir à moteur (« Inducta », Zénith,             W. Moser-Baer, Heliowattwerke)</i> .. .. .	248
C. <i>Horloges mères dont les oscillations du balancier sont entrete-             nues électriquement (Favag S. A., « Ato », Brillié frères)</i> ..	260
D. <i>Horloges mères dont les oscillations du balancier sont entre-             tenues par un dispositif à gravité muni d'une commande élec-             trique (Synchronome Co., Gent &amp; Co.)</i> .. .. .	272
E. <i>Horloges mères à caractéristiques spéciales</i> .. .. .	277
a. La source de courant est un inducteur (Inducta-Magnéta)	277
b. Le remontoir est un organe électro-thermique (Pneura)	281



4. HORLOGES MÈRES POUR BATEAUX ET AVIONS	281
A. Généralités	281
B. Description de quelques appareils (Favag S. A., « Inducta », Synchronome Co., Gent & Co.)	283
CHAPITRE XL LES HORLOGES ET LES APPAREILS RÉCEPTEURS	293
1. LES PRINCIPES CONSTRUCTIFS	293
A. Généralités	293
a. Caractéristiques	293
b. Les mesures	294
c. La construction	297
B. L'impulsion motrice et son influence sur la construction des mouvements récepteurs	299
a. Les caractéristiques des impulsions de courant motrices	299
b. Les mouvements récepteurs pour impulsions de sens constant	300
c. Les mouvements récepteurs pour impulsions de sens alterné	301
2. LA CONSTRUCTION DES MOUVEMENTS RÉCEPTEURS	302
A. Les mouvements récepteurs pour impulsions de sens constant (Stromberg El. Co., Synchronome Co., Gent Co. Ltd., American Business Machine Corp., Favag, Favag à chiffres sautants)	302
B. Les mouvements récepteurs pour impulsions de sens alterné à armature oscillante (Hipp-Favag, « Inducta », Siemens-Halske)	311
C. Les mouvements récepteurs pour impulsions de sens alterné à armature rotative (C.-Th. Wagner, W. Moser-Baer, Favag, Zénith, Siemens-Halske, Elektrozeit et Telephonbau und Normalzeit)	315
D. Les mouvements récepteurs dont l'armature rotative est constituée par un aimant permanent (Heliowattwerke, Siemens-Halske, Henry-Lepaute, W. Moser-Baer)	325
E. Mouvements secondaires à induit bobiné (« Ato », Brillié frères, A. E. G.)	330
F. Mouvements secondaires à balancier synchronisé (« Ato »)	332
3. MOUVEMENTS SECONDAIRES SPÉCIAUX	333
A. Mouvements secondaires pour horloges marines	333
a. Caractéristiques	333

b. La construction (Favag S. A.) .. .. .	334
B. <i>Mouvements secondaires pour la commande de circuits de signalisation horaire</i> .. .. .	335
a. Caractéristiques .. .. .	336
b. La construction (Favag, « Inducta », W. Moser-Baer, Zénith, Stromberg) .. .. .	337
4. MOUVEMENTS POUR HORLOGES MONUMENTALES.	344
A. <i>Caractéristiques</i> .. .. .	344
B. <i>Mouvements secondaires à poids ou à ressort avec détente électrique (J.-G. Baer, « Inducta »)</i> .. .. .	344
C. <i>Mouvements secondaires à moteur (Siemens-Halske, W. Moser-Baer, « Inducta », Telephonbau und Normalzeit)</i> .. .. .	346
D. <i>Mouvements secondaires à balancier pendulaire moteur (Gent Co. Ltd.)</i> .. .. .	350
E. <i>Mouvements à moteur synchrone</i> .. .. .	351
CHAPITRE XII. LES RESEAUX HORAIRE ET LEURS APPLICATIONS.	353
A. <i>Les réseaux horaires simples</i> .. .. .	353
B. <i>Les réseaux horaires combinés avec un système de signalisation horaire.</i> .. .. .	355
C. <i>L'extension des réseaux horaires</i> .. .. .	358
D. <i>Les réseaux assurant diverses fonctions horaires</i> .. .. .	363
CHAPITRE XIII. DISTRIBUTION ET UNIFICATION DE L'HEURE PAR RESEAUX UTILISANT DES SYSTEMES DE LIAISONS QUI NE LEUR SONT PAS PROPRES.	375
1. GÉNÉRALITÉS ET CLASSIFICATION DES SYSTEMES.	375
2. HORLOGES INDÉPENDANTES DONT LES AIGUILLES SONT REMISES PÉRIODIQUEMENT A L'HEURE.	376
A. <i>Les solutions (Zénith, Western Union)</i> .. .. .	376
3. HORLOGES ET APPAREILS HORAIRE DONT LES AIGUILLES AVANCENT PAR SAUTS PÉRIODIQUES.	379
A. <i>Principe des systèmes</i> .. .. .	379
B. <i>Les solutions (Actadis, Perlat-Durepaire)</i> .. .. .	380



4. HORLOGES ET APPAREILS A MOTEUR SYNCHRONE.	384
A. <i>Principe de la méthode</i> .. .. .	384
B. <i>Le contrôle et le réglage de la fréquence du courant alternatif</i> .. .. .	385
a. Principe de la méthode .. .. .	385
b. Les appareils (Favag S. A.) .. .. .	386
C. <i>Le moteur synchrone</i> .. .. .	388
a. Le principe du moteur synchrone .. .. .	388
b. La classification des divers systèmes .. .. .	391
D. <i>Moteurs synchrones dont le rotor ne peut démarrer par lui-même</i> .. .. .	391
a. Le principe .. .. .	391
b. Les moteurs (roue phonique de Lacour, horloges « Assa », F. Mauthe, Heliowattwerke, « Ato ») .. .. .	392
E. <i>Moteurs synchrones auto-démarrers</i> .. .. .	395
a. Le principe .. .. .	395
b. Les moteurs (Warren, « A. E. G. », « Synchron Hansen », Westinghouse, Sangamo) .. .. .	395
F. <i>Les mouvements synchrones à réserve de marche</i> .. .. .	400
a. Le principe .. .. .	400
b. Les mouvements (« A. E. G. », « Assa ») .. .. .	401
G. <i>Les mouvements à organe réglant synchronisé</i> .. .. .	403
a. Le principe .. .. .	403
b. Les mouvements (F. Mauthe, Bertrand-Henry Lepaute, Siemens-Halske) .. .. .	403
H. <i>Les horloges et appareils à moteur synchrone</i> .. .. .	406
a. Le choix du genre de mouvement .. .. .	406
b. L'équipement des horloges synchrones .. .. .	407
5. TRANSMISSION DE L'HEURE PAR SIGNAUX SONORES OU LUMINEUX.	408
A. <i>Principe et classification</i> .. .. .	408
B. <i>Signaux horaires transmis par les lignes télégraphiques, téléphoniques ou par les postes émetteurs de T. S. F.</i> .. .. .	409
a. Principe .. .. .	409
b. Les réalisations (Centrale horaire de la Gare de Silésie à Berlin, les services de diffusion de l'heure de l'Observatoire de Neuchâtel) .. .. .	410

c. La réception du signal de l'heure (Bureau de Contrôle des montres au Sentier) .. .. .	417
C. <i>Diffusion de l'heure par les horloges parlantes (Horloge parlante des Etabl. Brillié frères)</i> .. .. .	418
D. <i>Signaux à fréquence constante</i> .. .. .	421
CHAPITRE XIV. LA PRATIQUE DE L'HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.	423
1. LA CONSTRUCTION DES HORLOGES ÉLECTRIQUES.	423
A. <i>Les conditions de base</i> .. .. .	423
a. Le cadran .. .. .	424
b. Les aiguilles .. .. .	425
c. Les horloges à balancier pendulaire .. .. .	426
d. Les horloges installées à l'intérieur d'un bâtiment .. .. .	426
e. Les horloges pour montage en plein air .. .. .	427
f. Les horloges monumentales de grand diamètre .. .. .	429
2. LE CHOIX ET L'INSTALLATION D'UNE HORLOGE ÉLECTRIQUE.	434
A. <i>Le choix du système</i> .. .. .	434
B. <i>Le choix de la dimension (diamètre)</i> .. .. .	437
C. <i>Le choix de l'emplacement</i> .. .. .	438
3. L'ENTRETIEN ET LA RÉPARATION DES HORLOGES ÉLECTRIQUES.	439
A. <i>Généralités</i> .. .. .	439
B. <i>L'équipement du praticien</i> .. .. .	440
C. <i>Le contrôle, l'entretien, la réparation et les essais des horloges électriques et de leurs sources de courant</i> .. .. .	441
4. CONCLUSION.	448
A. <i>Améliorations et perfectionnements</i> .. .. .	448
a. Horloges indépendantes .. .. .	448
b. Horloges de précision .. .. .	449
c. Réseaux horaires .. .. .	450
d. Horloges synchrones .. .. .	451
e. Autres systèmes .. .. .	451



## INTRODUCTION

Avant d'entreprendre l'étude proprement dite des horloges électriques, il a paru nécessaire de rappeler, d'une part, les bases de l'électrotechnique élémentaire et, d'autre part, avec quelque détail, les principes théoriques et les méthodes de construction de certains organes de ces horloges.

Le premier chapitre de cette partie théorique est donc consacré à un bref exposé des principes de l'électricité ; dû à la plume autorisée de M. Max Bossart, Directeur de l'Ecole d'Horlogerie de Soleure, il est destiné plus particulièrement aux praticiens horlogers qui n'ont pas eu l'occasion de suivre les cours d'électricité des écoles d'horlogerie.

Les trois chapitres suivants ont été écrits à l'intention des constructeurs d'horloges électriques qui, bien souvent, n'ont pu étudier d'une façon suffisamment approfondie la construction et les fonctions de trois des organes principaux que l'on retrouve dans la plupart des horloges électriques : l'électro-aimant, le contact et le pendule. Ces trois organes jouent en effet un rôle primordial dans les appareils que nous étudierons au cours de la deuxième partie de ce livre ; de leur construction dépendent le bon fonctionnement, la précision de marche et la durée de vie des horloges qu'ils équipent.

## CHAPITRE PREMIER

# NOTIONS GÉNÉRALES D'ÉLECTRICITÉ

### Courant continu

*Les effets du courant électrique.* L'électricité est quelque chose que nous ne pouvons constater que par ses effets ; ces derniers peuvent se manifester de différentes façons : effets chimiques (par exemple : décomposition de l'eau par l'électrolyse), effets thermiques (par exemple : échauffement d'un fil parcouru par un courant électrique), effets magnétiques (par exemple : déviation d'une boussole placée près d'un conducteur électrique). Ces différents effets seront traités plus en détail par la suite.

*Les générateurs de courant continu.* Un courant électrique peut être obtenu en introduisant deux métaux différents dans un liquide conducteur (par exemple dans un mélange d'acide sulfurique et d'eau). Ce dispositif s'appelle une pile. En reliant les deux plaques métalliques par un fil conducteur et en introduisant dans ce circuit une ampoule de lampe de poche, cette dernière s'allume et nous pouvons constater par ce phénomène que le filament est parcouru par un courant électrique (fig. 1). Avec un instrument de mesure approprié, nous remarquons qu'une des plaques est chargée positivement et l'autre négativement. Bien que le courant électrique ne cesse de circuler, cette charge positive se maintient ; il faut donc admettre que cette charge se renouvelle constamment et que cette pile peut donc produire un courant

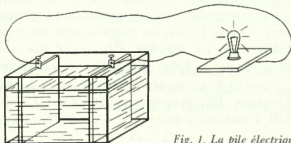


Fig. 1. La pile électrique.

électrique. Nous appelons *pôle positif* la plaque métallique chargée positivement, l'autre, *pôle négatif*. Le chemin parcouru par le courant s'appelle *circuit électrique*. Ce circuit est fermé et va, par définition, du pôle positif au pôle négatif à l'extérieur et du pôle négatif au pôle positif à l'intérieur de la pile, en passant par le liquide conducteur appelé électrolyte. On peut constater que ce courant circule toujours dans le même sens, il est appelé, pour cette raison, courant continu. Le courant électrique obtenu de cette façon provient d'une réaction chimique s'opérant entre l'électrolyte et les plaques métalliques. Un courant électrique peut également être produit par un phénomène magnétique ou thermique. Dans le premier cas, un conducteur se déplace dans un champ magnétique ; la machine basée sur ce phénomène s'appelle dynamo. Dans le second cas, l'appareil produisant le courant s'appelle pile thermo-électrique.

*La force électro-motrice.* Nous avons vu qu'en plongeant deux plaques métalliques dans l'électrolyte il y a production de courant électrique. Pour que ce courant puisse circuler, il faut qu'il y ait, entre les deux plaques métalliques, une différence de potentiel que nous désignons par la lettre U. La force qui fait circuler l'électricité s'appelle force électro-motrice. Elle est désignée par la lettre E. Les valeurs U et E se mesurent en volts.

Plongeons, par exemple, une plaque de zinc dans une solution d'acide sulfurique, le zinc est attaqué et présente, vis-à-vis de la solution, une charge négative. En y plongeant une plaque de cuivre, le même phénomène peut être constaté, mais la charge négative est moins grande pour le cuivre que pour le zinc. Si les deux plaques sont plongées ensemble dans le liquide, on constate que la charge négative du zinc est plus grande que celle du cuivre, le cuivre est donc positif par rapport au zinc. Par la combinaison cuivre-zinc, la force électro-motrice est de 1,06 volt (pile de Volta).

La valeur de la force électro-motrice dépend du métal et de la solution dans laquelle il est plongé et non de la surface métallique en contact avec la solution.

La force électro-motrice est la cause de l'écoulement de la charge du pôle positif vers le pôle négatif. Bien que cet écoulement s'opère à une vitesse énorme, la charge se renouvelle constamment jusqu'au moment où la pile est épuisée, c'est-à-dire, lorsque le zinc est complètement rongé par l'électrolyte.

*Quantité d'électricité.* La quantité d'électricité qui s'écoule dans un conducteur est désignée par la lettre Q. L'unité est le coulomb.

*Intensité.* L'intensité d'un courant électrique est la quantité d'électricité qui s'écoule en 1 seconde. Elle s'exprime par la lettre I. L'unité est l'ampère ; c'est la quantité de 1 coulomb écoulee en 1 seconde. Nous avons :

$$I = \frac{Q}{t}$$



**Résistance.** Chaque conducteur offre une certaine résistance au passage de l'électricité. Nous désignons cette résistance par la lettre  $R$ . L'unité est l'Ohm.

**Loi d'Ohm.** Les grandeurs que nous venons de voir, l'intensité  $I$ , la différence de potentiel  $U$  et la résistance  $R$ , sont liées par la loi d'Ohm qui s'exprime par :

$$I = \frac{U}{R}$$

En examinant cette formule, nous voyons que l'intensité  $I$  est proportionnelle à la différence de potentiel  $U$  et inversement proportionnelle à la résistance  $R$ . De cette formule nous pouvons tirer :

$$U = IR \quad \text{et} \quad R = \frac{U}{I}$$

### Définition des unités fondamentales

**Intensité.** Nous avons vu que l'unité d'intensité, l'ampère (A), est la quantité d'électricité de 1 coulomb qui s'écoule en l'unité de temps, soit 1 seconde. Pratiquement, on définit l'unité d'intensité par l'électrolyse du nitrate d'argent : un ampère est l'intensité qui dépose en 1 seconde 1,118 mg. d'argent sur la cathode (pôle négatif).

Cette unité est souvent trop grande, surtout dans le cas de l'horlogerie électrique ; nous employons alors le milliampère (mA).

**Différence de potentiel ou tension.** L'unité est le volt (V). Un volt est la différence de potentiel nécessaire pour faire passer un courant d'un ampère dans un conducteur dont la résistance est de 1 ohm.

**Résistance.** L'unité de résistance est l'ohm ( $\Omega$ ). C'est la résistance qu'une colonne de mercure de 1,063 m. et d'une section de 1 mm<sup>2</sup> oppose au passage du courant.

**La résistance d'un conducteur.** La résistance d'un conducteur dépend de la matière dont il est constitué, de sa longueur et de sa section. Nous appelons la résistance d'un conducteur de 1 m. de longueur et d'une section de 1 mm<sup>2</sup>, à la température de 20°, la *résistivité*, que nous désignons par la lettre  $\rho$ . La résistance d'un conducteur quelconque s'exprime par la formule :

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

Dans cette formule  $l$  est la longueur en mètres,  $s$  la section en mm<sup>2</sup>.

Nous voyons que la résistance est proportionnelle à la longueur du conducteur et inversement proportionnelle à sa section. De la formule ci-dessus nous pouvons tirer :

$$l = \frac{R \cdot s}{\rho} \quad s = \frac{\rho \cdot l}{R} \quad \rho = \frac{R \cdot s}{l}$$

La résistance d'un conducteur change avec la température d'après la formule suivante :

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + k (t_2 - t_1)]$$

Dans cette formule  $R_2$  est la résistance à la température  $t_2$ ,  $R_1$  la résistance à la température  $t_1$  et  $k$  le coefficient thermique. Celui-ci est la différence de résistance que 1 ohm d'une matière subit, si on élève sa température de 1° C.

Les valeurs de  $\rho$  et de  $k$  se trouvent dans des tables.

Au point de vue de leur résistance, nous pouvons classer les matières dans trois catégories :

- a) *bons conducteurs*, tous les métaux et le charbon.
- b) *conducteurs moyens*, tous les liquides conducteurs.
- c) *matières non conductrices appelées aussi isolants*. Cette dernière catégorie comprend toutes les matières dont la résistance est si grande que, pratiquement, il n'y a pas de passage de courant. Ces matières sont utilisées pour isoler les conducteurs, pour éviter des pertes ou comme protection contre les dangers que provoquerait un contact avec le corps humain. Cette catégorie comprend le verre, la porcelaine, le mica, le presspan, la fibre, le caoutchouc, le papier, les textiles, l'huile, etc.

Dans les calculs on utilise parfois la valeur  $\frac{1}{R}$  qui s'appelle *conductance*.

*Puissance du courant électrique :*

- a) La puissance est proportionnelle à l'intensité pour une différence de potentiel constante.
- b) La puissance est proportionnelle à la différence de potentiel, si l'intensité reste constante.

En considérant ce qui précède, la puissance d'un courant électrique est donnée par la formule suivante :

$$N = U \cdot I$$

L'unité de puissance est le *watt* (W) ; cette unité étant pratiquement trop petite, on emploie souvent le kilowatt (kW).

En remplaçant dans la formule ci-dessus  $U$  ou  $I$  par leurs valeurs données par la loi d'Ohm, nous obtenons :

$$N = I^2 \cdot R \quad \text{ou} \quad N = \frac{U^2}{R}$$

*Travail du courant électrique.* La puissance  $N$  étant le travail produit dans l'unité de temps, nous avons en conséquence pour le travail :

$$A = N \cdot t$$

Le travail est donc le produit de la puissance et du temps.

L'unité est appelée *Joule* ou *Wattseconde* (Wsec.). C'est le travail produit en 1 seconde par un courant d'une intensité de 1 ampère avec une différence de potentiel de 1 volt. Cette unité est en général beaucoup trop petite et, dans la pratique, on utilise comme unité le kilowattheure (kWh.). La puissance est exprimée en kilowatt et le temps en heures (1 kWh. =  $1000 \cdot 3600 = 3\,600\,000$  Wsec.).

### Loi des courants dérivés

Une dérivation de courant se produit si le conducteur principal se partage en un point A (fig. 2) en plusieurs branches qui se réunissent plus tard au point B pour reformer un conducteur unique. Soit  $I$ , l'intensité du courant dans le conducteur principal, et  $I_1 I_2 I_3 \dots$  les intensités des courants partiels dans les branches dont les résistances sont respectivement  $R_1 R_2 R_3 \dots$

La première loi dit que l'intensité  $I$  est égale à la somme des intensités partielles :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

La deuxième loi dit que les intensités de deux courants partiels sont inversement proportionnelles aux résistances des dérivations respectives, par exemple :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{ou} \quad \frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1}$$

Si la différence de potentiel entre les points A et B est  $U$ , nous pouvons écrire d'après la loi d'Ohm :

$$U = R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2 \quad \text{d'où} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

formule qui vérifie la deuxième loi exprimée ci-dessus.

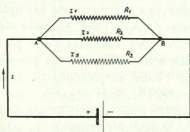


Fig. 2. Les courants dérivés.

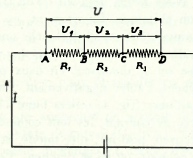


Fig. 3. Résistances couplées en série



Les résistances peuvent être couplées en parallèle ( $R_1$   $R_2$   $R_3$  fig. 2), ou en série, fig. 3. Dans le premier cas, la résistance totale est trouvée en calculant la conductance  $\frac{1}{R}$ .

Nous avons d'après la première loi des courants dérivés :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

ou d'après la loi d'Ohm :

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots$$

en simplifiant par  $U$ , nous avons la formule pour la conductance :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Dans le deuxième cas (résistances en série), la résistance totale est la somme des résistances partielles :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

d'après la loi d'Ohm :

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} \text{ ou } I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3}$$

Nous constatons également que :

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

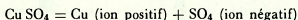
## Les effets chimiques

### L'électrolyse

Nous avons déjà vu qu'un courant électrique peut être obtenu par une action chimique. Inversement, en faisant passer un courant électrique dans certaines solutions, il déclenche une réaction chimique. Prenons, par exemple, du sulfate de cuivre ( $\text{Cu SO}_4$ ) que nous dissolvons dans de l'eau, les molécules de ce sel se dissocient en deux parties, appelées *ions*, chargées l'une positivement, l'autre négativement. Plongeons, dans cette solution, deux plaques métalliques (fig. 4) reliées l'une au pôle positif, l'autre au pôle négatif d'une source de courant, les ions commencent à circuler : les ions négatifs iront à l'électrode positive, dite *anode*, et les ions positifs iront à l'anode négative, dite *cathode*, où ils se déposent. Cette opération s'appelle *électrolyse*, la solution, *électrolyte*.

Pour être décomposée par l'électrolyse, la solution doit être conductrice. Des matières en fusion peuvent également être soumises à l'électrolyse (électrolyse de la bauxite pour la fabrication de l'aluminium). Les matières qui se déposent sur les électrodes provoquent souvent des réactions chimiques secondaires avec le métal des électrodes ou avec l'eau de la solution.

Reprenons le cas du sulfate de cuivre :



- a) Si les deux électrodes employées sont en platine, l'électrolyse se fait de la manière suivante :

le cuivre se dépose à la cathode. Le  $\text{SO}_4$  qui devrait se déposer à l'anode entre en réaction chimique avec l'eau ( $\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ) et forme de l'acide sulfurique  $\text{H}_2 \text{SO}_4 + \text{O}$ .

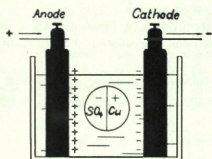


Fig. 4. L'électrolyse.

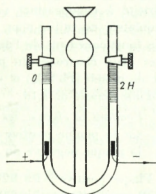


Fig. 5. Electrolyse de l'eau.

L'oxygène (O) s'échappe sous forme de globules qui montent à la surface. La solution  $\text{Cu SO}_4$  sera remplacée finalement par de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2 \text{SO}_4$ ) et tout le cuivre de la solution sera déposé sur la cathode. C'est un procédé pour obtenir le cuivre pur, dit électrolytique.

- b) Si nous employons pour cette électrolyse deux électrodes en cuivre, l'électrolyse donne le résultat suivant :

le cuivre se dépose à la cathode qui augmente de volume, le  $\text{SO}_4$  attaque l'anode pour reformer du sulfate de cuivre ( $\text{Cu SO}_4$ ) ; l'anode diminue de volume, la solution reste inchangée. L'anode disparaît finalement et tout le cuivre s'est déposé sur la cathode.

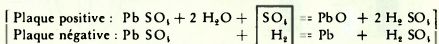
## Accumulateurs

Nous avons vu le fonctionnement de l'appareil pour l'électrolyse de l'eau, fig. 5. Si cet appareil a fonctionné un certain temps et que nous le séparions de la source de courant, nous pourrions admettre que les deux électrodes sont de nouveau neutres. Tel n'est pas le cas, la plaque négative reste négative et la plaque positive reste positive. Si nous relierons les deux électrodes par une résistance et un ampèremètre, nous constatons qu'un courant électrique s'établit, mais qu'il est de sens contraire à celui qui a circulé pendant l'électrolyse et qu'il disparaît au moment où il n'y a plus de bulles de gaz autour des électrodes. Cet ensemble n'est autre qu'une pile à deux électrodes gazeuses d'hydrogène et d'oxygène. Le même phénomène se produit si nous employons comme électrodes deux plaques de plomb plongées dans une solution d'acide sulfurique (fig. 6). Nous appelons ce dispositif *accumulateur*, puisque nous pouvons y emmagasiner une certaine quantité d'électricité. L'opération qui consiste à fournir à l'accumulateur la quantité d'électricité à emmagasiner s'appelle la *charge*. Le temps pendant lequel l'accumulateur est utilisé pour fournir de l'énergie s'appelle la *décharge*.

Le fonctionnement de l'accumulateur est le suivant :

Les deux électrodes en plomb sont recouvertes, à l'état déchargé, de sulfate de plomb ( $\text{Pb SO}_4$ ) et sont plongées dans une solution d'acide sulfurique d'une densité de 1,18.

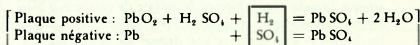
- a) *Pendant la charge*, les couches de sulfate de plomb se transforment ; sur la plaque positive se forme du bioxyde de plomb ( $\text{Pb O}_2$ ) et sur la plaque négative du plomb ( $\text{Pb}$ ).



Pour chaque molécule  $\text{H}_2 \text{ SO}_4$  décomposée, il se forme trois molécules  $\text{H}_2 \text{ SO}_4$  nouvelles, la concentration de la solution augmente pendant la charge (densité 1,22 à la fin de la charge).

A l'état chargé, l'accumulateur constitue donc une pile avec une électrode en bioxyde de plomb et l'autre en plomb, toutes deux plongées dans une solution d'acide sulfurique.

- b) *Pendant la décharge*, les couches de sulfate de plomb se reforment et l'accumulateur cesse de fonctionner comme pile au moment où les couches de sulfate se sont reformées, c'est-à-dire quand les deux électrodes sont arrivées au même potentiel.





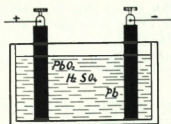


Fig. 6. Le principe de l'accumulateur.

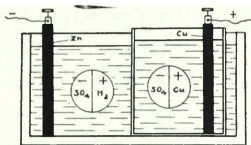


Fig. 7. La pile Daniell.

Pendant la décharge, la concentration de la solution diminue puisque, pour deux molécules d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) qui se combinent, il se forme deux molécules d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

La tension d'un accumulateur chargé est de 2,2 volts et ne doit pas descendre en dessous de 1,8 volt, lors de la décharge (sulfatation trop forte). La densité de la solution d'acide sulfurique varie donc entre 1,22 à l'état chargé et 1,18 à l'état déchargé, ce qui permet de mesurer l'état de charge de l'élément.

La capacité d'un accumulateur dépend de la surface des plaques et s'exprime en ampères-heures (Ah). Un accumulateur de 60 ampères-heures peut, par exemple, fournir un courant de 10 A pendant 6 heures ou 5 A pendant 12 heures. Pour l'intensité des courants de charge ou de décharge, on compte 1 A par  $\text{dm}^2$  de plaque.

Le rendement d'un accumulateur est environ de 90 %.

Outre les accumulateurs à base de plomb, on utilise également l'accumulateur fer-cadmium-nickel. L'électrolyte est constitué par une solution de potasse caustique. Les avantages de ce genre d'accumulateur sont : un poids plus faible que les accumulateurs à base de plomb, une insensibilité plus grande contre des surcharges et des effets mécaniques (les plaques sont plus solides et le bac est métallique). Le désavantage vis-à-vis des accumulateurs à base de plomb est la force électro-motrice moins grande. Elle est de 1,5 V après la charge et diminue constamment pendant la décharge.

## Piles

Nous avons déjà vu la pile de Volta, constituée par une électrode en cuivre et une électrode en zinc, plongées dans une solution d'acide sulfurique. Cette pile ne peut pratiquement être utilisée, parce que le passage du courant à l'intérieur de la pile décompose l'acide sulfurique en  $\text{H}_2$  et  $\text{SO}_4$ .

$\text{SO}_4$  forme avec le zinc du sulfate de zinc  $\text{Zn SO}_4$  qui va dans la solution. L'hydrogène se dépose sur le cuivre et le *polarise*, ce qui provoque un affaiblissement du courant. Pour faire disparaître l'hydrogène, on emploie des corps appelés *dépolarisants*. Les piles fonctionnant avec un dépolarisant sont, par exemple, les piles Daniell et Leclanché.

**Pile Daniell.** Les électrodes sont en zinc et en cuivre. L'électrode de zinc est plongée dans une solution d'acide sulfurique. L'électrode de cuivre est séparée par un vase en terre poreuse et plonge dans une solution de sulfate de cuivre (fig. 7). L'hydrogène dégagé ne peut traverser la paroi poreuse et se combine avec le  $\text{SO}_4$  du sulfate de cuivre ( $\text{Cu SO}_4$ ) pour donner de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2 \text{SO}_4$ ). Le cuivre (Cu) du sulfate de cuivre se dépose sur le cuivre de l'anode. Il ne se produit donc pas de polarisation. La force électro-motrice de cette pile est de 1,15 volt.

**Pile Leclanché.** C'est une pile avec une des électrodes en zinc et l'autre en charbon. Le zinc est plongé dans une solution de sel ammoniac ou chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4 \text{Cl}$ ) ; le charbon est entouré par du bioxyde de manganèse ( $\text{Mn O}_2$ ) contenu dans un sachet (fig. 8). L'hydrogène se combine avec l'oxygène du bioxyde de manganèse pour donner de l'eau. La force électro-motrice de cette pile est de 1,3 volt.

**Piles sèches.** Les piles sèches sont en général des piles Leclanché dont l'électrolyte est contenu dans une pâte faite soit avec de la farine, soit avec de l'agar-agar, soit dans certains cas avec de la cellulose. Elles sont fermées avec une couche de goudron et peuvent fonctionner dans n'importe quelle position ce qui est leur principal avantage.

**Tension entre les bornes.** La force électro-motrice mesurée entre les pôles ou *bornes*, au moment où la pile fournit du courant, s'appelle *différence de*

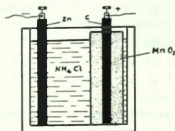


Fig. 8. Pile Leclanché.

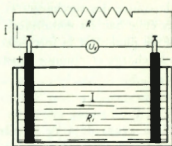


Fig. 9. La différence de potentiel entre les bornes d'une pile.

*potentiel* ou *tension entre les bornes* et est désignée par la lettre  $U_k$ . Cette tension est plus petite que la force électro-motrice, une *chute de tension* étant provoquée par la résistance intérieure (fig. 9).

La tension entre les bornes est, d'après la loi d'Ohm :

$$U_k = I \cdot R$$

Nous avons vu que dans un circuit, l'intensité  $I$  est égale à chacun de ses points. La pile possède cependant une résistance intérieure et aussitôt qu'un courant passe dans le circuit, nous devons tenir compte de cette résistance intérieure. La chute de tension peut être calculée d'après la loi d'Ohm. Nous avons :

$$U_i = I \cdot R_i$$

La force électro-motrice est :

$$E = U_k + U_i$$

$$E = U_k + I \cdot R_i$$

La force électro-motrice d'une pile est donc égale à la tension entre les bornes plus la chute de tension à l'intérieur de la pile. La tension entre les bornes varie avec l'intensité. Trois cas peuvent se présenter :

1. *Les bornes de la pile ne sont pas reliées extérieurement.*

Nous avons :

$$I = 0$$

et :

$$E = U_k + I \cdot R_i$$

le second terme est nul et nous avons :

$$E = U_k$$

Nous voyons que la force électro-motrice  $E$  et la tension entre les bornes  $U_k$  sont égales au moment où le circuit est ouvert.

2. *Les bornes de la pile sont reliées extérieurement par une résistance  $R$ .*

Nous avons :

$$I > 0$$

et :

$$E = U_k + I \cdot R_i$$

3. *Les bornes de la pile sont reliées par un conducteur dont la résistance est pratiquement nulle.*

Nous avons :

$$I = \text{maximum}$$

Nous appelons ce cas *court-circuit*.



$U_k$  devient zéro et nous avons pour  $E$  :

$$E = I_{\max} \cdot R_i$$

L'intensité du courant de court-circuit est donc :

$$I_{\max} = \frac{E}{R_i}$$

L'intensité du courant débité par une pile peut se tirer de la formule :

$$E = U_k + I \cdot R_i = I \cdot R + I \cdot R_i$$

$$E = I (R + R_i)$$

$$\text{d'où } I = \frac{E}{R + R_i}$$

**Couplage des piles.** Il est souvent nécessaire de faire un couplage de piles pour obtenir l'intensité ou la tension désirée. Deux procédés de *couplage* ou de *montage* peuvent être employés, le couplage en série et le couplage en parallèle.

**Couplage en série.** Pour monter les piles en série, on réunit le pôle positif de l'une au pôle négatif de la suivante et ainsi de suite. Il reste finalement un pôle positif et un pôle négatif qui constituent les pôles de la *batterie* (fig. 10). Voici les caractéristiques de ce couplage :

- a) La force électro-motrice  $E$  de la batterie est égale à la somme des forces électro-motrices  $e$  des piles :

$$E = e_1 + e_2 + e_3 + \dots$$

- b) L'intensité du courant  $I$  de la batterie est la même que l'intensité du courant  $i$  d'une pile :

$$I = i$$

- c) La résistance intérieure de la batterie  $R_i$  est égale à la somme des résistances intérieures  $r_i$  des piles :

$$R_i = r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} + \dots$$

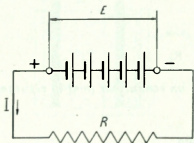


Fig. 10. Le groupement des piles en série.

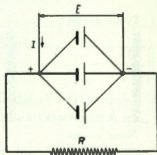


Fig. 11. Le groupement des piles en parallèle.

**Couplage en parallèle.** Pour monter des piles en parallèle, on réunit tous les pôles positifs d'une part et tous les pôles négatifs d'autre part (fig. 11). Les caractéristiques de ce couplage sont les suivantes :

- a) La force électro-motrice  $E$  de la batterie est égale à la force électro-motrice  $e$  d'une pile :

$$E = e$$

- b) L'intensité du courant  $I$  de la batterie est égale à la somme des intensités du courant  $i$  des piles :

$$I = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$$

- c) La résistance intérieure de la batterie est égale à celle d'une pile, divisée par le nombre  $n$  de piles :

$$R_i = \frac{r_i}{n}$$

## Les effets magnétiques

### Champ magnétique

Toute région de l'espace soumise à l'action d'un aimant ou d'un courant électrique est un *champ magnétique* qui sera défini si l'on connaît en chacun de ses points la direction et l'intensité de la force magnétique  $H$ .

L'intensité d'un champ magnétique en un quelconque de ses points se mesure par la force exprimée en dynes qu'y subit l'unité de masse magnétique CGS. Cette masse unitaire ou pôle unité, est la masse magnétique qui, placée à un centimètre d'une masse égale, la repousse avec une force d'une dyne.

Il résulte de ce qui précède que l'unité électromagnétique CGS de champ magnétique est le champ qui, agissant sur l'unité de masse magnétique, exerce sur elle une force de une dyne ; cette unité a été dénommée le *gauss*.

A titre d'exemple, nous donnons la valeur de quelques champs magnétiques : la composante horizontale du champ magnétique terrestre a, dans nos régions, une valeur moyenne de 0,2 gauss ; la valeur du champ entre les branches d'un aimant permanent est de l'ordre de 100 à 200 gauss ; enfin, au moyen d'électro-aimants, on peut obtenir des champs d'une intensité de 20 000 à 30 000 gauss.

Un champ magnétique peut être représenté dans l'espace par les *lignes de force*, dont la tangente en un quelconque de leurs points donne la *direction* de la force susceptible d'agir sur une masse magnétique.

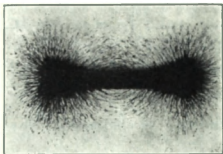


Fig. 12. Spectre magnétique d'un aimant rectiligne.

Le sens de circulation le long d'une ligne de force est défini comme suit :

L'aimant produisant le champ est représenté par deux masses magnétiques concentrées en deux de ses points symétriques que l'on considère comme origines apparentes des forces magnétiques et que l'on désigne par pôle nord et pôle sud.

Le pôle nord est choisi comme point de sortie et le pôle sud comme point de pénétration des lignes de

force : le sens de circulation est donc Nord—Sud.

La représentation matérielle de la topographie du champ magnétique est donnée par l'expérience classique du spectre magnétique que l'on obtient en projetant de la limaille de fer sur une feuille de papier ou de verre placée de manière convenable dans le champ ; les grains de limaille se répartissent de manière à dessiner des courbes fermées qui sont la représentation matérielle des lignes de force. Cette méthode d'investigation est précieuse dans la pratique pour l'étude du champ magnétique d'un aimant ou d'un électro-aimant ; elle permet en particulier d'apprécier si leur forme et leur construction sont correctes et assurent un rendement satisfaisant. Les figures 12, 13, 14 montrent quelques exemples de spectres : aimant rectiligne, aimant en fer à cheval et conducteur enroulé en hélice (solénoïde).

Une surface plane  $s$ , placée en une région quelconque du champ, perpendiculairement aux lignes de force, sera traversée par un certain nombre de

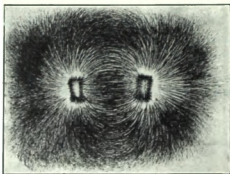


Fig. 13. Spectre magnétique formé par les pièces polaires d'un aimant en fer à cheval.

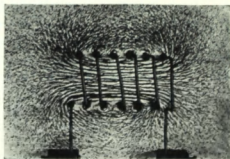


Fig. 14. Spectre magnétique d'un solénoïde.

ces lignes ; on appelle *flux de force*  $\Phi$  du champ magnétique le produit de la surface  $s$  par l'intensité du champ  $H$ . On aura donc :

$$\Phi = s H$$

Si l'intensité du champ est exprimée en gauss et la surface en  $\text{cm}^2$ , la valeur du flux est donnée au moyen d'une unité qui s'appelle le *maxwell*.

### Aimantation par induction

Un champ magnétique d'intensité  $H$  provoque dans tout corps qui y est placé une *induction magnétique* dont l'intensité  $B$ , dépendante de la matière dont est constitué ce corps, est donnée par la relation :

$$B = \mu H$$

Le coefficient  $\mu$ , est dit *perméabilité magnétique* du corps considéré.

a) Par définition, la perméabilité du vide est égale à l'unité et

$$B = H$$

b) La perméabilité du fer et de quelques autres métaux ou alliages dits ferro-magnétiques est très considérable ; ce sont les seuls matériaux qui sont donc susceptibles d'être utilisés pour la construction des aimants permanents et des électro-aimants.

c) La valeur du coefficient de perméabilité n'est pas constante pour le même matériel, elle varie selon l'intensité du champ magnétique  $H$ .

L'étude de la courbe d'induction  $B$  en fonction de l'intensité du champ magnétique  $H$ , donne des renseignements utiles pour le choix d'un électro-aimant ou d'un aimant permanent (fig. 15).

En abscisse sont portées positivement et négativement les intensités du champ magnétique  $H$  et en ordonnées les valeurs de l'induction  $B$ . Il est nécessaire d'opérer avec un échantillon de métal ferro-magnétique vierge de toute aimantation, afin que la courbe dite de première aimantation parte de l'origine (induction  $B = 0$ ) ; dans cette première courbe, on distingue 3 régions :

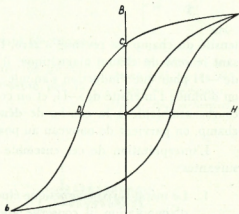


Fig. 15. Cycle d'hystérésis d'un métal ferro-magnétique.

OC : aimantation rémanente.

OD : champ coercitif.



- a) celle des champs de faible intensité dans laquelle l'induction croît régulièrement et de façon lente avec le champ.
- b) celle des champs moyens où l'induction croît très rapidement.
- c) celle des champs intenses où l'induction croît de nouveau, lentement, vers une limite que l'on appelle *saturation*.

Si en un point quelconque de cette courbe, par exemple en *a*, on revient en arrière avec l'intensité du champ *H*, on constate que la courbe d'induction ne coïncide pas avec la courbe de première aimantation et que, lorsque l'in-

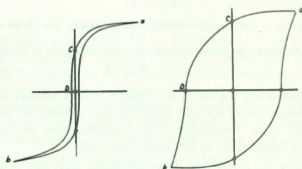


Fig. 16. Cycles d'hystérésis du fer extra doux recuit et de l'acier d'aimant au cobalt.

tensité du champ est revenue à zéro, l'induction n'est pas annulée. En inversant le sens du champ magnétique, il faut atteindre une valeur assez élevée de  $-H$  pour que l'induction s'annule ; parvenue au point *b*, symétrique de *a*, on diminue l'intensité de  $-H$ , et on constate que les valeurs de *B*, suivent une courbe semblable à la courbe de démagnétisation ; en inversant le sens du champ, on parvient de nouveau au point *a*.

L'interprétation de cet ensemble de courbes donne lieu aux remarques suivantes :

1. Le métal ferro-magnétique étudié ne revient pas à l'état initial, vierge d'aimantation, il conserve une aimantation résiduelle ou rémanente, représentée par l'ordonnée *O. C.*
2. Pour éliminer l'aimantation rémanente, il faut donner au champ une valeur représentée par l'abscisse *OD*, dite champ coercitif.

3. La magnétisation du métal étudié est en retard sur la force magnétisante, ce retard est appelé *hystérésis* et l'ensemble des courbes décrit le *cycle d'hystérésis*.

Le cycle d'hystérésis est très différent selon les qualités de fer ou d'acier considérées ; à titre d'exemple, la fig. 16 représente deux cycles : le premier, celui d'un échantillon de fer extra doux, spécialement recuit, utilisé communément pour la construction d'électro-aimants, le second, celui d'un acier au cobalt employé pour la fabrication d'aimants permanents.

Le premier cycle montre que l'aimantation rémanente est très faible, ce qui est nécessaire pour que l'armature d'un électro-aimant se sépare sans difficulté des noyaux lorsque le courant est coupé. La seconde courbe montre au contraire une aimantation rémanente particulièrement élevée, qualité nécessaire pour la construction de bons aimants permanents.

En fait, un fragment de métal ferro-magnétique placé dans un champ magnétique acquiert toutes les propriétés d'un aimant, il présente un pôle nord et un pôle sud et s'oriente, s'il est mobile, parallèlement aux lignes de force magnétiques.

### Champ magnétique produit par un courant électrique

Un courant électrique crée autour de lui un champ magnétique qui peut être représenté par la méthode du spectre (fig. 17).

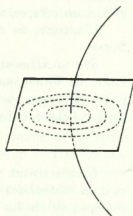


Fig. 17. La création d'un champ magnétique par un courant.

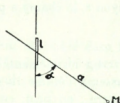


Fig. 18. Intensité du champ créé par un élément de conducteur (loi de Biot et Savart).

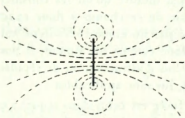


Fig. 19. Champ magnétique créé par un courant circulaire.

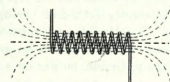


Fig. 20. Champ magnétique créé par un solénoïde.

Les lignes de force sont des courbes fermées qui entourent le conducteur ; leur forme dépend de la configuration du circuit. Leur sens est lié au sens du courant électrique ; il est celui dans lequel il faudrait faire tourner un tire-bouchon pour le faire progresser dans le sens de circulation du courant (du pôle + au pôle -).

L'intensité du champ magnétique créé est donnée par la loi de Biot et Savart :

Soit un élément de conducteur de longueur  $l$ , faisant partie d'un circuit fermé de forme quelconque, traversé par un courant d'intensité  $i$  ; en un point quelconque de l'espace, dont la distance avec l'élément de conducteur est  $a$  et l'angle  $\alpha$  (fig. 18), l'intensité du champ est :

$$H = \frac{1}{10} \cdot \frac{li}{a^2} \sin \alpha$$

Cette intensité est exprimée en gauss lorsque  $i$  est donnée en ampères,  $l$  et  $a$  en centimètres. Le champ total réellement produit est la résultante des champs partiels dus aux divers éléments du circuit.

Un cas particulier, pratiquement intéressant, est celui du champ produit par un courant circulaire (fig. 19) ; les lignes de force forment une gerbe qui passe à travers le circuit, elles sont très serrées dans son plan mais s'épanouissent largement et se ferment à l'extérieur. Au centre d'un circuit de rayon  $r$ , le champ a pour valeur :

$$H = \frac{0,2 \pi i}{r}$$

La loi élémentaire du champ créé par un courant circulaire permet de passer à l'étude du solénoïde formant l'enroulement électrique de l'électro-aimant ; on peut, en effet, considérer le solénoïde, ou enroulement d'un fil conducteur sur une bobine plus ou moins longue, comme une sommation de courants circulaires élémentaires (fig. 20).

L'étude du champ magnétique engendré par un solénoïde montre que les lignes de force magnétique sont parallèles et très denses à l'intérieur de l'hélice et qu'elles prennent à l'extérieur de celle-ci la forme de courbes régulières, dont la densité diminue au fur et à mesure qu'on les considère plus loin de l'axe du solénoïde. La topographie de ce champ a donc exactement le même aspect que celle d'un champ créé par un aimant rectiligne suffisamment long. Le solénoïde se comportera donc comme un aimant, il possédera un pôle nord et un pôle sud et les mêmes lois d'attraction ou de répulsion par un deuxième solénoïde, ou par un aimant, lui sont applicables.

Le sens de circulation des lignes de force est celui dans lequel s'enfonce un tire-bouchon lorsqu'on le fait tourner dans le sens de circulation du courant.

L'intensité du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde est :

$$H = \frac{0,4 \pi n i}{l}$$

$n$  étant le nombre de spires de l'hélice,  $l$  sa longueur mesurée en centimètres et  $i$  l'intensité du courant en ampères ; le produit  $n i$  est souvent nommé le nombre d'*ampère-tours* du solénoïde.

### L'électro-aimant élémentaire

Le solénoïde, tel qu'il vient d'être étudié, crée un champ magnétique dont l'intensité, relativement faible, ne permet guère d'utilisations pratiques. Pour obtenir un champ magnétique plus intense, on introduira dans le solénoïde un noyau de fer doux, lequel est transformé par induction en un fort aimant. Il est facile de vérifier que le champ créé par cet électro-aimant est devenu beaucoup plus intense et que l'on serait obligé d'élever très fortement l'intensité du courant d'excitation pour obtenir du même solénoïde sans fer, la même intensité de champ.

L'induction dans le barreau est donnée par la relation :

$$B = \mu H$$

et, en y remplaçant  $H$  par sa valeur :

$$B = \frac{0,4 \pi n i}{l} \mu$$

Cet électro-aimant rectiligne est toutefois malaisément utilisable dans la pratique, car le champ extérieur est, comme le montre l'étude par le spectre, très dispersé ; aussi pour les applications techniques, préfère-t-on employer un solénoïde annulaire ou de forme similaire.

Si le solénoïde, au lieu d'être rectiligne, est enroulé régulièrement sur un anneau ou tore, l'intensité du champ à l'intérieur du solénoïde sera, comme pour le solénoïde rectiligne :

$$H = \frac{0,4 \pi n i}{l}$$

le flux correspondant, pour une section droite de l'anneau dont la surface est  $s$ , sera :

$$\Phi = s H = \frac{0,4 \pi n i s}{l}$$

Si l'on introduit un noyau de fer dans l'anneau, le flux augmente et devient, si  $\mu$  est la perméabilité du matériel :

$$\Phi = \frac{0,4 \pi n i s \mu}{l}$$

que l'on peut aussi écrire :

$$\Phi = \frac{0,4 \pi n i}{\frac{l}{\mu s}}$$



si l'on pose

$$\frac{l}{\mu s} = \mathcal{R}$$

et

$$0,4 \pi n i = \mathcal{E}$$

il vient

$$\Phi = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{R}}$$

Une comparaison s'impose immédiatement avec la loi d'Ohm

$$I = \frac{E}{R}$$

dans laquelle E est la force électromotrice d'un circuit électrique et R sa résistance ohmique. On s'est fondé sur cette analogie pour faire un rapprochement commode entre les lois qui régissent l'établissement d'un courant électrique dans un circuit et celles qui se rapportent au circuit magnétique.

Cette manière de considérer les choses permet les définitions suivantes :

- a) Le tore ou anneau de fer, et par extension toutes les parties subissant l'action magnétisante du solénoïde reçoivent le nom de *circuit magnétique* ; on considère que ce circuit conduit le flux magnétique de la même manière qu'un circuit électrique conduit le courant électrique.
- b) Le solénoïde joue le rôle du générateur qui entretient le flux et la quantité :

$$\mathcal{E} = 0,4 \pi n i$$

est l'analogue de la force électromotrice de ce générateur, on l'appelle la *force magnéto-motrice* du solénoïde ; le produit  $n i$  en est comme cela a été dit au paragraphe « champ magnétique produit par un courant électrique », le nombre d'ampère-tours.

De même la quantité :

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu s}$$

est l'analogue de la résistance électrique, on lui donne le nom de résistance magnétique ou *réluctance*.

- c) On comparera de même la perméabilité  $\mu$  du matériel formant le circuit magnétique avec la conductibilité des conducteurs du circuit électrique, en se rappelant toutefois que le coefficient  $\mu$  n'est pas une constante pour un matériel donné, mais qu'il dépend de la valeur de l'induction B.

L'analogie entre le circuit magnétique et le circuit électrique permet donc, non seulement d'appliquer au premier une loi correspondante à la loi d'Ohm, mais aussi des lois correspondantes à celles de Kirchoff, régissant les courants dérivés.

Un circuit magnétique annulaire, homogène, de section constante est dit circuit parfait, car le flux magnétique y reste entièrement confiné ; aucune partie ne s'en échappe et un champ extérieur n'apparaît pas.

Un pareil circuit est toutefois irréalisable dans la pratique et pour faire passer un flux déterminé  $\Phi$  dans un circuit magnétique quelconque, la bobine magnétisante doit produire un flux

$$\Phi' > \Phi$$

Ce qui vient d'être dit pour le champ magnétique et l'aimantation trouve son application dans la construction et le calcul des électro-aimants qui seront traités dans le chapitre II.

### Déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique (Fig. 21)

Si un conducteur placé dans un champ magnétique est parcouru par un courant, ce conducteur a tendance à se déplacer, puisque le champ créé par le courant produit une réaction sur le champ initial ; ce déplacement se fait perpendiculairement aux lignes de force du champ initial. Pour trouver la

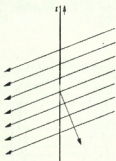


Fig. 21. Déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique.

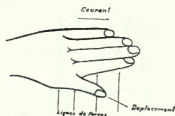


Fig. 22. La direction du déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique.

direction de ce déplacement, nous pouvons employer la règle suivante : (fig. 22). Si les lignes de force entrent dans la paume de la main gauche et si les doigts montrent la direction du courant, le pouce donne la direction du déplacement.

## Instruments de mesure

Beaucoup d'instruments de mesure sont basés sur l'effet magnétique des courants électriques.

- a) *Galvanoscope* (fig. 23). Le galvanoscope possède une aiguille magnétique entourée d'un *solénoïde*. Cette aiguille magnétique s'oriente suivant la résultante du champ terrestre et du champ produit par le solénoïde. Avant la mesure, le solénoïde doit être orienté dans la direction de l'aiguille magnétique. L'aiguille se déplace devant un cadran sur lequel on peut lire l'intensité du courant qui parcourt le solénoïde.

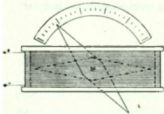


Fig. 23. Le galvanoscope.

- b) *Instruments à armature en fer doux* (fig. 24). Dans ces instruments, une armature en fer doux se déplace dans un champ magnétique proportionnellement au courant qui crée ce champ. Le mouvement de cette armature est utilisé pour mouvoir une aiguille sur un cadran.

au courant qui crée ce champ. Le mouvement de cette armature est utilisé pour mouvoir une aiguille sur un cadran.

- c) *Instruments à cadre mobile* (fig. 25). Ces instruments se composent d'un aimant permanent avec les pôles N et S, d'une pièce en fer doux A et d'un cadre mobile B portant une aiguille C qui se déplace devant un cadran D. Le cadre est ramené à la position zéro par

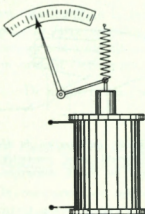


Fig. 24. Principe de l'instrument de mesure à armature en fer doux.

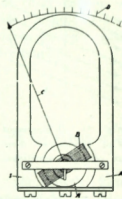


Fig. 25. Principe de l'instrument de mesure à cadre mobile.

deux ressorts en forme de spirale qui servent également de conducteurs pour amener le courant à mesurer dans la bobine. Ce courant crée un champ magnétique qui réagit sur celui de l'aimant permanent, la bobine s'oriente dans une position d'équilibre qui dépend de l'intensité du courant qui parcourt le cadre et de la réaction des ressorts ; le cadran est divisé en ampères ou en volts. Pour des mesures de faibles intensités, l'aiguille est remplacée par un petit miroir qui réfléchit un rayon lumineux et le projette sur une échelle suffisamment éloignée. De cette manière, un très petit déplacement du cadre est rendu visible. Cet appareil s'appelle *galvanomètre à miroir*. Ces instruments de mesure sont donc tous basés sur des effets magnétiques du courant. La différence entre un voltmètre et un ampèremètre ne réside que dans leurs résistances intérieures ; un ampèremètre a toujours une très faible résistance intérieure tandis qu'un voltmètre doit, au contraire, avoir une grande résistance intérieure. Il existe des instruments, appelés *wattmètres*, qui possèdent deux cadres pour mesurer la puissance. Le cadre mesurant l'intensité est fixe, tandis que celui qui mesure la tension est mobile dans l'intérieur du premier.

### Induction

Nous venons de voir qu'un courant peut produire un champ magnétique. Inversement, un champ magnétique est capable de produire un courant dans un conducteur par l'effet du déplacement relatif de celui-ci dans le champ.

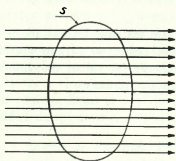


Fig. 26. L'induction d'un courant dans un conducteur.

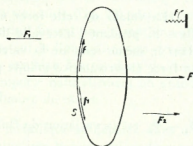


Fig. 27. Le sens du courant induit.

*Production d'un courant induit dans un conducteur.* Lorsque le flux qui traverse un circuit fermé subit des variations, ce circuit est parcouru par un courant pendant toute la durée des variations.



Considérons une spire formée par un fil conducteur S placé dans un champ magnétique et qui est traversée par un flux  $\Phi$  (fig. 26) ; si ce flux subit des variations, c'est-à-dire, qu'il augmente ou diminue, on constate qu'un courant circule dans la spire. Ce courant porte le nom de *courant induit*.

Le sens du courant induit est tel qu'il engendre des lignes de force qui tendent à s'opposer aux variations du flux. Soit une spire S, formée par un fil conducteur, traversée par un flux magnétique dont le sens est F (fig. 27), supposons que le flux augmente, c'est-à-dire que le nombre de lignes de force qui traversent la spire augmente, un courant induit va parcourir cette spire ; son sens sera tel qu'il donnera naissance à des lignes de force dans le sens  $E_1$ , qui s'opposent à l'augmentation du flux. Il suffit d'appliquer la règle du tire-bouchon pour déterminer que le sens du courant sera celui dans lequel il doit circuler pour donner aux lignes de forces la direction  $F_1$ .

Si le flux diminue, le courant induit produira des lignes de force dans la direction  $F_2$ , c'est-à-dire dans la direction F du champ initial. La direction du courant sera alors  $f_1$ .

*Loi de Lenz.* La règle suivante, dite *loi de Lenz*, permet de déterminer le sens du courant induit : *Lorsqu'un courant induit prend naissance, il a toujours un sens tel qu'il tend à s'opposer à la cause qui le produit.*

*Force électromotrice induite.* La valeur de la force électromotrice induite dépend de la variation du nombre des lignes de force par unité de temps. Pour la variation d'une ligne de force par seconde, la force électromotrice induite est :

$$E = 10^{-8} \text{ V}$$

La valeur de cette force électromotrice varie pendant les variations du flux. Si pendant l'intervalle de temps  $t$  le flux passe, en variant toujours dans le même sens, de la valeur  $\Phi_1$  à la valeur  $\Phi_2$ , la valeur moyenne de la force électromotrice induite pendant le temps  $t$  secondes est :

$$E_m = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{t \cdot 10^8}$$

$\Phi_1 - \Phi_2$  est la variation du flux pendant le temps  $t$ .

*Intensité du courant induit.* Le courant induit est :

$$I = \frac{E}{R}$$

En remplaçant E par sa valeur, nous avons :

$$I_m = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R \cdot t \cdot 10^8}$$

**Valeurs de  $E$  et de  $I$  pour plusieurs spires.** Si au lieu d'avoir une seule spire, nous avons une bobine placée dans un champ magnétique, les deux formules ci-dessus deviennent

$$E_m = n \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{t \cdot 10^8}$$

$$I_m = n \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{Rt \cdot 10^8}$$

$n$  étant le nombre de spires de la bobine.

La variation du flux peut être obtenue en variant le champ initial ou en modifiant le nombre de lignes de force qui traversent la spire, en déplaçant cette dernière.

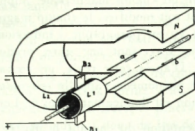


Fig. 28. Principe de la dynamo.

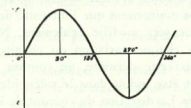


Fig. 29. La variation de la force électromotrice induite en fonction de la position de la spire mobile.

Dans la machine à courant continu appelée *dynamo*, ce second genre de variation est appliqué. Le principe de cette machine est donné par la fig. 28. La force électromotrice induite  $a-b$  est variable puisque le nombre des lignes de force coupées varie avec la position de la spire (ou de la bobine) ; la variation de sa valeur est représentée par une sinusoïde (fig. 29). Au moyen du *collecteur*  $L_1 L_2$  et des *balais*  $B_1 B_2$ , le courant fourni par la machine est redressé. Les balais sont placés sur le collecteur sur la ligne, dite *zone neutre*, où la force électromotrice change de sens. La machine fournit donc du courant continu. Dans la pratique, la machine comporte naturellement un grand nombre de spires et le collecteur un certain nombre de lames.

**Courants de Foucault.** Lorsqu'une masse métallique se déplace dans un champ magnétique, elle devient le siège de courants induits qui se ferment sur eux-mêmes et auxquels on a donné le nom de courants de Foucault.

Ces courants, dont il n'est pas possible de connaître la forme, se développent dans des plans perpendiculaires à la direction du champ et sont soumis à la loi de Lenz ; ils tendent à s'opposer au déplacement qui les produit.

Pour entretenir le mouvement de la masse, il faut dépenser une énergie et celle-ci se transforme en chaleur dans la masse conductrice. Nous rencon-

trons les courants de Foucault dans les noyaux de fer des machines électriques. Pour éviter les pertes d'énergie produites par ces courants, il faut feuilletter ces noyaux en tôles très minces, séparées les unes des autres par des isolants (vernis ou papier), de telle façon que le plan de ces tôles soit parallèle à la direction du champ.

Les courants de Foucault sont utilisés dans un certain nombre d'appareils de mesure pour amortir les oscillations de l'aiguille et dans des moteurs de très faible puissance tels que nous les rencontrons dans les mécanismes de remontage des horloges électriques.

*Self-induction.* Représentons-nous un solénoïde parcouru par un courant. Ce dernier produit, comme nous l'avons vu, un champ magnétique. Supposons maintenant que l'intensité de ce courant soit modifiée, le champ magnétique sera modifié également. Nous avons vu au paragraphe « induction » que chaque variation du champ magnétique traversant une spire, produit, dans cette dernière, un courant électrique. D'après cette règle, un courant doit être induit dans le solénoïde même. Ce phénomène s'appelle *self-induction*. La direction du courant de self-induction est donnée par la loi de Lenz.

a) A la fermeture ou pendant l'augmentation du courant primaire, le courant de self-induction circule dans le sens contraire au courant primaire. Ce dernier n'atteindra donc pas immédiatement sa valeur maximum, mais seulement après un certain temps.

b) Pendant la diminution ou en interrompant le courant primaire, le courant de self-induction circule dans la même direction que le courant primaire. Celui-ci ne prend donc pas, en interrompant le circuit, immédiatement la valeur 0, ce qui se manifeste souvent par une étincelle à l'endroit de la rupture. Ce phénomène, très important pour la construction des contacts des horloges électriques, sera étudié plus en détail au début du chapitre III.

## Courant alternatif

### Courant alternatif simple

Nous avons vu le principe de la machine à courant continu fig. 28. Le courant induit dans cette machine a une forme sinusoïdale (fig. 29), et est redressé par le collecteur. Si nous remplaçons le collecteur par des bagues, nous obtenons aux bornes de la machine un courant alternatif. La caractéristique de ce courant est le changement périodique de son sens.

Nous appelons *période* l'espace qui sépare deux points identiques de la courbe représentant la tension ou l'intensité (fig. 30). Une demi-période

s'appelle *alternance*. Le nombre de périodes en 1 seconde se nomme la *fréquence*. L'unité de fréquence est le *Cycle par seconde* ou *Hertz* (1000 Cycles = 1 kilocycle).

La fréquence d'une machine ou d'un générateur de courant alternatif se calcule par la formule :

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

dans laquelle  $n$  représente le nombre de tours de la machine par minute,  $p$  le nombre de paires de ses pôles.

Un courant alternatif industriel est caractérisé par sa *fréquence*, son nombre de *phases* et son *système de distribution*.

La fig. 31 représente un courant alternatif monophasé. L'intensité  $I$  et la tension  $U$  ont la forme d'une sinusoïde. Pour le courant industriel, la fréquence est, en Europe, généralement de 50 Cycles par seconde. La durée d'une période est donc de  $1/50$  de seconde et celle de l'alternance de  $1/100$  de seconde.

Nous pouvons considérer les valeurs suivantes pour l'intensité du courant alternatif.

1. Intensité instantanée, variable avec le temps, désignée par  $i$ .
2. Intensité maximale, indépendante du temps et que nous désignons par  $I_{\max}$ .
3. Intensité moyenne, indépendante du temps et que nous désignons par  $I_{\text{moy}}$ .
4. Intensité efficace, indépendante du temps et que nous désignons par  $I_{\text{eff}}$ .

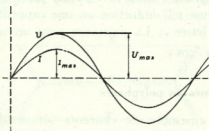


Fig. 31. Courant monophasé.

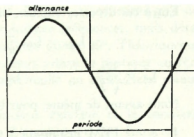


Fig. 30. Le courant alternatif monophasé.

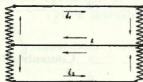


Fig. 32. Distribution en courant diphasé.

Entre ces diverses valeurs, on a les relations :

$$I_{\text{moy}} = I_{\text{max}} \frac{2}{\pi} \quad I_{\text{max}} = I_{\text{moy}} \frac{\pi}{2}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad I_{\text{max}} = I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2} \quad I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{moy}} \cdot \pi}{2\sqrt{2}}$$

Nous avons, de même, pour les forces électro-motrices :

1.  $e$  FEM instantanée, variable avec le temps.
2.  $E_{\text{max}}$  FEM maximale, indépendante du temps.
3.  $E_{\text{moy}}$  FEM moyenne, indépendante du temps.
4.  $E_{\text{eff}}$  FEM efficace, indépendante du temps.

Entre ces diverses valeurs, on a les relations :

$$E_{\text{moy}} = E_{\text{max}} \frac{2}{\pi} \quad E_{\text{max}} = E_{\text{moy}} \frac{\pi}{2}$$

$$E_{\text{eff}} = \frac{E_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad E_{\text{max}} = E_{\text{eff}} \sqrt{2} \quad E_{\text{eff}} = \frac{E_{\text{moy}} \pi}{2\sqrt{2}}$$

Il en sera de même pour les valeurs de la tension  $u$ ,  $U_{\text{max}}$ ,  $U_{\text{moy}}$ ,  $U_{\text{eff}}$ .

On démontre que l'intensité efficace d'un courant alternatif est égale à l'intensité du courant continu qui produirait, dans le même temps et dans la même résistance, la même quantité de chaleur.

Les appareils de mesure ampèremètres et voltmètres donnent les valeurs efficaces de ces grandeurs.

La puissance du courant alternatif est, comme pour le courant continu :

$$N = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Cette formule n'est valable que pour un circuit qui ne contient ni self-induction, ni capacité.

Nous avons vu que la self-induction produit un décalage entre le moment où l'intensité atteint son maximum et celui où la tension atteint le sien. On appelle *déphasage* ce phénomène, qui se produit dans tout circuit parcouru par un courant alternatif et comprenant une self-induction ou une capacité. L'angle de déphasage est désigné par la lettre  $\varphi$ . La puissance pour un tel circuit devient alors :

$$N = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi$$

### Courants alternatifs combinés ou polyphasés

On appelle courant polyphasé un ensemble de courants alternatifs d'égales fréquences, présentant entre eux une différence de phase. Pratiquement, on n'utilise que des courants diphasés et des courants triphasés.



**Courant diphasé.** Un courant alternatif diphasé est constitué par deux courants indépendants l'un de l'autre avec mêmes fréquences, mais décalés l'un par rapport à l'autre d'un quart de période ou de  $90^\circ$ . Théoriquement, un tel système requiert 2 circuits à 2 conducteurs ; dans la pratique on réduit ces 4 conducteurs à 3 en donnant aux deux circuits un conducteur commun (fig. 32).

Si l'intensité efficace entre un conducteur extrême et le conducteur commun est  $I$ , l'intensité efficace entre les 2 conducteurs extrêmes est :

$$I_1 = I\sqrt{2}$$

De même :

$$U_1 = U\sqrt{2}$$

**Courant triphasé.** Un courant alternatif triphasé est produit par un générateur possédant 3 enroulements indépendants et décalés de  $120^\circ$  (fig. 33). L'intensité dans chaque circuit est :

$$i_1 = I \sin \alpha \quad i_2 = I \sin (\alpha + 120^\circ) \quad i_3 = I \sin (\alpha + 240^\circ)$$

Mais nous savons que la somme des intensités est :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

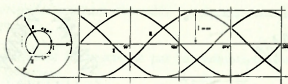


Fig. 33. Courant triphasé.

Cette propriété du courant triphasé permet de simplifier le réseau de distribution. Théoriquement, cette distribution devrait se faire par 6 conducteurs mais, puisque la somme des intensités des 3 phases est à tout moment égale à 0, nous pouvons combiner les 3 circuits et ne distribuer un courant triphasé que par 3 conducteurs (fig. 34).

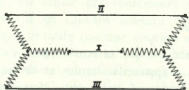


Fig. 34. Distribution triphasée.

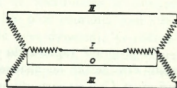


Fig. 35. Distribution triphasée avec fil neutre.

L'installation d'un quatrième conducteur, dit fil neutre, permet de brancher certains appareils, tels que des lampes entre une phase et le neutre et d'autres, tels que des moteurs, entre les trois phases (fig. 35).

Le système de courant triphasé permet de fournir la même énergie avec 3 ou éventuellement 4 conducteurs au lieu de 6. Ce système est, déjà à ce point de vue là, très économique.

Entre un quelconque des 3 conducteurs et le neutre, nous avons la différence de potentiel efficace  $U$ . Entre 2 conducteurs, nous avons alors :

$$U_1 = U \cdot \sqrt{3}$$

Le couplage des 3 enroulements du générateur (également pour les transformateurs et les moteurs), peut s'effectuer selon deux manières (fig. 36 et 37). La 1re figure montre le *couplage en étoile* avec un fil commun ou neutre. La 2e figure montre le *couplage en triangle*.

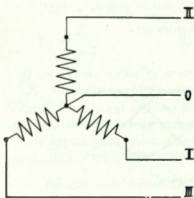


Fig. 36. Couplage en étoile avec fil neutre.

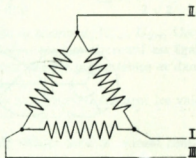


Fig. 37. Couplage en triangle.

Le système du courant triphasé permet, en outre, de produire un *champ magnétique tournant*, ce qui facilite la construction des moteurs pour ce genre de courant.

### Transformateurs

La propriété capitale du courant alternatif est que sa tension peut facilement être élevée ou abaissée par l'emploi d'appareils simples et de haut rendement. Ceci est surtout important pour le transport de l'énergie électrique. La perte de tension dans un conducteur s'exprime par :

$$U = I \cdot R_l$$

Dans cette formule  $R_l$  est la résistance du conducteur. Nous voyons tout de suite que cette perte de tension est petite si l'intensité est petite. Pour transporter une certaine énergie électrique, il est donc avantageux de choisir

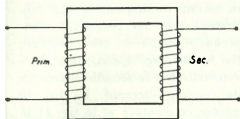


Fig. 38. Le principe du transformateur.

une tension élevée et une faible intensité. Le transformateur se compose d'un noyau de fer (tôles de fer pour éviter les courants de Foucault), d'un enroulement primaire et d'un enroulement secondaire (fig. 38). Le courant alternatif passant dans l'enroulement primaire produit un champ magnétique alternatif qui induit dans l'enroulement secondaire un courant alternatif de même fréquence. La tension des

deux courants alternatifs est directement proportionnelle aux nombres de tours des enroulements. Le rendement d'un transformateur peut atteindre 99 %.

### Moteurs

La construction des moteurs alimentés par le courant alternatif est en général très simple.

*Le moteur synchrone* se caractérise par son nombre de tours par minute dépendant de la fréquence.

*Le moteur asynchrone.* Le nombre de tours par minute de ce moteur dépend de la charge qui lui est imposée ; à vide, ce nombre atteint presque celui d'un moteur synchrone ; sous charge, il diminue.

### Redresseurs

Pour l'alimentation de divers appareils à courant continu (téléphones, horloges électriques, accumulateurs, électrochimie, etc.) par du courant alternatif, on utilise des redresseurs qui permettent de transformer le courant alternatif en courant continu. Les redresseurs les plus courants sont : les groupes rotatifs (moteur courant alternatif couplé avec dynamo), les redresseurs à lame vibrante, les redresseurs à vapeur de mercure, les redresseurs secs oxy-métal ou au sélénium, les redresseurs électroniques qui seront traités au paragraphe décrivant les tubes électroniques.

Dans l'horlogerie électrique, on emploie fréquemment les redresseurs oxy-métal, au sujet desquels nous donnons quelques détails.

On a utilisé la propriété que possèdent divers oxydes métalliques de ne laisser passer le courant que dans un seul sens pour construire des redresseurs. En intercalant dans un circuit de courant alternatif une rondelle de cuivre oxydée sur l'une de ses faces, le courant passera dans le sens cuivre-oxyde et sera arrêté dans l'autre. Nous obtenons un courant continu ondulé (fig. 39).

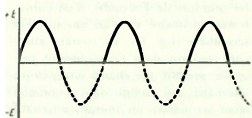


Fig. 39. Suppression d'une des alternances par un redresseur.

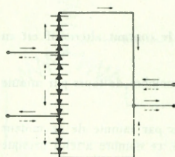


Fig. 40. Le schéma de principe du redresseur à oxyde de cuivre ou au sélénium.

Pratiquement un redresseur comprend plusieurs de ces rondelles ; par un montage spécial, nous pouvons redresser la seconde alternance du courant alternatif. La fig. 40 montre ce montage et la fig. 41 le courant obtenu. Les bornes A et B sont reliées à la source de courant alternatif, le courant circule pour une alternance suivant les flèches pleines et pour l'autre, suivant les flèches pointillées. Le courant continu est recueilli aux bornes C et D dont la première est toujours positive et la seconde toujours négative.

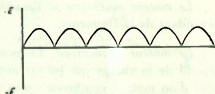


Fig. 41. Courant continu ondulé obtenu par le redressement de la seconde alternance.

## Les tubes électroniques

Les corps bons conducteurs de l'électricité, lorsqu'ils sont portés à une température suffisante, émettent des particules d'électricité de signe négatif appelées *électrons*.

Le tube électronique le plus simple possède 2 électrodes enfermées dans un récipient dans lequel on a fait le vide (fig. 42). Une électrode appelée *cathode* est constituée par un filament susceptible d'être chauffé. L'autre électrode, *l'anode*, est une plaque métallique. Appliquons aux bornes du fila-

ment une source de courant appropriée (batterie), celui-ci est porté à une haute température et il se forme un nuage d'électrons autour du filament. Intercalons maintenant une autre source de courant continu entre l'anode et la cathode, le pôle positif relié à l'anode, le pôle négatif à la cathode. Les électrons se trouvant autour de la cathode prennent une charge négative et iront se déposer avec une grande vitesse sur l'anode. Un milliampèremètre intercalé dans le circuit montre qu'il y a passage de courant (fig. 43). Nous appelons ce courant qui passe à travers ce tube *courant anodique*. Il augmente en appliquant une tension plus élevée entre anode et cathode.

*Le tube électronique comme redresseur.* Si nous renversons la polarité du montage décrit précédemment, c'est-à-dire si nous mettons le pôle négatif à la cathode, nous constatons que le courant anodique ne circule pas. Le tube fonctionne donc comme une valve. Si nous appliquons aux deux électrodes un courant alternatif au lieu d'un courant continu, une seule des deux alternances passera ; ce dispositif et le courant obtenu sont représentés par la fig. 44.

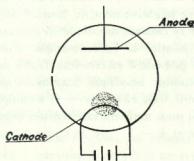


Fig. 42. Le tube électronique élémentaire à deux électrodes (diode).

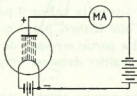


Fig. 43. Le courant anodique dans un tube électronique à deux électrodes.

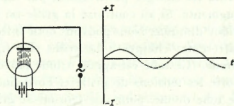


Fig. 44. Le tube électronique utilisé comme redresseur.

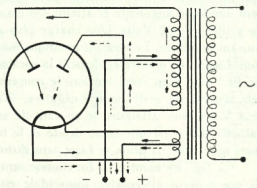


Fig. 45. Le tube électronique utilisé comme redresseur.



Ce tube électronique est employé comme redresseur, mais pour cette fonction nous utilisons surtout le tube électronique à 2 anodes. La fig. 45 montre le montage de ce tube et le sens du courant. La fig. 46 représente la forme du courant redressé. Le schéma de la fig. 45 montre un tube dont le filament est chauffé par du courant alternatif.

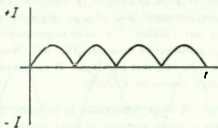


Fig. 46. Oscillogramme du courant redressé.

L'enroulement secondaire du transformateur est double, l'une des moitiés est appliquée aux bornes du filament, l'autre aux deux anodes ; une prise médiane de chaque demi-enroulement livre le courant continu.

**Le tube électronique comme amplificateur.** Ce tube possède, outre l'anode et la cathode, une 3<sup>e</sup> électrode, la grille (fig. 47). Si nous appliquons une tension entre la grille et la cathode nous accélérons le passage des électrons ; si la grille est chargée positivement par rapport à la cathode, le courant anodique augmente. Si au contraire la grille est chargée négativement, le courant anodique diminue. Nous pouvons donc influencer ce courant anodique en donnant différentes charges à la grille. La fig. 48 montre la *caractéristique* d'une triode. (Ce tube est appelé triode parce qu'il possède 3 électrodes). L'abscisse porte les tensions de grille et l'ordonnée le courant anodique. Supposons que ce tube donne, pour une tension de grille de 0 Volt et une tension anodique de 80 Volts, un courant anodique de 4 mA. Si nous donnons une tension négative à la grille, le courant anodique diminue et à  $-5$  Volts le courant anodique atteint la valeur 0.

Si, au contraire, nous appliquons une charge positive à la grille, le courant anodique augmente et atteint son maximum avec 6 mA pour une tension de grille de  $+2$  Volts. Une charge plus grande de la grille n'accroît pas le courant anodique. Le courant anodique maximum s'appelle *courant de saturation*. La fig. 48 montre également la caractéristique pour une tension anodique de 40 Volts. Pour cette tension, le courant anodique atteint la valeur 0 pour une tension de grille moins négative, mais il faut une tension positive de  $+4$  Volts pour atteindre le courant de saturation. La partie médiane de la caractéristique est une ligne droite et le tube doit travailler dans ces limites pour que l'amplification se fasse sans *distorsion*.

La fig. 49 montre le fonctionnement de ce tube comme amplificateur. Si une tension alternative sinusoïdale est appliquée à la grille, le courant anodique sera également sinusoïdal et de même fréquence ; le degré d'amplification est déterminé par la *pente* de la caractéristique. Ce tube nous permet

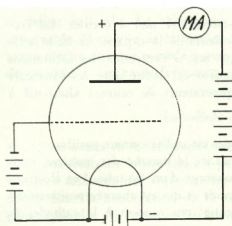


Fig. 47. Le tube électronique à trois électrodes (triode) utilisé comme amplificateur.

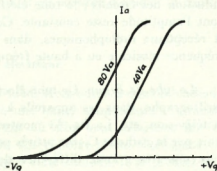


Fig. 48. La caractéristique d'un tube électronique à trois électrodes (triode).

d'amplifier n'importe quel courant alternatif, tant du point de vue de sa forme que de sa fréquence ; il travaille sans inertie et peut, par conséquent, amplifier de très hautes fréquences.

La triode telle que nous l'avons décrite est de moins en moins employée. Le nombre des électrodes a augmenté, nous parlons d'hexodes et d'octodes. La plupart des tubes sont chauffés actuellement d'une manière indirecte par du courant alternatif. Ce n'est plus le filament qui émet les électrons, mais une couche active appliquée sur un petit tube chauffé indirectement par le filament qui le traverse.

*Le tube électronique comme oscillateur.* Si entre la grille et l'anode d'un tube électronique, on place un système de deux circuits couplés (fig. 50), comportant des self-inductions et condensateurs, on constate que, dans certaines

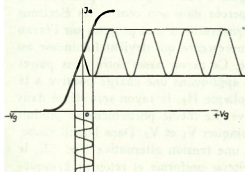


Fig. 49. La caractéristique d'un tube électronique.

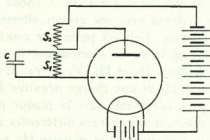


Fig. 50. Le tube électronique à trois électrodes (triode) utilisé dans un générateur d'oscillations.

conditions, l'ensemble tube électronique-circuits se met à osciller. La fréquence de l'oscillation est régie par les valeurs de la capacité et de la self-induction des circuits ; le tube électronique sert à l'entretien des oscillations dont l'amplitude reste constante. Ce dispositif est utilisé dans les émetteurs et récepteurs radiophoniques, dans les générateurs de courant alternatif à fréquence musicale ou à haute fréquence.

*Le tube de Braun.* Ce tube électronique est utilisé comme oscilloscope ou oscillographe, dans les appareils à déterminer la marche des montres, pour la télévision, etc. La fig. 51 montre le montage d'un tel tube. Les électrons émis par la cathode C sont attirés par l'anode A qui est chargée positivement avec une très grande différence de potentiel par rapport à la cathode, ils

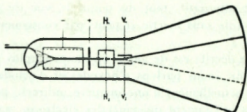


Fig. 51. Le tube de Braun utilisé comme oscillographe.

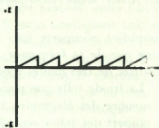


Fig. 52. La tension alternative en dents de scie utilisée pour la déviation horizontale du rayon cathodique.

prennent une grande vitesse et traversent le cylindre B, chargé négativement. Les électrons ayant aussi une charge négative s'en éloignent le plus possible et se réunissent sur l'axe. L'anode est percée dans son centre, les électrons qui arrivent avec une grande vitesse, la traversent et sont projetés sur l'écran E du tube. Celui-ci porte une couche fluorescente qui devient lumineuse au point où le rayon électronique la frappe. Ce rayon passe entre deux paires de plaques H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub>, V<sub>1</sub> et V<sub>2</sub>. Si nous appliquons une charge positive à la plaque H<sub>1</sub> et une charge négative à la plaque H<sub>2</sub>, le rayon sera dévié dans le plan horizontal vers la plaque positive. Le même phénomène se produit en donnant des charges différentes aux plaques V<sub>1</sub> et V<sub>2</sub>. Dans l'oscilloscope, nous appliquons aux plaques H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub> une tension alternative (fig. 52), le point lumineux parcourt l'écran à une vitesse uniforme et retourne brusquement au point 0. En appliquant aux plaques V<sub>1</sub> et V<sub>2</sub> la tension alternative que nous voulons étudier, le rayon électronique subit simultanément une

déviations horizontales. En choisissant une fréquence de déviation horizontale convenable, la courbe de la tension à étudier apparaît sur l'écran. Comme le rayon électronique ne possède aucune inertie, il est possible d'étudier la courbe de courants à très haute fréquence.

### La cellule photo-électrique

Nous avons vu le fonctionnement des tubes électroniques dont la cathode émet des électrons lorsqu'elle est portée à une haute température ; certaines matières émettent des électrons au moment où elles sont éclairées, on les utilise pour la constitution de la cathode des cellules photo-électriques ou photo-sensibles. Si un rayon lumineux frappe cette cathode, il se produit une émission d'électrons et l'établissement d'un courant anodique. Ce dernier est très faible et doit être amplifié. Les cellules photo-électriques sont souvent utilisées en horlogerie électrique ; elles permettent de produire des impulsions à secondes par exemple, en coupant un rayon lumineux par un pendule battant la seconde.

## CHAPITRE II

### L'ÉLECTRO-AIMANT

Les aiguilles, dont les cadrans des horloges électriques sont munis, sont entraînées par un dispositif mécanique, le plus souvent un train d'engrenages. Il faut donc prévoir, pour réaliser cet entraînement, un organe transformant d'une façon quelconque l'énergie électrique fournie à l'horloge, en énergie mécanique ; cet organe est le plus souvent un électro-aimant.

L'électro-aimant est un appareil qui permet de produire instantanément et à volonté des effets mécaniques lorsque son bobinage magnétisant est parcouru par un courant électrique. Sa caractéristique essentielle est donc d'être un aimant temporaire dont les pôles peuvent à volonté être présents, inversés ou absents.

Le problème général de la construction de l'électro-aimant consiste à déterminer les dimensions du bobinage magnétisant et du circuit magnétique de sorte à obtenir soit une force portante, soit un effort de traction ou de rotation aptes à produire l'effet mécanique cherché.

L'électro-aimant de l'horloge électrique devant s'adapter au genre d'effet mécanique qui lui est demandé, sa disposition revêt de multiples formes ; en principe toutefois, elle comporte (fig. 53) :

- a) une partie fixe : le bobinage magnétisant et la partie correspondante du circuit magnétique ;
- b) une partie mobile : l'armature, dont la fonction est de produire l'effet mécanique demandé.

Lorsque nous faisons passer un courant électrique dans l'enroulement magnétisant, nous constatons que l'armature mobile est attirée par les pièces polaires des noyaux ; elle se déplace et vient se plaquer énergiquement contre elles. On appelle force portante d'un électro-aimant, le poids maximum que son

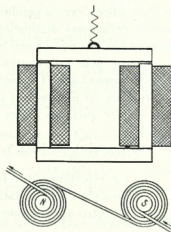


Fig. 53. L'électro-aimant théorique.



armature collée aux pièces polaires peut supporter à la limite d'arrachement, pour un courant d'intensité donnée.

La valeur de la force portante est donnée par la formule suivante, due à Maxwell :

$$P = \frac{B^2 s}{8 \pi} \quad (\text{en dynes})$$

$$P = \frac{B^2 s}{8 \pi \times 981} \quad (\text{en grammes poids})$$

$B$  = est l'induction,

$s$  = est la surface totale des pièces polaires.

### Le calcul d'un électro-aimant

En général le calcul d'un électro-aimant, dont les dimensions sont connues, consiste en la détermination de l'induction nécessaire pour obtenir une force portante fixée d'avance.

On mesure tout d'abord la longueur totale du circuit magnétique en additionnant les longueurs des pièces constitutives puis, en utilisant les formules indiquées ci-dessus, on détermine  $B$ .

De cette valeur, on calcule le nombre d'ampères tours puisque :

$$ni = \frac{lB}{0,4 \pi \mu}$$

Ce calcul est très théorique, car il suppose un circuit magnétique homogène, sans entrefer, c'est-à-dire avec l'armature collée contre les pièces polaires. Il serait certes plus utile de connaître la loi selon laquelle l'attraction de l'armature s'exerce pendant sa course; malheureusement, malgré les innombrables recherches auxquelles ce problème a donné lieu, une solution satisfaisante n'a pas encore été trouvée.

On ne peut que constater que la force exercée sur l'armature diminue très rapidement avec l'augmentation de l'entrefer.

Il nous est maintenant possible de faire usage des notions qui précèdent pour établir quelques règles pratiques qui faciliteront le projet d'un électro-aimant.

Comme règle de base, nous formulerons :

1. La réluctance du circuit magnétique total doit être aussi petite que possible ; on constate en effet par l'étude du spectre magnétique de l'électro-aimant considéré (fig. 54) :

- a) que les lignes de force tendent à se raccourcir comme si elles étaient tendues ;

- b) qu'elles tendent à s'écarter comme si elles se repoussaient ;
  - c) qu'elles cherchent à traverser le milieu le plus perméable.
2. Il faut éviter dans la construction du circuit magnétique fixe tout ce qui peut diminuer le flux magnétique, on évitera en particulier les variations brusques de section et les étranglements, on serrera à bloc les joints entre les différentes pièces. Afin de parer à la dispersion des lignes de force, on proscrira les arêtes vives et les pointes.
  3. Puisque la force d'attraction décroît très rapidement avec la distance, on a intérêt à réduire l'entrefer entre l'armature et les pièces polaires, quitte à augmenter le déplacement de l'armature par un artifice quelconque : combinaison de leviers, formes appropriées de l'armature et des pièces polaires, etc.

A titre d'exemple, nous donnons ci-dessous les résultats d'un essai d'attraction d'une armature dont la course est de 3 mm. :

entrefer :	3	mm.	attraction :	2	gr.
	2	»		3	»
	1,50	»		5	»
	1	»		15	»
	0,75	»		30	»
	0,50	»		50	»
	0,30	»		135	»
	0,15	»		350	»
	0	»		3600	»

Il faut se souvenir que l'armature se déplace toujours de façon que la réluctance du circuit magnétique soit minimale.

Dans certains cas, pour augmenter la force de traction il y a avantage à donner aux pièces polaires une forme qui favorise la concentration des lignes de force en certains points sans toutefois permettre leur dispersion.

*Le bobinage magnétisant.* Bien que les électro-aimants des horloges électriques soient en général alimentés par des impulsions de courant relativement brèves, il est prudent d'établir le bobinage de telle sorte qu'il ne s'échauffe pas en cas d'alimentation continue accidentelle ; une densité de courant de 4 à 5 A par mm<sup>2</sup> est admissible.

Le bobinage doit être calculé de telle sorte que le flux engendré soit plus grand que le flux calculé ; il faut en effet tenir compte des pertes produites par la dispersion inévitable des lignes de force.

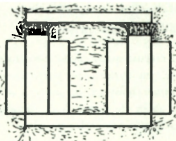


Fig. 54. Spectre magnétique extérieur d'un électro-aimant en fer à cheval.

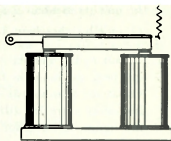


Fig. 55. Electro-aimant dont l'armature est pivotée à l'un de ses extrémités.

**Rendement.** Il est nécessaire de tenir compte de la limite de saturation magnétique pour le calcul des sections du circuit magnétique ; on se rappellera qu'avant la saturation, l'effort de traction varie approximativement avec le carré de l'intensité mais qu'après il n'est plus que proportionnel à l'intensité.

Le rendement d'un électro-aimant peut d'après Steinmetz se définir par l'une des relations suivantes :

$$\eta_1 = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max}}$$

ou

$$\eta_2 = \frac{\text{volt. amp. max.} - \text{volt. amp. min.}}{\text{volt. amp. max.}}$$

ou

$$\eta_3 = \frac{\text{inductance max.} - \text{inductance min.}}{\text{inductance max.}}$$

### Quelques électro-aimants utilisés en horlogerie électrique

Il nous est maintenant possible d'étudier quelques types d'électro-aimants utilisés dans la construction des horloges électriques et d'en déterminer les principales caractéristiques d'après les fonctions qu'ils doivent remplir.

Au début, le mouvement de l'horloge électrique comportait comme organe principal une roue à rochet dont l'encliquetage, doué d'un mouvement alternatif, était actionné par un électro-aimant. Cette disposition se retrouve du reste dans un grand nombre d'horloges individuelles, en particulier celles dites à piles sèches. L'électro-aimant est en général dans ces divers cas à armature plate ou à armature basculante.

L'électro à armature plate, représenté par la fig. 55, comporte deux bobines et un circuit magnétique formé par deux noyaux, la culasse et l'armature. Cette dernière, pivotée à l'une de ses extrémités, est maintenue à la position écartée par un contrepoids ou par un ressort antagoniste.

Les formules que nous avons développées précédemment montrent que les données nécessaires pour le calcul de cet électro-aimant sont les suivantes :

1. Force attractive au début de la course.
2. Force attractive à la fin de la course.
3. Longueur de la course.
4. Tension électrique disponible.

Ces formules montrent aussi que ces données doivent être complétées par le choix de certaines valeurs électriques ou de certaines dimensions, en particulier :

*a*) ou bien l'intensité électrique disponible ou bien les dimensions métriques du circuit magnétique (section  $s$  et longueur  $l$ ) ;

*b*) ou bien le nombre de tours des enroulements ou bien l'intensité du courant.

En général, on admet comme données pour *a* les dimensions métriques du circuit magnétique et pour *b* l'intensité du courant et on utilisera successivement les formules :

$$(1) \quad P = \frac{B^2 s}{8 \pi 981} \quad (\text{force portante en g.})$$

$$(2) \quad B = \sqrt{\frac{981 \cdot 8 \cdot \pi \cdot P}{s}} \quad (\text{induction magnétique})$$

$$(3) \quad ni = \frac{Bl}{0.4 \pi \mu} \quad (\text{nombre d'ampères-tours})$$

Les remarques d'ordre pratique suivantes s'imposent :

*a*) à fin de course, il n'est pas possible de faire adhérer complètement l'armature aux pièces polaires, sous peine de ne pouvoir la détacher lors de l'interruption du courant. Il est nécessaire de compter avec un certain magnétisme rémanent, ce qui oblige à conserver un minime entrefer ; la valeur de  $B$  devra par conséquent être fortement augmentée ;

*b*) la valeur de  $\mu$  devra être déterminée en tenant compte, non seulement du matériel employé, mais aussi de la valeur de  $B$  (voir à ce sujet les pages 41 et s.s. du chapitre premier).

L'électro-aimant à deux bobines avec armature plate pivotée à l'une de ses extrémités est très peu utilisé dans la construction des horloges électriques; par contre, certaines de ses modifications constructives, en particulier celles ne comportant qu'une seule bobine avec circuit magnétique fermé, se trouvent dans quelques horloges indépendantes (voir fig. 56 et dans les relais fig. 57).

On reproche à ces électro-aimants la course très faible de leur armature due à la nécessité de conserver pendant la position écartée un très petit entrefer entre elle et les pièces polaires.

Les modifications les plus intéressantes qui permettent d'obvier dans la mesure du possible à cette difficulté sont l'électro à armature basculante et celui à armature plongeante.

L'électro-aimant à armature basculante, tel qu'il est représenté par la fig. 58, est assez fréquemment utilisé, bien qu'il demande un usinage très précis des pièces polaires et de l'armature. L'angle de pivotement peut atteindre, lorsque ces dernières sont judicieusement disposées,  $70^{\circ}$  à  $75^{\circ}$ , ce qui permet, en utilisant des méthodes d'encliquetage appropriées, la construction de modèles intéressants d'horloges électriques.

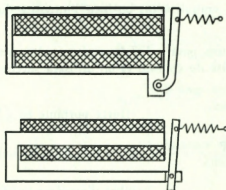


Fig. 56. Electro-aimants à circuit magnétique fermé.

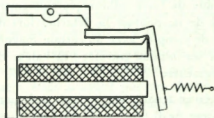


Fig. 57. Relais.

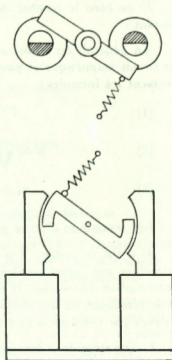


Fig. 58. Armatures basculantes.



L'armature plongeante, dont la fig. 59 représente une forme d'exécution, a été quelquefois utilisée pour le remontage du ressort ou du poids de certaines horloges, mais le fait qu'elle ne peut être ni pivotée, ni articulée, mais qu'elle doit être conduite d'une façon quelconque le long d'un chemin rectiligne, l'a fait peu à peu abandonner. Faisons toutefois une exception en faveur de l'électro-aimant d'impulsion de certaines horloges mères de construction française, dont l'armature, constituée par un aimant permanent arqué, pénètre librement dans l'espace cylindrique ménagé le long de l'axe de la bobine.

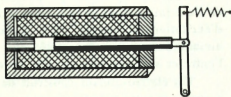


Fig. 59. Electro-aimant à armature plongeante.

Les électro-aimants que nous venons d'étudier peuvent aussi, dans certains cas, être alimentés par du courant alternatif, mais ceci requiert toutefois une méthode de calcul assez différente ainsi que certaines modifications constructives ; cette classe d'électro-aimants n'étant que peu utilisée en horlogerie électrique, nous ne nous y arrêtons pas.

Lorsque nous entreprendrons la description des horloges électriques, nous constaterons que les divers modèles d'électro-aimants que nous venons de décrire se trouvent le plus souvent dans le mécanisme du remontoir des horloges indépendantes, tandis qu'ils ont été peu à peu éliminés des mouvements des horloges réceptrices, à l'exception de quelques systèmes anglais ou américains. Cette évolution est due aux raisons suivantes :

- a) La course de l'armature est très petite et, par conséquent, le temps qu'elle met à parcourir ce chemin est très court ; il en résulte un déplacement brutal des aiguilles.
- b) Le retour de l'armature à sa position de repos est effectué par un ressort antagoniste ou par un contrepoids ; or un contrepoids amène souvent une complication constructive et le ressort antagoniste est un organe sensible aux variations de température et à la fatigue du métal.
- c) La force magnétique exercée par les pièces polaires sur l'armature varie pendant la durée de la course, faible au début, elle devient très grande à la fin, il en résulte un lancement brutal des aiguilles, ce qui est à éviter si la masse de ces dernières est quelque peu considérable.

Mettant à part l'électro-aimant à armature basculante, qui évite l'inconvénient cité sous lettre *a*, nous constatons que, malgré les efforts des construc-

teurs, un moyen mécanique simple de parer aux défauts que nous avons constatés n'a pas été trouvé jusqu'à maintenant. Il a fallu se convaincre que seule une modification de la construction électrique de l'électro-aimant amènerait au but cherché.

Cette modification, qui peut être réalisée de diverses manières, consiste en l'utilisation d'un électro-aimant dans le bobinage duquel le sens du courant d'excitation est inversé après chaque émission et dont l'armature reçoit une aimantation permanente telle que sa portion qui limite l'un des côtés de l'entrefer soit toujours un pôle nord ou toujours un pôle sud.

Un électro-aimant construit de cette façon est dit à *armature polarisée* ; on obtient cette polarisation soit en faisant de cette armature elle-même un aimant permanent, soit en la polarisant par induction au moyen d'un aimant permanent fixe.

L'expérience a prouvé, comme nous le montrerons plus tard, que seuls les électro-aimants de ce type, quelles que soient du reste la forme et la fonction mécanique de l'armature, remplissent les conditions suivantes :

- a) Longue course et ralentissement progressif et automatique de l'armature.
- b) Intensité de courant d'excitation beaucoup plus faible que celle requise par un électro non polarisé.
- c) Suppression des ressorts antagonistes ou des contrepoids ; les impulsions de courant de sens alternativement inversé produisent à elles seules, les deux mouvements aller et retour de l'armature lorsque celle-ci est oscillante et le mouvement de rotation lorsqu'elle est tournante.
- d) Impossibilité d'une avance permanente produite par des impulsions anormales résultant de courants parasites (perturbations orageuses, courants vagabonds, etc.). Ces impulsions pourront bien produire un mouvement prématuré de l'armature, mais jamais plusieurs consécutivement.

Pour illustrer ce qui précède, nous donnons ci-dessous quelques exemples d'électro-aimants à armature polarisée, tels qu'ils sont utilisés pour la construction des horloges électriques.

1. L'armature (fig. 60) est constituée par un aimant permanent ; lors de l'émission de l'impulsion I (+.—) un pôle S est créé à la pièce polaire gauche et un pôle N à la pièce droite, l'armature bascule selon I. Lors de l'émission II de sens inversé (—.+), les phénomènes opposés se produisent.

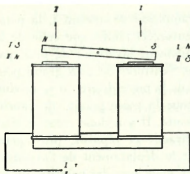


Fig. 60. Electro-aimant dont l'armature est constituée par un aimant permanent.

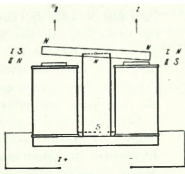


Fig. 61. Electro-aimant dont l'armature est polarisée par un aimant permanent.

2. L'armature plate est polarisée par un aimant permanent (fig. 61), ses deux extrémités sont polarisées de même sens, N par exemple (aimant fourchu) ; lors de l'émission de l'impulsion I (+.—) la polarité de la pièce polaire gauche est renforcée, tandis que celle de la pièce droite est annulée ou même momentanément inversée ; l'armature bascule, attirée par la pièce polaire gauche et repoussée par celle de droite ; lors de l'émission II de sens contraire, les phénomènes opposés se produisent. Cette disposition a été utilisée pour la première fois par Stöhrer, en 1849.
3. Afin d'utiliser encore mieux les possibilités qu'offre l'électro-aimant polarisé, on construit l'armature de façon à la faire tourner par saccades toujours dans le même sens ; on peut ainsi lui accoupler directement, sans l'intermédiaire d'un encliquetage, le mécanisme commandant les aiguilles. La fig. 62 montre une disposition de ce genre ; l'armature rotative comporte un certain nombre de dents taillées en spirale ; elle est polarisée par un aimant permanent de telle sorte que la polarité des dents soit S par exemple, tandis que celle des pièces polaires

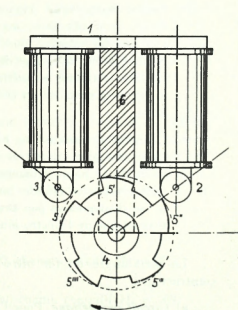


Fig. 62. Electro-aimant à armature rotative polarisée.

fixes soit N. Lors de l'émission de l'impulsion de courant I, la polarité de la pièce polaire gauche est renforcée, tandis que celle de la pièce droite est annulée ou momentanément inversée ; de plus, par suite de la forme en spirale des dents, l'entrefer est plus grand pour la pièce polaire gauche que pour celui de la pièce droite ; il se produit par conséquent une attraction N-S pour la pièce polaire de gauche et une répulsion S-S pour celle de droite. Il y a donc création d'un couple magnétique simultanément attractif et répulsif, provoquant au moment de l'impulsion de courant le déplacement de l'armature dentée ; le même phénomène se produit, mais avec des polarités inversées, lors de l'émission de l'impulsion de courant II.

#### Les matériaux ferromagnétiques utilisés en horlogerie électrique

Avec l'aide des éléments que nous avons étudiés dans ce qui précède, nous pouvons examiner quels matériaux sont à utiliser pour la construction du circuit magnétique de l'électro-aimant, ainsi que pour la polarisation de l'armature. Nous avons constaté que les conditions suivantes doivent être remplies :

- a) *Circuit magnétique.* Haute perméabilité, c'est-à-dire une induction élevée pour une force magnétisante moyenne, de manière à ne pas exagérer les ampères-tours ; faible rémanence, permettant un entrefer minime à fin de course de l'armature. Enfin, pour les électros dans lesquels le champ magnétique change de sens à chaque impulsion ou à chaque alternance du courant, une faible force coercitive est nécessaire.
- b) *L'aimant permanent de polarisation.* Cet aimant doit présenter des caractéristiques contraires à celles qui viennent d'être énumérées, en particulier : haute rémanence, pour obtenir un aimant aussi puissant que possible et grande force coercitive de façon que le dit aimant ne se démagnétise pas avec le temps ou sous l'influence du champ magnétique de l'électro-aimant.

La métallurgie du fer offre actuellement les ressources suivantes au constructeur :

- a) *Circuit magnétique.* Pour l'électro à courant continu, seul le fer doux a donné de bons résultats ; encore faut-il s'entendre sur la qualité de ce fer et sur les traitements qu'il doit subir.

Le fer doux le plus approprié est le fer de Suède, traité au charbon de bois ; après usinage des pièces, celles-ci doivent être recuites à l'abri de l'air à la température de 770° C pendant 2 heures puis être refroidies lentement dans les mêmes conditions.

Son coefficient de perméabilité est donné par le tableau ci-dessous pour diverses valeurs de B et de H (fer recuit) :

H	B	$\mu$
1	5000	5000
5	12950	2590
10	14630	1463
20	16100	805
50	17120	342
100	18130	181
200	19400	87

Lorsque le courant alternatif est utilisé pour l'alimentation des électro-aimants ou des moteurs, le matériel du circuit magnétique n'est plus constitué par des noyaux pleins, mais par des paquets de tôles ; Cette construction lamellée a pour but d'opposer aux courants induits circulant dans le circuit magnétique, une résistance électrique suffisante pour les annihiler. On augmente encore cette résistance en intercalant entre chaque tôle une feuille de papier collée à la gomme laque et en utilisant pour la fabrication des tôles des alliages contenant de 2 à 4 % de silicium ; la perméabilité de ce métal n'est pas changée, mais par contre sa résistivité est fortement accrue.

- b) *L'aimant de polarisation.* Depuis une trentaine d'années, la métallurgie des aimants a accompli de très grands progrès ; l'acier au carbone est abandonné et a été remplacé par les aciers au chrome, au tungstène, au cobalt, puis par d'autres alliages fer-nickel-aluminium, fer-cobalt-titane-nickel, dus aux Japonais Mishima et Honda. Voici à titre d'exemple quelques données relatives à ces aciers :

*Acier au carbone* (0,8 à 1 % C),

induction rémanente  $B_r = 11\,500$ , champ coercitif  $H_c = 52,5$ .

*Acier au chrome* (0,95 % C, 5 % Cr),

induction rémanente  $B_r = 10\,000$ , champ coercitif  $H_c = 69$ .

*Acier au tungstène* (0,65 % C, 5,5 % W),

induction rémanente  $B_r = 10\,500$ , champ coercitif  $H_c = 65$ .



*Acier au cobalt* (0,95 % C, 15 % Co, 10 % Cr, 1,5 % Mo), induction rémanente  $B_r = 9000$ , champ coercitif  $H_c = 255$ .

*Acier nickel-aluminium* (Ni 20 %, Al 10 %), induction rémanente  $B_r = 9000$ , champ coercitif  $H_c = 500$ .

*Acier cobalt-nickel-titane* (Ni 20 %, Co 20 %, Ti 10 %), induction rémanente  $B_r = 7000$ , champ coercitif  $H_c = 800$ .

A remarquer que les aimants au cobalt, au nickel-aluminium et au cobalt-nickel-titane ne peuvent être obtenus qu'à l'état coulé ; le forgeage et le laminage à chaud sont impossibles, seul le meulage est réalisable.

## CHAPITRE III

### LE DISPOSITIF DE CONTACT

Dans un grand nombre d'appareils électriques horaires, le courant est émis ou utilisé sous la forme d'impulsions de durée et de caractère divers ; l'émission de ces impulsions est généralement faite en ouvrant ou en fermant d'une manière quelconque le ou les circuits d'alimentation ou de réception. La partie mécanique du dispositif de contact revêt ainsi de multiples formes dont quelques-unes seront examinées au cours de cette étude, tandis que la construction de la partie électrique ne varie par contre guère d'un dispositif à un autre.

Pour plus de commodité, nous dénommerons cette partie : contact et nous constaterons que, dans la majorité des cas, elle comporte une ou deux paires de pièce, selon que un seul ou les deux pôles du circuit sont coupés (coupure uni- ou bipolaire).

Malgré cette simplicité apparente le contact est un des organes les plus délicats de l'électrotechnique et les multiples recherches dont il a fait l'objet n'ont pas encore donné une solution définitive.

#### Conditions électriques

*Conditions électriques.* Pour nous rendre compte des conditions auxquelles le contact doit satisfaire, il est nécessaire que nous examinions à grands traits le travail qui lui est imposé.

Nous admettrons tout d'abord que le circuit commandé par le contact ne comporte qu'une résistance ohmique et que le courant d'alimentation soit continu à tension constante (fig. 63). Ce circuit correspond à peu près au cas d'une lampe à incandescence à filament droit, alimentée par une pile ou par un accumulateur ; le courant qui traversera le circuit suivra pratiquement la loi d'Ohm :

$$i = \frac{e}{r}$$

Ce cas est tout théorique et ne se rencontre presque jamais dans la pratique de l'horlogerie électrique ; en effet, les circuits que le constructeur doit calculer comportent, à de rares exceptions près, un ou plusieurs bobinages

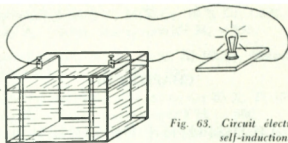


Fig. 63. Circuit électrique sans self-induction.

qui sont le siège de phénomènes exerçant une influence considérable sur le fonctionnement du contact.

Nous avons vu que le passage d'un courant dans un circuit donne naissance à un champ magnétique et par suite à un flux magnétique à travers ce circuit. Tant que ce courant est constant, dans notre cas particulier tant que le contact ferme le circuit, le flux est constant et aucun phénomène d'induction ne se manifeste ; mais toute variation de l'intensité et spécialement toute interruption du courant se traduisent par une variation du flux et par la naissance dans le circuit d'une force électromotrice de sens inverse. Ce phénomène, dit de *self-induction*, ne se manifeste donc que pendant la période de variation du courant et il en modifie alors complètement les lois élémentaires.

Un courant d'intensité  $i$  crée dans le circuit qu'il parcourt un flux  $\Phi$  qui a le même signe que  $i$  et qui lui est proportionnel ; on peut donc poser :

$$\Phi = Li$$

Le flux  $\Phi$  et le courant  $i$  étant toujours de même signe, le coefficient  $L$ , appelé *coefficient de self-induction* du circuit est toujours positif. Il ne dépend que de la configuration géométrique du circuit.

Si l'intensité  $i$  varie, le flux  $\Phi$  varie également et il apparaît dans le circuit une force électro-motrice de self-induction

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - L \frac{di}{dt}$$

Le signe négatif signifie que la force électromotrice induite lors d'une variation positive de l'intensité est de sens contraire à la force électro-motrice inductrice.

L'unité pratique de coefficient de self-induction est le *Henry* que l'on définit comme suit lorsque la force électro-motrice est exprimée en volts et l'intensité en ampères :

Un circuit a un coefficient de self-induction égal à un Henry lorsque le courant qui le traverse, croissant d'un ampère dans chaque seconde, y induit une force électromotrice de un volt.

L'équation de dimension du coefficient de self-induction est :

$$L = \frac{\text{flux}}{\text{courant}} = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}}{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}} = (L)$$

On voit donc que le coefficient est identique à une longueur mesurable en centimètres ; en exprimant  $i$  et  $e$  en unités électromagnétiques CGS et non plus en ampères et en volts, nous aurons :

$$1 \text{ Henry} = 10^9 \text{ cm.}$$

Cette équivalence est utile à connaître, car dans la technique du courant faible et dans celle de la radio-électricité, les coefficients de self-induction s'expriment fréquemment en centimètres.

Nous avons vu plus haut que la valeur de la self-induction des circuits dépend de la configuration géométrique de ces derniers ; pour déterminer la valeur de ces coefficients, on aura recours à la formule correspondant à la forme du circuit envisagé.

Dans la technique de l'horlogerie électrique les circuits à étudier comprennent presque exclusivement des solénoïdes avec ou sans fer. Le coefficient de self-induction d'un solénoïde sans fer de  $n$  spires, de longueur  $l$  et de section  $s$  est donné par la formule :

$$L = \frac{4 \pi n^2 \cdot s}{10^9 \cdot l} \quad (\text{Henrys})$$

Pour l'électro-aimant à noyau de fer de perméabilité  $\mu$ , la valeur de  $L$  est de :

$$L = \frac{4 \pi n^2 \cdot s \cdot \mu}{10^9 \cdot l} \quad (\text{Henrys})$$

A titre d'exemple, le coefficient de self-induction d'une bobine sans fer de 5000 spires, dont le diamètre moyen est de 2 cm. et la longueur de 20 cm. est de :

$$L = \frac{4 \pi \cdot 5000^2 \cdot \pi \cdot 2^2}{20 \cdot 10^9 \cdot 4} = 0,049 \text{ Henrys}$$

Nous mentionnons en passant qu'un solénoïde à enroulement bifilaire n'étant pas apte à produire un champ magnétique est dépourvu de self-induction. On utilise fréquemment cette propriété pour construire des résistances purement ohmiques, dépourvues de self-induction.

Utilisons maintenant la notion de self-induction que nous venons d'acquérir pour examiner ce qui se passe au cours des deux expériences suivantes :

Soit un circuit contenant une force électro-motrice  $E$  et un électro-aimant dont la self-induction est  $L$  et la résistance  $R$ , coupé par un contact. Fermons

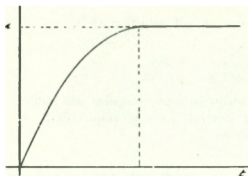


Fig. 64. Courbe des valeurs de  $i$  en fonction du temps  $t$  dans un circuit comportant une self-induction.

ce dernier à un moment donné et mesurons le courant ; nous constatons que l'intensité ne prend pas immédiatement sa valeur de régime, mais y parvient progressivement, en suivant une loi donnée par Helmholtz :

$$i = I \left( 1 - e^{-\frac{t}{\theta}} \right)$$

formule dans laquelle  $I$  est l'intensité que le courant atteindra quand le régime variable sera terminé, soit :

$$I = \frac{E}{R}$$

et  $\theta$  un temps en secondes qu'on appelle la constante de temps du circuit et qui sera définie par :

$$\theta = \frac{L}{R}$$

La fig. 64 représente la courbe des valeurs de  $i$  en fonction de  $t$  et permet de constater l'influence retardatrice de la self-induction, influence d'autant plus grande que la self est plus élevée.

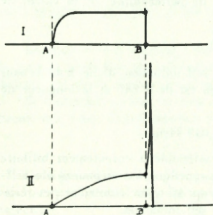


Fig. 65. Oscillogramme de la tension lors de la rupture d'un circuit comportant une self-induction (tension primaire 4 volts).

- 1) Circuit sans self-induction.
- 2) Circuit avec self-induction ;
- a) fermeture et b) rupture du circuit.

Nous tirerons de cette expérience la règle, qu'en horlogerie électrique les impulsions de courant motrices ne doivent pas être de trop courte durée, si la self-induction du circuit est élevée.

La deuxième expérience a pour l'étude du contact une importance considérable, car elle explique la cause de leur brûlure et de leur usure rapide.

Lorsque le courant a atteint sa valeur de régime dans le circuit, les effets de la self-induction cessent de se manifester ; ils vont par contre reparaitre lorsqu'on ouvrira le contact pour interrompre le courant.

Cette ouverture équivaut à intercaler une résistance qui croît très rapidement et devient infinie en un



temps très court, ; le courant diminue selon une loi dépendant des phénomènes complexes qui se passent dans l'interrupteur. La force électromotrice de self-induction tend à prolonger le courant, mais par suite de la coupure, elle se traduit par une forte étincelle et peut atteindre une valeur très élevée, même si la force électromotrice primaire n'est que de quelques volts. La fig. 65 montre la courbe de variation de la tension dans un tel cas.

La discussion de ces deux expériences amène aux conclusions suivantes :

1. La création du champ magnétique lors de la fermeture du circuit nécessite une certaine dépense d'énergie.
2. Cette énergie doit disparaître à l'ouverture du contact pour se transformer en une autre sorte d'énergie, en chaleur par exemple.

On calcule aisément en Joules la valeur  $A$  de cette énergie électromagnétique par la formule :

$$A = \frac{1}{2} L i^2$$

Le contact du circuit n'a donc plus seulement le courant primaire à couper, mais il doit aussi détruire l'énergie électromagnétique  $A$ , accumulée dans l'extra-courant de self-induction et la transformer en chaleur, en utilisant comme résistance l'arc ou l'étincelle qui se forme entre les pièces de contact.

La tension du courant de self qui s'écoule à travers l'étincelle ou l'effluve conducteur est donnée par la formule :

$$E_s = E_0 e^{-\frac{R t}{L}}$$

$E_0$  étant la tension primaire traversant le circuit,  $R$  la résistance et  $L$  la self de cette dernière.  $t$  exprime la durée du phénomène de rupture, durée en général très courte, variant pratiquement entre un dixième et un centième de seconde.

L'application de ces formules à divers circuits montre clairement que l'énergie potentielle accumulée dans un circuit comportant un bobinage à fort coefficient de self, un gros électro-aimant par exemple, peut atteindre des valeurs très élevées. Lorsque la suppression du courant s'opère très brusquement, la libération d'énergie se fait en un temps très court, à peu près comme dans une explosion, ce qui donne lieu à des effets destructeurs souvent considérables, non seulement dans le contact, mais aussi dans le bobinage. Des précautions toutes spéciales doivent être prises pour le renforcement de l'isolation des spires de ces derniers aussi bien que pour la protection du contact.

## La protection du contact

Ce dernier problème a préoccupé de nombreux chercheurs, mais jusqu'à maintenant, une solution complète n'a pas encore été trouvée.

La première condition est de réaliser un dispositif de contact dont le fonctionnement mécanique soit irréprochable ; nous reviendrons plus loin sur ce point.

La deuxième condition est de diminuer, sinon de supprimer, le courant de self-induction ; on y parvient plus ou moins complètement en utilisant certains dispositifs protecteurs que nous allons examiner ci-après.

Nous avons vu précédemment que le courant de self-induction tend à prolonger le courant primaire ; il faut donc chercher à créer un chemin auxiliaire qui absorbe ou qui détruit ce courant, en empêchant la formation d'un arc, d'une étincelle ou d'un effluve dont les effets destructeurs sont connus.

Le constructeur Hipp utilisa le dispositif suivant dans ses régulateurs à échappement à palette (fig. 66). Le contact (1) est fermé tant que le contact (2) qui constitue l'interrupteur proprement dit n'est pas en fonction. Dès que (2) est fermé par une pression exercée dans le sens de la flèche, (1) s'ouvre, fermant le circuit-pile, électro, contact (2). Le dispositif de commande est construit de telle sorte que les deux contacts (1) et (2) soient, aussi bien à la fermeture qu'à la rupture du circuit, ouverts simultanément pendant cinq à dix centièmes de seconde. On crée ainsi, à la rupture du contact un chemin détourné où circule et s'anéantit le courant de self-induction ; ce dispositif présente toutefois l'inconvénient de créer à la fermeture du contact, un court-circuit, de brève durée il est vrai. On peut diminuer cet inconvénient en intercalant sur la dérivation partant du contact (1) une résistance ohmique ou une valve de redressement au sélénium ou à l'oxyde de cuivre.

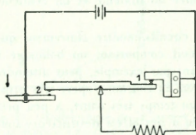


Fig. 66. Protection mécanique du contact selon Hipp.

1) Contact de préparation. 2) Contact interrupteur.

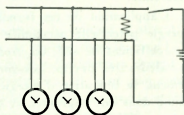


Fig. 67. Protection du contact par résistance non inductive.

D'autres méthodes permettent d'arriver plus simplement à un résultat encore plus efficace ; parmi celles-ci, nous citerons les suivantes :

En parallèle avec le bobinage inductif, dont la résistance ohmique est  $R_1$  et le coefficient de self  $L_1$ , nous plaçons une résistance non inductive de valeur  $R_2$  (fig. 67). Cette résistance sera en général constituée par un enroulement bifilaire ou par un conducteur rectiligne en métal à haute résistance. Si  $E$  est la force électro-motrice de la batterie, l'intensité au contact A sera :

$$I_A = \frac{E}{R_1}$$

et la tension aux bornes de la résistance  $R_2$  :

$$E_2 = I_A R_2$$

cette tension  $E$  est du reste la même que celle qui existera au contact A ; elle ne dépend donc pas du coefficient de self  $L_1$ . Le contact devra couper le courant :

$$I = I_1 + I_2 \quad \text{et la tension} \quad E_A = E + E_2.$$

En choisissant convenablement  $R_2$  la tension au contact  $E_A$  pourra être abaissée au-dessous des limites qui permettent l'apparition de l'étincelle. De nombreux essais ont permis de fixer approximativement cette tension limite entre 12 et 16 volts pour les métaux utilisés généralement pour la fabrication des contacts. Dans la pratique, la valeur de  $R$  est admise entre  $1 \frac{1}{2}$  et 4 fois la valeur ohmique totale du circuit.

Ce procédé donne de bons résultats, mais il présente l'inconvénient d'augmenter la consommation de courant et, par conséquent, la charge primaire du contact.

Une autre méthode, utilisée fréquemment dans la technique du courant faible, consiste à placer en parallèle avec la coupure un condensateur et une résistance non inductive (fig. 68 et 69). Comme pour le dispositif précédent, ce n'est pas l'intensité  $I$  du courant qui est réduite, mais la tension  $E_A$  au contact.

$$E_A = I R_2 = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Comme précédemment,  $E$  pourra être abaissée au-dessous de la tension limite de formation de l'étincelle.

La valeur de  $C$  ne doit pas être choisie trop faible et doit rester au-dessus de celle donnée par la formule :

$$C = \frac{I^2 L}{E_e^2}$$

Et étant la valeur limite de la tension de formation de l'étincelle. Dans la pratique, les valeurs qui sont choisies sont :

pour C, de 1 à quelques  $\mu$  F ;

pour R, de 50 à 100 Ohms.

D'autres dispositifs de protection rendent de bons services, par exemple :

Parallèlement au bobinage inductif, on place un tube à décharge dans le vide (parafoudre à vide ou à gaz noble) dont la tension disruptive est naturellement supérieure à la tension primaire du circuit (fig. 70 et 71). On peut également placer le tube à décharge parallèlement au condensateur, ce qui pratiquement évite toute surtension dangereuse au diélectrique de ce dernier.

Un dispositif fort intéressant, utilisable pour des circuits dans lesquels le courant primaire circule toujours dans le même sens, comporte une cellule de redressement au sélénium ou à l'oxyde de cuivre placée en parallèle avec

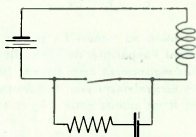


Fig. 68. Protection du contact par un condensateur et une résistance non inductive.

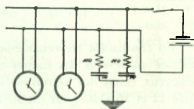


Fig. 69. Protection du contact par deux condensateurs et deux résistances non inductives, avec mise à la terre.

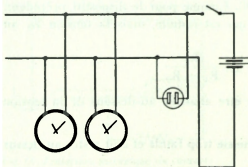


Fig. 70. Protection d'un contact par un tube éclateur à vide.

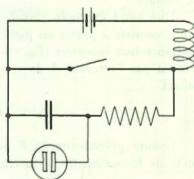


Fig. 71. Protection du contact par condensateur et résistance non inductive ; protection du condensateur par un éclateur à vide.

le contact (fig. 72). La polarité de la cellule est disposée de telle sorte que le courant de self, dont le sens est inverse de celui du courant primaire, puisse traverser la cellule, tandis que le courant primaire est bloqué.

La mesure rapide de la surtension produite par la self pouvant être utile dans certains cas, le dispositif représenté par la fig. 73 donnera le résultat cherché : un potentiomètre, sur la branche mobile duquel est intercalé un tube à décharge, est monté en parallèle avec le contact ; la tension disruptive du tube ayant été mesurée préalablement au moyen d'un courant continu de tension connue, la tension totale peut être obtenue en mesurant la résistance intercalée au moyen du potentiomètre.

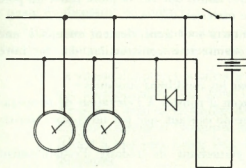


Fig. 72. Protection d'un contact par une cellule de redressement.

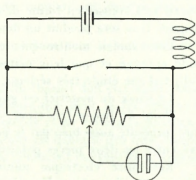


Fig. 73. Mesure rapide de la self-induction d'un circuit.

## Conditions mécaniques

La construction d'un dispositif de contact satisfaisant est soumise à certaines conditions mécaniques et chimiques que nous allons examiner brièvement.

L'ouverture ou la fermeture d'un circuit est généralement opérée par le rapprochement ou l'écartement d'une ou de plusieurs pièces métalliques auxquelles aboutissent les conducteurs du circuit. Ces pièces sont actionnées de diverses manières par un dispositif de commande pouvant revêtir de multiples formes ; nous aurons l'occasion d'étudier plusieurs de ces mécanismes lorsque nous examinerons la construction des horloges électriques.

Ces pièces mobiles, qu'elles soient rigides ou élastiques, sont rarement construites en métal remplissant les conditions nécessaires pour assurer un bon contact ; il est dès lors nécessaire de les munir, à l'endroit de contact proprement dit, de pièces rapportées plus ou moins grandes constituées par un métal approprié.



Si nous examinons à la loupe un contact qui a été en fonction pendant une certaine durée, nous constaterons qu'il a en général subi diverses altérations plus ou moins graves.

Dans certains cas, il sera recouvert partiellement par une pellicule d'oxyde provenant de la brûlure du métal ; à cette pellicule s'ajoutera très fréquemment une couche de suie provenant de la carbonisation des poussières qui se sont déposées sur le contact.

Dans d'autres cas, la surface du contact aura subi une érosion soit par fusion du métal, soit par le transport moléculaire de la matière d'un pôle à un autre, transport opéré lors de la formation d'une étincelle. Dans le cas d'un contact sans inversion du sens du courant, la pièce de contact reliée au pôle positif sera creusée en forme de cratère, tandis que sur la pièce reliée au pôle négatif, il se sera produit un dépôt de matériel.

Cet examen montre que les contacts sont généralement soumis à une rude épreuve et que leur matériel, comme leur construction, doivent faire l'objet d'une étude très sérieuse.

Le choix du matériel est guidé par les conditions suivantes :

Point de fusion très élevé, de façon à résister à l'élévation de température, produite aussi bien par le passage du courant, que par un contact imparfait entre les deux pièces polaires.

Résistance électrique minime, permettant de réduire l'échauffement comme aussi la section des pièces de contact.

Formation aussi réduite que possible d'oxydes à la suite de la brûlure des surfaces produites par l'étincelle ; si la production d'un oxyde ne peut être évitée, il est nécessaire que la pellicule qui se forme soit aussi bonne conductrice du courant que possible (l'oxyde d'argent par exemple).

Dureté mécanique suffisante, permettant d'éviter la déformation des pièces rapportées par suite de l'usure et de la pression de contact. Cette dureté ne doit toutefois pas être un obstacle à la fabrication comme à la pose des pièces de contact sur leur support.

Enfin, le prix du matériel ne doit pas dépasser les limites tolérables pour une fabrication économique.

Lors des débuts de l'électrotechnique, le matériel le plus couramment employé fut le platine, pur ou allié à l'iridium ou à l'osmium. Ces métaux, comme aussi l'alliage osmium-iridium, sont actuellement trop chers pour l'usage courant et sont réservés à la construction des contacts des horloges de précision.

L'or pur, ou allié à l'argent ou au palladium, est utilisé pour les contacts supportant une faible intensité.

Depuis 1918, plusieurs métaux, tels que le palladium souvent allié à l'argent, le molybdène et surtout le tungstène ont été utilisés avec plus ou

moins de succès ; ces métaux sont durs, trop durs même, et leurs points de fusion sont très élevés. Malheureusement, la pellicule d'oxyde qui se forme à la surface des contacts est mauvaise conductrice et ne peut être détruite que par une pression mécanique assez élevée, à moins que la tension du courant soit assez grande pour la traverser.

L'argent, pur ou allié au cuivre, à l'or, au tungstène ou au palladium donne certainement les résultats les meilleurs, malgré la dureté assez faible de ce métal ou de ses alliages. A remarquer toutefois que l'oxyde d'argent est bon conducteur de l'électricité ; actuellement, ces divers matériaux sont préférés aux autres, spécialement pour la fabrication des contacts destinés aux appareils manufacturés en grandes séries.

Citons enfin le mercure qui, bien entendu, requiert une construction adéquate du dispositif de contact.

D'autres facteurs jouent aussi un rôle important pour le bon fonctionnement du contact, nous mentionnons en particulier :

- a) La vitesse des pièces polaires mobiles du contact doit être aussi grande que possible, aussi bien pour l'ouverture que pour la fermeture ; on diminuera ainsi la formation de l'étincelle et on évitera la production d'un arc, surtout si l'intensité du courant est quelque peu considérable. Il faut à tout prix éviter l'emploi de contacts s'ouvrant et se fermant lentement.
- b) La pression des pièces polaires doit être proportionnée à l'intensité du courant à couper ou à établir. On admet en général 1 à 5 grammes pour des contacts très faiblement chargés et 10 à 20 grammes pour des contacts devant supporter de 0,5 à 0,8 ampère. Cette condition est souvent difficile à réaliser et l'on trouve ici un des obstacles les plus sérieux que l'horlogerie électrique ait eu à vaincre ; le constructeur devra trouver un moyen terme, qui permette aussi bien un passage facile du courant que le bon fonctionnement mécanique de l'appareil dont il établit le projet. Remarquons, en passant, que l'on peut souvent tourner cette difficulté en utilisant un appareil auxiliaire, tel qu'un relais.
- c) Le contact doit être protégé contre le dépôt de poussières, car celles-ci se carbonisent peu à peu et il se forme un enduit mauvais conducteur de l'électricité. Si le contact ne peut être protégé par un capot ou une boîte, il est indiqué de le disposer de telle sorte que les pièces de contact soient verticales, ce qui diminuera le dépôt de poussières.
- d) Les leviers, ressorts, etc. portant les pièces de contact doivent être disposés de telle sorte que ces dernières glissent l'une sur l'autre. Ce

frottement, si minime qu'il soit, permet un certain nettoyage de la surface des pièces de contact.

- e) Si les supports des pièces de contact sont élastiques, tels que des ressorts, il faut prendre garde à ce que leur vibration propre soit empêchée, afin d'éviter une succession intempestive de fermetures et d'ouvertures du circuit électrique. On utilisera par exemple des contre-lames ou des arrêts de course et on construira le dispositif d'actionnement de telle sorte que les pièces mobiles du contact ne subissent ni choc, ni trop grande accélération.

### La forme des contacts

La forme et la dimension des pièces de contact rapportées jouent aussi un rôle important ; elles dépendent de l'intensité du courant, du genre du métal utilisé et de la forme des pièces de support.

Les métaux relativement mous (argent, or, platine, etc.) sont en général formés en plaquettes, en rivets à tête ronde, conique ou plate et rivés sur les pièces de support ; la soudure à l'étain est peu utilisée.

Les métaux durs (tungstène, molybdène, etc.) sont brasés sur des rivets intermédiaires qui eux-même sont rivés sur les pièces de support ; on utilise également la soudure à l'argent et, dans certains cas, la rivure directe (fig. 74).

En divisant les contacts en deux ou trois parties, comme l'indique la fig. 75, il est possible de réduire dans une forte mesure leur brûlure et leur

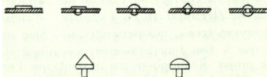


Fig. 74. En haut : formes habituelles des contacts en or, argent, platine, etc.  
En bas : contacts en métal dur brasés sur des rivets intermédiaires.



Fig. 75. Contacts divisés.

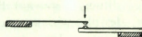


Fig. 76. Ressort porte-contact et pièce fixe.

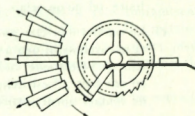


Fig. 77. Contacts disposés sur un chemin circulaire.

altération ; par suite de l'élasticité des pièces de support, les subdivisions du contact ferment ou rompent successivement le circuit et divisent ainsi l'étincelle.

Les dispositifs de contact tels qu'ils sont construits actuellement utilisent dans leur grande majorité des lames de ressort en acier, en maillechort, en bronze, couplées par paires ou superposées en plus ou moins grand nombre selon la quantité et le genre des coupures à opérer.

On opposera un contact conique à un contact plat et, si cela est possible, on placera la pièce conique au pôle positif ; cette précaution évitera la formation d'un cratère dans le contact plat, cratère difficile à nettoyer ou à égaliser. Pour cette raison, on préfère actuellement utiliser pour les deux pièces des rivets à tête ronde.

Il est également possible d'utiliser une pièce fixe et un ressort porte-contact (fig. 76), disposition qui se transforme pour une série de contacts disposés sur un chemin circulaire en un mécanisme tel que celui représenté par la fig. 77.

Enfin, l'emploi du mercure a conduit à la construction de dispositifs spéciaux comportant un tube de verre scellé, muni de godets pour le mercure et rempli d'un gaz inerte tel que l'argon ; le courant est conduit par des câbles souples à deux ou plusieurs électrodes en métal inattaquable par le mercure. La construction de contacts semblables destinés à l'horlogerie est très délicate et doit encore être améliorée pour répondre entièrement aux conditions posées par la sécurité de l'exploitation.

Le contact habituel, dit contact sec, doit par la nature des fonctions qu'il remplit être nettoyé relativement fréquemment ; on trouvera au chapitre XIV quelques conseils à ce sujet.

## CHAPITRE IV

### LE BALANCIER PENDULAIRE

Dans leur très grande majorité, les ateliers qui s'occupent de la construction des horloges électriques fabriquent eux-mêmes les balanciers pendulaires dont ils équiperont leurs mouvements ; il est donc utile, avant d'entreprendre l'étude des horloges électriques, de résumer à grands traits les principes de mécanique qui sont à la base de la fabrication de l'organe principal de l'horloge.

Par contre, il a paru inutile de traiter ici la théorie du système spiral-balancier circulaire, car les porte-échappements qui sont utilisés pour la construction de nombreux types d'horloges électriques sont fabriqués et livrés par des usines spécialisées.

Le *pendule composé* est un corps solide de forme quelconque, pouvant tourner autour d'un axe ; il est soumis à la pesanteur seule.

Le *pendule simple* ou pendule mathématique est un pendule fictif que l'on peut considérer comme un cas particulier du pendule composé. C'est un point matériel pesant suspendu à un point fixe par un fil inextensible, sans masse.

Le pendule d'horloge est un pendule composé dont l'axe de rotation est horizontal ; ses parties constitutives sont la tige et son dispositif de suspension, la lentille avec ses organes de fixation.

#### L'équation du mouvement pendulaire

Considérons le pendule composé représenté par la fig. 78 et proposons-nous de déterminer la loi qui régit ses oscillations ; désignons par :

- T la période d'oscillation,
- $l$  la distance du centre de gravité G à l'axe de rotation O,
- M la masse totale du pendule,
- $g$  l'accélération de la pesanteur ( $981 \text{ cm/sec}^2$  ou plus exactement  $980,6 \text{ cm/sec}^2$  pour la latitude de  $45^\circ$ ),
- $\theta$  l'élongation, c'est-à-dire l'angle d'écart entre la verticale et une position quelconque du pendule, B par exemple,

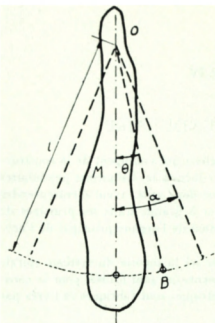


Fig. 78. Pendule composé.

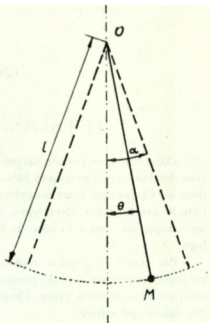


Fig. 79. Pendule simple.

$\alpha$  l'amplitude (élongation maximale),

$I$  le moment d'inertie du pendule autour de l'axe de rotation  $O$ .

Dans la position  $B$ , le moment des forces appliquées au corps en son centre de gravité par rapport à l'axe de rotation est  $-Mgl \sin \theta$ .

L'équation du mouvement est :

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -Mgl \sin \theta$$

Pour de très petites amplitudes, ce qui est le cas pour certaines horloges de précision, on peut admettre que :

$$\sin \theta = \theta$$

ce qui permet d'écrire :

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -Mgl \theta$$

qui est l'équation du mouvement pendulaire ou harmonique ; l'élongation  $\theta$  à l'instant  $t$  est donnée par l'intégrale générale de cette équation :

$$\theta = a \cos \omega t$$



dans laquelle :

$$\omega = \sqrt{\frac{Mgl}{I}} = \frac{2\pi}{T}$$

ce qui nous permet d'obtenir la période du mouvement oscillatoire :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgl}}$$

On remarque immédiatement que la période est indépendante de l'amplitude puisque l'angle  $\alpha$  ne figure pas dans le second membre de l'équation : les oscillations sont par conséquent isochrones.

Si l'on augmente l'amplitude, la condition  $\sin \theta = \theta$  n'est plus satisfaite, les oscillations ne sont plus isochrones et il faut revenir à l'équation différentielle du mouvement pendulaire dont la solution générale nous permet de calculer la période. Nous aurons ainsi, en nous arrêtant au second terme de la série, la formule plus approchée :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgl}} \left( 1 + \frac{\alpha^2}{16} \right)$$

En consultant la table III on verra que la correction à apporter à la période pour des amplitudes croissantes devient très grande ; il est toutefois vrai que seules interviennent les variations de l'amplitude et on comprendra donc facilement pourquoi l'horloger cherche à rendre très petites les variations de l'amplitude de l'oscillation d'un balancier.

Le calcul de la période d'oscillation du *pendule simple* (fig. 79) se traite comme cas particulier du pendule composé ; dans ce cas, le moment d'inertie a pour valeur  $I = Ml^2$  tandis que celle de la période est donnée pour de très petites amplitudes par la formule :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

et pour des amplitudes un peu plus grandes par la formule plus approchée :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left( 1 + \frac{\alpha^2}{16} \right)$$

Dans les paragraphes qui vont suivre, les calculs s'effectueront en considérant le pendule composé étudié comme un pendule simple car il est toujours possible de faire correspondre un pendule simple synchrone de longueur  $l$  à un pendule composé ; l'erreur est négligeable pour les applications pratiques.

Nous résumerons ci-après dans trois tables quelques valeurs importantes à connaître pour l'établissement du projet d'un balancier d'horloge ;

*Note.* Dans les tables ci-après  $g = 980,6 \text{ cm/sec}^2$ .

**Tabelle I**

Longueurs  $l$  du balancier (pendule simple synchrone) pour les périodes utilisées le plus fréquemment.

Durée de l'oscillation simple $T$ (dite aussi alternance) $\frac{T}{2}$					Longueur $l$
1	seconde de temps moyen				993,5 mm.
$\frac{3}{4}$	»	»	»	»	559,1 »
$\frac{2}{3}$	»	»	»	»	441,7 »
$\frac{1}{2}$	»	»	»	»	248,2 »
$\frac{1}{4}$	»	»	»	»	110,5 »
1	»	»	»	sidéral	988,1 »

*Note.* 1 jour sidéral = 23 h. 56 min. 4,091 sec. temps moyen.

**Tabelle II**

Variation de la marche diurne pour quelques longueurs du balancier battant la seconde de temps moyen (amplitude totale de l'oscillation  $4''$ ).

Longueur $l$	Durée de l'oscillation simple	Variation diurne
993,00 mm.	0,999 76 sec.	avance 20,73 sec.
993,30 »	0,999 92 »	6,91 »
993,56 »	1 »	0 »
993,75 »	1,000 09 »	retard 7,77 »
994,00 »	1,000 23 »	19,87 »

**Tabelle III**

Variation de la marche diurne pour quelques amplitudes totales  $2\alpha$  de l'oscillation d'un balancier battant la seconde.

Amplitude totale	Correction de la période	Retard diurne
0°	0 sec.	0 sec.
1° 30'	0,000 0105 »	0,90 »
2°	0190 »	1,65 »
2° 15'	0260 »	2,25 »
2° 30'	0295 »	2,55 »
2° 45'	0360 »	3,10 »
3°	0430 »	3,70 »
3° 15'	0500 »	4,30 »
3° 30'	0580 »	4,95 »
3° 45'	0670 »	5,80 »
4°	0760 »	6,50 »
4° 15'	0860 »	7,45 »
4° 30'	0970 »	8,40 »

Amplitude totale	Correction de la période	Retard diurne
4° 45'	1070 »	9,35 »
5°	1190 »	10,30 »
5° 30'	1440 »	12,45 »
6°	1710 »	14,80 »
7°	2340 »	21,00 »
8°	3040 »	26,30 »

*Réglage du pendule.* Le réglage de la durée de l'oscillation se fait en modifiant la longueur  $l$  ; dans ce but, la lentille est supportée par un écrou se vissant sur un filetage à pas fin pratiqué sur l'extrémité de la tige du pendule. La table II montre que la modification de  $l$  doit être très faible pour obtenir un réglage précis de la période ; si, par exemple, le pas du filetage est de 1 mm., un tour de l'écrou produit une variation de marche de 43 secondes pour un pendule battant la seconde. Un réglage très précis n'est guère possible puisqu'à une variation d'une seconde correspond une rotation de l'écrou de 8° 30'.

Pour un réglage plus fin, on procède en général soit par déplacement d'une petite masse le long de la tige du pendule, soit par adjonction ou par enlèvement de poids de quelques décigrammes sur un plateau fixé d'habitude à la moitié de la longueur totale du balancier. Cette dernière façon de faire est très pratique car, avec un peu d'habitude, on peut mettre ou enlever ces poids sans altérer le mouvement du balancier ; en admettant que le plateau soit placé comme nous venons de le dire, la masse  $m$  à ajouter ou à enlever pour obtenir un retard ou une avance de 1 seconde par 24 heures est donnée par la formule :

$$m = \frac{M}{10\,800}$$

Si, par exemple, la masse totale du balancier est de 9720 grammes le poids additif sera de 0,9 gr.

### Influence de la température sur la période

La table II montre que les variations de  $l$ , même si elles sont très petites, ont pour conséquence une variation très appréciable de la période ; ainsi, pour le pendule battant la seconde, un allongement d'environ 0,025 mm. produit un retard de 1 seconde en 24 heures. Or, toute variation de la température du balancier entraîne avec elle son allongement ou sa contraction, dont la valeur dépend du coefficient de dilatation linéaire  $\alpha$  du matériel dont il est constitué.

La table ci-dessous donne la valeur de ces coefficients  $\alpha$  pour les matériaux utilisés le plus communément pour la construction des balanciers :

cuivre	0,000 0167	laiton	0,000 0187
zinc	0,000 0291	plomb	0,000 0297
mercure	0,000 1544	bois sec (sapin)	0,000 0035
invar I	0,000 0008	acier	0,000 0115
invar II	0,000 0016	fonte de fer	0,000 0110
acier nickel 30 %	0,000 0058		

Si l'on veut obtenir une marche précise de l'horloge, il est nécessaire de compenser ces variations en tendant à obtenir que la quantité

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgl}}$$

soit indépendante de la température.

Car, comme le fait à juste titre remarquer Bouasse [9] : « le problème de la compensation consiste à maintenir invariable, non pas la distance du centre de gravité à l'axe de rotation (c'est-à-dire le moment statique C) mais le rapport :  $\frac{I}{Mgl}$  »

Nous ne pouvons donc plus assimiler le pendule d'horloge à un pendule simple, mais nous devons tenir compte des moments d'inertie de ses divers constituants, lentille et tige, aussi bien que de leurs moments statiques.

Pour diminuer et si possible annuler l'influence des variations de température, on cherchera à utiliser pour la construction du balancier des matières dont le coefficient de dilatation soit le plus petit possible.

L'expérience a toutefois prouvé que le balancier monométallique n'apporte la solution cherchée que dans certains cas très particuliers, sa construction est délicate et sa matière constituante doit avoir constamment un coefficient de dilatation rigoureusement nul.

La seule solution, qui actuellement donne satisfaction, est de former le balancier de deux ou plusieurs matières de coefficients de dilatation différents et dont les allongements ou contractions se compensent. Cette solution, fort ancienne du reste, fut celle que Harrison utilisa pour son balancier à grille et Graham pour son compensateur à mercure ; ces deux constructions, celle de Graham en particulier, furent longtemps les seules utilisées pour les horloges de précision.

Depuis la découverte de l'invar par Ch.-Ed. Guillaume, les matériaux dont l'emploi est le plus fréquent sont :

pour les pendules astronomiques et les régulateurs de précision, l'invar de 1re catégorie conjugué au laiton ;

pour les horloges de précision moyenne, l'invar de 2<sup>e</sup> catégorie, le bois de sapin étuvé et imprégné à l'huile ou à la paraffine conjugués au laiton, au fer, au zinc ou au plomb ;

pour les horloges courantes, l'acier au nickel, l'acier ordinaire, le bois de sapin très sec et verni ou laqué conjugués au laiton, au fer, au zinc ou au plomb.

Nous reproduisons aux figures 80 et 81 deux méthodes de fixation montrant comment la compensation est recherchée.



*Fig. 80. Lentille de balancier supportée à sa partie inférieure par l'écrou de réglage.*



*Fig. 81. Lentille de balancier supportée en son centre de gravité par l'écrou de réglage.*

La fig. 80 montre la construction la plus habituelle, du moins pour les horloges courantes ; la lentille est supportée par l'écrou de réglage et forme la pièce de compensation de la tige et de la suspension. La tige est en invar catégorie II, en acier au nickel, en acier ordinaire ou en sapin ; la lentille est en laiton, en zinc ou en fonte de fer recouverte d'un manteau de laiton poli ou nickelé.

Pour les horloges de précision, on utilise presque exclusivement la construction, due à René Thury [11], représentée par la fig. 81. La lentille est supportée en son centre de gravité par une ou deux douilles glissant sur la

tige et retenues par l'écrou de réglage, placé à la partie inférieure de la lentille. La tige est en invar de 1re catégorie et les douilles sont l'une en laiton, l'autre en invar.

Nous résumons ci-dessous la méthode de calcul de la compensation, telle que la donne Ch.-Ed. Guillaume [11].

Soit  $L$  la longueur du pendule entre la suspension et le centre de gravité de la lentille,

$A = \frac{M}{m}$  le quotient des masses de la lentille ( $M$ ) et de la tige ( $m$ ),

$\alpha_1$  et  $\alpha_2$  les coefficients de dilatation de la tige et de la pièce de compensation,

on déterminera tout d'abord  $L$  d'après le développement de la formule

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{(M+m)g}} \qquad g(L + 2AL) = \frac{2\pi^2}{3} (L^2 + 3AL^2)$$

égalité dans laquelle :

le moment d'inertie  $I$  est donné par  $I = \frac{1}{3} mL^2 + ML^2$

le moment statique  $S$  par  $S = g \left( \frac{mL}{2} + ML \right)$

Pour déterminer la longueur  $\lambda$  de la pièce compensatrice, on posera  $\lambda = \lambda_1 + \epsilon$ ,  $\epsilon$  étant une approximation tirée de l'équation

$$\lambda_1 = \frac{L\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

$$\text{en écrivant } \frac{\tilde{g}}{\alpha_1} = \beta \quad \text{et} \quad C = g \frac{I}{S}$$

on déterminera  $\epsilon$  par l'équation :  $\epsilon = \frac{L^2 (4L - 3C)}{6A (2L - 3) (\beta - 1)}$

Nous avons ainsi déterminé la longueur du pendule et celle de la pièce de compensation. Il est toutefois nécessaire de tenir compte de la dilatation de la suspension qui, à l'heure actuelle, est presque sans exception constituée par deux ressorts d'acier pincés entre deux paires de plaquettes de laiton.

Soit  $s$ , la longueur de la pièce servant à la suspension, mesurée depuis l'insertion supérieure du ressort jusqu'à la goupille à laquelle la tige est accrochée et  $\alpha_3$  sa dilatation moyenne. Posons  $\alpha_3 - \alpha_1 = \gamma$  la compensation additionnelle à ajouter à  $\lambda$  sera :

$$\lambda_2 = \frac{\gamma s}{\alpha_2}$$

La brochure [11] contient diverses tables permettant de simplifier le calcul et dont nous ferons usage lors d'un exemple concret de calcul de balancier.



Mentionnons encore que pour le projet de balanciers destinés à des horloges astronomiques, deux autres correctifs doivent encore être apportés aux résultats ci-dessus ; d'une part la variation du moment d'inertie et d'autre part celle de la poussée de l'air, dues toutes deux aux variations de pression et de température du milieu ambiant. Nous verrons plus loin les précautions que l'on peut prendre pour éliminer l'action de ces deux influences.

### Influences mécaniques

L'expérience montre que lorsque le mouvement d'un balancier n'est plus entretenu, l'amplitude de ses oscillations diminue régulièrement et finit par s'annuler. Cet amortissement est dû aux causes principales suivantes :

résistance mécanique opposée par le rouage de l'horloge et par la suspension du balancier,  
résistance de l'air,  
et, pour certaines horloges, freinage par les courants de Foucault induits dans les électro-aimants d'entretien du mouvement pendulaire.

Avant d'examiner ces différentes causes de freinage, nous étudierons brièvement l'influence de l'amortissement sur la période et les conditions posées pour un entretien rationnel des oscillations.

Les causes d'amortissement sont en général des frottements qui sont soit proportionnels à la vitesse, soit constants ou encore des chocs qui empruntent brusquement de l'énergie au pendule.

Si, dans le cas d'un frottement *proportionnel à la vitesse*, la constante qui mesure le frottement a une valeur suffisamment petite, on constate que :

1. les oscillations sont encore isochrones et leur durée n'est pas modifiée très sensiblement,
2. les amplitudes successives de l'oscillation d'un balancier dont le mouvement n'est plus entretenu décroissent en progression géométrique ; la différence des logarithmes népériens de deux amplitudes consécutives est dite le *décément logarithmique* des amplitudes. Si l'amortissement est suffisamment faible, on peut admettre que le *décément logarithmique*  $D$  est donné par la relation :

$$D = \frac{A_1 - A_2}{A_2}$$

où  $A_1$  et  $A_2$  sont deux amplitudes consécutives du même côté de la position d'équilibre.

Si le frottement est *constant*, la période n'est pas modifiée et l'amplitude décroît en progression arithmétique.

Si l'énergie est empruntée ou restituée brusquement au pendule par un *choc* ou par une *impulsion motrice*, le problème est plus complexe car nous devons considérer l'endroit où la perturbation a lieu. Soit :

$$\theta = \alpha \sin \omega t$$

la loi du mouvement du pendule, à chaque passage dans l'azimut  $\theta$ , il reçoit une petite impulsion et sa vitesse angulaire actuelle  $u$  devient  $u + su$ . En supposant l'amplitude  $\alpha$  constante, on admettra que l'énergie supplémentaire fournie est absorbée par les frottements ; au moment où l'impulsion est donnée, le pendule continue l'oscillation avec une vitesse légèrement augmentée, l'accroissement de durée est :

$$\Delta T = \frac{\theta s u}{\omega^2 \alpha^2}$$

Nous pouvons au moyen de cette formule connaître l'altération de la période normale  $T$  selon l'azimut  $\theta$  où l'impulsion a été donnée; les divers cas possibles sont représentés par la fig. 82.

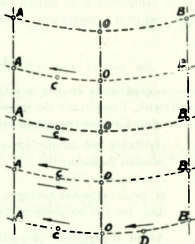


Fig. 82. L'influence de la position point d'impulsion sur la période.

1. Impulsion lors du passage à la position d'équilibre  $O$  ( $\theta = 0$ ) ; l'accroissement de durée  $\Delta T$  est nul, la période n'est pas modifiée.
2. L'impulsion a lieu au point C, lorsque le pendule se déplace de  $O$  vers  $A$ , elle est dirigée dans le sens  $OA$  ; dans ce cas  $\Delta T$  est positif, l'impulsion augmente la période.
3. L'impulsion a lieu au même point mais elle est dirigée dans le sens  $AO$  : la valeur  $\Delta T$  est négative, l'impulsion diminue la période.
4. Deux impulsions égales au même point mais l'une est dirigée dans le sens  $OA$ , l'autre dans le sens  $AO$  ; ces impulsions n'influent pas sur la valeur de la période puisque les variations de durée  $\Delta T$  sont égales mais de signes contraires.
5. Deux impulsions égales en deux points symétriques  $C$  et  $D$  de part et d'autre de la position d'équilibre  $O$ , le pendule allant dans le même sens n'altèrent pas non plus la période  $T$ .

Le même raisonnement est valable pour des chocs empruntant de l'énergie au pendule, les valeurs du résultat sont de signes inverses.

Les constatations que nous avons énoncées ci-dessus déterminent une des règles fondamentales de l'horlogerie :

« Les impulsions agissant sur la partie ascendante de l'oscillation amènent un retard, celles agissant sur la partie descendante produisent une avance. L'avance ou le retard augmentent à mesure que l'impulsion agit plus loin de la position d'équilibre. »

Pour ne pas modifier la période, l'échappement doit produire un choc brusque au passage par la position d'équilibre ; si cette condition ne peut être réalisée, il doit produire deux chocs égaux, pour deux angles égaux les plus petits possibles de part et d'autre de la position d'équilibre.

*Amortissement dû au milieu ambiant.* Il est un fait connu que la marche d'une horloge change lorsque la pression atmosphérique varie. Ces changements sont dus à différentes causes parmi lesquelles nous citons :

- a) La variation de la poussée subie par le balancier, due aux changements de la densité du milieu ambiant (application du principe d'Archimède). Par exemple un balancier qui, dans le vide, à la température de 0°, bat 86 400 fois en 24 heures ne bat plus que 86 397,2 fois dans l'air sous la pression de 760 mm. de mercure.
- b) La résistance de l'air provoque un frottement proportionnel à la vitesse et à la pression barométrique, du moins pour les petites amplitudes.
- c) Le balancier entraîne avec lui une portion de la masse d'air ambiante, d'où variation du moment d'inertie selon les changements de la densité du milieu ambiant.

Nous avons vu précédemment que l'influence du frottement sur la période était très minime, nous pouvons donc admettre que pour des horloges de précision moyenne cette influence est quasi négligeable. Il n'en est pas de même pour les horloges de précision et pour les horloges astronomiques pour lesquelles les variations de marche doivent être réduites au minimum.

Il résulte des causes de variation que nous avons citées plus haut qu'une horloge réglée par un pendule retarde quand la pression atmosphérique croît ; le retard consécutif est donné par la formule :

$$r = k (H - H_0)$$

dans laquelle  $H_0$  est la pression initiale,  $H$  la pression actuelle et  $k$  un coefficient dit « barométrique » qui dépend de la forme du balancier, en particulier de celle de la lentille ; ce coefficient est également dépendant de la valeur de l'amplitude de l'oscillation.

Nous donnons ci-dessous quelques valeurs qui nous ont été obligeamment communiquées par la Direction de l'Observatoire de Neuchâtel :

Horloge Riefler I	amplitude totale	3°	$k \approx 0,0180$
Horloge Zénith	"	3°	0,0152
Horloge Zénith	"	3° 30'	0,0205
Horloge Zénith	"	3°	0,0185
Horloge Favag-Favarger	"	2°	0,0088

De ces valeurs, on peut tirer la conclusion que pour une horloge de construction habituelle, réglée par un pendule à seconde, une augmentation de la pression barométrique de 10 mm. produit un retard de 0,2 sec. par 24 heures, tandis qu'une baisse de même valeur produit une avance de 0,2 sec. Il est bon de se rappeler ce fait lorsqu'on procède à l'observation d'une pendule de précision, car des variations de pression de l'ordre de 10 à 15 mm. de mercure en 24 heures ne sont pas rares à certaines époques de l'année ; il est recommandable de rapporter toutes les mesures à la pression normale du lieu après détermination du coefficient barométrique de l'horloge que l'on observe.

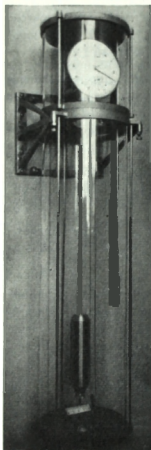


Fig. 83. Horloge astronomique enfermée dans une enceinte à pression constante.  
(Horloge Zénith.)

Divers dispositifs ont été imaginés pour produire une compensation automatique des variations de la pression mais aucun d'entre eux ne s'est imposé pour un usage pratique.

Le moyen le plus efficace d'éliminer les effets de la variation de la pression barométrique est d'enfermer l'horloge dans une enceinte étanche dans laquelle on maintient la pression à une valeur constante (fig. 83).

Cette enceinte est en général constituée par deux cylindres en verre ou en métal réunis par un joint absolument étanche ; dans cette cloche, la pression de l'air est réduite à une valeur aussi minime que possible. La difficulté de maintenir constante cette pression réduite et le fait que dans le vide, sans vapeur d'eau, les dents des engrenages ne sont plus lubrifiées [9], limitent l'abaissement de la pression à 50 ou 60 cm. de mercure.

Toutefois, en prenant certaines précautions, on a pu abaisser la pression à l'intérieur de la cloche d'horloges électriques ne comportant aucun engrenage à 0,5 ou 1 cm. de mercure. La résistance de l'air de même que les variations de sa densité à la suite des changements de température ont pu être ainsi réduites au minimum.

*Résistances mécaniques.* Nous traiterons tout d'abord les résistances dues aux frottements ou aux chocs provenant des rouages et mécanismes divers qui sont accouplés au balancier.

La transmission du couple moteur du rouage au balancier s'effectue, pour les horloges à entretien mécanique des oscillations, par l'intermédiaire de l'échappement, en général celui de Graham ou de Reid ; ces organes sont construits de telle sorte que la transmission d'énergie se fasse en respectant les exigences que nous avons vues plus haut, c'est-à-dire au moment du passage du balancier par la position d'équilibre ou en deux points symétriques de part et d'autre de cette position. L'étude de la construction et de l'effet de l'échappement ne pouvant être traitée dans le cadre de cet ouvrage, nous renvoyons le lecteur aux ouvrages spéciaux d'horlogerie traitant cette matière.

Dans le cours de notre étude, nous rencontrerons de nombreux types d'horloges dans lesquelles le balancier est simultanément organe moteur et organe réglant ; la transmission de l'énergie s'effectuera, dans ce cas, du balancier au rouage, en général par l'intermédiaire d'une roue à rochet munie d'un encliquetage approprié (voir fig. 84). Elle sera soumise aux règles que nous avons rappelées, bien que la pratique ait montré que la position théorique d'équilibre pouvait être étalée sur une certaine bande, petite il est vrai. Cette bande est néanmoins suffisante pour autoriser la transmission de l'énergie, non pas instantanément à la manière d'un choc, mais à la vitesse angulaire correspondant à celle du balancier lors du passage à la position d'équilibre. La seule précaution à prendre est d'augmenter suffisamment le poids de la lentille du balancier de manière à permettre à ce dernier de jouer le rôle de volant régulateur.

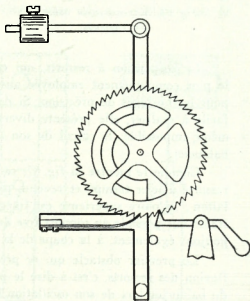


Fig. 84. La transmission au rouage du couple fourni par un balancier moteur.

## La suspension, sa construction et son influence sur la période

L'articulation de la tige du pendule au support fixe est un organe qui doit remplir les conditions suivantes : frottements aussi minimes que possible, stabilité de l'axe de rotation, absence ou du moins constance de l'influence des oscillations sur l'isochronisme.

De nombreuses solutions ont été proposées mais seules quelques-unes d'entre elles sont utilisées dans la pratique constructive actuelle.

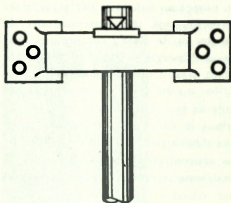


Fig. 85. Suspension du balancier par couteaux.

Nous ne nous arrêterons pas à la suspension à couteaux (fig. 85) qui, théoriquement est la plus parfaite mais qui n'est guère utilisée que pour des pendules géodésiques servant à la mesure de  $g$  ou pour certains pendules réversibles, comme celui de Schuler à Göttingue.

La suspension à pivots (fig. 86), donnant naissance à des frottements assez considérables et réclamant de ce fait du balancier un couple moteur assez élevé, n'est employée que pour des balanciers d'un faible poids et à grande amplitude d'oscillation, comme celui de l'horloge Bulle-Clock.

La suspension à ressorts, qui est loin d'être parfaite, est celle qui est le plus communément employée aussi bien pour les horloges courantes que pour les horloges de précision. Si du point de vue constructif, elle est assez facile à réaliser, elle présente diverses caractéristiques qui rendent difficile, même impossible, le calcul de son influence sur la période d'oscillation du balancier.

Comme le montre la fig. 87, cette suspension comporte en général deux ressorts d'acier trempé et revenu, pincés entre deux paires de plaquettes de laiton ; la paire supérieure est fixée par deux goujons d'une manière aussi stable que possible au support fixe du balancier, la paire inférieure, par deux goujons également, à la chape de la tige du pendule.

Le premier obstacle qui se présente est la détermination du point de flexion des ressorts, c'est-à-dire le point par lequel passe constamment l'axe du balancier lors de son oscillation [12]. En se limitant aux petits arcs, une première approximation indique que ce point est situé entre l'insertion supérieure des ressorts et la moitié de la longueur de ceux-ci. En pratique, on a



souvent admis qu'il se trouve au tiers de cette longueur comptée depuis l'insertion supérieure ; des recherches actuelles ont toutefois montré que le point de flexion se trouve très près de l'insertion supérieure. Quoiqu'il en soit, il est nécessaire de conserver à l'amplitude de l'oscillation une valeur constante afin que le point de flexion demeure à la même place et que la longueur effective du pendule reste, elle aussi, constante.

Le deuxième obstacle que nous rencontrons est le fait que la loi selon laquelle la flexion des ressorts a lieu est déterminée d'une part par une déformation de flexion simple et d'autre part par une contrainte supplémentaire due à la tension des ressorts par le poids du balancier. Ces deux éléments amènent une équation compliquée et assez théorique de la courbe de flexion [12].

Néanmoins, nous pouvons utiliser ces données et constater que l'on introduit dans la valeur de la période  $T$  un certain accroissement dépendant de la section et de la longueur des ressorts, du poids du pendule et de l'amplitude de ses oscillations. Figure aussi dans cette équation le module d'élasticité  $E$  de la matière constituant les ressorts qui, nous le savons, varie pour le même acier avec la température. Nous sommes ainsi obligés de prévoir, outre la compensation de dilatation, une compensation supplémentaire de la variation d'élasticité.

Il serait donc intéressant d'utiliser pour la construction des ressorts de suspension les alliages découverts par Guillaume, tels que l'Elinvar ou le

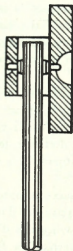


Fig. 86. Suspension du balancier par pivots.

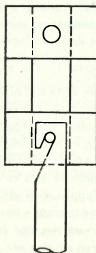
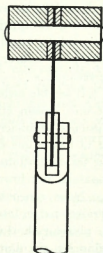


Fig. 87. La suspension du balancier par ressorts.



Mételinvar ou encore les bronzes au glucinium (Nivarox), métaux dont le module d'élasticité est indépendant des variations de la température.

A signaler aussi la tentative des constructeurs de la Bulle-Clock de remplacer les ressorts d'acier par des tresses de soie ; l'idée est intéressante, malheureusement la soie est hygroscopique et la longueur des tresses est influencée par les variations de l'état hygrométrique de l'air ambiant ; il semblerait intéressant d'utiliser au lieu de soie, les fibres de verre de quartz très peu sensibles aux variations de température et non hygroscopiques.

### **Influence des courants de Foucault**

Au chapitre VII, nous étudierons un certain nombre d'horloges dont le dispositif d'entretien des oscillations du balancier comporte un aimant se déplaçant dans une bobine creuse (fig. 88). Par suite de ce déplacement, il se crée dans les carcasses de ces bobines, lorsqu'elles sont métalliques, des courants induits produisant un freinage assez important du mouvement oscillatoire, freinage que l'on peut du reste diminuer ou même supprimer en remplaçant le métal de ces carcasses par du bois ou mieux par de la bakélite ou une matière thermo-plastique similaire.

A remarquer que les courants de Foucault ne prennent pas naissance dans les dispositifs d'entretien dont le système électro-magnétique ne comporte pas d'aimant permanent.

### **La synchronisation des pendules et ses conditions**

La définition que donne Andrade [10] de la synchronisation est la suivante : « On appelle synchronisation une liaison établie entre les battements des pendules régulateurs de deux horloges ; cette liaison peut être assez complète pour assurer à ces deux horloges un accord diurne voisin du centième de seconde. »

Il semble utile d'étendre cette définition en disant que la synchronisation est une liaison établie entre une source d'impulsions périodiques et un ou plusieurs balanciers pendulaires ou circulaires dont la fréquence d'oscillation est la même que celle de la source d'impulsions ; cette liaison doit être telle que les oscillations de l'appareil synchronisateur et celles de l'appareil ou des appareils synchronisés demeurent liés en phase et en fréquence.

Nous rencontrerons l'application de ce principe dans divers appareils horaires parmi lesquels nous citerons : la synchronisation des balanciers d'une ou plusieurs horloges asservies par une horloge directrice, la vibration d'un balancier circulaire synchronisé par un courant pulsé ou alternatif à fréquence constante, la mise en vibration d'un balancier pendulaire ou circulaire par une succession d'impulsions électriques périodiques, etc.

Nous appellerons la source d'impulsions électriques périodiques : l'horloge ou l'appareil directeur et les horloges ou appareils en liaison avec elle : les horloges ou appareils synchronisés ou asservis. Représentons le système oscillant asservi par la figure schématique 89 ci-dessous : l'électro-aimant de synchronisation peut se déplacer sur le chemin circulaire AOB ; alimentons cet électro-aimant par de brèves impulsions de courant périodiques de manière

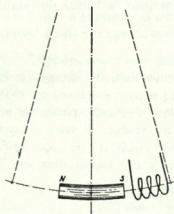


Fig. 88. Influence des courants de Foucault sur la période.

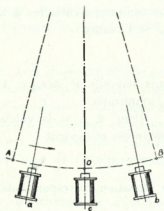


Fig. 89. Les trois positions de l'électro-aimant de synchronisation.

que l'attraction de l'armature se fasse quand elle se déplace de A vers B. En reprenant les conditions que nous avons posées à la page 100, nous nous trouvons en présence de trois cas :

- a) Si l'impulsion se produit sur l'arc descendant AO, elle raccourcit la période d'oscillation du pendule synchronisé ; celle-ci est donc plus courte que celle des impulsions de courant de synchronisation. Cette différence est d'autant plus considérable que l'impulsion a lieu plus près du point A. Dans la pratique, cette règle aura pour conséquence que le pendule à synchroniser doit être réglé sur retard par rapport à la fréquence des impulsions de synchronisation.
- b) Si l'impulsion a lieu au point O, c'est-à-dire au moment du passage par la verticale, la période d'oscillation du balancier synchronisé n'est pas changée ; elle est la même que celle des impulsions du courant de synchronisation ; conséquence : le pendule à asservir doit être réglé exactement d'après la fréquence du courant de synchronisation.

- c) Si l'impulsion se produit sur l'arc montant OB, elle allonge la période d'oscillation du pendule synchronisé ; la période de ce pendule est donc plus longue que celle des impulsions synchronisatrices. Règle : Le pendule à asservir doit être réglé sur avance par rapport à la fréquence du courant de synchronisation.

Examinons maintenant les conditions requises pour que la synchronisation soit stable ; la formule que nous avons utilisée pour l'établissement des conditions énoncées à la page 100 nous donne pour la valeur du retard ou de l'avance :

$$t = \frac{R \theta}{Mgl \alpha^2}$$

dans laquelle R désigne l'impulsion de synchronisation,  $\theta$  l'élongation et  $\alpha$  l'amplitude.

Pour  $\theta = 0$ , la valeur de  $t$  est nulle ; pour  $\theta = \alpha$  elle passe par un maximum et devient :

$$t = \frac{R}{Mgl \alpha}$$

la variation correspondante d'énergie est :

$$E = R\alpha \sqrt{\frac{Mgl}{I}} \cos \omega t$$

elle est maximale pour  $\theta = 0$  et diminue pour  $\theta$  tendant vers  $\alpha$ .

Nous tirons de ce fait la conséquence que, pour synchroniser un balancier lorsque l'impulsion se produit au moment du passage par la position d'équilibre  $\theta = 0$ , il faut absorber l'énergie fournie, de manière à maintenir constante l'amplitude  $\alpha$ . Au contraire, lorsque l'impulsion a lieu au voisinage d'un des points extrêmes A ou B, l'énergie fournie est très petite et peut même devenir nulle.

La conséquence pratique de ce qui précède est la suivante : en admettant que les frottements restent invariables, lorsque l'impulsion de synchronisation a lieu au moment du passage par la position d'équilibre  $\theta = 0$ , il est nécessaire de créer un amortissement suffisant. Par contre, si l'impulsion a lieu vers les extrémités de l'arc d'oscillation, l'introduction d'un amortissement n'est plus nécessaire.

Pour que la synchronisation soit stable, il est préférable que l'amortissement soit même en excès, car il est toujours possible d'augmenter l'intensité du courant de synchronisation.

L'étude que nous venons de faire s'applique non seulement à l'utilisation des impulsions périodiques pour l'entretien des oscillations du balancier, mais aussi à la synchronisation d'horloges possédant un rouage et un mécanisme d'entretien autonomes. A remarquer que les horloges, dont les oscillations du

pendule sont entretenues par un moyen électrique, se prêtent tout particulièrement bien à l'application d'un dispositif de synchronisation ; nous aurons du reste à nous occuper de cette question lorsque nous traiterons des appareils utilisés pour la distribution de l'heure.

### Etude pratique du pendule

Pour illustrer l'étude théorique que nous venons de clore, nous donnerons à titre d'exemple les éléments du calcul d'un balancier battant la seconde destiné à une horloge de précision [11].

*Disposition générale.* Balancier lourd à utiliser avec dispositif d'entretien électrique des oscillations : tige en Invar, lentille en laiton massif poids 9180 grammes, suspension par le centre de gravité sur douille compensatrice en laiton, avec douille complémentaire en Invar. Ecou de réglage et plateau à poids pour le réglage fin ; la tige se termine par une armature parallélipipédique en fer doux, fermant le circuit magnétique de l'électro-aimant d'impulsion. Suspension à ressorts d'acier.

*Tige.* Barre d'Invar traitée thermiquement, coefficient de dilatation mesuré  $\alpha_1 = 0,000\ 000\ 7$ . Diamètre 14 mm., poids après usinage 1360 gr.,

Le calcul de la compensation thermique s'établit comme suit :

M = Masse de la lentille	= 9 180 gr.
m = Masse de la tige	= 1 360 gr.
$\alpha_1$ = Coefficient de dilatation de la tige	= 0,000 000 7
$\alpha_2$ = Coefficient de dilatation de la pièce compensatrice	= 0,000 019 2
A = Rapport des masses $\frac{M}{m}$	= 6,75

Soit,  $\lambda$ , = longueur approximative de la pièce de compensation et  $L = 100$  cm. la longueur approchée du pendule entre la suspension et le centre de gravité, nous avons :

$$\lambda_1 = \frac{L \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} = \frac{100 \times 0,0000007}{0,0000197 - 0,0000007} = 3,8 \text{ cm.}$$

Pour le calcul de la longueur exacte de  $L$ , nous admettrons  $L = 100 + \delta$  et nous utiliserons la formule :

$$T = \pi \sqrt{\frac{I}{S}} \quad \text{dans laquelle}$$

$$I = \text{moment d'inertie total} = \frac{1}{3} m (L + l)^2 + ML^2$$

$$S = \text{moment statique total} = g \left[ \frac{m}{2} (L + l) + ML \right]$$

La formule développée devient :

$$981 \left[ (L + l) + 2 AL \right] = \frac{2\pi^2}{3} \left[ (L + l)^2 + 3 AL^2 \right]$$

et, en y remplaçant L par  $100 + \delta$  et les lettres par leurs valeurs

$$\delta = \frac{98,8 - 3,6 A - 1,02 l - 0,02 l^2}{1 + 6,07 A + 0,04 l}$$

et enfin :  $\delta = \frac{59,38}{42,45} = 1,4 \text{ cm.}$

(1)  $L = 100 + \delta = 101,4 \text{ cm.}$

Pour le calcul de la correction  $\epsilon$  à apporter à  $\lambda_1$  pour obtenir la valeur exacte  $\lambda$ , on posera :

$$981 \frac{1}{S} - \text{constante} = C$$

$$\beta = \frac{a_2}{a_1} = 27,4$$

$$C = \frac{\frac{1}{3} (L + l)^2 + AL^2}{\frac{1}{2} (L + l) + AL} = \frac{\frac{1}{3} (101,4 + 12)^2 + 6,75 \times 101,4^2}{\frac{1}{2} (101,4 + 12) + 6,75 \times 101,4} = 99,42 \text{ cm.}$$

d'où

$$\epsilon = \frac{(L + l) [4(L + l) - 3C]}{6A(2L - C)(\beta - 1)} = \frac{113,4 [(4 \times 113,4) - (3 \times 99,4)]}{6 \times 6,75 (202,8 - 99,4) 26,4} = 0,155 \text{ cm.}$$

Il nous reste à calculer la compensation supplémentaire afférant à la suspension, dont les caractéristiques sont les suivantes :

longueur des lames acier  $l_1 = 9 \text{ mm.}$  ; coefficient de dilatation

$$a_3 = 0,000 010 5$$

longueur des joues laiton  $l_2 = 8 \text{ mm.}$  ; coefficient de dilatation

$$a_1 = 0,000 019 1$$

soit dilatation de la suspension  $s$

$$s = \gamma s = l_1 a_3 + l_2 a_1 = l a_1 = 0,000 023 4$$

$\lambda_2$  = longueur supplémentaire de la colonne de compensation :

$$\lambda_2 = \frac{\gamma s}{a_2} \left[ 1 + \frac{1}{6A} \left( 1 + \frac{5l}{L} \right) \right] = \frac{23,4}{19,2} \left[ 1 + \frac{1}{6 \times 6,75} \left( 1 + \frac{5 \times 12}{101,4} \right) \right] = 1,27 \text{ cm.}$$

Nous obtenons enfin la longueur totale de la colonne de compensation

(2)  $\lambda = \lambda_1 + \epsilon \lambda_2 = 3,8 + 0,15 + 1,27 = 5,22 \text{ cm.}$

**Lentille.** La lentille est un cylindre de laiton fondu, hauteur  $H = 18 \text{ cm.}$  et diamètre extérieur  $D = 9 \text{ cm.}$  ; le diamètre intérieur pour la conduite de



la tige  $d_1 = 1,41$  cm. et le diamètre intérieur du logement de la douille de compensation est de  $d_2 = 2,5$  cm. Nous pouvons poser :

$$\frac{\pi}{4} (D^2 - d_1^2) h_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_2^2) h_2$$

en introduisant les dimensions de la lentille, nous avons :

$$79,01 h_1 = 74,75 h_2$$

$$\text{mais } h_1 + h_2 = H$$

nous obtenons :  $h_1 = 8,75$  cm. et  $h_2 = 9,25$  cm.

*Suspension.* La suspension est constituée par deux lames en acier à ressort, largeur 5 mm., épaisseur 0,2 mm., pressées entre deux plaques de laiton rivées l'une à l'autre.

### Réglage

*Ecrou.* Filetage de la tige 12 FM — pas 0,5 mm.

La variation de la période pour un tour de l'écrou est de 0,000 26 sec., soit un retard ou une avance de 22,4 sec. par 24 heures.

*Poids additionnels.* Le plateau est placé à 50 cm. du crochet d'attache ; un poids de 0,97 gr. ajouté ou enlevé provoque un retard ou une avance de 1 seconde en 24 heures.

## CHAPITRE V

### L'UTILISATION DE L'ÉLECTRICITÉ POUR LA MESURE DU TEMPS

Depuis les âges les plus reculés, l'homme a certainement eu la notion du temps et de son écoulement inéluctable ; il a ressenti au cours des siècles la nécessité de diviser la journée selon les besoins de sa vie et de ses occupations. Le retour régulier de certains phénomènes frappants de la Nature : les phases de la Lune, le mouvement apparent du Soleil, lui donnèrent les premières divisions du temps ; l'observation des astres donna les divisions de la nuit et l'étude du mouvement du Soleil, celles du jour. Peu à peu, l'homme apprit à compter ces divisions : à mesurer le temps.

L'étude de l'évolution des procédés permettant la mesure du temps nous fait constater que la nécessité de régler exactement l'emploi de sa journée n'est guère apparue à l'homme que depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle ; à ce moment la vie de l'humanité a changé peu à peu, après la Révolution française et le Premier Empire, nous nous trouvons au début de l'ère industrielle : les manufactures, les usines naissent, grandissent, se multiplient ; les échanges commerciaux s'intensifient, la vie sociale devient plus active, les villes se développent. Les moyens de communications doivent devenir plus nombreux et plus rapides : c'est la construction des premiers chemins de fer. Il est maintenant nécessaire de connaître l'heure avec une exactitude croissante et d'en universaliser cette connaissance.

C'est le début de l'industrie horlogère, de la fabrication de la montre en séries toujours plus grandes et en qualité toujours meilleure ; c'est le moment où le cabinet de physique du XVIII<sup>e</sup> siècle se transforme en laboratoire, où la physique, l'astronomie puis les techniques les plus diverses demandent la connaissance de l'heure exacte, la mesure toujours plus précise des durées.

A cette époque, se développe aussi une nouvelle branche de la physique : l'électricité dont les applications deviennent bien vite très nombreuses et engendrent une technique, créatrice de nouvelles industries. Les physiciens, puis les horlogers constatent aussi que ce nouveau « fluide » peut être appliqué à l'horlogerie et que, grâce à sa souplesse, il permet la résolution de nom-

breux problèmes auxquels l'horlogerie mécanique, par ses seuls moyens, ne peut apporter une solution simple ou complète.

L'étude du développement de l'horlogerie électrique fait voir la progression d'abord lente, puis de plus en plus rapide de cette branche de la technique ; les créations du début sont le plus souvent l'œuvre de physiciens, tels que Zamboni ou Wheatstone, mais peu à peu, les horlogers, les constructeurs électriques ou mécaniciens prennent intérêt à ce nouveau domaine, c'est l'époque quasi légendaire où l'électricité quitte le laboratoire pour entrer dans l'industrie. L'horloge électrique devient avec les années un appareil utilisable par le grand public ; les constructions nouvelles, souvent d'une remarquable ingéniosité, abondent et, dès le début du XXe siècle, on peut constater que l'horlogerie électrique est devenue une branche commune importante de l'horlogerie et de l'électrotechnique.

Les années qui ont précédé la deuxième guerre mondiale ont vu un grand développement de l'horlogerie électrique : les réseaux horaires permettant l'unification de l'heure sur un grand territoire se sont multipliés, l'horloge électrique individuelle a été adoptée par le public, les réseaux électriques d'éclairage ont permis à leurs abonnés d'installer des horloges à moteur synchrone ; les observatoires ont été équipés avec des horloges astronomiques électriques ou du moins d'horloges dans lesquelles l'électricité joue un grand rôle ; les horloges parlantes donnent l'heure exacte aux abonnés du téléphone ou aux auditeurs de la radio : en bref, l'horloge électrique est devenue un auxiliaire important de la vie moderne.

Il est certain que, pendant la période de reconstruction dans laquelle nous sommes entrés, la valeur du facteur « temps » augmentera rapidement et que les moyens électriques de détermination, de conservation, d'indication et de diffusion de l'heure seront mis à large contribution.

L'horlogerie électrique, sous ses multiples formes, remplit parfaitement une des conditions que la vie actuelle nous impose, celle de connaître facilement, où que l'on se trouve, l'heure précise ; elle deviendra de plus en plus, non pas la rivale de la montre ou de l'horloge mécanique, mais un autre moyen de savoir immédiatement là où nous nous trouvons, « l'heure qu'il est ».

## Historique

Nous pensons intéresser le lecteur en rappelant quelques dates importantes de l'histoire de l'horlogerie électrique ; nous espérons aussi être utiles au technicien en lui conseillant d'étudier les réalisations constructives de la période des débuts ; elles font souvent preuve d'une ingéniosité extraordinaire, beaucoup ont dû être abandonnées parce qu'elles ne correspondaient pas

à une nécessité du moment ; c'est pour ces raisons que leur étude est intéressante et qu'elle évite souvent au constructeur d'aujourd'hui de réinventer des appareils qui ont déjà vu le jour bien longtemps auparavant.

Nous nous proposons dans cette brève table chronologique d'encadrer les dates marquantes de l'histoire de l'horlogerie électrique par quelques rappels des grandes étapes de l'électrotechnique. Le lecteur pourra ainsi se rendre compte avec quelle promptitude et quelle ingéniosité les découvertes et les inventions les plus importantes de l'électrotechnique ont été mises à profit par les constructeurs d'horloges électriques.

1790 Le médecin bolonais *Galvani* constate que les muscles d'une grenouille récemment écorchée se convulsent lorsqu'on les met en contact convenable avec une pince formée par deux métaux, fer et cuivre, par exemple.

1800 *Alexandre Volta*, de Côme, professeur à l'Université de Pavie, construit la première pile électrique.

1820 L'année des grandes découvertes en électricité :  
*Oersted*, à Copenhague, constate qu'une aiguille aimantée est déviée par un courant électrique circulant dans un fil conducteur rectiligne.  
*Arago*, à Paris, observe que le fer doux s'aimante au voisinage d'un fil parcouru par un courant électrique.  
*Ampère*, à Paris, établit la théorie des phénomènes électromagnétiques.

1825 L'Anglais *Sturgeon* construit le premier électro-aimant.

1827 *Ohm*, à Cologne énonce la loi fondamentale de l'électrotechnique :

$$I = \frac{E}{R}$$

1830 Le physicien *Zamboni*, de Vérone, construit la première horloge électrique dont le pendule est attiré, puis repoussé électrostatiquement, par les deux pôles d'une pile sèche, dérivée de celle de Volta (pile de Zamboni). Cette horloge fut présentée en 1832 à la Société des Arts de Genève.

1831 *Faraday*, à Londres, découvre les phénomènes d'induction et en établit les lois.

1832 Le physicien américain *Henry*, en étudiant l'étincelle de rupture d'un circuit électrique bobiné, établit les lois de l'induction du courant électrique sur lui-même (self-induction).

1832 *Pixii*, à Paris, construit le premier générateur de courant basé sur l'électromagnétisme.

- 1834 L'horloger würtembergeois *Matthias Hipp*, alors à Saint-Gall (Suisse), conçoit la disposition de sa pendule électrique à échappement à palette et contre-palette ; il la réalise en 1842.
- 1836 *Sturgeon*, l'inventeur de l'électro-aimant, utilise comme armature une aiguille aimantée (armature polarisée).
- 1836 *Daniell*, physicien anglais, construit une pile électrique à vase poreux, utilisant comme électrolyte le sulfate de cuivre. Cette pile et ses modifications successives (*Callaud*, *Meidinger*) sera utilisée pendant de très nombreuses années pour l'alimentation des horloges électriques.
- 1836 Le physicien russe *Jacobi* construit le premier moteur utilisant les phénomènes électromagnétiques.
- 1837 L'américain *Morse* construit le premier télégraphe électrique utilisable pratiquement.
- 1840 L'horloger anglais *Bain* construit et brevète la première horloge à action électromagnétique utilisable dans la pratique.
- 1847 Le physicien français *Foucault* étudie la synchronisation des balanciers pendulaires.
- 1849 L'Autrichien *Stöhrer* utilise une armature polarisée par un aimant permanent pour la construction d'un mouvement d'horloge électrique.
- 1856 Le physicien et horloger français, *Louis Breguet*, construit la première horloge mécanique à remontoir électrique.
- 1859 L'accumulateur au plomb est inventé par *Planté*, à Paris ; perfectionné en 1881 par *Faure*, il est utilisé dès ce moment par l'électrotechnique.
- 1860 *Hipp* construit, à Neuchâtel (Suisse), les premières horloges électriques utilisables pratiquement.
- 1863 L'astronome *Hirsch* en collaboration avec *Hipp*, équipent l'Observatoire de Neuchâtel pour la transmission de l'heure exacte aux bureaux de poste et aux gares de chemins de fer suisses.
- 1864 Mise en service d'un des premiers réseaux horaires électriques à Neuchâtel.
- 1867 Construction des premières machines dynamos par *Ladd*, *Siemens* et *Wheatstone*.
- 1869 *Gramme* construit, à Paris, la première dynamo à collecteur fournissant du courant continu.
- 1880 Les frères *Curie*, à Paris, découvrent les propriétés piézo-électriques du quartz.
- 1881 Les premiers réseaux téléphoniques sont installés ; jusqu'à ce moment,

les seuls fils électriques que l'on pouvait voir le long des rues et des routes étaient ceux des télégraphes... et des horloges électriques.

- 1885 L'ingénieur italien *Ferraris* construit le premier moteur électrique asynchrone basé sur l'utilisation du disque tournant d'Arago ; ce principe sera utilisé plus tard pour la construction des compteurs électriques et des tout petits moteurs.
- 1890 Une horloge électrique astronomique de *Hipp* donne à l'Observatoire de Neuchâtel une précision de marche supérieure à celle des meilleures horloges mécaniques.
- 1899 L'ingénieur *Thury*, de Genève (Suisse), construit la première horloge à moteur synchrone.
- 1905 L'horloger allemand *Schlesser* utilise le premier une cellule photosensible au sélénium pour l'entretien des oscillations d'un balancier pendulaire.
- 1910 Le physicien américain *Lee de Forest*, simultanément avec l'ingénieur allemand *von Lieben*, construisent la lampe triode, base de la technique actuelle de la haute-fréquence.
- 1912 Les premiers signaux radio-horaires sont émis par le poste de T.S.F. de la Tour Eiffel (Paris).
- 1917 Construction par l'ingénieur américain *Warren* des premières horloges synchrones utilisables pratiquement.
- 1930 Construction des premières horloges à cristal de quartz par *Scheibe* et *Adelsberger*, à Berlin, et *Essen* et *Dye*, à Londres.

En complément de ce tableau, quelques remarques s'imposent au sujet du développement de la technique et de la fabrication de l'horloge électrique. Nous pouvons constater que, jusque vers 1860, l'horloge électrique est un instrument de laboratoire, presque une curiosité scientifique mais que, depuis cette date, elle entre dans le domaine des réalisations industrielles. Il en est de même avec ses procédés de fabrication : à l'heure actuelle, seules les horloges spéciales, tels que régulateurs astronomiques, horloges à quartz, etc., sont encore construites pièce par pièce, tandis que tous les autres types, aussi bien les horloges indépendantes que les horloges des réseaux de distribution horaire et les horloges synchrones, sont fabriquées industriellement en grandes séries.

Il est également intéressant de constater que la technique du courant faible, née du développement surprenant des télécommunications électriques, a exercé une influence considérable tant sur l'évolution de la technique, que sur celle de la fabrication des appareils horaires. Les méthodes de fabrication,



les schémas d'appareillage électriques de l'horlogerie électrique offrent une similitude complète avec ceux de la technique téléphonique par exemple. D'autre part, le développement considérable de l'industrie horlogère, les progrès extraordinaires réalisés dans sa technique et ses procédés de travail ont de leur côté exercé une égale influence sur les conceptions de la technique électrochronométrique.

L'horlogerie électrique est donc devenue, comme nous l'avons déjà dit, une branche commune de ces deux techniques ; nous devons donc chercher les enseignements dans l'une comme dans l'autre ; cette constatation est valable, non seulement pour l'étude des principes techniques, mais aussi et surtout pour l'établissement rationnel des méthodes de fabrication.

### Classification des horloges électriques

Les genres d'appareils électro-horaires étant devenus très nombreux, il est utile pour entreprendre leur étude d'en établir une classification raisonnée. Comme critère, nous choisirons tout naturellement le rôle que joue l'électricité dans leur fonctionnement et nous constaterons d'emblée que ce rôle est de deux sortes :

- a) ou bien l'électricité est uniquement utilisée comme agent moteur et entretient le mouvement du rouage et des aiguilles d'une horloge considérée isolément ;
- b) ou bien l'électricité est utilisée comme agent de liaison entre plusieurs horloges ou appareils horaires et établit entre elles une solidarité telle que leurs marches soient synchrones avec l'une d'entre elles, choisie comme horloge directrice.

Cette division préalable répartit dans la *première classe* les horloges individuelles ou indépendantes de tous genres et, dans la *seconde*, les appareils horaires formant des réseaux de distribution ou mieux d'unification de l'heure sur un territoire plus ou moins étendu. Toutes les horloges électriques appartiennent à l'une ou à l'autre de ces classes principales ; toutefois, comme nous le verrons par la suite, certaines horloges de la première classe, lorsqu'on les munit de dispositifs appropriés (contacts, etc.), peuvent être utilisées comme horloges directrices de réseaux de distribution de l'heure.

La classification peut se poursuivre pour chacune des deux classes, en utilisant de nouveau certaines caractéristiques électriques :

Les horloges indépendantes de la première classe se placent ainsi dans deux catégories :

A 1) Les horloges à remontoir électrique, dans lesquelles l'électricité agit comme agent de remontage du ressort ou du poids moteur ; une horloge de ce genre est en principe une horloge mécanique dont le mouvement, réglé par un pendule ou par un balancier circulaire, est actionné par un poids ou par un ressort. Le remontage de ce dernier s'opère électriquement par le moyen d'un dispositif plus ou moins compliqué : électro-aimant, moteur électrique, mécanisme thermo-électrique, etc.

Nous citerons à titre d'exemple : les horloges à remontage par le courant électrique du réseau d'éclairage, les horloges à pile sèche, certaines horloges utilisées comme horloges directrices des réseaux de distribution de l'heure, etc.

A 2) Les horloges électriques dans lesquelles les oscillations de l'organe réglant sont entretenues par un moyen électrique ; cet organe réglant est par exemple un balancier pendulaire dont les oscillations sont entretenues par un électro-aimant ou bien une lame de cristal de quartz dont les vibrations sont engendrées par un dispositif électrostatique. Le rouage ne sera plus qu'un organe permettant de compter les oscillations de l'organe réglant, la liaison entre ces deux organes étant ou bien mécanique (rouage) ou bien électrique (électro-aimant et encliquetage, moteur synchrone, etc.).

Comme horloges de cette deuxième catégorie, nous citerons : les horloges à balancier pendulaire de Hipp, de Ato, etc., les horloges à diapason ou à cristal de quartz.

La deuxième classe d'appareils horaires électriques est aussi divisée en deux catégories, caractérisées, non plus par la construction de l'appareil lui-même, mais par la constitution du réseau électrique qui relie les appareils les uns aux autres.

B 1) Cette catégorie comprend les réseaux d'unification de l'heure possédant un système de liaisons électriques qui leur sont propres. Ce sont les réseaux d'horloges électriques secondaires gouvernées par une horloge directrice et liées entre elles et à une source de courant commune par un système de lignes électriques qui ne sont pas utilisées pour un autre but.

B 2) Dans cette catégorie sont placés tous les réseaux de distribution de l'heure possédant un système de liaisons électriques déjà utilisé pour d'autres buts ; les systèmes d'horloges électriques de cette catégorie tendant à devenir de plus en plus nombreux, il est plus pratique de la diviser en trois groupes, caractérisés comme suit :

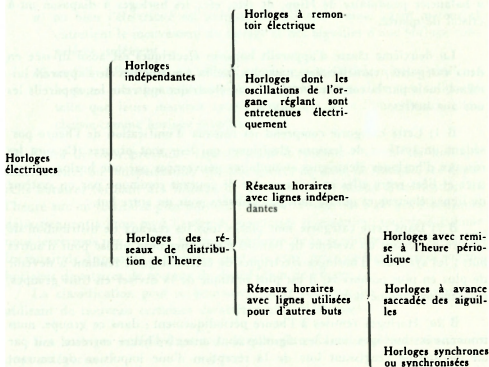
B 2a) Horloges remises à l'heure périodiquement ; dans ce groupe, nous trouvons les horloges dont les aiguilles sont mises à l'heure correcte, soit par un mécanisme réagissant lors de la réception d'une impulsion de courant

correctrice, soit par arrêt préalable du mécanisme, puis remises en marche par une impulsion de courant de réglage.

B 2b) Horloges dont les aiguilles avancent d'une façon saccadée, mais constante ; les mécanismes de ces horloges sont en général mus par un dispositif alimenté par le courant électrique émis, soit d'une façon continue, soit par impulsions superposées par un moyen approprié, au courant de base des lignes d'alimentation.

B 2c) Horloges synchrones ou synchronisées ; par leur nature, ces horloges ne peuvent être branchées que sur un réseau électrique à courant alternatif ; leur mécanisme est construit de telle sorte que la vitesse de rotation de leurs mobiles, finalement des aiguilles, soit dépendante de la fréquence du courant d'alimentation. La condition nécessaire pour l'utilisation de ces horloges est donc que cette fréquence soit maintenue constante ; dans ce groupe rentrent toutes les horloges à moteur synchrone ou celles dont l'organe réglant est synchronisé par le courant alternatif selon une méthode quelconque.

Le tableau ci-dessous résume la classification telle que nous venons de l'établir :



Comme nous le verrons dans les chapitres descriptifs, toutes ces horloges peuvent être munies de dispositifs additionnels ou être complétées par divers mécanismes permettant, outre l'indication de l'heure, diverses fonctions horaires telles que : mise en action à des heures déterminées d'avance d'appareils de signalisation lumineuse ou acoustique ou d'appareils avertisseurs ou de contrôle : sonnerie des heures sur des cloches ou des gongs, carillons simples ou compliqués, appareils enregistreurs de tous genres, etc.

La classification que nous venons d'établir ne tient compte que des appareils destinés à indiquer l'heure : les horloges proprement dites et leurs accessoires. L'électricité, grâce à l'instantanéité de son action, a permis la résolution de nombreux problèmes posés par la technique de la mesure de précision du temps ; bien que la description de ces appareils ne rentre pas dans le domaine que nous nous sommes assignés, nous en énumérerons les modèles les plus importants.

#### **Appareils indiquant les durées sur un ou plusieurs cadrans**

Déclencheurs électromagnétiques permettant la commande électrique à distance d'un ou plusieurs chronographes-compteurs ou compte-secondes. Chronoscopes permettant la mesure des durées avec une précision atteignant le millième de seconde ; les plus connus sont ceux de Le Boulangé, de Hipp-Favag, ceux qui équipent les sondeurs acoustiques ou à ultrasons (Behm, Langevin Florisson, etc.).

Chronoscopes à condensateurs.

Chronoscopes à moteur synchrone.

Chronoscope à fluxmètre.

#### **Appareils enregistrant ou imprimant les durées**

Chronographes enregistreurs, parmi lesquels nous citerons les modèles de Hipp-Favag (le premier en date), ceux à moteur synchrone (de Belin par exemple).

Chronographes imprimeurs de la Société genevoise des Instruments de Physique, de Leroy-Brillié, de Löbner, etc.

Chronographes cinématographiques d'Askania-Werke, de Favag-Pailard.

Mentionnons aussi que l'oscillographe à miroir ou celui à rayons cathodiques permettent la mesure des très courts intervalles de temps avec une extrême précision.

Il faut toutefois remarquer que les appareils pour la mesure des durées, les appareils enregistreurs en particulier, ne peuvent présenter une complète garantie d'exactitude que si l'échelle des temps qui leur sert d'échelle de mesure est précise. Cette échelle consiste le plus souvent en une suite d'enregistrements d'impulsions de courant périodiques, émise par un appareil approprié. L'intervalle entre impulsions est en général de une ou deux secondes pour les chronographes et de  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$  ou  $\frac{1}{1000}$  de seconde pour les oscillographes à grande vitesse de déroulement. Les appareils d'émission sont des horloges de grande précision ou des chronomètres munis de contacts appropriés ou encore des vibrateurs à diapason ou à cristal de quartz ; nous aurons l'occasion de décrire ces appareils au cours de notre étude.

### LES HORLOGES INDÉPENDANTES A REMONTOIR ÉLECTRIQUE

Les chapitres VI et VII sont consacrés à la description des horloges indépendantes, le premier à celles dont le poids ou le ressort moteur est remonté par un moyen électrique et le second à celles dont les oscillations de l'organe réglant sont entretenues électriquement.

La première horloge électrique connue, celle de Zamboni, construite en 1830, était une horloge indépendante : elle fut le début d'une série innombrable de constructions de tous genres, souvent ingénieusement conçues, mais rarement utilisables dans la pratique journalière. En effet, l'utilité du rôle de l'électricité dans les horloges est peu aisée à démontrer tant que le fonctionnement des appareils n'est pas absolument sûr et qu'il dépend en outre de la constance du courant d'alimentation, que celui-ci soit fourni par une pile, par un accumulateur ou par le réseau électrique de lumière.

Toutefois, depuis 1920 à peu près, les horloges indépendantes ont atteint le point de perfection technique désirable et les sources de courant qui les alimentent présentent une sécurité fort suffisante ; il est donc actuellement permis, en comparant les horloges électriques indépendantes aux horloges mécaniques, de reconnaître aux premières des avantages certains, parmi lesquels nous citons :

La précision de marche de nombreux modèles d'horloges est favorablement influencée par le remontage électrique du ressort à intervalles rapprochés, puisque le couple moteur exercé sur l'échappement reste pour ainsi dire constant.

Il en est de même des horloges astronomiques dont les poids moteurs sont remontés sans secousse, à intervalles réguliers et, à plus forte raison, de celles dont les oscillations du balancier sont entretenues électriquement, ce qui permet la suppression du rouage et la réalisation du pendule quasi libre.

La suppression du remontage manuel a permis de placer des horloges électriques dans des endroits difficilement accessibles, clochers, façades élevées, etc.



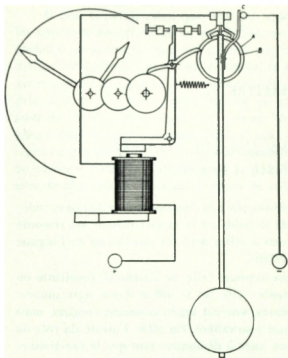


Fig. 90. Disposition schématique de l'horloge de Bréguet (1856).

Enfin, l'utilisation du courant électrique a permis la réalisation d'appareils horaires que l'horlogerie mécanique ne serait pas capable d'établir, tels que l'horloge à quartz.

Nous rappelons que les horloges indépendantes sont celles dans lesquelles l'électricité est uniquement utilisée comme agent moteur et que nous les avons réparties en deux classes: la première, comprenant les horloges à remontoir électrique, c'est-à-dire celles dont l'organe moteur, poids ou ressort, est remonté périodiquement par un dispositif électrique; la seconde, les horloges dont les oscillations de l'organe réglant (balancier circulaire ou pendulaire, cristal piézo-électrique, etc.) sont entretenues par un moyen électrique.

Pour faciliter l'étude de la première de ces classes, à laquelle ce chapitre est consacré, nous la diviserons en groupes, caractérisés par le genre d'organe utilisé pour le remontage du poids ou du ressort: électro-aimant, moteur électrique, dispositif thermo-électrique ou autre; dans chacun de ces groupes nous trouverons des dispositifs de remontage alimentés par du courant continu ou par du courant alternatif.

### Remontoir à électro-aimant

L'horloge électrique construite par Louis Breguet, en 1856, et dont nous avons reproduit schématiquement le mécanisme à la fig. 90, comportait un électro-aimant qui, par l'intermédiaire d'une roue à rochet et d'un encliquetage, entretenait l'oscillation d'un balancier pendulaire. Nous ne nous arrêterons pas à la description de cette horloge, ni à celle des innombrables modèles auxquels elle a servi de prototype, ceux de Callaud, de Mildé, etc., et nous passerons à l'étude des constructions actuelles.

Nous constaterons d'entrée que le remontoir à électro-aimant est actuellement presque exclusivement réservé aux horloges alimentées par du courant continu à très faible tension (12 volts au maximum), tandis que le remontoir à moteur équipe en général les horloges branchées sur les réseaux de lumière électrique.

### Horloges à balancier pendulaire

Les horloges à balancier pendulaire qui utilisent le remontoir à électro-aimant sont généralement des horloges astronomiques dont les constructeurs se basent sur le fait que, dans une horloge à poids du type classique remontée à intervalles assez longs (24 heures ou une semaine) la transmission du couple moteur depuis le tambour de câble à la roue d'échappement est forcée de s'opérer par l'entremise d'un nombre d'engrenages suffisamment considérable pour que les irrégularités de taillage des dents, puis l'usure naturelle, influent défavorablement sur les qualités de marche de l'horloge. Pour réduire le rouage tout en conservant le même couple moteur, il faut réduire l'intervalle entre deux remontages et l'amener par exemple à 30 ou 60 secondes ; l'utilisation de l'électro-aimant est tout indiquée dans ce cas, le poids moteur, très léger, agit en général par l'intermédiaire d'un encliquetage sur la périphérie d'une roue à rochet et non plus par l'intermédiaire d'un câble sur un tambour.

**Remontoir Riefler.** L'horloge astronomique Riefler comporte un dispositif de remontage reproduit par la fig. 91. La roue à rochet (1) calée sur l'axe d'un des mobiles du mouvement est entraînée dans le sens indiqué par la flèche par le poids (2), fixé à un levier (3), pivotant sur un axe placé dans le prolongement de l'axe de la roue à rochet. Ce levier, arrivant au bas de sa course, vient appuyer sur l'extrémité (4) d'un fléau (5) dont l'autre extrémité porte l'armature (6) d'un électro-aimant (7) ; au moment de l'appui, le circuit comportant le contact (4) et

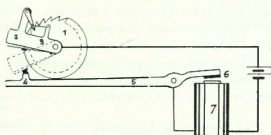


Fig. 91. Remontoir de Riefler.

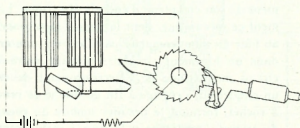


Fig. 92. Remontoir à électro-aimant de Leroy.

l'électro-aimant (7) est fermé, l'armature (6) est attirée, le fléau (5) bascule et fait pivoter le levier (3) d'un certain angle. Le cliquet de ce levier s'engage dans une des dents de la roue à rochet (1) tandis que, par suite de l'ouverture du contact (4), le fléau (5) revient à sa position primitive. Le poids (2) entraîne la roue à rochet (1) jusqu'au moment où le contact (4) est de nouveau fermé et que le cycle décrit ci-dessus recommence.

*Remontoir Leroy.* Le remontoir Leroy, basé sur un principe constructif identique, est reproduit sans autre explications à la fig. 92. L'angle total de pivotement est de  $24^\circ$ , la durée du remontage est de 0,1 sec. ; le contact est protégé contre les effets du courant de self-induction par une résistance non inductive de 200 ohms, formée par une petite lampe à incandescence.

### Horloges à balancier circulaire

Le remontoir à électro-aimant, s'il est en fait peu utilisé pour les horloges à balancier pendulaire, l'est par contre généralement pour les horloges à balancier circulaire ; nous trouverons ici de nombreuses constructions fort intéressantes.

#### *Horloges à courant fort.*

Dans leurs premières exécutions, les horloges à remontoir à électro-aimant étaient construites pour être branchées sur les réseaux lumière, continus ou alternatifs : elles ont toutefois peu à peu cédé le pas aux horloges dont le ressort ou le poids moteur est armé par un petit moteur électrique. Quelques modèles, éprouvés par la pratique ont néanmoins subsisté, comme par exemple ceux d'Elektrozeit, de Jundes ou de Normalzeit.

Le modèle de *Héliowatt*, dont la fabrication a été abandonnée depuis quelques années, est intéressant en ce sens qu'il utilise le remontoir, robuste et très sûr, imaginé en 1887 par Aron pour le remontage du mouvement de son compteur d'énergie électrique. La fig. 93 représente schématiquement ce mécanisme, dont le ressort moteur est fixé par l'une de ses extrémités au bâti du mouvement et par l'autre à une armature en forme de Z, pivotant dans un logement circulaire ménagé entre les pièces polaires lamellées du circuit magnétique de l'électro-aimant de remontage. Cette armature porte un cliquet qui s'engage à fin de course de remontage dans les dents d'une roue à rochet, formant le premier mobile du rouage du mouvement ; sous l'action du ressort, l'armature et la roue à rochet sont entraînées dans le sens indiqué par la flèche, jusqu'au moment où une goupille de commande ferme le contact, permettant ainsi une nouvelle opération de remontage.

Le contact est très robuste, son fonctionnement parfaitement sûr, mais malheureusement assez bruyant ; selon les exécutions, le ressort moteur est remonté au terme d'une période de 4 à 8 minutes, ses dimensions et sa forme ne permettent pas de doter l'horloge d'une réserve de marche en cas d'interruption du courant.

*Horloge Elektrozeit* (actuellement Telefonbau und Normalzeit A.G.). Cette horloge représentée par la fig. 94 peut être alimentée indifféremment par du courant continu ou par du courant alternatif 110 ou 220 volts. Elle comporte un électro-aimant à deux bobines et à circuit magnétique lamellé, entre les pièces polaires duquel pivote l'armature, solidaire d'un contrepoids fournissant le couple moteur nécessaire au remontage du ressort de barillet. L'interrupteur de commande est constitué par un contact à mercure, basculant brusquement lorsque l'armature a atteint la fin de sa course. Le mouvement est réglé par un porte-échappement enfermé dans une capsule de fer doux, afin d'éviter toute influence magnétique sur le spiral ou sur le balancier. Le ressort de barillet actionnant le mouvement assure à l'horloge une réserve de marche de 48 heures en cas d'interruption du courant.

L'horloge construite par *Telefonbau und Normalzeit A.G.* comporte un électro-aimant à armature plongeante articulée à l'extrémité du levier de remontage ; ce dernier entraîne au moyen d'un cliquet une roue à rochet solidaire du barillet contenant le ressort moteur. Comme pour le mouvement *Elektrozeit*, l'in-

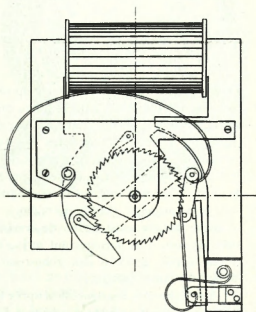


Fig. 93. Remontoir à électro-aimant Aron  
(Heliowattwerke).

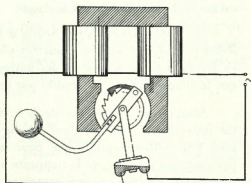


Fig. 94. Mouvement « Elektrozeit ».

interrupteur de commande est constitué par un contact à mercure, entraîné par le levier de remontage et basculant brusquement, en établissant le contact, lorsqu'il arrive à fin de course. Le rouage de ce mouvement peut être construit soit pour entraîner les aiguilles d'une horloge à un seul cadran, soit pour entraîner celles de deux cadrans ; le diamètre maximal admissible est 40 cm. La réserve de marche assurée par le ressort moteur est de 30 heures.

### *Horloges à courant faible*

Dès 1925, l'horloge indépendante connut une faveur nouvelle, amenée d'une part, par les améliorations apportées à son mouvement et, d'autre part, par le perfectionnement de la petite pile sèche 4,5 volts, dite pour lampe de poche. Ces mouvements, alimentés par du courant continu à très basse tension (4,5-6 ou 12 volts), équipèrent les horloges d'intérieur d'appartement, de bureau, de petit atelier, etc. ; le développement de l'équipement électrique de l'automobile permit également leur montage dans les montres des tableaux de bord. A leurs débuts, ces mouvements donnèrent lieu à de sérieux mécomptes ; leur principe était généralement bon mais, comme cela arrive trop fréquemment, la construction de certains détails n'avait pas été étudiée avec assez de soin. Ces horloges ont aujourd'hui surmonté les maladies d'enfance et ont acquis, grâce à leur robustesse, leur simplicité et leur précision, la faveur du grand public.

Les principes constructifs d'après lesquels ces horloges sont établies sont peu nombreux et peuvent se ramener à quelques types dont nous décrirons les principaux. Il convient toutefois de remarquer que, dans certains systèmes, les oscillations du balancier circulaire sont entretenues directement par l'électro-aimant d'impulsion ; ces mouvements seront décrits au chapitre VII et nous profiterons de cette occasion pour tirer quelques enseignements de la fabrication et de l'emploi de ces horloges.

Les dispositifs créés par *Schild & Co. S.A.* à La Chaux-de-Fonds (horloge Reform) et *Elektrozeit* à Francfort-s/M. dérivent de celui utilisé par Riefler ou Leroy pour le remontoir des horloges astronomiques, à la différence près que le couple moteur est produit par un ressort au lieu d'un poids.

*Mouvement « Reform » de la S. A. Schild & Co., à La Chaux-de-Fonds.* Ce mouvement, reproduit par les fig. 95 et 96, peut aussi bien être utilisé pour une horloge murale que pour une pendulette ou une montre de bord pour auto ou pour avion. Il comporte un électro-aimant cuirassé (1), isolé électriquement du bâti, et une armature (2), fermant très exactement le circuit magnétique, maintenue en position écartée par une charnière élastique formée

par un petit ressort plat (3). Le ressort spiral moteur (4), contenu dans un barillet, est attaché par son extrémité extérieure à une joue de réglage solidaire du mouvement et par son extrémité intérieure à une bonde fixée à un fléau (5) à trois bras dont deux portent chacun une masse (6) et (7) et le troisième (11) un cliquet (8) qui s'engage dans la denture d'une roue à rochet (9). Cette dernière est fixée à l'axe du premier mobile du rouage, réglé par un échappement à ancre et par un balancier circulaire.

Le rouage étant en marche sous l'action du ressort moteur, le fléau tourne dans le sens indiqué par la flèche jusqu'au moment où son bras (11) touche le bec de contact de l'armature et ferme un circuit électrique comprenant l'électro-aimant (1). Ce dernier attire l'armature, laquelle repousse brusquement le bras (11), et fait basculer d'un certain angle le fléau, ce qui arme le ressort moteur ; cette opération se répète à intervalle de 4 minutes. La consommation de courant est très réduite ce qui assure une longue vie à la pile sèche de 4,5 volts qui alimente le mouvement.

Dans le dispositif primitif que nous venons de décrire, de même que dans ceux qui ne comportent qu'un seul ressort moteur, le couple engendré par le ressort est transmis directement au premier mobile du

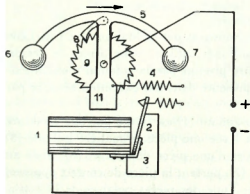


Fig. 96. Mouvement « Reform ». 1. Electro-aimant cuirassé. 2. Armature maintenue en position écartée par le ressort 3. 4. Ressort moteur. 5. Fléau avec les masses 6 et 7. 8. Cliquet porté par le bras 11. 9. Roue à rochet.



Fig. 95. Mouvement « Reform » fabriqué par Schild & Co. à La Chaux-de-Fonds.



rouage par l'intermédiaire du rochet ; cette disposition présente les défauts suivants : impulsion trop brusque imprimée au rouage au début de l'armage du ressort, diminution considérable du couple moteur au fur et à mesure de la détente du ressort, suppression du couple pendant la rotation d'armage du fléau.

Dans le but de supprimer ces inconvénients, la construction du mouvement a été récemment modifiée : un ressort intermédiaire a été intercalé entre le rouage et le ressort primitif contenu dans un barillet à rotation continue. Il transmet son couple au rouage du mouvement et est remonté par une roue à rochet entraînée par un cliquet lors du mouvement de retour du fléau pro-

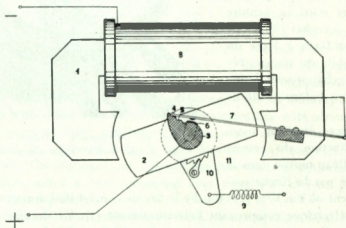


Fig. 97. Mouvement « Supremo » (Vve Ch.-L. Schmidt).

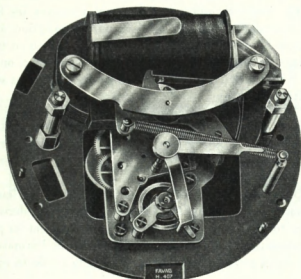
duit par le premier ressort. Les deux fonctions, rappel du ressort à sa position de départ et entraînement du rouage, sont ainsi nettement séparées et assurées chacune par un seul ressort.

*Horloge Supremo.* Ce mouvement, construit par la Maison Vve Chs-Léon Schmid & Cie S. A., à La Chaux-de-Fonds, utilise, pour armer le ressort moteur, le grand déplacement angulaire produit par la rotation d'une armature basculante ; ce mouvement est représenté dans son exécution actuelle par les fig. 97 et 98.

Le circuit magnétique de l'électro-aimant (1) est fermé par une armature basculante (2) sur l'axe de laquelle est fixée une pièce en matière isolante (3) munie de deux dents de scie (4 et 5) et d'une pièce de contact (6) reliée au pôle + de la pile. Une lame de métal (7), portant la pièce de contact opposée, est fixée sur un bloc isolant, vissé sur l'une des pièces polaires de l'électro-

aimant, et reliée électriquement à l'une des extrémités de l'enroulement (8) de l'électro-aimant, l'autre extrémité étant mise en communication avec le pôle — de la pile.

Lorsque le circuit est fermé par la mise en contact de la pièce (6) avec la pièce (7), l'électro-aimant fait basculer l'armature (2) ce qui provoque, d'une part, la tension du ressort moteur (9) et, d'autre part, la rupture du circuit électrique, l'extrémité de la lame (7) étant venue s'engager dans la dent de scie supérieure (4). Un cliquet (10), solidaire de l'armature (2), actionne une roue à rochet (11), formant le premier mobile d'un mouvement



*Fig. 98. Mouvement à électro-aimant, système « Supremo »  
(Fabrique de montres « National », anciennement Uve Ch.-L.  
Schmidt).*

d'horlogerie réglé à la manière habituelle par un échappement à balancier circulaire. Le ressort antagoniste se détend progressivement en actionnant le mouvement d'horlogerie, jusqu'au moment où la lame (7), abandonnant la dent de scie (4), revient au contact avec la pièce (6) et referme le circuit de l'électro-aimant, ce qui provoque une nouvelle opération de remontage.

Ce dispositif, simple et robuste, assure une grande sécurité de marche à l'horloge ; l'électro-aimant et le dispositif de contact sont judicieusement construits. L'opération de remontage s'opère toutes les trois minutes et le contact

dure environ 0,1 sec. ; la consommation de courant est très réduite d'où une durée d'au moins une année pour la pile de 4,5 volts qui actionne l'horloge.

Le mouvement soigneusement empierré, le spiral en Nivarox assurent une bonne précision de marche.

**Horloge Favag.** Profitant de l'expérience acquise, la Maison Favag de Neuchâtel a mis récemment sur le marché un mouvement à pile sèche qui, grâce aux perfectionnements et aux nouveautés qu'il apporte, mérite d'être décrit avec quelque détail.

La caractéristique de ce nouveau mouvement est que, par la combinaison de trois éléments constitutifs, il est possible d'obtenir soit un mouvement d'horloge du type habituel, soit un mouvement frappant les heures sur un timbre. Cette jolie combinaison est réalisée par l'adjonction à l'élément de base, formé par le bloc du dispositif de remontage, soit d'un bloc ne contenant que le rouage de marche, soit d'un autre bloc contenant, outre ce rouage, le dispositif de frappe des heures. Nous analyserons ci-dessous successivement les trois éléments constitutifs :

Le *bloc du dispositif de remontage* (fig. 99 et 100) contient l'électro-aimant de remontage avec son système de contact interrupteur, le ressort et un engrenage différentiel qui distribue le couple moteur au rouage de marche et au dispositif de frappe des heures.

Entre les pièces polaires (1 et 2) du circuit magnétique en fer à cheval de l'électro-aimant (3) est ménagé un logement cylindrique dans lequel pivote l'armature (4) en forme de Z, laissant entre cette dernière et les pièces polaires un entrefer constant de 0,1 mm. ; la course angulaire de l'armature est limitée à la position de repos par une butée (5) tandis que la fin de sa course est libre.

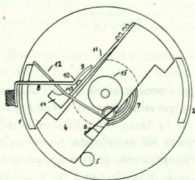


Fig. 99. Mouvement Favag, l'armature est au repos.

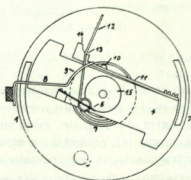


Fig. 100. Mouvement Favag, l'armature est à fin de course.

Sur la face supérieure de l'armature est fixé un ergot flexible (6) s'engageant dans la denture d'une roue à rochet et lui transmettant le couple moteur fourni par le ressort (7) formé en spirale et logé dans un évidement circulaire de la face inférieure de l'armature.

L'organe de contact est formé par les pièces suivantes : vissée à la pièce polaire gauche, une lame (8) en maillechort est pliée de telle façon que son extrémité forme un chemin de contact flexible (9) sur lequel vient frotter un rivet de contact (10) en argent dur porté par une lamelle de ressort (11) fixée

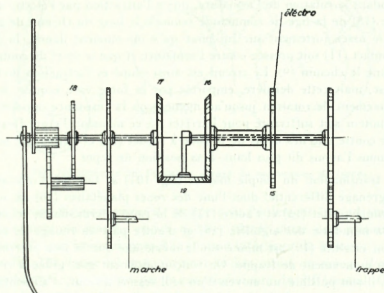


Fig. 101. Mouvement Favag, la transmission du couple moteur.

à l'armature. Une tige de commande (12), formée par un fil de maillechort ou de « Glucydur », est tenue par l'une de ses extrémités par l'armature (4) ; elle est coudée en forme de Z, de telle sorte qu'elle glisse en (13) sur un chemin de guidage (14) ménagé à l'extrémité de la lamelle porte-contact (11).

Le fonctionnement de ce dispositif est le suivant :

L'armature (4) étant à fond de course (fig. 100) revient progressivement à sa position de repos sous la sollicitation du ressort spiral (7), l'ergot flexible (6), s'est engagé contre une des dents de la roue à rochet (15) et transmet par son intermédiaire le couple moteur développé par le ressort (7) au rouage de marche et au mouvement de frappe. Peu avant que l'armature parvienne à sa position de repos et s'arrête contre la butée (5), l'extrémité libre de la tige

de commande (12) bute contre la pièce polaire (1) et libère la lamelle (11) : lorsque l'armature (4) est parvenue à sa position de repos et qu'elle est appuyée sur la butée (5), le coude (13) de la tige de commande, arrivé au bas du chemin de guidage (14), libère la lame de ressort (11) de telle sorte que le rivet de contact (10) glisse le long du chemin de contact (9) : à ce moment, le circuit comportant la source de courant et l'enroulement de l'électro-aimant (1) est fermé, l'armature, attirée par l'électro-aimant, pivote sur son axe et l'ergot flexible (6) glisse sur le flanc d'un certain nombre de dents de la roue à rochet (15).

Pendant la rotation de l'armature, due à l'attraction par l'électro-aimant, le coude (13) de la tige de commande remonte le long du chemin de guidage et appuie assez fortement sur lui pour qu'à un moment donné, la lamelle porte contact (11) soit pressée contre l'armature et que le rivet de contact (10) abandonne le chemin (9). Le circuit est ainsi coupé et l'attraction de l'armature cesse, mais cette dernière, emportée par la force vive acquise, continue son mouvement de rotation jusqu'au moment où la résistance opposée par le ressort moteur soit suffisante pour l'arrêter ; à ce moment, l'ergot flexible (6) s'engage contre une des dents de la roue à rochet (15) et l'armature retourne, comme nous l'avons dit plus haut, à sa position de repos.

La transmission du couple moteur (fig. 101) se fait par l'intermédiaire d'un engrenage différentiel dont l'une des roues planétaires (16) est solidaire de la roue à rochet (15) et l'autre (17) de la roue intermédiaire, reliée d'une part à la minuterie des aiguilles (18) et d'autre part au rouage de marche ; le pignon satellite (19) est monté sur le même axe que la roue intermédiaire reliée au mouvement de frappe. On conçoit aisément que, grâce à cette disposition, il soit possible, au moyen d'un seul ressort moteur, d'alimenter constamment le rouage de marche et, simultanément, chaque heure et chaque demi-heure le dispositif de frappe.

Comme nous l'avons vu au début de cette description, le bloc qu'il faut adjoindre au bloc de base revêt deux formes, l'une ne contenant que les organes du rouage de marche et l'autre, contenant en plus de ces organes, ceux du mouvement de frappe. Ce bloc, qu'il revête une forme ou l'autre, est inséré latéralement dans un logement ménagé dans la cage du bloc du dispositif de remontage ; il est fixé par deux vis à la platine supérieure reliant les pièces polaires des électro-aimants.

Le rouage du *mouvement de marche* ne présente pas de caractéristiques spéciales ; il comporte deux mobiles, le premier engrénant avec l'une des roues de transmission du différentiel et le second avec la roue d'échappement ; le balancier monométallique, diamètre 16 mm. bat 14 400 vibrations, le spiral auto-compensateur est en métal-invar.

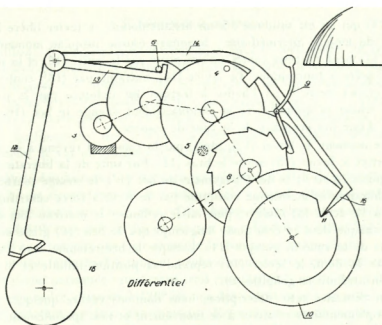


Fig. 102. Mouvement Favag, le rouage du mouvement de frappe.

Le rouage du *mouvement de frappe* peut facilement être adjoint au bloc du mouvement de marche et ses mobiles placés entre une platine supplémentaire liée par trois colonnes à la platine inférieure du bloc.

La fig. 102 donne schématiquement la disposition du rouage dont le premier mobile (1) est entraîné par la roue inférieure du différentiel. Ce mobile transmet le couple moteur d'une part au rouage de frappe proprement dit et d'autre part à un petit frein à force centrifuge (3) dont le rôle est d'espacer convenablement les coups frappés par le marteau ; la roue engrénant avec le différentiel porte deux goupilles (4 et 5) et celle du mobile intermédiaire, une (6), dont nous verrons le rôle tout à l'heure.

Le rouage de frappe comporte un mobile (7) intermédiaire, sur l'axe duquel est fixé la roue à douze dents (8) actionnant le marteau (9) et un mobile final (10) portant la roue de compte ou chaperon (11) dont la serge porte douze dents correspondant aux douze heures.

La libération du rouage est obtenue par une combinaison simple et ingénieuse de leviers (12, 13 et 14), actionnés chaque demi-heure par la came d'un disque (15) solidaire de la roue des minutes. Le fonctionnement peut être résumé comme suit :

La came du disque (15) atteint, quelques instants avant l'heure à sonner, l'extrémité du levier (12) et le déplace lentement, simultanément avec le



levier (13) qui en est solidaire : à un instant donné, ce levier libère la goupille (4) du mobile intermédiaire : le rouage tourne jusqu'au moment où la goupille (6) vient s'arrêter contre un nez porté par le levier (13) et la sonnerie est ainsi prête à fonctionner. Le levier (14), entraîné par (13), continue son chemin et, au moment où l'heure à frapper est indiquée par la roue des minutes, libère la goupille (6) et simultanément dégage le bec (16) qui le termine, d'une des encoches de la roue de compte.

A ce moment, le levier (12), libéré par la came, est revenu à sa position de départ et le levier (13) quitte le bras (14). Par suite de la libération d'une des goupilles (4 ou 5) et du dégagement du bec (16), le rouage tourne à une vitesse déterminée, maintenue constante par le frein à force centrifuge (3) ; la roue à 12 dents (8) soulève, puis laisse retomber le marteau lors du passage de chaque dent et cela aussi longtemps que le bec (16) glisse sur l'une des dents de la roue de compte (11). Lorsque le bec retombe dans l'encoche qui limite la dent, le levier (14) reprend sa position initiale et bloque le rouage en arrêtant la goupille (6).

Pour terminer cette description, nous donnons encore quelques indications complémentaires relatives à ce mouvement et tout spécialement au processus du remontage :

L'angle total de rotation de l'armature lorsque la tension de la pile est de 4,5 volts atteint 72°, cet angle est ramené à 36° lorsque la tension baisse à la valeur minimale admissible de 2,8 volts. Il faut toutefois remarquer que le couple moteur ne variant que de 2 gr. entre les valeurs extrêmes de l'armage du ressort, les variations de l'angle de rotation de l'armature, consécutives à la diminution de la tension de la pile n'exercent pratiquement pas d'influence sur la précision de marche de l'horloge.

Le contact est fermé pendant une course angulaire de 36° ; la durée de fermeture varie entre 0,05 et 0,10 seconde ; la protection contre les effets des courants de self-induction est assurée par un petit condensateur et par le nettoyage automatique des surfaces de contact par suite du frottement des pièces polaires l'une sur l'autre. La résistance de l'électro-aimant est normalement de 9 ohms.

Le remontage est parfaitement silencieux puisque la course de l'armature n'est pas limitée par une butée fixe ; il s'effectue à intervalles de 12 minutes pour le mouvement sans frappe des heures et de 3 1/2 minutes en moyenne pour celui qui est muni du mécanisme de frappe.

Le diamètre extérieur du mouvement complet est de 62 mm. et son épaisseur de 29 mm. ; le diamètre maximal du cadran auquel il peut être adapté est 35 cm. A remarquer que ce mouvement peut aussi être alimenté par le réseau alternatif lumière, à condition toutefois que la tension soit abaissée à 23 volts par un petit transformateur.

## Remontoir à moteur

L'utilisation du petit moteur électrique pour le mécanisme de remontoir a, non seulement permis la création de nouveaux types d'horloges, mais aussi l'automatisation de l'opération du remontage d'horloges mécaniques telles que les horloges monumentales, les horloges astronomiques, etc. Avant d'entreprendre la description de ces horloges, il est utile d'examiner la construction de quelques-uns des moteurs à très faible puissance utilisés pour l'équipement de ces mécanismes de remontage.

**Moteurs à induction.** Ces moteurs asynchrones, c'est-à-dire dont la vitesse de rotation ne dépend pas de la fréquence du courant alternatif qui les alimentent, sont basés sur l'utilisation d'un *champ magnétique tournant*, agissant sur un induit formé par un disque ou par un cylindre en métal bon conducteur, mais non magnétique, par exemple le cuivre ou l'aluminium.

Le moteur industriel à courant triphasé nous montre comment un champ tournant prend naissance ; supposons trois enroulements conducteurs (fig. 103) en forme de cadre, disposés à  $120^\circ$  les uns des autres et une aiguille aimantée verticale pivotant sur leur axe commun. Relions ces enroulements aux trois phases d'un alternateur triphasé et admettons, qu'à un moment donné, le courant parcourant le cadre I soit maximum, nous constatons que l'aiguille tend à se mettre en croix avec ce cadre ; lorsque le courant atteint ensuite son maximum dans le cadre II, l'aiguille se met en croix avec ce cadre ; il en est de même avec le cadre III : l'aiguille tourne ainsi avec les champs successifs décalés de  $120^\circ$ , qui forment ainsi ce qu'on nomme un champ tournant.

Pour obtenir avec du courant monophasé un champ tournant, sinon parfait, du moins suffisant, il nous faut disposer, comme précédemment, d'au

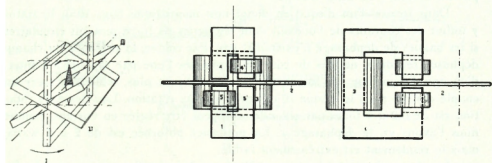


Fig. 104. Le moteur à induction de Ferraris.

g. 103. Production d'un champ tournant.

1) Circuit magnétique. 2) Disque en aluminium ou en cuivre.  
3) Enroulement. 4 et 5) Demi-pôles normaux. 4' et 5) Demi-pôles avec bagues de déphasage.

moins deux courants alternatifs décalés l'un par rapport à l'autre. Diverses méthodes, plus ou moins compliquées, permettent d'arriver à ce but ; nous ne décrirons que celle qui est généralement utilisée pour la construction des petits moteurs et dont le principe est dû à Ferraris (1887). La disposition schématique de ce moteur est donnée par la fig. 104.

(1) est le stator, constitué par un circuit magnétique lamellé dans l'entrefer duquel tourne le rotor (2) dont nous verrons plus loin la constitution : (3) est l'enroulement du stator parcouru par le courant alternatif monophasé.

Chaque pièce polaire du circuit magnétique est divisée en deux branches (4 et 4') — (5 et 5'), dont deux (4' et 5') placées en diagonale, sont munies de bagues de cuivre formant enroulement en court-circuit. Ces bagues ont pour but de retarder la naissance du champ magnétique dans les branches sur lesquelles elles sont fixées par rapport à la branche adjacente de la même pièce polaire. En effet, au moment où le courant est nul dans l'enroulement (3), le champ magnétique est nul également dans le circuit magnétique ; dès le moment où il croît jusqu'à sa valeur maximale, le flux magnétique croît aussi et atteint son maximum avec le courant, aimantant l'une des branches (4 et 5) N. et l'autre S. Simultanément, des courants induits de Foucault ont pris naissance dans les bagues de cuivre des branches (4' et 5'), en y créant un champ magnétique déphasé d'un angle  $\varphi$  par rapport au champ principal. Le même phénomène se reproduit pendant la deuxième alternance de la période.

Le champ magnétique semble tourner et effectuer un tour complet durant chaque période ; le déphasage  $\varphi$  peut être réglé en variant la résistance des bagues de cuivre, jusqu'à atteindre une valeur proche de  $90^\circ$ .

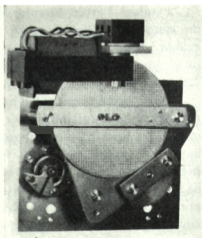
Le rotor (2) peut être constitué soit par un disque, soit par un cylindre en cuivre ou en aluminium, soit encore, pour les moteurs dits à hystérésis, par un cylindre en acier trempé.

Dans le cas d'un disque en métal non magnétique (fig. 105), le stator y induit des courants de Foucault dont les lignes de force seraient circulaires si les bagues de déphasage n'existaient pas. Par contre, la présence du champ déphasé crée deux nappes de courant déphasées l'une par rapport à l'autre, d'où une dissymétrie des forces qui, ne s'équilibrant plus, tendent à créer un couple moteur dans le disque ce qui provoque sa rotation. La vitesse de rotation est de 0,2 à 4 tours par seconde, elle peut être réglée en variant, comme nous l'avons vu le déphasage  $\varphi$ . La puissance absorbée est de 2 à 3 watts, mais le rendement est extrêmement faible.

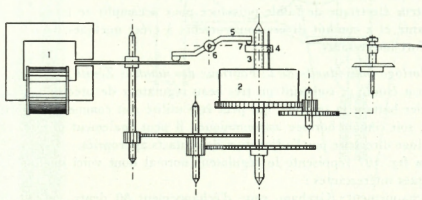
Le phénomène est identique si l'on remplace le disque par un cylindre en cuivre ou en aluminium. Le cas du rotor cylindrique en acier trempé sera examiné au chapitre XIII, lorsque nous traiterons des moteurs synchrones auto-démarrateurs (moteurs à hystérésis).

Le grand avantage des moteurs à induction et à hystérésis est qu'ils ne comportent ni collecteur, ni bagues conductrices ; ils ne demandent aucune surveillance, si ce n'est le huilage des paliers du rotor ; de plus leur consommation étant très faible, ils peuvent être laissés sans interruption sous courant, ce qui permet de supprimer l'interrupteur de mise en marche ou d'arrêt.

Toutefois, comme il n'est pas admissible de bander le ressort moteur au delà d'une certaine limite, il faut prévoir un frein qui immobilise le rotor lorsque le ressort est parvenu au maximum de tension admissible. Un dispositif, souvent utilisé dans ce but, est représenté par la fig. 106 dans laquelle (1) est le moteur dont le rotor est relié par un train d'engrenages au barillet (2) ; l'axe (3) de ce dernier est muni d'un filetage sur lequel monte ou descend un écrou balladeur (4). Pendant le remontage, l'axe du barillet tourne plus vite que le barillet lui-même, ce qui fait que l'écrou (4) s'éloigne du barillet et, par l'intermédiaire d'un levier (5) basculant en (6), fait appuyer le frein (7) sur le rotor et le bloque jusqu'au moment où l'écrou peut de nouveau descendre le long de l'axe fileté.



*Fig. 105. Moteur à induction de Ferraris appliqué à une horloge indépendante Zénith.*



*Fig. 106. Frein limitant l'armage du ressort.*

- 1) Moteur de Ferraris. 2) Barillet contenant le ressort. 3) Axe du barillet. 4) Ecrou balladeur.  
5) Levier basculant en 6. 7) Frein.

Pendant l'arrêt du rotor, le courant continue à circuler dans la bobine du stator, mais son intensité étant très faible, la consommation est négligeable ; les enroulements sont en général prévus avec deux sorties, de telle sorte que l'on peut brancher l'horloge sur les réseaux alternatifs à 110 ou 220 volts.

Pour certains genres d'horloges, en particulier pour celles qui ne sont remontées qu'à des intervalles assez longs, plusieurs heures par exemple, on utilise des moteurs d'une puissance un peu plus grande. Ce sont souvent des moteurs à induit en court-circuit dont le stator est muni, comme pour les précédents, de pièces polaires à deux branches, dont l'une est munie de bagues de déphasage. L'induit en cage d'écureuil comporte un noyau en tôles minces, muni de rainures dans lesquelles sont encastrées des barrettes de cuivre, dont les extrémités sont reliées les unes aux autres par des joues de cuivre.

Le rendement de ces moteurs est très supérieur à celui des moteurs à induction ou à hystérésis, mais leurs rotors tournent à une vitesse élevée atteignant à vide celle du synchronisme (3000 tours/minute pour 50 périodes) ce qui a pour conséquence l'adjonction d'un train de rouages démultiplicateurs assez considérable.

Les horloges de grand diamètre, telles que celles qui sont utilisées pour des clochers, des façades, etc., sont munies de moteurs de remontage du type industriel, dont la puissance varie en général entre  $\frac{1}{8}$  et 4 kW.

### Horloges à balancier pendulaire

Le mouvement des horloges mécaniques de ce type est en général mû par un poids remonté à la main à intervalles plus ou moins longs. L'utilisation du moteur électrique de faible puissance pour accomplir ce travail était fort séduisante et a conduit divers constructeurs à créer quelques modèles d'horloges fort intéressants.

*Horloge individuelle de la Fabrique des montres Zénith, au Locle.* Cette maison a étudié et construit un très beau régulateur de précision muni d'un balancier battant la seconde, qui peut être utilisé soit comme horloge individuelle, soit comme horloge astronomique ; il peut également être transformé en horloge directrice par l'adjonction de contacts appropriés.

La fig. 107 représente le régulateur normal dont voici quelques caractéristiques intéressantes :

Echappement : Graham, roue d'échappement 30 dents, en laiton dur : levées en pierres fines enchâssées dans les palettes en acier. L'entraînement de la fourchette par le pendule est prévu de telle sorte que le dégagement de la fourchette soit assuré même lorsque l'amplitude du balancier tombe

au-dessous de la valeur limite ; on évite ainsi les suites fâcheuses de l'arc-boutement des levées sur l'extrémité des dents de la roue d'échappement.

**Balancier.** Tige  $\varnothing$  10 mm., en invar Ire catégorie traité thermiquement : lentille en laiton massif, cylindrique avec extrémités tronc-coniques, supportée en son centre de gravité par deux douilles montées bout à bout, l'une en acier et l'autre en invar. L'écrou de réglage est vissé sur un filetage au pas de 1 mm., un tour de l'écrou provoque une variation de marche de 40 secondes par 24 heures ; le réglage fin est obtenu par la pose ou l'enlèvement de poids étalonnés en dixièmes de seconde par 24 heures sur un plateau fixé à la tige du balancier.

Le poids total du balancier est de 7,600 kg., l'amplitude normale de son oscillation est de  $1^{\circ} 30'$ .

**Suspension.** Du type classique à double lame élastique en acier allié particulièrement stable, trempé et revenu.

Le mécanisme du mouvement de marche ne présente pas de particularités constructives spéciales.

Le dispositif de remontage du poids, d'une très grande simplicité, est représenté schématiquement par la fig. 108 ; le poids (1) à remonter et son contrepoids tendeur (2) sont



Fig. 107. Régulateur électrique de précision Zénith.

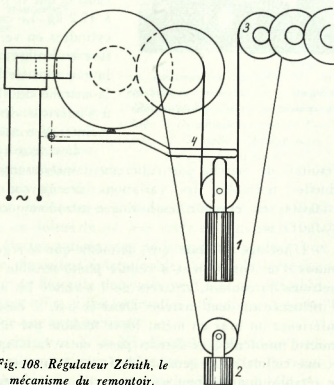
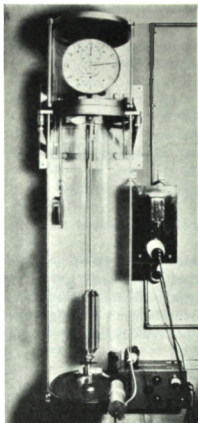


Fig. 108. Régulateur Zénith, le mécanisme du remontoir.





*Fig. 109. Horloge indépendante de précision : le balancier commande un contact à cellule photo-sensible (Zénith).*

suspendus par des poulies de mouflage à une petite corde tressée sans fin ; celle-ci s'enroule, d'une part, autour d'une poulie (3) calée sur l'axe du premier mobile de l'horloge, et d'autre part, sur une poulie commandée, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages, par le disque d'un moteur Ferraris ; lorsque le poids (1) arrive à la fin de sa course, il déplace un petit levier (4) qui freine, puis arrête le rotor. En fait, le poids est toujours à sa position supérieure, ce qui assure à l'horloge une réserve de marche de 16 heures en cas d'interruption du courant d'alimentation. Le couple moteur constant exercé sur l'axe de centre est de 32 gr/cm.

L'horloge astronomique représentée par la fig. 109, est munie d'un mouvement semblable à celui que nous venons de décrire ; mentionnons toutefois que les pivots des axes principaux tournent dans des coussinets en rubis et que le poids du balancier a été porté à 17,2 kg. Le cabinet est constitué par deux cylindres en verre encastrés dans une monture en bronze : pour diminuer les effets de la variation de la pression barométrique sur la marche de l'horloge, la pression de l'air à l'intérieur de la cloche est abaissée puis maintenue constante.

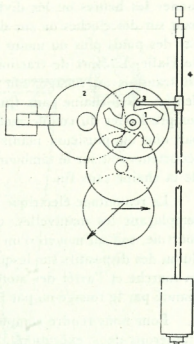
Les deux types d'horloges donnent des résultats de marche particulièrement intéressants ; pour les horloges individuelles normales, les variations de marche diurnes sont ramenées à  $\pm 0,044$  sec. et pour les horloges astronomiques sous pression constante à  $\pm 0,017$  sec.

L'horloge astronomique, de même que le régulateur normal, peuvent être munis d'un équipement à cellule photo-sensible permettant l'émission d'impulsions de courant, espacées de 1 seconde les unes des autres, sans exercer d'influence sur leur marche. Dans ce but, le balancier porte à son extrémité inférieure un bras en métal léger terminé par un petit obturateur horizontal muni d'une fente ; ce dernier passe entre la lampe électrique d'un projecteur et une cellule photo-sensible de façon à intercepter le rayon lumineux et ne le rétablir que pendant une durée de un ou deux dixièmes de seconde. Ces

impulsions de courant sont utilisables, après amplification convenable, pour divers buts scientifiques ou techniques.

**Horloge indépendante Engel.** Cette horloge, construite en 1930 par E. et F. Engel, de Wiesbaden, est intéressante pour l'originalité de sa conception plutôt que pour sa valeur pratique.

Les oscillations du balancier sont, comme le montre la fig. 110, entretenues directement par le rotor du moteur Ferraris, sans l'interposition d'un poids ou d'un ressort moteur. A cet effet, la rotation de la roue d'échappement (1) en tissu bakérisé, entraînée par le disque (2), est réglée par le mouvement de va-et-vient d'une goupille (3) portée par le balancier (4). Les aiguilles du cadran sont mues par un rouage branché sur le pignon de l'axe du rotor. Cette horloge ne comportant pas de réserve de marche, son mécanisme est d'une extrême simplicité.



#### Horloges monumentales à remontoir à moteur électrique

Nous avons vu aux paragraphes précédents l'utilisation du moteur électrique pour le remontage du poids des horloges à balancier, il nous paraît donc tout naturel que l'on ait essayé d'appliquer cette même méthode au remontage des poids des gros mouvements mécaniques des horloges monumentales ; les avantages que l'on en a retirés sont en particulier : d'une part, les horloges monumentales sont en général installées à une grande hauteur au-dessus du sol, leur accès est souvent pénible et difficile, le remontage électro-automatique de leurs poids pesants évite l'ascension parfois dangereuse d'escaliers interminables ou d'échelles branlantes ; d'autre part, la hauteur de descente des poids peut être considérablement réduite lorsque le remontage a lieu à des intervalles suffisamment courts, avantage indéniable au point de vue architectural.

Nous verrons encore aux chapitres X et XI d'autres applications intéressantes de l'électricité aux horloges monumentales, en particulier la transformation de ces dernières en horloges mères ou en horloges secondaires.

Fig. 110. Horloge E. et F. Engel.  
1) Roue d'échappement en tissu bakérisé. 2) Disque du moteur de Ferraris. 3) Goupille d'échappement fixée au balancier 4.

Les mouvements des horloges monumentales, tels que les établissent la plupart des constructeurs, se composent d'un ou de plusieurs corps de rouages auxquels sont dévolues les diverses fonctions que l'horloge doit assurer.

Le rouage de base, dit mouvement de marche, est celui qui mesure le temps ; il est réglé dans la très grande majorité des cas par un balancier battant la seconde. Les corps de rouages auxiliaires ont pour fonction de sonner les heures ou les divisions de celles-ci au moyen de marteaux frappant sur des cloches ou sur des gongs. Les rouages de chaque corps sont mus par des poids plus ou moins lourds, suspendus à des câbles ou à des chaînes de Galle. L'effort de traction exercé par le poids sur le câble ou la chaîne est transmis au rouage, soit par un tambour, soit par un dispositif à roues dentées et à chaîne sans fin permettant le remontage du poids sans interrompre l'effet du couple moteur ; le remontage du ou des poids est effectué par une ou plusieurs manivelles agissant par l'intermédiaire d'engrenages réducteurs soit sur le tambour de câble, soit sur la poulie dentée de remontage de la chaîne sans fin.

Le remontage électrique des poids est assuré par un ou plusieurs moteurs, remplaçant les manivelles, qui commandent soit par l'intermédiaire d'une courroie, soit au moyen d'un engrenage démultiplicateur, l'axe de remontage du ou des dispositifs sur lesquels les chaînes ou les câbles s'enroulent. La mise en marche et l'arrêt des moteurs s'opèrent au moyen d'un interrupteur commandé par le rouage ou par le poids lui-même.

Pour nous rendre compte de la construction de ces mécanismes, nous en étudierons deux exécutions dues, l'une à la *Maison Favarger*, prédécesseurs de la S. A. Favag à Neuchâtel et l'autre à la *Fabrique d'horloges monumentales J. G. Baer* à Sumiswald (Suisse).

*Horloge système Favarger.* Cette horloge, qui en général fut utilisée comme horloge secondaire, est représentée schématiquement par la fig. 111. Le poids (1) et son contre-poids tendeur (2) sont suspendus par des poulies à une chaîne de Galle sans fin (3) ; celle-ci s'enroule d'une part autour de la roue dentée motrice (4) formant le premier mobile du rouage de l'horloge et d'autre part autour de la roue dentée de remontage (5). Cette dernière est solidaire d'une roue de vis sans fin (6) dans les dents de laquelle s'engrène la vis (7) entraînée par le moteur électrique (8).

Le contact de mise en marche et d'arrêt est commandé de la manière suivante : sur la roue dentée (9), solidaire de la roue motrice, sont fixées une ou plusieurs goupilles (10, 10', etc), déterminant l'espace de temps entre deux remontages ; le levier coudé (11), dans le mouvement de va-et-vient que lui communiquent les goupilles, dégage les prismes de détente (12) portés

par le levier de l'interrupteur (13) ; ce dernier s'abaisse, fermant ainsi le circuit et mettant le moteur en marche. Lorsque le poids a atteint sa position la plus élevée, il soulève le levier (13) et coupe le circuit, provoquant l'arrêt du moteur.

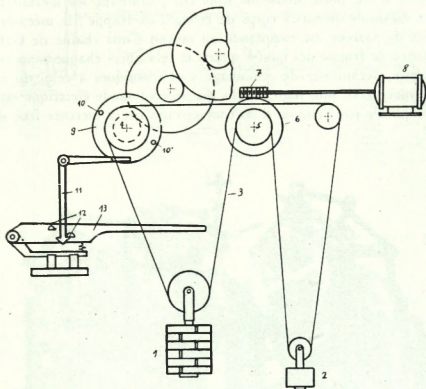


Fig. 111. Remontoir Favarger pour mouvement d'horloge monumentale.

- 1) Poids moteur. 2) Contrepoids. 3) Chaîne de Galle sans fin. 4) Premier mobile du rouage.  
5) Pignon de remontage de la chaîne. 6 et 7) Roue et vis sans fin de remontage. 8) Moteur  
9) Roue portant les 2 goupilles 10 et 10'. 11) Levier de déclenchement. 12) Goupilles de  
détente. 13) Levier de l'interrupteur.

**Mouvement J. G. Baer.** La Maison J. G. Baer est depuis de longues années spécialisée dans la construction des horloges monumentales de tous genres ; elle a tôt reconnu l'avantage du remontage électrique des poids moteurs de ce genre d'horloges. Nous reproduisons à la fig. 112 un mouvement combiné, comprenant outre le rouage de marche, deux corps de rouages supplémentaires, l'un pour la frappe des heures et l'autre pour celle des quatre quarts au moyen de deux marteaux frappant l'un après l'autre les deux cloches.

Le mécanisme de remontoir, reproduit schématiquement par la fig. 113, est celui d'un mouvement à trois corps de rouages, soit le mouvement de marche et deux mouvements de frappe. Le moteur de remontage, branché sur le réseau monophasé 110 ou 220 volts, entraîne par une courroie un arbre de transmission horizontal placé le long du bâti commun aux trois corps de rouages. Cet arbre porte deux vis sans fin entraînant les mécanismes de remontage du poids des deux corps de rouages de frappe : le mécanisme du mouvement de marche est commandé au moyen d'une chaîne de Galle par le mouvement de frappe des quatre quarts et cela après chaque sonnerie.

Les deux mécanismes de remontage sont identiques à celui du mouvement Favarger décrit plus haut, tandis que la commande électrique est grandement simplifiée par l'emploi d'un contact bipolaire à mercure fixé sur une

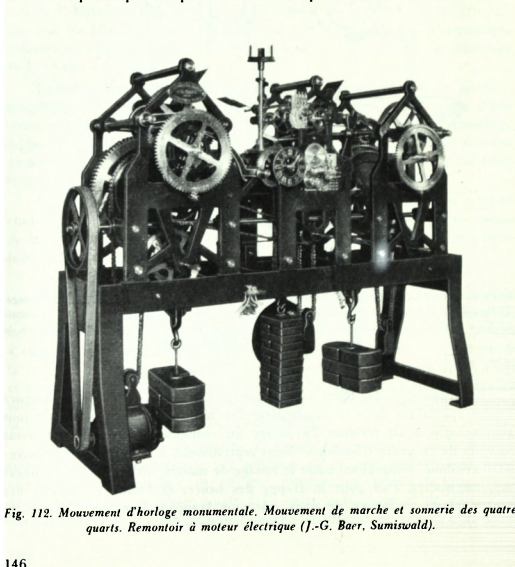


Fig. 112. Mouvement d'horloge monumentale. Mouvement de marche et sonnerie des quatre quarts. Remontoir à moteur électrique (J.-G. Baer, Sumiswald).

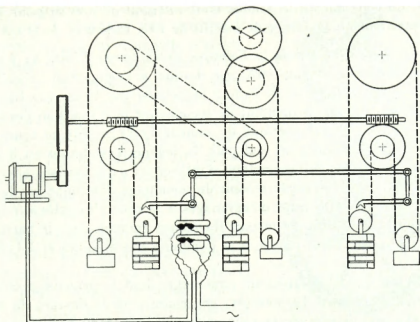


Fig. 113. Remontoir à moteur électrique d'un mouvement à 3 corps de rouages pour horloge monumentale (J. G. Baer, Sumiswald).

bascule dont le renversement est provoqué par un ergot placé sur la chape de la poulie du poids de tirage. Les renversements successifs du tube à mercure ferment le circuit du moteur lorsque le poids a atteint une position déterminée, puis l'ouvrent lorsqu'il a été remonté à sa position extrême.

### Horloges à balancier circulaire

Ces horloges connaissent actuellement une très grande faveur, spécialement dans les pays où les horloges synchrones ne peuvent être utilisées pour diverses raisons ; cette vogue est due aux progrès accomplis dans leur construction et à la simplicité de leur installation.

La caractéristique importante de ces horloges est de posséder une réserve de marche assez considérable, permettant d'éviter leur arrêt pendant une interruption du courant d'alimentation. La question qui se pose souvent est de déterminer la durée de cette réserve qui, dans les modèles actuels varie entre 4 et 48 heures ; on peut admettre maintenant que les réseaux d'éclairage électrique sont suffisamment bien établis ou ont été reconstruits de telle sorte que les pannes de courant, même dans les villages éloignés, ont une durée qui n'excède pas une dizaine d'heures ; on peut aussi admettre que le remplacement d'un fusible dans une installation intérieure ne dure pas plus que 5 à



10 heures. En conséquence, il semble donc suffisant de prévoir pour les nouvelles constructions une réserve de marche de 10 à 15 heures.

*Horloge indépendante de la Fabrique des Montres Zénith au Locle.* Ce mouvement construit depuis 1920 est destiné à l'équipement d'horloges à simple face dont le diamètre de cadran ne dépasse pas 40 cm. ; la fig. 114 en donne deux aspects qui permettent de reconnaître la disposition des organes principaux. Le circuit magnétique du moteur Ferraris (76) ne comporte de bagues de déphasage qu'à un seul pôle, la bobine d'excitation est munie de deux prises de courant qui permettent d'utiliser les deux tensions alternatives de 110 et 220 volts. Le couple moteur de remontage développé par le disque (77) est transmis par un train d'engrenages à la roue (79) calée sur l'axe de barillet, tandis que le couple moteur du ressort contenu dans le barillet (46) est transmis par un autre rouage à la minuterie des aiguilles et à l'échappement (81).

Le dispositif de limitation de remontage, dont le principe a été étudié précédemment, comporte la roue (84) engrenant avec la denture du barillet, la roue (85) engrenant avec la roue calée sur l'arbre du barillet et l'écrou balladeur (83) se vissant sur un filetage de l'axe des roues (84 et 85). Lorsque le ressort est complètement armé, l'écrou atteint l'extrémité du filetage et déplace le levier (80) dont le bras arrête la rotation du disque (77).

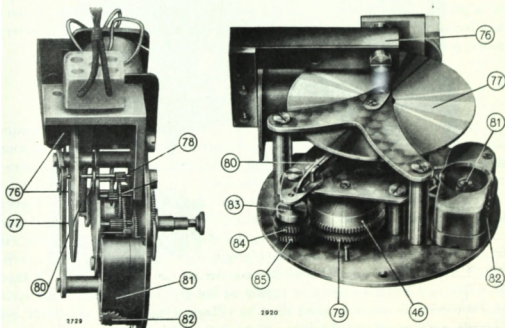


Fig. 114. Horloge indépendante de la Fabrique des montres Zénith au Locle.

En cas d'arrêt du courant, le ressort peut assurer à l'horloge une marche de 30 heures jusqu'à sa complète détente. L'échappement à ancre avec spiral auto-compensateur est protégé contre la poussière par un petit capot muni d'une fenêtre de contrôle vitrée ; les retouches du réglage peuvent se faire facilement par la petite roue moletée (82) de telle sorte qu'une précision de marche de 3 à 5 secondes par jour puisse être obtenue facilement.

Horloges indépendantes pour signalisation horaire. La Maison Zénith construit deux modèles d'horloges indépendantes équipées pour l'émission de signaux horaires : l'une réglée par un échappement à ancre est représentée par la fig. 115, l'autre, munie d'un balancier battant les  $\frac{3}{5}$  de la seconde (100 oscillations simples par minute) est reproduite par la fig. 116.

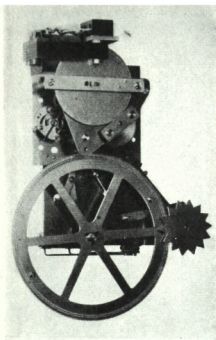
Le moteur Ferraris utilisé pour ces deux horloges est identique à celui qui équipe l'horloge indépendante normale, la puissance absorbée est toutefois de 1,5 watt.

Tout le dispositif à contact, comportant la roue de 24 heures, les contacts de commande du circuit de signalisation et la roue de sélection du programme journalier, est monté sur une platine indépendante fixée par deux vis à la platine principale du mouvement ; le rouage de ce dispositif et celui de l'horloge indépendante sont reliés par un engrenage intermédiaire.

Comme le même dispositif est utilisé pour les horloges indépendantes, les horloges mères et les mouvements secondaires, il sera décrit au chapitre XI.

Horloge indépendante avec mécanisme de frappe des heures. Le mécanisme de l'horloge indépendante a été muni, comme le montre la fig. 117, d'un dispositif de frappe des heures et des quatre quarts sur trois gongs. La fig. 118 reproduit schématiquement la disposition du rouage et permet d'en reconnaître les fonctions :

Le moteur Ferraris A, alimenté par le courant alternatif, entraîne le disque B. Ce dernier, par l'intermédiaire du rouage de démultiplication C,



*Fig. 115. Horloge indépendante munie d'un dispositif de signalisation horaire (Zénith).*

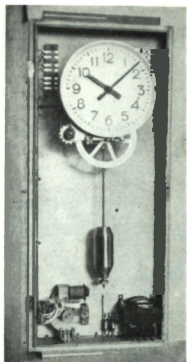


Fig. 116. Horloge indépendante à balancier munie d'un dispositif de signalisation horaire (Zénith).

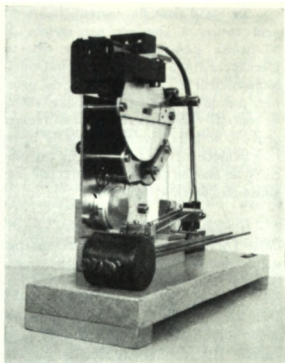


Fig. 117. Horloge indépendante « Zénith » avec mécanique de frappe des heures.

remonte le ressort du barillet D qui se dévide et transmet son couple moteur au rouage E, puis à l'échappement.

L'axe de centre F porte le colimaçon O qui est entraîné par sa rotation ; toutes les heures, le doigt du râteau G tombe dans une des entrées du colimaçon, la bascule d'arrêt H est dégagée et entraînée par le barillet, le différentiel P tourne en entraînant la roue de sonnerie I qui, au moyen de ses goupilles, soulève les marteaux L et les relâche sur les gongs M fixés au support N.

Le nombre de coups est délimité par la profondeur des entrées du colimaçon O ; après chaque coup, le doigt de râteau R fait monter ce dernier jusqu'à l'arrêt du dispositif de sonnerie. Le râteau glisse sur la périphérie du colimaçon O et, à sa prochaine chute, le cycle recommence.

Le colimaçon peut être taillé pour la sonnerie aux quarts, aux demies et aux heures.

*Horloge indépendante à moteur universel des « Heliowattwerke », à Berlin.* Le mouvement que cette maison construit équipe aussi bien les horloges mères que les horloges indépendantes, qu'elles soient à balancier pendulaire ou à balancier circulaire ; sa disposition est montrée par la figure schématique 119. Le moteur de remontoir est du type universel à collecteur, utilisable sur les réseaux à courant alternatif et sur ceux à courant continu.

Le stator (1) du moteur est magnétisé par un enroulement placé en série avec les quatre bobines du rotor par l'intermédiaire d'un collecteur à quatre lames et des balais (2 et 3) ; la mise en marche et l'arrêt du rotor sont provoqués par le déplacement du balai (3), dans ce but, le plateau denté du barillet commande un arbre fileté (4) sur lequel se déplace un long pignon (5) engrenant avec le rouage de remontoir (6). Lorsque le ressort moteur est remonté à fond, le pignon baladeur (5) atteint sa position extrême, la goupille (7) plantée sur son flanc déplace le levier (8) et soulève le balai (3), provoquant ainsi l'arrêt du moteur.

Le dispositif est construit de telle sorte que le remontage s'effectue toutes les trois heures ; la vitesse du moteur étant assez élevée, cette opération ne dure que quelques secondes ; la réserve de marche assurée est de 48 heures.

Les Etablissements « Heliowatt » construisent aussi une horloge indépendante à moteur Ferraris, réglée soit par un balancier pendulaire, soit par un échappement à ancre avec balancier circulaire. Le freinage du disque, qui a lieu quinze fois par minute durant 2 à 2 ½ secondes, est provoqué par un doigt commandé par une roue à étoile calée sur l'axe des minutes. La consom-

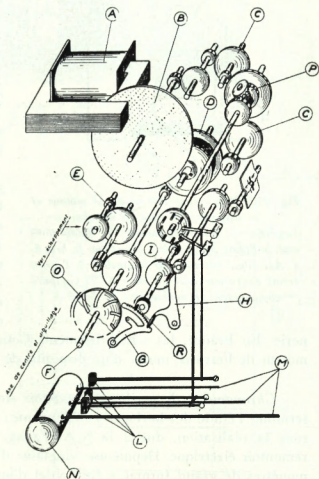


Fig. 118. Vue schématique du mécanisme de frappe des heures de l'horloge indépendante « Zénith ».

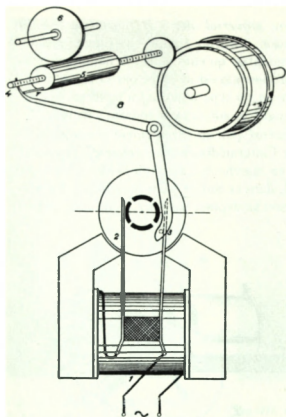


Fig. 119. Mouvement Heliowatt, le moteur et le dispositif de mise en marche.

Légende : 1. Stator du moteur. 2. Balais normal. 3. Balais pouvant être écarté par le bras 8. 4. Axe fileté entraîné par le barillet. 5. Pignon écouvillant avec la roue 6. 7. Goupille commandant le mouvement du levier 8.

nerie. En France, les « Etablissements Coïna » ont construit une horloge à moteur de Ferraris, munie d'un dispositif de réveille-matin.

*Chronomètre de marine à remontoir électrique, de la S. A. Favag.* Pour terminer l'étude des horloges indépendantes à remontoir à moteur, nous citons la réalisation, due à la S. A. Favag, d'un chronomètre de marine à remontoir électrique. Depuis une vingtaine d'années, la construction des chronomètres de grand format a été l'objet d'importants perfectionnements, leur marche est actuellement comparable à celle de bonnes pendules astronomiques et, en prenant certaines précautions, il est possible de les utiliser comme horloges de haute précision. En particulier le maintien à température constante

mation de courant par le moteur est d'environ 3 watts ; le ressort assure une réserve de marche d'une quarantaine d'heures.

De nombreuses horloges indépendantes à moteur ont été mises sur le marché ; nous ne les décrivons pas, car leur construction ne diffère que par des détails de celle des horloges que nous avons étudiées. Parmi les plus courantes, nous citerons l'horloge établie par la « Société industrielle d'horlogerie Coïna » à Paris, celle des « Etablissements Henry-Lepaute » à Paris, l'horloge « Ferramo » de T. Bäuerle & Sohn à St-Georgen (Forêt Noire), etc. toutes munies d'un moteur à disque de Ferraris.

Notons aussi qu'en Allemagne, les Maisons Kienzle et Mauthe, toutes deux à Schwenningen, ont construit des horloges indépendantes à sonnerie (bim-bam et carillon Westminster) mais que la fabrication de ces modèles a été interrompue et remplacée par celle d'horloges synchrones à son-

du coffret de petites dimensions de l'instrument peut se réaliser sans grandes difficultés et, grâce au dispositif de remontoir électrique, le remontage peut s'opérer sans choc, ni renversement du boîtier du chronomètre.

Cet appareil, représenté par les fig. 120 et 121, consiste en un chronomètre de marine, construit par la Maison Ulysse Nardin au Locle, auquel a

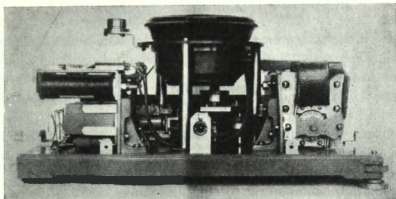


Fig. 120. Chronomètre de marine à remontage électro-automatique (Nardin-Favag).

été adjoint un dispositif de remontoir automatique dont la fig. 121 donne le schéma ; le moteur à induit en cage d'écureuil est relié par l'intermédiaire d'un engrenage démultiplicateur et d'un accouplement à glissement à l'arbre de barillet du chronomètre. La mise en marche du moteur est commandée par un contact placé sur l'un des mobiles du chronomètre, son arrêt par un deuxième contact qui se ferme lorsque le ressort est complètement armé ; le premier de ces contacts est disposé de telle sorte que le remontage s'effectue à intervalles de 12, éventuellement de 18 heures.

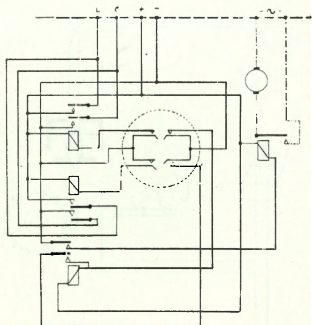


Fig. 121. Le schéma du chronomètre de marine à remontoir à moteur (Favag-Nardin)



Un relais est intercalé entre les contacts et le moteur afin d'éviter le passage du courant fort par les organes délicats du chronomètre.

Le mécanisme du chronomètre peut être pourvu de contacts fermant chaque minute ou chaque seconde le circuit d'alimentation d'horloges secondaires ou de compteurs électro-chronométriques battant la seconde.

### Horloges à remontoir électro-thermique

Ce genre d'horloges est peu répandu, car les remontoirs à électro-aimant ou à moteur sont certainement plus simples et d'un meilleur rendement ; il est toutefois intéressant de décrire à titre d'exemple l'horloge « Pneuora », construite précédemment par la *S. A. Junghans frères*, à Schramberg, et reprise depuis quelques années par la *Maison Frick*, à Zurich.

Le mouvement à balancier pendulaire est mu, comme chez les horloges que nous avons étudiées précédemment, par un ressort ; mais ce dernier, au lieu d'être armé par un moteur ou un électro-aimant, l'est par un dispositif électro-pneumatique comportant, comme le montre la fig. 122, deux organes principaux : le compresseur et le moteur ; le premier de ces organes est un petit réservoir en verre, en forme de lampe à incandescence, dont l'air est dilaté périodiquement par l'échauffement d'une résistance parcourue par un

courant électrique ; le second est un piston glissant dans un cylindre, mis en communication par une tubulure avec le réservoir de dilatation. Le mouvement de va-et-vient du piston produit par les pulsions périodiques d'air dilaté, est transmis par un encliquetage approprié à l'arbre du barillet.

Les émissions périodiques du courant de chauffage de la résistance sont produites par un contact fermé chaque minute par un des mobiles du rouage.

À titre documentaire, nous mentionnons la construction faite à titre d'essai en 1925 par la *Maison Favag*, d'une horloge basée sur un prin-

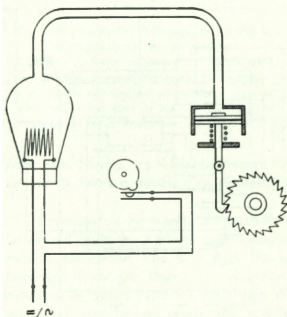


Fig. 122. Horloge à remontoir électro-thermique « Pneuora ».

cipe semblable et dont le ressort moteur était armé périodiquement par la dilatation d'une capsule manométrique contenant quelques gouttes d'éther ; un corps de chauffe, parcouru toutes les minutes par un courant électrique, provoquait la dilatation de la vapeur d'éther et la déformation de la capsule.

### **Etude critique des horloges indépendantes décrites dans ce chapitre**

Les horloges que nous venons de décrire présentent au point de vue pratique de nombreuses similitudes avec celles que nous étudierons au cours du prochain chapitre ; il est donc indiqué de rassembler à la fin de celui-ci l'étude critique de tous les systèmes d'horloges indépendantes quel que soit le mode de remontoir ou d'entretien électrique des oscillations de l'organe réglant.



## CHAPITRE VII

### HORLOGES INDÉPENDANTES DONT LES OSCILLATIONS DE L'ORGANE RÉGLANT SONT ENTRETENUES ÉLECTRIQUEMENT

L'organe moteur de toutes les horloges que nous avons décrites au chapitre VI est un poids ou un ressort remonté électro-automatiquement ; le rôle de l'organe réglant est de régulariser d'une façon précise la vitesse de rotation des mobiles du mouvement. Dans les horloges décrites dans le présent chapitre, l'organe réglant est simultanément moteur et régulateur, car ses oscillations sont entretenues par un moyen électrique. Les constructions sont innombrables et les premières datent du début de la technique de l'horlogerie électrique (Zamboni 1830) ; actuellement seules un certain nombre d'entre elles se sont maintenues grâce à leurs qualités techniques. A ces horloges, dont l'organe réglant est, soit un balancier circulaire, soit un balancier pendulaire, sont venues s'ajouter ces dernières années les horloges dont l'organe réglant est un diapason ou un cristal piézo-électrique (horloges à quartz).

Nous constaterons, au cours de l'étude qui va suivre, que les horloges dont l'utilisation s'est maintenue grâce à leurs qualités techniques, répondent à la condition primordiale suivante : les impulsions mécaniques auxquelles l'organe réglant est soumis doivent être produites par une force constamment égale et leur action doit être exempte de chocs, de secousses ou de frottements qui, s'ils existaient, compromettraient la régularité de marche de l'organe réglant et rendraient ainsi illusoire l'avantage de la constance de la force produisant les impulsions.

#### Horloges à balancier pendulaire

Dans les horloges mécaniques à remontage électrique que nous avons étudiées, l'échappement est construit de telle sorte qu'une certaine quantité d'énergie est restituée à chaque oscillation du balancier pour compenser celle qui a été perdue par les frottements de divers ordres au mouvement et au

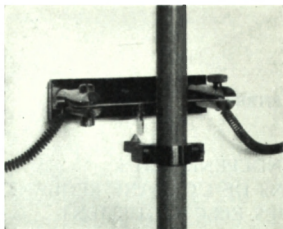


Fig. 123. *Echappement de Hipp (Favag).*

balancier. Dans les horloges que nous allons étudier, l'échappement est remplacé par un système « contact-électro-aimant » et l'énergie est restituée directement au balancier, lequel devient ainsi l'organe moteur de l'horloge.

Le système contact-électro-aimant d'impulsion est susceptible de revêtir d'innombrables formes constructives dont nous ne décrirons que celles qui sont utilisées pratiquement à l'heure actuelle.

*Horloge à palette de Hipp.* Cette horloge est encore fabriquée couramment par Favag comme horloge mère ; par contre, elle n'est plus guère utilisée comme horloge indépendante. Nous décrirons néanmoins son système d'impulsion électro-magnétique et nous reviendrons sur sa construction générale lorsque nous traiterons les horloges mères des réseaux de distribution horaire.

Le problème que Hipp chercha à résoudre déjà en 1834 est le suivant : Renouveler les impulsions motrices, non pas après un nombre fixe d'oscillations du balancier, mais au moment où, par suite des résistances s'opposant à la continuation du mouvement oscillatoire, l'amplitude de ce dernier a atteint un minimum déterminé d'avance. En d'autres termes, il faut que l'interrupteur établissant le courant dans l'électro-aimant d'impulsion, se ferme, non pas sous la dépendance du rouage de l'horloge, mais soit commandé par le balancier pendulaire lui-même. Cette fermeture doit avoir lieu, sans apporter de perturbations à la marche de l'horloge, au moment où l'amplitude des oscillations atteint une valeur déterminée. Ce problème ardu fut résolu par Hipp d'une manière extrêmement élégante par l'invention de l'échappement à palette et contre-palette, représenté par les fig. 123 et 124.

Le balancier (1) porte à son extrémité inférieure une armature rectangulaire en fer doux (2), oscillant au-dessus des pièces polaires d'un électro-aimant (3) fixé au bâti de l'horloge, sur la verticale passant par le point de suspension du balancier. A peu près à la moitié de la hauteur du pendule, est placé le contact automatique (4) fermant le circuit de l'électro-aimant d'impulsion (3) ; ce contact comporte les pièces suivantes : fixée au balancier, par le moyen d'une petite équerre métallique, une contre-palette triangulaire

(7) en pierre dure, agathe ou saphir, portant à l'angle supérieur une échancrure (8). Fixée au bâti de l'horloge, une lame de ressort (5) en acier ou en bronze, serrée à l'une de ses extrémités par une mâchoire et portant à l'autre un contact (4) en platine ou en argent. Sous cette lame, pend librement une petite palette en acier trempé (6) ; tant que l'amplitude de l'oscillation du balancier est suffisamment grande, cette palette frôlera la contre-palette et sera écartée sur la gauche ou sur la droite. Mais, au moment où l'amplitude sera suffisamment réduite, il arrivera un instant où le retour du balancier

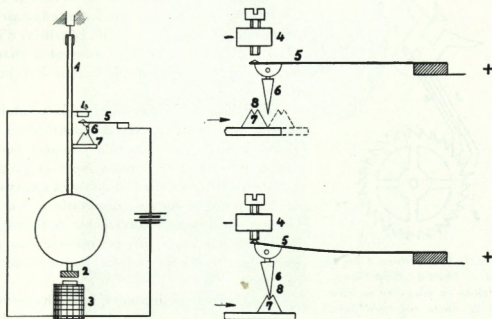


Fig. 124. Echappement à palette de Hipp.

1) Balancier. 2) Armature en fer doux. 3) Electro-aimant. 4) Contact. 5) Lame de ressort. 6) Palette pendante. 7) Contre-palette en pierre dure portant une échancrure 8.

s'effectuera au moment précis où le tranchant de la palette se sera engagé dans l'échancrure (8) de la contre-palette ; il y aura en ce moment arc-boutement entre les deux pièces et la palette soulèvera la lame (5). Le contact (4) sera fermé et le circuit de l'électro-aimant bouclé ; la brève impulsion de courant excitera ce dernier et l'armature sera attirée ; le balancier recevra ainsi une impulsion qui lui restituera la portion de force vive qu'il avait perdue.

La durée et l'instant de cette attraction, qui doit avoir lieu exclusivement pendant la partie descendante de la course, dépendent de la distance entre l'axe de la palette et la verticale passant par le point de suspension du



balancier. La restitution de la force vive au balancier se fait sans choc ni vibration, lorsque les positions respectives de la palette et de la contre-palette ont été soigneusement réglées et que l'électro-aimant se trouve bien sur la verticale du point de suspension.

La transmission du mouvement alternatif du balancier au rouage du mouvement s'opère au moyen d'un système d'encliquetage variant selon le type d'horloge ; à titre d'exemple, nous donnons la description de l'encliquetage à béquilles utilisé pour les horloges à secondes (fig. 125) :

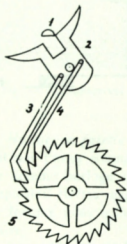


Fig. 125. Encliquetage à béquilles de l'horloge Hipp-Favag.

1) Prisme en acier fixé au balancier. 2) Ancre renversée par le prisme. 3) et 4) Béquilles d'impulsion. 5) Roue d'échappement.

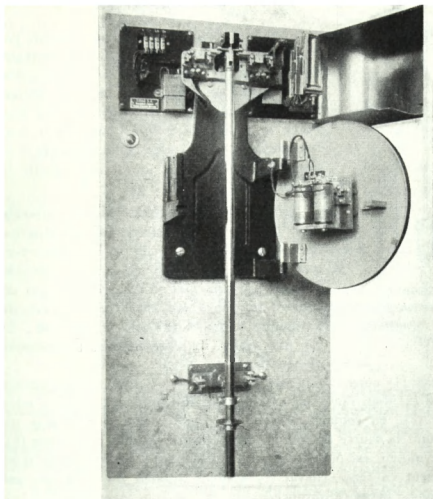
(1) est un petit prisme en acier, solidaire du balancier et oscillant avec lui en faisant chavirer tantôt à gauche, tantôt à droite la bascule (2) munie de deux cliquets (ou béquilles) d'impulsion (3) et (4), lesquels poussent à chaque oscillation une demi-dent de la roue à rochet à trente dents (5).

Un des grands avantages de la pendule à échappement de Hipp est la valeur élevée du couple exercé par le balancier moteur sur la roue à rochet puis sur le mouvement, ce qui permet de munir ce dernier ou même la suspension du balancier de certains dispositifs à contact. On peut ainsi, sans aucun trouble de la marche de l'horloge, fermer un ou plusieurs circuits électriques toutes les minutes, toutes les secondes, etc.

Les balanciers des horloges à échappement de Hipp battent en général la seconde, les deux tiers de la seconde ou la demi-seconde, soit 60, 90 ou 120 alternances par minute.

Le régulateur de précision que montre la fig. 126 est une application intéressante du pendule à échappement de Hipp, due à la Maison Favag, de Neuchâtel. Le balancier battant la seconde est constitué par une lentille lourde en laiton (poids 8 1/2 kg.), fixée en son centre de gravité sur une tige d'invar ; une douille de laiton compense encore la dilatation de la suspension en acier, à moins que cette dernière soit constituée par des ressorts de Nivarox ou d'élinvar.

Les oscillations du balancier sont entretenues par un échappement de Hipp ; le contact se produit toutes les 120 secondes. La caractéristique de ce régulateur est qu'il ne comporte aucun rouage mû par le balancier, mais un dispositif de contact de Hipp (voir chapitre X) placé immédiatement au-dessus de la suspension à ressorts. Cet organe ferme alternativement toutes



*Fig. 126. Régulateur à seconde Favag.*

les secondes deux circuits, comportant chacun un relais dont les contacts sont combinés électriquement de telle sorte que le circuit commandé soit parcouru, comme le montre le schéma (fig. 127) par des impulsions de courant de sens alternativement inversé chaque seconde.

Cette disposition permet de commander un ou plusieurs mouvements secondaires (voir chapitre XI) battant la seconde, dont l'un équipe le cadran du régulateur et en meut les trois aiguilles centrales. La précision d'un tel instrument est excellente, tout spécialement si l'on prend la précaution de l'alimenter par une source de courant à tension constante.

## Horloges à aimant permanent et à bobine sans fer

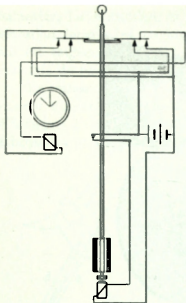


Fig. 127. Régulateur de précision  
« Favag » avec échappement  
de Hipp.

Cette solution, adoptée fréquemment par les constructeurs français, dérive des travaux de Féry ; elle consiste à utiliser l'attraction qu'exerce sur un aimant permanent une bobine sans fer lorsqu'elle est traversée par un courant ; les modèles les plus intéressants sont ceux de Bulle-Clock et de Hatot (horloges Ato) que nous examinerons après avoir étudié le principe constructif de Féry.

*Horloge de Féry.* Cette horloge présente deux caractéristiques intéressantes : l'entretien des oscillations du balancier par un aimant permanent, pénétrant librement dans un solénoïde sans fer et l'alimentation de ce dernier par un courant induit produit par l'arrachement de l'armature d'un électro-aimant polarisé ; la fig. 128 donne la représentation schématique de cette horloge.

Le balancier (1) porte à son extrémité inférieure un aimant permanent en fer à cheval (2) dont l'une des branches pénètre librement dans un solénoïde sans fer (3) ; un contact élastique (4) ferme à chaque oscillation un circuit comportant la source de courant et un électro (5) dont l'armature (6), pivotée en son milieu, est normalement appuyée contre les deux pôles d'un aimant permanent en fer à cheval (7). Chaque branche de ce dernier est munie d'une bobine (8) et (8') branchées en série avec le solénoïde (3).

Quand le balancier (1) oscille vers la gauche, il ferme à un moment donné le contact (4), l'électro-aimant (5) devenu actif attire brusquement l'armature (6) qui, en pivotant, s'arrache de l'aimant permanent (7) ; un bref courant induit prend naissance dans le circuit comportant les bobines (8) et (8') et le solénoïde (3). Le champ magnétique engendré attire l'aimant (2) fixé au balancier et lui imprime l'impulsion mécanique désirée.

La construction de cette horloge est trop compliquée pour compenser l'avantage dû à l'alimentation à tension presque constante du solénoïde d'impulsion ; de plus, la consommation de courant est assez considérable puisque l'électro-aimant (5) est excité à chaque oscillation. Néanmoins, la solution Féry a été, comme nous l'avons dit, le point de départ de la construction d'autres horloges plus simples qui ont trouvé un large débouché commercial, en France notamment.

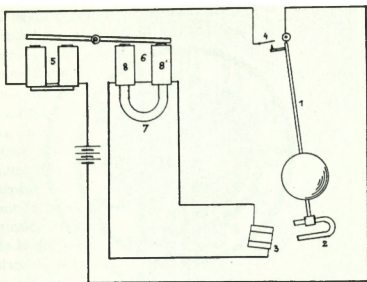


Fig. 128. Horloge de Féry.

- 1) Balancier. 2) Aimant permanent. 3) Solénoïde d'impulsion.
- 4) Contact élastique. 5 et 6) Electro-aimant et armature.
- 7) Aimant permanent portant les bobines 8 et 8'.

*Horloge « Ato », construite par la S. A. des Etablissements Léon Hatot, successeurs de Paul Garnier, à Paris.* Il était certainement tentant de conserver de la pendule Féry le système d'impulsion du balancier par aimant et solénoïde et de profiter des avantages apportés par cette combinaison, en particulier la faible consommation de courant du solénoïde.

L'horloge « Ato » est reproduite par la fig. 129 et par le dessin schématique fig. 130. Son balancier (1), battant la demi-seconde, porte à son extrémité un aimant permanent au cobalt (2), de section circulaire et de forme arquée, dont l'une des extrémités s'engage librement dans un solénoïde (3) ; le circuit d'impulsion électrique comporte la source de courant, constituée en général par une pile sèche donnant une tension de 1,5 volt, le solénoïde (3) et le contact (4). Sur le balancier (1) est articulé un cliquet (5) qui, à chaque oscillation, fait avancer d'une dent une roue à rochet (6) constituant le premier mobile du rouage de l'horloge. Les dents de cette roue soulèvent à chaque impulsion le petit galet du cliquet de retenue (7) commandant le contact (4), de telle façon qu'à chaque oscillation une brève impulsion de courant soit envoyée dans le solénoïde (3).

Le contact électrique se fait en (4) entre deux lamelles garnies d'or et une goupille, revêtue d'une chemise de platine iridié, portée par le cliquet de retenue (7).



*Fig. 129. Mouvement indépendant « Ato » monté dans une pendulette de table.*

Les conditions de travail normales sont les suivantes :

Pour une amplitude normale de 15 mm. (environ  $3^{\circ}$ ) de part et d'autre de la verticale, la menée de la roue à rochet (6) par le cliquet commence lorsque l'extrémité du balancier se trouve à 5 mm. de la verticale et le cliquet de retenue doit être soulevé de telle sorte que le courant commence à passer 3 mm. avant la verticale et soit interrompu 4 mm. après la verticale. On constate que l'impulsion motrice et la résistance mécanique coïncident au moment du passage du balancier par la verticale.

La pression de contact est minime, 0,6 à 1 gramme, mais l'intensité à couper est très faible, environ 1 milliampère.

Le réglage de la période se fait de la manière usuelle par le déplacement de la lentille au moyen d'un écrou de réglage. Les marches de ces horloges sont excellentes et l'on peut compter sur un écart de marche diurne moyen de 0,15 à 0,20 seconde.

Pendulette « Ato ». Pour l'équipement de pendulettes de table dont le diamètre du cadran ne dépasse pas 15 à 20 cm., le mouvement d'horloge que nous venons de décrire a été réduit en dimensions ; le principe d'entretien

des oscillations du balancier ( $\frac{1}{4}$  de seconde) est resté le même, mais le contact d'émission des impulsions de courant est commandé directement par les déplacements alternatifs du balancier.

Les conditions normales de travail sont les suivantes :

Amplitude normale  $10^{\circ}$  à  $12^{\circ}$  de part et d'autre de la verticale ; début de l'avancement de la roue à rochet, 4 mm. avant le passage du balancier par la verticale, fin de l'avancement, 4 mm. après le dit passage. Le courant est établi dans le circuit du solénoïde 2 mm. avant le passage par la verticale et est interrompu 2 mm. après ce passage. Pression de contact 0,15 à 0,20 gramme.

Les variations d'amplitude de l'oscillation du balancier, dues à la diminution progressive de la tension de la pile, sont corrigées par un régulateur à courants de Foucault consistant en un tube de cuivre dans lequel pénètre librement, lors de son oscillation, une des branches de l'aimant permanent.

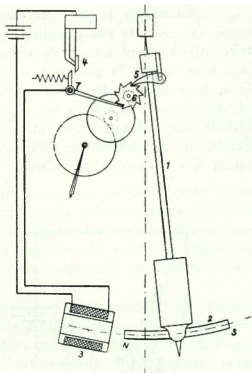


Fig. 130. Horloge indépendante « Ato ».  
1) Balancier. 2) Aimant permanent arqué.  
3) Solénoïde d'impulsion. 4) Contact. 5) Cliquet d'impulsion. 6) Roue à rochet. 7) Cliquet de retenue commandant le contact.

*Pendule Bulle-Clock.* Dans les trois pendules que nous venons de décrire, l'aimant porté par le balancier pénètre librement dans le solénoïde ; dans la Bulle-Clock, créée par Favre-Bulle, c'est l'aimant qui est fixe tandis que la bobine est mobile ; cette disposition, bien qu'elle complique quelque peu le montage, permet d'obtenir un couple moteur relativement puissant ; l'aimant arqué est assez long et comporte un pôle en son milieu.

L'horloge Bulle-Clock présente l'originalité d'utiliser comme contact la fourchette de commande du mécanisme d'encliquetage assurant l'entraînement des aiguilles ; ce dispositif est représenté par la fig. 131 dans laquelle (1) est la fourchette d'entraînement ou bascule, pivotée en (2) ; (3) un petit prisme en argent solidaire du balancier et oscillant avec lui, faisant chavirer tantôt à gauche, tantôt à droite la fourchette (1) ; (5) et (6) sont deux cliquets ou béquilles d'impulsion, lesquelles pressent à chaque demi-oscillation une dent de la roue à rochet (7).



La fourchette (1) (fig. 132) est en acier trempé ; de chaque côté de son entrée (8) est rivée une garniture, l'une isolante (9) en fibre, l'autre conductrice (10) en argent. Lorsque le prisme (3) se déplace vers la droite, il s'appuie, puis frotte contre la garniture conductrice (10), le contact s'établit et ferme le circuit comportant la source de courant et le solénoïde (11) fixé au balancier (4). Une impulsion motrice est imprimée à ce dernier et lui restitue l'énergie utilisée pour la manœuvre du mécanisme et du contact. Le contact n'est établi que lors du déplacement du balancier vers la droite et pendant un arc d'oscillation bien déterminé. La pratique a démontré que ce dispositif de contact

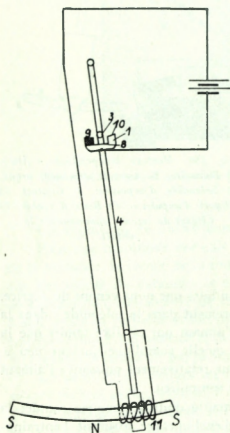


Fig. 131. Pendule Bulle-Clock. 1) Fourchette d'entraînement et son entrée 8. 3) Prisme de contact fixé au balancier. 4) Balancier. 9) Garniture isolante. 10) Garniture conductrice. 11) Solénoïde d'impulsion.

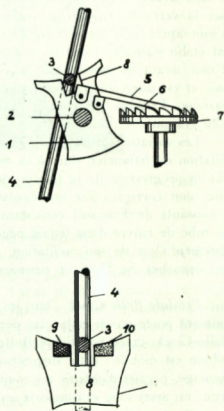


Fig. 132. Horloge « Bulle-Clock », le contact et la transmission du couple moteur. 1) Fourchette ou bascule. 2) Pivot de la fourchette. 3) Prisme en argent solidaire du balancier. 4) Tige du balancier. 5 et 6) Cliquets élastiques. 7) Roue à rochet. 8) Entrée de la fourchette. 9) Garniture isolante. 10) Garniture conductrice.

est judicieusement établi, car les pièces fermant le circuit frottent l'une contre l'autre et cela sous une pression relativement considérable.

### De quelques réalisations intéressantes

Les conceptions que nous allons brièvement décrire sont intéressantes en ce sens qu'elles peuvent encore servir de point de départ pour les nouvelles constructions susceptibles d'être utilisées pratiquement.

*Horloge Froment et quelques dérivés.* La pensée qui avait guidé Hipp, Hope-Jones et d'autres dans la conception de leurs systèmes, était de restituer au balancier, après un certain nombre d'oscillations, l'énergie qu'il avait perdue par suite des résistances mécaniques diverses ; ces solutions, malgré les avantages certains qu'elles présentent, n'en comportent pas moins divers inconvénients :

Une critique souvent émise est la variation de l'amplitude de l'oscillation du balancier qui, par exemple pour le pendule à seconde de Hipp varie entre un minimum de  $2^{\circ} 26'$  et un maximum de  $3^{\circ} 12'$  ; pour éviter les variations de marche qui peuvent en résulter, il est nécessaire que l'intervalle entre deux impulsions motrices reste constant, ainsi que les amplitudes maximales et minimales. D'autre part, la valeur de l'impulsion motrice devant être relativement élevée, il est nécessaire d'accorder une pression de contact suffisamment grande au contact de commande. Par contre, le grand avantage de ces systèmes, celui de Hipp en particulier, réside dans leur grande simplicité et dans la robustesse de leurs organes.

Pour pallier aux inconvénients signalés ci-dessus, certains constructeurs ont imité le principe mécanique de l'horloge à échappement et restituent à chaque oscillation ou demi-oscillation l'énergie perdue.

L'une des réalisations les plus intéressantes est celle de *Froment*, reproduite aux fig. 133 et 134 ; le poids moteur (1), formé par un levier pivoté en (2) est soulevé par le balancier durant la fin de la course

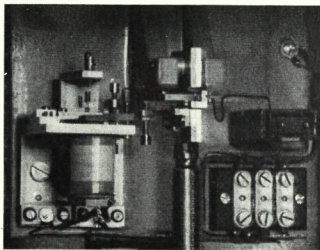


Fig. 133. Horloge Froment ; réalisation Favag.

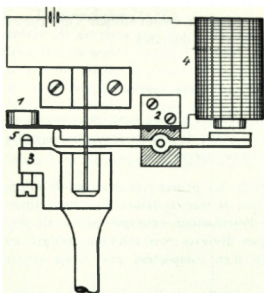


Fig. 134. Principe de l'horloge Froment.  
1) Poids moteur. 2) Point de pivotement  
du levier moteur. 3) Bras fixé au balancier.  
4) Electro-aimant. 5) Contact de commande.

de droite à gauche ; lors du retour de gauche à droite, il exerce son action sur le balancier par l'intermédiaire du bras (3) ; cette pression a lieu pendant un arc descendant un peu plus grand que l'arc ascendant, ce qui suffit pour instituer au balancier l'énergie perdue. La commande de ces fonctions se fait par le moyen de l'électro (4), dont le circuit est fermé par le contact (5).

L'horloge de Froment, si sa construction est d'une extrême simplicité, n'en est pas moins affectée de deux graves défauts : d'une part, la pression exercée par les pièces de contact électrique entre elles est très faible, quelques décigrammes, ce qui risque de produire des ratés dans la

fonction de l'électro-aimant et, d'autre part, le fait que l'impulsion motrice a lieu à fin de course du balancier, ce qui exerce une influence considérable sur la période d'oscillation de ce dernier.

Plusieurs constructeurs se sont laissés tenter par le principe de Froment et ont cherché à l'améliorer ; les solutions de Liais et de Vérité, en France, celle de Gill, en Angleterre, caractérisée par le fait que l'impulsion est donnée au moment du passage par la verticale, n'ont pas été retenues par la pratique.

Deux systèmes, l'un allemand et l'autre autrichien, dérivés du principe de Froment ont par contre été utilisés constructivement, mais le développement de leur fabrication a été suspendu par la guerre.

L'horloge « W. Z. » [32], construite dès 1928, par *Wilhelm Zeh*, à *Fribourg-en-Brisgau*, comporte un dispositif de restitution de l'énergie, représenté par la fig. 135. On remarquera que le contact, au lieu de s'opérer entre le bras solidaire du balancier et le levier d'impulsion, se fait entre ce dernier et une butée fixe (1) ; la transmission de l'impulsion motrice a lieu au moyen d'une pièce verticale (2) qui vient s'appuyer sur le bras fixé au balancier.

Par ce moyen, la pression de contact est sensiblement augmentée ce qui élimine, partiellement du moins, un des défauts du dispositif moteur de Froment ; à mentionner que le mouvement alternatif du levier d'armature (3) est utilisé pour l'entraînement, au moyen d'un encliquetage approprié, d'une

roue à rochet formant le premier mobile du rouage de l'aiguillage.

Le système de *Satori*, à *Vienne* [29. 4], dont les premières exécutions datent de 1914, est représenté schématiquement par la fig. 136. Sa constitution est la suivante : (1) est le levier d'impulsion fixé par une lame de ressort à un support fixe (2), utilisé également pour l'encastrement de la suspension (3) du balancier (4) ; (5) est un bras solidaire de la partie mobile (6) de la suspension et qui transmet l'impulsion motrice de restitution donnée par le levier (1). La commande des mouvements du dispositif se fait par

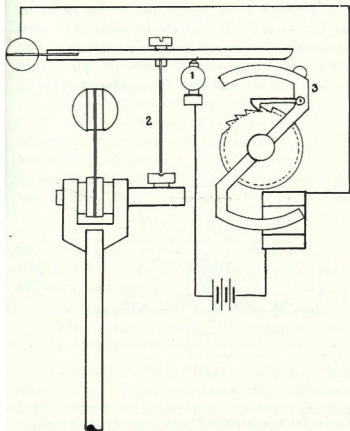


Fig. 135. Horloge « W. Z. »

- 1) Butée contact. 2) Lame transmettant l'impulsion motrice au balancier. 3) Armature et levier d'encliquetage.

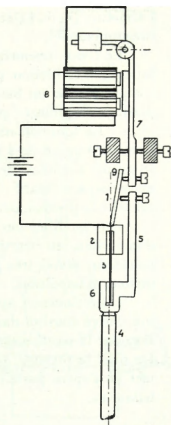


Fig. 136. Principe de l'horloge Satori.

- 1) Levier d'impulsion. 2) Support fixe. 3) Suspension du balancier. 4) Balancier. 5) Bras de transmission de l'impulsion, fixé à la partie mobile de la suspension 6, 7) Armature de l'électro-aimant 8. 9) Contact de commande.

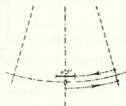


Fig. 137. Diagramme de l'impulsion motrice de l'horloge Satori.

l'armature (7) de l'électro (8) dont le circuit est ouvert ou fermé par le contact interrupteur (9).

Le fonctionnement est identique à celui de la pendule Froment ; l'amplitude de l'oscillation peut être variée dans une très large proportion, elle comporte pour un balancier placé à l'air libre  $2^{\circ} 30'$  de chaque côté de la position d'équilibre ; pour un balancier placé dans le vide, elle est réduite à  $1^{\circ} 30'$ . La consommation de courant est très minime, environ 2 milliampères, sous une tension de 4 volts. Cette pendule, comme celle de Froment, présente le grand avantage de ne nécessiter aucun huilage puisqu'elle ne comporte aucun organe rotatif ; il est donc possible de la placer dans une enceinte dans laquelle la pression peut être réduite à 5 ou 10 mm. de mercure.

Une modification de ce système a été faite en 1942 par Novak : l'organe d'impulsion, au lieu d'être soumis à l'influence du ressort d'articulation, est monté sur pivots très précis et agit par son propre poids sur le levier transmetteur d'impulsion.

L'amélioration apportée au principe Froment par le système Satori et son dérivé consiste dans le fait que l'impulsion se donne au moment du passage par la position d'équilibre comme le montre le diagramme de la fig. 137. De plus, la pression du contact peut être relativement élevée puisque le contact ne s'opère pas au moyen du levier transmettant l'impulsion motrice au balancier.

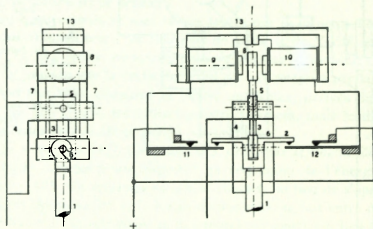


Fig. 138. Entretien des oscillations par la suspension à ressort, système Baumann.

- 1) Balancier. 2) Bras de contact. 3) Ressorts de suspension. 4) Bâti de l'horloge. 5) Pièce fixe de la suspension. 6) Pièce de la suspension fixée au balancier. 7) Piliers auxquels est fixée l'armature 8, 9 et 10) Electro-aimants polarisés par l'aimant permanent 13. 11 et 12) Contacts fermés par les bras 2.

*Entretien des oscillations du balancier par sa suspension à ressort.* Signaux, plutôt pour leur intérêt théorique, quelques dispositifs d'entretien des oscillations du balancier par sa suspension à ressort dus à Strasser de Glashütte, à Irk de Vienne, à Siemens-Schuckert de Berlin. A titre d'exemple, nous reproduisons à la fig. 138 le système d'entretien de Baumann, de Furtwangen.

Le balancier (1) est suspendu à la manière habituelle par deux ressorts (3) fixés au bâti (4) par une pièce (5) ; la plaquette (6), attachée aux ressorts (3), supporte un cadre métallique constitué par deux piliers (7) et une traverse (8) en fer doux. Cette traverse forme l'armature commune de deux électro-aimants (9) et (10), polarisés chacun par un aimant permanent ; deux contacts (11) et (12), fermés à chaque demi-oscillation, excitent alternativement les deux électro-aimants de telle sorte que l'armature (8), attirée à gauche puis à droite, imprime à chaque demi-oscillation une impulsion au balancier (1).

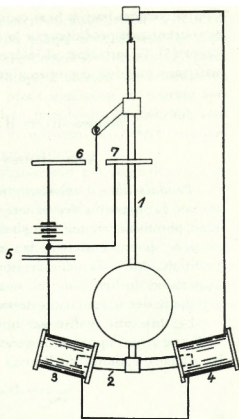


Fig. 139. Pendule de Grégory  
1) Balancier. 2) Aimant permanent.  
3 et 4) Solénoïdes d'impulsion. 5) Condensateur. 6 et 7) Contacts fermés alternativement.

*Pendule de Grégory.* Il est connu que la période d'oscillation du balancier n'est pas influencée par l'impulsion motrice lorsque l'une des deux conditions suivantes est remplie :

une impulsion brève au moment où le balancier passe par la verticale, ou deux impulsions égales et constantes, symétriques de part et d'autre de la verticale.

Pour réaliser la deuxième condition, le pendule de Féry utilise, comme nous l'avons vu précédemment, deux brefs courants induits ; Grégory, en 1889, proposa d'utiliser deux impulsions produites par la décharge à tension constante d'un condensateur (fig. 139).

Le balancier (1) porte un aimant permanent (2) plongeant alternativement dans deux solénoïdes (3) et (4) faisant partie d'un circuit comportant une pile, un condensateur (5) et un système de deux contacts (6) et (7), fermés



alternativement par un bras conducteur solidaire du balancier. Les impulsions de courant sont produites par la charge et la décharge alternatives du condensateur (5). Ce principe est intéressant et a été repris par divers constructeurs, mais sans toutefois conduire à des réalisations éprouvées par la pratique.

## Systèmes divers d'auto-entretien des oscillations

### Auto-entretien par cellule photo-électrique

*Pendule libre à auto-entretien du Général Ferrié.* Les perfectionnements qui ont été apportés depuis une vingtaine d'années à la construction des cellules photo-électriques ou photo-sensibles, ont permis l'utilisation de ces dernières pour l'entretien des oscillations du balancier : on réalise ainsi la condition idéale du pendule libre : la suppression du lien matériel, source de la plupart des irrégularités de marche.

Le dispositif réalisé par le Général Ferrié pour l'appareil de commande des signaux rythmés du Bureau inter-

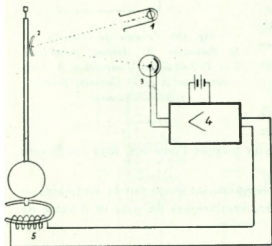


Fig. 140. Balancier libre à entretien des oscillations par solénoïde et contact à cellule photo-sensible, système Ferrié. 1) Projecteur. 2) Miroir concave fixé à la tige du balancier. 3) Cellule photo-sensible. 4) Amplificateur. 5) Solénoïde d'impulsion.

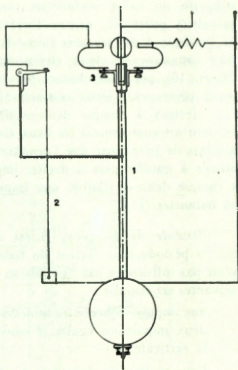


Fig. 141. Entretien de l'oscillation d'un balancier par la dilatation et la contraction d'un fil échauffé par un courant électrique. Horloge système Jamin de la Fabrique des Montres Zénith.

1) Balancier. 2) Fil moteur par action thermique. 3) Contact de commande.

national de l'Heure, à Paris, est l'un des premiers en date ; nous en donnons à la fig. 140 la reproduction schématique. La lampe à incandescence d'un projecteur (1) envoie un rayon de lumière sur un miroir concave (2) placé sur la tige du pendule ; le rayon réfléchi balaye à chaque demi-oscillation la cellule photo-électrique (3) qui émet une brève impulsion de courant lors du passage du pendule par la verticale. Ces impulsions de courant sont amplifiées par l'amplificateur à lampes (4) et utilisées par l'électro-aimant (5) pour la restitution au balancier de l'énergie perdue.

Malgré l'intérêt qu'il présente, mais probablement par suite des complications qu'il apporte, le dispositif à cellule photo-électrique n'a guère été utilisé pour la construction des horloges proprement dites ; on peut regretter cet ostracisme, car les résultats obtenus par les appareillages à cellules photo-sensibles utilisés pour la synchronisation de certaines horloges de précision sont fort encourageants (horloge Schuler, centrale horaire du Laboratoire suisse de recherches horlogères, etc.). Il est certain que l'application de montages semblables, réalisés avec des cellules modernes donneraient des solutions excellentes pour l'entretien des oscillations des balanciers pendulaires ou de torsion destinés à des horloges de grande précision.

### Auto-entretien thermo-électrique

*Horloge Zénith, brevet Jamin.* Cette horloge a été fabriquée dès 1922 pendant un certain nombre d'années par la Fabrique des Montres Zénith, au Locle ; abandonnée aujourd'hui, elle présentait néanmoins un certain intérêt quant au principe de son moteur thermique. La fig. 141 en représente le mécanisme ; à son examen, on se rend facilement compte comment les oscillations du balancier (1) sont entretenues par la dilatation et la contraction successives d'un fil en alliage spécial (2) parcouru par des impulsions de courant périodiques émises par un contact (3) placé à la suspension. Un deuxième contact, fermant un circuit contenant une résistance, est disposé de telle sorte qu'une étincelle ne puisse se produire au contact de commande.

Cette horloge a aussi été construite en utilisant la dilatation et la contraction du fil pour remonter le ressort d'un barillet ; l'horloge, munie d'un échappement à ancre, possédait ainsi une réserve de marche d'une quarantaine d'heures.

### Horloges à balancier circulaire

Le problème de l'entretien électrique immédiat des oscillations du système spiral-balancier a toujours vivement préoccupé les horlogers, et, nombreuses sont les solutions plus ou moins utilisables qui ont été proposées.

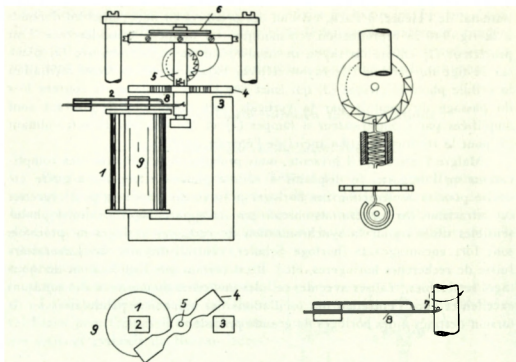


Fig. 142. Mouvement « Sterling » et son échappement. 1) Electro-aimant. 2 et 3) Pièces polaires. 4) Armature. 5) Axe du balancier. 6) Spiral. 7) Ergot fixé à l'axe. 8) Lamelle de contact. 9) Bobinage de l'électro-aimant.

Actuellement, seuls quelques principes constructifs ont subi victorieusement les épreuves de la pratique et sont aujourd'hui plus spécialement employés pour la construction des mouvements des horloges de petit diamètre et des montres de bord, alimentées par du courant continu à très basse tension (de 3 à 12 volts).

Les deux premières horloges que nous proposons comme types de cette catégorie sont basées sur un principe constructif commun, mais différent quant à leur exécution et à la façon de résoudre le problème du contact.

*Mouvement « Sterling » fabriqué par « Horlogerie électrique S. A. », à Reconvilier.* Le mouvement électrique « Sterling », représenté schématiquement par la fig. 142, comporte les organes suivants :

(1) est un électro-aimant à circuit magnétique lamellé, en forme de fer à cheval, dont l'armature (1), fixée à l'axe (5) du balancier, oscille en regard des pièces polaires (2) et (3) dans un plan perpendiculaire à l'axe des noyaux. Lorsque le balancier, dans sa demi-oscillation de gauche à droite, arme le spiral (6), un petit ergot (7), fixé à l'axe, passe avec une certaine pression sur

un plan incliné formé à l'extrémité d'une lamelle de contact élastique (8). La durée du passage est telle que le début du contact ait lieu lorsque l'armature (4) fait un angle de  $45^{\circ}$  avec la droite joignant les deux pièces polaires (2) et (3) et cesse peu avant qu'elle soit parallèle à cette droite.

Lors de l'oscillation de droite à gauche, l'ergot (7) ne fait qu'effleurer pendant un très court instant l'extrémité inférieure du plan incliné de la lamelle (8).

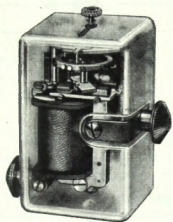


Fig. 143. Mouvement  
Sterling.

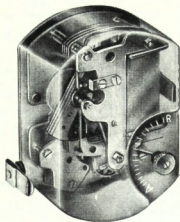


Fig. 143 a. Mouvement à remontage par  
électro-aimant « Qualitas », construit  
par Horlogerie Electrique S. A., à Re-  
convilier. (Note : Le principe construc-  
tif de ce mouvement est semblable à  
celui des horloges décrites au chap. VI,  
pages 130 et ss.)

Lorsque l'ergot (7) et la lamelle (8) sont en contact, le circuit : pôle +, bobinage (9) de l'électro-aimant (1), masse, pôle —, est fermé, l'électro-aimant attire pendant un arc d'environ  $40^{\circ}$  l'armature (4) ce qui imprime au balancier, à chacune de ses oscillations, l'impulsion motrice suffisante pour entretenir sa vibration et transmettre l'énergie nécessaire au rouage du mouvement.

La transmission de l'énergie au rouage se fait par le moyen d'un petit cliquet élastique, formé par l'extrémité d'un ressort à boudin logé dans un évidement de l'axe du balancier. A l'aller, le cliquet appuie contre le flanc radial d'une des dents de la roue d'échappement, tandis qu'au retour, il se plie et échappe le long du plan incliné de la dent suivante.

Voici quelques données concernant l'exécution du mouvement Sterling représenté par la fig. 143. Nombre d'oscillations simples du balancier par minute : 240, le balancier bat donc le  $\frac{1}{4}$  de seconde.

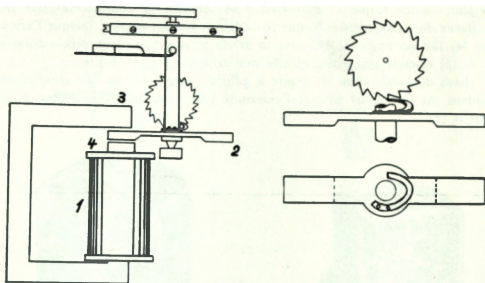


Fig. 144. Mouvement « Orel » et son échappement. 1) Electro-aimant. 2) Armature. 3 et 4) Pièces polaires.

Fréquence de la fermeture du contact : 120 par minute.

Résistance de l'électro-aimant 2450 ohms.

Diamètres normaux des cadrans de 60 à 300 mm.

Durée d'une pile 4,5 volts de bonne qualité : 6 à 8 mois.

Tension minimale admise 3,8 v.

La S. A. Horlogerie Electrique, à Reconvilier, a construit très récemment un nouveau mouvement électrique, échappement à ancre, mouvement 15 rubis (fig. 143 a), pour lequel elle a toutefois adopté le principe du remontage périodique du ressort moteur par un électro-aimant à armature basculante, tel qu'il est décrit au chapitre VI, pages 130 et ss.

*Mouvement « Orel », fabriqué par H. Buèche-Rossé, à Court.* Le mouvement électrique « Orel », représenté par les fig. 144 et 145, est construit comme suit :

L'électro d'impulsion (1) comporte un circuit magnétique lamellé fermé dans lequel un petit entre-fer est pratiqué ; l'armature (2) fixée à l'axe du balancier oscille en regard des pièces polaires (3) et (4) de cet entre-fer dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'électro-aimant. Comme pour le mouvement Sterling, le dispositif de contact fermant le circuit du bobinage de l'électro-aimant sur la source de courant comporte une lamelle élastique avec une lame d'appui empêchant la vibration et un doigt de contact fixé à l'axe du

balancier. La seule différence est que dans le mouvement Orel c'est le doigt de contact qui est formé en plan incliné, tandis que l'extrémité de la lamelle est légèrement arrondie.

La transmission du mouvement du balancier s'opère au moyen d'un cliquet élastique formé par une lame de ressort coudée et rivée sur l'armature.

Le mouvement est muni de 6 rubis et est alimenté par une pile sèche de 1,5-3 ou 4,5 volts. Le diamètre des cadrans varie de 50 mm. (montre pour automobile) à 30 cm.

La manufacture « Orel » fabrique un nouveau type de mouvement basé sur le même principe électrique mais muni d'un échappement à ancre.

*Montre électrique « Jaeger », fabriquée par les Etablissements Ed. Jaeger, à Paris.* Ce mouvement, destiné à l'équipement des montres de bord d'automobiles et d'avions, est un exemple très suggestif d'appareil horaire simple, mais robuste et précis, apte à être fabriqué en très grandes séries ; la fig. 146 en donne le principe constructif.

Le balancier porte une pièce de fer doux (1) à trois branches en forme de « trèfle » placée entre les pièces polaires d'un électro-aimant (2). Quand le balancier est au repos, son spiral (3) le rappelle dans une position telle que l'une des branches du « trèfle » soit placée entre les deux pièces polaires. Le circuit électrique comporte l'enroulement de l'électro-aimant (2) et un contact, fermé au repos, consistant en un petit doigt (4), porté par un ressort spiral (5) fixé au bâti et une goupille (6) solidaire du balancier.

Sitôt les bornes de la montre mises en communication avec la source de courant, l'électro-aimant est excité et cherche à attirer le « trèfle » ; comme celui-ci est en équilibre instable entre les deux pièces polaires, il démarre dans un sens ou dans l'autre de façon que deux de ses branches viennent se placer en face des pièces polaires pour fermer le circuit magnétique. Mais avant que le « trèfle » ait atteint cette position, le doigt (4) a quitté la goupille (6), le courant est coupé, le balancier continue sa rotation puis, son oscillation achevée, revient en arrière. Au passage par la position d'équilibre le contact est rétabli, le « trèfle » continue sa rotation, l'attraction se fait dans l'autre sens et l'impulsion d'entretien est donnée au balancier.

La transmission du mouvement du balancier au rouage s'opère d'une façon très ingénieuse (fig. 146 a) ; l'axe du balancier porte deux collerettes parallèles (1 et 1') fendues radialement ; l'une des lèvres de chacune de ces

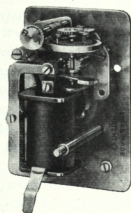
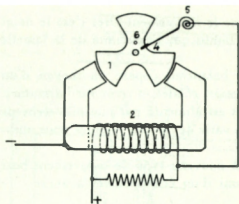
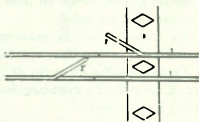


Fig. 145.  
Le mouvement « Orel ».





(Fig. 146) 1) Armature en forme de trèfle.  
2) Electro-aimant. 4) Contact. 5) Ressort  
du contact. 6) Goupille de contact.



(Fig. 146 a) 1 et 1') Collerettes cir-  
culaires fixées à l'axe de l'armature.  
2 et 2') Plans inclinés. 3) Roue  
d'échappement munie de dents en  
forme de losange.

Fig. 146 et 146 a. Principe du mouvement de la montre électrique des Et. Ed. Jaeger S. A.

fentes a été relevée de façon à former deux plans inclinés (2 et 2'). Dans le plan vertical contenant l'axe du balancier tourne une roue (3) munie de dents dont la section est un losange ; cette roue est placée de telle sorte que ses dents viennent s'intercaler entre les deux collerettes et soient menées par les deux plans inclinés (2 et 2'). La roue (3) tourne donc d'une dent à chaque demi-oscillation du balancier et entraîne les aiguilles par l'intermédiaire des engrenages classiques.

Le contact (4-6) est protégé contre les effets du courant de self-induction par une résistance non inductive placée en parallèle avec l'enroulement de l'électro-aimant.

La consommation de courant est très faible et ne décharge la batterie de bord (6 ou 12 volts) que d'une quantité tout à fait négligeable.

### Etude critique des horloges indépendantes

Nous grouperons ci-dessous l'étude critique des horloges indépendantes que nous avons étudiées au cours des chapitres VI et VII, mais pour cet examen, nous ne considérerons plus comme critère le rôle que joue l'électricité dans ces horloges, mais bien les conditions et les qualités qu'impose leur emploi par le grand public.

Le vendeur d'une horloge indépendante insiste avec raison sur la simplicité de l'installation de ce modèle d'horloge : « On plante un clou à la paroi, on y accroche l'horloge et, selon le modèle de celle-ci, on la relie par deux fils au réseau d'éclairage ou bien on y place une pile sèche neuve de 4 ½ volts... puis on la laisse marcher, sans plus s'en occuper. »

Si cette simplicité séduit le client, elle a par contre posé quelques problèmes difficiles aux constructeurs qui, malheureusement pour la réputation des horloges électriques, ne leur ont pas toujours accordé une attention suffisante. Sans vouloir entrer dans trop de détails, il est utile d'examiner quelques-unes des précautions à prendre lors de la construction et de la vente des horloges indépendantes :

1. Les corrections de l'heure indiquée par l'horloge doivent être très rares, sinon on annule l'avantage du remontage électrique ; conséquences : le rouage de l'horloge doit être judicieusement établi et exécuté avec le plus grand soin, la « camelote » ne peut être admise ; la denture des engrenages ne doit pas être trop fine afin d'éviter un freinage par la poussière ; l'échappement ou le balancier pendulaire doivent être de très bonne qualité, compensés aux températures : tiges de balancier en acier au nickel ou même en invar, la tige en bois ne sera admise qu'après avoir pris toutes les précautions nécessaires ; échappement à balancier compensateur, spiral auto-compensateur en élinvar ou en Nivarox (attention à l'aimantation) ; le réglage de l'échappement par la raquette doit pouvoir s'accomplir facilement, dans une marge assez large.

Lorsque le mouvement est mû par un ressort, le choix des dimensions de ce dernier n'est pas sans importance ; en règle générale, on utilisera un ressort long et relativement faible de telle sorte que sa détente reste durant toute sa durée dans la partie linéaire de la courbe de variation du couple en fonction du déroulement. Le remontage aura lieu à intervalles tels que la différence entre le couple moteur du début et celui de la fin de la période normale de détente soit aussi petite que possible.

2. La partie électrique de l'horloge, remontoir à moteur ou à électro-aimant ou dispositif d'entretien des oscillations du balancier, doit être établie d'une manière qui tienne compte des règles fondamentales de l'électrotechnique ; une construction au petit bonheur, un « bricolage » doivent être proscrits.

On prêtera tout particulièrement attention à la consommation de courant qui doit être aussi minime que possible afin d'utiliser en plein et au mieux la capacité de la pile d'alimentation ; on parviendra à ce résultat en construisant le circuit magnétique et l'armature de l'électro-aimant de remontoir d'une manière aussi parfaite que possible, ce qui permettra d'augmenter la résistance du bobinage et de diminuer la durée du contact. De même, on veillera à ce que l'amplitude des oscillations d'un balancier pendulaire entretenu électrique-

ment reste aussi faible que possible et à ce que l'impulsion motrice, comme la transmission d'énergie, soient aussi brèves que possible et aient lieu au moment du passage par la verticale.

3. Les causes de dérangements accidentels doivent être éliminées par un examen sévère de la construction de l'appareil et par des essais prolongés; ceci concerne en particulier le contact fermant le circuit de l'électro-aimant de remontoir ou d'impulsion ; nous avons vu que ce contact doit être à fermeture et à rupture brusques, qu'il doit résister à la brûlure et à l'usure et être protégé contre la formation de l'étincelle du courant de self-induction.

Le mouvement et en particulier le porte-échappement doivent être protégés contre le dépôt de poussières et contre l'humidité ; la chaleur produite par le moteur de remontage doit être évacuée le mieux possible.

4. Enfin, la pratique fera reconnaître que l'opération de remontage doit être silencieuse, que les mouvements ne doivent jamais être surchargés par des aiguilles trop lourdes ou mal équilibrées.

*Et surtout*, le vendeur n'oubliera pas de faire remarquer à l'acheteur que, tous les trois ou quatre ans, il est indispensable de faire nettoyer et huiler le mouvement comme aussi de faire nettoyer, éventuellement remplacer le contact.

## CHAPITRE VIII

### HORLOGES INDÉPENDANTES DE HAUTE PRÉCISION

Nous grouperons dans ce chapitre les descriptions de quelques horloges électriques de haute précision dont les oscillations de l'organe réglant sont entretenues par un moyen électrique ; cet organe n'est pas nécessairement un balancier pendulaire à faible fréquence d'oscillation mais peut être aussi un système oscillant vibrant à haute ou moyenne fréquence, tel qu'un diapason ou un cristal de quartz.

Nous constaterons, au cours de cette étude, que le développement scientifique de l'application de l'électricité à l'horlogerie a produit des résultats extrêmement satisfaisants et que cette nouvelle branche de la métrologie de précision du temps a un avenir prometteur devant elle.

Avant d'aborder la description de quelques horloges de haute précision, il peut être utile de définir ce qu'on entend par « horloge de précision » et par « horloge astronomique ».

Pour connaître les qualités qu'on demande à une horloge de précision, nous ne pouvons faire mieux que de reproduire les prescriptions du « Règlement pour l'observation des pendules à l'Observatoire astronomique et chronométrique de Neuchâtel », édition du 29 novembre 1932.

- a) Les pendules, installées dans un local à température constante, sont comparées chaque jour, à la même heure, aux pendules normales de l'Observatoire ; la durée des observations est de trois mois.
- b) Les marches diurnes des pendules qui ne se trouvent pas dans un récipient d'air sous densité constante sont réduites à la pression atmosphérique moyenne de 720 mm. de mercure ; le bulletin de marche indique ces marches diurnes ainsi que le coefficient barométrique correspondant à un changement de pression de 1 mm. de mercure.
- c) Au cours des épreuves, les pendules sont observées pendant deux jours à la température de  $+ 30^{\circ}$  C. ; cette température est atteinte graduellement pendant les 24 heures qui précèdent l'épreuve thermique ; la température de  $+ 30^{\circ}$  C. est ensuite ramenée graduellement à la température antérieure en un jour ; les variations diurnes

pendant cette période de quatre jours et pendant les deux jours qui suivent, n'entrent pas dans le calcul des limites indiquées ci-après, mais sont mentionnées dans le bulletin de marche.

d) Les pendules sont réparties en deux classes : les pendules se trouvant sous pression barométrique constante forment la classe A ; toutes les autres pendules sont comprises dans la classe B.

e) Les limites pour l'obtention d'un bulletin de marche sont :

	<i>Classe A</i>	<i>Classe B</i>
Variation moyenne de la marche diurne	$\pm 0,05$ sec.	$\pm 0,10$ sec.
Différence des marches moyennes de la première et de la dernière semaine . .	$\pm 0,50$ sec.	$\pm 1,00$ sec.
Différence de deux marches diurnes consécutives . . . . .	$\pm 0,15$ sec.	$\pm 0,50$ sec.

On remarquera que ces conditions sont assez sévères et que, pour y satisfaire, le projet d'une horloge de précision doit être établi après une étude approfondie et que sa construction doit être l'objet de soins tout particuliers. Toutes les fonctions de leurs organes doivent être étudiées dans le plus petit détail, le matériel employé à la fabrication des diverses pièces constitutives sera choisi avec soin, on veillera tout particulièrement à sa stabilité au cours des années. On cherchera à diminuer le nombre des organes à lubrifier et on choisira l'huile avec une attention toute spéciale.

Enfin, puisque les horloges que nous étudions utilisent pour leur fonctionnement le courant électrique, il faudra veiller à ce que les sources de courant qui les alimentent donnent une garantie complète quant à la permanence du courant et à la stabilité de sa tension.

Les qualités qu'on demande aux horloges astronomiques sont encore plus grandes, puisque c'est à elles que l'on confie la « garde du temps » ; nous reproduisons ci-dessous quelques indications qu'a bien voulu nous donner M. Edmond Guyot, Directeur de l'Observatoire astronomique et chronométrique de Neuchâtel :

« La précision d'une pendule astronomique est caractérisée par la régularité de sa marche diurne et par la constance de sa marche moyenne mensuelle. Calculons la marche moyenne et chaque marche du mois. La moyenne arithmétique de ces différences est l'écart moyen mensuel de la pendule ; pour une pendule astronomique, cet écart moyen doit être inférieur à 0,01 sec., c'est-à-dire qu'il doit être de l'ordre de quelques millièmes de seconde. Quant à la marche moyenne mensuelle, elle varie un peu d'un mois à l'autre ; on constate généralement une tendance à l'avance due au vieillissement des hui-

les. Pour une bonne pendule, cette avance atteint rarement 0,01 sec. entre deux mois consécutifs. Elle a son analogue chez les chronomètres : c'est la reprise de marche ; pour une pendule, un faible écart moyen mensuel est indispensable au point de vue pratique ; la reprise de marche est moins importante. »

## Horloges à balancier pendulaire

La première horloge astronomique dont les oscillations du balancier étaient entretenues par un moyen électrique fut construite par Hipp ; il utilisa avec plein succès son échappement à palette et contre-palette et plusieurs des horloges ainsi équipées donnèrent des résultats remarquables pour l'époque ; l'une d'entre elles, installée à l'Observatoire de Neuchâtel, conserva durant deux années (1888-1890) une constance de marche supérieure à celle des meilleures horloges astronomiques connues.

Mais parallèlement, la construction des horloges mécaniques avait été grandement améliorée, le remontage électrique leur avait été appliqué et depuis lors, elles furent les seules à être utilisées comme horloges astronomiques.

Par contre, depuis 1930 environ, les horloges électriques connaissent de nouveaux succès et, à l'heure actuelle, le record de précision de marche appartient à des horloges à organes réglants mus par un moyen électrique.

**Horloge Shortt.** Cette horloge, construite dans les ateliers de la Synchronome Cy. Ltd., de Londres, a été créée par W.-H. Shortt avec la collaboration de F. Hope-Jones. L'idée directrice qui inspira le constructeur était de réaliser un pendule libre, c'est-à-dire libéré de toute entrave mécanique ; le

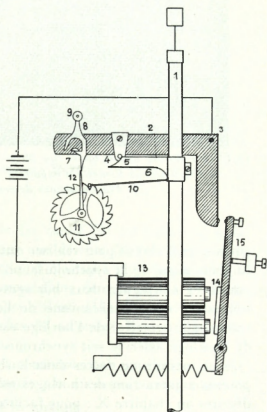


Fig. 147. Horloge Shortt, le remontoir « Synchronome ».

- 1) Balancier. 2) Levier d'impulsion pivotant en 3. 4) Roulette glissant sur la courbure 5 du bras 6. 7) Ergot fixé au levier 2. 8) Détente pivotant en 9. 10) Cliquet élastique. 11) Roue à rochet. 12) Fléau déplaçant la détente 8. 13) Electro-aimant. 14) Armature fixée au levier 15.



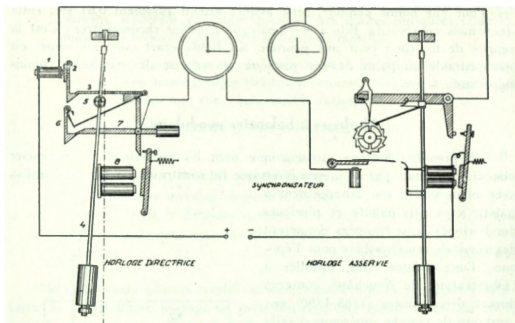


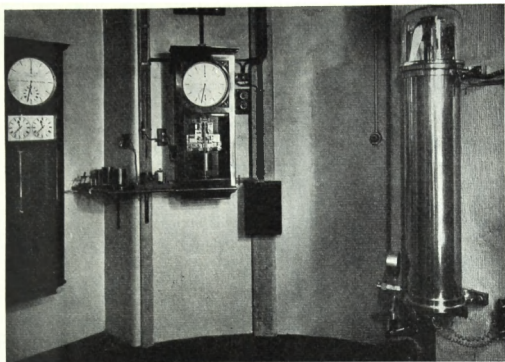
Fig. 148. Schéma général de l'horloge astronomique Shortt.

- 1) Electro-aimant excité toutes les 30 secondes. 2) Armature libérant le bras moteur 3  
4) Balancier. 5) Roulette d'impulsion. 6) Détente libérant le levier interrupteur 7.  
8) Electro-aimant de remise en place du bras moteur.

chemin qu'il choisit pour réaliser cette idée fut d'utiliser les possibilités qu'offre le phénomène de la synchronisation d'un balancier par un autre ; en 1920, il parvint à conjuguer deux horloges fabriquées par la Synchronome Cy., de telle sorte que le mécanisme de l'échappement de l'horloge directrice soit commandé par celui de l'horloge asservie, tandis qu'inversement le balancier de l'horloge asservie soit synchronisé par celui de l'horloge directrice.

Le mécanisme de ces deux horloges est le même que celui qui est utilisé pour la construction des horloges mères de la Synchronome Cy. et qui seront décrites au chapitre X ; pour faciliter l'étude de l'horloge Shortt, nous avons jugé utile de décrire ici même ce mécanisme inventé et perfectionné dès 1905 par F. Hope-Jones et dont le principe consiste en la restitution au balancier, à intervalles réguliers suffisamment longs, de l'énergie perdue et ce, au moment où le balancier passe par la verticale.

La fig. 147 représente ce mécanisme, placé à une distance de la suspension égale aux  $\frac{7}{10}$  de la longueur effective du balancier ; derrière la tige (1) de ce dernier se trouve un levier coudé (2) pivoté en (3), dont le bras horizontal porte une petite roulette (4) pouvant glisser sur la courbure (5) d'un



*Fig. 149. Horloge astronomique « Shortt ».*

bras (6) fixé à la tige de balancier ; ce levier coudé (2) est maintenu à sa position de repos par un ergot (7) retenu par une détente (8) pivotant en (9).

La tige du balancier porte aussi un cliquet élastique (10) qui, à chaque oscillation de retour du balancier, fait avancer d'une dent la roue à 15 dents (11). Fixé à l'axe de cette dernière, un petit fléau (12) déplace à chaque tour de la roue à rochet (11), soit toutes les 30 secondes, l'extrémité de la détente (8).

La partie électrique du mécanisme est constituée par un électro-aimant (13) dont l'armature (14) est maintenue écartée par un ressort antagoniste.

Le fonctionnement de ce dispositif est le suivant :

Au moment où la roue à rochet (11) a effectué sa rotation complète, le fléau (12) déplace le levier de détente (8) ce qui dégage l'ergot (7). Le levier coudé (2), ainsi libéré, appuie sur le chemin ménagé à l'extrémité du bras (6) fixé à la tige de balancier ; il communique à ce dernier une légère impulsion motrice, qui cesse au moment où le bras vertical du levier (2) entre en contact avec l'extrémité du bras (15) fixé à l'armature (14) de l'électro-aimant (13). A ce moment, un circuit électrique constitué par le levier coudé (2), le bras (15), le bobinage de l'électro-aimant (13) et la source de courant est

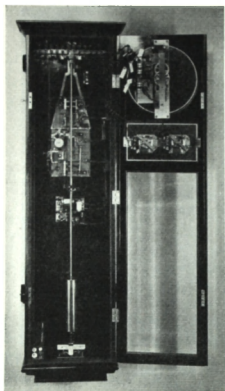


Fig. 150. Horloge « Shortt ». L'horloge asservie.

fermé : l'armature est attirée, le bras (15), dont elle est solidaire, ramène le levier coudé à sa position de départ à laquelle il est maintenu par la détente (8).

Le dispositif est ainsi prêt pour une nouvelle opération. Cette description sera complétée au chapitre X, auquel nous renvoyons le lecteur.

Revenant à l'horloge Shortt, nous pourrons au moyen de la fig. 148 nous rendre compte du rôle joué par chacune des deux horloges constitutives (fig. 149) et la manière dont leurs balanciers sont accouplés.

Le mécanisme d'entretien des oscillations du balancier de l'horloge asservie (fig. 150) est en tous points identique à celui que nous venons de décrire ; le circuit électrique est disposé de telle sorte que les impulsions de courant de remontage, émises toutes les 30 secondes, alimentent une horloge secondaire de contrôle et un électro-aimant faisant partie du mécanisme de l'horloge directrice.

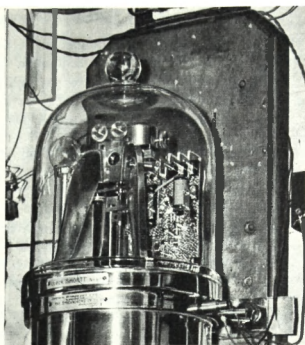
Le mécanisme de l'horloge directrice (fig. 151) comporte un mécanisme d'impulsion dont le principe d'action est identique à celui que nous venons d'exposer mais dont l'exécution est quelque peu différente afin de réaliser le but visé par Shortt : la création d'un pendule libéré de toute fonction mécanique susceptible de créer un couple résistant.

Le dispositif d'entretien des oscillations est formé par deux organes distincts ; l'électro-aimant (1) dont le bobinage est parcouru toutes les 30 secondes par les impulsions de courant émises par l'horloge asservie et dont l'armature (2), lorsqu'elle est attirée, libère le bras moteur (3) — l'électro-aimant (8), dont l'armature lorsqu'elle est attirée, replace, par l'intermédiaire d'un jeu de leviers, le bras moteur (2) à sa position initiale.

Le fonctionnement de ce double dispositif est le suivant :

L'impulsion de courant émise par l'horloge asservie excite l'électro-aimant (1) au moment où le balancier (4), sur son chemin de droite à gauche, va atteindre la position verticale ; le bras moteur (3) est libéré par son armature (2) et la goupille demi-cylindrique qu'il porte vient se poser sur la partie

supérieure d'une petite roulette (5) fixée à la tige du balancier ; mais comme ce dernier continue son mouvement de droite à gauche, la goupille du bras moteur continue sa descente, tout en lui imprimant une légère impulsion mécanique. La rotation du bras moteur s'arrête au moment où, par l'intermédiaire d'une détente (6), le levier interrupteur (7) vient en contact avec la vis conductrice de l'armature de l'électro-aimant (8). À ce moment, le circuit qui alimente ce dernier est fermé, l'armature est attirée et, par l'intermédiaire du levier (7), remet le bras moteur (2) à sa position de départ.



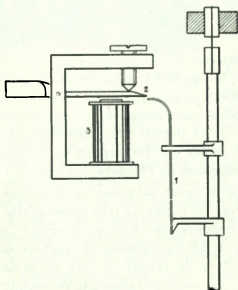
*Fig. 151. Horloge « Shortt ». Le mécanisme de l'horloge directrice.*

La synchronisation de l'horloge asservie par la directrice est assurée par le dispositif représenté par la fig. 152 ; la tige du balancier de l'horloge asservie porte un léger ressort plat vertical (1) terminé par un bec pouvant venir en contact avec un autre ressort (2) porté par l'armature de l'électro-aimant de synchronisation (3), l'enroulement de ce dernier étant parcouru, comme l'indique la fig. 149, toutes les 30 secondes par les impulsions de courant émises par le contact du dispositif d'impulsion de l'horloge directrice.

Le fonctionnement de ce dispositif de synchronisation est le suivant : la période d'oscillation du balancier asservi est réglée de telle sorte qu'elle soit très légèrement supérieure à celle du balancier de l'horloge directrice ; il en résulte que le ressort (2) de l'armature de l'électro-aimant de synchronisation est encore abaissé au moment de l'arrivée du ressort (1) fixé au pendule ; les deux ressorts entrent en contact et, par suite de l'élasticité du ressort (1), une légère accélération est imprimée au balancier, d'où correction de la période du balancier asservi.

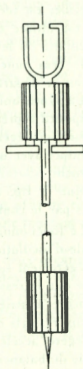
Le principe de l'horloge Shortt a été remarquablement discuté par F. Hope-Jones [3 b], nous nous contenterons de résumer ci-après les points les plus frappants de cette discussion.

1. Le balancier de l'horloge directrice est pratiquement libre.
2. L'impulsion motrice donnée au balancier de l'horloge directrice débute en un lieu qui reste absolument constant et qui est situé quelques minutes d'angle avant le passage par la position verticale ; elle se termine quelques minutes après le passage par cette position : la période d'oscillation n'est donc pas troublée par l'impulsion.
3. L'impulsion motrice n'étant reçue que toutes les 30 secondes, le trouble qu'elle pourrait apporter à la constance de la période est réduit au maximum, tout spécialement si l'on compare ce mode d'action avec celui d'horloges mécaniques ou électriques dans lesquelles l'impulsion motrice est donnée toutes les secondes. Il est toutefois vrai que l'amplitude décroît d'une dizaine de secondes d'arc (angle total) d'une impulsion motrice à la suivante, mais comme ces impulsions sont émises à intervalles constants, la période moyenne de l'oscillation reste pratiquement constante.



*Fig. 152. Synchronisateur de l'horloge asservie.*

- 1) Ressort plat fixé à la tige du balancier.
- 2) Ressort porté par l'armature de l'électro-aimant de synchronisation 3.



*Fig. 153. Horloge Schuler, le pendule*

Ajoutons encore à ce qui précède les quelques considérations suivantes :

Le balancier de l'horloge asservie étant synchronisé par celui de l'horloge directrice, on peut sans inconvénient charger cette horloge des fonctions mécaniques et électriques nécessaires à l'entretien des deux balanciers et à la commande des horloges secondaires à demi-minute, éventuellement des compteurs électrochronométriques battant la seconde.

Les qualités énumérées ci-dessus expliquent les marches réellement étonnantes de certaines horloges Shortt, installées dans des centres chronométriques tels que les observatoires de Greenwich, de Paris, du Cap, de Lick, etc.

*Horloge à pendule partiellement équilibré de Schuler.* Cette horloge, conçue par l'ingénieur Max Schuler et installée à l'Observatoire de Göttingue, a été l'objet d'études minutieuses qui n'ont été arrêtées que par la guerre en 1942. Son principe constructif [25. 4] a pour base les deux propositions suivantes :

1. Utilisation d'un pendule dont la période est indépendante de la position du point de suspension.
2. Utilisation du contact optique (cellule photo-électrique) lié à une impulsion électro-magnétique destinée à l'entretien des oscillations.

La première proposition répond au désir d'éviter l'influence de la variation de longueur du balancier due à la présence de la suspension à ressorts (voir à ce sujet le chapitre IV). Schuler a porté son choix sur un pendule dont le point de pivotement se trouve à une distance de son centre de gravité égale à son rayon de giration (nous rappelons que le rayon de giration est le rayon à l'extrémité duquel on pourrait concentrer la masse du corps, tout en conservant son moment d'inertie), ce rayon est égal à  $\rho = \sqrt{\frac{I}{M}}$ . La période d'un tel pendule ne dépend plus que de la répartition des masses qui le composent, elle est égale à :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2\rho}{g}}$$

Le pendule que Schuler a construit répond à cette condition : il est constitué par une tige portant une masse à chaque extrémité, le tout étant usiné en une seule pièce dans une barre d'invar ; la suspension est, comme le montre la fig. 153, formée par un couteau placé à la distance  $\rho$  du centre de gravité.

La deuxième proposition tend à éviter que l'impulsion motrice fasse subir un contact mécanique quelconque au balancier. Pour réaliser cette condition, Schuler a utilisé une impulsion électro-magnétique produite par



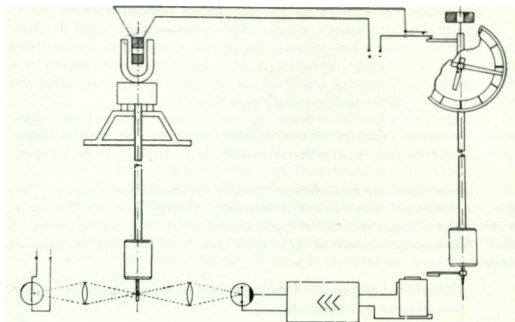


Fig. 154. Disposition schématique de l'horloge Schuler.

une cellule photo-sensible ; deux dispositifs ont été créés : dans le premier, l'impulsion électro-magnétique est produite indirectement comme le montre le schéma de la fig. 154 ; une horloge mécanique Riefler normale est utilisée comme appareil auxiliaire et remplit le même rôle que le régulateur asservi de l'horloge Shortt. Le balancier équilibré de l'horloge directrice synchronise, par l'intermédiaire d'une cellule photo-sensible, le balancier de l'horloge auxiliaire tandis qu'un contact, actionné par le mouvement de cette dernière émet les impulsions motrices utilisées pour l'entretien des oscillations du balancier de l'horloge directrice.

La synchronisation se produit durant une minute deux fois par heure, ce qui réduit fortement la durée du travail de la cellule, mais complique sensiblement l'appareillage auxiliaire de l'horloge.

Dans le dispositif qui a suivi celui que nous venons de décrire, le régulateur auxiliaire est supprimé et les oscillations du pendule sont entretenues directement par les impulsions de courant émises par la cellule photo-sensible.

Chez ces deux variantes, l'impulsion de courant est transformée en impulsion motrice au moyen du dispositif reproduit par la fig. 155. A l'extrémité du pendule équilibré est fixé un aimant en fer à cheval entre les branches duquel se trouve une bobine plate à deux enroulements fixée au bâti de l'horloge ; ces enroulements forment les deux boucles d'un 8, placés de telle sorte

que les pôles de l'aimant se déplacent de part et d'autre des spires communes aux deux boucles. Les impulsions de courant, de sens alternativement inversé chaque seconde, sont émises soit par un contact placé à la suspension de balancier de l'horloge auxiliaire, soit par un relais polarisé placé dans le circuit de la cellule photo-sensible (horloge deuxième exécution, à impulsions directes).

Diverses précautions ont dû être prises pour assurer la stabilité de la marche :

Le pendule équilibré et ses dispositifs auxiliaires ont été placés dans une enceinte à pression constante dans laquelle l'air a été remplacé par de l'hydrogène séché, à la pression de 100 mm. de mercure ; cette substitution est intéressante car, d'une part, la résistance du milieu ambiant est 13 fois plus faible qu'avec l'air et, d'autre part, on évite toute oxydation du balancier.

Afin de maintenir la température constante, la cloche contenant l'horloge a été placée dans une cage dans laquelle la température est maintenue constante à  $+23^{\circ}\text{C.}$ , avec des écarts maxima de  $\pm 0^{\circ}08\text{C.}$

La condition essentielle est de maintenir la tension du courant d'impulsion constante afin que l'amplitude du balancier reste constante. Cette condition a été satisfaite par l'utilisation de valves de stabilisation de tension dites « Stabilovolts ».

Pour terminer, nous donnons quelques caractéristiques de l'horloge et quelques résultats de marche :

Amplitude totale d'oscillation du balancier équilibré :

Exécution I :  $2^{\circ}12'$

Exécution II :  $2^{\circ}55'$

Variation maximale d'amplitude :

Exécution I :  $\pm 0,01''$

Exécution II :  $\pm 0,06''$

L'indication horaire et le contrôle de la marche de l'horloge se font en intercalant un oscillographe sur le circuit de la cellule photo-sensible.

Bien que les résultats de marche publiés avant la guerre ne donnent aucun renseignement précis permettant de déterminer les valeurs des marches diurnes et des marches moyennes mensuelles, telles qu'elles ont été définies au début de ce chapitre, on peut se rendre compte que le principe constructif de cette horloge permet d'espérer des résultats fort satisfaisants : il sera tou-

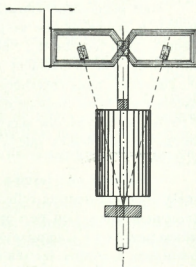


Fig. 155. Horloge Schuler, le dispositif moteur de l'horloge directrice.

tefois intéressant d'analyser certaines perturbations, par exemple la répétition à intervalles très réguliers de sauts brusques de la marche pouvant atteindre 0,01 sec. par jour.

### Horloges à diapason et à cristal de quartz

Tout phénomène vibratoire est en principe utilisable pour la mesure du temps, à condition que sa période d'oscillation, en d'autres termes sa fréquence, reste constante ; l'horlogerie n'est donc pas réduite à se borner à utiliser le seul mouvement oscillatoire d'un balancier, qu'il soit pendulaire ou circulaire, mais cherchera à faire usage du mouvement vibratoire d'autres oscillateurs. C'est dans ce domaine, nouveau pour l'horlogerie classique, que l'électricité rendra des services inappréciables et qu'elle permettra la résolution de problèmes que l'horlogerie mécanique n'est pas en mesure de résoudre.

Il est vrai que jusqu'à l'heure actuelle, seules la vibration d'une lame métallique élastique et celle d'un cristal piézo-électrique sont utilisables pratiquement, mais rien ne s'oppose à ce qu'il soit fait usage de celle d'autres vibreurs. Nous n'empiéterons pas sur ce domaine de l'avenir et nous nous bornerons à étudier les réalisations actuelles, en particulier l'horloge à diapason et celle à cristal piézo-électrique.

#### Horloges à diapason

Le constructeur Hipp fut l'un des premiers qui utilisa la vibration d'une lame d'acier trempé pour la mesure du temps. Son chronographe enregistreur et son chronoscope (inventé en 1861) comportent en effet un réglage de la vitesse de rotation des mobiles du rouage par une lame vibrante dont l'oscillation est entretenue mécaniquement par l'échappement des dents d'une roue à denture triangulaire. La régularisation de la vitesse angulaire est extrêmement précise et permet des mesures horaires d'une très grande exactitude. Malheureusement, ce dispositif ne peut être employé que pendant des durées relativement faibles, quelques heures au maximum ; l'effort de flexion imposé à la lame est trop considérable et conduit à la longue à la rupture de cette dernière.

A mentionner toutefois que la Maison Philipps à Eindhoven construit un petit vibreur à lame élastique dont les vibrations sont entretenues électriquement par un dispositif semblable au rupteur de la bobine de Ruhmkorff. Nous verrons, au paragraphe suivant, les précautions à prendre pour éliminer l'influence perturbatrice des variations de température auxquelles le vibreur peut être soumis ; notons aussi que la lamelle est enfermée dans une enceinte

dans laquelle on a fait le vide, de façon à supprimer l'oxydation du contact par l'étincelle de rupture, de même que l'influence des variations de la pression atmosphérique.

L'utilisation du diapason pour des mesures horaires de précision est déjà relativement ancienne, mais la nécessité d'employer un contact autorupteur pour l'entretien électro-magnétique des vibrations présentait les inconvénients connus et mit un obstacle quasi infranchissable à l'usage du diapason comme horloge de précision. Actuellement, grâce à l'emploi des lampes de la radio-technique, cette difficulté peut être évitée et, dans certains cas, il serait possible de construire une excellente horloge de précision en utilisant un diapason comme organe réglant ; remarquons toutefois que, par suite de l'invention de l'horloge à cristal piézo-électrique, le rôle du diapason à entretien électrique se borne actuellement à celui d'étalon de temps pour des mesures horaires de précision. Néanmoins, étant donné l'intérêt que présente cet instrument, examinons brièvement quelques points de sa construction ainsi que son adaptation au rôle d'horloge de précision.

Un diapason est une verge d'acier, de section rectangulaire, recourbée en forme de fourche dont les deux branches sont symétriques et vibrent en oscillations de flexion. La formule approchée suivante donne la fréquence de la vibration fondamentale :

$$N = \frac{e}{l^2} K$$

$K$  est un coefficient qui, pour l'acier ordinaire, est voisin de 82 000 ;  $e$  est l'épaisseur de la verge et  $l$  sa longueur.

Les dispositifs utilisés le plus fréquemment pour entretenir la vibration du diapason sont les suivants :

Dans la fig. 156, (1) et (2) sont deux petits électro-aimants polarisés placés en regard des extrémités des branches (5) et (6) du diapason (3) ; l'enroulement de (2) est intercalé entre la grille et le filament de la triode (4), tandis que celui de (1) est placé dans le circuit plaque. Les vibrations mécaniques de la branche (5) induisent dans l'électro-aimant (1) une tension alternative qui, amplifiée par la triode (4), est appliquée à l'électro-aimant (2). Si l'impédance des deux

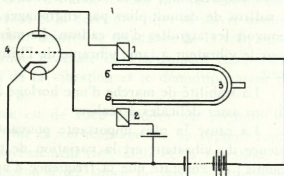


Fig. 156. Entretien de la vibration d'un diapason par une lampe triode.  
1 et 2) Electro-aimants polarisés. 3) Diapason avec ses branches 5 et 6. 4) Lampe triode.

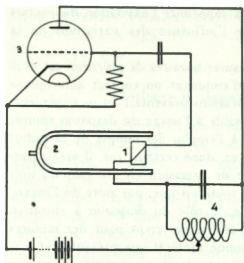


Fig. 157. Entretien de la vibration d'un diapason par une lampe triode.

1) Electro-aimant placé entre les deux branches du diapason 2. 3) Lampe triode.

4) Circuit oscillant variable.

électro-aimants est judicieusement proportionnée à la résistance de la triode, la variation du champ magnétique de l'électro-aimant (2) est synchrone de celle de l'électro-aimant (1) et le mouvement vibratoire du diapason est entretenu d'une façon absolument stable.

La fig. 157 représente un schéma qui est aussi utilisé pour l'horloge à cristal piézo-électrique. L'électro-aimant (1), placé entre les deux branches du diapason (2), est intercalé dans le circuit grille de la triode (3); le réglage du circuit oscillant (4) permet d'amener sa vibration propre à l'unisson de celle du diapason et cela, jusqu'au moment où l'accrochage se produit. Le diapason, possédant un amortissement mécanique

inférieur à celui du circuit oscillant, impose à ce dernier sa propre fréquence, propriété fort importante dont nous verrons aussi l'utilisation lorsque nous traiterons de l'horloge à cristal piézo-électrique.

La transformation de ce vibreur à fréquence constante en horloge électrique se fera très simplement en choisissant un diapason de 100 ou 200 périodes par seconde et en envoyant le courant alternatif du circuit plaque, après amplification de la manière connue, dans un petit moteur synchrone; il suffira de démultiplier par engrenages le nombre de tours du rotor pour mouvoir les aiguilles d'un cadran. Le même procédé est également utilisable pour le vibreur à lame vibrante de Philipps que nous avons mentionné plus haut.

La stabilité de marche d'une horloge à diapason dépend de diverses conditions assez délicates à réaliser :

La cause la plus importante pouvant amener une variation de la fréquence du vibreur est la variation de température à laquelle il peut être soumis ; on constate que la fréquence d'un diapason diminue quand la température s'élève, selon la formule :

$$n = n^0 (1 - Ct)$$

la valeur du coefficient numérique C varie avec le métal et la dimension du diapason ; pratiquement, on admettra pour un instrument en acier ordinaire  $C = 0,0001$ , ce qui veut dire qu'à une élévation de température de  $1^0$

correspond une diminution de la fréquence de l'ordre de  $\frac{1}{10\,000}$ .

Pour éliminer ce facteur de variation, on place le vibreur dans une enceinte dont la température est maintenue constante à  $0,1^{\circ}$  près et on construit le diapason en élinvar, métal dont le coefficient de dilatation et le coefficient de variation du module d'élasticité en fonction de la température sont extrêmement petits.

Les autres causes susceptibles d'amener une variation de marche sont moins importantes ; signalons toutefois l'avantage qu'il y a de maintenir constantes les caractéristiques des circuits électriques du vibreur, en particulier la tension du filament et la tension plaque.

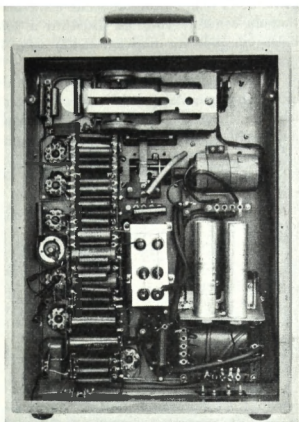


Fig. 158. Vibreur à diapason construit par les Et. Henry-Lepaute.

Les *Etablissements Henry-Lepaute*, à Paris, se sont fait un renom dans l'établissement de vibreurs à diapason et la description qui va suivre montre quelles sont les méthodes utilisées pour assurer la constance de la fréquence.

La fig. 158 montre la disposition générale de l'instrument comportant le diapason, le système d'entretien de la vibration et le démultiplicateur de fréquence :

Le diapason, dont la fréquence est de 1000 périodes par seconde, est fraisé dans un bloc d'élinvar, sa forme et son montage sur un support lourd ont été étudiés pour obtenir un amortissement très faible de la vibration.

Le montage électrique du diapason a été conçu de façon à obtenir un démarrage rapide et sûr ainsi qu'une limitation de l'amplitude de vibration à une valeur déterminée aussi faible que possible. Ce montage comporte une première lampe amplificatrice penthode, attaquée sur la grille par les bobines d'entretien du diapason (principe de la fig. 157). Cette penthode fournit une tension d'environ 30 volts sur le circuit plaque qui, à son tour, agit sur la



grille de la lampe triode suivante à travers une résistance réglable de limitation du courant grille. Ce dispositif a pour avantage un démarrage rapide de la vibration du diapason et l'ajustage facile de l'amplitude constante en modifiant la valeur de la résistance.

La démultiplication de la fréquence de 1000 à 50 périodes par seconde est obtenue par des procédés que nous décrirons plus loin au sujet de l'horloge à quartz. En résumé, la première démultiplication est obtenue par l'action d'un oscillateur bloqué de fréquence propre de 200 périodes par seconde, synchronisé par l'harmonique cinquième (1000 périodes) du premier circuit oscillant. La deuxième démultiplication de 200 à 50 périodes par seconde est réalisée par un multivibrateur d'Abraham et Bloch à montage symétrique.

Le courant alternatif à fréquence constante de 50 périodes par seconde entraîne un moteur synchrone du type connu (voir chapitre XIII).

Grâce au dispositif que nous venons de décrire, au montage du diapason dans une enceinte isothermique à  $1^{\circ}$  C. près et au traitement thermique spécial subi par le diapason, la stabilité de la fréquence est de l'ordre de  $1.10^{-6}$  pour une tension d'alimentation du générateur variant entre 90 et 130 volts.

### Le cristal piézo-électrique

En 1880, les deux savants français Pierre et Jacques Curie étudient la symétrie des systèmes cristallins ; au cours de leurs recherches, ils mettent en évidence la propriété de certains cristaux de se polariser électriquement sous l'influence d'un effort mécanique. Toutefois ce phénomène entièrement nouveau, dénommé piézo-électrique, fut considéré pendant de nombreuses années comme simple expérience de laboratoire et ne reçut une première application que lors de la guerre de 1914-1918 pour l'établissement des émetteurs ultrasonores. Dès lors, la technique de la haute-fréquence l'utilisa pour maints

dispositifs, en particulier pour la stabilisation de l'émission des ondes radio-électriques. Enfin, plus récemment, dans la technique de la mesure du temps, le phénomène piézo-électrique a trouvé son application dans la construction des oscillateurs à fréquence absolument constante, utilisés dans l'établissement des étalons horaires et des horloges astronomiques de haute précision.

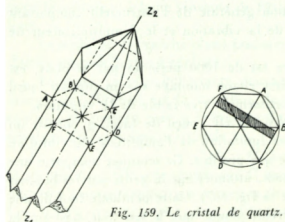


Fig. 159. Le cristal de quartz.

Le phénomène piézo-électrique se manifeste dans certains cristaux de structure spéciale, tels que la tourmaline, quelques sels de l'acide tartrique, en particulier le sel de Seignette et tout spécialement le quartz (anhydride silicique).

Le quartz cristallise dans le système hexagonal (fig. 159), la droite  $Z_1-Z_2$  est l'axe optique ou ternaire et les trois droites  $\overline{AD}$ ,  $\overline{BE}$ ,  $\overline{CF}$  sont les axes électriques ou binaires ; si nous taillons dans ce cristal une lame parallèle à l'axe optique (fig. 160)  $Z_1-Z_2$  et limitée par deux plans parallèles entre eux et perpendiculaires à l'un des axes électriques,  $\overline{AD}$  par exemple, et que nous la comprimons en exerçant une pression sur le plan  $\overline{aceg}$ , parallèlement à l'axe électrique, nous constatons l'apparition de charges électriques de signes contraires sur les deux plans  $\overline{aceg}$  et  $\overline{bdfh}$  ; les frères Curie ont montré qu'une force de 1 dyne, appliquée comme nous venons de le dire, fait apparaître une charge de  $6,45 \cdot 10^{-8}$  unités électro-statiques par  $\text{cm}^2$ . Le résultat est le même si la lame est soumise à une extension au lieu d'une compression, mais les charges changent de signe.

Ce phénomène est réversible, comme l'a montré Lippmann en 1881, car si nous plaçons cette lame dans un champ électrique constant, parallèle à  $\overline{ab}$ , elle se dilate ou se contracte selon le sens du champ. L'épaisseur  $\overline{ab}$  augmente

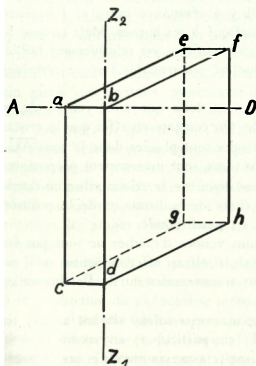


Fig. 160. Lame taillée dans le cristal de quartz.

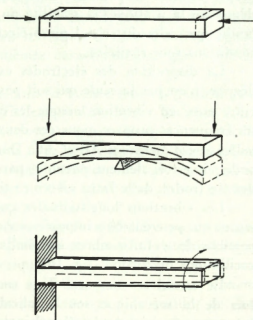


Fig. 161. Les trois modes de vibration du cristal.

ou diminue et inversement la largeur  $\overline{ac}$  diminue ou augmente, tandis que ni la dimension  $\overline{ae}$  ni le volume de la lame ne changent. Pour un champ ayant une valeur de 300 volts/cm., la dilatation ou la contraction relative du cristal atteint une valeur de  $6,45 \cdot 10^{-8}$  cm. par cm. d'épaisseur. Ces déformations étant trop faibles pour pouvoir être mesurées directement, on procède comme suit pour les déceler : le cristal est placé dans une atmosphère raréfiée de néon et s'illumine dans les régions où les charges électriques sont produites.

Si le champ électrique est alternatif, la lame se dilate et se contracte en synchronisme avec les variations du champ ; comme nous l'avons vu, ces déformations sont extrêmement faibles mais si nous faisons varier d'une façon continue la fréquence du champ, nous constatons à un moment donné l'augmentation brusque et considérable de l'amplitude des vibrations mécaniques ; en augmentant encore la fréquence, l'amplitude reprend sa valeur primitive. Le maximum de l'amplitude correspond au moment où la fréquence du champ exciteur est la même que la fréquence propre de vibration mécanique ; on dit, dans ce cas, qu'il y a résonance entre les deux fréquences. La fréquence propre de la vibration mécanique peut se calculer car elle dépend des dimensions géométriques du cristal, du module d'élasticité et de la densité de la matière dont il est constitué.

Cette lame se comporte par conséquence comme un circuit électrique oscillant qui entre en vibration lorsqu'il y a résonance entre sa fréquence propre et celle du potentiel alternatif appliqué à ses bornes. Mais comme le démontre la pratique, la stabilité du circuit oscillant est relativement faible, tandis que celle du cristal piézo-électrique est remarquable lorsque certaines conditions sont réalisées.

La disposition des électrodes excitatrices, telle que nous venons de la décrire, n'est pas la seule qui soit possible. On constate en effet que le cristal entre aussi en vibration lorsque les électrodes sont placées dans le sens  $\overline{AC}$  ; ses fréquences propres, pour ces deux positions, sont inversement proportionnelles aux dimensions  $\overline{AB}$  et  $\overline{AC}$ . Dans ces deux cas, le cristal vibre en demi-onde ; il est également possible, par le choix de la forme et de la position des électrodes, de le faire vibrer en tiers, en quart d'onde, etc.

Les vibrations longitudinales que nous venons d'étudier ne sont pas les seules qui peuvent être imposées au cristal ; il est en effet démontré qu'il est possible de le faire vibrer en oscillations transversales ou de flexion ou en oscillations de torsion (fig. 161).

Le cristal se comporte donc comme un corps solide vibrant auquel les lois de la mécanique sont applicables ; en particulier, on reconnaîtra la formation d'une onde de vibration stationnaire avec ses nœuds et ses ventres ; cette constatation est précieuse, car elle permettra la détermination des points de fixation du cristal, de même que la détermination de sa forme.

## L'horloge à cristal piézo-électrique

Il n'est pas hasardé de dire que l'application à l'horlogerie électrique du phénomène piézo-électrique a causé une véritable révolution dans le domaine de la mesure du temps ; il nous a donc paru utile de décrire d'une façon quelque peu détaillée certaines constructions d'appareils horaires basés sur l'emploi du cristal piézo-électrique.

Nous étudierons tout d'abord l'appareil de base, c'est-à-dire le générateur de courant alternatif à fréquence constante, puis l'utilisation de ce générateur pour la construction des horloges de précision.

*Le générateur à fréquence constante.* La technique de la haute fréquence a utilisé dès 1930 la très grande constance de la fréquence de vibration du quartz pour stabiliser l'émission des ondes électriques, tout spécialement celles à très haute fréquence ; la transposition de ce dispositif dans la technique de la mesure du temps n'offrait donc pas de difficultés insurmontables. Nous retrouverons donc le générateur à fréquence constante des dispositifs similaires à ceux utilisés dans la technique radio-électrique pour la construction des maîtres-oscillateurs ; l'âme du dispositif est le cristal piézo-électrique, dont la forme et la disposition varient suivant les constructeurs.

Par suite de sa résistance mécanique plus élevée, le cristal de quartz est préféré à celui de sel de Seignette ; malheureusement, tous les genres de quartz ne sont pas aptes à la production du phénomène piézo-électrique ; les cristaux utilisables proviennent actuellement du Brésil, bien que des études soient en cours tendant à rechercher dans les Alpes et dans d'autres régions du globe des cristaux présentant les mêmes caractéristiques que ceux du Brésil.

Les blocs de quartz que l'on trouve dans la nature sont en général plus ou moins érodés et ne laissent que difficilement déterminer les axes électriques. Pour y parvenir, on utilise le spectroscopie goniométrique à rayons X, appareil sur la construction duquel nous ne nous arrêterons pas ; le cristal est placé sur un support tournant ce qui permet de déterminer, au cours de sa rotation, les plages d'interférences caractérisant les plans réticulaires, partant ses axes.

Le contrôle de la qualité du cristal se fait à la lumière polarisée qui permet de déceler les crevasses ou les « pailles » rendant le cristal impropre à la production du phénomène piézo-électrique.

Le cristal est taillé au moyen de scies spéciales, puis amené aux dimensions approximatives, par l'emploi de meules abrasives à la poudre de diamant et aux dimensions exactes, par un lapidage à la meule de diamant. Les dimensions sont contrôlées au fur et à mesure de l'avancement du travail par la mesure de la fréquence de résonance, mesure indispensable, puisque la

fréquence du courant émis par le générateur dépend de la fréquence propre du cristal.

Le cristal une fois taillé, est muni de deux ou plusieurs électrodes formées par des plaquettes, des tubes ou des embouts métalliques ; des résultats satisfaisants ont également été obtenus par la formation d'un revêtement métallique sur les places choisies, par projection thermique ou cathodique d'or ou d'argent.

Nous verrons plus loin comment les lames, bâtonnets ou anneaux de cristal sont maintenus en place aux nœuds de vibration, afin de laisser l'oscillation s'accomplir sans aucune gêne nuisible.

L'étude de l'emploi des mouvements oscillatoires pour la mesure de précision du temps, nous a montré qu'une des conditions générales à réaliser est d'assurer la constance de la fréquence malgré les variations de température et de pression du milieu dans lequel se trouve l'organe oscillant. Nous avons vu que cette indépendance peut être réalisée de deux manières : soit en utilisant, pour la construction de certaines parties de l'oscillateur, des matières dont le coefficient de dilatation et le module d'élasticité restent constants malgré les différences de température (invar, élinvar, certains alliages au glucinium, etc.) soit en plaçant l'oscillateur dans une enceinte dans laquelle les variations de température et éventuellement de pression soient nulles ou du moins très minimales.

La fréquence propre de vibration du cristal de quartz est, comme l'ont montré les essais, dépendante de la température et sa variation peut se traduire par une courbe (fig. 162) dont l'allure dépend de la constitution et de la taille du cristal. En général, cette courbe présente un maximum vers  $+ 36^{\circ}$  C. et, à cet endroit, la variation de fréquence est suffisamment lente pour que de petits écarts de température n'influent pas d'une manière sensible sur la fréquence.

L'indépendance de la fréquence vis-à-vis de la température s'obtiendra donc en maintenant une température constante de  $+ 36^{\circ}$  C. dans l'enceinte

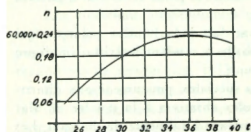


Fig. 162. Courbe température/fréquence du quartz.

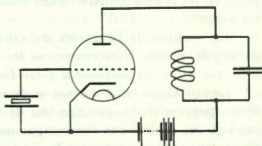


Fig. 163. Montage Pierce.

contenant le cristal, ce qui s'obtient par l'emploi de thermostats à commande électrique que nous décrirons dans les paragraphes qui vont suivre.

L'entretien de la vibration du cristal est réalisé par le moyen de lampes selon un schéma dû à Pierce et que nous avons déjà vu utiliser pour les diapasons (fig. 163). Une difficulté se présente toutefois : la fréquence propre du cristal étant trop élevée pour pouvoir être utilisée directement pour l'entraînement des aiguilles de l'horloge, car elle est de l'ordre de 20 000 à 120 000 vibrations par seconde, il est nécessaire de recourir à des dispositifs de réduction ou de démultiplication de fréquence dont nous donnerons plus loin la description de quelques exécutions.

*Le mécanisme horaire.* Nous disposons maintenant d'un courant alternatif dont la fréquence est, selon les modèles d'appareils, comprise entre 50 et 1000 périodes par seconde, que nous pourrions utiliser sans difficultés pour l'actionnement du dispositif horaire : horloge de précision ou appareil enregistreur. Généralement, l'organe de transformation est un petit moteur synchrone multipolaire ou une roue phonique de Lacour. L'axe du rotor conduira, soit un train d'engrenages sur les mobiles duquel sont fixées les aiguilles, soit un dispositif à contact émettant des impulsions de courant à un rythme parfaitement constant, toutes les secondes ou tous les dixièmes de seconde en général.

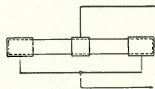


Fig. 164. Horloge à quartz de l'Institut de Physique technique du Reich. Le cristal piézo-électrique.

Dans les paragraphes qui vont suivre, nous décrirons quelques appareils horaires à cristal de quartz, choisis parmi les exécutions les plus intéressantes.

#### *Horloge de l'Institut de Physique technique de Berlin-Charlottenbourg.*

Cette horloge, qui a été reproduite à plusieurs exemplaires, a été étudiée dès 1930 par A. Scheibe et U. Adelsberger [25.5 - 26]. Le cristal piézo-électrique est un barreau de quartz de section carrée de 11,4 mm. de côté, dont la longueur est de 91 mm. ; son axe longitudinal coïncide avec un axe électrique du cristal original. Sa fréquence propre est de 60 000 périodes par seconde et son coefficient de température est de 0 à la température de  $+ 36^{\circ} \text{C.}$  ; ce barreau vibre longitudinalement en quart d'onde et possède deux nœuds de vibration au quart de la longueur mesurée depuis les extrémités ; il est fixé à un support par des fils de coton attachés à ces nœuds de vibration. Les électrodes sont formées par deux embouts métalliques placés aux extrémités et par un tube placé au milieu du barreau (fig. 164) ; les électrodes d'extrémité sont reliées à un pôle et la médiane à l'autre. Le barreau



de quartz, ses électrodes et son support sont enfermés dans un tube de verre dans lequel on a fait le vide.

L'excitation et l'entretien des oscillations est effectué au moyen d'un oscillateur Pierce (voir fig. 163) ; le courant alternatif à 60 000 périodes par seconde sortant est amplifié par un amplificateur à 2 triodes du type connu, puis sa fréquence est réduite par trois étages de démultiplication donnant respectivement 10 000, 1 000 et 333 périodes par seconde (dans quelques horloges, cette dernière fréquence est de 250 périodes par seconde).

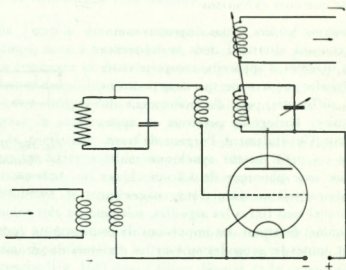


Fig. 165. Horloge à quartz de l'Institut de Physique technique du Reich. Schéma du démultiplicateur de fréquence.

Cette démultiplication de la fréquence, une des caractéristiques intéressantes de l'appareil, est obtenue en utilisant les fréquences harmoniques de divers ordres des trois circuits oscillants démultiplicateurs. Nous savons que tout circuit oscillant vibre à sa fréquence propre, dite de résonance ( $n_1$ ) selon la formule de Thomson :

$$n_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

dans laquelle L est la valeur de la self-induction du circuit et C celle de sa capacité.

Nous savons aussi que ce circuit peut entrer en résonance pour des fréquences qui sont des multiples entiers de la fréquence de résonance  $n_1$ , soit pour les fréquences  $2n_1$ ,  $3n_1$ ,  $4n_1$ , etc. Ces fréquences sont dites fréquences

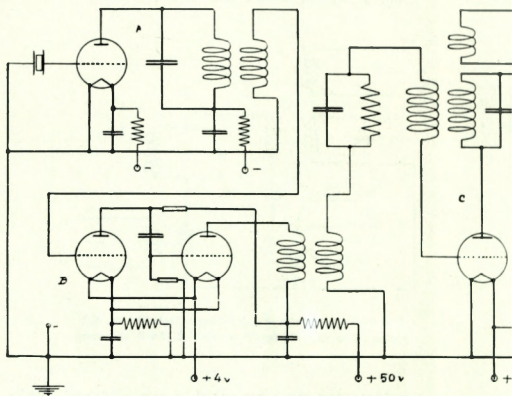
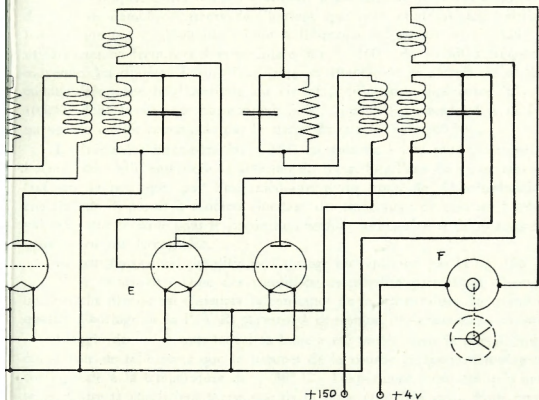


Fig. 166. Horloge à cristal  
de 1

A) Cristal de quartz et oscillateur,  
périodes par seconde. D) Démulti



stitut de Physique technique

ourg.

r. C) Démultiplicateur 100 000/10 000

000. E) Démultiplicateur 1000/333.

harmoniques du second, du troisième, du quatrième ordre ou aussi seconde, troisième, quatrième harmonique, etc.

Pour faire apparaître les harmoniques successives d'un circuit oscillant commandé par une triode, on utilise le dispositif représenté par le schéma (fig. 165). Le circuit oscillant entretient l'oscillation fondamentale  $n_1$ , tandis que le circuit variable, qui lui est accouplé, donne les harmoniques successives à mesure que l'on varie la capacité du condensateur.

Cette propriété des circuits oscillants a été utilisée pour l'établissement des circuits démultiplicateurs de l'horloge que nous étudions. La troisième harmonique ( $n_3 = 1000$ ) du circuit à fréquence inférieure ( $n_1 = 333$ ) est utilisée comme fréquence fondamentale ( $n'_1 = 1000$ ) du circuit à fréquence moyenne. La dixième harmonique ( $n'_{10} = 10\,000$ ) de ce circuit est utilisée comme fréquence fondamentale du circuit à fréquence supérieure ( $n''_1 = 10\,000$ ) dont la sixième harmonique ( $n''_6 = 60\,000$ ) correspond à la fréquence du circuit commandé par le cristal de quartz ( $n_9 = 60\,000$ ).

La fréquence inférieure ( $n_1 = 333$ ) est amenée à une roue phonique de Lacour, dont elle entretient la rotation du rotor. Sur l'axe de ce dernier est fixé un pignon qui, par l'intermédiaire d'une roue de démultiplication, entraîne un dispositif à contacts émettant des impulsions de courant à intervalles de une seconde pour le circuit de l'horloge indicatrice et de 10 secondes pour un circuit de contrôle.

Le schéma général simplifié de l'horloge est reproduit par la fig. 166.

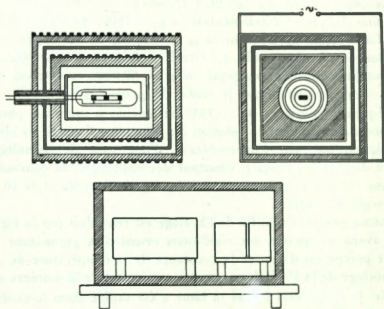
Nous avons vu qu'une des conditions essentielles permettant d'obtenir une marche précise est d'assurer la constance de la température du cristal de quartz ; l'horloge de la P. T. R. parvient à ce résultat de la manière suivante :

L'angle de coupe sous lequel la lame a été taillée dans le cristal brut a été choisie de telle sorte que le sommet de la courbe fréquence/température corresponde à la température de  $+ 36^\circ \text{C.}$  ; l'expérience a montré qu'à cette température le coefficient thermique de la lame était très petit. Pour maintenir cette température constante, on a placé l'ampoule de verre contenant le cristal à l'intérieur de deux enceintes concentriques à température constante dont la fig. 167 donne les coupes longitudinales et transversales. Le chauffage est assuré par des enroulements de fil à grande résistance électrique parcourus par un courant électrique ; la température est maintenue constante à  $+ 36^\circ \text{C.}$  par un thermomètre de précision muni de contacts appropriés.

Ce thermostat intérieur est placé lui-même dans un thermostat extérieur constitué par une caisse en bois à double parois ; la température à l'intérieur de celui-ci est maintenue constante à  $+ 28^\circ \text{C.}$  par une résistance de chauffe électrique dont le courant d'alimentation est réglé par un thermomètre à contact. A l'aide de ces deux thermostats, la température de la lame de quartz est maintenue constante avec une tolérance de variation de  $\pm 0,001^\circ \text{C.}$

Les dimensions du thermostat extérieur sont telles que l'oscillateur à haute fréquence, l'amplificateur et les démultiplicateurs aient pu y être logés, de façon à les soustraire également à l'influence des variations de température.

L'alimentation électrique de l'horloge est assurée par le courant du réseau, redressé et soigneusement aplati ; des batteries d'accumulateurs sont intercalées en tampon et assurent l'alimentation en cas de panne du réseau.



*Fig. 167. Horloge à quartz de l'Institut de Physique technique du Reich. Coupes longitudinale et transversale du thermostat intérieur et coupe longitudinale du thermostat extérieur.*

Le contrôle de la précision de marche des horloges à quartz de l'Institut de Physique technique de Berlin a fait, peu de temps avant la guerre, l'objet d'une étude approfondie par les physiciens de l'Institut, en particulier par le Dr Scheibe. Les conclusions que nous pouvons en tirer sont les suivantes :

Une horloge à cristal de quartz, pour parvenir à une marche constante, doit subir un certain vieillissement qui peut durer une ou deux années, mais qui peut être accéléré artificiellement.

Les variations de la marche diurne absolue ne dépassent pas  $\pm 0,001$  sec. ; les mesures effectuées sur un long intervalle de temps montrent que la marche

diurne se modifie régulièrement chaque jour d'une petite quantité ; au bout d'une période de 40 mois, la valeur absolue de la marche d'une des horloges de l'Institut a diminué au total de 0,011 sec. Il est intéressant de constater que ces variations se font quelquefois par à-coups, fait pour lequel une explication n'a pas encore été donnée.

Plusieurs horloges construites selon les mêmes principes ont été installées en Allemagne, en particulier à l'Institut géodésique de Potsdam, à l'Observatoire naval de Hambourg, etc.

### *Horloge de Essen et Dye, à Londres [26]*

Le quartz de cette horloge est taillé en forme d'anneau circulaire dont l'axe se confond avec l'axe optique du cristal ; ses dimensions sont les suivantes :

diamètre extérieur :	98,6 mm.
diamètre intérieur :	75,3 mm.
hauteur :	16,3 mm.

La vibration longitudinale se produit radialement, de façon uniforme sur tout le périmètre de la circonférence ; les électrodes sont réparties au nombre de six pour chaque pôle sur le manteau intérieur et sur le manteau extérieur de l'anneau, comme le montre la fig. 168. Cette construction permet d'obtenir immédiatement une fréquence relativement basse de 20 000 périodes par seconde ; par contre, elle rend la fixation du cristal assez délicate, car l'anneau ne possède pas de nœuds de vibration ; il est suspendu comme le montre la figure, par trois boucles de fil attachées chacune à un ressort réglable.

Le coefficient de température de fréquence est de  $2,5 \cdot 10^{-6}$  par degré C. ; on a donc été obligé de construire un thermostat particulièrement précis pour maintenir la température constante à  $+36^{\circ}$  C. La vibration du cristal est engendrée par un oscillateur Pierce et le courant alternatif sortant est amplifié par un amplificateur du type connu. La fréquence de 20 000 périodes par seconde est réduite à 1000 par deux étages de démultiplication dont le principe est basé sur l'emploi des oscillations de relaxation. Une roue phonique utilisant cette

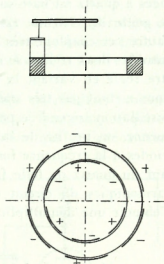


Fig. 168. Horloge Dye, le cristal de quartz.



dernière fréquence, entraîne au moyen d'un train d'engrenages les aiguilles du cadran de l'horloge.

Le démultiplicateur à oscillations de relaxation, que nous trouvons aussi dans certaines horloges à quartz françaises, est basé sur une théorie mise au point par Van der Pol en 1930 et que nous résumons comme suit : des oscillations de relaxation prennent naissance lorsqu'un système comprenant une source d'énergie continue est disposée de telle sorte qu'il permette à un phénomène de caractère habituellement apériodique de se répéter automatiquement un nombre indéfini de fois.

De telles oscillations prennent naissance dans un circuit selon fig. 169 comportant un condensateur « shunté » par une lampe au néon faisant fonction d'éclateur, et alimenté par une source de courant à tension constante à travers une résistance non inductive élevée. La tension aux bornes du condensateur augmente progressivement, jusqu'au moment où elle est assez élevée pour amorcer une décharge à travers la lampe au néon ; le condensateur est court-circuité brusquement et se décharge, puis le même cycle recommence ; la période est très régulière et peut facilement être calculée.

Le multivibrateur Abraham (fig. 169 a), utilisé dans la plupart des horloges à quartz est basé sur un principe semblable ; il utilise deux triodes dont la grille de chacune est reliée à travers un condensateur à la plaque de l'autre ; ce couplage très serré est tel que des inversions du courant d'échange entre les deux triodes se répètent périodiquement : l'intervalle entre elles peut être réglé en variant la capacité des condensateurs de couplage. Ces inversions n'étant pas très stables, on profite de ce fait pour les synchroniser par l'oscillation engendrée par le quartz. Pour obtenir la démultiplication de fréquence, on profite de la possibilité de faire vibrer le circuit de liaison des triodes à la fréquence fondamentale désirée et de le coupler au circuit oscillant du quartz de telle façon que ce dernier vibre à la fréquence d'une des harmoniques du circuit de liaison du multivibrateur ; il est ainsi possible d'obtenir une démultiplication directe de 20, 50 ou même de 100.

*Horloge du laboratoire de recherches de physique-technique  
des Dr Rohde et Dr Schwarz, à Munich*

Cette horloge, décrite par Dobberstein [31-24], a comme caractéristique intéressante les petites dimensions du coffret qui renferme ses organes :  $36 \times 22 \times 20$  cm. Sa construction ne vise pas à faire d'elle une horloge astronomique de grande précision, mais plutôt une horloge facilement transportable, pouvant même, dans certains cas, remplacer un chronomètre de marine.

Dans les horloges que nous avons étudiées jusqu'à maintenant, la vibration du cristal s'effectuait longitudinalement, de telle sorte que la fréquence de résonance était de 60 000 à 120 000 périodes par seconde ; grâce aux recherches qui ont été effectuées il y a quelques années, on a pu constater que des cristaux, munis d'électrodes tripolaires convenablement disposées.

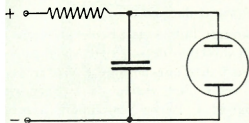


Fig. 169. Production des oscillations de relaxation.

vibraient en oscillations de flexion avec une fréquence de résonance beaucoup plus basse que celle des cristaux vibrant longitudinalement. En effet, le cristal utilisé dans l'horloge que nous décrivons a une fréquence propre de 1000 périodes par seconde, ce qui permet de supprimer le dispositif assez compliqué et volumineux de la démultiplication de fréquence.

Le courant sortant du circuit oscillant gouverné par le quartz alimente, après amplification par une penthode, le petit moteur synchrone d'une horloge dont le cadran apparaît sur la face antérieure du coffret de l'appareil.

Le cristal de quartz est placé dans une enceinte où la température est maintenue à  $+50^{\circ}\text{C}$ . avec un écart de  $\pm 0,1^{\circ}$  ; l'alimentation générale de l'appareil se fait par du courant continu à 220 volts, tel qu'il se trouve d'habitude à bord des vaisseaux de guerre.

Les essais, écourtés par la guerre, n'ont pas donné de résultats probants car la variation de marche est d'environ  $\pm 0,1$  à  $0,2$  sec. par jour, ce qui est réellement trop considérable. Il est permis de supposer que les précautions insuffisantes contre les variations de la tension d'alimentation et la construction assez rudimentaire du thermostat sont parmi les causes de cet insuccès. L'idée qui a présidé à la construction de cet appareil reste néanmoins intéressante et il est à souhaiter que les essais d'un appareil basé sur le même principe mais d'une exécution améliorée puissent être repris.

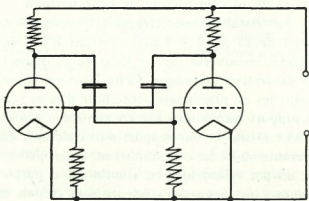


Fig. 169 a. Schéma du multivibrateur Abraham.

### *Horloge à cristal de quartz de l'Ecole polytechnique fédérale à Zurich*

En Suisse, la technique de l'horloge à cristal piézo-électrique est à ses débuts ; seuls, depuis 1941, quelques constructeurs, en particulier la S. A. Porte-échappement Universel à La Chaux-de-Fonds, sous la direction de M. F. Marti, ingénieur, ont établi quelques modèles d'appareils de contrôle de la marche des montres dont l'étalon de temps est constitué par un générateur à fréquence constante piloté par un cristal de quartz.

En 1944, l'Institut pour l'étude des courants faibles de l'Ecole polytechnique fédérale (E. P. F.) a entrepris, sous la direction de son chef M. le professeur E. Baumann, l'étude puis la construction d'une horloge à cristal de quartz, dont le rôle primitif devait être celui d'un étalon de fréquence. Cette horloge, construite et mise au point par M. F. Berger, ingénieur, chargé de recherches au dit institut, présente certaines caractéristiques nouvelles et l'on attend avec un grand intérêt les résultats des trois horloges qui seront essayées et comparées entre elles à l'E. P. F., à l'Observatoire de Neuchâtel et au Laboratoire suisse de recherches horlogères à Neuchâtel.

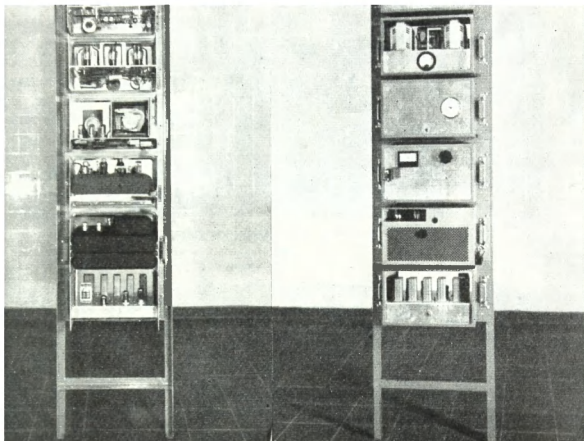
Cette horloge, dont l'aspect paraîtra assez révolutionnaire aux horlogers, est reproduite par la fig. 170 ; ses cinq éléments constitutifs, enfermés chacun dans un caisson en aluminium, sont montés sur un châssis vertical dont les dimensions sont les suivantes : hauteur 220 cm., largeur 54 cm., profondeur 40 cm.

Ces éléments sont : *a*) le dispositif de réglage thermostatique, *b*) l'oscillateur et le cristal de quartz enfermé dans une enceinte à température constante, *c*) le premier démultiplicateur électrique, *d*) le second démultiplicateur électro-mécanique et *e*) le tableau réunissant les appareils de signalisation et de réglage des tensions d'alimentation.

Les caractéristiques suivantes donnent sommairement un aperçu du principe et de la construction de cette horloge.

Le cristal piézo-électrique est, comme le montre la fig. 171, une lame de quartz de  $27 \times 11 \times 2$  mm., vibrant à la fréquence de 100 000 périodes par seconde, recouverte sur ses deux faces d'une mince couche d'argent obtenue par projection thermique. Cette lame est tenue entre deux tiges à l'extrémité desquelles est placée une petite bille d'acier ; ces deux tiges traversent chacune un support fixé à un socle en matière à grand pouvoir isolant.

Le cristal et son support sont enfermés dans une enceinte à température constante dont la conception est remarquable. Cette enceinte est constituée par un pot cylindrique en aluminium, à parois épaisses, formant volant thermiques ; sur sa paroi extérieure sont creusés des sillons parallèles contenant, d'une part, les corps de chauffe, constitués par un tissu de fil métallique et de fil de soie de verre (Silko) et, d'autre part, les 4 enroulements (3 en cons-



*Fig. 170. L'horloge à quartz de l'Ecole polytechnique fédérale à Zurich. Vue de face et vue d'arrière.*

*De bas en haut : Régulateur de température. Le cristal de quartz dans son enceinte à température constante et l'oscillateur. Le démultiplicateur électronique de 100 000 à 1000 périodes par seconde. Le moteur synchrone et l'horloge. Bloc d'alimentation, tension anodique. Bloc d'alimentation, tension de chauffage.*

tantan et 1 en cuivre) des résistances constituant les 4 branches d'un pont de Wheatstone. Ce pont, auquel est dévolue la fonction d'élément de mesure et de commande du dispositif thermostatique, est parcouru une fois par seconde par une brève impulsion de courant ; la tension de sortie qui en résulte est amplifiée, puis appliquée à un relais polarisé qui ouvre ou qui ferme le circuit contenant les corps de chauffe. Les variations de température auxquelles le cristal est soumis ne dépassent pas  $\pm 0,001$  C.

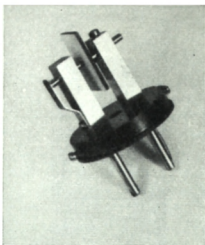


Fig. 171. Le cristal de quartz de l'horloge de l'E. P. F.

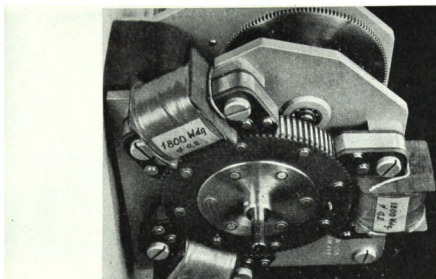
Les oscillateurs que nous avons étudiés précédemment utilisent le montage de Pierce dans lequel le cristal est placé entre deux électrodes de la même lampe. Dans celui de l'E. P. F., le cristal est placé dans le circuit de réaction d'un amplificateur à plusieurs étages, stabilisé par un circuit de contre-réaction dont le facteur est très élevé. Grâce à ce montage, le circuit oscillant et l'amplificateur sont quasi insensibles aux modifications qui peuvent se produire dans l'état des circonstances dans lesquelles ils travaillent ; les variations de la température, celles des tensions anodiques et de chauffage, l'usure des lampes, etc., n'exercent plus qu'une action insignifiante sur la fréquence d'oscillation du cristal.

Les précautions qui ont été prises pour soustraire le cristal et l'oscillateur aux variations nuisibles de toutes les circonstances extérieures sont comparables à celles qui permettent de rendre réellement stable la marche d'une horloge astronomique à balancier. Les essais auxquels le dispositif complet a été soumis montrent que les changements admissibles de ces conditions n'ont pour conséquence qu'un changement de fréquence  $\Delta f$  tel que le rapport  $\frac{\Delta f}{f}$  reste inférieur à 0,000 000 01.

La démultiplication de fréquence de 100 000 à 1000 périodes par seconde s'accomplit en un seul saut ; à cet effet, l'appareil démultiplicateur comporte un circuit oscillant auxiliaire dont la fréquence fondamentale de 1000 périodes par seconde peut varier de quelques % au-dessus ou au-dessous de la fréquence nominale. La fréquence du courant sortant de ce circuit est ensuite élevée par un multiplicateur de conception nouvelle, permettant d'obtenir au moyen d'une seule lampe la centième harmonique, soit un courant à la fréquence de 100 000 périodes par seconde.

Cette fréquence étant à l'unisson de la fréquence fondamentale du quartz, il est ainsi possible d'asservir l'oscillateur auxiliaire au maître oscillateur gouverné par le quartz de telle sorte que la fréquence fondamentale du circuit auxiliaire asservi soit liée à la fréquence du maître oscillateur, 100 000 périodes par seconde.

Le deuxième démultiplicateur comporte un moteur synchrone triphasé à champ tournant (fig. 172), construit par Ebauches S. A., à Granges. Le



*Fig. 172. Horloge à cristal de quartz de l'E.P.F. Le moteur synchrone.*

stator est constitué par trois paires de pôles en forme de U dont les enroulements sont parcourus par du courant triphasé obtenu par une amplification et un déphasage du courant à 1000 périodes par seconde sortant du circuit oscillant auxiliaire (voir à ce sujet le chapitre VI, production du champ tournant). Le rotor en fer lamellé a un diamètre de 80 mm., sa périphérie est pourvue de 100 dents ; il entraîne, par le moyen d'un engrenage démultiplificateur, un contacteur de précision émettant chaque seconde dans un premier circuit une impulsion de courant dont la durée est de 0,05 seconde et chaque minute, dans le même circuit, une impulsion de courant auxiliaire (fig. 173). Ces impulsions ne sont utilisées que pour les mesures qui se font au moyen d'appareils de comparaison : chronographes enregistreurs ou oscillographes.

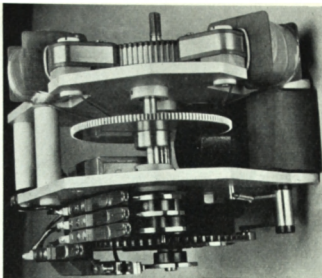
L'indication de l'heure est confiée à un compteur électro-chronométrique battant la seconde alimenté par les impulsions de courant émises dans un deuxième circuit indépendant du premier.

#### *Horloge à cristal de quartz de l'Observatoire de Genève*

L'horloge à cristal de quartz, étudiée et construite à l'Observatoire de Genève par MM. P. Challande, Alb. Epitoux et J. Freymann, a été mise en essais le 1er mai 1947.

Le cristal de quartz utilisé dans le montage actuel est du type courant, mais sera remplacé dans la suite par un cristal taillé spécialement. L'oscillateur proprement dit est une variante du montage Pierce ; la tension alter-





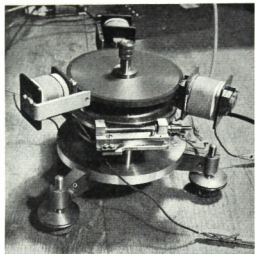
*Fig. 173. Horloge à cristal de quartz de l'E.P.F. Le groupe des contacts du moteur synchrone.*

native sortante a une fréquence de 100 000 périodes par seconde, réduite à 500 par une première chaîne de démultiplicateurs basés sur le principe du multivibrateur Abraham (fig. 174).

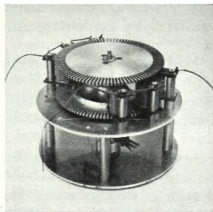
Le deuxième étage de démultiplication comporte deux groupes d'appareils aptes à fonctionner en parallèle de manière à se contrôler mutuellement. Le premier groupe est constitué par un dernier multivibrateur électronique qui abaisse la fréquence de 500 à 4 périodes par seconde ; ce principe, qui semble avoir été appliqué pour la première fois, constitue une des caractéristiques intéressantes de l'horloge. Le second groupe comporte deux roues phoniques (fig. 174 *a* et *b*) de construction différente branchée en parallèle sur la tension alternative de 500 périodes par seconde, amplifiée et filtrée.



*Fig. 174. Horloge à cristal de quartz de l'Observatoire de Genève. La chaîne des démultiplicateurs*



*Fig. 174 b. Horloge à quartz de l'Observatoire de Genève. La roue phonique construction Freymann.*



*Fig. 174 a. Horloge à quartz de l'Observatoire de Genève. La roue phonique construction Epitaux.*

Le cristal de quartz ainsi que les circuits de l'oscillateur sont enfermés dans des enceintes à température constante ; la température du local réservé à l'horloge étant maintenue constante à  $\pm 0,5^{\circ}$  près, la variation de température à l'intérieur des enceintes est réduite à moins de  $\pm 0,01^{\circ}$ .

Les impulsions de courant fournies soit par les contacts des roues phoniques, soit par les étages démultiplicateurs à très basse fréquence sont utilisées pour les mesures courantes qui ne demandent pas une précision supérieure au centième de seconde. Les mesures de précision sont faites à l'oscillographe complété par un compteur de battements.

Les premiers résultats sont satisfaisants ; après les variations de fréquence du début, inhérentes à la stabilisation du cristal, les marches sont devenues très constantes. Le cinquième mois des essais a donné une variation moyenne mensuelle de  $\pm 0,013$  sec. avec un écart de 0,03 sec. entre les variations extrêmes diurnes de 0,00 sec. et 0,03 sec.

### **Etude critique des horloges électriques astronomiques**

Pour apprécier la contribution apportée à la mesure du temps par les horloges nouvelles venues, il est nécessaire de rappeler les résultats obtenus depuis une cinquantaine d'années par les horloges astronomiques à poids classiques ; la comparaison de ces résultats avec ceux obtenus par les nouvelles horloges montreront quelle est l'importance de l'amélioration de la précision de la marche apportée par elles.

En 1906, l'Observatoire de Neuchâtel donne les variations moyennes mensuelles d'une horloge astronomique de Riefler :

janvier	0,038 sec.
février	0,034 »
mars	0,042 »
avril	0,038 »
mai	0,030 »
juin	0,031 »
juillet	0,019 »
août	0,026 »
septembre	0,025 »
octobre	0,032 »
novembre	0,033 »
décembre	0,031 »
moyenne	<hr/> 0,033 sec.

La variation moyenne annuelle de 0,033 sec. était fort satisfaisante pour l'époque ; on remarquera néanmoins que les variations mensuelles et certainement les journalières sont très irrégulières ; l'écart entre les valeurs extrêmes de 0,019 sec. et 0,042 est de 0,023 sec. La cause de cette irrégularité est à rechercher dans le fait que cette horloge était munie d'un balancier à compensation à mercure et que la température du local a varié pendant l'année entre + 3,3° C. et + 21,3° C.

En 1936-37, une pendule Leroy, munie d'un balancier à tige d'invar, placée dans un local dont la température est maintenue constante présente les variations de marche suivantes :

août 1936	0,009 sec.
septembre	9 »
octobre	7 »
novembre	6 »
décembre	6 »
janvier 1937	7 »
février	7 »
mars	6 »
avril	5 »
mai	5 »
juin	3 »
juillet	<hr/> 7 »
moyenne	0,006 sec.

On constate immédiatement que, durant l'espace d'une trentaine d'années, la variation moyenne annuelle a fortement diminué et que les variations moyennes mensuelles et, partant les variations diurnes, sont devenues beaucoup plus constantes : l'écart entre les valeurs extrêmes de 0,003 sec. et 0,009 sec. n'est plus que de 0,006 sec.

Il est à remarquer cependant que la diminution de ces valeurs est beaucoup moins due à un changement constructif des horloges qu'à l'amélioration considérable des conditions de leur installation.

Il faut aussi prendre garde au fait que l'introduction des signaux horaires par T. S. F. a permis une diffusion inattendue de l'heure de haute précision et que les méthodes de détermination de l'heure, comme celle de la mesure comparative des temps, ont été singulièrement améliorées depuis le début du siècle. Ces deux facteurs ont certainement eu pour conséquence le contrôle plus efficace et plus sévère de la marche des garde-temps et finalement la recherche de l'amélioration des conditions de leur fonctionnement.

La tablelle que nous reproduisons ci-dessous est instructive, car elle montre qu'en dix ans de nouveaux progrès ont été accomplis, bien qu'ils soient d'apparence plus modeste. La comparaison avec la tablelle précédente nous fait constater combien la lutte pour la conquête de quelques millièmes de seconde devient sévère lorsque l'on dépasse un certain seuil de la précision. Les chiffres de cette tablelle se rapportent à une pendule astronomique Leroy de l'Observatoire de Neuchâtel.

novembre 1946	$\pm 0,0034$ sec.
décembre	26 »
janvier 1947	28 »
février	22 »
mars	25 »
avril	31 »
mai	47 »
juin	30 »
juillet	39 »
août	28 »
septembre	34 »
octobre	41 »
moyenne	$\pm 0,0032$ sec.

Les constatations que nous venons de faire au moyen de ces trois tablelles nous donnent une représentation exacte de l'évolution de la technique de la conservation du temps au cours de la première moitié de ce siècle ; elles confirment les définitions que nous avons données au début de ce chapitre de la

notion actuelle de l'horloge astronomique. Ces constatations nous permettent maintenant d'entreprendre la comparaison des garde-temps classiques avec les horloges astronomiques électriques modernes.

Cette comparaison est néanmoins quelque peu délicate, sauf peut-être pour l'horloge Shortt, car, d'une part, les résultats sur lesquels on s'est basé pour admettre la supériorité des nouvelles horloges sur les anciennes ont été publiés avant la guerre et les essais actuels ne sont que peu connus et, d'autre part, les observations ont été faites avec des méthodes et des moyens qui diffèrent d'un expérimentateur à un autre et n'ont pas été en général contrôlées par le Bureau international de l'Heure.

Il est néanmoins fort intéressant de connaître les indications publiées avant la guerre, puis de les faire suivre de quelques-unes de celles qui ont été recueillies récemment.

Dans le No 4 de l'année 1938 des *Annales françaises de Chronométrie*, l'ingénieur M. Schuler, de Göttingue, donne le résultat d'observations faites de mai à décembre 1937 sur deux horloges de son système comparées par rapport au temps astronomiques de Berlin et par rapport au signal horaire de Rugby (Angleterre), gouverné par une horloge Shortt. Au cours de 22 observations, la variation moyenne diurne d'une horloge Schuler par rapport au temps astronomique est de 0,0088 sec., les écarts extrêmes sont compris entre + 0,024 sec. et — 0,010 sec., soit 0,034 sec. Les observations sont faites au moyen d'un oscillographe relevant les battements du balancier au moyen de la cellule photo-électrique d'entretien des oscillations et les signaux soit de Nauen, soit de Rugby ; la publication citée ne donne aucune indication quant à la correction des deux signaux horaires par le Bureau international de l'Heure.

Les résultats obtenus par certaines horloges Shortt sont plus faciles à interpréter puisque de nombreux observatoires possèdent un ou plusieurs exemplaires de cet instrument. M. Hope-Jones cite [3 b] des marches mensuelles moyennes de l'horloge Shortt No 13 établies d'octobre 1934 à mai 1935 par le National Physical Laboratory de Londres ; les variations mensuelles correspondantes sont les suivantes :

octobre 1934	$\pm 0,001$ sec.
novembre	2 »
décembre	2 »
janvier 1935	2 »
février	0 »
mars	0 »
avril	4 »
mai	1 »
moyenne	$\pm 0,0017$

L'écart entre les valeurs extrêmes de 0,001 et 0,004 est de 0,003 sec. D'autres résultats encore plus favorables sont cités par M. Hope-Jones.

Quant aux horloges à cristal de quartz, les résultats d'observation les plus connus sont ceux obtenus au moyen de l'horloge de l'Institut de Physique technique du Reich, à Berlin, tels qu'ils ont été publiés par le Dr Scheibe dans le No 1 des *Annales françaises de Chronométrie* de l'année 1938.

L'observation simultanée de sept horloges à quartz et leur comparaison au signal de coïncidences de Nauen donne, après correction des erreurs propres aux appareils de réception et d'enregistrement, une variation de la marche diurne ne dépassant pas  $\pm 0,001$  seconde pour une période d'observation de trois années.

A la même époque, M. Stoyko, chef du Service de l'heure à l'Observatoire de Paris, étudie [25] la comparaison des marches de deux horloges Shortt (No 44 Paris et No 48 Washington) et de l'horloge à quartz de la Deutsche Seewarte, à Hambourg, relativement à la moyenne de l'heure de 9 observatoires affiliés au Bureau international de l'Heure. La conclusion à laquelle il parvient est la suivante :

La régularité de marche des trois garde-temps est presque la même ; les horloges à quartz et les bonnes pendules à pression et à température constantes sont comparables au point de vue de la régularité de marche.

Comme cela a été dit précédemment, les publications relatives aux observations récentes des nouvelles horloges électriques sont très rares. La majorité des Observatoires et Instituts de l'Heure ont souffert du fait de la guerre et leur équipement est souvent en pleine réfection ; d'autre part, les nouvelles constructions n'ont guère débuté qu'en 1944 ou 1945 et les essais sont en cours actuellement. Il est donc quasi impossible d'établir une comparaison satisfaisante entre les observations d'avant-guerre et celles qui se font actuellement.

Néanmoins, à titre documentaire, nous résumons les tabelles des marches de trois horloges du Bureau international de l'Heure durant l'année 1946, publiées dans le *Bulletin horaire* de septembre-décembre 1946.

L'horloge Leroy No 1372 a une variation moyenne annuelle de  $\pm 0,0093$  sec., l'écart entre les variations mensuelles moyennes extrêmes de 0,016 sec. et 0,004 sec. est de 0,012 sec. ; son fonctionnement a été ininterrompu durant toute l'année.

L'horloge Shortt No 44 a été arrêtée du 8 mai au 4 juin pour nettoyage du système de remontage, ce qui peut expliquer une variation moyenne annuelle de 0,0045 sec. et un écart de 0,007 sec. entre les variations mensuelles extrêmes de 0,008 et 0,001 sec. ; si l'on ne considère que les variations de marche avant l'arrêt, on trouve une moyenne de 0,0026 sec. et un écart de 0,003 sec. entre les valeurs extrêmes.



La troisième table est relative à une horloge à cristal de quartz dont la marche a malheureusement été fréquemment interrompue par suite des interruptions de courant et du mauvais fonctionnement des circuits; la variation moyenne de marche annuelle de 0,018 sec. n'a donc pas grande signification.

Toutes les observations qui viennent d'être relatées ne concernent que des horloges établies avant la guerre; il est compréhensible que les horloges établies depuis lors soient encore dans la période des essais et que les résultats de leur marche n'aient pas encore été publiés. Néanmoins, on peut admettre que les nouvelles horloges astronomiques électriques, qu'elles soient à balancier pendulaire, comme celle de Shortt, ou à cristal piézo-électrique ont apporté un progrès dans la technique de la mesure du temps, progrès qui, s'il n'est pas révolutionnaire, n'en est pas moins sensible.

L'horloge de Shortt, comme celle de Schuler, tendent à la réalisation du pendule libre, cet idéal que Froment, Hipp et d'autres ont cherché à atteindre: il est possible que de nouveaux progrès pourront encore être enregistrés si l'on parvient à simplifier certains mécanismes et à tirer un parti encore plus grand de la cellule photo-sensible.

Quant à l'horloge à cristal piézo-électrique, il est certain que celles qui sont actuellement en construction ou en cours d'essais auront tiré parti des ressources immenses que la radio-technique actuelle peut fournir, aussi bien dans la technique du cristal piézo-électrique que dans celles des lampes électroniques et des circuits oscillants. On peut donc être assuré que de nouveaux progrès seront annoncés dans le cours des prochaines années.

Mais cette nouvelle étape sur le chemin ardu de la précision implique également l'amélioration ou même la transformation de la technique de la mesure horaire. On se rend déjà compte que la précision des instruments de mesure actuels, ainsi que celle de leur appareillage auxiliaire, ne suffisent plus pour les mesures délicates que les nouvelles horloges rendent nécessaires. Qu'il suffise de mentionner les chronographes enregistreurs dont les styles inscripteurs, aussi légers qu'ils soient, sont des sources d'erreurs d'inscription, les contacts électriques des circuits de mesure dont la fermeture et l'ouverture sont, si peu que cela soit, irréguliers et, enfin, les relais dont la constante de temps n'est pas rigoureusement... constante.

Le principe de l'horloge à cristal piézo-électrique permet de tourner, en partie du moins, la difficulté, car les mesures comparatives qu'elle permet sont des comparaisons de courants alternatifs à fréquence plus ou moins élevée (100 à 100 000 périodes par seconde) pour lesquelles l'oscillographe et particulièrement celui à rayon cathodique est l'instrument tout indiqué.

Pour la comparaison nécessaire entre la courbe continue du courant alternatif, fourni par une horloge à cristal piézo-électrique et les impulsions de

courant discontinues, émises par une horloge à balancier ou par le micro-mètre impersonnel de la lunette méridienne, l'oscillographe à enregistrement photographique sera utilisé. De plus, on remplacera, partout où cela est possible, le contact sec des circuits de mesure par la cellule photo-sensible dont le rayon lumineux est dépourvu d'inertie.

Quant aux relais, il n'existe malheureusement pas d'organe de remplacement pratique, mais on sera obligé d'adapter sa construction à ses fonctions spéciales.

### DISTRIBUTION ET UNIFICATION DE L'HEURE PAR RÉSEAUX-HORAIRES POSSÉDANT LEURS PROPRES SYSTÈMES DE LIAISONS

La nécessité dans laquelle les hommes se trouvent à l'époque actuelle de régler leur activité d'une façon aussi rationnelle et économique que possible, de coordonner leur travail et celui des machines qu'ils actionnent ou surveillent, de contrôler d'une manière efficace la marche et la circulation des moyens de transport, a rendu inévitable une diffusion étendue de l'heure exacte.

L'électricité a permis de résoudre ce problème et de répondre à ses multiples exigences par deux genres de solutions satisfaisantes, les unes offrant la possibilité de lire l'heure exacte à de nombreux cadrans disséminés sur un espace plus ou moins étendu, les autres permettant à chacun le contrôle et le réglage fréquent et précis de sa montre. Dans la première catégorie, nous trouverons par exemple les réseaux d'horloges secondaires ou d'horloges synchrones, dans la seconde, la transmission télégraphique, téléphonique ou radio-télégraphique de l'heure.

La classification que nous avons donnée au chapitre premier ne se base toutefois pas sur le critère que nous venons d'énoncer, mais sur le mode de liaison des appareils horaires entre eux. Ce chapitre, ainsi que les trois suivants, sont consacrés aux horloges et aux appareils groupés en réseaux dont les lignes sont réservées exclusivement à la transmission des impulsions motrices périodiques. Ces réseaux sont de conception déjà ancienne, car en 1858 Genève puis Mayence dès 1862 possédaient un système urbain de distribution de l'heure ; il faut toutefois convenir que les dérangements étaient fréquents et donnaient lieu, à Genève, à de véhémentes réclamations de la part du public.

Les obstacles auxquels sont venus se heurter à l'origine les constructeurs d'horloges électriques ont été décrits par Albert Favarger dans son ouvrage, *L'électricité et ses applications à la chronométrie* [1], et nous ne pouvons faire mieux que de reproduire les lignes qu'il consacre à ce sujet :

« Les obstacles auxquels sont venus, à l'origine, se heurter les théoriciens et praticiens à la recherche d'une solution satisfaisante du problème qui nous occupe, ont été assez nombreux et, en apparence, assez insurmontables, pour décourager la plupart d'entre eux. La difficulté n'était pas seulement de se servir de l'électricité pour uniformiser l'heure montrée par plusieurs cadrans ; ce problème, quoique déjà ardu en lui-même, fut, dès le début, abordé avec un certain succès ; le point délicat, celui qui mit à une rude épreuve la patience des chercheurs, était de soustraire les mécanismes des cadrans publics aux influences perturbatrices du milieu dans lequel il s'agissait de les faire marcher : la pluie, la poussière, la rouille, les changements plus ou moins brusques de température, les courants d'électricité atmosphérique, l'influence de fils voisins transportant les courants de force et de lumière, etc., tels étaient ici les principaux ennemis à combattre et à dompter. On remarquera d'ailleurs que la plupart de ces causes de perturbation affectent également les horloges publiques purement mécaniques ; toutefois, si leur influence devint surtout apparente à l'époque où l'on chercha à appliquer l'électricité aux horloges publiques, c'est que le nombre des cadrans exposés aux intempéries était jusqu'alors trop restreint, et l'exactitude que l'on attendait d'eux trop minime, pour que l'on eût l'occasion de s'en préoccuper sérieusement. L'horlogerie électrique, qui eut surtout comme objectif la distribution *publique* de l'heure, eut au contraire immédiatement à compter avec elles, et c'est à cette circonstance, accessoire à première vue, qu'il faut, selon nous, attribuer le peu de succès des premiers essais faits dans cette direction.

Aujourd'hui, les progrès de cette branche des applications de l'électricité et les résultats d'expériences décisives et de longue durée actuellement acquis, sont assez grands pour que l'on puisse hardiment poser en principe qu'un cadran électrique public bien combiné et bien exécuté peut, en plein air, fonctionner avec une sûreté *beaucoup plus grande* que celle d'une horloge mécanique<sup>1</sup>.

On peut donc considérer comme résolu dans toutes ses parties le problème qui fait l'objet de la présente étude. Il existe des installations où des milliers d'appareils horaires, unifiés électriquement, fonctionnent avec la plus grande régularité. Les résultats techniques et financiers obtenus jusqu'ici

---

<sup>1</sup> Nous pouvons citer, à l'appui de cette assertion, l'exemple de milliers de compteurs électrochronométriques publics qui, pendant de longues périodes de temps (10, 15, 30 et même 40 et 50 années selon leur exposition plus ou moins favorable), ont marché sans interruption. Lorsqu'au bout de l'une de ces périodes, un nettoyage devient absolument nécessaire, on constate, sur les mécanismes, la présence d'une couche de poussière et de toiles d'araignées dont la sixième partie suffirait à immobiliser complètement l'échappement à ancre ou à chevilles le mieux construit.

sont assez décisifs pour que l'on puisse affirmer que la cause de l'horlogerie électrique est actuellement gagnée. »

Depuis lors ces installations ont atteint un haut point de perfection et de sécurité et se comptent actuellement par milliers sur toute l'étendue du globe; comme nous l'établirons plus tard, elles ont si bien fait leurs preuves que l'apparition de nouveaux systèmes de distribution de l'heure, les horloges synchrones, par exemple, n'ont pas diminué la faveur dont elles jouissent auprès du public. Il faut reconnaître que ces progrès ont été grandement facilités par le développement extraordinaire de la technique du courant faible appliquée à la télégraphie et à la téléphonie et par celui de la petite mécanique de précision.

La distribution de l'heure par un réseau horaire est basée sur l'envoi, depuis un appareil central, d'impulsions de courant équidistantes à un nombre plus ou moins grand d'horloges ou d'appareils récepteurs horaires.

Dans leur généralité, les réseaux horaires comportent donc les organes fondamentaux suivants :

- a) Le générateur ou source de courant électrique.
- b) L'appareil central ou horloge mère, dont le dispositif interrupteur émet à intervalles constants les impulsions de courant motrices.
- c) Les lignes conductrices qui transmettent ces impulsions.
- d) Les horloges et appareils récepteurs dont le mécanisme utilise ces impulsions soit pour mouvoir les aiguilles d'un cadran, soit pour accomplir une fonction horaire quelconque : déclenchement d'un dispositif de signalisation, frappe des heures, etc.

Tandis que les organes mentionnés sous lettres *b* et *d* seront décrits aux chapitres X et XI, nous examinerons brièvement ci-dessous les sources de courant et les lignes conductrices.

### Les sources de courant

Nous renvoyons le lecteur au chapitre I décrivant les sources de courant le plus fréquemment utilisées pour l'alimentation des réseaux horaires et nous nous bornerons ci-après à donner quelques indications relatives à leur emploi.

Les appareils constituant les réseaux que nous allons étudier comportant, à peu d'exceptions près, des électro-aimants, leur alimentation se fait obligatoirement par des impulsions de courant continu ou de courant alternatif redressé.

Pendant de nombreuses années, seules les piles électriques à liquide furent utilisées comme source de courant (éléments Daniell, Callaud, Meidinger, Leclanché, etc.), mais actuellement, elles sont presque totalement délaissées et n'équipent plus que de petits et anciens réseaux.

La pile sèche par contre (pile à liquide immobilisé de Leclanché, Pertrix, etc.), est souvent utilisée pour l'alimentation de petits réseaux ; on choisit une ou deux piles blocs à grande capacité, environ 80 à 100 amp. H. dont la tension est de 6 ou de 12 volts. Lorsque le nombre d'appareils récepteurs n'est pas trop considérable et que la résistance de leurs électro-aimants est suffisamment élevée, ces piles ont une durée de 3 à 4 ans.

La batterie d'accumulateurs est la source de courant utilisée le plus fréquemment pour les grands aussi bien que pour les petits réseaux horaires ; les causes de cette faveur sont d'une part le degré élevé de perfection des batteries au plomb et surtout de celles au fer-nickel ou au fer-cadmium-nickel et d'autre part, la facilité et l'automatisme de la charge dus à l'emploi des redresseurs secs au sélénium ou à l'oxyde de cuivre. Il faut également tenir compte du fait qu'une installation d'horloges électriques peut être branchée sans aucun inconvénient sur une batterie commune à d'autres installations à courant faible, les réseaux téléphoniques ou de signalisation, par exemple.

La tension de service des batteries est déterminée par l'étendue des réseaux et le genre de couplage des horloges ; on choisit de préférence une des tensions normalisées de 6, 12, 24, 48, 60, 100 ou 110 volts.

En règle générale, les batteries qui alimentent les installations téléphoniques ont une tension de 24, 48 ou de 60 volts ; les tensions inférieures de 6 et 12 volts sont réservées aux petits et moyens réseaux dont les horloges sont branchées en parallèle, celles de 24 et 48 volts aux grands réseaux tandis que les tensions supérieures de 60 à 110 volts sont utilisées lorsque les réceptrices sont branchées en série.

La capacité des batteries se calcule aisément en tenant compte de la résistance totale du réseau, y compris les lignes et les dispositifs pare-étincelles, de la durée et de la fréquence des impulsions de courant, de l'espace de temps entre deux charges ou de la durée possible de la plus longue interruption du courant d'alimentation si la batterie est chargée en tampon. On ajoutera à la consommation théorique ainsi obtenue, une marge de sécurité prenant en considération l'auto-décharge de la batterie, les pertes en ligne, etc. ; cette marge sera encore augmentée si un développement ultérieur du réseau est à prévoir.

A titre d'exemple, nous donnons le calcul de la capacité requise d'une batterie de 12 volts alimentant un réseau de 25 horloges secondaires (résistance individuelle 1 000 ohms) commandée par une horloge mère (résistance de l'électro d'impulsion 200 ohms ; résistance de la bobine pare-étincelle



650 ohms) durée de l'impulsion motrice 1 seconde toutes les minutes, durée de l'impulsion motrice de l'horloge mère 0,2 seconde toutes les 15 secondes, résistance totale des lignes 15 ohms.

La résistance totale du circuit des horloges secondaires est :

$$\frac{1}{R} = \frac{25}{1000} + \frac{1}{650} \quad R = 37,5 \text{ ohms}$$

l'intensité requise est

$$I = 0,320 \text{ amp.}$$

la consommation horaire est de 0,05 amp. heure.

Le même calcul pour le circuit de l'horloge mère donne pour la consommation horaire 0,001 amp. heure ; la consommation horaire totale est ainsi de 0,051 amp. heure. La discussion de ce résultat donne le résultat suivant :

- La batterie est placée en tampon et doit faire face à une interruption possible de deux jours. La capacité de la batterie sera de  $48 \times 0,051 = 2,5$  amp. heure, à laquelle nous ajouterons une marge de sécurité de 2,5 amp. heure. La batterie aura donc une capacité de 5 amp. heure.
- La batterie existe déjà pour un autre service. L'accroissement de la capacité à prévoir est de 2,5 amp. heure.
- La batterie est chargée 2 fois par mois. Elle doit donc assurer un service de  $16 \times 24 = 384$  heures ; sa capacité sera de  $384 \times 0,051 = 19,5$  amp. heure que l'on portera à 40 amp. heure pour obtenir la sécurité voulue.

Si la charge de la batterie s'effectue au moyen de courant continu, il faut utiliser un réducteur de tension et si elle s'effectue au moyen de courant alternatif, un appareil convertissant le courant alternatif en courant continu.

Dans le premier cas, on placera en série avec la batterie une résistance appropriée ou, ce qui est mieux et plus sûr, un réducteur potentiométrique comme le montre la fig. 175.

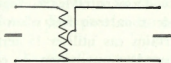


Fig. 175. Réducteur de tension potentiométrique.

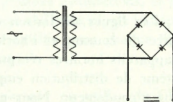


Fig. 176. Charge d'une batterie d'accumulateurs par le courant alternatif redressé.

Dans le second cas, réseau alternatif mono ou triphasé, on pourra utiliser soit un groupe convertisseur, soit un redresseur de courant. Cette dernière solution est actuellement en grande vogue, surtout depuis l'apparition des éléments redresseurs secs à l'oxyde de cuivre ou au sélénium et des redresseurs à valves thermoïoniques (lampes à vapeur de mercure ou à gaz rare). La fig. 176 montre la disposition schématisée d'une batterie placée en tampon, chargée par un redresseur sec.

L'installation d'une telle source de courant implique de toute nécessité la présence des éléments de sécurité suivants :

- d'un fusible ou d'un automate coupant le courant d'alimentation en cas de surcharge ;

- d'un fusible uni ou mieux bipolaire sur la ligne qui relie la source de courant à l'horloge mère.

Il ne faut pas oublier qu'une pile sèche ou une pile humide ont une résistance intérieure relativement élevée, variant entre 0,5 et 1 ohm, tandis que la résistance intérieure d'une batterie d'accumulateurs est infime (0,03 à 0,05 ohm) et qu'un court-circuit peut produire des dégâts considérables aussi bien dans la batterie que dans les appareils récepteurs.

Si le réseau d'alimentation, qu'il soit continu ou alternatif, présente une sécurité d'alimentation suffisante, la batterie d'accumulateurs peut être supprimée et l'installation d'horloges branchée directement sur le redresseur ou le réducteur de tension. En cas de panne de courant, il est clair que les horloges s'arrêteront et qu'elles devront être remises en marche et leurs indications corrigées, soit manuellement soit automatiquement.

Signalons aussi que le système d'horloges Magnéta (ou Inducta) présente la caractéristique de remplacer la source de courant continu, batterie de piles ou d'accumulateurs, par un appareil magnéto-électrique qu'un mécanisme approprié, commandé par l'horloge mère, déclanche à chaque minute et qu'un poids moteur actionne en faisant parcourir à l'induit mobile du générateur des mouvements angulaires rapides.

### Les lignes de liaison

Les lignes de liaison établissent la communication électrique entre la source de courant et l'horloge mère et entre cette dernière et les horloges et appareils horaires récepteurs. Ces lignes à un, deux ou trois fils, selon le système de distribution employé, peuvent dans certains cas utiliser la terre comme conducteur. Nous ne nous étendrons pas sur la construction de ces lignes car, en règle générale, elles seront établies par des électriciens spécialistes ; nous nous bornerons à donner quelques indications utiles pour l'établissement de l'avant-projet d'un réseau horaire.

Tout d'abord nous insistons sur le fait que les lignes, si courtes et si simples qu'elles soient, doivent être installées avec le plus grand soin et avec du matériel de la meilleure qualité ; une remarque que les praticiens, appelés à remettre en état un réseau horaire, ont bien souvent faite est que les appareils sont beaucoup plus rarement défectueux et en mauvais état que les lignes qui les relient les uns aux autres. Combien fréquents sont les défauts d'isolation, les épissures et les soudures mal faites ou même inexistantes, combien de vis de serre-fils desserrées et même absentes... la liste des négligences est longue. Enseignement à tirer : les lignes doivent être établies avec du bon matériel par un électricien habile et surtout consciencieux. Il est recommandable de suivre les prescriptions établies en matière d'installations électriques par les services officiels compétents ou par les associations reconnues d'électriciens. En Suisse, le règlement recommandé est le « Règlement relatif à l'établissement et l'entretien des lignes aériennes à courant faible » (No B 191 de la D.G. des P.T.T.) et les « Prescriptions pour l'établissement des installations intérieures destinées à être raccordées au réseau téléphonique de l'Etat » (No b 191 de la D.G. des P.T.T.).

Le matériel utilisé le plus couramment est le suivant :

*Installations intérieures.* Fil de cuivre section 0,8-1 ou 1,5 mm<sup>2</sup>, isolation gaine caoutchouc, 2 couches ruban coton caoutchouté et 1 tresse coton imprégné (en Suisse, fil G.S. XII).

Fil à 1 ou 2 conducteurs cuivre étamé  $\varnothing$  0,8 mm, gaine caoutchouc vulcanisé, guipage et tresse de coton gris enduits à la paraffine (en Suisse, fil de station type R des P.T.T.).

Câble sous plomb à 1 ou 2 conducteurs  $\varnothing$  0,6 mm cuivre, isolation émail, guipage coton sous manteau de plomb (en Suisse câble G).

Tous les raccords ou dérivations sont à exécuter au moyen de boîtes à serre-fils de modèle éprouvé ; les épissures ou dérivations soudées et isolées au ruban isolant sont à proscrire.

Comme nous l'avons dit plus haut, un fusible ou un automate est à placer entre le réseau et l'appareil de charge des accumulateurs et un fusible entre la source de courant et l'horloge mère. Dans les grandes installations, et plus spécialement pour les lignes comportant des tronçons aériens, il est indispensable de prévoir au départ de l'horloge mère un fusible pour chaque ligne, doublé d'un parafoudre pour les lignes extérieures.

*Installations extérieures.* Pour les lignes aériennes, on utilise du fil de cuivre dur  $\varnothing$  2 mm, du fil de bronze  $\varnothing$  2 mm, semblables à ceux qui sont employés pour la construction des lignes téléphoniques ; le montage, l'installation et l'isolation sont à prévoir d'après les prescriptions en vigueur.

Pour les lignes souterraines, on pose du câble sous plomb à une ou plusieurs paires de conducteurs cuivre, dont les diamètres sont à choisir selon la distance et la tension disponible, entre 0,6 et 1,5 mm. Les jonctions et les extrémités sont à placer sous boîte de fonte avec isolation spéciale en masse plastique isolante ; ces points constituant des endroits critiques, il convient de les traiter avec le plus grand soin.

### Services horaires accessoires

Simultanément avec les cadrans récepteurs, d'autres services horaires peuvent être dirigés ou synchronisés par l'horloge mère; ce sont par exemple:

La mise en action à des moments déterminés à l'avance de dispositifs de signalisation optiques, électriques ou acoustiques, tels que lampes de signalisation, sonneries, sirènes, cornets, claxons, cloches, etc. L'horaire selon lequel ces signaux sont émis est en général déterminé une fois pour toutes à l'avance, à moins qu'il ne soit fait usage de dispositifs tels que ceux des réveille-matin, permettant de varier à volonté l'heure à laquelle le signal doit être donné.

La commande à distance à des heures déterminées, souvent selon un programme fixé, d'appareils électriques ou mécaniques tels qu'interrupteurs, vannes à moteurs électriques, etc.

La frappe des heures sur un ou plusieurs timbres, gongs, cloches, selon des combinaisons plus ou moins compliquées, depuis la simple frappe des heures jusqu'au carillon le plus compliqué, sans oublier la frappe caractéristique des heures sur les cloches des bateaux.

La synchronisation des balanciers d'autres horloges utilisées comme horloge de réserve ou relais horaires pour des réseaux décentralisés.

L'émission et la transmission de signaux horaires, formés de groupes d'impulsions de courant rythmées, par les réseaux télégraphiques ou téléphoniques ou par la radio.

Toutes ces fonctions horaires accessoires possèdent en général un réseau particulier qui souvent se superpose au réseau principal des horloges secondaires. Nous aurons l'occasion d'étudier plus en détail quelques-uns de ces services horaires spéciaux.

### Les impulsions de courant motrices

La *fréquence* ou le rythme des impulsions de courant motrices est déterminée par le service que l'on attend des horloges du réseau, puisqu'à chaque impulsion correspond un saut des aiguilles ; les fréquences les plus courantes sont :

- a) Une impulsion de courant chaque minute ; cette fréquence est encore toujours la plus répandue, bien que dans nombre de cas on estime qu'un saut de la grande aiguille toute les minutes ne permette plus une indication suffisamment précise de l'heure.
- b) Une impulsion chaque demi-minute ; la critique rapportée ci-dessus a engagé de nombreux constructeurs, français et anglais pour la plupart, à augmenter la fréquence à deux sauts de l'aiguille par minute.
- c) Une impulsion chaque quart de minute ; cette fréquence est en général réservée à l'actionnement des aiguilles des horloges de grand diamètre, deux mètres et plus ; on considère que le saut d'une aiguille chaque minute a, dans ce cas, pour conséquence le parcours trop rapide d'un chemin considérable ; à titre d'exemple, l'extrémité de l'aiguille des minutes d'un cadran dont le diamètre est de 4 mètres, est obligée de parcourir en quelques dixièmes de seconde un chemin de 21 cm.
- d) Une impulsion chaque seconde ; les compteurs électrochronométriques, munis de 3 aiguilles indiquant l'heure, la minute et la seconde, sont indispensables là où les durées doivent être mesurées avec exactitude : observatoires astronomiques, laboratoires scientifiques et industriels, ateliers de réglage des montres, etc. Il est intéressant de constater que les compteurs électrochronométriques, surtout ceux de grands diamètres, s'introduisent peu à peu dans certaines exploitations publiques ou industrielles : gares de chemin de fer à trafic intense, studios de radiodiffusion, salles d'opérations et cabinets de radiologie des hôpitaux et cliniques, fabriques de produits chimiques, etc.
- e) Outre ces fréquences, on rencontre quelques réseaux à but spécial (avions militaires, centrales téléphoniques, par exemple) dont les horloges sont munies d'aiguilles sautant toutes les cinq secondes ou même cinq fois par seconde ; il est naturel que pour ces deux dernières fréquences le diamètre du cadran ne dépasse pas 8 ou 10 cm.

*La polarité des impulsions de courant.* L'émission des impulsions de courant peut se faire de deux manières différentes :

- a) Les impulsions successives se font toujours dans le même sens, en d'autres termes, un des conducteurs est toujours positif et l'autre toujours négatif (impulsions de sens constant).
- b) Le sens des impulsions est inversé (ou alterné) à chaque émission ; l'un des conducteurs est alternativement positif puis négatif, etc.,

tandis que la polarité de l'autre est simultanément inverse, c'est-à-dire négative, puis positive (impulsions de sens alterné ou polarisées).

Le premier mode a été exclusivement utilisé lors des débuts de l'horlogerie électrique ; les résultats furent moins que satisfaisants, car nous avons vu au chapitre II les défauts graves qui entachent l'électro-aimant à armature plate, tel qu'on le trouvait dans toutes les horloges secondaires de cette époque.

Les constructeurs déployèrent toute leur ingéniosité pour éviter ces défauts, mais jusqu'au début du XXe siècle aucune de leurs innombrables tentatives ne permit de réaliser un mouvement secondaire, utilisant des impulsions de sens constant, dont la construction fut simple et le fonctionnement sûr.

C'est la raison pour laquelle Stöhrer, puis tout particulièrement Hipp depuis 1860, se convainquirent que seul l'électro-aimant à armature polarisée, utilisant des impulsions de sens alterné, permettait d'éviter les défauts inhérents à l'emploi de l'électro-aimant à impulsions de sens constant.

Il est indéniable que l'électro-aimant à armature polarisée confère aux horloges utilisant des impulsions de sens alterné une série d'avantages, parmi lesquels nous citons :

- a) Suppression des ressorts antagonistes ou des contrepoids puisque les impulsions de courant de sens alterné produisent à eux seuls les mouvements de l'armature, qu'elle soit oscillante ou rotative.
- b) Suppression de l'action perturbatrice des courants dus à l'électricité atmosphérique ou résultant de l'induction par des courants à haute tension voisins. Une impulsion anormale due à l'un de ces courants pourra bien provoquer un seul mouvement prématuré de l'armature, mais jamais plusieurs consécutivement, en sorte qu'une avance permanente de l'aiguille de la réceptrice sur le temps indiqué par l'horloge-mère ne sera pas possible.
- c) Diminution de l'intensité de courant nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des horloges ; en effet, l'intensité absorbée par un mouvement à armature polarisée est très inférieure à celle qui, toutes choses étant égales, est nécessaire au fonctionnement d'un mouvement à armature non polarisée. Cette propriété est importante car, non seulement elle a pour conséquence une diminution de la consommation totale de courant, mais elle permet de réduire considérablement la charge du contact de l'horloge mère ; conséquence : on pourra brancher sur la même ligne un nombre plus considérable d'horloges secondaires que cela ne serait possible pour des mouvements à armature non polarisée.



- d) Augmentation très sensible de la course de l'armature, combinée avec un ralentissement automatique de la vitesse, croissant avec la longueur et la masse des aiguilles à actionner.

Ces divers avantages expliquent pourquoi la presque totalité des systèmes d'horloges électriques de l'Europe continentale utilisent les impulsions de courant polarisées, malgré la complication, très minime il est vrai, qu'elles imposent au système interrupteur de l'horloge mère.

Il faut toutefois remarquer que, depuis le début du siècle, les sources de courant ont permis l'utilisation de tensions plus élevées et rendu possible des consommations de courant plus grandes ; de plus, le développement de

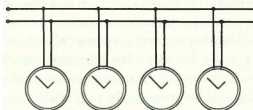


Fig. 177. Groupement en parallèle.

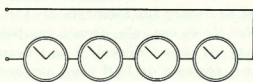


Fig. 178. Groupement en série

la technique de la téléphonie a amélioré et créé de nouveaux organes électromécaniques. De ce fait, la technique de l'utilisation des impulsions de sens constant, de même que la construction des électro-aimants correspondants ont fait de très sensibles progrès ; cela explique pourquoi aux Etats-Unis et en Angleterre, les systèmes d'horloges utilisant des impulsions de sens constant ont, non seulement réussi à persister, mais aussi à se développer. Nous verrons au chapitre XI quelques mouvements de ce type et les caractéristiques qu'ils présentent.

### Groupement des horloges et des appareils récepteurs

Il existe en principe deux manières de relier les horloges et appareils récepteurs aux bornes de contact de l'horloge mère :

- le groupement en parallèle ou en dérivation, tel que le représente la fig. 177 ;
- le groupement en série ou en tension, illustré par la fig. 178.

Nous allons examiner ces deux modes de groupement et en présenter les avantages et les inconvénients.

*Groupement en parallèle.* La source de courant livre un courant dont la tension est constante mais dont l'intensité varie proportionnellement au nombre des réceptrices mises ou enlevées du circuit.

L'inconvénient de ce groupement est que la résistance des lignes, supposées de section constante, croît avec leur longueur ; les horloges réceptrices les plus rapprochées de la source de courant reçoivent une intensité de courant plus grande que celles qui en sont les plus éloignées. Cet inconvénient est surtout sensible lorsque la ligne est longue et que le plus grand nombre des réceptrices qu'elle alimente sont groupées à son origine. Un des remèdes à ce défaut est de choisir le voltage de la source de courant suffisamment élevé pour que les différences d'intensité reçues par les réceptrices les plus éloignées et les plus rapprochées restent inférieures à l'écart maximum d'intensité que les réceptrices peuvent supporter sans être perturbées, même si leur mécanisme est sale. Un autre remède, fréquemment employé pour les grands réseaux, est de donner aux bobinages des horloges les plus rapprochées une résistance plus élevée que celle donnée aux bobinages des horloges les plus éloignées ; pour un réseau alimenté à la tension de 12 volts, on donnera par exemple une résistance de 1500 ohms aux horloges placées près de la source de courant et de 1000 ohms à celles qui sont placées aux extrémités des lignes.

L'avantage du groupement en parallèle est que l'adjonction ou l'enlèvement d'horloges secondaires peut se faire sans troubler la marche des réceptrices en fonction ; la rupture de la ligne d'alimentation n'arrête que les horloges qui sont branchées sur elle, un défaut de bobinage d'une réceptrice n'arrête que celle-ci. Un autre avantage est que l'on peut faire varier le nombre des réceptrices branchées sur une ligne de groupe sans avoir à faire varier la tension de la source de courant. Nous signalons toutefois qu'il est nécessaire, lors d'un changement important dans le nombre des horloges réceptrices, de modifier en conséquence la valeur de la résistance des bobines bifilaires qui pourraient être placées comme dispositifs pare-étincelles aux bornes de départ de l'horloge mère.

*Groupement en série.* L'intensité du courant livré par le générateur reste constante, mais sa tension varie proportionnellement au nombre des réceptrices mises ou enlevées du circuit.

L'inconvénient de ce mode de groupement est que l'enlèvement d'une réceptrice ou la rupture du fil de son électro-aimant provoque l'arrêt de toutes les autres réceptrices du circuit ; pour éviter cet arrêt, il faut placer aux bornes de chaque réceptrice une résistance ohmique qui assure le passage du courant ; cette façon de procéder offre néanmoins l'inconvénient de charger inutilement le circuit des horloges secondaires. Un deuxième inconvénient est que la variation du nombre de réceptrices, entraînant une variation correspondante de la tension de la source de courant, rend nécessaire la modifi-

cation de la composition de cette dernière lors de l'adjonction ou de la suppression de réceptrices ; dans certains réseaux, on a évité cette modification en insérant au départ du circuit un régulateur automatique de tension.

L'avantage de ce groupement est qu'il permet l'installation d'un fil de ligne de section relativement faible et surtout l'utilisation de sources de courant à tension élevée. Un avantage cité quelquefois est, qu'en cas de rupture accidentelle du fil d'alimentation, toutes les réceptrices s'arrêtent à la même heure ; l'accident est ainsi signalé automatiquement à l'horloge mère et, depuis celle-ci, toutes les réceptrices peuvent être remises à l'heure simultanément.

A l'heure actuelle, le groupement en parallèle est utilisé par la plupart des réseaux horaires européens et américains tandis que le groupement en série est le seul qui soit employé en Angleterre et par certains constructeurs français ; ce dernier mode de groupement est de rigueur lorsque la source de courant est un inducteur magnétique (système « Inducta »).

En Allemagne, les réceptrices de certains réseaux horaires de très grande étendue ont été branchées en série, l'alimentation se faisant par une batterie d'accumulateurs de 60 ou 110 volts ; notons aussi que dans certains réseaux, constitués par plusieurs groupes d'horloges éloignés les uns des autres, le couplage en série est utilisé pour la liaison des réceptrices du même groupe, tandis que les groupes sont reliés en parallèle les uns avec les autres.



## CHAPITRE X

### LES HORLOGES MÈRES

L'horloge mère est l'organe qui, dans un réseau horaire, a la charge d'émettre à intervalles égaux les impulsions de courant motrices et de les transmettre par l'intermédiaire des lignes de liaison aux divers organes récepteurs : horloges secondaires, appareils horaires de tous genres.

L'horloge mère est donc en principe un appareil primaire mesurant le temps, dont un des mobiles est solidaire d'un mécanisme interrupteur qu'il ferme et ouvre à des intervalles équidistants. Cette fonction peut être accomplie de diverses manières, elle peut l'être simultanément avec d'autres opérations : inversion de la polarité des impulsions, répartition de ces dernières dans plusieurs lignes de distribution, amplification de leur intensité par relais.

L'horloge mère peut en conséquence revêtir de multiples formes, depuis le simple interrupteur automatique jusqu'à la grande centrale horaire, capable d'alimenter plusieurs milliers de cadrans secondaires. Les fonctions simples ou combinées qu'elle doit remplir lui imposent un surcroît de puissance, ce qui ne va pas sans difficultés pour l'établissement de son mécanisme. Ces difficultés, bien connues des premiers constructeurs d'horloges mères, ont été rappelées avec humour par Hope-Jones dans son livre *Electrical Time-keeping* [3 b] : « L'horloger, dont les connaissances en électricité étaient rudimentaires, utilisait une petite goupille plantée sur l'une des roues tournant bien librement pour pousser un léger ressort et ne parvenait ainsi qu'à établir un mauvais contact ; l'électricien, lui, ignorant les règles élémentaires de l'horlogerie, choisissait un ressort robuste, mais ne réussissait qu'à détruire les qualités de l'horloge, heureux s'il ne l'arrêtait pas. »

Ce « conflit », pour être résolu demanda de longs efforts aux constructeurs, mais actuellement les solutions qui ont été trouvées donnent toute satisfaction à l'horloger aussi bien qu'à l'électricien.

L'examen des divers systèmes d'horloges mères en service à l'heure actuelle montre que les conditions qui permettent de conserver à une horloge

ses qualités de précision, tout en assurant le passage d'un courant d'intensité suffisante, ont conduit à deux méthodes constructives :

1. Augmentation du couple moteur du rouage entraînant les aiguilles et actionnant simultanément le contact. Cette augmentation peut être obtenue de deux manières différentes :
  - a) par l'augmentation du couple fourni par l'organe moteur, ressort ou poids, d'où découle la nécessité du renforcement du mécanisme de l'horloge ;
  - b) par l'emploi d'horloges dont les oscillations du balancier sont entretenues électriquement puisque le couple exercé par le balancier moteur sur le rouage est très élevé.
2. Commande du contact par un rouage auxiliaire qui élimine les variations du couple moteur exercé sur le rouage et sur l'organe réglant. Diverses solutions peuvent aussi être envisagées pour la réalisation constructive de cette méthode :
  - a) l'emploi, déjà préconisé par Hipp, d'un contacteur mécanique à poids moteur indépendant, déclenché chaque minute par une détente électrique ou mécanique commandée par l'horloge mère ;
  - b) la répartition du couple moteur entre le mouvement de marche et le dispositif à contacts par l'emploi d'un engrenage différentiel ; il est ainsi possible de maintenir constant le couple exercé sur l'organe réglant du rouage de marche ;
  - c) l'emploi d'une horloge relais dont l'oscillation du balancier est entretenue et synchronisée électriquement par l'horloge mère et dont le rouage est muni des contacts de distribution ;
  - d) l'utilisation de contacts n'opposant qu'une très faible résistance mécanique au jeu du rouage ; le courant de très faible intensité que ces contacts sont à même de supporter est envoyé dans les bobinages de relais commandant les contacts d'émission des impulsions horaires.

### L'interrupteur et les organes chargés des fonctions auxiliaires

Avant de passer à l'étude des divers systèmes d'horloges mères, nous examinerons plus en détail la construction de l'interrupteur et celle des organes chargés des fonctions auxiliaires : inversion de la polarité, distribution éventuelle des impulsions de courant dans les lignes d'alimentation de groupes d'horloges secondaires.



*L'interrupteur.* Les conditions que nous avons énumérées au chapitre III doivent être respectées pour que le contact interrupteur agisse d'une façon convenable ; le constructeur s'en inspirera donc pour établir ou améliorer le contact d'une horloge mère et tiendra tout particulièrement compte des conditions *a* et *b* que nous résumons en ces deux règles :

- 1) l'ouverture et la fermeture du contact doivent être aussi rapides que possible ;
- 2) la pression du contact doit être proportionnée à l'intensité du courant et comportera de 1 à 5 grammes pour des contacts faiblement chargés (maximum 100 milliampères) et 10 à 20 grammes pour des contacts devant supporter au maximum 1 ampère. Pour des contacts fortement chargés (maximum 6 à 10 ampères) on utilisera des constructions spéciales ou des contacts à mercure.

Les fig. 179 à 184 montrent quelques exemples d'exécution de contacts correspondant à divers modes de commande mécanique.

Le contact de la fig. 179 est formé par deux lames de ressort en bronze ou en maillechort munies de points de contact ; les vibrations de la lame inférieure sont empêchées par une plaquette rigide. Cette même lame porte un nez

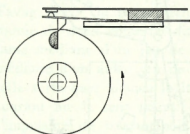


Fig. 179. Commande du contact par une goupille fixée à la roue d'échappement.

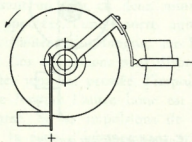


Fig. 181. Contact à balai tournant.

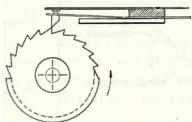


Fig. 180. Commande du contact par une roue à rochet.

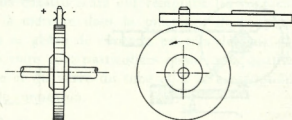


Fig. 182. Contact établi par une lamelle isolée portée par la roue d'échappement.

en pierre dure (agate ou rubis) qui est soulevé par une goupille en acier demi-cylindrique, fixée sur un plateau ou sur un des mobiles du rouage.

La fig. 180 reproduit un contact semblable, souvent utilisé pour la fermeture périodique d'un circuit, mais avec un intervalle entre deux fermetures qui ne soit pas inférieur à 2 secondes.

Le contact rotatif (fig. 181) est fréquemment utilisé à condition que le balais quitte brusquement le plot de contact fixe.

Dans l'exécution représentée par la fig. 182 les deux ressorts sont mis en contact momentané par une pièce métallique fixée sur le disque isolant mû par le mouvement.

La communication électrique du contact (fig. 183) se fait par un bras isolé relié à l'un des pôles et dont l'extrémité vient en contact avec un ressort relié au pôle opposé.

Le dispositif de la fig. 184 comporte un levier pivotant sur un couteau et sur le nez duquel appuie un bras métallique fixé sur un disque isolant mû par le mouvement.

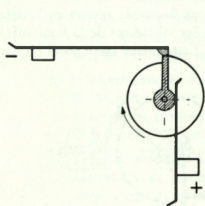


Fig. 183. Contact établi par un segment conducteur isolé porté par la roue d'échappement.

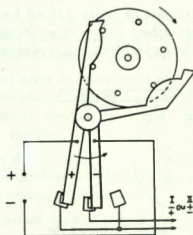


Fig. 185. Inverseur de Hipp (Favag).

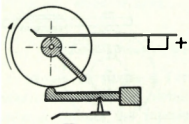


Fig. 184. Contact établi par un levier basculant.

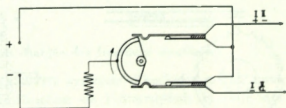


Fig. 186. Commande de l'inverseur par un segment métallique isolé; entre la fermeture des contacts, les fils de ligne sont mis en court-circuit.

*L'inverseur de courant.* Les divers dispositifs décrits ci-dessus n'émettent que des impulsions de courant de sens constant ; l'émission d'impulsions de sens alterné demande soit l'adjonction d'un organe inverseur à l'organe interrupteur, soit la combinaison en un même dispositif d'un organe contacteur et d'un organe inverseur.

Les fig. 185 et 186 montrent deux genres d'organes inverseurs ; dans le dispositif (fig. 185), qui est celui des horloges primitives de Hipp, l'inversion des pôles se fait par un mouvement relativement lent, ce qui ne présente aucun inconvénient pourvu que le contact interrupteur soit ouvert pendant l'inversion.

Dans le dispositif (fig. 186) un segment rotatif, isolé de la masse, mais relié à un des pôles de la batterie, ferme alternativement les deux contacts reliés à l'autre pôle de la batterie. Ce dispositif présente l'avantage de maintenir les deux fils d'alimentation des horloges secondaires en court-circuit, évitant ainsi l'action perturbatrice des courants de self-induction sur les mouvements des réceptrices ; toutefois, afin d'éviter un court-circuit lors de la fermeture des contacts, il est nécessaire d'intercaler une résistance entre la batterie et les lames de contact ; ce dispositif équipe certaines horloges mères de Siemens-Halske de Berlin.

Actuellement, les organes interrupteurs et inverseurs sont le plus souvent réunis en un seul dispositif, dont la fig. 187 donne un exemple utilisé par Favag S. A. : la roue d'échappement faisant un tour en deux minutes est munie de deux goupilles diamétralement opposées, l'une, courte, agit sur la lame médiane d'un jeu de trois ressorts, l'autre, plus longue, sur la lame médiane d'un autre jeu de trois ressorts. Les connexions sont disposées de telle sorte que, lorsque la lame de l'un des jeux est pressée, l'impulsion de courant ait le sens négatif-positif et que lorsque l'autre lame est pressée l'impulsion de courant soit de sens inversé. Si les impulsions de courant doivent être émises chaque demi-minute, la roue d'échappement accomplit un tour en une minute.

Ce dispositif peut être construit de nombreuses façons, comme nous le verrons en décrivant le mécanisme des horloges mères.

Mentionnons aussi que certains constructeurs ont remplacé les contacts métalliques secs par des contacts à mercure dont la puissance de coupure est très élevée ; la construction de ce genre de contacts est très délicate et, pour éviter des ratés, réclame des soins tout particuliers quant à la qualité du mercure, à celles du gaz inerte et du verre du tube et à la constitution et à la fixation des câbles souples de connexion.

*Le distributeur.* Lorsque nous avons examiné du point de vue théorique la construction du contact, nous avons dû constater que l'intensité du courant

admissible ne pouvait dépasser une certaine limite que nous avons fixée à 0,8 A et que l'étincelle résultant du courant de self-induction devait être étouffée par un dispositif efficace. Le constructeur Hipp a le premier reconnu cette difficulté lorsqu'il s'est agi de construire une horloge mère apte à commander un réseau de quelques centaines d'horloges secondaires. Nous avons vu qu'il avait paré d'une façon assez efficace aux effets du courant de self par son interrupteur permettant la mise à terre momentanée de la ligne des réceptrices. Quant à la limitation de la charge du contact, la solution à laquelle il s'arrêta fut le fractionnement de l'ensemble des réceptrices en plusieurs groupes alimentés successivement. Cette solution impliquait la construction d'un dispositif mécanique dont la fonction n'altérât pas la marche de l'horloge.

A l'heure actuelle, les solutions suivantes répondent, comme nous l'avons vu au début de ce chapitre, aux conditions de sécurité posées :

- a) La solution que Hipp avait adoptée et qui consistait en l'emploi d'un distributeur rotatif déclenché chaque minute et mis en rotation momentanée par un poids moteur. Le déclenchement mécanique était produit par un mécanisme à détente très sensible commandé par l'horloge mère mécanique. Cette solution est encore très acceptable à condition que le déclenchement mécanique soit remplacé par un système électrique.
- b) La solution dérivée de la précédente est celle qui consiste en l'utilisation d'un engrenage différentiel pour la mise en marche périodique de l'organe contacteur. Le couple moteur ainsi réparti permet de maintenir constant le couple partiel exercé sur l'organe réglant du rouage de marche.

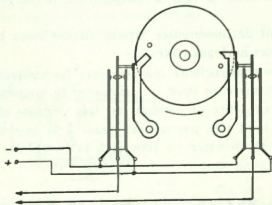


Fig. 187. Interrupteur inverseur de Favag.

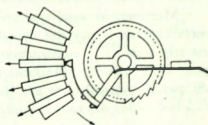


Fig. 188. Distributeur à balai tournant de l'horloge de Hipp (Favag).

- c) La solution employée actuellement par plusieurs constructeurs est le développement de l'interrupteur à balais que nous avons vu précédemment ; la fig. 188 montre un distributeur de ce genre construit par Favag S. A. Une solution intéressante, utilisée par Grau, puis par Favag et Wagner, est représentée par la fig. 189, elle réunit en un seul organe l'interrupteur, l'inverseur et le distributeur.
- d) La technique de la téléphonie a fourni à l'horlogerie électrique un organe multiplicateur de lignes : le relais, dont l'utilisation permet une extension considérable des réseaux horaires.

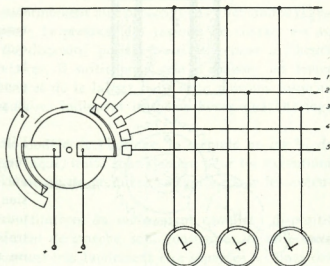


Fig. 189. Combinaison de l'interrupteur, de l'inverseur et du distributeur (Favag).

### Les systèmes d'horloges mères

Nous étudierons les horloges mères en suivant la même classification que nous avons adoptée pour l'étude des horloges indépendantes ; nous retrouverons du reste au cours de notre revue un bon nombre de ces dernières et nous nous contenterons d'ajouter aux descriptions que nous en avons données aux chapitres VI et VII les modifications qu'elles ont dû subir pour être transformées en horloges mères. Les modèles que nous décrirons ainsi successivement sont :

- les horloges mères à remontoir à électro-aimant,
- celles à remontoir à moteur,
- celles à remontoir thermique,
- et, enfin, la nombreuse classe des horloges dont les oscillations de l'organe réglant sont entretenues par un moyen électrique.

Dans chacune de ces classes, nous trouverons des horloges à balancier pendulaire et des horloges à balancier circulaire.

## Horloges mères à remontoir à électro-aimant

### Horloge mère «Elektrozeit A.G.»

La maison Telephonbau und Normalzeit A.G., de Francfort-s/M., qui construit les horloges Elektrozeit, est restée fidèle au remontoir à électro-aimant ; elle l'utilise depuis de nombreuses années et l'a singulièrement

simplifié et perfectionné. La figure schématique 190 montre que le principe utilisé pour le remontoir actuel dérive de celui que nous avons vu utiliser pour le remontoir des horloges indépendantes et qui a été décrit à la page 127.

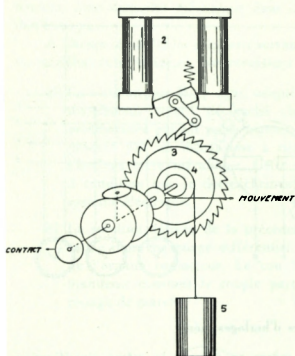


Fig. 190. Remontoir Elektrozeit.

- 1) Armature pivotante de l'électro-aimant
2. 3) Volant denté. 4) Tambour du câble du poids 5.

L'armature basculante (1) de l'électro (2), lorsqu'elle est attirée, communique au moyen d'un encliquetage une brusque impulsion à un disque volant qui, en tournant d'un certain angle, entraîne par un autre encliquetage un tambour (4) et remonte ainsi le poids moteur (5). La mise en circuit de l'électro-aimant de remontage se fait au moyen d'un dispositif contacteur formé par deux bras portés, l'un par l'armature de l'électro, l'autre par le volant ; le contact s'établit lors du mouvement rétrograde du volant, au moment où les deux bras se touchent.

L'axe du tambour (4) est relié par un train d'engrenages différentiels d'une part au système de contact et d'autre part au rouage de marche commandant les aiguilles.

Le mécanisme de commande du contact, mû par un des mobiles du différentiel, est déclenché, comme le représente la fig. 191, par un fléau effectuant chaque minute une rotation de 180°. Le contact très robuste émet



des impulsions de courant de sens alternativement inversé et peut alimenter jusqu'à 80 horloges secondaires ; le schéma de ce contact (fig. 192) montre l'utilisation d'un dispositif semblable à celui qui est décrit à la page 238.

Le mouvement de marche commandant les aiguilles du cadran est mû par la deuxième mobile du différentiel ; le balancier règle sa marche par un échappement de Graham.

Quelques caractéristiques de cette horloge sont intéressantes à relever :

L'alimentation de l'horloge mère, comme celle du réseau d'horloges secondaires, se fait par du courant continu aux tensions normalisées de 6, 12 ou 24 volts.

Le système d'émission des impulsions de courant est complètement isolé de la masse du mouvement, conformément aux prescriptions allemandes régissant les installations électriques ; la pression des ressorts de contact est au minimum de 10 grammes. Ce dispositif permet aussi la remise à l'heure manuelle des horloges secondaires, il suffit pour cela d'abaisser un levier placé sur le côté du mouvement et de le laisser dans cette position jusqu'au moment où les horloges secondaires indiquent la même heure que l'horloge mère.

Le balancier bat, selon le modèle de l'horloge, la seconde ou les  $\frac{3}{4}$  de la seconde ; sa tige est en sapin laqué, traité spécialement pour les exécutions normales et en invar de deuxième ou de première catégorie, pour les exécutions de précision.

Les différentes parties constitutives du mouvement complet : dispositif de remontage, contact, mouvement de marche, sont construites de telle sorte qu'elles forment des unités pouvant très facilement être séparées les unes des autres lorsqu'un contrôle ou un nettoyage sont devenus nécessaires.

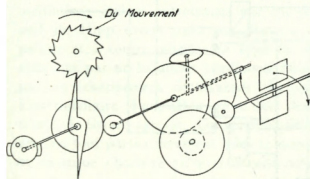


Fig. 191. Horloge mère Elektrozeit ; la transmission du mouvement.

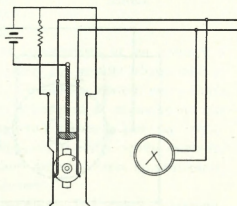


Fig. 192. Horloge mère Elektrozeit A.G., le schéma du contact.

A ce mouvement de base peuvent s'ajouter divers organes auxiliaires, parmi lesquels nous citons :

Le *dispositif de signalisation horaire*, permettant l'émission de signaux acoustiques ou lumineux à un intervalle minimum de 5 minutes, la durée de ces signaux pouvant être réglée avec une grande facilité.

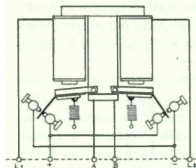


Fig. 193. Relais polarisé Elektrozeit A.G.

Le dispositif de *relais* utilisé lorsque le nombre des horloges secondaires à alimenter dépasse 80 ; l'électro-aimant polarisé de ce relais (fig. 193) attire chaque minute l'une des moitiés de l'armature et ferme ainsi alternativement les contacts émettant des impulsions de courant de sens inversé chaque minute. Les contacts sont construits de telle sorte à pouvoir supporter la charge provenant de 80 à 100 horloges secondaires.

Le mécanisme de *remise à l'heure exacte* réagissant à la réception des signaux télégraphiques horaires ; ce dispositif, fort ingénieux, est plus spécialement utilisé par les administrations ferroviaires allemandes pour la remise à l'heure des horloges mères commandant les réseaux d'horloges des stations et des gares.

*Contact à seconde.* L'horloge mère munie d'un pendule battant la seconde peut être disposée de façon à émettre des impulsions de courant toutes les secondes. L'extrémité supérieure de la tige de balancier porte un ressort plat dont les deux extrémités appuient alternativement sur deux butées de contact fixes, fermant ainsi deux circuits électriques comportant chacun un relais.

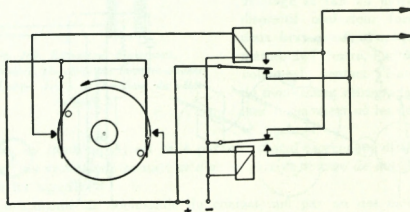


Fig. 194. Emission d'impulsions de courant de sens alternativement inversé par deux relais commandés par l'horloge mère.

Les contacts de ceux-ci sont groupés de telle sorte que chaque seconde des impulsions de courant de sens inversé ou non sont émis dans la ligne alimentant les appareils horaires (le schéma d'un contact semblable est donné par la fig. 194).

Une nouvelle construction fort ingénieuse, réalisée par « Elektrozeit », est signalée par K. Scheibe et J. Stamm [7] ; la fig. 195 représente ce dispositif comportant un petit aimant permanent (1) fixé à la partie inférieure du balancier et, enfermée dans un tube de verre (2) dans lequel le vide a été fait, une bascule métallique (3) très légère, dont les extrémités plongent alternativement dans deux gouttes de mercure (4 et 5). L'aimant entraîne, sans contact matériel ni résistance appréciable, une palette en fer doux (6) fixée à la bascule et oblige celle-ci à fermer alternativement deux circuits identiques à ceux du contact à ressorts.

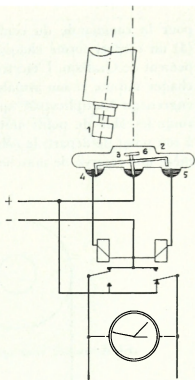


Fig. 195. Horloge mère «Telephonbau und Normalzeit». Contact à seconde sans lien matériel avec le balancier.

1) Aimant permanent fixé à la tige du balancier. 2) Tube en verre évacué. 3) Bascule légère. 4 et 5) Gouttes de mercure. 6) Armature en fer doux fixée à la bascule.

### Horloge mère

de la S.A. Siemens-Halske, à Berlin

La Maison Siemens-Halske a appliqué successivement divers types de remontoir à ses horloges mères; pendant de nombreuses années, celles-ci furent munies d'un balancier dont les oscillations étaient entretenues par un dispositif de Hipp comprenant un électro-aimant d'impulsion et un contact à palette et à contre-palette. Ce type de remontoir fut ensuite abandonné et remplacé par un balancier régulateur dont les oscillations étaient entretenues par un échappement de Graham ; le poids, actionnant le mouvement par l'intermédiaire d'un câble ou d'une chaîne, était remonté par un mécanisme à électro-aimant. Ce modèle d'horloge fut modifié après quelques années, tout particulièrement dans la disposition du mécanisme de remontoir, et constitue l'horloge mère construite actuellement.

La figure schématique 196 montre la disposition de l'organe de remontage comportant en (1) l'électro-aimant, en (2) un contact préparatoire, fermé chaque minute pendant 2 secondes par un disque à 5 cames (utilisé également

pour la commande du contact d'alimentation des horloges secondaires) en (3) un contact fermé chaque seconde par l'oscillation de l'ancre de l'échappement de Graham. L'électro-aimant est ainsi excité deux fois successivement chaque minute et son armature, par l'intermédiaire d'un encliquetage et d'un engrenage multiplicateur approprié, fait tourner le tambour sur lequel s'enroule le câble du poids moteur ; ce dernier est ainsi remonté chaque minute à son point de départ, le câble est suffisamment long pour assurer à l'horloge mère une réserve de marche de 12 heures.

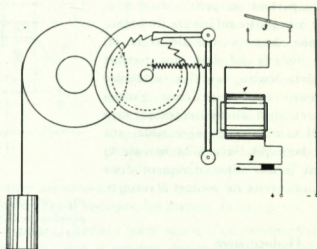


Fig. 196. Remontoir à électro-aimant Siemens-Halske.  
1) Electro-aimant. 2) Contact préparatoire. 3) Contact fermé chaque seconde par la roue d'échappement.

Le contact d'alimentation des horloges secondaires est représenté schématiquement par la fig. 197 ; le disque de commande à 5 dents, le même que celui qui est utilisé pour la fermeture du contact de remontage, est fixé à l'un des mobiles de l'engrenage multiplicateur mis en rotation chaque minute par l'attraction de l'armature de l'électro-aimant de remontage. Les dents de ce disque appuient alternativement sur chacun des deux groupes de ressorts de contact de façon à émettre chaque minute des impulsions de courant de sens alternativement inversé. En outre, ces jeux de ressorts sont disposés de telle sorte que les lignes d'horloge soient mises à terre immédiatement après l'émission de l'impulsion de courant, de façon à offrir un chemin détourné au courant de self-induction.

Le schéma de la transmission mécanique des diverses fonctions est représenté par la fig. 198 et appelle les remarques suivantes :

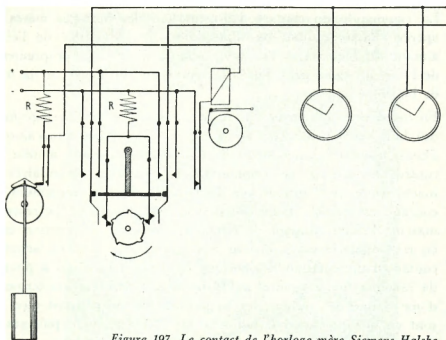


Figure 197. Le contact de l'horloge mère Siemens-Halske.

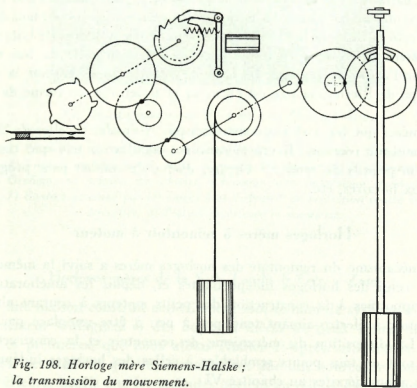


Fig. 198. Horloge mère Siemens-Halske ;  
la transmission du mouvement.

1. La commande du contact d'alimentation des horloges mères étant opérée chaque minute par l'attraction de l'armature de l'électro-aimant de remontage, est indépendante du rouage proprement dit de l'horloge et ne peut donc exercer aucune influence sur la marche de l'horloge.
2. En cas d'interruption du courant d'alimentation de l'horloge mère et des horloges secondaires, la marche du mouvement mécanique de l'horloge mère se poursuit jusqu'à l'arrêt du poids moteur ; par contre, le contact de commande des horloges secondaires reste inactif et les aiguilles de ces dernières demeurent immobiles. Si le courant est rétabli avant l'expiration du temps de la réserve de marche, l'électro-aimant de remontage reprend sa fonction et, tout en remontant le poids moteur à sa position supérieure, actionne le contact d'alimentation des horloges secondaires, ce qui a pour effet de ramener leurs aiguilles à l'heure exacte. En d'autres termes, lors d'une panne de courant, les impulsions qui ne peuvent être émises sont en quelque sorte accumulées par l'horloge mère puis restituées aux horloges secondaires dès que le courant est rétabli.

Le mécanisme, tel que nous venons de le décrire, est équipé avec un balancier battant soit les  $\frac{3}{4}$  de la seconde (80 oscillations simples par minute), soit la seconde. Le balancier des horloges du premier type est en bois d'acajou traité spécialement, et la lentille est formée par trois cylindres de laiton placés parallèlement entre deux traverses horizontales, dont celle du bas est supportée par l'écrou de réglage. Le balancier des horloges battant la seconde est du type de Riefler, sa tige est en invar et sa lentille, en forme de disque, en laiton.

De même que les horloges construites par Normalzeit, celles de Siemens-Halske peuvent recevoir divers mécanismes auxiliaires tels que contacts à seconde, dispositifs de remise à l'heure, disque de contact pour programmes de signaux horaires, etc.

### Horloges mères à remontoir à moteur

Le mécanisme du remontoir des horloges mères a suivi la même évolution que celui des horloges indépendantes et, depuis les améliorations qui ont été apportées à la construction des petits moteurs à courant alternatif, le remontoir à électro-aimant tend peu à peu à être remplacé par celui à moteur. La disposition du mécanisme de remontoir et la construction des moteurs sont en tous points semblables à celles des horloges indépendantes que nous avons décrites au chapitre VI.



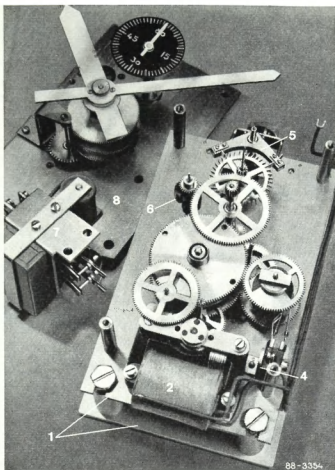


Fig. 199. Le mouvement de marche de l'horloge mère « Inducta ».

- 1) Plaque de base et platine arrière. 2) Moteur de remontoir. 3) Barillet.
- 4) Contact automatique de mise en marche du moteur. 5) Echappement Graham. 6) Cames du contact d'émission des impulsions motrices.
- 7) Contact actionné par les cames 6 et dispositif de protection contre les étincelles. 8) Platine supérieure et minuterie.

### Horloges mères de la S.A. Landis & Gyr, à Zoug

La dite maison construit actuellement sous le nom de système « Inducta » (anciennement « Magnéta ») des horloges mères de deux genres très différents. Les premières, que nous allons étudier ci-après, alimentent le réseau d'horloges secondaires qu'elles commandent par une source de courant continu extérieure, tandis que les secondes portent en elles-mêmes, sous la forme

d'un inducteur magnétique, leur propre source de courant ; nous avons déjà cité ce système de distribution de l'heure au chapitre IX et nous en décrirons les horloges mères lorsque nous traiterons des horloges mères de type spécial.

Les trois modèles d'horloges mères alimentées par une source de courant extérieure, batterie d'accumulateurs ou autre générateur de courant continu, comportent tous trois le même mouvement de marche et ne se différencient que par l'exécution du balancier.

Le mouvement de marche, dont la fig. 199 représente les organes constitutifs, est mû par un ressort enfermé dans un barillet (3) ; son remontage

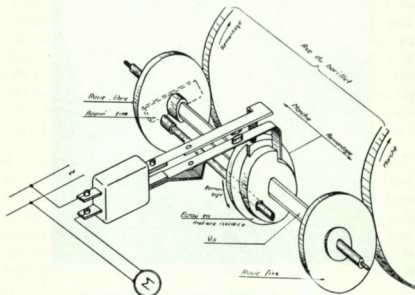
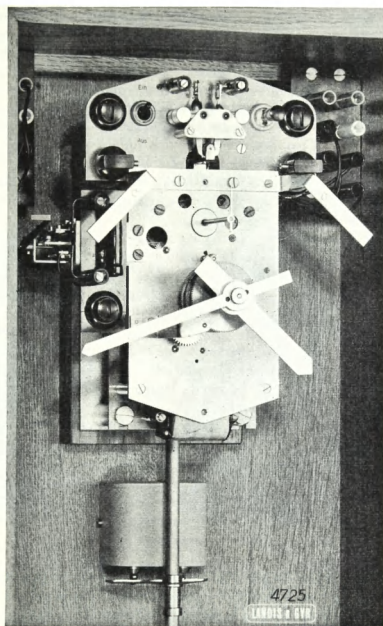


Fig. 200. Horloge mère système « Inducta », la commande du contact de mise en marche du moteur.

s'effectue par le moyen d'un petit moteur asynchrone (2), branché sur le réseau alternatif 110 ou 220 volts, du type décrit à la page 138 du chapitre VI.

Le contact de mise en marche du moteur est commandé par un mécanisme (4) dont la fig. 200 donne la disposition. La roue, menée par le barillet, est fixée à l'extrémité d'un arbre fileté sur lequel se déplace un écrou en matière isolante ; à l'autre extrémité de cet arbre, une roue folle, menée par le plateau de barillet, porte une tige sur laquelle l'écrou peut glisser. Les déplacements latéral et circulaire de l'écrou sont ainsi dépendants de l'état de remontage du ressort ; sur ses deux chemins à cames appuient les extrémités coudées de deux lames de ressort formant le contact.



*Fig. 201. Horloge mère à batterie, système « Inducta ». A remarquer le contact à la suspension et le système de correction de la marche.*

En conséquence, le contact se ferme lorsque l'écrou s'est déplacé d'une certaine quantité vers la roue folle et s'ouvre à nouveau lorsque l'écrou, entraîné par la tige, et revenu en arrière.

Le dispositif de contact d'émission des impulsions de courant motrices est constitué par deux jeux de ressorts commutateurs pressés alternativement chaque minute par les cames des deux disques en matière isolante. Ces disques sont solidaires d'un axe dont le pignon est mené par le barillet du ressort moteur. Les pièces de contact sont largement dimensionnées et supportent une intensité de 1 ampère sous la tension maximale de 60 volts.

La protection du contact contre les étincelles dues aux courants de self-induction est obtenue par des résistances non inductives connectées en parallèle avec la ligne des horloges secondaires.

Le dispositif à contact, y compris les résistances pare-étincelles, forme un bloc constructif que l'on peut facilement enlever du mouvement pour le contrôle et le nettoyage des contacts.

Le rouage du mouvement comporte comme dernier mobile un échappement de Graham commandé par un balancier battant, selon le modèle d'horloge, la seconde, les  $\frac{3}{4}$  ou la  $\frac{1}{2}$  seconde. Ces balanciers sont constitués par une tige en invar et par une lentille cylindrique en laiton, reposant en son centre de gravité, par l'intermédiaire d'une douille de compensation thermique, sur l'écrou de réglage. Le balancier battant la  $\frac{1}{2}$  seconde fait exception, sa lentille reposant directement sur l'écrou de réglage.

Les trois modèles d'horloge peuvent être munis d'un dispositif à contacts pour la signalisation horaire sonore ou lumineuse ; le principe de ce mécanisme sera décrit au chapitre XI.

L'horloge mère à seconde est fréquemment utilisée comme régulateur de précision, en particulier pour les ateliers de réglage des montres ; pour la rendre apte à piloter des compteurs électro-chronométriques battant la seconde, on lui adapte le contact à seconde que représente la fig. 201. Un disque en matière isolante, pourvu de cames, est fixé à l'axe de la fourchette menée par le balancier ; il déplace alternativement deux leviers fermant les contacts commandant le circuit d'émission des impulsions de courant de sens inversé chaque seconde.

Le réglage fin de la période d'oscillation (ou de la marche) s'obtient par la méthode que nous avons décrite au chapitre III, page 94 ; la pose ou l'enlèvement des poids calibrés se fait par le moyen de deux électro-aimants (que l'on voit à la partie inférieure de la figure) qui attirent ou laissent tomber deux petites billes en acier sur le plateau fixé à la tige du balancier.

### **Horloges mères de la Fabrique des montres Zénith S.A., au Locle**

La conception du système des horloges mères de la Maison Zénith a été guidée par le désir d'éliminer les inconvénients de la source de courant formée par une batterie d'accumulateurs ou de piles, tout en gardant les

avantages du système de distribution horaire à impulsions de courant périodiques. Le réseau de force et lumière électrique est en conséquence l'unique source de courant qui a été prévue, aussi bien pour l'alimentation directe du moteur de remontoir de l'horloge mère que pour celle des horloges secondaires, après transformation en courant continu par un redresseur sec ; les conséquences des pannes de courant sont éliminées par un dispositif automatique de remise à l'heure des horloges secondaires.

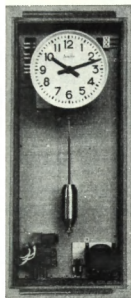


Fig. 202. Horloge mère  
« Zénith ».

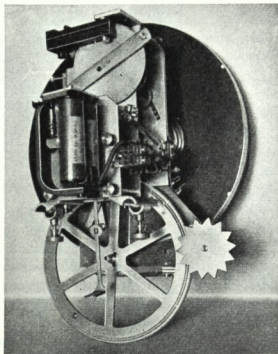


Fig. 203. Horloge mère Zénith ; le mouvement  
auquel un dispositif pour signaux horaires a été  
adapté.

L'horloge mère normale est représentée par les fig. 202 (vue générale intérieure), 203 (le mouvement) et 204 (le contacteur). L'examen du schéma intérieur (fig. 205), nous permet de nous rendre compte de la disposition et du fonctionnement des trois organes constitutifs de cet appareillage fort ingénieux.

Le mécanisme proprement dit de l'horloge mère (1) est construit d'une façon identique à celui de l'horloge indépendante décrite à la page 148 ; le moteur de Ferraris remonte le ressort de barillet qui assure, en cas d'interruption de courant, une réserve de marche de 40 heures. Le porte-échappement

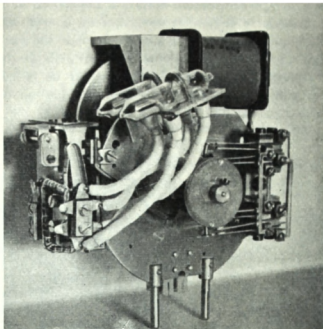


Fig. 204. Horloge mère Zénith ; le contacteur.

est remplacé par un balancier pendulaire à tige d'invar battant les  $\frac{3}{8}$  de la seconde (100 oscillations simples par minute) ; l'axe (4) de l'un des mobiles du rouage est prolongé et porte une bague conductrice (5) avec son balai (6) et un disque à contact (7) dont nous verrons plus loin la fonction.

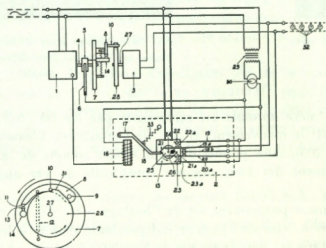


Fig. 205. Schéma intérieur de l'horloge mère Zénith.



L'organe de comparaison entre l'heure indiquée par l'horloge mère et celle marquée par le cadran de contrôle comporte un compteur d'impulsions constitué par un mouvement secondaire (3) branché sur la ligne de départ ; l'arbre (27) de ce mouvement, portant un disque à cames (28), est placé sur le prolongement de l'axe (4) du rouage de l'horloge mère, vis-à-vis du disque (7). Ce dernier porte un levier (8), muni d'une goupille (10) qui, normalement, repose sur la came du disque (28) et maintient ouvert le contact (11).

Le relais contacteur, chargé d'émettre chaque minute les impulsions de courant de sens alterné dans la ligne des horloges secondaires, se compose d'un moteur Ferraris (15) entraînant un disque (25) dont les cames pressent alternativement les jeux de contacts (22-22a) ou (23-23a), commandant le circuit des horloges secondaires et d'un électro-aimant (16) faisant partie d'un circuit électrique commandé par le contact (11) fixé sur le disque (7) du mouvement de l'horloge mère.

Aussi longtemps que le courant alimente l'horloge mère, le fonctionnement est le suivant : le disque (7), entraîné par le rouage de l'horloge mère, tourne d'une façon continue tandis que le disque à cames (28), solidaire du mouvement secondaire, reste immobile ; la goupille (10) abandonne la came, ce qui provoque la fermeture du contact (11) et, par suite, l'excitation de l'électro-aimant (16). L'armature (17) de ce dernier libère le disque à cames (25) qui, sous l'action du moteur (15), effectue une rotation d'un demi-tour. L'une des cames du disque (25) ferme l'un des contacts (22-22a), par exemple, ce qui provoque l'émission d'une impulsion de courant dans la ligne alimentant les horloges secondaires et le mouvement du compteur d'impulsions. Le disque (28), entraîné par ce dernier, avance d'un pas, le déplacement de la goupille (10) qui remonte sur la came, ouvre le contact (11) ce qui a pour conséquence le relâchement de l'armature (17) et l'immobilisation du disque à cames (25) : l'appareil est prêt pour l'émission d'une nouvelle impulsion de courant de sens alterné puisque, lors de la demi-révolution suivante du disque à cames (25), les contacts (23-23a) sont fermés à leur tour.

En cas de panne du courant d'alimentation, le disque (7), entraîné par le ressort de barillet du rouage de l'horloge, continue son mouvement de rotation tandis que le disque à cames (28) reste immobile puisque le mouvement secondaire ne reçoit plus d'impulsions de courant. Le contact (11) reste fermé de telle sorte que, lors du rétablissement du courant d'alimentation, l'armature (17) reste attirée, permettant au disque à cames (25) d'effectuer autant de demi-tours qu'il y a eu d'impulsions de courant non distribuées. Le décalage entre les disques (7) et (28) diminue pas à pas, jusqu'au moment où la goupille (10), remontée sur la came du disque (28), ouvre le contact (11) ; à ce moment, toutes les impulsions de courant non distribuées ont été restituées aux horloges secondaires.

Dans l'exécution pratique, telle que la représente la fig. 202, les contacts (22-22a-23-23a) sont uniquement utilisés pour l'inversion de la polarité des impulsions de courant, tandis que l'émission de ces dernières est assurée par un contact à mercure unipolaire.

Le *régulateur à seconde*, décrit à la page 140, peut aussi être utilisé comme horloge mère de précision ; il est alors nécessaire d'adapter le dispositif de comparaison décrit plus haut au cadran de contrôle et de compléter l'installation par le relais contacteur. La fig. 206 représente le coffret contenant le relais et un mouvement secondaire auquel peut être adjoind un dispositif de signalisation horaire.

Les deux modèles d'horloges mères peuvent naturellement être aussi branchées sur une batterie d'accumulateurs, par exemple celle d'une centrale téléphonique ; dans ce cas, le dispositif d'accumulation et de restitution des impulsions est supprimé.

L'horloge mère normale peut être complétée par le dispositif de signalisation horaire qui sera décrit au chapitre suivant.

#### Horloges mères de la Fabrique d'horloges électriques W. Moser-Baer, à Sumiswald

La Maison W. Moser-Baer construit deux modèles d'horloges mères intéressants chacun par divers détails de construction.

*Horloge mère à balancier battant les  $\frac{2}{3}$  de la seconde.* Les caractéristiques générales de cette horloge, représentée par les fig. 207 et 208, sont les suivantes :

Remontoir. Moteur asynchrone sans collecteur, avec induit formé par un paquet de tôles de fer doux enrobé dans une enveloppe en fonte d'aluminium ; la transmission du couple à l'arbre de barillet se fait par l'intermédiaire d'un train d'engrenages réducteur et la limitation du remontage par un interrupteur coupant le circuit du moteur lorsque le ressort a été remonté d'un certain nombre de tours.

Pour l'alimentation en courant continu, le moteur est construit un peu différemment ; dans le même stator, dépourvu naturellement de bagues de déphasage, est placé un induit en double T oscillant sur son axe ; le mouvement alternatif est transformé en rotation continue par un encliquetage agissant sur une roue à rochet.

Mouvement. Le mouvement de marche est actionné par un ressort enroulé dans un barillet ; comme le remontage s'effectue dès que le ressort a été détendu de quelques spires, on peut admettre que le couple moteur sur la

roue d'échappement reste pratiquement constant. Le ressort a été choisi de façon à assurer à l'horloge une réserve de marche de 15 heures.

L'échappement Graham normal, à ancre en acier trempé et poli en une seule pièce, est commandé par un balancier pendulaire à tige d'invar et à lentille cylindrique, supportée en son centre de gravité par une douille compensatrice reposant sur l'écrou de réglage. Ce dernier est double, chacune des

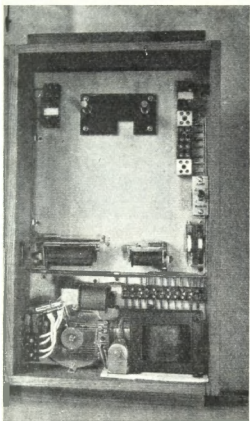


Fig. 206. Coffret auxiliaire adjoint à un régulateur à seconde « Zénith ».

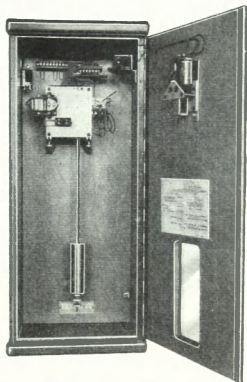


Fig. 207. Horloge mère de la Fabrique d'horloges électriques W. Moser-Baer à Sumiswald

parties est munie d'une vis, l'une pour le réglage approximatif et l'autre pour le réglage fin.

Contact. La partie la plus originale de cette horloge est le dispositif à contact dont la disposition est la suivante : calé sur l'axe de la roue moyenne, effectuant un tour en deux minutes, un fléau muni de deux bras fait basculer chaque minute l'un des deux tubes à mercure à 3 électrodes qui constituent le contact d'émission des impulsions polarisées.

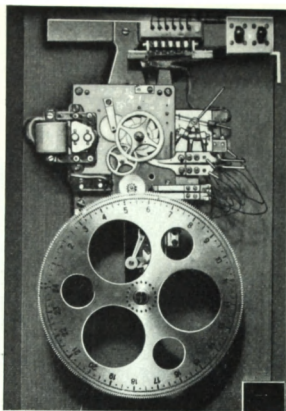


Fig. 208. Le mécanisme de l'horloge mère système W. Moser-Baer.

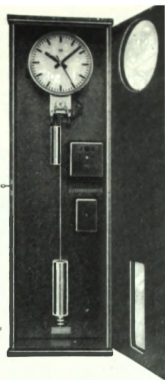


Fig. 209. Horloge mère à seconde de la Fabrique d'horloges électriques W. Moser-Baer à Sumiswald.

Lorsque le bras du fléau a quitté le chemin de roulement du support d tube, celui-ci bascule par son propre poids et revient à sa position initiale la durée du contact peut être choisie entre 1 et 10 secondes, en variant l'angle de renversement du tube. Cette possibilité de réglage est précieuse, car on peut ainsi adapter la durée de l'impulsion de courant à la sensibilité des horloges ou des appareils récepteurs (horloges de pointage à cartes, horloges monumentales, etc).

La construction des tubes à mercure a été étudiée d'une façon très approfondie, car il ne faut pas oublier que chacun d'eux ferme le circuit 720 fois en 24 heures ; la qualité du mercure, le métal des électrodes, les câbles souples de connexion et leur fixation conductrice ont dû être l'objet d'études très sévères.

En comparant la construction de ce dispositif à contact avec celui de contacts secs classiques, on peut lui concéder les avantages suivants : puissance de coupure très élevée, puisque la charge normale du contact est d

1,5 ampères pouvant être poussée à 4 ampères, suppression des dispositifs d'étouffage de l'étincelle, pour autant que les mouvements secondaires ne sont pas trop sensibles aux courants parasites de self-induction, couple mécanique résistant constant, mais un peu plus élevé que celui des mécanismes à contacts secs.

*Horloge mère à balancier battant la seconde.* La construction de ce régulateur, représenté par la fig. 209 procède du même principe que celle du régulateur  $\frac{2}{3}$  de seconde ; les seules différences à noter sont les suivantes :

Remontoir. Le même moteur, d'une puissance de 4,5 watts, remonte un poids par l'intermédiaire d'un tambour de câble et d'un engrenage différentiel.

Mouvement. Le mouvement de marche et le mouvement indicateur sont séparés ; le premier conserve comme unique fonction la commande du système de contact tandis que le second indiquant l'heure par trois aiguilles, est mû par un mouvement secondaire battant la seconde.

L'échappement de Graham du mouvement de marche est réglé par un balancier à tige d'invar battant la seconde avec lentille cylindrique en laiton ; le poids total du balancier est de 6.5 kg.

Contact. Le contact d'émission des impulsions de courant motrices est identique à celui de l'horloge  $\frac{2}{3}$  de seconde.

Contact à seconde. La particularité la plus intéressante de cette horloge est le contact à secondes, dont le principe tout à fait nouveau est basé sur l'entraînement alternatif d'une petite palette en fer doux par un aimant permanent fixé à la partie supérieure du balancier. Dans sa position neutre, la palette est verticale mais, dès que l'un des pôles de l'aimant permanent s'en approche suffisamment, elle est attirée soit vers la gauche, soit vers la droite et son extrémité vient buter contre l'un des pôles du contact. Lors de l'oscillation en sens contraire, l'autre branche de l'aimant attire la palette et la fait buter contre le deuxième pôle du contact.

Afin d'éviter une charge trop considérable des contacts, un jeu de relais de polarisation est chargé d'émettre dans la ligne les impulsions de courant de sens alternativement inversé. L'avantage évident de ce dispositif réside dans la suppression de toute résistance mécanique parasite opposée au mouvement du balancier.

Appareil pour l'émission de signaux horaires. Le dispositif qui a été créé pour ce service peut être adapté aux deux horloges mères et à l'un des types de mouvements secondaires ; il sera décrit au chapitre suivant.

Appareil pour la remise à l'heure des horloges secondaires. Les horloges mères peuvent être complétées par un appareil de remise à l'heure semi-automatique des horloges secondaires, dont deux types ont été créés, l'un pour les horloges à minute, l'autre pour les horloges à seconde. Ils comportent tous

deux un petit moteur à induction entraînant un contacteur mis en action par un bouton poussoir. Les impulsions sont données au rythme de trois par seconde pour les compteurs à seconde et de une par seconde pour les horloges à minute.

#### **Horloge mère de la Heliowattwerke F.A.G., à Berlin**

Les divers modèles d'horloges mères, construits par cette maison, sont équipés avec des mouvements présentant les caractéristiques suivantes :

Le moteur universel peut être alimenté à volonté par du courant continu ou par du courant alternatif aux tensions normalisées de 110 ou 220 volts. Le poids moteur est remonté deux fois en 24 heures, la durée de remontage variant entre une et deux minutes ; sa course verticale est suffisante pour assurer, en cas de panne du courant de remontage, une durée de marche de 36 heures. Le moteur et son dispositif de mise en marche sont identiques à ceux qui équipent l'horloge indépendante fabriquée par la même maison et que nous avons décrite à la page 151.

L'émission des impulsions de courant alimentant les horloges secondaires est assurée par un contacteur déclenché chaque minute par le mouvement de marche et entraîné par l'intermédiaire d'un engrenage différentiel par le poids moteur du rouage de marche.

#### **Horloges mères dont les oscillations de l'organe réglant sont entretenues par un moyen électrique**

##### **Horloges de la S.A. Favag, à Neuchâtel**

La maison Favag est restée fidèle au balancier pendulaire mû par le système créé par Hipp, décrit à la page 158, pour les raisons pertinentes suivantes :

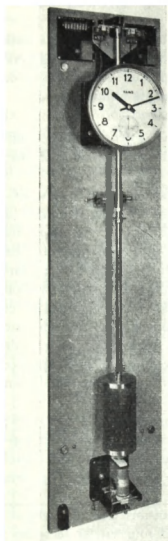
Le mécanisme est d'une extrême simplicité alliée à une grande robustesse et à une complète sécurité d'action.

Le balancier moteur exerce sur la roue à rochet, puis sur le mouvement, un couple de valeur aussi élevée qu'on le désire ; on peut ainsi éviter l'emploi d'un mécanisme auxiliaire pour la commande des contacts d'émission des impulsions de courant, ces contacts peuvent être robustes et assurer une pression élevée entre les pièces conductrices, ils peuvent être multiples pour commander simultanément plusieurs circuits.

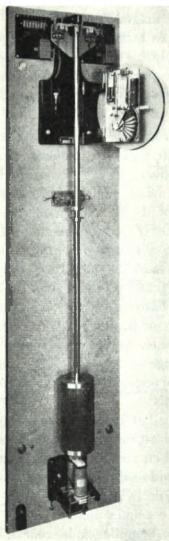
La construction et l'emploi de ces horloges doivent toutefois tenir compte de quelques conditions parmi lesquelles nous citons :

Les positions respectives de la palette et de la contre-palette doivent être correctes et l'électro-aimant d'impulsion doit se trouver sur la verticale





*Fig. 210. Horloge mère Favag S. A., avec balancier battant la seconde.*



*Fig. 212. Horloge mère Favag S. A., le distributeur, l'inverseur, le contact à seconde et l'échappement de Hipp.*

du point de suspension de telle sorte que l'impulsion motrice ne provoque ni choc, ni vibration de la tige du balancier.

Les variations de tension de la source de courant doivent rester minimales, afin de maintenir constantes la durée entre deux impulsions motrices et les amplitudes maximales et minimales de l'oscillation ; il est vrai que l'on peut remédier à des variations de tension, même assez considérables, en munissant,

comme nous le verrons plus loin, l'électro-aimant d'impulsion d'un compensateur magnétique.

Les horloges construites par Favag se ramènent à deux modèles de base susceptibles chacun d'être modifiés pour répondre aux diverses conditions posées par les réseaux horaires ; toutes ces horloges sont construites pour l'émission d'impulsions de courant de sens inversé chaque minute.

*Horloge mère grand modèle.* La fig. 210 montre les organes principaux de cette horloge : le balancier avec son échappement, l'échappement à palette, le mouvement et le dispositif contacteur.

Puisque nous avons étudié précédemment la construction et le fonctionnement de l'échappement de Hipp (voir page 158), nous nous bornerons à ajouter ci-dessous quelques-unes de ses caractéristiques : la fermeture du circuit a lieu à des intervalles très réguliers que l'on fixe au montage de l'appareil entre 58 et 64 secondes ; la durée de fermeture du contact est d'environ 0,235 seconde, répartie comme l'indique la fig. 211. Lorsque la tension de la batterie est correcte, le minimum de l'amplitude totale est de  $3^{\circ} 12'$  et le maximum de  $3^{\circ} 26'$  ; la variation est donc de  $14'$  d'angle. Si la tension reste constante, toutes ces valeurs restent constantes elles aussi et la marche de l'horloge se tient dans les limites de  $\pm 0,2$  à  $0,3$  seconde en 24 heures, ce qui correspond à une différence pratique de marche d'environ 5 secondes en un mois.

Le balancier est semblable à celui que nous avons étudié à la page 109 ; sa tige est en invar étalonné, sa lentille, très lourde, en laiton massif est supportée en son centre de gravité. L'écrou de réglage et un plateau sur lequel des poids calibrés peuvent être placés ou enlevés, permettent un réglage très précis de la période d'oscillation.

Le couple moteur fourni par le balancier est transmis par un encliquetage à béquilles à la roue d'échappement faisant un tour en 60 secondes ; celle-ci engrène avec le rouage commandant les aiguilles des heures et des minutes.

Le contact d'alimentation des horloges secondaires, représenté par la fig. 212, comporte l'inverseur de polarité et un balais rotatif mettant successivement en circuit les lignes d'horloges dont le nombre peut être choisi entre 1 et 8. Le balais distributeur est calé sur l'axe de la roue d'échappement, tandis que l'inverseur est actionné par un mobile faisant un tour en 12 minutes. Le distributeur est construit de telle sorte que la durée du contact soit de 1 seconde et que les lignes successives soient alimentées à intervalles de 2 secondes.

En vue d'assurer à la période d'oscillation du balancier une constance aussi grande que possible, les dispositifs suivants ont été prévus. Le support

de balancier, le contact de Hipp et l'électro-aimant d'impulsion ont été montés sur une plaque de marbre, matériel dont la dilatation est presque nulle et qui est insensible à l'état hygroscopique du milieu ambiant ; on peut ainsi maintenir constante la valeur de l'entrefer entre l'armature et les pièces polaires de l'électro-aimant.

Le deuxième dispositif a pour but de parer aux variations de tension de la source de courant d'alimentation au moyen d'un dispositif limitant automatiquement l'effet de l'attraction magnétique. La fig. 213 fera comprendre comment ce problème a été résolu d'une façon très simple : l'électro-aimant d'impulsion, monté sur une articulation à couteaux, est maintenu en position verticale par deux ressorts antagonistes réglables ; lorsque la tension de la source de courant est supérieure à la normale, l'attraction magnétique est plus forte que la traction exercée par les ressorts, l'électro-aimant, entraîné par l'armature, pivote sur ses couteaux ; l'entrefer croît très rapidement, ce qui a pour conséquence une diminution de l'arc du long duquel l'attraction magnétique est exercée sur l'armature. Pour une valeur normale de la tension électrique, l'entraînement de l'électro est notablement plus faible, tandis que

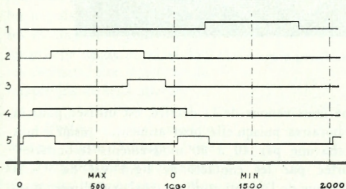


Fig. 211. Horloge mère à balancier battant la seconde, système Favag. Diagramme des impulsions de courant et des impulsions motrices en fonction de l'élongation du balancier.

1) Impulsions de courant émises par le contact gauche à seconde. 2) Impulsions de courant émises par le contact droite à seconde (valeurs pour 1 et 2 : début 0,300 sec. avant l'élongation maximale, fin 0,300 sec. après l'élongation maximale). 3) Impulsion motrice entretenant l'oscillation du balancier (début : 0,295 sec. avant le passage par la verticale, fin : 0,060 sec. avant le passage). 4) Impulsion de courant émise par le premier contact du distributeur à minute (début : 0,410 sec. avant l'élongation maximale, fin : 0,570 après l'élongation maximale).

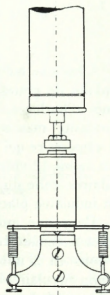
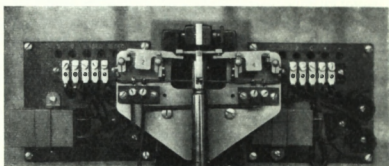


Fig. 213.  
L'électro-aimant oscillant de l'horloge mère Favag.

pour une valeur inférieure à la normale, l'électro reste immobile et l'arc d'attraction est quelque peu augmenté.

L'examen de la fig. 211 permet de constater que l'impulsion débute 0,235 sec. avant le passage du balancier par la verticale et qu'elle cesse exactement au moment où il a passé ce point. Le moment moteur est très progressif puisque l'attraction magnétique augmente avec la diminution progressive de l'entrefer. La transmission du couple moteur au mouvement s'opère à chaque oscillation simple, un peu après que le balancier a passé par la position d'équilibre. Les conditions d'isochronisme sont donc pratiquement remplies.



*Fig. 214. Horloge mère Favag grand modèle : le contact à seconde.*

L'horloge mère, telle que nous venons de la décrire, est utilisée pour la conduite de grands réseaux horaires puisqu'elle peut alimenter jusqu'à huit lignes d'horloges, chargées chacune par 40 à 50 mouvements secondaires. L'intensité maximale supportée par les contacts de ligne est de 0,5 à 0,6 ampères ce qui milite en faveur de l'adoption d'une tension d'alimentation d'au moins 12 volts. La protection des contacts est assurée par des résistances bifilaires, celle du contact d'impulsion par un condensateur et une résistance non inductive placés en série.

Dans une modification intéressante de cette horloge mère, la roue à rochet, commandée par l'encliquetage connu, compte 120 dents et effectue un tour en 2 minutes. Sur son axe sont fixés deux balais frottant sur le chemin circulaire des contacts de ligne dont le nombre total peut atteindre 20 : ce dispositif de contact, semblable à celui décrit à la page 241, évite l'emploi d'un organe inverseur de polarité et présente ainsi une grande sécurité. Le défaut qui peut cependant lui être reproché, du moins lorsqu'ils s'agit de grands réseaux, c'est qu'il s'écoule 40 secondes entre le saut des aiguilles des horloges de la première ligne et celui des horloges de la dernière ligne.

Cette horloge mère ne comporte pas de cadran car, en règle générale, elle n'est utilisée que pour l'équipement de centres horaires dont chaque départ de ligne est contrôlé par une horloge secondaire placée à proximité de l'horloge mère.

Les balanciers pendulaires battant la seconde de ces horloges mères peuvent aussi actionner directement un dispositif de contact émettant chaque seconde des impulsions de courant polarisées ou non.

Le dispositif de contact pour l'émission d'impulsions de sens alternativement inversé est représenté par la fig. 214 et son schéma par la fig. 215 ; le groupe est placé derrière la suspension du balancier de telle sorte qu'un fléau, fixé à la tige du pendule, commande alternativement les pièces de contact placées à sa gauche et à sa droite; les impulsions de courant émises commandent généralement un groupe de deux relais dont les contacts, eux, émettent des impulsions de sens alterné.

*Horloge mère modèle moyen.* Cette horloge (voir fig. 216), destinée à gouverner un réseau comportant au plus une cinquantaine d'horloges secondaires, est munie d'un balancier battant les deux tiers de la seconde (90 oscillations simples par minute). Les battements de ce dernier sont entretenus par un échappement de Hipp dont le contact est fermé toutes les 14 à 16 oscillations doubles. La transmission du couple moteur au rouage se fait par un encliquetage à simple béquille de telle sorte que la roue à rochet avance d'une dent à chaque oscillation complète (échappement à coup perdu).

La roue à rochet effectue un tour en deux minutes et les deux goupilles plantées radialement, l'une plus longue que l'autre, ferment alternativement chaque minute l'un des contacts du dispositif d'émission des impulsions de cou-

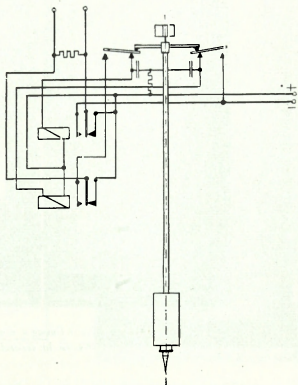
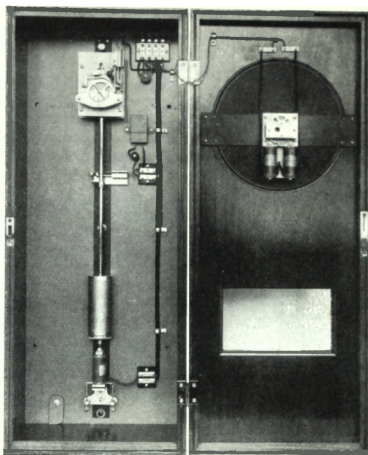


Fig. 215. Schéma du contact à seconde de l'horloge mère Favag.



*Fig. 216. Horloge mère « Favag » avec balancier battant les  $\frac{2}{5}$  de la seconde.*

rant. La fig. 217 montre schématiquement ce mécanisme et l'arrangement des contacts permettant chaque minute l'inversion de la polarité des impulsions.

Le rouage de cette horloge ne comporte pas de mécanisme commandant les aiguilles ; ces dernières sont mues par un mouvement secondaire branché sur la ligne d'alimentation des réceptrices et leur cadran est encastré dans la porte de l'horloge. Le balancier est muni d'une tige d'invar et d'une lentille cylindrique en laiton, reposant par sa face inférieure sur l'écrou de réglage dont le filetage permet une modification de la marche journalière de 50 secondes pour un tour complet.

Au mécanisme de cette horloge peut être adjoint, comme le montre la fig. 218, un dispositif permettant l'émission de signaux horaires acoustiques ou lumineux, groupés en programmes journaliers pour la durée d'une semaine :



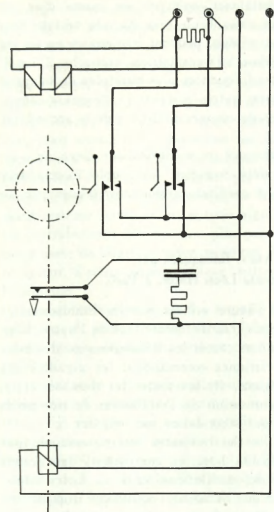


Fig. 217. Horloge mère  $\frac{2}{3}$  de seconde Favag; schéma intérieur.

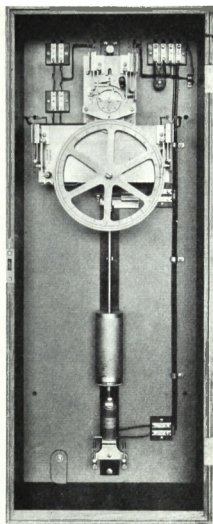


Fig. 218. Horloge mère Favag munie d'un dispositif à contact horaire.

ce mécanisme, le même que celui qui est utilisé pour les horloges secondaires à signaux, sera étudié au chapitre suivant.

*Horloge mère à balancier battant la demi-seconde.* Cette horloge est munie du même mécanisme que celle décrite ci-dessus, à la différence près que le balancier bat la demi-seconde au lieu des deux tiers. Assez rarement utilisée comme horloge mère, elle trouve, par contre, de multiples applications comme appareil émetteur d'impulsions rythmées à diverses fréquences. Les contacts dont elle peut être munie sont commandés soit par

un fléau fixé à la suspension du balancier, soit pas les cames d'un ou plusieurs disques juxtaposés sur l'axe faisant un tour en une minute. Les impulsions de courant, de sens inversé ou non, peuvent être émises toutes les demi ou toutes les secondes par le contact à la suspension, toutes les 2, les 3, les 4, les 5 secondes, etc., soit toutes les fréquences sous-multiples de soixante secondes. De plus, en munissant certains autres mobiles de disques à cames, il est possible d'émettre des impulsions de courant multiples de la seconde et multiples de l'heure.

Cette propriété de pouvoir commander un nombre assez élevé de contacts est due, comme nous l'avons déjà souligné, au couple moteur très élevé fourni par un balancier dont les oscillations sont entretenues par un moyen électro-magnétique.

#### **Horloges mères « Ato », fabriquées par la S.A. des Etablissements Léon Hatot, à Paris**

Les systèmes de distribution de l'heure utilisés par les Etablissements Léon Hatot procèdent de deux principes très différents l'un de l'autre. L'un fait usage d'impulsions de courant émises toutes les demi-minutes, destinées à faire progresser par sauts les mécanismes commandant les aiguilles des horloges secondaires, l'autre d'impulsions, émises toutes les demi-secondes, utilisées pour l'entretien et la synchronisation de l'oscillation de très petits balanciers pendulaires dont les horloges secondaires sont munies.

Le système d'impulsions toutes les demi-minutes est recommandé par la maison constructrice pour les réseaux horaires comportant des grands cadrans ou des horloges exposées à des oscillations ou à de fortes vibrations ou pour celles qui sont soumises à une influence magnétique trop intense. Les mouvements secondaires sont intercalés en série, la distribution se faisant à intensité constante ; la polarité des impulsions de courant est inversée à chaque émission.

Le deuxième système de distribution horaire est une application très réussie du principe d'entretien et de synchronisation des oscillations des balanciers par des impulsions de courant périodiques. Ce mode d'utilisation des impulsions motrices présente certains avantages sur les dispositifs récepteurs à électro-aimant, ce que nous verrons lors de la description des horloges réceptrices « Ato ».

Les mouvements des horloges secondaires sont branchés en parallèle, la tension de la source de courant restant constante ; la polarité des impulsions n'est pas inversée.

L'horloge mère « Ato », qui est utilisée pour les réseaux des deux systèmes, est identique à l'horloge indépendante que nous avons décrite à la page 163.

Nous ne reviendrons donc pas sur la disposition de son mécanisme, ni sur celle du contact d'entretien des oscillations, mais nous signalerons toutefois le modèle le plus récent d'horloge mère, tel que le représente la fig. 219. Le principe général est identique à celui de l'autre régulateur, mais certaines améliorations ont été apportées à la construction primitive. En particulier, le système magnétique est composé par deux aimants conjugués formant système astatique et les trois aiguilles centrales sont menées, non plus par le mécanisme de l'horloge mère, mais par un compteur électro-chronométrique battant la seconde.

Le contact d'émission des impulsions motrices se présente sous deux formes dont le choix dépend du rythme des impulsions.

L'émission d'impulsions toutes les demi-minutes est assurée, comme le montre la fig. 220 par un contact rotatif faisant un tour en une minute et jouant le rôle d'aiguille trotteuse ; il est placé au-dessous de l'axe des aiguilles et apparaît dans une ouverture du cadran. Cet interrupteur comporte une came métallique, isolée électriquement, pressant alternativement deux ressorts de contact munis de goupilles platinees diamétralement opposées. Pour simplifier ce dispositif, on a renoncé à l'emploi d'un inverseur de polarité et on a divisé en deux moitiés la batterie d'alimentation ; l'un des fils de ligne est relié au fil de jonction des deux demi-batteries et l'autre à la came métallique du contact d'émission.

La durée de l'impulsion de courant est d'une seconde ; la rupture du contact s'effectue brusquement, grâce à la forme du disque isolant. L'intensité fixe des impulsions de courant est de 80 à 100 milliampères ; la tension dépend du nombre de réceptrices, de leur importance et de la longueur de la ligne. Le nombre maximum de réceptrices admis pratiquement sur un circuit principal de faible longueur, environ 50 mètres, est de 20 pour autant que leur diamètre ne dépasse pas 30 cm. Lorsque le nombre d'horloges réceptrices est supérieur à 20, on crée de nouveaux circuits au moyen de relais polarisés à grande sensibilité.

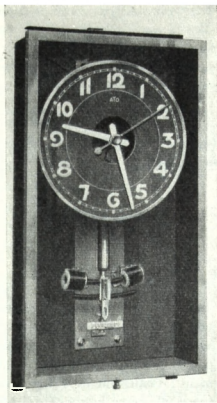


Fig. 219. Régulateur horloge mère  
« Ato » (Etabl. Léon Hatot. Paris).

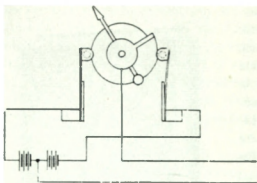


Fig. 220. Horloge mère « Ato », le contact inverseur.

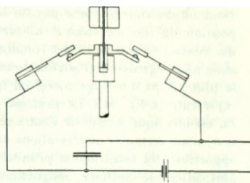


Fig. 221. Horloge mère « Ato », le contact à la suspension pour la commande de réceptrices synchronisées.

L'alimentation des horloges réceptrices à balancier synchronisé se faisant au moyen d'impulsions de courant émises toutes les demi-secondes, le contact a été placé à la suspension du balancier. Sa construction, reproduite schématiquement par la fig. 221 est telle que, lors du passage du balancier par la verticale, les deux contacts, placés en série, sont fermés simultanément ; l'émission de l'impulsion de courant a ainsi lieu au moment le plus favorable pour la synchronisation des balanciers des horloges réceptrices.

La tension d'alimentation est en général de 3 volts, les contacts sont prévus pour un nombre maximum de 5 réceptrices branchées en parallèle. Dans les grandes installations, l'horloge mère ne commande que quelques réceptrices spéciales équipées en relais et munies de contacts appropriés ; ces horloges mènent chacune un groupe de 25 à 30 réceptrices qui sont ainsi synchronisées indirectement par l'horloge mère.

#### Horloges mères « Brillié » de la S.A. des Ateliers Brillié Frères, à Paris

Ces horloges mères dérivent, comme celles du système « Ato » de la construction due à Féry ; leur principe est montré par la fig. 222.

A l'extrémité inférieure du balancier est fixé l'aimant permanent, en forme de C, dont la branche inférieure pénètre dans le solénoïde et dont la branche supérieure ferme le circuit magnétique. Le balancier porte un cliquet qui, à chaque oscillation, fait avancer d'une dent une roue à rochet formant le premier mobile du rouage. Le cliquet repousse, lors de son mouvement, une lame de ressort qui, venant s'appuyer contre un contact, ferme le circuit de la pile d'entretien des oscillations ; le courant passe dans le solénoïde d'impulsion et l'aimant fixé au balancier est attiré.

A remarquer le maintien à une valeur constante de l'amplitude des oscillations par l'action de la force contre-électromotrice développée dans le solénoïde par le mouvement même de l'aimant permanent. La conjugaison de l'aimant et du solénoïde est calculée de telle sorte que, pour l'amplitude maximale admissible, la force contre-électromotrice soit égale à la force électromotrice de la pile.

Enfin, la période de l'oscillation du balancier peut être modifiée par le déplacement de deux petites masses de fer doux disposées de part et d'autre de l'aimant ; ces masses agissent constamment sur l'aimant et tendent, selon la position qui leur est donnée, à le rappeler avec plus ou moins de force vers sa position d'équilibre.

Cette horloge est fabriquée en deux modèles équipés avec un balancier battant la demi-seconde pour l'un et la seconde pour l'autre.

L'horloge à balancier demi-seconde est pourvue d'un dispositif à contact (fig. 222 a) émettant toutes les demi-minutes une impulsion de courant de sens alterné. Sur l'axe faisant un tour en une minute est fixé un disque à double came (1) commandant le déplacement de deux leviers (2) et (3) articulés en leur milieu; ces leviers sont reliés aux deux fils de ligne des horloges secondaires et leurs extrémités se déplacent entre deux paires de goupilles de contact (4 et 4'), (5 et 5') communiquant avec les deux pôles de la source de courant.

Les cames du disque sont profilées de telle sorte que les leviers (2) et (3) soient armés lentement et que le levier (2)

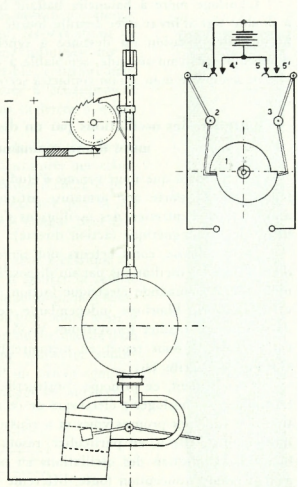


Fig. 222 et 222 a. Horloge mère des  
Etablissements Brillié frères.

- 1) Disque à double came faisant un tour  
en une minute. 2 et 3) Leviers de contact.  
4, 4', 5 et 5') Plots de contact.

retombe brusquement une seconde avant le levier (3). On diminue ainsi considérablement l'effort imposé au mouvement et on obtient avec le même dispositif l'émission de l'impulsion pendant une seconde et l'inversion de la polarité.

Les réceptrices étant montées en série, l'émission se fait avec une intensité moyenne de 55 à 60 milliampères pouvant atteindre un maximum de 100 milliampères. La tension est proportionnelle au nombre de réceptrices en ligne ; on admet en général 1,5 volts pour 6 ou 7 réceptrices de diamètre inférieur à 40 cm, avec une limite pratique de 24 volts. La protection contre les étincelles, dues au courant de self-induction, est assurée par les résistances placées dans chaque rosace de connection, en parallèle avec les mouvements secondaires.

L'horloge mère à balancier battant la seconde est munie d'un pendule à double tige d'invar avec lentille lourde sphérique en bronze massif. Cette horloge de précision est destinée à synchroniser l'oscillation du balancier d'une horloge demi-seconde, semblable à celle que nous venons de décrire ; elle ne comporte donc qu'un contact à seconde placé à la suspension.

### Entretien des oscillations par un dispositif mécanique à gravité. muni d'une commande électrique

Les horloges que nous venons d'étudier sont caractérisées par le fait que leur balancier porte une armature attirée périodiquement par un électro-aimant fixe ; l'entretien des oscillations s'effectue donc par un moyen purement électro-magnétique (action directe).

De nombreux constructeurs ont tenté, avec plus ou moins de succès, d'entretenir les oscillations par un dispositif mécanique, en général à gravité, muni d'une commande électrique (action indirecte) ; nous avons étudié dans cette catégorie l'horloge indépendante de Froment (voir page 167) et ses dérivés, en particulier les systèmes W. Z., de Satory, etc. ; de même la littérature spéciale nous remet en mémoire les constructions de Campiche, de Garnier, de Vérité, etc.

Actuellement, ce principe constructif s'est généralisé en Angleterre ; la technique de l'horlogerie électrique de ce pays, trop peu connue sur le Continent, a suivi ses propres voies et a réussi à créer des horloges d'une valeur indiscutable ; elle a, en particulier, résolu d'une façon très élégante le problème de l'entretien des oscillations en utilisant un dispositif mécanique à gravité, d'une conception toute différente de celle adoptée par les constructeurs que nous venons de citer.

Nous avons déjà décrit au chapitre VIII l'horloge astronomique de Shortt, nous étudierons maintenant la production de deux des constructeurs les plus caractéristiques de la technique anglaise : la *Synchronome Cy Ltd*, de Londres, et la maison *Gent Ltd*, de Leicester.



### Horloge de la Synchronome Cy Ltd, de Londres

Nous avons vu, en étudiant à la page 183 l'horloge Shortt, que le mécanisme de cette dernière était formé en principe par deux mouvements d'horloges « Synchronome » ; nous en avons donné la description ce qui nous dispense de le faire à cette place ; nous nous bornerons donc à compléter par quelques remarques les indications que nous avons données.

Première remarque : La transmission au balancier du couple résistant et du couple moteur restituant l'énergie dissipée, se fait au moment où le balancier passe par la position verticale.

Deuxième remarque : La restitution au balancier de l'énergie dissipée se fait par un moyen mécanique à commande électrique ; de ce fait, les variations de tension normales n'exerçant aucune influence sur la période d'oscillation, il est admissible, contrairement à ce qui se passe pour le balancier à échappement de Hipp, de répéter les impulsions motrices à intervalles réguliers de 30 secondes.

Troisième remarque : Le rôle de l'électro-aimant est de remettre en place le bras moteur après que celui-ci ait restitué au balancier la quantité d'énergie perdue ; conséquemment, la pression exercée par la vis de contact de l'armature sur le bras moteur peut être relativement élevée.

Nous constatons donc que la partie électrique du remontoir est apte, non seulement à assurer la remise en place du bras moteur en lui communiquant l'énergie potentielle nécessaire à sa fonction, mais aussi à assurer le passage par l'interrupteur de commande d'un courant suffisamment intense pour alimenter simultanément l'électro de commande et un circuit comprenant un nombre assez élevé d'horloges secondaires.

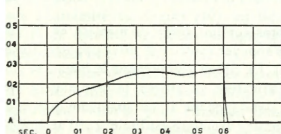


Fig. 224. Oscillogramme de l'impulsion de courant de l'horloge mère «Synchronome».

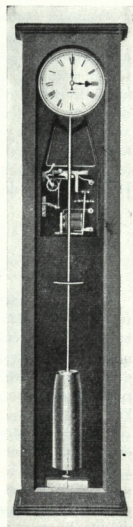


Fig. 223. Horloge mère Synchronome Cy Ltd.

L'horloge mère construite par la Synchronome Cy Ltd, telle qu'elle est représentée par la fig. 223, est munie d'un pendule à tige d'invar battant la seconde. Le dispositif d'entretien des oscillations est fixé à un bâti métallique formant également support du balancier ; le cadran est placé à l'intérieur de la porte vitrée de l'horloge et ses aiguilles sont mues par un mouvement secondaire branché en série avec les autres mouvements du circuit des horloges réceptrices.

La fig. 224 reproduit l'oscillogramme de l'impulsion de courant motrice, on notera la faible durée de cette dernière, 6 centièmes de seconde, et l'allure de la courbe qui permet de reconnaître qu'après 4 centièmes de seconde, sous une intensité de 0,25 amp., les armatures des réceptrices ont été attirées ; à remarquer également la netteté de la fin de l'impulsion.

Comme particularité de cette horloge, nous citerons le dispositif de remise à l'heure des réceptrices, consistant en un levier, commandant une petite tringle verticale, qui, selon la position qui lui est donnée, soulève plus ou moins le cliquet d'impulsion de la roue à rochet. Dans la position intermédiaire, le cliquet est sorti de la denture et le balancier oscille sans la faire avancer, ce qui a pour résultat de supprimer les impulsions de courant alimentant les réceptrices ; dans la position extrême, le cliquet actionne directement le levier de détente et le contact d'émission des impulsions de courant est fermé toutes les deux secondes.

**Horloge de la maison Gent & Cy, Ltd.  
Ateliers Faraday, à Leicester (Angleterre)**

Le fonctionnement de cette horloge (système Pul-Syn-etic) est démontré par la fig. 225 ; comme pour l'horloge Synchronome, les oscillations du balancier sont entretenues par des impulsions mécaniques qui lui sont imparties à intervalle de 30 secondes par la chute d'un bras moteur (1), muni d'une petite roulette (2) qui, en roulant sur la face inclinée du levier d'impulsion (3), imprime au balancier (4) une légère poussée, lui restituant ainsi l'énergie perdue.

Le mouvement de rotation du bras continu jusqu'au moment où la vis de contact (5) dont il est muni, vient s'appuyer contre une pièce opposée, fixée à l'extrémité du levier d'armature (6). Le circuit comprenant le bobinage (7) de l'électro-aimant est ainsi fermé, l'armature est attirée, le bras moteur est replacé dans sa position de départ, dans laquelle il est maintenu par une détente (8) ; mais comme le mouvement de l'armature est limité par l'arrêt (9), le circuit est rompu et l'armature est rappelée à sa position écartée par un ressort antagoniste.

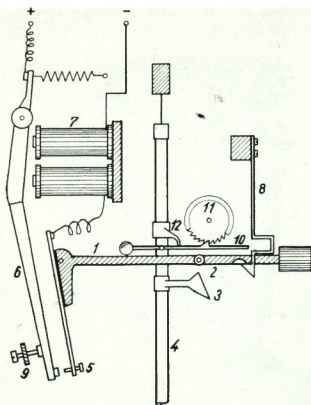
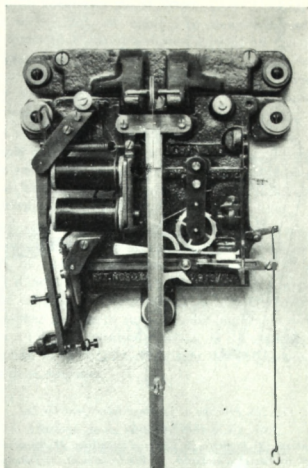


Fig. 225. Principe de l'horloge mère Gent Co Ltd  
à Leicester.

- 1) Bras moteur. 2) Roulette. 3) Levier d'impulsion. 4) Balancier. 5) Uis de contact. 6) Levier d'armature. 7) Electro-aimant. 8) Détente. 9) Uis d'arrêt. 10) Cliquet. 11) Roue d'échappement. 12) Dent creusée plus profondément.

D'autre part, le balancier en oscillant fait avancer dent par dent, par l'intermédiaire d'un cliquet (10), une roue à rochet de 15 dents (11) l'une de ces dents (12) est creusée plus profondément que les autres, de telle sorte que l'extrémité du cliquet (10), au lieu de s'engager dans le logement du levier de détente (8), heurte sa tige, la déplace, ce qui libère à nouveau le bras moteur (1).

L'examen des fonctions de ce mouvement nous permet de constater que les deux dernières remarques faites au sujet de l'horloge Synchronome sont également valables pour l'horloge Gent ; notons aussi que, pour les deux horloges, il est indispensable que la tension d'alimentation ne baisse pas au-dessous d'une valeur critique, sinon le bras moteur ne peut être relevé à sa position normale et accroché à la détente.



*Fig. 226. Horloge mère Gent & Co.,  
Leicester.*

L'horloge mère, telle que la représente la fig. 226, est munie d'un balancier, à tige de métal très peu dilatable (Si-ne-var,  $\alpha = 0,000\ 000\ 8$ ), battant la seconde ; la lentille cylindrique lourde en acier est supportée à sa partie inférieure par un écrou de réglage ; un plateau, fixé à la tige de balancier, permet le réglage fin, par l'addition ou l'enlèvement de poids calibrés.

Le contact, muni de pièces polaires en alliage platine-argent, commande simultanément le circuit d'impulsion de l'horloge et le circuit d'alimentation des horloges secondaires ; sa protection contre les effets du courant de self-induction est assurée par un condensateur. La durée d'émission de l'impulsion est de 6 centièmes de seconde, son intensité maximale de 0,22 amp.

Les aiguilles du cadran de contrôle, fixé à la porte de l'horloge, sont entraînées par un mouvement secondaire branché sur la ligne d'alimentation des réceptrices.

Les constructeurs de cette horloge admettent que la charge par ligne peut atteindre une centaine d'horloges secondaires, mais que le branchement en série de celles-ci requiert une tension d'alimentation assez élevée ; il semble donc préférable d'avoir recours à des relais ou à des horloges relais lorsque le réseau dépasse une certaine importance.

### Horloges à caractéristiques spéciales

Ce paragraphe sera réservé à l'étude de quelques types d'horloges mères qui, par leur principe ou par leur utilisation, diffèrent nettement de celles que nous avons passé en revue dans les paragraphes précédents. Ce sont par exemple les horloges mères pilotant les réseaux horaires dont la source de courant est un inducteur magnétique, celles qui sont reliées pneumatiquement aux horloges secondaires, et, enfin les horloges mères à échappement gouvernant les réseaux horaires des bateaux et des avions.

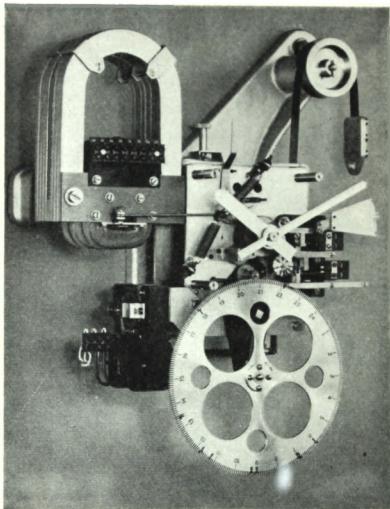
#### Horloges mères à inducteur magnétique, système « Inducta »

Comme nous l'avons vu précédemment, la maison Landis & Gyr, à Zoug, équipe les réseaux horaires qu'elle construit selon deux principes caractérisés par le genre de source de courant alimentant les horloges secondaires. Nous avons déjà étudié à la page 249 les horloges mères construites pour les réseaux alimentés par une source extérieure de courant continu, nous étudierons ci-dessous celles qui contiennent en elles-mêmes la source de courant sous la forme d'un inducteur magnétique.

Le principe de cette alimentation fut appliqué dès 1899 par l'ingénieur Martin Fischer, de Zurich, sous le nom de système « Magnéta » ; actuellement, cette fabrication a été reprise par la S. A. Landis & Gyr et porte le nom de système « Inducta ».

La fig. 227 montre très clairement les trois organes de base de l'horloge : le remontoir et son moteur électrique, le mouvement de marche et l'inducteur magnétique (l'horloge mère représentée par cette figure est complétée par un dispositif à contact pour signalisation horaire qui n'intervient pas dans les fonctions de l'horloge). En suivant les indications de la figure schématique 228, il est facile de se rendre compte des fonctions et de l'interdépendance de ces trois organes.

Afin d'assurer au mouvement de marche un couple moteur suffisant pour la mise en action de l'inducteur, le remontoir à ressort des horloges à source



*Fig. 227. Horloge mère à inducteur, système « Inducta » (le mouvement est muni d'un dispositif à contact horaire).*

de courant extérieure a été remplacé par un poids dont l'importance correspond aux dimensions de l'inducteur.

Le ruban d'acier, auquel ce poids est suspendu, s'enroule autour d'un tambour solidaire des pignons satellites d'un engrenage différentiel, l'une des roues planétaires est menée par le moteur de remontoir et l'autre mène le rouage du mouvement de marche. L'interrupteur de mise en marche et d'arrêt du moteur est commandé par la came d'un disque solidaire du tambour contenant le ruban ; le remontage s'effectue donc à intervalles réguliers que l'on peut fixer à volonté à 3, 4 ou 6 heures.



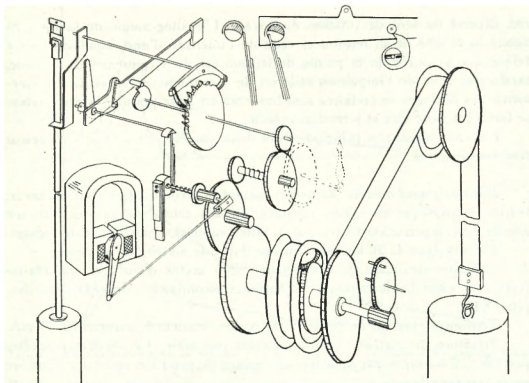


Fig. 228. Horloge mère à inducteur système « Inducta », principe du mécanisme de commande de l'inducteur.

Le mouvement de marche est réglé par un échappement de Graham dont les levées de l'ancre sont munies de palettes en acier taillées à leurs deux extrémités ; le balancier bat la seconde pour l'un des modèles d'horloge et les trois-quarts pour l'autre.

L'inducteur, assez semblable à ceux qui furent utilisés pour l'allumage électrique de certains moteurs à explosion, comporte un noyau de fer doux effectuant de brusques déplacements angulaires dans l'intérieur d'un enroulement fixe, placé entre les branches d'un assemblage de forts aimants permanents en fer à cheval. Ces déplacements angulaires sont produits par un mécanisme dont la fig. 228 donne la disposition et qui comporte une bielle reliant le noyau en fer doux à une manivelle fixée à l'extrémité d'un arbre tournant brusquement d'un demi-tour chaque minute. La rotation de cet arbre est provoquée par un fort ressort accumulateur armé progressivement par un pignon mené par le rouage du mouvement de marche ; le déclenchement est produit par une détente conduite par un colimaçon fixé à l'axe de la roue d'échappement.

Les déplacements angulaires du noyau, d'une valeur de  $12^\circ$ , donnent naissance, dans l'enroulement fixe, à des impulsions de courant dont la pola-

rité dépend du sens de rotation du noyau. L'oscillogramme de la fig. 229 donne la courbe de la tension et celle de l'intensité d'une impulsion ; on y relève que la durée de la pointe de tension est de 3 centièmes de seconde, tandis que celle de l'impulsion utile est de 4 centièmes environ. Les mouvements des horloges secondaires sont branchés en série puisque la distribution se fait à intensité fixe et à tension variable.

Les caractéristiques principales des deux modèles d'horloges à inducteur sont les suivantes :

*Horloge grand modèle.* Balancier battant la seconde ; tige en acier invar, lentille cylindrique en laiton reposant, en son centre de gravité, sur une douille de compensation thermique en laiton supportée par l'écrou de réglage.

Poids moteur de 20 kg. assurant une durée de marche de 11 heures.

Capacité maximale de l'inducteur : 200 unités d'horloges secondaires (voir à ce sujet la description des horloges secondaires « Inducta » au chapitre XI).

Tension maximale de pointe : 180 volts — intensité constante : 23 mA.

Précision de marche :  $\pm 10$  secondes par mois. Ce résultat peut être porté à  $\pm 2$  secondes par mois par un réglage de précision opéré sur l'horloge après son installation.

*Horloge petit modèle.* Balancier battant les  $\frac{3}{4}$  de la seconde, construction identique à celle du balancier de la grande horloge.

Poids moteur de 8 kg. assurant une réserve de marche de 12 heures.

Capacité maximale de l'inducteur : 25 unités d'horloges secondaires.

Tension maximale de pointe : 45 volts — intensité constante 29 mA.

Précision de marche :  $\pm 30$  secondes par mois.

Pour le pilotage de très grands réseaux, il avait été construit précédemment de grosses horloges dont l'inducteur était divisé en un certain nombre de secteurs, susceptibles d'alimenter chacun une centaine de mouvements récepteurs unités.

La comparaison du système à inducteur avec le système classique à source de courant extérieure permet les constatations suivantes :

En faveur du système à inducteur plaident les avantages suivants : indépendance absolue de toute source de courant extérieure puisque le poids moteur peut être remonté à la main — absence totale des contacts d'émission des impulsions de courant — suppression des dispositifs pare-étincelles.

L'inconvénient que présente ce système est que la capacité de raccordement d'horloges secondaires de chacun des deux types d'horloges mères est strictement limitée ; une extension du réseau dépassant la capacité maximale de l'inducteur est impossible.

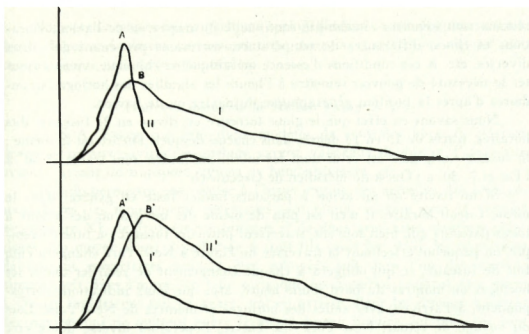


Fig. 229. Oscillogrammes de la tension et de l'intensité de l'impulsion de courant émise par une horloge mère à inducteur.

*Courbe supérieure : Horloge mère petit modèle, circuit alimentant 15 mouvements secondaires. A – tension maximale 43 volts, B = intensité maximale 29 mA. Durée utile de l'impulsion 0,03 sec.*

*Courbe inférieure : Horloge mère grand modèle, circuit alimentant 200 mouvements secondaires. A' = tension maximale 180 volts, B' = intensité maximale 23 mA. Durée utile de l'impulsion 0,05 sec.*

### Horloges mères à remontoir électro-thermique

La seule horloge que nous trouvons dans cette catégorie est celle du système « Pneuora » décrite en tant qu'horloge indépendante au chapitre VI.

Les aiguilles des horloges secondaires sont mues par un mécanisme pneumatique commandé par les pulsions d'air dilaté émises par l'horloge mère et transmises par des tubulures métalliques d'un diamètre de quelques millimètres ; à cet effet, une prise d'air est insérée à la sortie du compresseur thermique.

### Horloges mères pour avions et bateaux

Les activités multiples qui règnent à bord d'un navire ou d'un avion réclament dans de nombreux locaux la connaissance de l'heure précise ; ce problème n'est pas sans présenter de nombreuses difficultés dues aux conditions très particulières auxquelles les horloges mères et réceptrices de ces

réseaux sont soumises : instabilité continue du navire ou de l'avion, vibrations et chocs, différences de température, corrosions provenant de causes diverses, etc. A ces conditions d'essence mécanique ou chimique, vient s'ajouter la nécessité de pouvoir remettre à l'heure les aiguilles des horloges secondaires d'après la position géographique du navire ou de l'avion.

Nous savons en effet que le globe terrestre est divisé en 24 fuseaux, dits horaires, tracés de 15 en 15 degrés dans chacun desquels l'heure est la même : le fuseau « origine » est celui dont les méridiens limites sont tracés 7° 30' à l'Est et 7° 30' à l'Ouest du méridien de Greenwich.

Si un navire ou un avion à parcours limités reste en général dans le même fuseau horaire, il n'en est plus de même des navires ou des avions à longs parcours qui, bien souvent, traversent plusieurs fuseaux ; à titre d'exemple, un paquebot effectuant la traversée du Havre à New-York changera cinq fois de fuseaux, ce qui obligera à chaque changement de retarder toutes les horloges ou montres du bord d'une heure, afin que leurs indications correspondent, à l'arrivée, avec celles des horloges et montres de New-York. Lors du voyage de retour, New-York - Le Havre, l'opération inverse devra être répétée cinq fois, afin qu'à l'arrivée au Havre, les horloges du bord et celle de la ville indiquent la même heure.

Pour remplir ces diverses conditions, aussi bien mécaniques que géographiques, les horloges « marines » doivent posséder certaines qualités :

1. Insensibilité de leurs mécanismes aux variations de position du navire ou de l'avion (roulis et tangage), aux vibrations et aux chocs (tir de la grosse artillerie à bord des navires de guerre).
2. Insensibilité aux variations, même brusques de la température, condition à laquelle s'ajoute l'insensibilité aux variations de la pression atmosphérique (avions volant à grande altitude).
3. Insensibilité à l'humidité, à l'atmosphère saline ou à la poussière (horloges des ponts, des machines ou des chaufferies).
4. Remise à l'heure facile et rapide des aiguilles, aussi bien en avant qu'en arrière (avance ou retard de l'heure).

Il est évident que pour les quelques horloges qui équipent un petit paquebot, un cargo ou un avion à faible capacité de transport, les horloges indépendantes suffiront pleinement ; il n'en va plus de même pour les navires ou les avions de grandes dimensions ou les cuirassés de fort tonnage. Dans ce cas, seuls les réseaux horaires peuvent être utilisés avec succès bien que des tentatives intéressantes aient été faites avant la guerre avec des horloges synchrones.

Nous étudierons ci-après quelques horloges mères et, au chapitre suivant, les horloges secondaires correspondantes, dont la construction répond aux conditions que nous avons énumérées.

### Horloges mères de la Maison Favag S. A.

La S. A. Favag construit deux modèles de centrales horaires marines destinés l'un aux navires : paquebots, cargos, vaisseaux de guerre, l'autre aux avions : avions de transport, avions de bombardement, etc.

Afin de permettre une remise à l'heure rapide des aiguilles des horloges secondaires, les mouvements récepteurs sont munis, comme nous le verrons au chapitre XI, de deux électro-aimants et de deux armatures rotatives polarisées. Au moyen d'une distribution à trois fils (voir fig. 230), les impulsions de courant correctrices peuvent être envoyées soit dans l'un des électro-aimants soit dans l'autre, de telle sorte que les aiguilles puissent être mises à l'heure rapidement soit en avant, soit en arrière. Pour les réseaux horaires des navires qui ne quittent guère le même fuseau horaire, les horloges sont munies de mouvements normaux à simple électro-aimant.

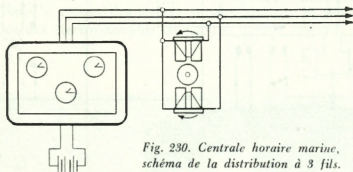


Fig. 230. Centrale horaire marine, schéma de la distribution à 3 fils.

En principe, les centrales marines Favag comportent les organes suivants :

- un ou deux mouvements mécaniques à échappement à ancre et à balancier circulaire, constituant l'horloge mère principale et éventuellement celle de réserve,
- un ou plusieurs groupes de relais commandant les horloges secondaires groupées en parallèle sur un ou plusieurs circuits,
- une ou plusieurs horloges secondaires de contrôle, intercalées au départ de chaque ligne,
- les commutateurs permettant d'insérer sur les lignes d'horloges soit le contact de l'horloge mère, soit l'organe manuel ou automatique de remise à l'heure en avant ou en arrière,

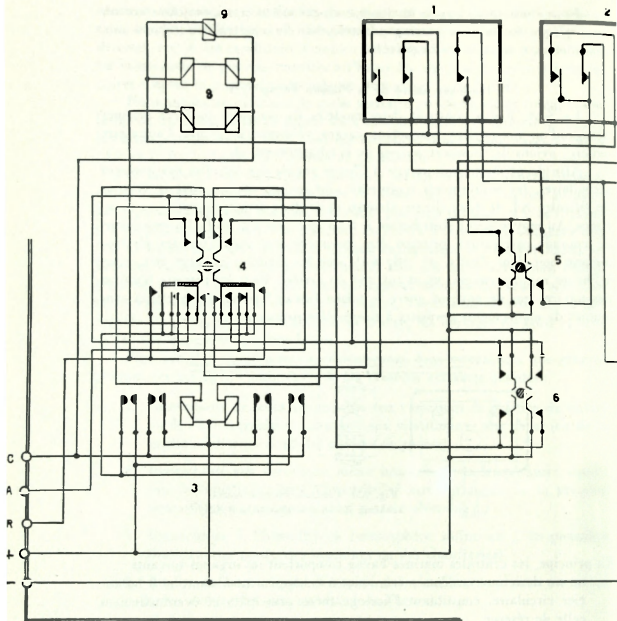


Fig. 231. Schéma de la centrale marine « Favag ».

1) Horloge mère principale. 2) Horloge mère de réserve. 3) Relais de commande des horloges secondaires. 4) Commutateur choisissant la marche avant ou la marche arrière des horloges secondaires. 5) Commutateur de choix de l'horloge mère. 6) Commutateur insérant dans la ligne soit l'horloge mère soit le commutateur de remise à l'heure. 7) Lampe d'avertissement de remontage. 8) Mouvement secondaire de contrôle. 9) Electro-aimant de blocage de l'axe des aiguilles.



les appareils de protection (fusibles, étouffeurs d'étincelles) et de mesure (voltmètre et milliampèremètre).

La fig. 231 reproduit le schéma d'une centrale commandant deux lignes d'horloges secondaires munies de mouvements à double électro-aimant. L'horloge mère principale et celle de réserve sont constituées par deux mouvements d'horlogerie à remontage manuel, durée de marche 36 heures, à échappement à ancre avec balancier et spiral élinvar ou Nivarox. Sur l'axe du mobile effectuant un tour en deux minutes est calé un disque portant deux cames en rubis lesquelles pressent alternativement chacun des deux contacts des circuits commandant les relais de lignes. Ces derniers sont groupés par paires et leurs contacts sont disposés de façon à émettre dans la ligne des impulsions de courant de sens alterné chaque minute ou chaque demi-minute.

Sur chaque départ de ligne sont branchés une horloge secondaire de contrôle, la bobine de résistance non inductive protégeant les contacts et un fusible de 2 ampères.

La remise à l'heure s'effectue manuellement de la manière suivante : le commutateur de chaque ligne est placé sur l'une des positions « avance » ou « retard », de telle sorte que les impulsions de courant correctrices soient lancées soit dans le groupe des électro-aimants de marche normale (avance), soit dans celui des électro-aimants de marche arrière (retard) ; cela fait, les

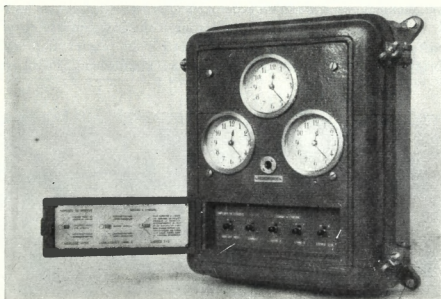
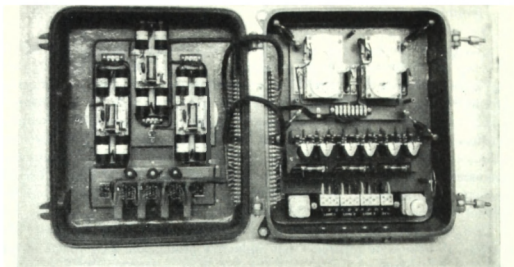


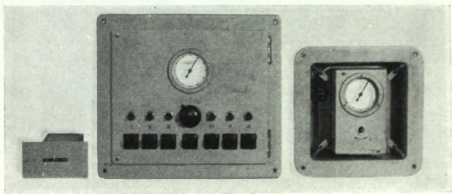
Fig. 232. Centrale marine cuirassée système Favag.



*Fig. 233. Centrale marine Favag, vue de l'équipement.*

impulsions de courant sont émises à la cadence de une par seconde en abaissant, puis en relevant le levier du commutateur inverseur ; remarquons que ce dernier peut être remplacé par un émetteur automatique d'impulsions commandé par un petit moteur électrique, complété par un compteur limiteur d'impulsions.

Une deuxième centrale, d'un type particulier, est illustrée par les fig. 232 et 233 ; il s'agit ici d'un appareillage destiné à un gros cuirassé et qui a dû être construit d'une façon spécialement robuste pour résister, non seulement aux vibrations du navire, mais surtout au choc extrêmement violent résultant



*Fig. 234. Centrale horaire d'avion « Favag ».*

du tir simultané de la grosse artillerie. Le schéma est en principe identique à celui de la centrale que nous venons de décrire ; seule en diffère l'exécution et surtout le montage des organes constitutifs. Les deux mouvements d'horlogerie, munis du système émetteur d'impulsions de courant, sont fixés sur une plaque métallique suspendue par quatre ressorts au boîtier en fonte renfermant les organes de la centrale ; les relais de ligne sont munis de contacts à grande surface permettant le passage d'une intensité de 6 ampères. Les horloges de contrôle sont équipées avec des mouvements secondaires munis d'un dispositif magnétique de verrouillage antichoc. Les trois lignes peuvent admettre chacune une charge maximale de 100 mouvements secondaires.

La centrale d'avion de la Maison Favag comporte, comme le montre la fig. 234, deux coffrets l'un, contenant le mouvement d'horlogerie à remontage manuel muni des contacts d'émission des impulsions de courant (rythmes : minute, éventuellement seconde ou intervalles de 5 secondes) et l'autre, renfermant les relais et les organes de sécurité. Le schéma de principe, donné par la fig. 235 est suffisamment explicite pour que des explications soient superflues.

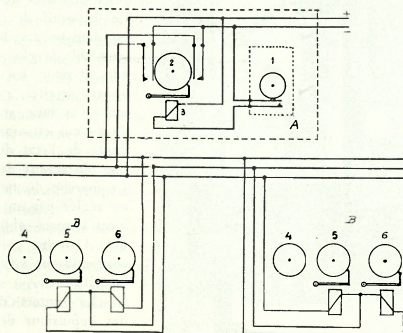


Fig. 235. Centrale horaire d'avion système Favag S. A. Le schéma.  
1) Mouvement d'horlogerie mécanique utilisé comme horloge mère.  
2) Contacteur émettant des impulsions de courant toutes les minutes et toutes les 5 secondes. B) Horloges secondaires (4. Tambour des heures. 5. Tambour des minutes. 6. Tambour des secondes).

Les mouvements secondaires sont construits soit pour actionner des aiguilles soit pour entraîner des tambours tournants indiquant l'heure en chiffres.

### Horloge mère marine « Inducta » (anciennement « Magnéta »)

Cette horloge, que la fig. 236 représente, est remarquable aussi bien par ses dimensions très réduites que par le service très complet qu'elle est à même d'assurer. Construite pour commander directement une centaine d'horloges secondaires branchées sur une seule ligne, elle comporte les organes suivants :

Un mouvement de marche, dont le ressort contenu dans un barillet, est armé automatiquement par un petit moteur à courant continu alimenté par la batterie d'accumulateurs 12 ou 24 volts, à laquelle les horloges secondaires sont reliées. Le dispositif de remontoir est, dans ses grandes lignes, semblable à celui qui a été adopté pour les horloges mères décrites précédemment ; la mise en marche du moteur est ainsi dépendante de l'état de remontage du ressort de barillet. La marche du mouvement est réglée par un échappement à ancre, antimagnétique, 11 rubis et balancier compensé aux variations de température.

Le contact d'émission des impulsions de courant destinées aux horloges réceptrices est constitué par deux groupes de lames de contact à inversion de polarité pressés alternativement

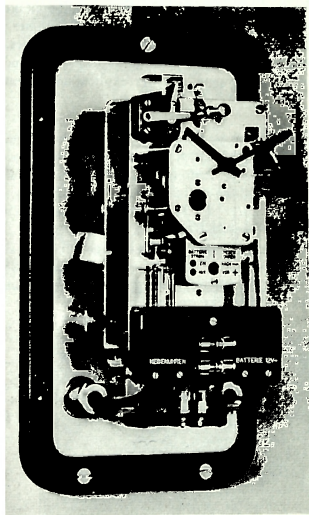


Fig. 236. Centrale marine système « Inducta ».

par un mécanisme à excentrique dont la rotation périodique est commandée par une détente. Le rythme selon lequel cette dernière est libérée permet l'émission d'impulsions motrices dans les cas suivants :

Service normal : la détente est libérée toutes les minutes par le mouvement de marche, les aiguilles des horloges secondaires avancent normalement.

Avance de l'heure indiquée par les horloges secondaires : les aiguilles du cadran de l'horloge mère sont avancées au moyen d'un bouton moletté et placées sur l'heure qui doit être indiquée après la correction. Un engrenage différentiel entre en action sous l'influence du ressort de barillet ; sa rotation, régularisée par un disque en aluminium tournant entre les pôles d'un aimant permanent, fait tourner l'excentrique commandant les contacts. Lorsque la position angulaire de ce rouage coïncide avec celle à laquelle les aiguilles du cadran ont été placées, la détente est bloquée et l'émission des impulsions de courant cesse.

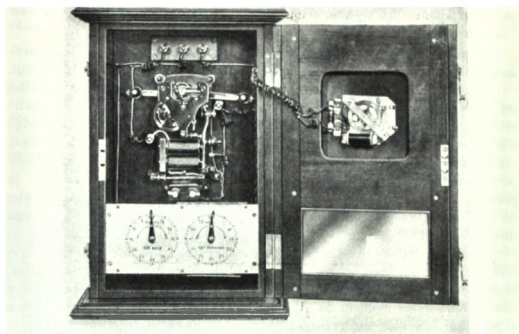
Retard de l'heure indiquée par les horloges secondaires : deux manœuvres sont possibles : ou bien on recule les aiguilles du cadran de l'horloge mère, la détente est bloquée, les horloges secondaires sont arrêtées et ne reprennent leur marche qu'au moment où l'horloge mère aura comblé le retard que l'on a provoqué, ou bien on avance les aiguilles du cadran de contrôle de la différence entre 12 heures et le retard que l'on désire provoquer, dans ce cas, le rouage agit comme nous venons de le dire plus haut.

Remise à l'heure en cas d'interruption du courant d'alimentation : grâce à sa réserve de 48 heures, le rouage de l'horloge continue à marcher tandis qu'un relais à tension nulle bloque la détente et arrête la rotation de l'excentrique commandant les contacts. Un écart se produit entre le rouage du mouvement de marche et celui de la détente, les impulsions de courant qui ne peuvent être émises sont accumulées. Lorsque le courant est rétabli, le relais à tension nulle libère la détente et permet à l'excentrique d'actionner les contacts d'émission jusqu'au moment où l'heure indiquée par les deux mouvements coïncide.

L'équipement de cette petite centrale horaire est complété par les fusibles de sécurité, par des résistances pare-étincelles placées en dérivation sur la ligne des horloges secondaires et par les voyants de contrôle indiquant le genre de service en cours : émission normale, correction avance, correction retard ou défaut de courant.

### **Horloge mère marine de la Synchronome Cy Ltd, à Londres**

La disposition schématique du mouvement de cette horloge est reproduite par la fig. 237, on reconnaît facilement que l'organe moteur : électro-aimant, armature, bras moteur, dérive de celui qui est utilisé dans les horloges à



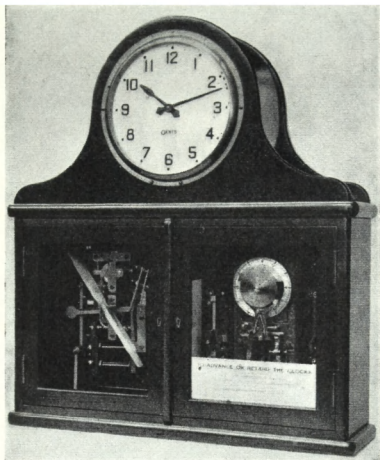
*Fig. 237. Horloge mère marine de la « Synchronome Cy Ltd ».*

balancier « Synchronome » ; toutefois, le bras moteur, au lieu d'agir par son propre poids sur le balancier, entraîne, dent par dent, une roue à rochet, premier mobile d'un rouage dont la rotation est réglée par un échappement à ancre et à balancier circulaire.

Le contact commande simultanément le circuit de l'électro-aimant de remontage du bras moteur et celui des horloges réceptrices ; les caractéristiques de l'impulsion de courant sont identiques à celles de l'impulsion émise par l'horloge mère à balancier.

Le dispositif de remise à l'heure comporte, pour l'avance des aiguilles, un simple bouton à pression qui émet dans la ligne le nombre voulu d'impulsions de courant, pour le retard, un mécanisme automatique adapté à l'horloge secondaire de contrôle. Le fonctionnement de ce dernier est le suivant : en appuyant sur un levier, on ouvre un interrupteur qui supprime l'émission des impulsions motrices dans la ligne des horloges secondaires extérieures et, simultanément on libère la roue à rochet du mouvement de contrôle, ce qui permet de reculer à la main l'aiguille des minutes et de la placer à l'heure qui devra être marquée. Lorsque le levier a été relâché, l'interrupteur est maintenu ouvert par un levier commandé par un disque à came calé sur l'axe



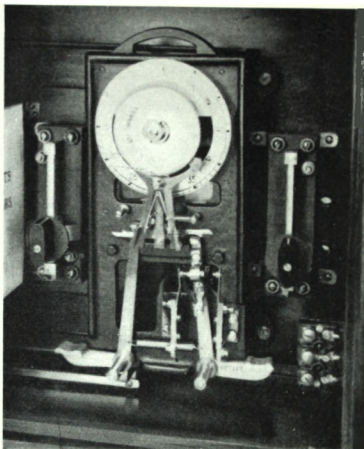


*Fig. 238. Centrale marine Gent & Co. Ltd.*

d'un mobile engrenant avec une roue solidaire de la roue à rochet. Simultanément, le cliquet d'actionnement de cette dernière est libéré, de telle sorte que les impulsions de courant motrices continuent à faire progresser les aiguilles de l'horloge de contrôle. Au moment où ces dernières et les aiguilles des horloges extérieures occupent de nouveau la même position, le levier de commande de l'interrupteur replace ce dernier à la position normale et les horloges secondaires reprennent leur marche.

#### **Horloge mère marine de la Maison Gent Ltd, à Leicester**

La construction de cette horloge est basée sur un principe identique à celui qui a guidé le constructeur de l'horloge « Synchronome » ; la fig. 238 en représente l'exécution normale.



*Fig. 239. Centrale marine Gent & Co Ltd, le contacteur pour la remise à l'heure.*

La partie gauche du tableau renferme le mouvement d'horlogerie muni d'un organe moteur et contacteur semblable à celui qui est utilisé pour les horloges à balancier pendulaire « Gent » ; les impulsions de courant sont émises toutes les 30 secondes avec une intensité de 0,380 ampère. Le mécanisme de remise à l'heure (fig. 239) est conçu de telle sorte que l'émission des impulsions de courant supplémentaires pour l'avancement rapide des aiguilles et la suspension de cette émission soient opérées automatiquement ; il suffit de placer en regard d'un index la division horaire d'un cadran correspondant à l'heure que les aiguilles des horloges doivent indiquer.

## CHAPITRE XI

### LES HORLOGES ET LES APPAREILS RÉCEPTEURS

Les impulsions de courant émises périodiquement par l'horloge mère sont reçues par les horloges et appareils récepteurs dont les fonctions principales sont :

- d'indiquer l'heure d'une façon visible : horloges réceptrices dites aussi secondaires, compteurs électro-chronométriques ;
- de l'annoncer par un moyen sonore : sonneries sur des timbres, gongs ou cloches ;
- d'enregistrer ou d'imprimer l'heure sur une feuille ou une bande de papier : enregistreurs horaires, horo-dateurs, etc. ;
- d'accomplir ou de déclencher un travail ou une opération prédéterminés : relais, détentes ou déclencheurs horaires ; signalisation horaire par moyen acoustique ou optique.

Ces appareils récepteurs doivent donc répondre à des exigences assez diverses qui, toutefois peuvent se ramener à deux cas principaux :

- a) l'indication de l'heure au moyen d'aiguilles, de tambours ou de disques porte-chiffres, etc. et l'actionnement des mécanismes horaires des enregistreurs ou imprimeurs, des horo-dateurs, etc.
- b) l'actionnement direct ou le déclenchement par un mécanisme approprié d'un dispositif électrique ou mécanique, chargé d'une fonction ou d'un travail déterminé.

La construction de ces appareils n'a été guidée pendant de nombreuses années que par l'intuition de leurs créateurs, ce qui explique le nombre considérable de modèles qui ont vu le jour et le nombre tout aussi considérable de ceux à qui l'épreuve de la pratique n'a pas permis de subsister.

L'étude et la construction scientifiques des mouvements se révèlent donc comme nécessaires, et ceci, aussi bien du point de vue de la sécurité de marche que des exigences de la concurrence économique entre les divers systèmes et surtout entre les constructeurs.

Il est donc important d'étudier les problèmes que pose l'utilisation des horloges et appareils récepteurs et les règles qui déterminent les dimensions et les formes de leurs éléments constructifs. Or, pour résoudre ces problèmes, seules les mesures de divers ordres nous permettront de trouver des solutions satisfaisantes : mesures de tensions et d'intensités et mesures des couples moteurs et résistants.

Nous supposons connues les premières, quant aux secondes, nous rappelons que la valeur d'un couple s'exprime en centimètres-grammes (cm.g.) selon la représentation graphique de la fig. 240 et que sa mesure s'effectue en utilisant un dispositif facile à construire tels que ceux qui sont représentés par les fig. 241 et 242. Le premier, décrit par Thiesen [2a], consiste en un fléau que l'on peut fixer à l'axe auquel le couple est appliqué et que l'on charge avec des poids placés à des distances connues de l'axe ; le second comporte une poulie à rayon déterminé (par exemple 10 ou 20 mm..) que l'on fixe à l'axe et sur la jante de laquelle agit un poids attaché à un fil. Un autre procédé de mesure utilise, comme le montre la fig. 243, un dynamomètre à ressort au moyen duquel on exerce une pression tangentielle sur la denture d'un mobile dont il est aisé de mesurer le rayon.

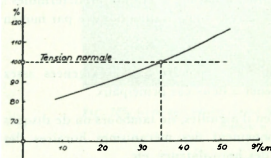


Fig. 240. Représentation graphique de la variation du couple moteur en fonction de la tension.

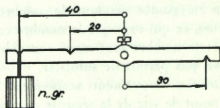


Fig. 241. Fléau pour la mesure des couples d'après Thiesen.

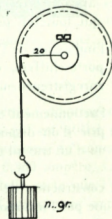


Fig. 242. Poulie avec fil pour la mesure des couples.

En examinant l'ensemble des conditions d'utilisation et le résultat à obtenir, nous voyons que les données que nous avons à poser et les mesures que nous avons à faire sont les suivantes :

1. Mesure du couple résistant minimal du mouvement nu sans aiguilles.
2. Détermination et mesure des couples résistants supplémentaires provenant des aiguilles et des conditions de fonctionnement.
3. Mesure du couple moteur appliqué à l'axe du mouvement nu.
4. Mesure de la tension minimale permettant le démarrage du mouvement nu.
5. Mesure de la tension maximale supportée par le mouvement sans désaimantation de l'aimant permanent.
6. Contrôle de la coïncidence nécessaire entre la tension de service et la tension produisant le couple moteur maximum.



*Fig. 243. Dynamomètre à ressort.*

Pour les mesures 3 à 6, on déterminera les couples en fonction des tensions successives et l'on traduira, comme le montre la fig. 244, la table obtenue par une courbe dont l'analyse permettra facilement de se rendre compte des propriétés électriques et mécaniques du mouvement. Nous donnons ci-dessous quelques indications au sujet de ces diverses mesures.

Les mesures 1 et 2 permettent de déterminer le couple résistant total auquel le couple moteur produit par l'électro-aimant doit faire équilibre. La première fera connaître la valeur des résistances internes opposées par les divers organes du mouvement, en particulier les frottements des pivots dans leurs paliers et les frottements des engrenages entre eux ; on pourra, selon la construction du mouvement, ou bien mesurer l'effort minimal à appliquer à l'armature pour que celle-ci puisse être déplacée ou bien mesurer le couple qu'il faut appliquer à l'axe pour obtenir un démarrage de l'armature.

Au couple ainsi déterminé, viendront s'ajouter : en premier lieu, celui qui résultera de l'adjonction des aiguilles, puis ceux qui sont à prévoir pour tenir compte des conditions dans lesquelles l'horloge devra fonctionner.

Le premier de ces couples est déterminé sans difficultés par l'une des méthodes que nous avons décrites ; sa valeur sera la plus faible lorsque l'équilibrage des aiguilles est fait soigneusement. Quant aux autres couples,

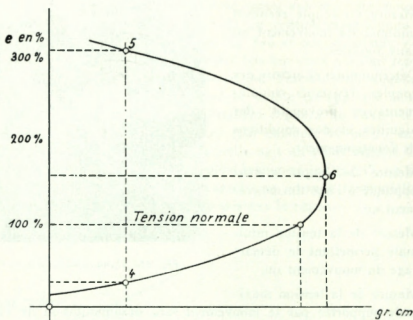


Fig. 244. Analyse de la courbe de variation du couple moteur.

leur influence sera jugée d'après l'emploi de l'horloge : cadran à l'intérieur d'un bâtiment ou en plein air, aiguilles à l'air libre ou protégées par une glace. Nous citons à titre d'exemple quelques-unes des causes principales des couples résistants :

empoussièrement des rouages — séchage de l'huile des pivots — insectes et toiles d'araignées,

action du vent sur les aiguilles non protégées (à titre indicatif, on compte pour la pression du vent une surcharge de 120 kg. par m<sup>2</sup> de surface perpendiculaire au vent dominant),

surcharge due à la neige ou au givre,

action des différences brusques de température provoquant des dilatations et des contractions des pièces de métal,

corrosion due à l'air salin ou à la grande humidité (horloges installées sur des bateaux ou dans les pays tropicaux).



Il est malheureusement difficile de donner des indications précises sur la valeur de ces couples qui varient selon le poids et la forme des aiguilles, le genre de construction du rouage, etc. Il est toutefois dans l'intérêt de chaque constructeur d'horloges d'étudier ces résistances et de procéder aux essais adéquats.

La mesure du couple moteur, appliqué à l'axe du mouvement, permet de déterminer pour un mouvement donné les conditions de meilleur rendement et de plus grande sécurité ; le moteur du mécanisme étant un électro-aimant, le couple dépendra du nombre d'ampères-tours de son bobinage, de la disposition du circuit magnétique et de la transmission du mouvement de l'armature à l'axe de l'aiguille des minutes (ou des secondes pour un compteur électro-chronométrique). C'est dire combien sont grandes l'influence d'une construction logique et celle de la qualité du matériel.

La mesure de la tension minimale permettant le démarrage du mécanisme nu est également importante, car elle permet de connaître la marge de sécurité dont le mouvement dispose. La pratique a montré que cette tension ne doit pas être supérieure au 50 % de la tension normale afin que le mécanisme reste suffisamment sensible et qu'il demeure indépendant des fluctuations de la tension ; à noter que la valeur de la tension du démarrage est dépendante dans une grande mesure des entrefers et du poids de l'armature de l'électro-aimant ; pour les mouvements à armature polarisée, l'influence de l'aimant permanent est particulièrement importante, comme nous le verrons lorsque nous décrirons cette classe de mouvements.

La mesure de la tension maximale supportée par le mouvement peut rendre service lorsque le circuit magnétique admet un point de saturation très bas ou lorsque l'aimant permanent est petit ou possède une force coercitive insuffisante.

Enfin, l'examen de la courbe du couple moteur en fonction de la tension montre si la tension normale de service correspond bien au couple moteur maximum.

### La construction du mouvement secondaire

Pour remplir convenablement les missions dont il peut être chargé, le mouvement récepteur doit transformer dans les meilleures conditions possibles en énergie mécanique, l'énergie électrique des impulsions motrices qu'il reçoit : ses dimensions, la détermination de l'excédent du couple moteur par rapport aux couples résistants, la méthode de transformation de l'énergie devront s'adapter à l'emploi pour lequel il est prévu.

La détermination des dimensions du mouvement doit tenir compte des nécessités d'une fabrication économique en séries aussi grandes que possible, sans toutefois négliger le rendement individuel du mouvement. Le fabricant

aura le désir légitime de réduire le nombre des types de mouvements mais souvent le résultat de cette économie sera fâcheux, on constatera parfois que les mouvements seront trop faibles ou trop puissants pour une tâche donnée, dans le premier cas leur service sera peu sûr, dans le second il y aura un gaspillage de l'énergie, sans tenir compte du prix trop élevé de l'horloge.

Thiesen [2a] a proposé d'étager les mouvements d'après les ampères-tours de leurs bobinages en faisant usage de la formule  $b = a \sqrt{2}$  dans laquelle  $b$  est le nombre d'ampères-tours du mouvement à choisir et  $a$  celui du mouvement précédent. De cette façon, on obtient 7 types pour lesquels le nombre d'ampères-tours de l'un est le double de celui du précédent et qui peuvent équiper tous les cadrans dont le diamètre est compris entre 18 et 250 cm.

Cette proposition est séduisante du point de vue technique, mais il est probable que les fabricants hésiteront à mettre 7 modèles de mouvements en magasin ; la pratique a du reste montré que 4, éventuellement 5 modèles sont suffisants, car pour les deux plus gros modèles un certain gaspillage d'énergie peut être toléré sans inconvénients.

Nous croyons par exemple que les dimensions suivantes correspondent aux besoins déterminés par la pratique :

*Type I.* Couple moteur 20 cm.g. ; utilisable pour cadrans dont les diamètres sont compris entre 10 et 25 cm. ; les dimensions de ce mouvement doivent tenir compte du petit espace disponible derrière le cadran. Les horloges ne peuvent être installées qu'à l'intérieur d'un bâtiment ; les aiguilles doivent si possible être protégées par une glace.

*Type II.* Couple moteur 30 cm.g. ; utilisable pour cadrans dont les diamètres sont compris entre 25 et 45 cm. Les horloges sont destinées au montage intérieur avec ou sans verre de protection sur les aiguilles ; ce mouvement peut être utilisé pour le déclenchement de dispositifs mécaniques ou électriques de petites dimensions.

*Type III.* Couple moteur 100 cm.g. ; utilisable pour cadrans dont les dimensions sont comprises entre 45 et 100 cm. ou pour le déclenchement de dispositifs mécaniques ou électriques de toutes dimensions. Les horloges sont destinées au montage intérieur avec ou sans verre de protection ou au montage extérieur avec verre de protection sur les aiguilles.

*Type IV.* Couple moteur 1200 cm.g. ; utilisable pour cadrans en plein air, sans verre de protection, dont les diamètres sont compris entre 100 et 150 cm.

*Type V.* Couple moteur 2000 cm.g. ; utilisable pour cadrans en plein air, sans verre de protection, dont les diamètres sont compris entre 150 et 200 cm. Ce mouvement peut encore être utilisé jusqu'à un diamètre de

350 cm. pourvu que les impulsions de courant se succèdent toutes les demi ou mieux tous les quarts de minute.

Dans la pratique actuelle, l'actionnement direct des aiguilles par un mouvement secondaire n'est guère utilisé pour des cadrans dont le diamètre dépasse 250 cm. Pour les cadrans dont le diamètre dépasse cette limite, on fait usage soit de mouvements mécaniques, soit de mouvements à moteurs électriques, déclenchés ou mis en marche par une détente constituée par un mécanisme récepteur, en l'espèce un mouvement du type III.

Deux facteurs encore doivent guider le constructeur ou l'horloger pour le projet ou le choix du mouvement destiné à équiper une horloge dont les aiguilles sont soumises à des couples résistants importants, ce sont la constante de temps du mouvement et la valeur du couple capable de faire mouvoir les aiguilles durant l'impulsion et entre deux impulsions de courant motrices.

La constante de temps du mouvement est le temps qui est nécessaire au rouage pour passer de l'état de repos à celui de mouvement et vice-versa. Cet espace de temps, qui dépend de l'inertie totale des masses en mouvement, peut varier entre un ou deux dixièmes de seconde et une seconde ; il ne doit jamais être supérieur à la durée de l'impulsion de courant, sous peine de voir le mouvement de l'armature freiné ou même arrêté avant la mise en place correcte des aiguilles. Il faut donc veiller à ce que la durée des impulsions émises par l'horloge mère soit d'au moins une seconde ; si cette condition n'est pas réalisable, les lignes qui alimentent des horloges à grande inertie doivent être munies d'un relais spécial prolongeant la durée de l'impulsion.

Enfin, les mouvements devront être construits de telle sorte que, durant l'actionnement des aiguilles, le couple moteur soit supérieur au couple résistant total et que, entre deux impulsions consécutives, le verrouillage mécanique ou magnétique de l'axe des aiguilles soit suffisant pour éviter un déplacement, en d'autres termes, une avance ou un retard intempestif de l'horloge.

Il est évident que toutes les indications et remarques que nous venons de faire sont valables aussi bien pour les mouvements récepteurs équipant les horloges secondaires de tous types, que pour ceux dont sont munis les mécanismes de détente ou de déclenchement horaires.

#### **L'impulsion motrice et son influence sur la construction des mouvements récepteurs**

Nous avons vu au chapitre IX les diverses conditions d'émission des impulsions motrices, c'est-à-dire leur tension, leur fréquence et leur polarité. Aux diverses tensions normalisées en usage actuellement, correspondent des résistances de bobinage assez variables selon les constructeurs ; il est vrai

que l'on a aussi cherché à les normaliser et que certaines administrations suisses prescrivent pour les résistances des bobinages des valeurs uniformes pour tous leurs fournisseurs. Ainsi les administrations des réseaux de chemins de fer ont adopté pour la tension de 12 volts de leurs réseaux horaires une résistance de 1000 ohms : l'administration des P. T. T. prescrit pour la tension de 24 volts une résistance de 3500 ohms ; ces valeurs ne concernent toutefois que les horloges normales dont le diamètre de cadran ne dépasse pas 100 cm.

La construction de la partie électrique des réceptrices n'est pas influencée par la durée des intervalles entre les émissions des impulsions de courant (une minute, une demi-minute, un quart de minute) ; seule, celle de la partie mécanique subit une légère modification puisque le rapport de démultiplication entre le mobile commandé par l'armature et l'axe des minutes dépend de la fréquence des impulsions.

La construction des réceptrices alimentées chaque seconde, ou même deux fois par seconde, fait exception ; le mécanisme, auquel nous réserverons le nom de compteur électrochronométrique, doit posséder un équipage mobile, armature et rouage, de faible inertie afin que l'aiguille trotteuse effectue un saut correct et sans vibrations gênantes. Le rouage comportera les mobiles nécessaires pour entraîner une paire d'aiguilles indiquant l'heure et la minute et une trotteuse marquant la seconde.

L'influence de la polarité des impulsions : sens constant ou sens alterné à chaque émission, a eu pour résultat la construction de deux genres de mécanismes récepteurs entièrement différents l'un de l'autre ; il est donc nécessaire que nous examinions de plus près les conditions de leur établissement.

*Mouvements secondaires pour impulsions de sens constant.* Les premiers mouvements secondaires qui furent construits, ceux de Bain, de Garnier, de Siemens, utilisaient des impulsions de courant de sens constant ; on dut malheureusement constater qu'ils étaient incapables d'assurer la sécurité requise à un réseau horaire. Le grand défaut qui leur était reproché était leur sensibilité excessive aux courants parasites d'origine atmosphérique qui provoquaient inmanquablement des sauts intempestifs de l'aiguille ; le même résultat était aussi provoqué par des émissions accidentelles de courant dues à l'oxydation partielle des contacts de l'horloge mère. C'est la raison qui, depuis les essais concluants de Hipp, conduisit la majorité des constructeurs d'horloges, suisses et allemands en particulier, à utiliser le système à électro-aimant polarisé ; d'autres constructeurs, par contre, restèrent fidèles au mouvement à impulsions de sens constant et, après l'avoir amélioré, en firent un mécanisme tout à fait utilisable.

Les constructeurs américains, par exemple, cherchèrent à rendre les mouvements moins sensibles en augmentant fortement la masse, partant

l'inertie de leurs pièces mobiles, tandis que les constructeurs anglais, F. Hope-Jones de la Synchronome Cy en particulier, perfectionnèrent les méthodes de verrouillage de l'échappement, de façon à éviter que les courants parasites d'intensité insuffisante ainsi que les couples résistants accidentels puissent provoquer une attraction intempestive de l'armature. Les systèmes anglais, un peu compliqués il est vrai, ont atteint le but visé, tandis que les systèmes américains paraissent présenter un peu moins de sécurité puisque certains d'entre eux comportent des dispositifs auxiliaires de contrôle.

Mais, en plus du manque de sécurité, d'autres inconvénients sont portés au débit du mouvement à impulsions de sens constant.

Tout d'abord, le mouvement de va et vient que doit accomplir l'armature implique la nécessité de prévoir pour son rappel, soit un ressort antagoniste, soit un contrepoids ; nous avons vu au chapitre II les inconvénients que ces organes présentent.

Ensuite, l'augmentation progressive de la rémanence des pièces constituant le circuit magnétique, ainsi que l'usure des arrêts de course tendent à provoquer, après une période plus ou moins longue, un collement de l'armature contre les pièces polaires : d'où la nécessité de réglage assez fréquents.

Enfin, la consommation de courant est notablement supérieure à celle d'un mouvement à armature polarisée ; en effet, une grande partie de l'énergie électrique de l'impulsion de courant est employée à vaincre la résistance du ressort antagoniste ou du contre-poids et une autre partie est dissipée inutilement par suite de l'entrefer assez considérable qu'il faut réserver pour éviter un collement de l'armature contre les pièces polaires. Si cet accroissement de consommation est de peu d'importance pour les sources de courant modernes, elle n'en provoque pas moins une charge considérable du contact de l'horloge mère.

*Mouvements secondaires pour impulsions de courant de sens inversé à chaque émission.* Nous avons comparé au chapitre II l'électro-aimant à armature polarisée avec celui à armature ordinaire, ce qui nous dispense d'y revenir ici. La pratique nous permet aussi de constater que l'emploi des émissions de courant de sens alternativement inversé a réussi à parer aux principaux défauts des horloges à impulsions de sens constant et a permis la création et le développement de très grands réseaux horaires, comportant des centaines d'horloges secondaires de toutes dimensions, installées à l'intérieur de bâtiments ou placées en plein air.

Il ne faut toutefois pas oublier que certaines précautions sont à prendre lors de la construction et du réglage des mouvements récepteurs ; la présence de l'aimant permanent crée en effet une modification du champ magnétique de l'électro-aimant et il faut que l'interaction de ces deux champs soit bien

étudiée et que le réglage de la partie électrique du mouvement soit faite avec soin. On constatera par exemple, que l'on peut augmenter le couple moteur en renforçant l'action de l'aimant, mais cela au détriment de la sensibilité et on verra aussi l'influence néfaste d'un trop grand entrefer entre l'armature et l'aimant permanent. Enfin, on devra réclamer de ce dernier une forte rémanence et une force coercitive constante afin que la sensibilité du mouvement ne varie pas avec le temps et que la limite critique, où la dépolariation est à craindre, n'atteigne pas la tension maximale assignée au courant d'alimentation.

Les mouvements secondaires normaux seront étudiés dans l'ordre suivant :

- a) Mouvements recevant des impulsions de courant de sens constant.
- b) Mouvements recevant des impulsions de sens alternativement inversé et dont l'armature est oscillante.
- c) Mouvements recevant des impulsions de sens alternativement inversé et dont l'armature est rotative.
- d) Mouvements recevant des impulsions de courant de sens alternativement inversé, dont le circuit magnétique fixe est un aimant permanent et dont l'induit, ou rotor, est bobiné.

### Mouvements pour impulsions de sens constant

#### Mouvements de la Stromberg Electric Co., Chicago (U.S.A.)

La fig. 245 représente le mouvement petit modèle utilisé pour des cadrans dont les diamètres sont compris entre 20 et 60 cm. ; sa disposition générale est un peu différente de celle du mouvement classique, la transmission du mouvement rotatif de la roue d'échappement s'opérant par le moyen d'une vis sans fin à trois filets. Il s'ensuit que les deux platines principales sont perpendiculaires au cadran et sont reliées par deux petites platines qui reçoivent les pivots du rouage de minuterie. Les deux bobines de l'électro-aimant vertical sont fixées par la culasse, qui les lie l'une à l'autre, à la partie extérieure de la cage formée par les platines ; l'armature, pivotant sur un axe placé entre les platines principales, est rappelée par un ressort antagoniste ; son mouvement de va et vient est transformé en mouvement circulaire par un encliquetage agissant sur une roue à rochet solidaire de l'axe de la vis sans fin.

La construction de ce mouvement est ainsi très simplifiée puisque la vis sans fin fonctionne comme organe de verrouillage de l'axe de l'aiguille des minutes la consommation de courant doit être assez élevée car l'armature du



ressort antagoniste, l'inertie assez élevée des masses mobiles et le faible rendement de la transmission par vis sans fin produisent un couple résistant très sensible.

Le mouvement, grand modèle, tel qu'il est représenté par la fig. 246, est prévu pour l'équipement de cadrans dont les diamètres sont compris entre 60 et 150 cm. L'électro-aimant horizontal est placé entre les deux platines qui, dans cette exécution, sont parallèles au cadran. L'armature en tôle feuilletée transmet son mouvement de va et vient par un encliquetage à une roue à rochet ; elle porte un levier, dont l'extrémité, formée de façon appropriée, s'engage dans la denture d'une roue, fixée à l'axe d'un des mobiles, et la bloque entre les impulsions de courant motrices.

### Mouvements secondaires de la Synchronome Cy Ltd, à Londres

Le principe du mouvement « Synchronome », tel qu'il a été développé dès 1895 par F. Hope-Jones, est représenté par la fig. 247.

(B) est l'électro-aimant dont l'armature (C) à faible course s'engage dans la forte denture triangulaire de la roue à rochet (A) et la fait avancer dent

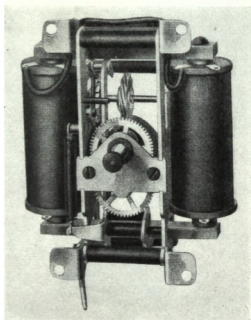


Fig. 245. Mouvement secondaire Stromberg, petit modèle.

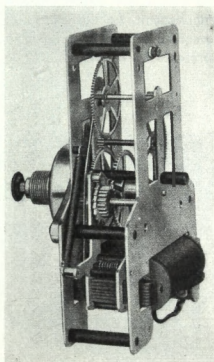


Fig. 246. Mouvement secondaire Stromberg, grand modèle.



par dent, sous l'action du ressort antagoniste plat (F), à chaque impulsion de courant. La particularité fondamentale de ce mouvement est l'encliquetage de sûreté qui empêche tout mouvement intempestif de la roue d'échappement : ce dispositif d'arrêtage comporte un levier (G), pivoté à l'une de ses extrémités, portant deux fortes goupilles carrées s'engageant l'une dans la denture de la roue à rochet (A) et l'autre dans une encoche ménagée dans le levier (D). La vis de blocage (H) limite la course du cliquet d'impulsion tandis que celle désignée par (I) limite la course du levier d'armature : la tension du ressort antagoniste (F) est réglée par une vis de telle sorte que le mouvement d'avance des aiguilles se fasse correctement.

Le fonctionnement de ce mécanisme peut être rendu silencieux en déplaçant le point de pivotement du levier (D) au tiers de sa longueur comptée depuis le haut. L'armature à longue course, remplaçant l'armature usuelle, se meut dans un logement à courbure cylindrique ménagé dans les pièces polaires de l'électro-aimant.

Les deux modèles de ce mouvement sont destinés à l'équipement de cadrans dont le diamètre n'excède pas 70 cm. pour le premier et 180 cm. pour le second. Les mouvements sont placés en série sur la ligne d'alimentation, le courant doit avoir une intensité fixe de 0,25 ampère ; sa tension est déterminée par le nombre d'horloges en circuit à raison de 1 volt par mouvement. La durée de l'impulsion est très brève, environ 6 centièmes de seconde, ce qui réduit considérablement la consommation de courant mais présente les inconvénients que nous avons déjà signalés.

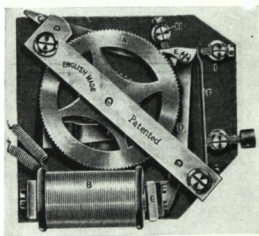


Fig. 247. Mouvement secondaire  
« Synchronome Cy Ltd ».

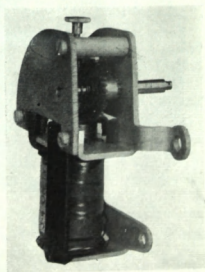


Fig. 249. Mouvement secondaire à  
marche silencieuse Gent Co. Ltd.

### Mouvements secondaires de la Maison Gent Ltd, Leicester (Angleterre)

Ces mouvements, représentés par la fig. 248, n'offrent pas de différences très sensibles avec les mouvements à courant direct classiques; ils se fabriquent en trois modèles : le mouvement « S » à verrouillage simple, pour cadrans dont le diamètre est inférieur à 60 cm., le mouvement « B » à double verrouillage pour cadrans vitrés jusqu'à 90 cm. de diamètre, et le mouvement « W », à double verrouillage également, pour grands cadrans vitrés ou pour ceux qui ne sont pas protégés, jusqu'à un diamètre de 150 cm.

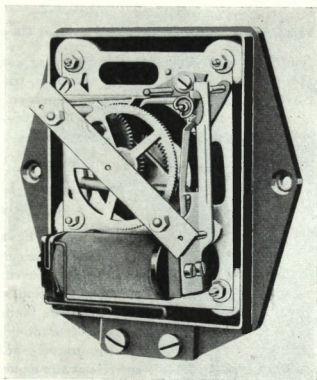


Fig. 248. Mouvement secondaire Gent & Co. Ltd.

L'intensité constante qui traverse ces mouvements branchés en série est de 0,22 ampère tandis que la tension se calcule, pour une batterie d'accumulateurs, selon la formule :

$$E = 0,22 \text{ (résistance totale des horloges + résistance de ligne).}$$

Les résistances normales des bobinages sont de 3 ohms pour les cadrans d'un diamètre inférieur à 35 cm., de 6 ohms pour la limite de 45 cm. et de 8 ohms pour les cadrans de plus grands diamètres.

La durée de l'impulsion de courant est de 5 centièmes de seconde, l'émission se fait au rythme adopté en Angleterre de 2 impulsions par minute.

Pour les horloges destinées à être placées dans des endroits où le silence est de rigueur, la Maison Gent a construit un mouvement étudié spécialement (fig. 249). Il comporte une armature pivotant dans un logement à courbures excentrées formé par les pièces polaires de l'électro-aimant ; le cliquet d'impulsion s'engage dans les dents d'une roue à rochet qui, elle, engrène par une vis sans fin avec le rouage du mouvement.

Tous ces mouvements sont montés dans une boîte protectrice en bakélite moulée, munie d'un couvercle et pourvue de serre-fils pour les fils de ligne.

#### Mouvement secondaire de l'American Business Machines Corp., à New-York

La construction de ce mouvement est d'une extrême simplicité ; l'armature pivote entre les pièces polaires de l'électro-aimant et, par l'intermédiaire d'un cliquet, fait avancer dent par dent à chaque impulsion de courant une roue à rochet fixée sur l'axe de l'aiguille des minutes.

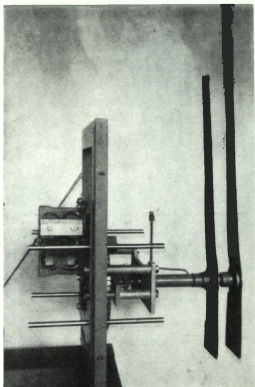


Fig. 250. Mouvement secondaire Favag S.A. pour l'actionnement direct des aiguilles d'une horloge monumentale.

#### Mouvements de la S.A. Favag, à Neuchâtel

La Maison Favag, se basant sur les expériences accumulées depuis la création du mouvement à armature polarisée de Hipp, est restée fidèle au principe de l'utilisation d'impulsions de courant de sens alternativement inversé ; néanmoins, elle a eu recours aux mouvements à armature non polarisée dans deux cas spéciaux pour lesquels les défauts que nous avons signalés ne peuvent causer de préjudice à la bonne marche de l'horloge et à celle de ses voisines.

*Mouvement pour horloges de grand diamètre.* Ce système est utilisé pour l'actionnement direct des aiguilles lourdes, non protégées des

horloges monumentales dont le diamètre est compris entre 160 et 350 cm. La fig. 250 reproduit l'aspect d'un tel mouvement et la fig. 251 donne le détail du mécanisme moteur.

Le couple moteur très élevé est fourni par un système de deux électro-aimants opposés à deux bobines chacun, entre les pièces polaires desquels pivote l'armature commune. Celle-ci est rappelée à la position écartée par deux gros ressorts à boudin dont la tension peut être réglée par une vis.

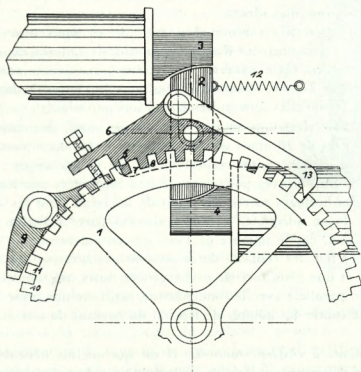


Fig. 251. Le mécanisme du mouvement Favag pour horloges monumentales.

La roue à rochet (1) à grand diamètre (220 mm.), pourvue de 60 dents carrées, est fixée à l'axe de l'aiguille des minutes ; le système d'encliquetage, fort ingénieux, est conçu de telle sorte qu'il n'existe aucun moment où la roue à rochet puisse être entraînée ou freinée par une poussée exercée sur l'aiguille des minutes par un coup de vent. En effet, pendant l'attraction de l'armature (2) par les pièces polaires (3 et 4), l'arrêt (5) solidaire du cliquet (6) fixé à l'armature se place entre deux dents (7 et 8) de la roue à rochet (1) et empêche son mouvement ; le cliquet (6), appuyant sur le fléau (9), fait sortir l'extrémité de celui-ci de l'entre-dents (10, 11) et libère la

roue à rochet. Pendant le mouvement de retour de l'armature sollicitée par les ressorts (12), le cliquet d'impulsion (13) fait avancer la roue à rochet (1) en poussant contre le flanc d'une de ses dents ; simultanément, le fléau (9) est libéré par le cliquet (6), son extrémité vient s'appuyer contre la tête de la dent (8) puis, lorsque le mouvement est achevé, retombe par son propre poids dans l'entre-dents suivant.

A ce mécanisme, qui constitue le mouvement proprement dit, s'adaptent la minuterie et les axes des aiguilles ; la construction de cet ensemble d'organes varie d'une horloge à l'autre selon les conditions posées par l'emplacement d'installation du cadran.

La construction très robuste et soignée de ce mouvement permet son utilisation pour l'actionnement d'aiguilles lourdes de cadrans exposés à toutes les intempéries ; en règle générale, le diamètre maximum admis pour ce mouvement est de 275 cm. lorsque les impulsions sont émises toutes les minutes et de 400 cm. lorsqu'elles sont émises 4 ou 5 fois par minute.

La résistance électrique totale, relativement basse, des enroulements de ce mouvement est de 10 ohms pour 12 volts et de 40 ohms pour 24 volts, ce qui correspond aux intensités respectives de 1,2 et 0,6 ampère. Comme ces intensités sont trop élevées pour pouvoir être supportées par les contacts de la majorité des horloges mères, on intercale un relais dont les contacts sont construits de façon adéquate. Il faut également parer à l'effet des courants de self-induction, car le nombre de tours des enroulements est très considérable ; dans ce but, les contacts du relais sont protégés par un condensateur de 6 à 8 Mf et une résistance de décharge ; en outre, un tube éclateur à gaz rare, placé en parallèle avec le condensateur, constitue une protection efficace de ce dernier contre les pointes de tension du courant de self-induction.

*Mouvements à chiffres sautants.* Il est quelquefois désirable, pour des raisons d'encombrement, de facilité de lecture ou même d'esthétique, de substituer à l'indication classique de l'heure par deux aiguilles, celle par chiffres arabes changeant chaque minute, qui permet la lecture directe et immédiate de l'heure.

La Maison Favag S. A. a construit deux horloges à chiffres sautants très différentes l'une de l'autre comme exécution, la première est destinée aux panneaux d'opératrice des centraux téléphoniques et la seconde à la salle de commande des usines électriques.

*Horloges pour centraux téléphoniques.* Le mouvement de cette horloge, représenté par la fig. 252, est constitué par 3 rouleaux porte-chiffres juxtaposés, munis chacun d'une roue à rochet et par l'électro-aimant d'impulsion dont l'armature entraîne le dispositif d'encliquetage ; le tout forme un bloc

de  $50 \times 38 \times 105$  mm., appliqué par sa partie frontale contre la face intérieure du panneau du pupitre de l'opératrice. Les chiffres arabes, d'une hauteur de 5 mm., apparaissent dans une fenêtre ménagée dans ce panneau, à la hauteur des yeux de l'opératrice.

Le premier tambour porte la graduation des unités de minutes, les chiffres 0 à 9 répétés deux fois sur sa circonférence ; le second porte celle des dizaines de minutes, 0 à 6, répétée trois fois sur sa circonférence et le troisième celle des heures, de 0 à 23. Conséquemment, les trois roues à rochet portent respectivement 20, 18 et 24 dents ; dans chacune des deux premières dentures, l'entre-dents correspondant au chiffre zéro est creusé plus profondément que les autres.

L'armature de l'électro-aimant actionne, par l'intermédiaire d'un levier coudé, pivotant sur l'axe des tambours, deux cliquets agissant, le premier sur la denture de la roue à rochet du tambour des unités de minutes, le second simultanément sur la roue à rochet du tambour des dizaines de minutes et sur celle du tambour des heures.

La transmission de la rotation d'un tambour à l'autre s'opère au moment où le cliquet d'impulsion pénètre dans l'entre-dents profond de la roue à rochet du premier, ce qui lui permet de s'engager également dans la denture de la roue à rochet du tambour suivant.

La consommation de courant de ces horloges étant relativement élevée, un relais à gros contact est intercalé entre elles et l'horloge mère.

*Horloges à grands chiffres.* Le technicien chargé du service du pupitre de commande d'une usine électrique doit fréquemment, d'un seul coup d'œil, pouvoir lire l'heure précise ; l'expérience a prouvé que la lecture directe de l'heure en chiffres était plus rapide et moins sujette à erreurs que l'appréciation de la position des aiguilles d'un cadran. La Maison Favag a construit dans ce but une horloge à chiffres sautants dont la lecture est encore possible à une distance de 25 mètres.

Il ne pouvait être question de construire une horloge à tambours basée sur le principe de celle que nous venons de décrire, il fallut donc utiliser la projection lumineuse des chiffres sur un écran en verre dépoli et prévoir la commande individuelle des quatre mouvements par un dispositif à contact

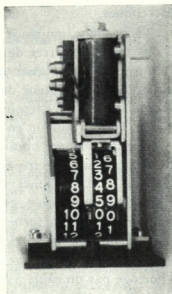


Fig. 252. *Mouvement secondaire à chiffres sautants, système Favag.*



spécial, actionné lui par un mouvement secondaire : l'horloge est ainsi divisée en deux parties qui peuvent être placées à une distance quelconque l'une de l'autre : l'horloge lumineuse proprement dite et le contacteur. Ce dispositif, combinaison d'organes d'horlogerie et d'organes de la technique électrique, représente bien la tendance actuelle de la construction de certaines horloges électriques.

L'horloge lumineuse comporte quatre groupes indicateurs correspondant à chacun des chiffres de l'heure. Chaque groupe est formé par le mouvement horaire faisant tourner un disque métallique dans lequel sont perforés les chiffres d'une hauteur de 8 mm. et le système optique de projection avec sa lampe ; les chiffres lumineux, d'un hauteur effective de 100 mm. sont projetés sur un écran commun en verre dépoli.

Le mouvement horaire est formé par un électro-aimant (résistance 150 ohms) et un dispositif d'encliquetage actionnant la roue à rochet solidaire du disque porte-chiffres.

Le contacteur, relié à l'horloge par un câble à 8 conducteurs, comporte un dispositif à 3 disques à cames, l'un effectuant un tour en une heure et les deux autres un tour en 24 heures. Sur l'axe portant le premier de ces disques est fixée une roue à rochet qui, par l'intermédiaire d'un encliquetage, est commandée par le mouvement de va-et-vient de l'armature de l'électro-aimant recevant les impulsions de courant horaires.

La consommation de courant des 7 électro-aimants du dispositif complet étant assez considérable, l'horloge est alimentée par une source de courant locale formée par une batterie d'accumulateurs de 12 V : cette même batterie alimente

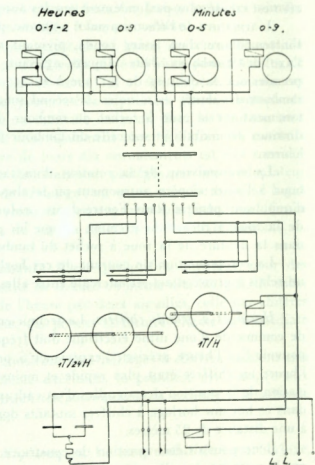


Fig. 253. Schéma de l'horloge à grands chiffres sautants (Favag).



aussi par l'intermédiaire d'un relais l'électro-aimant du contacteur de façon à limiter à la valeur normale de 10 à 20 milliampères l'intensité de l'impulsion de courant provenant du réseau horaire.

La fig. 253 donne le schéma général de cette horloge ainsi que sa liaison au réseau horaire.

## Mouvements à armature polarisée oscillante

### Mouvement de la S.A. Favag, à Neuchâtel

Les mouvements à armature polarisée oscillante, construits actuellement par la S. A. Favag, dérivent du système original inventé par Hipp en 1860 ; ils ne sont toutefois utilisés actuellement que pour les compteurs électrochronométriques battant la seconde.

Dans ce mouvement, que représente la fig. 254, l'axe de l'aiguille des secondes (ou des minutes) porte une roue d'échappement à double denture (1), l'une sur sa périphérie (2) et l'autre sur sa face latérale (3).

Dans les dents de la première, vient s'engager un cliquet de retenue (4) tandis que celles de la seconde sont soumises aux impulsions alternées des deux palettes (5 et 6) d'une même verge d'échappement (7) ; le tout constitue un échappement à roue de rencontre inversé, dans lequel la verge (7), qui porte l'armature oscillante (8), joue le rôle de moteur. Cette armature en fer doux, dont la fig. 255 donne la forme primitive, est polarisée Nord, par exemple, par l'extrémité d'un aimant permanent (9), dont l'autre extrémité (Sud), appliquée à la culasse de l'électro-aimant polarise du même signe (Sud) les deux pièces polaires (10 et 11).

Puisque cette méthode de polarisation est utilisée par plusieurs systèmes d'horloges électriques, nous examinerons avec quelque détail le jeu de l'armature. Tant que les bobines de l'électro-aimant ne sont pas parcourues par un courant, les deux pièces polaires (10 et 11), polarisées du même signe, attirent toutes deux et indifféremment la queue (12) de l'armature oscillante (8) ; mais, si une impulsion de courant vient à exciter l'électro-aimant, le circuit magnétique de ce dernier deviendra, indépendamment du flux induit par l'aimant permanent, un fort aimant temporaire et ses deux pièces polaires seront le siège de deux pôles de signes contraires. Le pôle qui a le même signe que celui de la queue (12) de l'armature repoussera cette dernière tandis que l'autre l'attirera, l'armature prend la position I. Lorsque l'impulsion de courant est terminée et que l'électro-aimant n'est plus excité, celui-ci retombe sous l'influence unique de l'aimant de polarisation, la queue reste appliquée contre la pièce polaire qui vient de l'attirer et reste dans cette position jusqu'à ce qu'une nouvelle impulsion de courant de sens inversé vienne l'appliquer contre l'autre pièce polaire (position II).

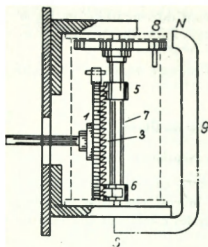


Fig. 254. Mouvement secondaire Hipp (Favag).

1) Roue d'échappement à double denture 2 et 3. 4) Cliquet de retenue. 5 et 6) Palettes de la verge d'échappement 7. 8) Armature oscillante. 9) Aimant de polarisation.

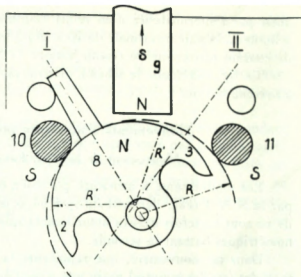


Fig. 255. Armature du mouvement secondaire Hipp (forme primitive).

8) Armature oscillante. 9) Aimant de polarisation. 10 et 11) Pièces polaires de l'électro-aimant. 12) Queue de l'armature.

Pour faciliter le mouvement de va-et-vient de l'armature et pour lui donner un arc d'oscillation aussi grand que possible, les deux ailes (2 et 3) ont reçu chacune une courbure constituée par une portion d'arc de cercle. Les centres de ces arcs ont été choisis de telle sorte que l'entrefer, entre chaque pièce polaire et la partie d'armature qu'elle commande, décroisse constamment depuis l'extrémité de l'aile jusqu'à la naissance de la queue ; il sera par exemple de 1 à 2 mm. pour débiter et de 2 à 4 dixièmes de mm. pour terminer.

On constatera que les deux mouvements aller et retour de l'armature sont uniquement déterminés par l'émission des impulsions de courant de sens alterné à l'exclusion de tous ressorts ou contrepoids ; de plus, l'asymétrie des deux entrefers a pour effet de créer, au moment où débute l'excitation de l'électro-aimant, un couple qui conduit l'armature avec une sûreté absolue d'une position extrême à l'autre.

L'armature, telle que nous venons de la décrire, a été perfectionnée par Hipp, la queue a été supprimée, la pratique ayant démontré que la dissymétrie des entrefers suffisait pour produire le couple moteur désiré.

Les mouvements pour horloges à minute que Hipp et ses successeurs construisirent, étaient établis en trois dimensions permettant l'actionnement direct des aiguilles de cadrans dont les diamètres étaient compris entre 20 et

150 cm. ; leur robustesse, et il faut aussi le remarquer, la qualité de leur exécution autorisaient leur emploi dans toutes les circonstances.

Actuellement, comme nous l'avons dit, Favag a limité l'utilisation de ce mouvement assez coûteux aux compteurs électro-chronométriques et aux appareils scientifiques recevant des impulsions de courant toutes les secondes ; les fig. 256 et 257 montrent deux de leurs applications.



Fig. 256. Compteur électro-chronométrique Favag, modèle mural.

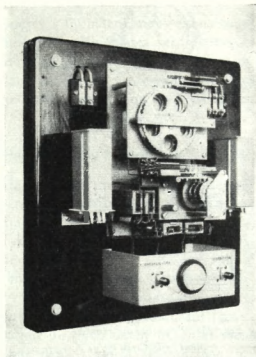


Fig. 257. Contacteur pour l'émission de signaux horaires par T.S.F. L'arbre à cames inférieur est mû par un mouvement électro-chronométrique.

### Mouvements secondaires « Inducta » (anciennement « Magnéta ») de la S.A. Landis & Gyr, à Zoug

La Maison Landis & Gyr utilise le même type de mouvement secondaire pour tous les réseaux horaires qu'elle construit, qu'ils soient alimentés par une source extérieure de courant continu ou par un inducteur magnétique. Leur principe constructif doit donc tenir compte de la grande différence entre la durée des impulsions motrices : un vingt-cinquième de seconde pour l'inducteur contre une seconde pour le régulateur à batterie d'accumulateurs.

Le mouvement, tel qu'il est construit actuellement, est représenté schématiquement par la fig. 258 et par la reproduction photographique de la fig. 259.

Le circuit magnétique de l'électro-aimant (1) est fermé par une armature plate (2) oscillant en son milieu ; étant donné la brièveté des impulsions de

courant livrées par l'horloge mère à inducteur, cette armature est très légère afin de pouvoir obéir instantanément à la courte attraction magnétique. La polarisation est obtenue par le moyen d'un aimant permanent (3) dont l'une des extrémités est fixée à la culasse de l'électro-aimant et l'autre placée en regard d'un prolongement latéral de l'armature (4).

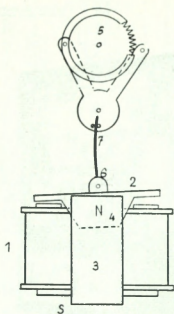


Fig. 258. Principe du mouvement « Inducta ».

1) Electro-aimant polarisé par l'aimant permanent 3. 2) Armature plate avec un prolongement latéral 4. 5) Roue d'échappement. 6) Bras fixé à l'armature et terminé par un ressort plat 7.

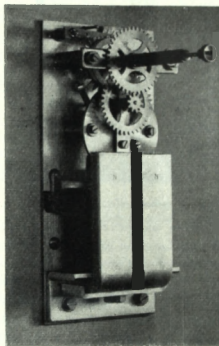


Fig. 259. Mouvement secondaire « Inducta ».

La transmission du mouvement oscillant de l'armature à la roue d'échappement (5) doit tenir compte de la rapidité de déplacement de l'armature rapport à la lenteur relative de la rotation des aiguilles due à leur inertie. Dans ce but, la disposition suivante a été adoptée : fixé à l'armature, un bras (6), terminé par un ressort plat (7) transmet son mouvement de va-et-vient à une ancre dont chacun des deux bras pousse alternativement, par l'intermédiaire d'une goupille, les dents de la roue d'échappement (5). Le ressort

fonctionnant comme accumulateur de force vive, a pour but de permettre que le renversement brusque de l'armature soit suivi, plus lentement, par la rotation de la roue d'échappement et de la grande aiguille calée sur son axe.

Les horloges secondaires, jusqu'à un diamètre de 1 mètre, sont toutes équipées avec des mouvements de ce type exécutés en trois grandeurs étagées. Ce même mouvement est également utilisé pour l'équipement des compteurs battant la seconde et pour celui des horloges secondaires pilotées par la centrale marine.

Lors de la description des horloges mères à inducteur, nous avons constaté que leur capacité s'exprime en « unités de mouvements secondaires » ; il faut entendre, par cette unité, le nombre de mouvements secondaires du petit modèle que l'on peut intercaler dans le circuit. En conséquence, les mouvements de plus grande dimension compteront pour 4 ou pour 10 unités.

### **Mouvements de la S. A. Siemens Halske, à Berlin**

Les mouvements à armature polarisée oscillante, plus ou moins dérivés de celui de Hipp, furent utilisés par divers constructeurs allemands tels que Siemens Halske, Heliowattwerke (anciennement Société d'électricité Aron), etc. Le mouvement Siemens Halske est le seul qui soit encore construit actuellement, il est toutefois réservé à l'entraînement des aiguilles de cadrans de 40 à 150 cm. de diamètre. La fig. 260 en donne la représentation schématique : l'armature oscillante, polarisée par un aimant permanent, est munie, comme celle de Hipp, de deux bras à courbures excentrées produisant l'asymétrie des deux entrefers ; la transformation du mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire est accomplie par deux cliquets agissant sur une roue à rochet et jouant alternativement le rôle de cliquet d'impulsion et de cliquet de retenue.

### **Mouvements à armature polarisée rotative**

Dans le but de simplifier la construction du mouvement à impulsions de courant non inversées, plusieurs constructeurs cherchèrent à éviter l'emploi de l'échappement et donnèrent à l'armature un mouvement de rotation, ce furent par exemple Blondeau, Arzberger, Spellier. Mais aucun de ces mécanismes ne résistèrent à l'épreuve de la pratique car, si le dispositif de l'échappement avait été supprimé, il avait par contre été remplacé par des organes auxiliaires encore plus compliqués afin de provoquer mécaniquement le second déplacement angulaire de l'armature, le premier résultant de l'action de l'impulsion de courant motrice.

Le succès de l'armature polarisée oscillante ou basculante encouragea dès lors les constructeurs à chercher une solution identique mais en remplaçant l'action des organes auxiliaires dont nous venons de parler par une action électromagnétique. D'après Albert Favarger, le mouvement Thomas (que nous décrirons à la page 325), paraît être l'un des plus anciens mécanismes à armature polarisée rotative ; on attribue toutefois plus volontiers à l'horloger Grau, la paternité de cette invention. La plupart des mouvements secondaires de construction européenne dérivent plus ou moins directement de ces deux modèles.

#### Mouvements secondaires de la S.A. C.-Th. Wagner, à Wiesbaden (Allemagne)

Cette maison, avec laquelle l'horloger Grau collabora, a construit sur la base du mouvement établi par Grau en 1880, un mouvement à double armature polarisée rotative que la fig. 261 représente schématiquement.

Entre les pièces polaires (1) et (2) de l'électro-aimant en fer à cheval (3) est logée une armature en deux pièces (4) et (5) fixées sur un arbre commun. Chacune de ces deux parties est découpée en forme de Z, avec courbure excentrée, rappelant la deuxième armature de Hipp ; ces deux demi-armatures, décalées de  $180^\circ$  l'une par rapport à l'autre, sont soumises à l'influence

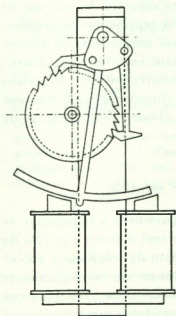


Fig. 260. Mouvement secondaire à armature oscillante polarisée Siemens-Halske.

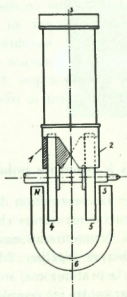
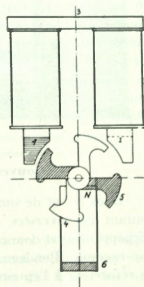


Fig. 261. Mouvement secondaire Wagner.  
1 et 2) Pièces polaires de l'électro-aimant 3, 4 et 5)  
Demi-armatures. 6) Aimant de polarisation.



d'un aimant permanent en fer à cheval (6), de telle sorte que l'une soit polarisée Nord et l'autre Sud. Les lignes de force suivent donc le chemin : pôle N — demi-armature (4) — pièce polaire (1) — circuit magnétique de l'électro-aimant (3) — demi-armature (5) — pôle S.

Par suite des entrefers dissymétriques, les armatures sont maintenues magnétiquement dans la position indiquée par le dessin ; si une impulsion de courant traverse les enroulements de l'électro-aimant, de telle sorte que la pièce polaire (1) soit magnétisée Nord et la pièce (2) Sud, l'aile de la demi-armature (4) sera repoussée par la pièce polaire (1), mais attirée par la pièce polaire (2) ; simultanément, l'aile de la demi-armature (5) sera repoussée par (2), mais attirée par (1). L'axe portant les deux demi-armatures effectuera ainsi une rotation de  $90^0$  ; les fonctions inverses se répéteront lors de la réception de l'impulsion de courant suivante dont la polarité est inversée.

Pour éviter un emballement de l'armature, un encliquetage de sûreté agit à la manière d'une ancre sur deux paires de goupilles plantées chacune sur une des demi-armatures. Lorsque le diamètre du cadran n'excède pas une certaine dimension et que la durée de l'impulsion est supérieure à la constante de temps du mouvement, l'encliquetage de sûreté peut être supprimé, car le flux magnétique de l'aimant est suffisamment intense pour que les demi-armatures soient maintenues dans la position correcte de repos.

Thiesen donne les indications intéressantes suivantes : « Les mouvements récepteurs sont fabriqués en neuf dimensions étagées de telle sorte que le couple moteur soit très grand pour chaque diamètre de cadran ; ces couples débutent avec 30 gr/cm. pour des cadrans de 7 à 18 cm. de diamètre et aboutissent à 6200 gr/cm. pour les cadrans de 3 m. de diamètre ; la tension de démarrage est d'environ 23 à 35 % de la tension normale de service. »

### Mouvements de la Fabrique d'horloges électriques W. Moser-Baer, à Sumiswald

La Maison W. Moser-Baer a établi quatre modèles de mouvements récepteurs destinés aux emplois suivants :

Mouvement No 0, pour cadrans de 25 à 40 cm. de diamètre

Mouvement No 1, pour cadrans de 50 à 80 cm. de diamètre

Mouvement No 2, pour cadrans de 80 à 100 cm. de diamètre

Mouvement No 3, pour cadrans de 100 à 150 cm. de diamètre

Le mouvement No 0, dont l'armature rotative est constituée par un aimant permanent, est décrite à la page 327 ; les mouvements Nos 1, 2 et 3 dérivent par contre du mouvement à armature en deux pièces Wagner que nous venons de décrire ; leurs caractéristiques sont les suivantes :



*Mouvement No 1.* Aimant permanent en acier au cobalt fondu 15 % ; armature rotative en deux pièces, chacune étant constituée par un double T dont la partie extérieure est pourvue d'une courbure excentrée ; électro-aimant à noyaux cylindriques et pièces polaires formant un logement cylindrique pour l'armature ; cliquet de retenue constitué pour les mouvements normaux par une fourchette agissant sur 4 goupilles plantées sur la joue d'une des demi-armatures et pour les mouvements silencieux par un secteur à courbure excentrique semblable à celui que nous décrirons lors de l'étude du mouvement No 0.

Les enroulements de l'électro-aimant sont constitués par des bobines dont les résistances sont respectivement 250 et 2000 ohms. Ces bobines sont couplées soit en série, soit en parallèle de telle sorte que l'on obtienne pour les tensions normalisées les résistances suivantes :

6 volts :	$2 \times 250$ ohms en parallèle	= 125 ohms
12 volts :	$2 \times 2000$ ohms en parallèle	= 1000 ohms
24 volts :	$2 \times 2000$ ohms en série	= 4000 ohms

Ce mouvement est aussi utilisé pour l'équipement des compteurs électro-chronométriques battant la seconde, il est alors muni de l'arrêtage à secteur.

*Mouvements Nos 2 et 3.* Ces mouvements sont identiques au No 1 ; toutefois, leur électro-aimant a été agrandi et leur rouage renforcé afin de leur permettre de développer un couple moteur plus élevé.

### Mouvements de la S. A. Favag à Neuchâtel

Vers l'année 1900, l'ingénieur Albert Favarger, chef de la Maison Favarger & Cie, prédécesseurs de la S. A. Favag, désireux de simplifier le plus possible le mécanisme du mouvement ré-

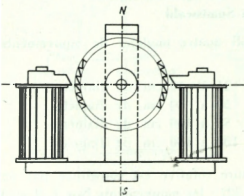


Fig. 262. *Mouvement secondaire à armature rotative de Favarger.*

cepteur, eut l'idée de construire l'armature rotative en une seule pièce et de la polariser selon le principe du mouvement de Hipp. Le dispositif qu'il créa au début, tel que le représente la fig. 262, donna un excellent résultat pour la conduite d'aiguilles légères, de petites dimensions, mais dut être modifié pour le rendre apte à commander les aiguilles plus lourdes des cadrans de dimensions habituelles.

Le mouvement construit actuellement par Favag S. A. est exécuté en

trois dimensions suffisant pour l'équipement de cadrans compris entre 20 et 150 cm. ; son principe est illustré par la fig. 263 dans laquelle :

(1) est un électro-aimant en fer à cheval dont les pièces polaires (2) et (3) ont la forme de demi-cylindres,

(4) est une armature rotative en fer doux dont la périphérie est pourvue de cinq dents (5-5'-5''-etc.) séparées les unes des autres par un intervalle égal à la largeur d'une dent. Chaque dent est limitée à sa périphérie par une courbure excentrée qui assure l'asymétrie des entrefers et par conséquent la création du couple moteur magnétique,

(6) est un aimant permanent, dont l'un des pôles magnétise l'armature et l'autre, en pôle fourchu, les deux pièces polaires (2) et (3).

Lorsque aucun courant ne circule dans les enroulements de l'électro-aimant (1), l'armature est au repos dans la position indiquée par la fig. 263, elle y est maintenue magnétiquement par l'attraction prépondérante de la pièce polaire (2), par exemple, due à la différence de grandeur des entrefers.

Si une impulsion de courant de sens convenable parcourt les enroulements de l'électro-aimant, le circuit magnétique de ce dernier deviendra, indépendamment de l'influence de l'aimant permanent, un fort aimant temporaire et ses deux pôles seront magnétisés l'un Nord et l'autre Sud. La pièce polaire, de même polarité que l'extrémité de la dent placée devant elle, repoussera cette dernière, tandis que la pièce polaire de polarité contraire tendra à attirer l'extrémité de la dent qui se trouve placée devant elle. Ces deux actions concordantes s'ajouteront pour faire tourner l'armature d'une dent dans la direction de la flèche ; le couple moteur est tangentiel tant que dure le déplacement, il devient radial dès que l'origine d'une dent et l'extrémité de l'autre sont de nouveau placées, en position inversée, devant les pièces polaires.

Lors de l'émission de l'impulsion de courant de sens inverse suivante, le

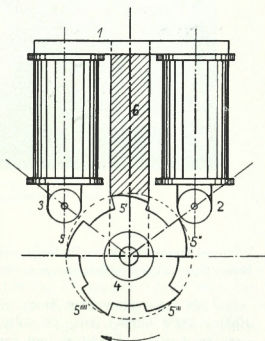


Fig. 263. Mouvement secondaire à armature polarisée de Favarger, construction Favag S.A.

1) Electro-aimant et ses pièces polaires 2 et 3. 4) Armature rotative à cinq dents 5, 5', 5'' etc.

phénomène identique, mais de polarité inverse, se reproduit et l'arm effectue une nouvelle rotation d'un dixième de tour.

L'arrêt de l'armature est, comme on le constate, de nature magnétique les aimants modernes au cobalt ou bien à l'aluminium-nickel assurent un presque sans vibration de l'aiguille des minutes, du moins pour les cadrans dont le diamètre ne dépasse pas 30 cm. ; pour des dimensions supérieures l'emploi d'un encliquetage de sûreté est indiqué afin d'éviter une trop grande oscillation de l'aiguille due à son inertie.

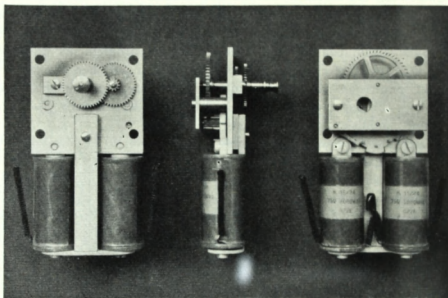


Fig. 264. Mouvement secondaire Favag, modèle I.

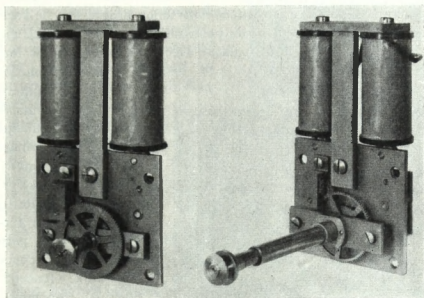
Les trois modèles de mouvements reproduits par les fig. 264, 265 et 266 répondent aux exigences suivantes :

*Type I.* Couple moteur 31 g/c. — Résistance du bobinage : pour 12 volts, 1000 à 2000 ohms ; pour 24 volts, 3500 à 5000 ohms — utilisable pour cadrans dont les diamètres sont compris entre 15 et 45 cm. — l'armature à 5 dents est fixée sur un axe dont le pivot antérieur appuie contre un coussinet en agate ; le rouage, pris entre deux platines en laiton dur, abouit sur l'axe des aiguilles.

*Type II.* Couple moteur 110 g/c. — Mêmes résistances que pour le type I — utilisable pour cadrans dont les diamètres sont compris entre

100 cm. Les horloges sont destinées au montage intérieur avec ou sans verre de protection sur les aiguilles. L'armature et le rouage sont semblables à ceux du type I, mais leurs dimensions sont proportionnées au couple moteur développé.

La fig. 265 montre les deux exécutions normales de ce mouvement, l'une destinée aux cadrans habituels, l'autre aux cadrans translucides des horloges éclairées ; l'axe des aiguilles est suffisamment long pour que les lampes d'éclairage ne projettent pas l'ombre du mouvement sur le cadran.



*Fig. 265. Les deux exécutions du mouvement secondaire type II, système Favag S. A.*

*Type III.* Couple moteur 1500 g/c. ; résistance des enroulements pour 12 volts, 110 ohms ; pour 24 volts, 300 ohms — utilisable pour cadrans dont les diamètres sont compris entre 100 et 150 cm. L'armature à trois dents est horizontale et transmet son mouvement de rotation au rouage par un engrenage conique. L'encliquetage de sûreté des mouvements destinés à être montés à l'intérieur d'un bâtiment est semblable à celui des types I et II. Par contre, les mouvements équipant les horloges placées en plein air sont munis d'un verrouillage électromagnétique représenté par la fig. 266 ; l'impulsion de courant motrice parcourt également le bobinage d'un petit électro-aimant, ce qui a pour effet de soulever, durant son émission, un levier libérant l'armature et lui permettant d'effectuer son mouvement de rotation.

Comme le montre la fig. 266, la partie mécanique du mouvement est séparée de la partie électrique de telle sorte que la construction du mouvement peut facilement être adaptée aux conditions posées par l'installation de l'horloge.

#### Mouvement secondaire de la Fabrique des Montres Zénith, an Locle

La fig. 267 représente le mouvement secondaire construit par la Fabrique bien connue du Locle ; il est caractérisé par l'emploi d'une armature rotative en une seule pièce, formée en Z, dont les ailes sont fraisées selon deux arcs de cercle excentrés par rapport à l'axe. L'électro-aimant à longues bobines est muni de pièces polaires permettant l'attraction progressive de l'armature ; l'une des extrémités de l'aimant de polarisation, en forme de U, est placée en regard de l'armature, l'autre polarise l'électro-aimant en pôle fourchu.

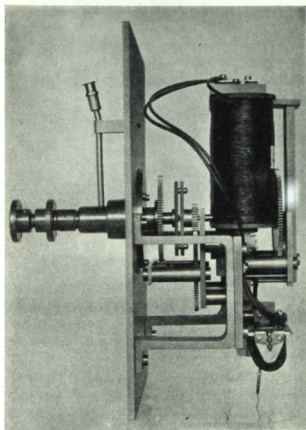


Fig. 266. Mouvement secondaire Favag, type III muni d'un électro-aimant de verrouillage des aiguilles.

Le mouvement de rotation de l'armature, quatre déplacements de  $90^\circ$  chacun pour un tour, est transmis à la minuterie des aiguilles par une vis sans fin à un filet ; si cette transmission évite le cliquet de retenue, elle a pour inconvénient de porter l'épaisseur du mouvement à 45 mm. (encombrement  $80 \times 70 \times 45$  mm.).

Lorsque ce mouvement est utilisé avec les horloges mères normales de Zénith (horloges alimentées directement par le réseau) la tension normale de service est de 48 volts ; la résistance totale de l'électro est de 7600 ohms ( $2 \times 23\,500$  tours fil cuivre émaillé 0,08 mm.). Le couple moteur normal est de 30 g/c. et peut être élevé à 40 ou 45 g/c. en modifiant les valeurs du bobinage.

### Mouvement secondaire Siemens-Halske, à Berlin

Le mouvement secondaire, construit par Siemens-Halske, présente une très grande analogie avec celui que nous venons d'étudier : armature polarisée en forme de Z, transmission du mouvement de rotation par une vis sans fin. Diffère toutefois quelque peu la polarisation de l'armature, l'extrémité de l'aimant étant placée en regard de la vis sans fin ; si l'on évite ainsi l'attraction de l'armature par l'aimant, on diminue certainement la valeur du flux magnétique dans l'armature. A ce mouvement a été substitué, peu avant la guerre, un mécanisme dans lequel l'armature est constituée par un aimant permanent.

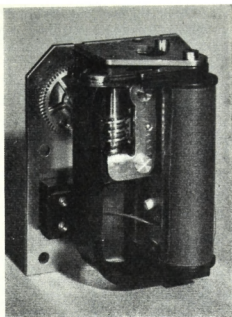


Fig. 267. Mouvement secondaire  
Zénith.

### Mouvements secondaires de « Elektrozeit » et « Telephonbau und Normalzeit » à Francfort s. Main

Ces deux sociétés utilisent pour les réseaux horaires qu'elles construisent trois mêmes types de mouvements, construits en différentes grandeurs.

*Mouvements à armature polarisée simple.* Ce mouvement, un des plus simples qu'il soit possible de construire, comporte une armature simple à deux ailes, tournant entre les pièces polaires de l'électro-aimant, fraisées de manière convenable ; l'une des extrémités de l'aimant polarise l'armature, l'autre, les deux pièces polaires de l'électro-aimant. Le circuit magnétique de l'électro-aimant est constitué par un empilage de tôles de fer doux découpées à la presse ; l'armature, également découpée, est munie de deux évidements afin de diminuer son poids. Le rouage, logé entre deux platines, est réduit au pignon d'armature engrenant avec une roue calée sur l'axe des minutes et à l'engrenage de minuterie actionnant l'aiguille des heures ; une fourchette de verrouillage assure le blocage de l'aiguille des minutes contre les déplacements intempestifs.

Ce mouvement est construit en deux dimensions, l'une pour cadrans de 20 à 30 cm. de diamètre, l'autre pour ceux de 40 à 50 cm.

*Mouvements à armatures polarisées jumelles.* Ce mouvement, construit en quatre grandeurs, est d'une construction quasi identique à celle des mouvements construits par la Maison Wagner ; nous ne nous y arrêtons donc pas.

*Mouvements à fonctionnement silencieux.* Le fonctionnement des mouvements secondaires, qu'ils soient à armature oscillante ou à armature rotative, est rarement silencieux ; à chaque saut de l'aiguille on perçoit le cliquetis plus ou moins sonore de l'échappement ou du cliquet de retenue. Si ce bruit ne présente aucun inconvénient dans la majorité des cas, il peut par contre être fort gênant lorsque l'horloge est installée dans une chambre à coucher ou dans un local où le silence est de rigueur, tel qu'un studio de radio-diffusion.

On a cherché par bien des méthodes à remédier à ce défaut : isolation phonique, suppression du cliquet de retenue des mouvements à armature rotative, etc.

« Elektrozeit » et « Telefonbau und Normalzeit » ont modifié la construction de leurs mouvements et ont produit deux réalisations intéressantes.

Dans la première, utilisée pour les horloges à minute, la marche silencieuse est obtenue par le remplacement des engrenages plats par une vis sans fin, à chaque extrémité de laquelle est fixée une demi-armature rotative légère à courbure excentrée, dont la forme rappelle celle du mouvement décrit à la page 316. Ces deux demi-armatures sont décalées de  $180^\circ$  l'une par rapport à l'autre et sont polarisées l'une S. et l'autre N. par une combinaison d'aimants permanents ; leur mouvement est, de plus, stabilisé par une dérivation magnétique prise sur le circuit magnétique de l'électro-aimant.

La deuxième construction, utilisée pour les horloges à minute et pour les compteurs battant la seconde, est représentée schématiquement par la fig. 268. L'armature oscillante (1), polarisée par un aimant permanent (2), porte à chacune de ses extrémités un cliquet (3 et 3') s'engageant dans la denture d'une roue à rochet (4). En son milieu est fixée une tige verticale (5) dont l'extrémité supérieure déplace alternativement vers la gauche

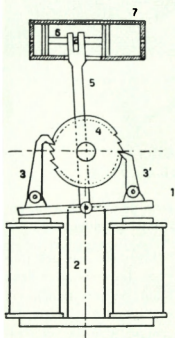
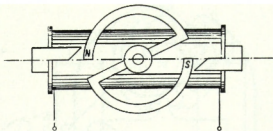


Fig. 268. Mouvement secondaire à marche silencieuse de «Telephonbau und Normalzeit».

1) Armature oscillante. 2) Aimant de polarisation. 3 et 3') Cliquets d'impulsion. 4) Roue à rochet. 5) Tige fixée à l'armature déplaçant le piston 6. 7) Cylindre.



et vers la droite un léger piston double (6) glissant dans un cylindre (7) fermé à ses deux bouts. La légère compression des matelas d'air enfermés entre les pistons et les couvercles du cylindre amortit suffisamment le choc résultant du déplacement de l'armature pour que le fonctionnement du mouvement soit tout à fait silencieux.



*Fig. 269. Mouvement secondaire de Thomas.*

### Mouvements à armature rotative constituée par un aimant

Afin de simplifier la construction du mouvement à armature polarisée rotative, la première pensée qui vient à l'esprit est de supprimer l'aimant de polarisation et de constituer l'armature elle-même par un aimant permanent de forme appropriée. Le mouvement imaginé par Thomas, cité par Merling en 1884, puis par Alb. Favarger, comporte, comme le montre la fig. schématique 269 une armature constituée par un aimant permanent en forme de S, tournant entre les deux pièces polaires d'un électro-aimant. Ces pièces polaires sont disposées de manière à réagir, l'une par attraction l'autre par répulsion, sur les deux branches de l'armature dont la rotation est transmise au rouage par une vis sans fin ; ce mouvement ne comporte pas de cliquet de retenue, l'action combinée de la vis sans fin et de l'aimant suffisant pour prévenir un emballement.

Mais il ne faut pas oublier qu'à l'époque de la construction de ce mécanisme, les aimants étaient encore fabriqués en acier au carbone dont la force coercitive et la rémanence étaient très faibles ; il était donc inévitable qu'au bout de quelques années ou même de quelques mois le fonctionnement du mouvement devint irrégulier de telle sorte que cette construction dut être abandonnée au profit des armatures polarisées.

Mais actuellement, comme nous l'avons vu au chapitre II, le métal des aimants possède des qualités magnétiques réellement extraordinaires ; il était donc logique que les constructeurs modernes aient repris l'application de ce principe fort intéressant.

### Mouvement des « Heliowatt Werke » de Berlin

Ce mouvement a remplacé peu avant 1939 le mouvement à armature oscillante construit jusqu'alors ; son principe est représenté schématiquement par la fig. 270. L'armature pivotante est constituée par un petit barreau d'aimant fer-aluminium-nickel dont les extrémités sont meulées en arcs de cercle ; le circuit

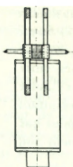
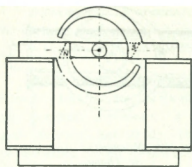


Fig. 270. Mouvement secondaire Heliowattwerke A.G.

magnétique de l'électro-aimant est formé par des tôles de fer découpées, ses deux pièces polaires sont construites de manière à former pour l'armature un chemin d'attraction progressive ; dans ce but, chacune des pièces polaires est prolongée en forme de corne jusqu'à la pièce polaire opposée, laissant entre elles l'espace circulaire permet-

tant la rotation de l'armature. Un cliquet de retenue, constitué par une fourchette, agit sur deux goupilles plantées dans l'une des joues de l'armature.

D'après les indications de Thiesen, la S. A. Junghans frères, à Schramberg (Forêt Noire) a construit, elle aussi, un mouvement dont l'armature, en forme de disque, est constituée par un aimant permanent.

#### Mouvement Siemens-Halske (Berlin)

Ce mouvement, dont la fabrication débuta en 1939, dérive en principe du mouvement Wagner à deux demi-armatures polarisées décrit à la page 316. Mais, comme le montre la fig. schématique 271 les deux demi-armatures (1) et (2), au lieu d'être polarisées l'une N et l'autre S par un aimant permanent fixe, le sont par un aimant aluminium-nickel de très petites dimensions (3) pris entre les deux demi-armatures et tournant avec elles.

Chaque demi-armature, comportant 6 dents, est décalée d'une demi-dent ( $30^\circ$ ) l'une par rapport à l'autre ; chaque dent est, comme le montre la figure, divisée en deux demi-dents de largeurs inégales, séparées par une entaille. Le profil de la périphérie de la demi-dent large est circulaire, centré sur l'axe de l'armature, tandis que celui de la demi-dent étroite est rectiligne, faisant un angle de  $20^\circ$  avec la tangente.

L'électro-aimant (4) à une seule bobine est pourvu de deux pièces polaires, constituées l'une et l'autre par deux flasques (5 et 7) et (6 et 8) munies chacune de 3 pôles saillants.

Tant que l'électro-aimant (4) n'est pas excité, les lignes de force engendrées par l'aimant permanent de l'armature suivent le chemin : Pôle S de l'aimant permanent (3) - demi-armature (1) - flasques polaires opposées (5 et 7) - noyau de l'électro-aimant - flasques (6 et 8) - demi-armature (2) - pôle N de l'aimant permanent (3).

Par suite des entrefers dissymétriques produits par les dents larges et les dents étroites, les armatures sont maintenues magnétiquement dans la position que le dessin indique ; mais si l'électro-aimant est excité de telle sorte que les flasques polaires (5 et 7) soient aimantées nord et les flasques (6 et 8) sud, les dents larges de l'armature (1) et celles de l'armature (2) seront repoussées respectivement par les saillants des flasques (5 et 8), tandis que les dents étroites seront attirées par ceux des autres flasques (6 et 7). L'armature complète effectuera une rotation de  $30^{\circ}$  soit un douzième de tour ; les fonctions inverses se répéteront lors de la réception de l'impulsion de courant suivante dont la polarité est inversée.

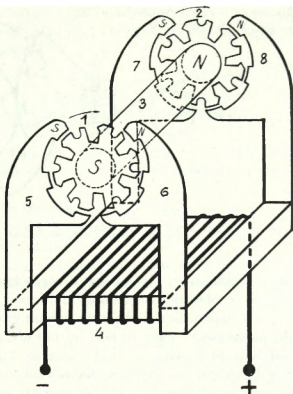


Fig. 271. Mouvement secondaire Siemens-Halske.  
1 et 2) Armatures en fer doux solidaires de l'aimant permanent 3. 4) Enroulement de l'électro-aimant.  
5 et 7) Flasques Sud. 6 et 8) Flasques Nord.

La transmission de la rotation de l'armature se fait par l'intermédiaire d'un train d'engrenages ordinaires ; ce mouvement secondaire n'a pas été muni d'un cliquet de retenue, l'attraction magnétique étant plus que suffisante pour éviter un emballement ou un déplacement intempestif de l'aiguille des minutes ; néanmoins, la vibration de cette aiguille après chaque saut est assez forte, mais heureusement de courte durée.

Pour une tension de 24 volts, la résistance du bobinage est de 5600 ohms, la consommation de courant est donc de 4,3 milliampères ; le couple moteur disponible à l'axe des minutes est d'environ 47 cm/g.

#### Mouvement secondaire de la Fabrique d'Horloges électriques W. Moser-Baer, à Sumiswald

Ce mouvement de construction récente est caractérisé par le fait que l'armature en acier au cobalt 15 % est formée d'une seule pièce et qu'elle comporte quatre pôles de signes alternés obtenus par un ingénieux dispositif

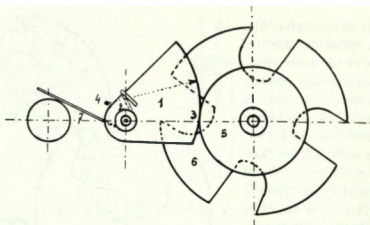


Fig. 272. Cliquet de retenue du mouvement secondaire système U. Moser-Baer.

de magnétisation. Ces quatre dents polaires sont pourvues d'une courbure excentrée, obtenue par meulage de l'acier.

La construction de l'électro-aimant vise à la réduction du prix de revient du mouvement ; dans ce but, les noyaux sont découpés dans du fer plat ce qui évite le fraisage ou le meulage du logement cylindrique de l'armature. Sur la culasse de jonction des noyaux, deux serre-fils, placés sur un bloc isolant, permettent le couplage en série ou en parallèle des bobines et leur jonction à la ligne d'alimentation ; les bobines, de section elliptique, sont enfilées sur les noyaux.

Le cliquet de retenue diffère de ceux que nous avons étudiés jusqu'à maintenant en ce sens que son action se traduit par un freinage de la rotation de l'armature et non plus par un arrêt brusque. La fig. schématique 272 représente l'action de cet organe, constitué par un secteur métallique (1), pivotant en (2) tandis que la courbure de la périphérie (3) est centrée au point (4) ; ce secteur est pressé légèrement contre un disque (5), solidaire de l'armature (6) par un petit ressort (7). On se rend facilement compte que le mouvement d'avancement normal de l'armature est très légèrement freiné, tandis que son mouvement de recul est empêché par le coincement du secteur contre le disque ; on obtient ainsi un amortissement efficace et parfaitement silencieux de la vibration de l'aiguille des minutes ou des secondes s'il s'agit d'un compteur électrochronométrique.

Le seul reproche que l'on puisse faire à cet ingénieux dispositif est la tendance probable à l'usure d'un point défini du secteur et la possibilité d'un freinage parasite dû à l'accumulation de la poussière.

Le rouage du mouvement est particulièrement bien exécuté, les pivots et les ailes des pignons sont trempés et polis, la denture des roues, en laiton dur, est fraisée puis polie avant le nickelage.

Les enroulements de l'électro-aimant sont constitués par des bobines de 500 et de 2000 ohms que l'on couple en série ou en parallèle de façon à obtenir les résistances normales suivantes :

6 volts	$2 \times 500$ ohms	en parallèle	= 250 ohms
12 volts	$2 \times 2000$ ohms	en parallèle	= 1000 ohms
24 volts	$2 \times 2000$ ohms	en série	= 4000 ohms

Pour les tensions supérieures, 48 et 60 volts, la résistance de 4000 ohms est conservée, on se contente de placer en série avec le mouvement une résistance additionnelle convenable.

Le couple moteur obtenu est de 30 gr/cm. pour la tension normale ; à la demi-tension, le mouvement peut encore entraîner une paire d'aiguilles, sans toutefois conserver un couple supplémentaire.

Ce mouvement, muni d'un rouage adéquat, est utilisé avec succès pour l'équipement de compteurs électrochronométriques battant la seconde à fonctionnement silencieux.

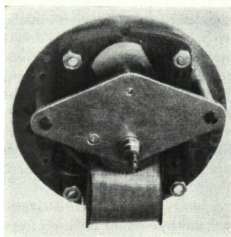


Fig. 273. Mouvement secondaire des Et. Henry-Lepaute.

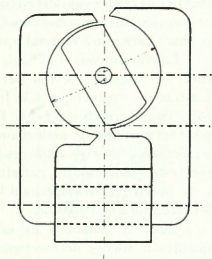


Fig. 274. Principe du mouvement des Et. Henry-Lepaute.

### Mouvement des Etablissements Henry-Lepaute, à Paris

Ce mouvement de construction toute récente (fig. 273) remplacera le mécanisme à induit bobiné, semblable à celui qui sera décrit au paragraphe suivant et qui équipait jusqu'à maintenant les horloges secondaires des Etablissements Henry-Lepaute. La comparaison entre ces deux mouvements est très suggestive

et montre le progrès qui peut être réalisé par l'adoption de l'armature rotative constituée par un aimant permanent en alliage moderne ; en effet, le couple moteur développé par l'ancien mouvement (modèle 1924) est de 50 cm/g. pour une puissance de 38 mW tandis que pour la même puissance il atteint 165 cm/g. pour le nouveau mouvement.

La fig. 274 reproduit schématiquement la disposition très judicieuse de ce mouvement : l'armature en acier magnétique aluminium-nickel a une section rectangulaire et ses faces extrêmes limitant l'entrefer sont de forme cylindrique. Les deux pièces polaires sont lamellées en tôle de fer doux ; de formes identiques, elles sont imbriquées dans l'intérieur de la bobine excitatrice de façon à former un noyau magnétique sans entrefer nuisible. Pour provoquer la rotation de l'armature, le constructeur a utilisé un moyen aussi simple qu'élégant en décalant légèrement les deux pièces polaires l'une par rapport à l'autre et en créant ainsi une dissymétrie variable entre les deux entrefers.

Tant que le courant n'excite pas l'électro-aimant, l'armature tend à se placer dans une position bien déterminée qui correspond à l'entrefer minimum ; dès que le courant circule, l'armature tourne d'un demi-tour et occupe la position inverse. A l'émission de l'impulsion de courant suivante (sens inversé) l'armature reprend après un deuxième demi-tour sa position initiale.

La transmission du couple moteur, développé par la rotation de l'armature, aux aiguilles se fait par l'intermédiaire de simples engrenages droits. L'attraction magnétique à la fin de la course de l'armature est suffisamment forte pour permettre d'éviter l'emploi d'un encliquetage de sûreté, du moins pour les horloges de petit diamètre, car la vibration de l'aiguille des minutes ou des secondes reste dans des limites tout à fait acceptables. Pour les mouvements de grand modèle, entraînant des aiguilles lourdes, un cliquet de retenue a été prévu qui, en empêchant le mouvement rétrograde arrête immédiatement les vibrations de l'aiguille.

Outre la simplicité de sa fabrication, ce mouvement a encore comme qualités le silence de fonctionnement, son volume très réduit et le centrage de son axe par rapport à la platine de base.

### Mouvements secondaires à induit bobiné

La construction du mouvement à armature polarisée oscillante peut être inversée : l'armature ou induit est bobiné tandis que l'inducteur est constitué par le circuit magnétique de l'aimant permanent.

Cette disposition a été adoptée par certains constructeurs français, en particulier par les Maisons Léon Hatot et Brillié frères.



La fig. 275 représente le principe constructif de ce mouvement ; l'induit oscillant à noyau de fer doux bobiné est placé entre les branches d'un fort aimant permanent en fer à cheval. Suivant le sens du courant envoyé dans l'enroulement, l'induit se déplace dans un sens ou dans l'autre par suite des attractions s'exerçant entre les pôles de noms contraires et des répulsions entre pôles de mêmes noms. Après interruption de l'impulsion de courant, l'induit est maintenu en place par l'attraction magnétique exercée par l'aimant permanent. En inversant la polarité de l'impulsion suivante, l'induit tourne dans l'autre sens et vient occuper la position opposée.

Les pièces polaires de l'inducteur sont appliquées contre les branches de l'aimant et leur forme a été étudiée pour obtenir une très grande sensibilité et un rendement électrique élevé.

La transmission du mouvement alternatif de l'induit se fait, comme le montre la fig. 275, par un encliquetage commandé par une goupille fixée à l'induit ; les deux cliquets font progresser une roue à rochet de 60 dents à raison de  $\frac{1}{120}$  de tour toutes les demi-minutes ; cette roue est solidaire de la grande aiguille et commande la petite par une minuterie.

Dans les mouvements qui équipent les cadrans de petit diamètre, la roue à rochet est attaquée par une ancre solidaire de l'induit oscillant.

Les mouvements « Ato » sont intercalés en série sur le circuit commandé par l'horloge mère ; l'intensité constante qui passe dans les fils de ligne est comprise entre 60 et 150 milliampères. La connexion entre l'horloge secondaire et le circuit d'alimentation se fait au moyen d'une rosace contenant une résistance filiforme, non inductive, placée en parallèle avec le bobinage du mouvement ; grâce à cette précaution, on peut enlever l'horloge du circuit sans interrompre la marche des autres réceptrices et on absorbe le courant de self-induction. Cette résistance absorbe environ  $\frac{1}{3}$  de l'intensité qui passe dans la ligne ; sa valeur est choisie d'après la dimension du mouvement : 11 ohms pour les petits et 18 ohms pour les grands.

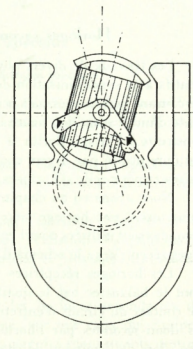


Fig. 275. Mouvement secondaire « Ato » à armature bobinée.



Ce même type de mouvement est utilisé pour l'équipement des horloges de grand diamètre, ses dimensions sont proportionnées au poids des aiguilles et aux efforts anormaux qu'elles peuvent avoir à subir (vent, neige, etc.) ; un verrouillage immobilise les aiguilles entre les impulsions de courant.

#### **Horloges secondaires « Brillié » des Ateliers Brillié frères, à Paris**

Le principe constructif des mouvements de ces horloges est semblable à celui des mouvements « Ato » ; leur construction n'en diffère que par des points de détail. Leur branchement se fait en série, le courant de ligne est limité pour les réseaux normaux à 60 milliampères.

Les horloges d'édifice sont équipées avec des mouvements du même type, mais en plus grandes dimensions.

Un mouvement secondaire, construit par « *A. E. G.* » de Berlin procède d'un principe constructif qui présente une certaine analogie avec celui que nous venons d'étudier. L'induit est constitué par deux bobines plates, sans noyaux de fer, maintenues l'une à côté de l'autre par une pièce isolante munie en son milieu d'un axe pivoté ; cet induit oscille, selon la polarité du courant, entre les deux pôles d'un fort aimant permanent et son mouvement est transmis au rouage par un échappement à ancre et une roue à rochet.

#### **Horloges secondaires à balancier synchronisé**

Les travaux de divers physiciens, Foucault, Breguet, Cornu, entre autres, relatifs à la synchronisation de l'oscillation d'un balancier par des impulsions de courant périodiques, ont permis l'établissement d'une méthode fort intéressante d'unification de l'heure d'après laquelle plusieurs réseaux horaires furent construits à Paris, à Berlin, à Londres, etc. A l'heure actuelle, ce principe est toujours utilisé par divers constructeurs pour la commande d'horloges secondaires et pour celle d'horloges relais.

Nous avons vu au chapitre X que les Etablissements Léon Hatot à Paris construisent une horloge mère dont les émissions de courant toutes les demi-secondes sont utilisées pour l'entretien et la synchronisation des balanciers d'horloges réceptrices ; le schéma d'un réseau de ce genre est donné par la fig. 276.

Les horloges réceptrices sont identiques en tous points aux pendulettes dont le balancier bat le quart de la seconde (voir chapitre VII, page 164). Le contact du circuit d'entretien est supprimé et les impulsions émises toutes les demi-secondes par l'horloge mère sont reçues par le solénoïde d'entretien ; lors de l'émission de chaque impulsion de courant, les aimants de toutes les horloges réceptrices reçoivent simultanément les impulsions motrices de sorte que tous les balanciers battent en parfait synchronisme.

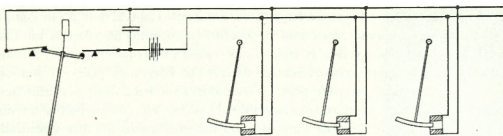


Fig. 276. Système de distribution de l'heure par horloges à balanciers synchronisés.

Le rendement électrique est élevé, l'entretien des oscillations n'exigeant qu'une puissance extrêmement faible ; l'entraînement des aiguilles se fait d'une façon continue et sans choc appréciable. Les balanciers synchronisés n'étant sensibles qu'à une émission d'impulsions de période très voisine de leur durée propre d'oscillation, il ne peut se produire de ratés ou d'avances anormales par suite de courants induits dans la ligne.

Il faut toutefois noter que ce genre de mouvement n'est pas applicable dans tous les cas ; on évitera de l'utiliser par exemple pour des horloges de grand diamètre et pour celles qui sont installées en plein air ou encore pour des horloges exposées à de fortes trépidations ou à des oscillations (horloges suspendues à de longs tubes ou à des chaînes).

## Mouvements secondaires spéciaux

### Mouvements secondaires pour horloges marines

L'étude des horloges mères et des centrales marines, que nous avons faite au chapitre précédent, nous a montré que la remise à l'heure des horloges secondaires peut s'effectuer de deux manières :

- a) L'avance des aiguilles est provoquée par l'émission d'impulsions de courant supplémentaires ; le retard, par l'arrêt momentané de l'émission des impulsions normales.
- b) L'avance des aiguilles est provoquée par l'émission d'impulsions de courant supplémentaires ; le retard, par l'émission d'impulsions de courant reçues par un électro-aimant spécial et provoquant la marche rétrograde des aiguilles.

De ce fait, les mouvements qui équipent les horloges secondaires des réseaux de la classe *a* sont exactement du même type que ceux qui équipent les réseaux terrestres normaux, tandis que le rouage des mouvements destinés aux horloges de la classe *b* doit comprendre un dispositif provoquant la marche rétrograde des aiguilles.

La construction des mouvements de ces deux classes doit tenir compte des conditions de travail très rudes auxquelles sont soumis les réseaux horaires installés à bord des navires et des avions : axes et pivots renforcés, huilage résistant aux températures extrêmes, danger de corrosion (axes et pignons en acier inoxydable), etc. De plus, si les navires ou les avions accomplissent un service pénible, il est recommandable d'ajouter aux mouvements un dispositif de blocage de l'axe de l'aiguille des minutes insensible aux vibrations, aux chocs et aux changements de position.

#### Mouvements de la classe a

Le lecteur voudra bien se reporter à la description des mouvements normaux donnée au début de ce chapitre.

#### Mouvements de la classe b

*Mouvements marins de la S. A. Favag à Neuchâtel.* La Maison Favag a estimé que la remise à l'heure par l'arrêt de l'émission des impulsions de courant présentait l'inconvénient, assez grave dans certains cas, de priver l'équipage, le personnel et les passagers, de l'indication de l'heure exacte pendant plusieurs dizaines de minutes.

Dans le but de réduire à deux ou trois minutes la remise des aiguilles à une heure retardée, la dite maison et ses prédécesseurs ont construit deux types de mouvements permettant l'avance normale ou la marche rétrograde des aiguilles.

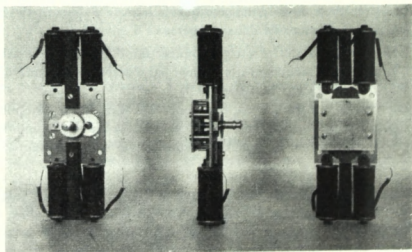


Fig. 277. Mouvement secondaire pour horloges marines, système Favag.

Le premier type était construit d'une façon identique à celle du mouvement normal à armature rotative polarisée ; la seule différence consistait en l'adaptation au rouage d'un organe de renversement de marche actionné par l'armature d'un deuxième électro-aimant ; tant que celle-ci n'est pas attirée, l'armature rotative fait avancer les aiguilles normalement mais dès que l'électro-aimant est excité, elle les fait rétrograder. Les horloges sont reliées par trois fils à l'horloge mère, deux d'entre eux sont connectés à chacun des électro-aimants, le troisième sert de retour commun.

Ce type de mouvement a été abandonné et remplacé par le mécanisme reproduit par la fig. 277, ce dernier est formé par deux électro-aimants et deux armatures rotatives polarisées juxtaposées dont les pignons engrènent avec une seule et même roue dentée centrale commandant la minuterie et les aiguilles. Les cliquets de retenue ont été supprimés, ce qui permet la marche en avant et en arrière des aiguilles selon que l'un ou l'autre des électro-aimants est excité ; la liaison des horloges avec la centrale horaire s'effectue également par une ligne à trois conducteurs.

Pour l'équipement des horloges soumises à des vibrations intenses ou à des chocs, les mouvements Favag, de l'un ou de l'autre type, sont pourvus d'un électro-aimant supplémentaire dont l'armature bloque, à l'état de repos, l'axe de l'aiguille des minutes ; ce dispositif est représenté par la fig. 278.

Les horloges des avions, plus particulièrement celles des divers tableaux de bord, sont munies d'un mouvement à chiffres sautants, dérivant de celle qui a été décrite à la page 308. L'indication usuelle, de l'heure est complétée par celle des secondes ou des périodes de 5 secondes ; ce mécanisme, très robuste, peut supporter sans dérèglement des chocs, même très violents.

### Mouvements secondaires pour la commande de circuits de signalisation horaire

Nous avons vu au chapitre IX que, parallèlement aux cadrans indiquant l'heure, d'autres services horaires peuvent être dirigés ou synchronisés par la même horloge mère.

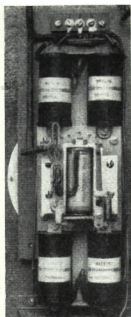


Fig. 278. *Mouvement secondaire pour horloge marine ; blocage électromagnétique des aiguilles (Favag S. A.)*

Les mouvements récepteurs, et même dans certains cas les horloges mères, peuvent être accouplés à des dispositifs électriques ou mécaniques permettant la mise en action d'appareils de signalisation, le déclenchement de mécanismes divers, l'accomplissement de certaines actions ou opérations, etc.

Nous nous attacherons plus particulièrement à la description des dispositifs électriques dont l'utilisation est préférée à celle des commandes mécaniques, grâce aux multiples combinaisons qu'ils permettent. Dans la pratique, l'horloger électricien aura en général à résoudre l'un des deux problèmes suivants :

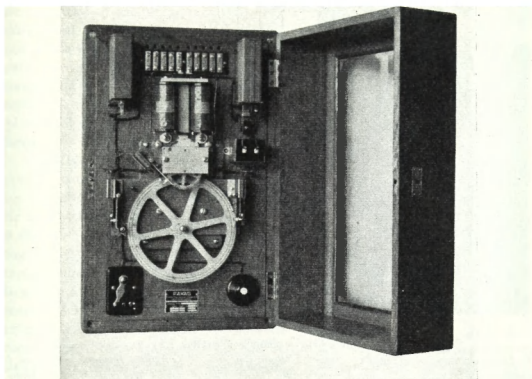
1. La mesure de la durée d'une action, d'une fonction, d'une opération, prises isolément ou de la durée de leur répétition unique ou continue ; ce problème est généralement résolu par l'emploi d'appareils permettant la mesure des durées et dont la description n'entre pas dans le cadre de cet ouvrage.
2. La fixation de l'instant où une action quelconque doit être accomplie ou doit débiter ou doit être terminée et cela dans le courant d'une journée (horaire journalier de 24 heures) ou d'une semaine (horaire hebdomadaire).

L'appareillage électrique ou électro-mécanique qui permettra de résoudre ce dernier problème comportera un ou plusieurs contacts qui seront ouverts ou fermés à l'instant voulu et qui souvent seront combinés entre eux pour obtenir l'effet recherché. Le constructeur devra donc disposer ses contacts de façon adéquate, il devra pouvoir régler la durée de leur action et déterminer l'intervalle minimum de temps que l'appareil pourra admettre entre deux actions successives.

Lorsque tous ces éléments seront déterminés, il sera facile de grouper en horaire hebdomadaire ou journalier les instants successifs prévus pour l'émission de signaux sonores ou lumineux, l'accomplissement automatique d'un travail, d'une opération de fabrication, etc.

La plupart des constructions imaginées utilisent, comme organe d'actionnement du ou des contacts, des disques ou des rubans sans fin munis de cames ou de goupilles amovibles ou encore d'entailles ou de perforations ; le même appareil récepteur peut comporter un ou plusieurs de ces organes, munis chacun d'une ou plusieurs rangées de cames de goupilles ou de perforations. Il est ainsi possible de commander par le même appareil un ou plusieurs circuits électriques, chaque circuit pouvant, lui aussi, être établi ou interrompu selon un ou plusieurs programmes.

Pour simplifier l'étude des appareils destinés à la commande des circuits de signalisation horaire, nous avons rassemblé ci-après la description de



*Fig. 279. Mouvement secondaire à contact Favag.*

divers dispositifs pouvant être adaptés selon les besoins à un mouvement secondaire, à une horloge mère, à une horloge indépendante ou enfin à un moteur synchrone ; c'est la raison pour laquelle au chapitre précédent nous n'avons fait que mentionner les possibilités d'adaptation de tels dispositifs à certaines horloges mères.

#### **Mouvements secondaires à contact de la S.A. Favag**

Le mouvement normal, reproduit par la fig. 279, comporte un dispositif à disque de 24 heures permettant soit la commande d'un seul circuit, les signaux étant groupés selon trois programmes hebdomadaires différents, soit celle de deux ou trois circuits, les signaux étant alors groupés en un ou en deux programmes hebdomadaires ; le schéma de la fig. 280 montre comment les contacts sont disposés pour atteindre ce but.

Sur l'axe de l'armature rotative (1) est taillé un pignon engrenant avec la roue d'heures (2) qui porte 12 goupilles fixes (3) fermant le contact (4)

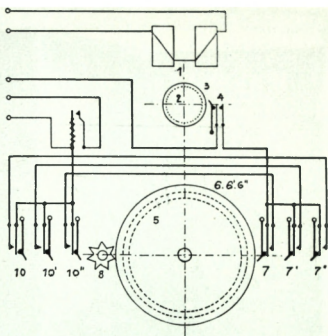


Fig. 280. Mouvement secondaire à contact « Favag ».

1) Electro-aimant et armature rotative. 2) Roue d'heures. 3) Goupilles fermant le contact 4 toutes les 5 minutes. 5) Disque à programmes faisant un tour en 24 heures. 6, 6' et 6'') Goupilles vissées dans le disque à programmes et fermant les contacts. 7, 7', 7''), 8) Etoile à 7 branches. 10, 10' et 10'') Contacts de sélection du programme.

toutes les 5 minutes pendant quelques dixièmes de seconde ; un pignon solidaire de la roue d'heures entraîne un disque à programmes (5) faisant un tour en 24 heures, sur la jante duquel sont percés deux séries circulaires de trous filetés distants les uns des autres de  $1^{\circ} 15'$  d'angle, soit 5 minutes de temps. Dans ces trous on peut visser, aux heures choisies pour l'émission des signaux, un certain nombre de goupilles (6, 6', 6'' ..... ) permettant la commande séparée de trois contacts (7, 7', 7''). Le disque est muni, à la graduation 24 heures, d'un ergot qui, toutes les 24 heures, fait tourner d'une dent une étoile à 7 branches (8) solidaire d'un axe entraînant 3 petits cylindres à came commandant chacun un contact (10, 10', 10'').

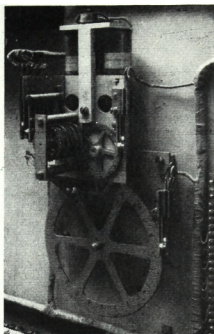
Comme le montre le schéma, le contact (4), l'un des contacts (7, 7', 7'') et l'un de ses correspondants (10, 10', 10'') dont la fermeture dépend de la forme donnée aux cylindres, ont pour fonction de choisir pendant une semaine le programme journalier correspondant à l'un des contacts (7, 7', 7''), fermés aux instants choisis de la journée par l'une des séries de goupilles (6, 6' 6'').



La durée pendant laquelle le circuit de signalisation est établi est déterminée en général par un relais à élément thermique s'il s'agit de la commande d'appareils de signalisation ou par des combinaisons de relais, s'il s'agit de la commande de mécanismes destinés à l'accomplissement de certaines actions ou opérations.

La fig. 281 montre un mouvement à contact combiné, comportant d'une part un dispositif de signalisation usuel à roue de 24 heures et d'autre part une série de 6 disques à cames embrochés sur le même axe et fermant périodiquement les contacts commandant 6 circuits de signalisation. Selon le but à atteindre, le mouvement et ses engrenages sont construits de telle sorte que les impulsions de courant reçues par l'électro-aimant peuvent se suivre soit chaque minute, soit chaque seconde. Ce seul appareil permet ainsi d'actionner des appareils récepteurs chargés des fonctions horaires les plus diverses par exemple des relais change-tarifs, des horloges au quart, au cinquième, au sixième de minute, etc.

Le dispositif à contact normal a été adapté à l'horloge mère que nous avons décrite à la page 265 et qui est représentée par la fig. 216, grâce à l'emploi du balancier moteur, la précision de cette horloge n'est aucunement affectée par l'augmentation sensible et irrégulière du couple résistant.

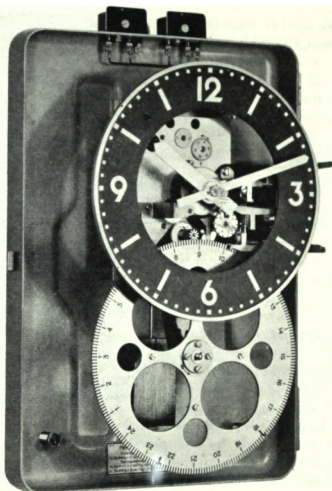


*Fig. 281. Mouvement secondaire Favag avec dispositif de signalisation horaire multiple (signaux périodiques et non périodiques).*

#### **Dispositif de signalisation système «Inducta» de la S.A. Landis & Gyr, à Zoug**

Le dispositif qui va être décrit n'est pas commandé par un mouvement secondaire mais par le mécanisme de l'horloge mère ou par un mouvement horaire indépendant à remontoir à moteur. La fig. 282 montre l'aspect de ce dispositif dont les caractéristiques sont les suivantes :

Le disque à programme journalier est mû par un pignon solidaire d'une roue dentée engrenant avec un des mobiles de la minuterie ; selon les exécutions de l'appareil, la denture compte 240 ou 288 dents, soit 10 ou 12 dents



*Fig. 282. Dispositif de signalisation horaire mû par un mouvement indépendant système « Inducta ».*

ou divisions par heure, ce qui permet de combiner les programmes de sonnerie d'après le système décimal ou le système duodécimal. L'intervalle entre deux dents est suffisamment profond pour qu'on y puisse insérer de petits cavaliers métalliques faisant saillie soit sur une face de la roue, soit sur l'autre ; l'emplacement de chaque cavalier correspond aux moments de la journée prévus pour les émissions de signaux, ces derniers pouvant être groupés en deux programmes journaliers. Le choix du programme se fait automatiquement par l'intermédiaire d'un disque, effectuant un tour en sept jours par sauts d'une demi-journée, sur la périphérie duquel peuvent être insérés des cavaliers semblables à ceux qui sont utilisés pour le disque de 24 heures.

Les contacts fermant le circuit de signalisation sont commandés par l'intermédiaire de leviers par les cavaliers placés sur le disque de 24 heures et sur celui de sélection des programmes. La durée des signaux est réglée entre 8 et 30 secondes par le jeu d'une came double ; la charge des contacts est de 1 ampère si les sonneries sont alimentées par le courant alternatif 220 volts et de 1,5 ampère si elles le sont par du courant continu 24 volts.

Lorsque le nombre des programmes de signalisation est supérieur à deux, il est possible d'ajouter un, deux ou même trois disques supplémentaires à l'appareil, ce qui rend possible un nombre intéressant de combinaisons de programmes et de circuits de signalisation.

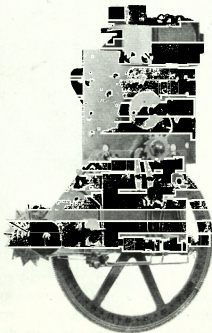
#### **Dispositif de signalisation des horloges W. Moser-Baer, de Sumiswald**

Ce dispositif de signalisation peut être adapté aussi bien aux horloges mères qu'aux horloges secondaires ; il comporte, comme ceux que nous avons déjà étudiés, une roue à programmes de 24 heures sur la périphérie de laquelle deux rangées concentriques de trous filetés, espacés de cinq en cinq minutes, reçoivent les goupilles fermant les contacts préparatoires.

Les deux programmes possibles sont commutés automatiquement à minuit par le moyen de disques à cames commandés par une roue étoile à 7 dents. Le contact d'exécution, servant également de limiteur de durée, comporte dans les horloges mères un contact dont les deux pièces mobiles, pivotées en leur milieu, sont terminées par deux becs conduits par les flancs d'une roue à 12 dents faisant un tour en une heure. Comme ces becs sont de longueurs inégales, ils quittent l'un après l'autre le sommet de la dent, fermant ainsi le contact pendant une durée que l'on peut déterminer en réglant la longueur de l'un des becs.

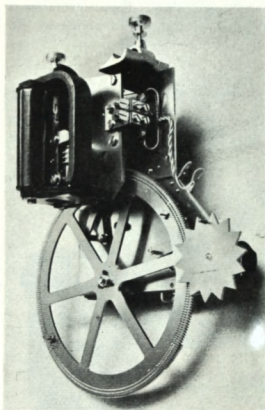
#### **Dispositif de signalisation des horloges de la Fabrique des Montres Zénith, au Locle**

La Maison Zénith a conçu fort ingénieusement un dispositif à contact unitaire qui peut être adjoint à une horloge mère, à un mouvement secondaire ou à une horloge

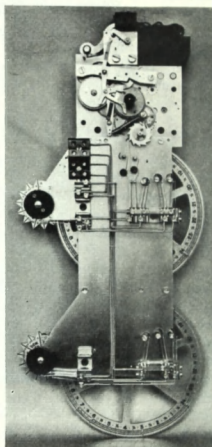


*Fig. 283. Dispositif à contact Zénith ajouté au mouvement d'une horloge indépendante.*

indépendante. La fig. 283 montre d'une façon très visible ce mécanisme ajou au mouvement d'une horloge indépendante et la fig. 284 ce même mécanism lié à un mouvement secondaire ; il est à remarquer que cette dernière combinaison est la même que celle qui est utilisée pour l'équipement des horlogères.



*Fig. 284. Mouvement secondaire Zénith avec dispositif de signalisation horaire.*



*Fig. 285. Dispositif de signalisation horaire adapté à une horloge indépendante Zénith.*

La disposition du mouvement à contact ne présente pas de différences notables avec celles que nous avons décrites précédemment. Le disque de 5 heures porte deux rangées circulaires concentriques de trous filetés, percés de 5 en 5 minutes ; la roue de commutation des programmes est munie de 14 dents permettant facilement l'établissement des horaires usuels. La limitation de la durée des signaux est obtenue chez les horloges indépendantes par l'action différée de deux leviers dont les goupilles terminales glissent sur l

flancs de deux dents successives d'une roue, menée d'une façon continue par le mécanisme de l'horloge. Cette limitation est confiée chez les horloges secondaires à un relais à action thermique, retardant de 10 secondes la fermeture du contact ; une prolongation de cette durée est obtenue par l'insertion, en série avec l'élément thermique, de résistances étalonnées.

L'émission de signaux selon un nombre de programmes supérieur à celui que le mécanisme peut admettre se fait, en ajoutant au mécanisme de base un second ou un troisième disque de 24 heures (fig. 285) ; il en est de même si les appareils de signalisation sont répartis entre deux ou plusieurs circuits.

Certains constructeurs, tels que *Telephonbau und Normalzeit* et la *Synchrone Co. Ltd.*, font usage de cylindres, lorsque l'emploi de plusieurs disques journaliers est rendu difficile par le nombre de circuits à commander et par le nombre d'horaires à établir. Le cylindre est entraîné par un mouvement secondaire de dimensions convenables et les logements de goupilles sont disposés sur un nombre plus ou moins grand de cercles parallèles répartis le long de sa surface. Les contacts de préparation sont placés les uns à côté des autres, en regard des cercles de goupilles, suivant une génératrice du cylindre. Le contact d'exécution, placé en série avec les contacts de préparation, est commandé à la façon habituelle par le mouvement secondaire ; la durée des signaux est réglée par un relais à élément thermique.

Parmi les mouvements secondaires à dispositif de signalisation, dont la commande de contacts s'effectue par le moyen d'un *ruban sans fin*, nous citerons celui de la *Stromberg Electric Cy. de Chicago* (fig. 286).

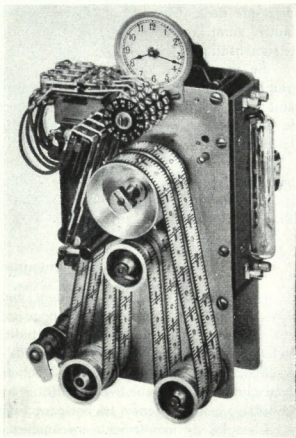


Fig. 286. Mouvement secondaire entraînant un dispositif de signalisation horaire à rubans sans fin, système Stromberg.

La commande des contacts de ce mouvement s'opère par le moyen d'un ou de plusieurs rubans sans fin pourvus d'une graduation de 24 heures imprimée ; la matière dont ces rubans flexibles sont constitués doit être insensible aux variations de température et à celles de l'état hygrométrique de l'air, tout en résistant à l'usure : certains celluloïdes semblent avoir donné les meilleurs résultats. Ces rubans sont tendus par 3 poulies et entraînés par une quatrième dont la jante est pourvue de pointes s'engageant dans une perforation continue pratiquée dans le ruban.

Sur les deux bords de chaque ruban des trous, correspondant aux moments prévus pour la fermeture des contacts, peuvent être perforés au moyen d'un petit emporte-pièce ; l'extrémité d'une des lames de chaque contact, munie d'une pièce arrondie, s'engage dans les trous ainsi préparés et ferme le contact au moment choisi.

Chaque ruban permet d'établir deux programmes journaliers de signaux ou de commander deux circuits différents ; l'appareil est construit de telle sorte que deux, trois ou quatre rubans peuvent être placés l'un à côté de l'autre, autorisant ainsi diverses combinaisons de programmes et de circuits de signalisation.

Le groupement des programmes journaliers en un ou plusieurs programmes hebdomadaires s'opère par l'entremise d'un cylindre à cames tournant après chaque demi-journée d'un quatorzième de tour ; il est ainsi possible de permuer entre eux les programmes journaliers deux fois par journée de 24 heures.

La modification d'un programme journalier se fait en changeant le ruban lui-même, opération facile et rapide ; celle de la combinaison hebdomadaire des programmes, en insérant dans le tambour hebdomadaire des plots à tige filetée faisant office de cames.

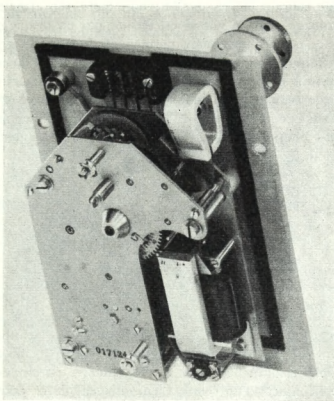
### Horloges monumentales

Les horloges monumentales dont nous verrons l'utilisation aux chapitres XII et XIV sont munies de mouvements qui procèdent de conceptions très diverses ; nous aurons ainsi à étudier les mouvements mécaniques à déclenchement électrique mus par un poids ou par un ressort, les mouvements secondaires à action directe, ceux à action indirecte comportant un moteur électrique mis en marche à intervalles réguliers, les mouvements à balancier pendulaire moteur et enfin les horloges à moteur synchrone.

L'emploi de mouvements mécaniques, que nous avons décrits en tant qu'horloges indépendantes au chapitre VI, donne une très bonne solution au problème ; il suffit, pour transformer un de ces mouvements en horloge secondaire, de remplacer le mécanisme d'échappement et son balancier par



une détente électrique actionnée chaque minute par les impulsions de courant émises par l'horloge mère et de freiner la rotation du rouage par un dispositif approprié, frein à force centrifuge, moulinet à ailettes, etc. La détente est constituée par un mouvement secondaire dont l'armature, par l'intermédiaire d'un jeu de leviers, libère un des mobiles du rouage actionnant les aiguilles ;



*Fig. 287. Mouvement système « Inducta » pour horloge monumentale ; ressort armé par un moteur électrique, déclenchement chaque minute par un mouvement secondaire.*

l'avantage de cette disposition est que le mouvement comporte une réserve de marche dépendant de la hauteur de chute du poids moteur.

Ce mouvement peut comporter, en plus des rouages des aiguilles, un ou plusieurs corps de rouages pour la frappe des heures et, dans certains cas, un dispositif à contact transformant le mouvement en une horloge mère secondaire permettant de créer, dans une église par exemple, un réseau horaire local.



### Mouvement mécanique à ressort «Inducta» de la S. A. Landis & Gyr, à Zoug

Au lieu d'utiliser un poids comme organe moteur, la S. A. Landis & Gyr a muni le mouvement qu'elle construit d'un fort ressort spiral enroulé dans un barillet et remonté périodiquement par un petit moteur électrique branché sur le réseau lumière (fig. 287).

Un mouvement secondaire, correspondant à 4 unités d'horloges, reçoit les impulsions de courant émises par l'horloge mère, son armature déclenche la rotation du rouage, dont la vitesse est freinée par un disque en aluminium tournant entre les pôles d'un aimant permanent. Lorsque la grande aiguille a avancé d'une minute, un verrouillage arrête la rotation du mouvement et remplace le mécanisme de déclenchement à sa position de départ.

Le moteur de remontage, à induit à cage d'écureuil, absorbe une puissance de 3,2 watts ; le couple moteur disponible à l'axe des minutes est de 6 kg/cm. et suffit pour mouvoir les aiguilles d'une horloge dont le diamètre n'excède pas 1,5 m.

Dans la catégorie des *mouvements secondaires à action directe*, nous trouvons, comme exemple, le mouvement « Favag » décrit à la page 306.

### Mouvements à moteur électrique

Le mouvement à moteur électrique est actuellement très en faveur grâce à sa robustesse et à son encombrement réduit ; de nombreuses maisons l'ont adopté et les résultats obtenus justifient leur choix.

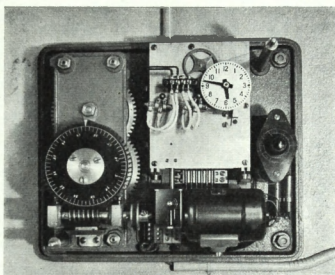
*Mouvement à moteur électrique Siemens-Halske, à Berlin.* Cette horloge est probablement la plus ancienne de cette catégorie ; le moteur à courant alternatif monophasé, branché sur le réseau lumière, est mis en marche par la fermeture des contacts d'un relais. L'enroulement de ce dernier est intercalé dans un circuit fermé par un interrupteur commandé par une roue à rochet actionnée par l'armature d'un mouvement secondaire. L'arrêt du moteur est obtenu, dès que l'aiguille des minutes a parcouru le chemin voulu, par l'ouverture d'un deuxième interrupteur placé en série avec le premier et commandé par un disque à cames entraîné par le rouage de l'horloge.

Cet ingénieux dispositif permet ainsi, en cas d'interruption du courant alimentant le moteur, l'accumulation des impulsions provenant de l'horloge mère et leur restitution au mouvement secondaire dès que le courant est rétabli ; on obtient ainsi une remise à l'heure automatique des aiguilles.

Le mouvement, tel qu'il vient d'être décrit, peut entraîner les aiguilles de cadrans dont le diamètre atteint 6 mètres ; une exécution normale avec moteur blindé est prévue pour des cadrans dont le diamètre est compris entre 1 et 4,5 mètres.

*Mouvement à moteur de la Fabrique d'Horloges électriques W. Moser-Baer, à Sumiswald.* Ce mouvement, dont le mécanisme est représenté par la fig. 288 est construit pour l'entraînement d'aiguilles lourdes équipant des cadrans dont le diamètre est compris entre 1,6 et 8 mètres.

Le moteur, dont la puissance est de 60 watts, peut être construit soit avec induit en court-circuit si l'alimentation se fait par du courant alternatif, soit avec induit à collecteur si le courant est fourni par une batterie d'accumulateurs. Le mouvement de rotation de l'induit est transmis aux aiguilles par un train d'engrenages réducteur comportant une vis sans fin et les roues et pignons nécessaires ; la roue de vis sans fin porte une graduation qui permet



*Fig. 288. Mouvement secondaire à moteur pour horloges monumentales, système W. Moser-Baer, à Sumiswald.*

de contrôler la position des aiguilles. Le rapport total de réduction peut être choisi entre des limites assez étendues, ce qui permet d'adapter la vitesse angulaire des aiguilles au poids et à la longueur de celles-ci.

L'interrupteur de mise en marche et d'arrêt du moteur est commandé par un mouvement secondaire recevant les impulsions de courant émises par l'horloge mère ; il est combiné avec un dispositif d'accumulation et de restitution des impulsions non utilisées, entrant automatiquement en action lors d'une panne du courant alimentant le moteur.

Dans ce but, la position angulaire d'un disque denté mû par le mouvement secondaire est comparée avec celle d'un autre disque solidaire de l'engrenage du moteur. Dès que le premier de ces disques a avancé d'une dent

## Mouvements à balancier pendulaire moteur

*Mouvement pour horloges monumentales de Gent, à Leicester (Système Pul-syn-etic).* La fig. 290 montre schématiquement le principe de la construction de ce mouvement : (1) est un balancier lourd dont l'oscillation est entretenue par l'action de l'armature (2), d'un électro-aimant (3), sur le plan incliné d'un bras (4) fixé à la tige du balancier ; les impulsions de courant

sont émises par un interrupteur à palette (5) dérivé de celui de Hipp. A remarquer que le balancier est suspendu à un roulement à billes (6). Un cliquet (7), fixé à la tige du balancier s'engage dans la denture d'une roue d'échappement (8) munie de 15 dents et lui fait effectuer un tour pour 30 oscillations simples qu'il accomplit en 27 secondes.

Sur la roue d'échappement est fixée une goupille semi-cylindrique (9) qui soulève à chaque tour l'extrémité (10) d'un levier coudé dont l'autre extrémité s'engage dans un crochet de détente (11) solidaire de l'armature d'un électro-aimant (12) ; le bobinage de ce dernier est parcouru toutes les demi-minutes par les impulsions de courant émises par l'horloge mère. La roue d'échappement transmet par une vis sans fin son mouvement de rotation à l'axe de l'aiguille des minutes.

Le fonctionnement est le suivant : sous l'impulsion motrice du balancier, la roue d'échappement effectue un tour en 27 secondes ; lorsque sa rotation complète est effectuée, la goupille (9), en soulevant le levier (10), relève le cliquet d'impulsion (7), de telle sorte que le balancier continue à battre, mais

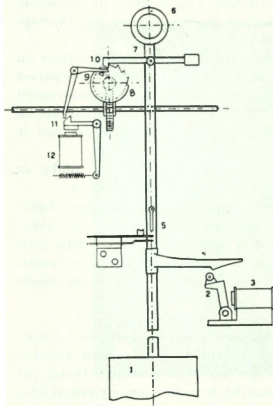


Fig. 290. Mouvement à balancier moteur et à déclenchement périodique destiné à une horloge monumentale (Gent Ltd, Leicester). 1) Balancier lourd moteur. 2) Armature attirée par l'électro-aimant 3 et agissant sur le plan incliné du bras 4. 5) Interrupteur à palette. 6) Roulement à billes de suspension. 7) Cliquet d'impulsion agissant sur la roue à rochet 8. 9) Goupille soulevant le levier 10. 11) Crochet de détente solidaire de l'armature de l'électro-aimant 12.

sans faire avancer la roue d'échappement, tandis que l'extrémité du levier (10) s'est engagée dans le crochet (11).

La roue d'échappement et l'axe de l'aiguille des minutes qu'elle commande sont ainsi immobilisés pendant environ 3 secondes et ne seront remis en marche qu'au moment où l'impulsion de courant émise par l'horloge mère aura libéré le levier (10-11) et le cliquet (7), ce qui permettra au balancier d'entraîner à nouveau la roue d'échappement (8).

Ce mouvement (fig. 291) est construit en cinq modèles de dimensions étagées, permettant l'entraînement d'aiguilles de cadrans dont les diamètres sont compris entre 1,80 et 9 mètres. L'électro-aimant actionnant le balancier consomme 0,4 ampère, sous une tension choisie, selon les dimensions du mouvement, entre 20 et 40 volts.

*Horloges monumentales à moteur synchrone.* Nous étudierons ce type d'horloge au chapitre XIII, lorsque nous décrirons les horloges synchrones.

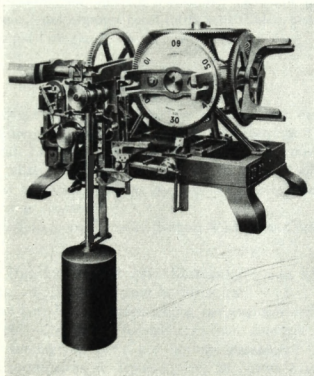


Fig. 291. *Mouvement pour horloge monumentale de Gent Co Ltd.*



## CHAPITRE XII

### LES RÉSEAUX-HORAIRES ET LEURS APPLICATIONS

Nous avons étudié aux trois chapitres précédents les quatre organes fondamentaux constituant les réseaux horaires :

- a) La source de courant électrique.
- b) L'horloge mère.
- c) Les horloges et appareils récepteurs.
- d) Les lignes conductrices reliant les trois organes ci-dessus entre eux.

Il nous est maintenant possible d'examiner comment ces réseaux sont utilisés et comment leurs organes constitutifs sont choisis pour répondre aux conditions posées par l'usager du réseau.

#### Les réseaux horaires simples

Dans de très nombreux cas, la surface desservie par un réseau horaire est de peu d'étendue et ne comprend qu'un nombre restreint d'horloges secondaires : petite ville, station de chemin de fer, petit bâtiment administratif public ou privé, villa, hôtel, etc. Dans ce cas, on choisira un modèle simple d'horloge mère et on réduira le plus possible la capacité, conséquemment le coût, de la source de courant.

A titre d'exemple, nous donnons ci-après 4 schémas d'installations de ce genre :

a) *Schémas* (fig. 292, 293 et 294). Destination : petit hôtel, restaurant, magasin de vente, villa, enseigne pour horloger, etc.

Composition : Une horloge mère simple, par exemple celles décrites aux pages 256, 265, etc. — Horloges secondaires : pour montage intérieur, éventuellement pour montage en plein air (horloge enseigne) ; le nombre total des mouvements secondaires ne dépasse guère 20 ou 30. Lignes de liaison : montage intérieur normal. Source de courant : pour de très petits réseaux, 4 à 5 mouvements secondaires au maximum, une pile sèche de 6 volts à grande capacité rend de bons services ; pour des réseaux plus grands, l'alimentation directe par le réseau avec restitution des impulsions perdues en

Fig. 292. Réseau horaire simple dont la source de courant est une pile sèche.

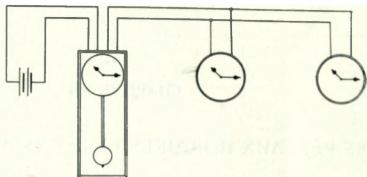


Fig. 293. Réseau horaire simple alimenté directement par le courant alternatif du réseau lumière.

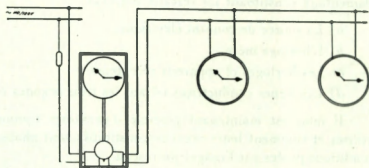
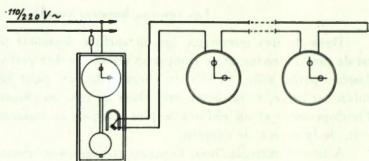


Fig. 294. Réseau horaire simple dont les horloges secondaires sont alimentées par un inducteur.



cas d'interruption du courant d'alimentation par un inducteur (pages 253 et 280) donnent des solutions intéressantes.

b) *Schéma* (fig. 295). Destination : petite ville, station de chemin de fer ou de tramway, bâtiments administratifs publics ou privés, hôtel, etc.

Composition : L'horloge mère est du même type que celle choisie pour l'exemple a. — Les horloges secondaires sont fréquemment montées en plein air. Lignes de liaison : montage intérieur normal ; lignes extérieures si possible en câbles souterrains sinon, construction aérienne très soignée, dans ce cas l'embranchement partant de l'horloge mère pour desservir ces horloges



doit être protégé par un fusible bipolaire et par un parafoudre mis soigneusement à la terre. Source de courant : si la marche des horloges secondaires ne doit pas être influencée par les pannes de courant du courant d'éclairage, seules les batteries d'accumulateurs, chargées en tampon par un redresseur ou un réducteur de tension, donnent une solution convenable ; l'alimentation d'horloges extérieures par un inducteur est également admissible ; à remarquer que, dans de nombreux cas, les horloges peuvent être alimentées par une batterie d'accumulateurs déjà existante (éclairage de sécurité, centrale téléphonique, etc.), on n'oubliera pas, lors d'un branchement de ce genre, d'intercaler entre la batterie et l'horloge mère un fusible bipolaire de 2 ampères.

### Les réseaux de distribution de l'heure combinés avec un système de signalisation de l'heure

Ce type de réseau a pris une importance considérable depuis une vingtaine d'années car l'émission de signaux horaires, en général sonores, plus rarement lumineux, favorise grandement aussi bien la discipline de travail

Fig. 295. Réseau horaire alimenté par une batterie d'accumulateurs chargée par un redresseur.

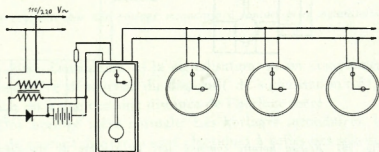
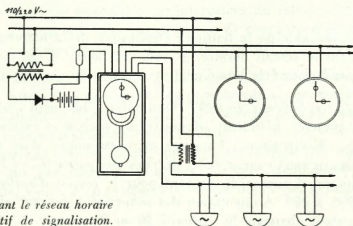


Fig. 296. L'horloge mère pilotant le réseau horaire est complétée par un dispositif de signalisation.



d'une école, d'une usine, d'une administration que la circulation du public dans un musée, dans une exposition, etc.

Les réseaux horaires proprement dits sont semblables à ceux que nous avons étudiés plus haut ; l'émission des signaux horaires est confiée soit à un mécanisme adjoint à l'horloge mère (par exemple celui décrit à la page 339), soit à une horloge secondaire munie d'un dispositif à contact, par exemple celle décrite à la page 337. L'alimentation des appareils de signalisation sonore ou lumineuse est de plus en plus confiée au réseau lumière, après abaissement

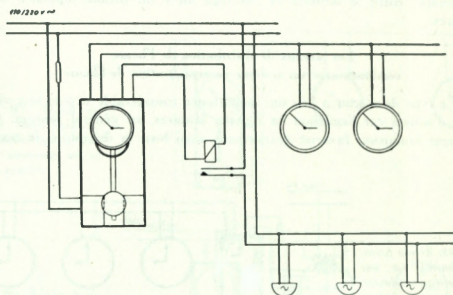


Fig. 297. Réseau horaire combiné avec un système de signalisation ; les sonneries sont commandées par un relais. Alimentation directe de tous les appareils par le réseau alternatif.

convenable de la tension ; l'utilisation de la batterie d'accumulateurs desservant le réseau horaire est réservée pour les cas où la signalisation ne doit pas être arrêtée lors d'une interruption du courant d'éclairage.

a) *Schéma* (fig. 296). Destination : bâtiment scolaire, fabrique, maison de commerce, bâtiments administratifs, musées et expositions.

Composition : l'horloge mère est munie d'un dispositif pour l'émission des signaux comme celles décrites aux pages 267 et 341 ; horloges secondaires, lignes et source de courant pour le réseau d'horloges : comme les schémas 292 à 295. Alimentation des sonneries à courant alternatif par un transformateur abaissant la tension à 20 ou 30 volts.

*Schéma* (fig. 297). Caractéristiques comme ci-dessus ; les sonneries sont alimentées par l'intermédiaire d'un relais muni de contacts pour courants relativement intenses (éventuellement contacts à mercure) ; le bobinage des sonneries peut sans inconvénients être prévu pour la tension du réseau, 110 ou 220 volts.

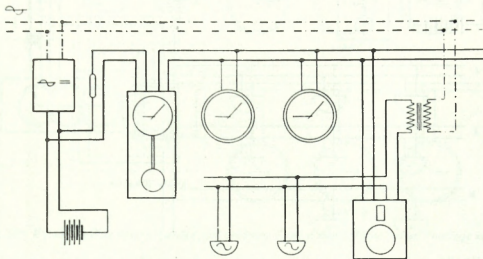


Fig. 298. Réseau horaire complété par une horloge secondaire à contact pour signalisation.

b) *Schéma* (fig. 298). Destination a) la signalisation est un complément apporté à une horloge mère dépourvue du dispositif de signalisation ; b) le réseau de signalisation est à une certaine distance de l'horloge mère.

Composition : Une horloge mère normale. Les horloges secondaires, les lignes et les sources de courant du réseau sont identiques à celles des schémas 288-291. Une ou plusieurs horloges secondaires à contact (voir pages 335 et ss.) ; si le nombre des sonneries dépasse celui qui peut être admis par les contacts du dispositif de l'horloge secondaire, on intercalera un relais à gros contacts, éventuellement à contacts à mercure. La source de courant est généralement le réseau d'éclairage avec ou sans réducteur de tension.

c) *Schéma* (fig. 299). Destination : Grands établissements scolaires, usines, bâtiments administratifs publics ou privés. Les signaux horaires sont donnés par les appareils de signalisation répartis en deux ou plusieurs groupes pour chacun desquels les programmes d'émission sont différents.

Compoition : les appareils sont les mêmes que ceux du schéma 298 mais les signaux sont émis soit par deux ou plusieurs horloges secondaires à contact, soit par une seule, munie d'un système contacteur double ou multiple (voir pages 335 et ss.).

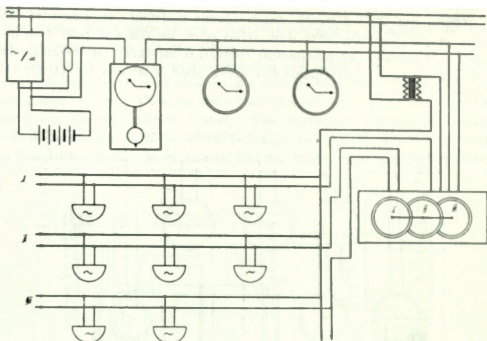


Fig. 299. Réseau horaire avec signalisation horaire sur trois circuits indépendants commandés par un mouvement secondaire à contacts.

### L'extension des réseaux horaires

Il arrive fréquemment qu'une horloge mère ne puisse plus suffire à alimenter à elle seule toutes les horloges secondaires d'un réseau horaire, soit que la charge imposée à ses contacts dépasse la limite de sécurité, soit que les lignes d'alimentation s'allongent de telle sorte qu'il en résulte une perte de tension inadmissible. On est en conséquent obligé de prévoir une extension du réseau soit en surface pour diminuer la charge des contacts, soit en longueur pour réduire à une valeur admissible la perte de tension.

Ces deux modes d'extension se font au moyen d'un ou de plusieurs relais dont la fonction est de répartir la charge des contacts ou d'insérer une source de courant locale à l'extrémité d'une ligne trop chargée ou trop longue.

Dans le premier cas, les relais sont groupés à proximité de l'horloge mère et utilisent la même source de courant qu'elle : ils forment souvent avec elle une centrale horaire plus ou moins importante.

Dans le second cas, le groupe de relais et la batterie d'alimentation du nouveau réseau d'horloges sont placés à l'extrémité de la ligne qui doit être prolongée.

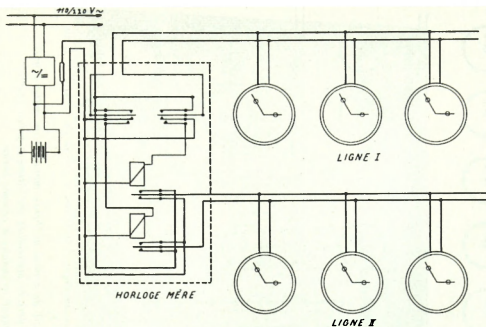


Fig. 300. Extension d'un réseau horaire par création d'une nouvelle ligne depuis l'horloge mère.

La construction de ces relais et le rôle qu'ils jouent seront étudiés au cours de l'analyse des schémas suivants.

a) *Schéma* (fig. 300). Destination : extension simple, en surface d'un réseau horaire existant ou création d'un réseau relativement important dans un hôtel, un hôpital, un bâtiment administratif, une usine, etc.

Composition : l'équipement du réseau est semblable à celui des réseaux reproduits par les schémas 292 à 295 ; pour l'extension locale du réseau existant ou pour la création d'un réseau dépassant la capacité de l'horloge mère prévue, un relais de ligne est installé soit dans le coffret de l'horloge mère, soit à proximité de cette dernière (fig. 301). Ce relais est ou bien branché à l'origine de la ligne alimentant les horloges secondaires (en général relais polarisé) ou bien, comme le montre le schéma, actionné directement par les contacts émetteurs de l'horloge mère (relais double).

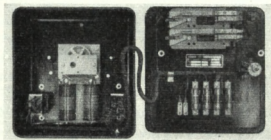


Fig. 301. Les organes de la sous-centrale à relais jumelé de polarisation, mouvement secondaire de l'horloge de contrôle (Favag S. A.)

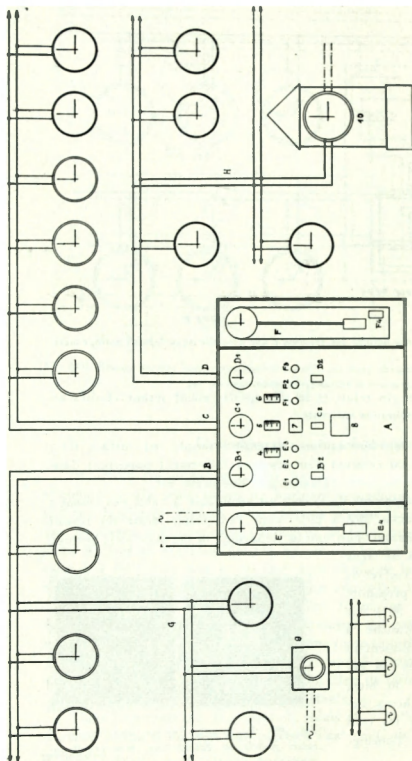


Fig. 302. Schéma du réseau d'une distribution urbaine de l'heure.

- A) Centre horaire. B, C et D) Lignes alimentant les horloges secondaires. E et F) Horloges mètres munies d'un contact à minute et d'un contact fermé toutes les 2 secondes pour la synchronisation des balanciers.  
 B1, C1 et D1) Horloges secondaires de contrôle.  
 B2, C2 et D2) Commutateurs permettant la remise à l'heure des horloges de chaque ligne.  
 E1, E2 et E3) Lampes de contrôle du régulateur E.  
 F1, F2 et F3) Lampes de contrôle du régulateur F.  
 4, 5 et 6) Voltmètre, milliampèremètre et ohmmètre de batterie et de ligne.  
 7) Relais automatique transférant le réseau du régulateur E au régulateur F.  
 8) Dispositif de remise à l'heure manuelle ou automatique.  
 G) Ligne dérivée alimentant un bâtiment public (école).  
 9) Mouvement se reliant à contact horaire.  
 H) Ligne dérivée alimentant une église.  
 10) Horloge monumentale à moteur.

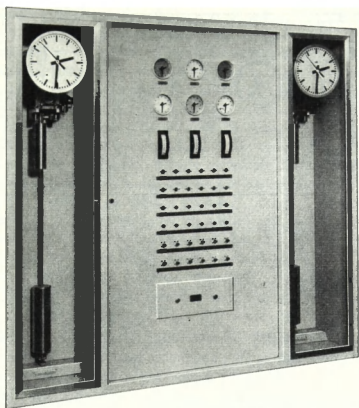


Fig. 303. Centrale horaire à 6 lignes (système W. Moser-Baer à Sumiswald).

*Schéma* (fig. 302 et 303). Destination : extension importante en surface d'un réseau horaire ; distribution urbaine de l'heure, grandes gares, hôtels, hôpitaux et bâtiments administratifs importants, etc.

Composition : une centrale horaire comportant une horloge mère de précision, éventuellement une même horloge utilisée comme appareil de réserve, un certain nombre de groupes de lignes pilotés chacun par un relais, une horloge de contrôle et les organes de mesure, de sécurité et de remise à l'heure.

Les horloges secondaires sont groupées sur les lignes d'alimentation de telle sorte que l'intensité du courant primaire à couper par chaque relais reste dans les limites imposées par la sécurité de marche du réseau ; la protection des contacts contre les effets des courants de self-induction devra être réalisée avec le plus grand soin. La construction des lignes de liaison fera l'objet d'une étude approfondie afin d'éviter les pertes de tension et les trajets compliqués ; les lignes principales doivent avoir une section suffisante, même si elles sont construites en câbles souterrains.



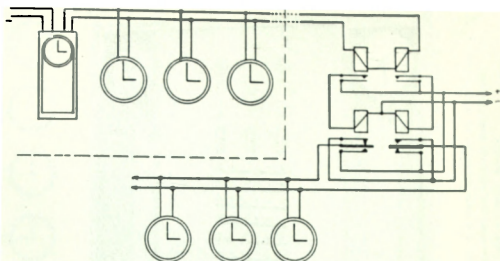


Fig. 304. Création d'un réseau horaire satellite à l'extrémité d'une ligne.

La source de courant est presque toujours une batterie d'accumulateurs dont la capacité doit tenir compte du nombre total, actuel ou futur, d'horloges secondaires et dont l'intensité de décharge doit être calculée d'après le nombre de mouvements secondaires alimentés simultanément (alimentation totale simultanée par relais ou successive par groupes d'horloges).

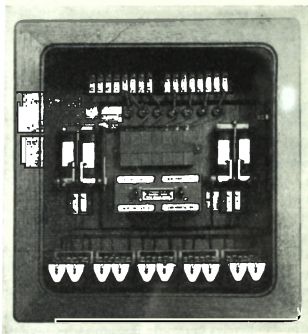


Fig. 305. Centrale satellite à relais créant 5 nouvelles lignes d'horloges (Favag).

b) Schéma (fig. 304).  
Destination : création d'un réseau horaire satellite à l'extrémité d'une ligne dont la longueur ne peut être augmentée : faubourgs industriels — villes satellites de la banlieue d'une grande ville — établissements commerciaux ou industriels situés à une certaine distance du bâtiment principal, etc.

Composition : le réseau principal est semblable à l'un de ceux que nous venons de décrire ; le réseau satellite, formé à l'extrémité de la ligne des horloges secondaires, comporte un relais polarisé ou non, selon le système d'émission des impulsions de courant motrices (fig. 305). Le schéma du relais polarisé est fréquemment semblable à celui qui est représenté par la fig. 304 ; l'avantage de cette disposition est que, pour une consommation de courant très minime du relais à armature polarisée, la charge des contacts des relais de ligne peut être relativement considérable. On remarquera que les électro-aimants des relais de ligne sont munis de bagues de cuivre massif provoquant un relâchement retardé de l'armature et, par conséquence, une prolongation de la durée de l'impulsion de courant motrice.

La source de courant locale est constituée par une batterie d'accumulateurs dont la capacité est proportionnée à l'importance du réseau satellite.

La fig. 306 représente le schéma d'une installation basée sur le même principe : la ligne, dont la longueur peut atteindre quelques dizaines de kilomètres, alimente un certain nombre d'installations satellites comportant chacune un relais et une batterie d'accumulateurs ; une telle disposition est utilisée pour l'unification de l'heure le long d'une voie ferrée.

### Les réseaux horaires combinés

Les quelques schémas que nous allons étudier démontrent la possibilité d'unifier tout le service horaire, aussi compliqué qu'il soit, de grands hôpitaux,

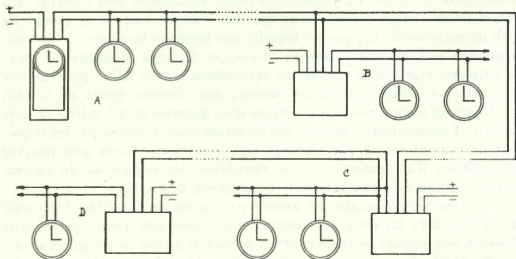


Fig. 306. Réseaux satellites alimentés par une ligne commune.

A) Réseau primaire. B) Réseau satellite branché en parallèle sur la ligne d'alimentation. C) Réseau satellite placé à l'extrémité de la ligne d'alimentation et créant une nouvelle ligne. D) Réseau satellite final.

de banques, de musées, d'usines de tous genres, de centrales électriques, d'églises, etc.

*Schéma* (fig. 307). L'installation horaire que représente ce schéma est celle d'une grande fabrique d'horlogerie mais pourrait aussi bien être celle de tout autre établissement industriel ; les services qui doivent être assurés sont les suivants :

Distribution et indication de l'heure dans la plupart des locaux de la fabrique (horloges sautant la minute).

Indication de l'heure par compteurs électro-chronométriques dans les ateliers de réglage et dans les locaux de contrôle de la marche des montres.

Indication de l'heure à l'extérieur du bâtiment par une horloge à quatre cadrans installée dans une tourelle.

Commande d'un certain nombre d'appareils de pointage sur cartes des temps de présence du personnel.

Signalisation par sirène à moteur électrique annonçant à l'avance le début du travail.

Signalisation par sonneries électriques dans différents groupes d'ateliers du début et de la fin du travail et de l'heure de certaines opérations.

*Composition*. L'horloge mère de précision est munie d'un balancier battant la seconde, dont les oscillations sont entretenues par un échappement de Hipp ; le distributeur d'impulsions de courant polarisées alimente chaque minute deux lignes sur lesquelles les horloges secondaires sont réparties. Un contact fermé chaque seconde alimente, par l'intermédiaire d'un groupe de relais de polarisation, la ligne sur laquelle sont branchés les compteurs électro-chronométriques muraux (diamètre 30 cm.) et de table (diamètre 10 cm.) ; ces derniers, munis d'un cordon de raccordement avec fiche, peuvent être transportés et installés, selon les besoins, aux diverses places de travail.

L'horloge monumentale, à 4 cadrans d'un diamètre de 2,5 mètres chacun, comporte 4 mouvements à moteur, mis en action chaque minute par les impulsions de courant émises par l'horloge mère : ces mouvements sont pourvus d'un système d'accumulation et de restitution des impulsions de courant motrices entrant en action à la suite d'une panne de courant.

La signalisation horaire est assurée par un coffret à contact représenté par la fig. 308 ; les deux mouvements secondaires entraînent chacun deux disques à programmes journaliers ce qui permet de mettre en action les sonneries de signalisation réparties sur 6 circuits indépendants et de grouper les signaux selon deux programmes hebdomadaires (I du lundi au vendredi et II le samedi) avec suspension de leur émission le dimanche ; un septième circuit commande, par l'intermédiaire d'un relais, la sirène à moteur alimentée

natuurwetenschap & techniek

jaargang 79 | nummer 4 | april 2011 | pr

# nwtmagaz

**Terugkeer naar Tsjernobyl:  
waar zijn nou die monsters?**



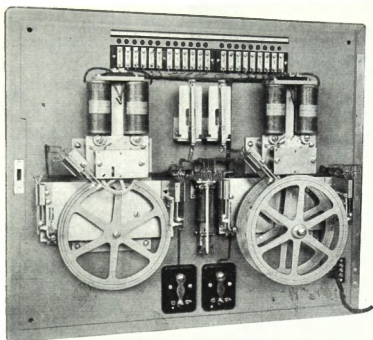
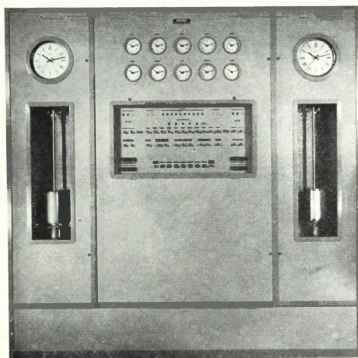
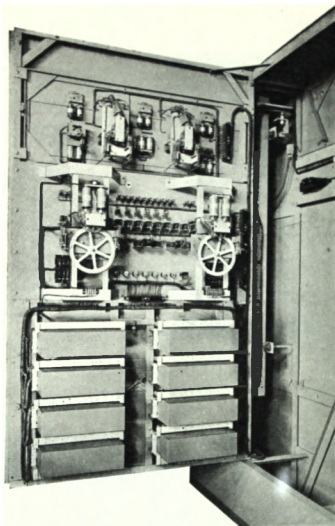


Fig. 308. Groupe de deux mouvements secondaires à contact pour signalisation par sonneries réparties sur 6 circuits, signaux groupés en deux programmes hebdomadaires.

Fig. 309. Centrale horaire à grande capacité, pour services horaires multiples (Favag S. A.).

6 lignes d'horloges secondaires à minute (capacité 300 horloges). 3 lignes de compteurs électro-chronométriques à seconde (capacité 150 compteurs). 1 ligne de commande des horloges monumentales (capacité 6 horloges). 2 circuits de signalisation par sonneries et sirènes. 2 régulateurs de précision avec dispositif de synchronisation et système de correction automatique de l'heure.





*Fig. 310. Le panneau des appareils de la centrale à grande capacité.*

*Partie supérieure du tableau : les mouvements secondaires à seconde, au quart de minute et à minute. Les contacteurs émettant les impulsions de courant à divers rythmes (5 - 10 - 12 - 15 et 30 secondes). Partie médiane : les mouvements secondaires à contacts pour l'émission des signaux horaires sur deux circuits indépendants. Les clefs de remise à l'heure et les fusibles d'appareils et de lignes.*

*Partie inférieure : les caissons contenant les relais de lignes.*

par le courant alternatif 220 volts et donnant un signal d'avertissement 20 minutes avant le début du travail. A remarquer la possibilité de mise en action des sonneries de chaque circuit par pression sur un contact manuel.

La source de courant est formée par un tableau d'alimentation générale branché sur le réseau lumière 220 volts ; de ce tableau partent deux lignes, l'une à courant continu 12 volts pour le réseau des horloges, l'autre à courant alternatif 60 volts pour ceux des sonneries.

Les fig. 309 et 310 représentent l'aspect extérieur et le panneau d'appareils d'une grande centrale horaire (construction Favag S. A.), pilotant un réseau similaire à celui que nous venons d'étudier ; les services assurés par cette centrale sont les suivants :

Indication de l'heure chaque minute (6 groupes d'horloges, capacité totale 300 mouvements).

Indication de l'heure chaque seconde (3 groupes de compteurs ou d'appareils électro-chronométriques, capacité totale 150 mouvements).

Commande d'appareils enregistreurs ou d'appareils électro-chronométriques par des impulsions de courant émises à différents rythmes (à intervalles de 5, 10, 12 et 30 secondes).

Commande de 6 horloges monumentales au rythme de quatre impulsions par minute.

Signalisation horaire par sonneries et sirènes sur deux circuits (bureaux et ateliers).

Les deux régulateurs sont munis d'un balancier battant la seconde dont les oscillations sont entretenues par un échappement de Hipp ; ils sont pourvus d'un système automatique de réglage et de remise à l'heure et d'un mécanisme manuel ou automatique de transfert de la commande du service horaire général d'un régulateur à l'autre. Le balancier de l'horloge mère de réserve est synchronisé par celui de l'horloge principale. La distribution des impulsions chaque minute se fait au moyen d'un distributeur à balai rotatif et de 6 touches de contact.

*Schéma* (fig. 311). Le réseau horaire d'une grande centrale électrique doit assurer les services suivants :

Distribution de l'heure par horloges secondaires à minutes dans les halles, locaux, ateliers et bureaux de la centrale.

Contrôle de la fréquence du courant livré au réseau force et lumière (voir à ce sujet le chapitre XIII).

Commande ou synchronisation des appareils de pointage des cartes de travail.

Synchronisation ou commande d'appareils enregistreurs pour la mesure continue des tensions, des intensités, des puissances, etc.

Emission de signaux horaires lumineux ou sonores, à des moments déterminés d'avance, pour la commande manuelle ou automatique ou pour le contrôle ou la lecture de certains appareils.

Composition : Horloge mère de précision avec pendule battant la seconde, contacts pour l'émission des impulsions de courant suivantes dans trois circuits différents :

inversées chaque minute pour les horloges secondaires, les appareils de pointage de cartes et le contacteur de signalisation ;

inversées chaque seconde pour l'appareil de contrôle de fréquence et les compteurs battant la seconde ;

non inversées toutes les 12 secondes pour la commande des enregistreurs.



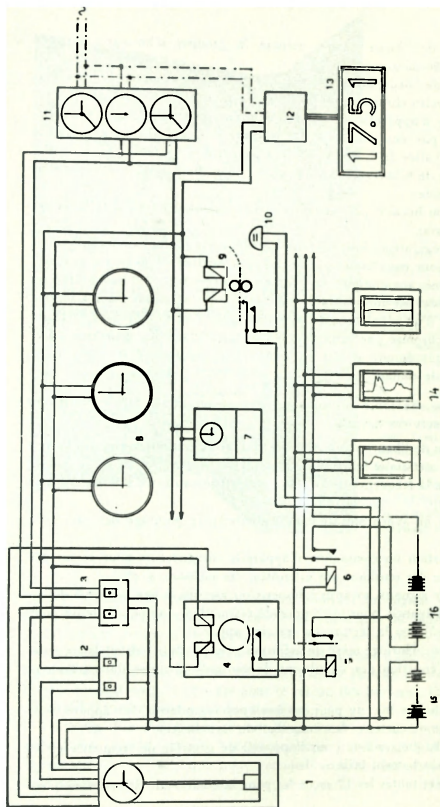


Fig. 311. Le réseau horaire d'une grande centrale électrique.

1) Horloge mère, 2 et 3) Commutateurs de remise à l'heure des horloges à minute et à seconde, 4) Mouvement secondaire à contact fermant toutes les heures un des circuits d'enregistrement, 5 et 6) Relais des circuits d'enregistrement, 7) Appareils de bontage des cartes de travail, 8) Horloges secondaires, 9) Contacteur de signalisation, 10) Appareil de contrôle de fréquence (voir chap. XIII), 11 et 12) Coffret de commande et horloge à chiffres changeants, 13) Batterie d'accumulateurs 24 V, 14) Appareils d'enregistrement, 15) Batterie d'accumulateurs 110 V.

Les horloges secondaires du modèle usuel sont installées dans les bureaux, les ateliers, les magasins, etc. ; l'heure est indiquée dans la halle des machines par une ou deux grandes horloges dont le cadran a un diamètre de 1 à 1,5 mètre et dans la salle de commande centrale soit par un ou deux compteurs muraux battant la seconde, soit par une horloge à minute pourvue de chiffres sautants.

Le contrôle de la fréquence s'opère par le moyen d'un appareil de comparaison permettant de contrôler d'une façon continue la concordance entre l'heure indiquée par le régulateur de précision et celle donnée par une horloge synchrone. Cet appareil, décrit au chapitre XIII, est en général placé dans un des panneaux du tableau central de commande.

La commande des appareils enregistreurs est effectuée par deux groupes d'impulsions de courant périodiques émises à la tension continue de 220 volts, l'un au rythme de 5 par minute, l'autre à celui de une toutes les heures. Les premières sont émises par le contact ad hoc de l'horloge mère, les secondes par un mouvement secondaire à contact. Afin d'éviter le passage du courant 220 volts par les appareils à courant faible, un relais à tube à mercure a été intercalé sur chacun des deux circuits. Pour accroître encore la sécurité de marche de cette dernière distribution, le dispositif d'émission des impulsions au rythme de 12 secondes a été doublé par un contacteur à moteur synchrone, dont le courant d'alimentation est fourni par la génératrice alimentant les services internes de l'usine.

Dans certaines exploitations, celle d'une centrale électrique par exemple, il est souvent nécessaire de prévoir à l'avance, à des moments déterminés fréquemment variables, l'accomplissement de diverses fonctions manuelles ou automatiques : enclenchement ou déclenchement d'un interrupteur ou d'un disjoncteur, lecture des indications de quelques instruments, etc. Le contacteur de signalisation, représenté par la fig. 312, est construit de façon à pouvoir émettre, selon un programme très facile à établir à l'avance, les impulsions de courant utilisables soit pour la mise en action de sonneries ou de lampes de signalisation ou pour la commande directe d'un appareil déterminé, disjoncteur, relais, etc. Il suffit pour cela de perforer aux endroits

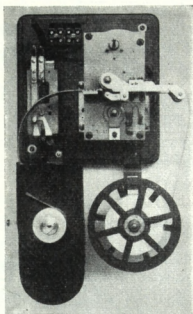
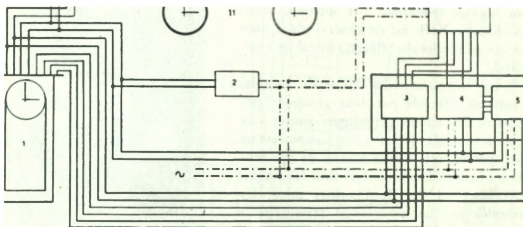


Fig. 312. Contacteur de signalisation à bande perforée.



*Fig. 313. Synchronisation des services horaires d'une église.*

*1) Horloge mère. 2) Source de courant. 3) Mouvement secondaire à contact commandant les moteurs de mise en volée des cloches. 4 et 5) Mouvement horaire et mécanisme de contact de la frappe des heures. 6) Groupe de contacteurs à courant fort, placés dans le clocher, commandant les moteurs des appareils de frappe et ceux des appareils de mise en volée. 7) Relais des mouvements des horloges du clocher. 8) Horloges du clocher avec mouvements à action directe. 9) Moteur des appareils de mise en volée des cloches. 10) Marteaux à moteur électrique pour la frappe des heures ou pour le tintement des cloches. 11) Horloges secondaires.*

voulus, au moyen d'une pince à emporte-pièce, une bande de papier pourvue d'une graduation horaire, puis de faire passer cette bande par le mécanisme d'entraînement du contacteur mû par un mouvement secondaire.

Les sources de courant sont les suivantes :

- a) Réseau horaire : batterie d'accumulateurs de 24 volts de la centrale téléphonique.

- b) Appareils enregistreurs : batterie de 220 volts du tableau et du pupitre de commande.
- c) Contrôle de fréquence : courant alternatif à contrôler.
- d) Contacteur synchrone : groupe à courant alternatif du service interne.

*Schéma* (fig. 313). Ce schéma montre comment il est possible de synchroniser toutes les fonctions horaires du clocher d'une église par une horloge mère, c'est-à-dire :

Indication de l'heure par les deux cadrans du beffroi et par quelques horloges secondaires installées dans divers locaux de l'église. Sonnerie des heures et des quatre quarts sur une et sur deux cloches. Mise automatique en volée des trois cloches à des jours et à des heures déterminés.

Composition : L'horloge mère, la source de courant et le tableau de commande sont installés dans un local fermé de l'église, sacristie, salle de réunion, etc., ce qui les soustrait à l'influence des intempéries, à la poussière et aux variations excessives de température et ce qui permet, de plus, leur contrôle facile.

L'horloge mère est un régulateur à balancier  $\frac{2}{3}$  de seconde, muni d'un échappement de Hipp pour l'entretien automatique des oscillations ; son mécanisme commande un dispositif à contact avec disque de 24 heures qui permet la sonnerie en volée de toutes les cloches ou de certaines d'entre elles à des jours et à des heures fixées d'avance. Le contact d'émission des impulsions de courant motrices est jumelé, un contact est fermé toutes les minutes (horloges secondaires) et l'autre tous les quarts de minute (horloges de clocher).

Le tableau de commande (fig. 314) comporte le coffret renfermant le mécanisme de comptage des impulsions de courant nécessaires pour la frappe des heures et celle des quatre quarts et les deux coffrets contenant les interrupteurs à commande électrique, assurant la mise

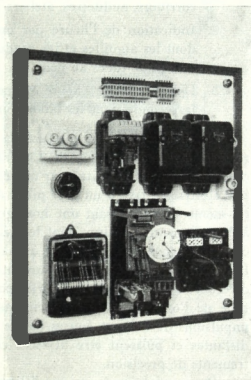


Fig. 314. Tableau de commande des mouvements individuels de frappe.

en marche des moteurs des appareils de frappe et des machines de mise en volée des cloches.

Les paires d'aiguilles des deux horloges du clocher (diamètre 3 m.) sont menées chacune par un mouvement secondaire à action directe ; étant donnée la forte intensité absorbée par ces mouvements, la commande se fait au moyen de relais à contacts secs à grande surface, placés dans le coffret du mouvement.

L'équipement de chaque cloche comporte un mouvement de frappe individuel, dont le marteau est commandé par un moteur électrique et un appareil de mise en volée commandé également par un moteur électrique.

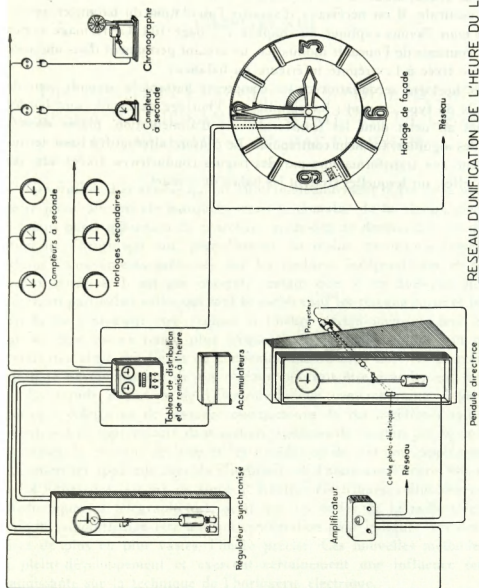
La source de courant principale est le réseau alternatif à 220 volts qui alimente tous les moteurs, les bobines des interrupteurs et le redresseur de charge de la batterie d'accumulateurs 12 volts.

*Schéma* (fig. 315). Cette installation, construite par Favag S. A., est celle qui assure le service horaire du Laboratoire suisse de recherches horlogères, à Neuchâtel, c'est-à-dire :

1. Distribution de l'heure par horloges secondaires à minutes dans les corridors, auditoires, ateliers et laboratoires du bâtiment.
2. Indication de l'heure par une horloge de façade, diamètre 2,25 m., dont les aiguilles et les graduations horaires doivent être éclairées au moyen de tubes au néon.
3. Distribution de l'heure par compteurs électro-chronométriques battant la seconde dans les laboratoires, les auditoires et certains bureaux.

Composition : Afin d'assurer à la distribution de l'heure la précision requise par la destination du Laboratoire suisse de recherches horlogères, le centre horaire est constitué par un régulateur de précision à poids et à remontoir électrique, fixé à un gros pilier de béton complètement isolé du bâtiment lui-même, synchronisant une horloge mère à balancier battant la seconde et à échappement de Hipp, dont le mécanisme commande les trois contacts des circuits à seconde, à minute et à quart de minute. Les conditions posées pour la synchronisation étaient les suivantes : la période de l'oscillation de l'horloge directrice ne doit pas être modifiée par le contact de synchronisation ; l'amplitude de l'oscillation du balancier asservi doit rester constante, afin que les impulsions de courant émises par le contact à seconde soient égales et équidistantes et puissent être utilisées comme échelle horaire pour les enregistrements de précision.

Pour satisfaire à ces conditions, la synchronisation est obtenue par le dispositif suivant : un rayon lumineux, émis par un petit projecteur extérieur, est reçu par une cellule photo-sensible ; sur la tige du balancier est fixé un



RESEAU D'UNIFICATION DE L'HEURE DU L.R.H.

SYSTEME **FAVAG**

NEUCHÂTEL

petit écran en aluminium, percé par une fente verticale, de telle sorte que le rayon lumineux ne puisse frapper la cellule que lorsque le balancier passe par la verticale. L'intensité de l'impulsion de courant fournie par la cellule est accrue par un amplificateur à lampes et excite toutes les secondes l'électro-aimant de synchronisation. Les impulsions étant émises au moment du passage par la verticale, il est nécessaire d'amortir l'oscillation du balancier asservi, comme nous l'avons expliqué au chapitre IV, page 108. Ce freinage s'opère par les courants de Foucault induits par un aimant permanent dans une pièce de cuivre fixée à l'extrémité inférieure du balancier.

Les horloges secondaires et les compteurs battant la seconde sont des appareils du type courant ; les aiguilles de l'horloge de façade sont bordées de tubes au néon dont les transformateurs d'alimentation, placés dans la queue des aiguilles, forment contrepoids. Le courant alternatif à basse tension est amené aux transformateurs par des bagues conductrices, fixées aux axes des aiguilles, sur lesquelles frottent les balais de contact.



## CHAPITRE XIII

### DISTRIBUTION ET UNIFICATION DE L'HEURE PAR RÉSEAUX UTILISANT DES SYSTÈMES DE LIAISONS QUI NE LEUR SONT PAS PROPRES

*Généralités.* Les années qui ont suivi immédiatement la fin de la première guerre mondiale ont été marquées, dans le domaine de la mesure électrique du temps par l'apparition de nouvelles méthodes de distribution ou d'unification de l'heure qui ont, partiellement du moins, permis de remédier à certains inconvénients présentés par les horloges indépendantes et par les réseaux horaires. Il est par exemple certain que, si les horloges indépendantes, en particulier celles qui sont branchées sur les réseaux force et lumière électriques, pouvaient être remises à l'heure périodiquement, leur emploi pourrait être encore rendu plus fréquent ; il est également certain que, si le coût très élevé des lignes de connexion des réseaux horaires pouvait être réduit, le développement de ces réseaux pourrait être grandement favorisé.

La rapide évolution de l'électrotechnique contemporaine a permis à l'horloger électricien de résoudre quelques-uns de ces problèmes soit directement, soit en superposant, dans certains systèmes de liaisons par fil ou même par ondes, le courant de base et les impulsions de courant supplémentaires actionnant les appareils chargés d'indiquer ou d'annoncer l'heure. On a ainsi vu les lignes des réseaux de force et lumière électriques, celles des réseaux téléphoniques et télégraphiques, ainsi que les ondes de la radiotélégraphie et de la radiodiffusion être mises à contribution pour indiquer, sur des territoires de plus en plus vastes, l'heure précise. Ces nouvelles méthodes sont en plein développement et exercent certainement une influence toujours grandissante sur la technique de l'horlogerie électrique.

A l'heure actuelle, nous pouvons les classer dans quatre groupes principaux :

1. Les horloges et les appareils horaires indépendants dont les aiguilles sont remises à l'heure périodiquement.

2. Les horloges et les appareils horaires dont les aiguilles avancent par sauts périodiques sous l'influence d'impulsions de courant ajoutées par une méthode quelconque au courant de base circulant dans la ligne.
3. Les horloges et appareils horaires à moteur synchrone ou à organe réglant synchronisé, branchés sur les réseaux à courant alternatif dont la fréquence est maintenue constante.
4. Les appareils indiquant l'heure d'une façon continue ou périodique, généralement par signalisation acoustique ou optique.

### Horloges indépendantes dont les aiguilles sont remises à l'heure périodiquement

La remise à l'heure périodique des horloges secondaires ayant été réalisée avec succès par divers constructeurs, il a paru de prime abord assez facile d'adapter ce principe à la correction des indications des horloges indépendantes. Il a fallu malheureusement constater que les difficultés étaient suffisamment grandes pour empêcher la plupart des constructions de résister à l'épreuve de la pratique.

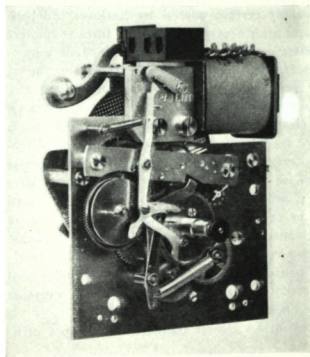
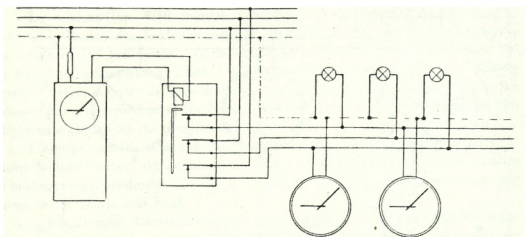


Fig. 316. Mécanisme de remise à l'heure d'une horloge indépendante « Zénith ».

*Horloge avec dispositif de remise à l'heure de la Fabrique des Montres Zénith.* L'horloge indépendante que nous avons décrite à la page 148 a été munie du dispositif de remise à l'heure que représente la fig. 316. Le principe de ce dispositif repose sur l'emploi de l'interruption momentanée du courant d'alimentation pour actionner le dispositif proprement dit de remise à l'heure des aiguilles ; ces interruptions sont produites deux fois en 24 heures à

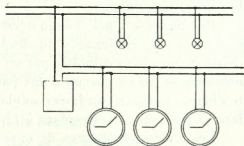


*Fig. 317. Horloges indépendantes remises à l'heure par une horloge à contact ; les horloges et les lampes sont alimentées par la même ligne.*

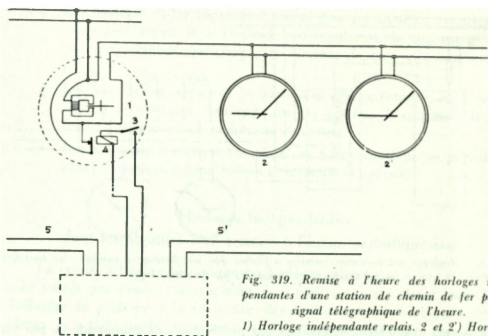
des moments exactement déterminés par une horloge de commande ou par un bouton poussoir et ne durent que quelques secondes.

Les fig. 317 et 318 montrent deux des schémas utilisés le plus couramment ; le premier représente un réseau dans lequel les horloges et les lampes d'éclairage sont branchées sur la même ligne, l'interrupteur de remise à l'heure coupe momentanément tout le réseau. Dans l'installation représentée par le second schéma, l'une des lignes alimente les lampes et l'autre les horloges ; seule cette dernière est coupée pour la remise à l'heure.

La construction de l'interrupteur de remise à l'heure dépend du schéma utilisé : pour des réseaux horaires comportant au maximum 6 horloges indépendantes branchées sur une ligne qui leur est réservée à l'exclusion des lampes d'éclairage, l'horloge régulatrice comporte un contact ordinaire fermé pendant 2 ou 3 secondes à 12 heures d'intervalle. Par contre, pour les réseaux dans lesquels lampes à incandescence et horloges indépendantes sont branchées sur la même ligne, il est nécessaire de prévoir un interrupteur bi- ou tripolaire, commandé par l'horloge mère et coupant deux fois par jour pendant quelques secondes le courant alimentant le réseau entier ; remarquons immédiatement que cette



*Fig. 318. Remise à l'heure d'horloges indépendantes par un interrupteur manuel ou automatique ; les horloges sont alimentées par une ligne indépendante.*



*Fig. 319. Remise à l'heure des horloges indépendantes d'une station de chemin de fer par le signal télégraphique de l'heure.*

*1) Horloge indépendante relais. 2 et 2') Horloges indépendantes. 3) Contact fermé par le mouvement de l'horloge. 4) Relais temporisé de remise à l'heure. 5 et 5') Lignes du télégraphe.*

solution est peu intéressante dès que le courant à couper devient quelque peu considérable et qu'elle est inutilisable lorsque le réseau alimente des appareils qui doivent obligatoirement rester continuellement sous tension.

Le mécanisme de remise à l'heure comporte, comme le montre la fig. 316, d'une part un rouage, véritable servo-moteur, dont la fonction est de replacer à sa position correcte l'aiguille des minutes et, d'autre part, un jeu de leviers et de détente provoquant, lors de l'interruption du courant, la mise en marche du rouage servo-moteur.

Le rouage est mû, lorsqu'il est libéré, par le satellite d'un différentiel placé entre les engrenages du disque de Ferraris et l'arbre de barillet ; sa vitesse de rotation est limitée par un petit volant régulateur. Ses deux derniers mobiles sont munis chacun d'une paire de goupilles qui, lors de la correction de l'heure, saisissent un levier solidaire de l'aiguille des minutes et le placent dans la position correspondant à l'heure exacte.

Les leviers et détentes de mise en marche du rouage servo-moteur sont libérés lors de l'interruption de courant par le relâchement d'une armature mobile fermant le circuit magnétique du moteur Ferraris ; ils sont remis en place automatiquement, prêts pour une nouvelle opération, dès que le rouage de remise à l'heure a accompli sa fonction.

Le schéma (fig. 319) montre comment ce système est appliqué à la remise à l'heure des horloges indépendantes de 7 stations d'une compagnie de chemins de fer suisses. L'impulsion de courant correctrice utilisée est le signal télégraphique de l'heure, transmis à 8 h. 31 min. 00 sec. par l'Observatoire astronomique de Neuchâtel à toutes les stations de chemins de fer suisses par l'intermédiaire des lignes télégraphiques P. T. T. et de celles des diverses compagnies de chemins de fer.

L'équipement de chacune des 7 stations comporte une horloge relais (1) dont la fonction est de préparer la remise à l'heure et un certain nombre d'horloges indépendantes (2—2'—2'') munies du dispositif de correction que nous avons décrit plus haut.

A 8 h. 20 min., l'horloge relais ferme le contact (3) qui insère le bobinage du relais (4) dans le circuit télégraphique (5) ; mais, comme l'armature du relais (4) est temporisée pour une durée de 25 secondes, elle ne réagit pas lors de la réception des brèves impulsions des signaux Morse qui parcourent le bobinage.

A 8 h. 31 min. 00 sec. le signal de l'heure débute et, comme il est formé par une impulsion (trait) d'une durée exacte de 30 secondes, l'armature du relais (4) réagit après la 25<sup>e</sup> seconde et interrompt le circuit des horloges indépendantes. Le processus de remise à l'heure débute immédiatement et, comme il dure 5 secondes, à 8 h. 31 min. 30 sec. les aiguilles sont remises à l'heure correcte.

A 8 h. 31 min. 30 sec., le signal est terminé, l'armature du relais (4) est relâchée et le courant est rétabli dans la ligne des horloges indépendantes. A 8 h. 40 min., le contact (3) est ouvert, éliminant le relais (4) du circuit télégraphique.

*Horloge de la Western Union (U. S. A.).* Cette horloge a trouvé une très large diffusion chez les abonnés des réseaux téléphoniques de la Western Union ; il s'agit également d'une horloge à remontoir électrique branchée sur le réseau lumière, la remise à l'heure, ou plutôt le contrôle de l'heure, s'opère toutes les heures au moyen d'impulsions de courant transmises par un fil pilote avec retour par la terre ; cette ligne est installée en même temps que celles de l'installation téléphonique de l'abonné.

### **Horloges et appareils horaires dont les aiguilles avancent par sauts périodiques**

Dès le moment où le développement des réseaux horaires a été contrarié par l'augmentation du coût d'établissement et d'entretien des lignes de liaison, on a pensé à utiliser pour la transmission des impulsions de courant

motrices certains procédés dont les techniques des télécommunications et des télécommandes faisaient déjà usage.

En effet, depuis plus de 60 ans, les télécommunications ont utilisé des procédés permettant l'emploi multiple des lignes de leurs réseaux : les débuts de cette technique se sont fondés sur les systèmes de Mercadier, de Gray, de Magunna et d'autres encore (utilisation de courants vibrés ou alternatifs de fréquences différentes) ou sur ceux de van Rysselberghe, de Cailho, etc. (utilisation simultanée du courant continu et du courant alternatif ou vibré). Toutefois, depuis ces débuts, les conditions d'utilisation des lignes télégraphiques ou téléphoniques ou de celles de transport d'énergie électrique ont complètement changé, ce qui a eu pour conséquence de rendre impossible l'application de systèmes simples, comme ceux de Cailho ou de van Rysselberghe. Il a fallu étudier de nouveaux systèmes, basés en grande partie sur l'utilisation de courants alternatifs de fréquences diverses, de telle sorte que, maintenant, il est possible de superposer le courant de base des lignes télégraphiques ou téléphoniques ou de celles des lignes de transport d'énergie et un ou plusieurs systèmes supplémentaires d'impulsions de courant, utilisables soit par les appareils de télécommunication, soit par ceux de télécommande.

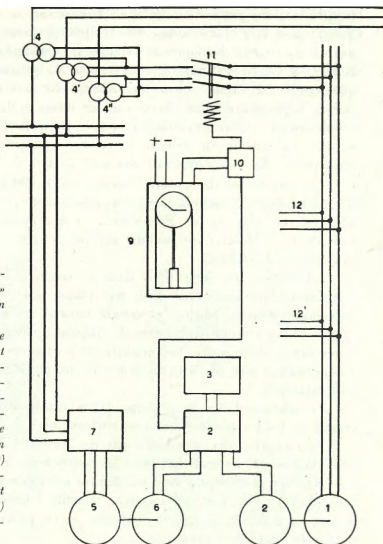
De nombreux essais ont été faits par les horlogers électriciens tendant à utiliser des procédés semblables pour la transmission depuis une horloge mère centrale des impulsions de courant destinées à actionner des horloges secondaires branchées sur les lignes des réseaux d'éclairage ou sur celles des réseaux de télécommunications. Il faut cependant reconnaître que, jusqu'à maintenant, ces tentatives n'ont pas encore donné de résultats appréciables : les bases de départ existent toutefois et il est certain que dans un proche avenir on utilisera pratiquement cette nouvelle méthode de distribution de l'heure.

En 1923, les ingénieurs allemands Jung et Muck ont conçu, sous le nom de « Tel », un système de télécommande basé sur l'émission dans les lignes du réseau, à des moments déterminés, d'impulsions de courant par une génératrice à fréquence musicale variable placée au centre de distribution. Les émissions se font à diverses fréquences, correspondant chacune à une manœuvre ou à une opération déterminée ; leur sélection, à l'appareil récepteur, s'opère au moyen d'un relais à lame vibrante synchronisée sur la fréquence réservée à la fonction de l'appareil.

Les inventeurs de la télécommande « Tel » ont cherché à appliquer leur système à la distribution de l'heure : le principe, dénommé par eux « Téléchrone », consistait à émettre toutes les minutes une impulsion de courant à fréquence déterminée reçue par un mouvement d'horloge muni d'un relais synchronisé.

Fig. 320. Centrale de télécommande système «Actadis» équipée pour la distribution de l'heure.

1) Génératrice à fréquence variable. 2) Moteur à courant continu. 3) Relais de fréquence. 4, 4' et 4'') Transformateurs d'injection dans le réseau. 5 et 6) Groupe d'alimentation. 7) Disjoncteur de mise en marche. 8) Mise en marche de la génératrice. 9) Horloge mère. 10) Relais commandant la mise en marche et l'interrupteur 11, 12 et 12') Lignes provenant d'autres dispositifs de commande.



Sous leurs formes primitives, les systèmes «Tel» et «Teléchrone» ne se sont pas introduits dans la pratique mais, après de notables améliorations, le premier est actuellement utilisé pour la commande à distance d'interrupteurs horaires ou d'autres dispositifs électromécaniques sous le nom de système «Actadis».

*Système de télécommande «Actadis» de la Compagnie des Compteurs S. A., à Paris.* Le schéma (fig. 320) représente la disposition des organes principaux du système «Actadis». Le dispositif d'émission des impulsions de courant est placé en un point central unique : usine génératrice, station de



transformation, poste de couplage : le courant de commande, dont la fréquence peut être choisie entre 400 et 1000 périodes par seconde, est produit par un alternateur à fréquence variable (1) entraîné par un moteur à courant continu à vitesse variable (2). La vitesse de rotation est amenée automatiquement à une valeur voisine de celle qu'elle doit avoir pendant l'émission, puis le réglage précis est obtenu par un relais de fréquence (3) agissant par l'intermédiaire d'un servo-moteur sur le rhéostat d'excitation du champ du moteur. La tension du courant est rendue constante par l'action d'un relais régulateur ; elle est en général fixée au 3 ou 4 % de la tension du réseau.

Les impulsions de courant, d'une durée de 20 secondes, sont émises par des contacteurs commandés à tour de rôle par un émetteur automatique constitué par un sélecteur de téléphonie ; l'avancement périodique du balais de contact de ce dernier est produit par un petit moteur monophasé à vitesse pratiquement constante.

L'injection des impulsions dans le réseau est effectuée au moyen de transformateurs montés en série sur chaque phase ; il est ainsi possible de superposer dans le réseau le courant normal et, à des moments fixés, des impulsions de courant successives de fréquence variées correspondant chacune à une action déterminée. Les manœuvres à exécuter peuvent être déclenchées manuellement par des boutons poussoirs ou automatiquement par un dispositif approprié.

Le schéma donne le principe de la transmission d'impulsions horaires émises toutes les minutes par une horloge mère (9).

La réception des impulsions par les appareils à commander s'opère par des relais sélecteurs branchés entre les conducteurs à basse tension du réseau ; ces relais qui absorbent à vide un courant correspondant à la puissance apparente de 0,15 VA, sont des appareils sélectifs à lame vibrante susceptibles de fermer ou d'ouvrir un circuit électrique ou de provoquer la mise en marche ou l'arrêt d'un arbre moteur.

La fig. 321 représente un relais à deux éléments permettant quatre manœuvres, par exemple l'ouverture puis la fermeture de deux disjoncteurs. Chaque élément est pourvu de deux lames vibrantes dont la fréquence de vibration propre  $f_1$  et  $f_2$  correspond à celle des deux impulsions de courant réservées à la manœuvre à exécuter.

Le principe de ce mécanisme, tel qu'il pourrait être adapté au rouage d'une horloge est représenté par la fig. 322. La lame vibrante (1), dont la fréquence de vibration propre correspond à celle du signal émis chaque minute, ferme le circuit magnétique d'un électro-aimant (2) polarisé par un aimant permanent (3). L'extrémité de cette lame porte un cliquet élastique (4) qui attaque la roue à rochet à fine denture (5) reliée par un embrayage approprié au premier mobile (6) du rouage de l'horloge.

Quand une impulsion de courant de fréquence convenable traverse la bobine de l'électro-aimant, la lame (1), excitée à sa fréquence propre, vibre en résonance et le cliquet (4) fait avancer la roue à rochet (5).

Les éléments de signalisation normaux comportent en général deux lames vibrantes et deux roues à rochet solidaires chacune de l'un des deux planétaires d'un différentiel ; le pignon satellite de ce dernier commande par un mécanisme approprié le dispositif à contact provoquant la manœuvre désirée.

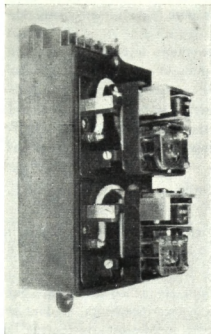


Fig. 321. Relais « Actadis » à deux éléments commandant chacun deux manœuvres.

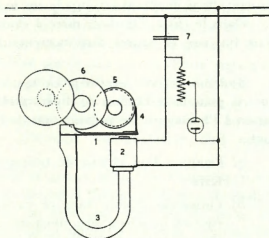


Fig. 322. Application du principe de relais « Actadis » à la commande des aiguilles d'une horloge.

- 1) Lame vibrante. 2) Electro-aimant. 3) Aimant de polarisation. 4) cliquet élastique. 5) Roue à rochet. 6) Rouage de l'horloge. 7) Condensateur bouchon.

L'opération effective dure quelques secondes mais, pour assurer la sécurité du fonctionnement, la durée de l'impulsion motrice est fixée à 20 secondes.

Le circuit électrique de l'appareil est constitué par les bobines de l'électro-aimant et par un condensateur dont la capacité est accordée pour une fréquence comprise entre celles des impulsions de commande.

L'examen de ce système permet de concevoir son emploi facile pour un service horaire :

- a) pour des cadrans de petit diamètre, le mécanisme du relais sélectif, convenablement modifié, peut être utilisé sans difficultés ;

- b) pour des cadrans de grand diamètre, le relais sélectif sera muni de contacts et les aiguilles seront mues par un mouvement secondaire approprié ; le courant continu nécessaire sera fourni par un transformateur et un redresseur branchés sur le réseau lumière ;
- c) le relais sélectif n'actionnera pas directement les aiguilles, mais fournira, une ou deux fois par jour, une impulsion correctrice remettant à l'heure les aiguilles mues par un mouvement indépendant.

A la centrale de commande sera placée une horloge mère dont les contacts fermeront chaque minute ou chaque demi-minute le circuit de commande du contacteur émettant les impulsions motrices.

Dans le cas c, l'horloge mère à contacts actionnera le contacteur une ou deux fois par 24 heures, aux moments choisis pour la correction de l'heure.

*Système Perlat-Durepaire.* Ce système a été utilisé en France, avant la guerre, pour la résolution de divers problèmes de télécommande ; son application à l'horlogerie ne présente pas de difficultés. Ses points caractéristiques sont :

- a) l'emploi d'un circuit de transmission formé par le fil neutre et la terre ;
- b) l'injection directe dans ce circuit artificiel d'impulsions de courant continu de sens alternativement inversé à la fréquence de 1, 2, 3, 4, 5, etc., par seconde, sous une tension de 10 à 20 volts ;
- c) la sélection des impulsions de courant d'une fréquence déterminée par des relais galvanométriques, placés aux postes récepteurs, et dont la fréquence propre de l'oscillation du cadre mobile est ajustée sur la fréquence à recevoir.

L'application de ce système de télécommande à l'actionnement des aiguilles d'une horloge électrique peut se faire de diverses manières, en particulier selon la méthode décrite sous lettre b au paragraphe précédent.

### Horloges et appareils horaires à moteur synchrone

Nous avons décrit au chapitre VI plusieurs horloges indépendantes dont le ressort ou le poids sont remontés par un petit moteur électrique à marche intermittente. Il était assez naturel que les constructeurs se soient demandés si ce moteur ne pourrait pas actionner directement, d'une façon continue, le rouage et les aiguilles sans l'intermédiaire d'un ressort ou d'un poids et sans l'aide d'un contact de mise en marche ou d'un frein automatique ; pour être

résolu, ce problème posait une condition absolue : trouver un moteur électrique dont la vitesse de rotation restât constante malgré les fluctuations inévitables des conditions d'alimentation et de marche.

Les essais tentés avec des moteurs à courant continu ou avec ceux à courant alternatif (moteurs à induction) ne donnèrent aucun résultat utilisable. Mais vers les années 1915, on songea à utiliser pour la mesure du temps la vibration périodique du courant alternatif des réseaux de lumière et de force et la construction du petit moteur synchrone résolut pratiquement le problème.

Nous avons étudié au chapitre I les propriétés et les caractéristiques du courant alternatif et nous avons indiqué sur quels principes se base sa production ; nous rappelons que la variation de la valeur de la tension (ou de l'intensité) du courant en fonction du temps peut être représentée par une sinusoïde. Le moteur synchrone est caractérisé par le fait que la vitesse angulaire de son rotor est régie par ces variations périodiques ; or, pour que la rotation de ce rotor soit utilisable pour la mesure du temps, il est nécessaire que sa vitesse ait une valeur déterminée et que cette valeur reste constante ; en conséquence, la fréquence du courant alternatif d'alimentation doit rester constante.

Lorsque cette condition est réalisée et que la sécurité d'alimentation est assurée, nous disposons d'un moyen extrêmement simple et efficace de distribution et d'unification de l'heure sur un territoire aussi étendu qu'on le désire ; la question des lignes est ainsi résolue puisqu'il suffit de brancher les horloges sur les conducteurs de distribution du courant force ou lumière. A remarquer que les horloges mères des divers groupements d'horloges réceptrices sont supprimées puisqu'elles sont remplacées par les machines génératrices de l'usine électrique.

### **Le contrôle et le réglage de la fréquence du courant alternatif**

La conclusion que nous tirons du paragraphe précédent peut s'énoncer ainsi : le branchement d'horloges à moteur synchrone sur un réseau à courant alternatif n'est possible que si la fréquence du courant reste continuellement constante. Cette condition est malheureusement très difficile à réaliser, car les circonstances d'exploitation des réseaux sont essentiellement variables et il est bien rarement possible de conserver constamment à la fréquence sa valeur nominale.

Dans la pratique, il est possible de déroger quelque peu à cette règle, pourvu que l'heure indiquée par les horloges reste suffisamment précise ; on peut, par exemple, admettre que pendant la journée, l'heure doit être indiquée avec une marge d'exactitude qui ne dépasse pas 10 à 15 secondes en plus ou en

moins de l'heure réelle et que, pendant la nuit, cette marge peut être légèrement augmentée, sans dépasser toutefois 30 à 40 secondes. Il en résulte :

- a) que la fréquence doit rester dans une bande dont les limites inférieure et supérieure sont distantes de 0,1 période de la valeur nominale pendant la journée et de 0,2 périodes pendant la nuit. En Europe, où la fréquence normalisée est de 50 périodes par seconde, ces limites sont respectivement 50,1 et 49,9 et 50,2 et 49,8 périodes par seconde ;
- b) que le défaut ou l'excès d'alternances doivent être compensés, dès que cela est possible, par une élévation ou une baisse correspondante de la fréquence ;
- c) qu'en 24 heures, la fréquence moyenne doit coïncider avec la fréquence nominale.

En conséquence, les usines électriques doivent être munies d'un appareil de contrôle horaire de la fréquence dont la construction et le rôle sont différents de ceux des appareils de contrôle et de réglage de la fréquence momentanée ; cet instrument est en quelque sorte l'horloge mère qui maintient à l'heure exacte les horloges à moteur synchrone réparties sur le réseau. En principe, ils permettent la comparaison continue entre l'heure indiquée par une horloge synchrone (heure du réseau ou heure synchrone) et celle marquée par une horloge de précision (heure fondamentale).

D'après les indications fournies par cet instrument, combinées avec celles données par les instruments de contrôle de la fréquence momentanée, il est possible de régler d'une façon très précise la vitesse des alternateurs en vue de répondre aux trois conditions que nous avons posées plus haut.

Diverses maisons européennes ou américaines construisent des appareils de contrôle de la fréquence, tous dérivant du même principe, nous nous bornerons toutefois à étudier les modèles les plus fréquents en Suisse.

*Appareils de contrôle de fréquence de la S. A. Favag, à Neuchâtel.* Les divers appareils de contrôle de fréquence construits par cette maison comportent tous, deux organes principaux : l'un pour la garde de l'heure exacte, l'autre pour la comparaison entre l'heure fondamentale et l'heure synchrone ; selon les types d'appareils, ces deux organes peuvent être ou combinés en un seul instrument, ou installés séparément en tenant compte des nécessités du service ou de la disposition des locaux.

La garde de l'heure exacte est confiée à un régulateur électrique avec pendule battant la seconde, semblable à celui que nous avons décrit à la page 160. Les impulsions de courant motrices, de sens alterné, sont émises toutes les secondes par un contact placé à la suspension du balancier. Ce garde-temps, dont la précision de marche est d'environ  $\pm 0,2$  sec. par jour,



Fig. 323. Instrument pour le contrôle de la fréquence, type Favag.

peut être muni d'un cadran de contrôle et d'un dispositif d'émission d'impulsions motrices toutes les minutes ; il fonctionne ainsi comme horloge mère apte à diriger tout le service horaire de l'usine électrique (voir schéma 311 du chapitre XII).

L'instrument de comparaison revêt, selon le service qui lui est demandé, les formes suivantes :

Fig. 323 : le cadran est muni de deux systèmes de trois aiguilles chacun indiquant en heures, minutes et secondes, le premier l'heure synchrone, le second l'heure fondamentale. L'un est conduit par un petit moteur synchrone,

l'autre par un mouvement électro-chronométrique recevant chaque seconde les impulsions de courant émises par le garde-temps.

Les deux aiguilles centrales marquent la seconde, l'une de temps synchrone, l'autre de temps fondamental ; tant que ces aiguilles sont superposées, l'indication de l'heure synchrone est correcte ; par contre, un décalage, facile à mesurer, révèle un retard ou une avance de l'heure synchrone par rapport à l'heure fondamentale. Les deux cadrans excentrés indiquent, en heures et minutes, l'un l'heure synchrone, l'autre l'heure fondamentale.

Fig. 324. Le moteur synchrone et le mouvement électrochronométrique sont reliés l'un à la première, l'autre à la seconde roue planétaire d'un engrenage différentiel ; une aiguille, solidaire du satellite, indique immédiatement en secondes l'écart positif (avance) ou négatif (retard) entre l'heure synchrone et l'heure fondamentale. La fig. 325 montre la disposition de ce mécanisme et la fig. 324 une horloge combinée comportant, outre le cadran de comparaison, deux cadrans indiquant en heures, minutes et secondes, l'heure synchrone et l'heure fondamentale.

L'instrument de comparaison peut être complété par deux contacts dont la position est réglable et qui ferment, en cas de dépassement de l'erreur tolérable, un circuit d'avertissement sonore ou lumineux. Ce circuit peut dans certains cas commander directement les appareils régulateurs de vitesse des génératrices.

L'horloge garde-temps et l'instrument de comparaison peuvent ou bien être combinés en un seul appa-

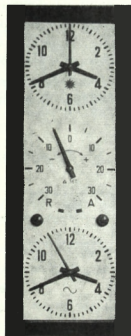


Fig. 324. Appareil de contrôle de fréquence combiné, système Favag.



reil ou bien être installés séparément, la première dans un local soustrait aux vibrations provenant de la halle des machines et le second dans le tableau des instruments de mesure de la salle de commande de la centrale.

### Le principe du moteur synchrone

Examinons pour débiter comment fonctionne le petit moteur à courant continu construit par Hospitalier pour l'entraînement d'un oscillographe (fig. 326). Devant la pièce polaire d'un électro-aimant fixe (stator) est placé un induit mobile constitué par une pièce de fer doux à quatre, six ou huit pôles saillants ;

sur l'axe de cet induit est fixé un contacteur qui envoie dans l'enroulement du stator une impulsion de courant au moment du passage de chacun des pôles saillants par la position intermédiaire indiquée par le dessin.

On se rend compte que l'on obtient une rotation de l'induit puisque, durant l'impulsion du courant, la branche de l'induit la plus rapprochée est attirée par l'électro-aimant, les lignes de force tendant à suivre le trajet le plus court. La vitesse de rotation n'est pas définie, car elle dépend de la masse de l'induit, de sa charge et de la tension de la source de courant. Par contre,

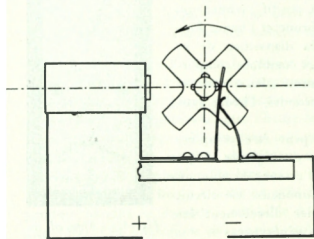


Fig. 326. Moteur à courant continu d'Hospitalier.

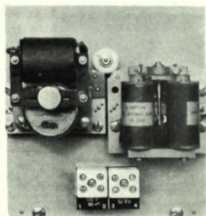


Fig. 325. Le moteur synchrone et le mouvement secondaire d'un appareil pour le contrôle de la fréquence, type Favag.

si nous alimentons le stator avec du courant continu pulsé fourni par exemple par un diapason à contact, les attractions se succéderont à un rythme régulier et, pour autant que la fréquence des impulsions reste constante, le rotor tournera à une vitesse constante déterminée par la fréquence de la vibration du diapason.

Substituons maintenant du courant alternatif au courant pulsé, la rotation du rotor continuera en synchronisme avec



la fréquence du courant d'alimentation, mais nous constaterons aussi que le rotor ne peut se remettre en marche de lui-même après une interruption du courant et qu'il est nécessaire de le lancer en lui donnant une impulsion à la main.

Pour nous rendre compte comment le couple moteur prend naissance, construisons un dispositif semblable à celui de la fig. 327, comportant un induit mobile constitué par une pièce de fer doux lamellée tournant entre les deux pièces polaires d'un circuit magnétique (stator) également lamellé, excité par un enroulement parcouru par du courant alternatif.

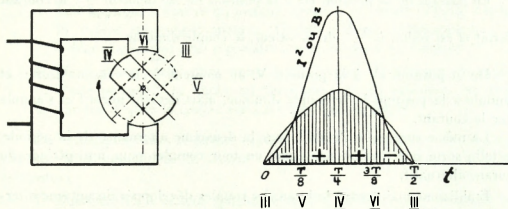


Fig. 327. Variation du couple moteur en fonction de la position du rotor.

Considérons les trois positions suivantes de l'induit lorsque le courant atteint son maximum :

1. L'induit est parallèle à la direction du champ magnétique.
2. Il est perpendiculaire à cette direction.
3. Il est placé dans une position intermédiaire, par exemple à un angle de  $45^\circ$ .

Dans le premier et le second cas, il tombe sous le sens que le couple est nul, puisque les deux pièces polaires attirent le rotor avec la même force. Un couple moteur ne peut donc exister que dans la position 3.

Étudions maintenant la variation du champ en fonction de la variation de l'intensité du courant et déduisons le couple moteur exercé sur l'induit pour quelques-unes de ses positions.

Admettons qu'au moment  $T_0$ , où le courant est nul, l'induit soit placé dans la position I (angle de  $45^\circ$  avec le champ magnétique). le couple exercé est nul.

L'induit, lancé à la main dans le sens indiqué par la flèche, passe de la position I à la position II, le courant et le champ croissent, mais exercent un couple négatif sur l'induit.

A la position II, au moment  $\frac{T}{8}$ , le courant a atteint  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  de sa valeur, mais le couple est nul.

Durant le passage de la position II à la position III, au moment  $\frac{T}{4}$ , le courant passe à sa valeur maximale et le couple augmente brusquement.

En passant de la position III à la position IV, au moment  $\frac{3T}{8}$ , le courant décroît et est réduit à  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  de sa valeur, le couple diminue.

De la position IV à la position V, au moment  $\frac{T}{2}$ , le courant décroît et s'annule à la position V, le couple diminue, mais devient négatif et s'annule avec le courant.

La même succession s'établit pour la deuxième alternance de la période, de telle sorte que l'induit accomplit un tour complet pour une période du courant alternatif.

Etablissons maintenant le bilan des couples développés durant une alternance ( $T$  à  $\frac{T}{2}$ ), en tenant compte que l'attraction magnétique varie selon le carré du flux magnétique (ou de l'intensité du courant). Nous constatons que l'addition algébrique des couples positifs et négatifs laisse un excédent de couple positif et que, de ce fait, l'induit continue sa rotation.

Les remarques suivantes découlent de ce qui précède :

1. Le rotor effectue un tour complet pour une période du courant alternatif ; le nombre de tours par minute est de :

$$N = \frac{60 f}{n}$$

$f$ , étant la fréquence du courant et  $n$ , le nombre de paires de pôles de l'induit. Pour le courant industriel de 50 périodes par secondes,

le nombre de tours par minute est de  $\frac{60 \cdot 50}{2} = 3000$ .

2. Le rotor ne peut démarrer de lui-même, car, quelle que soit sa position au moment de l'excitation, il prendra la position 2 et se placera, en vibrant légèrement, dans le sens des lignes de force du champ magnétique.

3. Le rotor doit donc être « lancé » par un moyen quelconque de façon à atteindre une vitesse convenable qui lui permette de « s'accrocher » ; il peut tourner dans un sens ou dans l'autre, les couples exercés sur lui pendant les positions symétriques étant égaux.
4. Le couple moteur s'exerçant par impulsions relativement espacées, l'induit devra franchir les points morts intermédiaires grâce à son énergie cinétique. Nous verrons plus loin les moyens qui sont utilisés dans ce but.
5. Nous avons vu qu'en franchissant certains secteurs, le rotor était soumis pendant sa rotation à un couple négatif. Si donc le couple résistant appliqué à l'arbre du moteur, ajouté à ce couple négatif, dépasse la valeur du couple moteur, l'induit s'arrête brusquement, il se « décroche » et ne peut reprendre son mouvement de rotation.
6. Nous avons admis dans notre étude l'angle de  $45^\circ$  comme origine d'une période : ce choix est théorique car, en pratique, cet angle variera d'après le couple résistant appliqué au rotor.

Les remarques faites ci-dessus, régissant la construction des moteurs synchrones nous permettent de classer ces derniers dans les trois catégories suivantes :

1. Mouvements à moteur synchrone dont le rotor ne peut démarrer par lui-même et doit être lancé à la main, directement ou par l'intermédiaire d'un mécanisme approprié.
2. Mouvements à moteur synchrone dont le rotor démarre par ses propres moyens (moteur auto-démarrreur).
3. Mouvements à moteur synchrone auto-démarrreur pourvu d'un dispositif mécanique horaire entrant en action lors d'une interruption du courant d'alimentation (mouvements à réserve de marche). Nous placerons dans cette catégorie les mouvements synchrones dont l'organe réglant est synchronisé par le courant d'alimentation.

#### **Mouvements à moteur synchrone dont le rotor ne peut démarrer par lui-même**

Le moteur à deux pôles que nous avons décrit ne peut être utilisé pour une application pratique : l'induit possède une vitesse de rotation beaucoup trop élevée, son lancement à la main est difficile, le couple moteur s'exerce par impulsions trop espacées.

La construction des moteurs modernes diminue, ou même supprime, ces trois défauts en faisant usage de stators à pièces polaires dentées et de rotors

munis d'une même denture. La fig. 328 montre le principe de cette construction : les deux pièces polaires sont pourvues d'une denture à dents carrées, chaque dent forme pôle saillant et correspond à une dent symétrique de la pièce polaire opposée ; le rotor porte une denture de la même forme et du même pas que celle du stator.

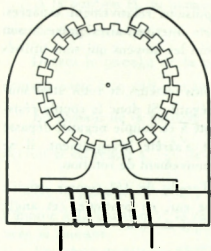


Fig. 328. Moteur synchrone multipolaire.

Grâce à cette disposition, les dents du stator attirent à chaque alternance celles du rotor de sorte que, si la vitesse de lancement est convenable, une dent du stator se substitue, après chaque alternance, à la suivante, ce qui entretient la rotation de l'induit.

On voit immédiatement que la vitesse de rotation est beaucoup plus basse et qu'elle dépend du nombre de dents selon la formule que nous avons déjà vue :

$$N = \frac{60 \cdot f}{n}$$

$f$  étant la fréquence du courant et  $n$  le nombre de paires de dents polaires. Par exemple, pour 15 paires de dents, nombre très courant, et pour une fréquence de 50 périodes par seconde,  $N$  sera égal à  $\frac{60 \times 50}{15} = 200$  tours par minute.

Dans le but d'égaliser la génération du couple moteur, en supprimant l'influence des impulsions magnétiques saccadées, on place sur l'axe du rotor un petit volant constitué par un disque de laiton et accouplé élastiquement avec le rotor.

Le rouage démultiplicateur entraîne, en général, trois aiguilles à rotation continue indiquant la seconde, la minute et l'heure. Les pivots et paliers du rotor doivent être soigneusement établis pour résister à l'usure produite par une vitesse de rotation variant selon les constructions entre 120 et 300 tours par minute.

*Roue phonique de Lacour.* Bien que cet instrument n'ait pas été utilisé pour l'équipement d'horloges, sauf pour celui de l'horloge à quartz, et que son emploi soit limité à la synchronisation des appareils télégraphiques Baudot, Murray, Western Union, etc., et à l'entraînement de certains dispositifs de mesure des durées, son principe est intéressant à étudier. La fig. 329 donne le schéma de l'appareillage qui permet de reconnaître le diapason fournissant le courant à fréquence constante, le stator constitué par 4 paires d'électro-

aimants et le rotor, munis, selon les appareils, d'une denture de 10 à 20 dents, suffisamment lourd pour former lui-même volant d'égalisation. Le rotor est mis en marche à la main et sa rotation se maintient en synchronisme avec la fréquence de la vibration du diapason ; cette fréquence peut être modifiée, si l'on désire augmenter ou diminuer la vitesse d'entraînement de l'appareil télégraphique.

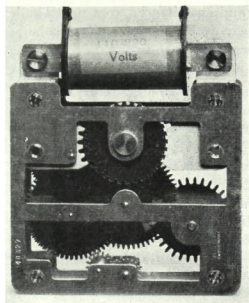


Fig. 330. Mouvement à moteur synchrone  
« Assa ».

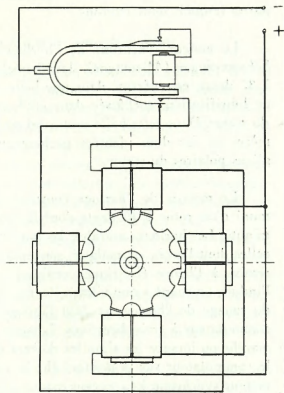


Fig. 329. Roue phonique de Lacour.

*Horloge synchrone « Assa », fabriquée par A. Schild S. A., à Granges.*  
Le principe de cette horloge est exactement le même que celui de l'horloge que nous avons étudiée précédemment et que nous avons illustrée par la fig. 328. Son mouvement est représenté par la fig. 330 ; le rotor, muni de 32 dents, tourne à la vitesse de 187,5 tours par minute ; sur son axe est monté un disque métallique assez lourd servant de volant. Le pignon solidaire de cet axe entraîne le premier mobile du rouage formé par une roue dentée en tissu bakélinisé « Novotex » ; le rouage lui-même est formé par un train d'engrenages découpés à la presse d'une façon extrêmement précise. La mise en

marche du rotor se fait au moyen d'un bouton molleté placé dans un encastrement pratiqué dans le cadran : l'heure est indiquée par trois aiguilles à rotation continue (heures, minutes et secondes).

De très nombreux moteurs synchrones ont été construits de façon similaire et ne présentent entre eux que de minimes différences d'exécution. Quelques constructeurs ont cependant muni leurs moteurs de dispositifs intéressants parmi lesquels nous citerons :

Le moteur synchrone de l'horloge construite par *F. Mauthe GmbH*, à *Schwenningen* (Allemagne), dans lequel le rouage complet, y compris le rotor à 32 dents, est enfermé dans une boîte cylindrique étanche, contenant l'huile de lubrification, enchâssée dans un logement fraisé entre les pièces polaires du stator. Dans cette boîte sont aussi placées, de part et d'autre du rotor, deux pièces en fer doux dentées prolongeant à l'intérieur de la boîte les deux pièces polaires du stator.

Le moteur de l'horloge construite par « *Heliowattwerke* » à *Berlin* est muni d'un rotor à 40 dents dont la vitesse de rotation est de 150 tours par minute. Les horloges murales, les horloges à double cadran, en général toutes celles dont l'accès est malaisé, sont munies d'un dispositif de démarrage et de remise à l'heure électrique consistant en un petit moteur asynchrone dont l'induit, tournant à une vitesse élevée, entraîne par son pignon un des mobiles du rouage de l'horloge et dont l'inducteur est relié par un troisième fil à un commutateur à trois directions. Lorsque le moteur synchrone doit être mis en marche ou lorsque les aiguilles doivent être mises à l'heure, il suffit de placer le commutateur sur la position II : le moteur asynchrone entraîne le rotor du moteur synchrone à la vitesse requise pour la marche synchrone normale et le rouage de l'horloge à une vitesse 20 fois supérieure à la vitesse normale, de telle sorte que la remise à l'heure s'effectue rapidement.

Le moteur de l'horloge « *Ato* », fabriquée par les *Etablissements Hatot*, à *Paris*, est équipé avec un rotor polarisé formé par un aimant permanent à l'acier nickel-aluminium. Lors d'une communication faite, en 1937, aux Journées internationales de Chronométrie, à Paris [25.6], M. Marius Lavet cite comme avantages de cette construction l'insensibilité des moteurs aux causes d'arrêt accidentelles et la grande facilité de démarrage et d'accrochage à la vitesse synchrone.

Le circuit magnétique du stator est constitué de telle sorte que les 25 paires de dents des deux pièces polaires soient imbriquées les unes dans les autres pour former une surface plane en regard de laquelle tourne le rotor. Ce



dernier est formé par un aimant permanent cylindrique (alliage léger acier-nickel-aluminium) accolé à un disque d'aluminium traversé par plusieurs rivets en alliage à grande perméabilité, constituant les pôles du rotor.

Dans la règle, ce moteur est utilisé dans une position telle que son axe soit vertical ; le pivot inférieur est pourvu d'un roulement miniature à billes formant crapaudine ; cette construction améliore certainement l'équilibrage du rotor et diminue les risques d'usure et de bruit.

### Les horloges synchrones à moteur auto-démarréur

Nous avons expliqué précédemment pourquoi les moteurs que nous venons de décrire, ne pouvant démarrer par eux-mêmes, doivent être munis d'un dispositif de lancement à la main. Aux Etats-Unis, plus particulièrement, il est apparu nécessaire d'étudier la construction de moteurs dont le rotor se mit en marche de lui-même, dès l'apparition du courant.

Il s'agissait donc de trouver un organe propre à faire démarrer automatiquement les moteurs que nous avons étudiés ci-dessus ; les constructions auxquelles on a abouti comportent donc toutes un élément synchrone accouplé ou incorporé à un élément asynchrone assurant le lancement du rotor.

En fait, cet élément asynchrone comportera un stator construit de façon à donner naissance à un champ tournant et un rotor propre à démarrer sous l'influence de ce champ. Nous avons donné au chapitre VI, en traitant de la construction des petits moteurs de remontoir, le principe des moteurs d'induction à champ tournant imparfait, ce qui nous permet d'examiner maintenant les solutions adoptées pour la construction des moteurs synchrones auto-démarréurs.

Avant d'aborder cette étude, il est utile de rappeler que, le premier, l'ingénieur genevois René Thury utilisa en 1899 [1], le moteur synchrone pour la mesure du temps ; il construisit, en effet, un réseau horaire comportant une génératrice à courant triphasé à vitesse et fréquence constantes alimentant un certain nombre de petits moteurs synchrones à champ tournant triphasé utilisés pour la commande de chronographes enregistreurs, pour provoquer la rotation à vitesse constante des coupoles abritant les équatoriaux des observatoires, etc. C'est par contre à l'Américain Warren que l'on doit en 1917 l'invention du petit moteur synchrone auto-démarréur qui est encore utilisé actuellement pour l'équipement des horloges synchrones.

*Horloge synchrone Warren.* L'étude de cette horloge nous montre clairement sur quel principe la construction des moteurs synchrones auto-démarréurs est basée. Reprenons le stator à circuit magnétique divisé et déphasé que nous avons décrit à la page 138 et remplaçons le rotor cylindrique en



cuivre ou en aluminium par une pièce identique en acier d'aimant, par exemple en acier au cobalt (fig. 331).

Dans ce stator deux champs magnétiques alternatifs, déphasés et indépendants l'un de l'autre sont engendrés et leurs composantes forment un champ tournant : ils induisent dans le rotor des champs magnétiques également déphasés et y produisent un couple dû à l'effet d'hystérésis de l'acier. Nous avons ainsi l'élément asynchrone cherché et le rotor peut démarrer par lui-même.

Quant à l'élément synchrone, nous constatons que le rotor est rendu semblable à un barreau aimanté par l'induction magnétique produite par le champ alternatif : nous nous trouvons donc en présence d'un moteur synchrone bipolaire dont le rotor doit être mis en marche jusqu'à la vitesse d'accrochage par un moyen extérieur.

Nous savons toutefois que la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone reste toujours inférieure, d'une quantité dénommée glissement, à celle d'un moteur synchrone : pour que cette vitesse asynchrone soit suffisante pour produire un accrochage, il faut franchir la zone du « glissement ». Le rotor est très léger, environ 4 grammes, le déphasage est faible,  $7^\circ$  à  $8^\circ$  de même que le glissement qui n'atteint que 1 à 2 % de la vitesse synchrone : en conséquence, le rotor est entraîné quasi instantanément par le champ tournant et la zone de glissement est franchie brusquement sous l'influence du champ magnétique ; dès ce moment, le rotor tourne à la vitesse synchrone.

En résumé, le moteur Warren démarre asynchroniquement comme moteur à champ tournant à hystérésis et fonctionne ensuite comme moteur

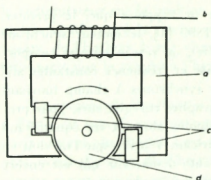


Fig. 331. Le principe du moteur synchrone Warren.

- a) Stator en fer lamellé. b) Enroulement du stator. c) Bagues de déphasage. d) Rotor en acier

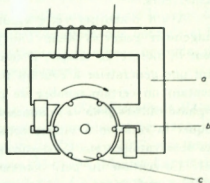


Fig. 333. Le principe du moteur synchrone Westinghouse.

- a) Stator en fer lamellé. b) bagues de déphasage. c) Rotor en tôles de fer minces à 6 pôles saillants et à enroulement en court-circuit

synchrone bipolaire. L'action prépondérante du champ magnétique principal conserve au rotor sa vitesse synchrone et lui permet d'engendrer un couple mécanique ; si le moteur se « décroche » par suite d'une surcharge, il se remet instantanément en marche sous l'action de l'élément asynchrone. La vitesse de rotation est de 3000 tours par minute lorsque la fréquence est de 50 périodes par seconde ; cette vitesse, malheureusement très élevée, doit être réduite par un train d'engrenages appropriés dont la construction n'est pas sans créer de sérieuses difficultés.

Quelques constructeurs ont entrepris en Europe et aux Etats-Unis la fabrication d'horloges et d'appareils horaires munis de moteurs Warren. Aux Etats-Unis, elles ont trouvé une énorme diffusion sous le nom de « Telechrone » et sont fabriquées par une usine importante à Ashland (Mass.) ; en Angleterre elles sont connues sous le nom de « Synclock » tandis que, en Allemagne, elles ont été fabriquées sous licence par la Société « A. E. G. » de Berlin.

Dans les horloges fabriquées par cette dernière société, le rotor est un disque d'acier et son axe pivote dans deux saphirs ; en bout d'arbre, un pignon entraîne le rouage enfermé dans une capsule étanche contenant une provision d'huile. La réduction est de 3000 à 1, puisque l'aiguille des secondes effectue un tour par minute. La consommation est de 1,5 watt et le couple disponible sur l'axe de secondes de 600 cm/g.

Dans le but d'éviter les inconvénients graves présentés par cette énorme réduction de vitesse, on a cherché à réduire la vitesse du rotor en augmentant le nombre de pôles du stator et du rotor.

Cette méthode a été adoptée par la Société « A. E. G. » de Berlin pour la construction d'un moteur à faible vitesse dont le stator et le rotor sont enfermés dans une capsule cylindrique de laquelle sort l'axe du rotor. Le stator a la forme d'un anneau creux à section rectangulaire dont la paroi extérieure et les faces latérales, en fer doux, constituent le circuit magnétique, tandis que la paroi intérieure est formée par les dents polaires ; dans l'intérieur de l'anneau est enfermé l'enroulement magnétisant monté sur un corps annulaire en matière isolante moulée. Les dents polaires sont au nombre de 8 pour chaque pôle et sont imbriquées les unes dans les autres, formant ainsi un logement cylindrique dans lequel tourne le rotor ; chaque dent polaire est divisée en deux branches, l'une libre, l'autre prise dans une armature de cuivre formant bague de déphasage.

Le rotor a la forme d'un tambour dont les joues sont constituées par deux rondelles de matière plastique et le manteau par un mince cylindre d'acier ; sa vitesse de rotation est de 375 tours par minute puisque le stator est pourvu de 8 paires de pôles ; la transmission du couple moteur s'effectue par le moyen d'un engrenage réducteur à vis sans fin.

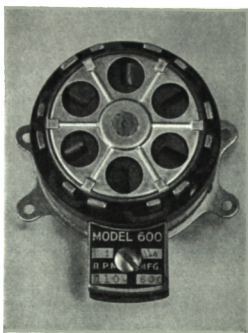


Fig. 332. Moteur synchrone de la Hansen Mfg. Co. Princeton (U.S.A.).

Un principe identique a été adopté pour le moteur « Synchron » de Hansen Mfg. Co. Ltd., à Princeton (U.S.A.), que reproduit la fig. 332. Le stator comporte 6 paires de pôles avec bagues de déphasage constituées par deux lames de cuivre pliées de manière à entourer toutes les demi-dents polaires dont le flux doit être déphasé. A remarquer que ces demi-dents ont une section plus faible que celle des demi-dents adjacentes, ce qui assure la prépondérance du champ synchrone.

Le rotor consiste en un disque léger en duralumin sur lequel est montée une mince bague d'acier tournant dans l'espace annulaire ménagé entre les dents de chaque pièce polaire.

Sur la face antérieure du moteur est appliquée une capsule étanche à bain d'huile, contenant le train d'engrenages réduisant la vitesse de 500 à 1 tour par minute.

La construction de cet appareil est des plus intéressantes ; malgré les exigences d'une exécution très précise et très soignée, il est fabriqué en énormes séries à un prix très minime.

Plusieurs constructeurs ont cherché à résoudre le problème de façon à éviter l'emploi d'un élément asynchrone pourvu d'un trop grand nombre de pôles munis de bagues de déphasage ; ils ont adopté une solution mixte en dotant l'élément asynchrone d'un plus petit nombre de dents que l'élément synchrone et en prenant les dispositions nécessaires pour que le couple synchrone soit toujours supérieur au couple asynchrone.

Les quelques constructions suivantes montrent comment le problème a été résolu :

*Moteurs de la Westinghouse Cy. et de la Sangamo Cy. (U.S.A.).* Le stator est identique à celui du moteur Warren, donc bipolaire avec pôles divisés : le rotor est, comme le montre la fig. 333 un cylindre constitué par des tôles de fer minces empilées, son manteau est muni de 6 rainures assez profondes, délimitant 6 pôles saillants, dans lesquelles 6 barrettes de cuivre, réunies par

leurs extrémités au moyen de joues de cuivre, forment un enroulement en court-circuit.

L'élément asynchrone est constitué par le stator à champ tournant agissant par courants d'induction sur l'enroulement en court-circuit du rotor ; la vitesse asynchrone est voisine de 3000 tours par minute. L'élément synchrone est constitué par le noyau à 6 pôles saillants du rotor dont la vitesse synchrone est de 1000 tours par minute.

Au moment où la vitesse du rotor atteint celle du synchronisme (1000 tours/minute), l'accrochage se produit sous l'action prépondérante du champ principal. Le couple moteur est élevé, car le couple synchrone est renforcé par celui qui est développé par l'élément asynchrone.

Le moteur « Westinghouse », construit en Europe par *Siemens-Halske, de Berlin*, est basé sur le même principe ; son rotor comporte 12 pôles saillants ce qui réduit sa vitesse de rotation à 500 tours par minute.

Une solution différente a été adoptée par quelques maisons, telles que « Cotna » à Paris, « Sangamo » à Ashland (U.S.A.), « Lip » à Besançon, « Dixi » au Locle, « Landis & Gyr » à Zoug (fig. 334), etc. Les éléments synchrones et asynchrones de ces moteurs sont, comme le montre la fig. 335 schématique, nettement séparés quant au rotor, mais confondus quant au stator.

L'élément synchrone comporte un stator pourvu de 10 à 12 paires de pôles et un rotor formé par un petit barreau aimanté dont les extrémités polaires sont pourvues de dents de mêmes dimensions que celles du stator.

L'élément asynchrone utilise le même stator, dont deux pôles opposés seulement sont munis de bagues de déphasage ; quant à son rotor, il est constitué par un disque ou par une cloche

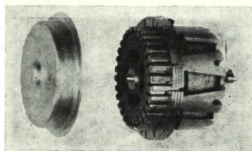
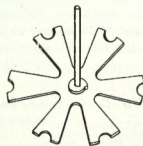
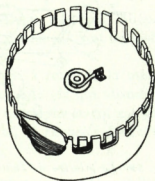


Fig. 334. Moteur synchrone auto-démarrateur, système Landis & Gyr.

Fig. 335. Principe du moteur synchrone Sangamo.

en aluminium fixés sur l'axe qui porte le rotor de l'élément synchrone.

Nous avons donc ici la combinaison d'un moteur asynchrone à induction et d'un moteur synchrone à attraction et répulsion magnétiques.

### Horloges synchrones à réserve de marche

Lorsque le courant d'alimentation fait défaut, panne de réseau, coupe-circuit fusible fondu, etc., le moteur de l'horloge synchrone s'arrête ; s'il est construit comme auto-démarrreur, il se remet en marche, mais l'heure qu'il indique est inexacte ; s'il ne peut démarrer par lui-même, il faut lancer son rotor et corriger l'heure indiquée par les aiguilles.

Il est vrai que des dispositifs de signalisation automatique ont été prévus par divers constructeurs, qui permettent de constater l'arrêt de l'horloge par l'apparition d'un voyant rouge ou par l'inexactitude des indications des aiguilles.

Pour parer à cet inconvénient assez grave, les constructeurs se sont ingénies à munir le moteur synchrone d'un dispositif suppléant à sa carence

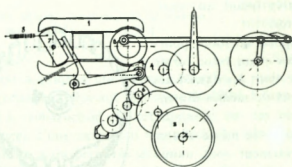


Fig. 336. Le principe de l'horloge synchrone à réserve de marche « A. E. G. » (dans cette position le moteur est sans courant, le rouage de l'aiguillage est entraîné par le barillet).

1) Moteur synchrone autodémarrreur. 2) Barillet. 3) Roue des minutes engrenant en marche normale avec le rouage 4 de l'aiguillage. 5) Mouvement de réserve de marche dont le mobile 6 peut être relié au rouage de l'aiguillage. 7) Armature oscillante rappelée par le ressort 8.

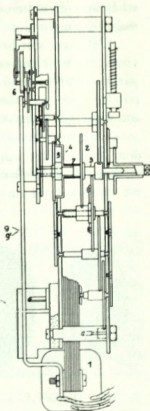


Fig. 337. Coupe verticale du mouvement synchrone à réserve de marche système « Assa ».

1) Moteur synchrone auto-démarrreur. 2) Roue des minutes. 3) Axe de la roue des minutes. 4) Barillet de la réserve de marche. 5) Ressort de barillet. 6) Echappement. 7) Accouplement élastique. 9 et 9') Dérivation magnétique entourant le balancier.

éventuelle ; nombre de ces constructions sont fort ingénieuses, mais n'ont plus pour elles le grand avantage de la simplicité et du coût modéré du moteur synchrone.

Les premières en date de ces horloges comportent deux mouvements gouvernés, l'un par le moteur synchrone (mouvement de travail) et l'autre par un organe réglant, pendule ou échappement (réserve de marche) ; un dispositif substitue automatiquement, lors d'une interruption de courant, le mouvement de réserve de marche au mouvement de travail.

Les deux horloges suivantes sont construites selon ce principe :

*Horloge à réserve de marche de la Société « A.E.G. », de Berlin [2b].* Le mouvement de cette horloge n'est plus construit actuellement, mais son principe, reproduit par la fig. 336, est utile à connaître.

L'organe synchrone, constitué par un moteur auto-démarrreur type Warren (1), est chargé de deux fonctions : l'indication de l'heure et le remontage du ressort de barillet (2) du rouage de la réserve de marche ; dans ce but, l'axe des minutes, entraîné par le rotor, est muni d'une roue dentée (3) engrenant, en marche normale, avec le rouage (4) de l'aiguillage et d'un disque à came qui, par l'intermédiaire d'un levier et d'un encliquetage, arme le ressort (2).

Le mouvement de réserve, semblable à celui des horloges indépendantes décrites au chapitre VI, comporte le rouage habituel (5) dont un mobile (6) peut engrener avec le rouage de l'aiguillage.

La substitution de l'organe de réserve de marche à celui de la marche synchrone normale s'opère par le déplacement du mobile (4) qui abandonne la roue dentée (3) pour engrener avec la roue (6). Ce déplacement est commandé par une armature (7), attirée à l'état normal, et rappelée lors d'une interruption de courant par le ressort (8).

*Horloge à réserve de marche « Assa », fabriquée par A. Schild S. A., à Granges.* Le mouvement de cette horloge est reproduit par les fig. 337 et 338 ; sa partie synchrone est constituée par un moteur auto-démarrreur genre Warren (1) dont le rotor commande, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages, les deux aiguilles indiquant l'heure et la minute. La roue des minutes (2) de ce rouage est solidaire de l'arbre (3) d'un barillet (4) logeant le ressort moteur (5) du mouvement de réserve de marche ; un dispositif à friction empêche le ressort de dépasser la limite fixée pour son armage.

Le mouvement de réserve est mû par ce ressort (5) qui lui assure une réserve de marche de 7 heures et il est réglé par un échappement à ancre (6) ; son axe des minutes est lié par un embrayage (7), n'agissant que dans une direction, avec le corps du barillet (4). La serge du balancier circulaire de



l'échappement (6) est munie d'une pièce de fer doux (8) et est entourée par les deux pôles (9 et 9') d'une dérivation magnétique prise sur le circuit magnétique du moteur synchrone.

Le fonctionnement de cet appareil est le suivant :

Tant que le courant alternatif alimente l'horloge, la dérivation magnétique (9 et 9') immobilise l'échappement en attirant la pièce de fer doux (8)

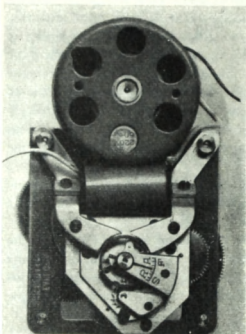


Fig. 338. Horloge synchrone à réserve de marche « Assa ».

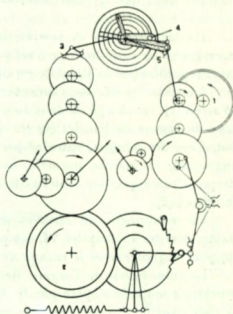


Fig. 339. Mouvement à réserve de marche  
Fr. Mauthe GmbH.

- 1) Moteur synchrone. 2) Barillet du ressort.
- 3) Echappement à chevilles. 4) Piton d'attache du spiral porté par le levier 3.

fixée à la serge du balancier et le moteur synchrone entraîne le rouage et les aiguilles tout en armant le ressort (5) du mouvement de réserve.

Lorsque le courant est interrompu, le balancier est libéré par la désaimantation de la dérivation magnétique et l'embrayage (7) lie le rouage du mouvement de réserve au ressort (5) et à l'axe de l'aiguille des minutes : un encliquetage (10), fixé au dernier mobile du rouage synchrone évite l'entraînement de ce dernier par le mouvement de réserve de marche.



### Horloges à organe réglant synchronisé

L'un des corps de rouage des horloges que nous venons d'étudier n'est mis en mouvement que lors des interruptions de courant, donc assez rarement ; la pratique a montré qu'une marche intermittente de ce genre présente de notables inconvénients, en particulier la difficulté d'un huilage évitant le séchage de l'huile.

Plusieurs constructeurs ont cherché à éviter cette difficulté en synchronisant par le courant alternatif l'organe réglant d'une horloge indépendante, permettant ainsi au rouage complet de fonctionner sans interruptions.

Diverses solutions fort ingénieuses ont été proposées et réalisées avec succès.

Nous mentionnons par exemple celle qui a été adoptée aux U.S.A. pour l'horloge « Hammond » à courte réserve de marche : un moteur asynchrone à induction arme un fort ressort contenu par un barillet, la vitesse de rotation du rouage est réglée, tant que le courant circule, par un rotor en fer pourvu d'une denture, soumis à l'action synchronisante d'un électro-aimant parcouru par le courant alternatif. Lors d'une interruption de courant, un frein à force centrifuge se substitue au rotor synchronisé et agit, d'une façon intermittente, pour régulariser la rotation du rouage.

*Horloge synchrone de la Maison F. Mauthe, à Schwenningen (Allemagne).* Cette horloge, apparemment construite en communauté par les Maisons « Mauthe », « A.E.G. » à Berlin et « Heliowattwerke » à Berlin-Charlottenbourg, est représentée schématiquement par la fig. 339. Le moteur synchrone auto-démarrreur « A.E.G. » arme, par l'intermédiaire d'un engrenage et d'un encliquetage, le ressort contenu par un barillet (2) ; ce mécanisme est disposé de telle sorte que le remontage du ressort s'effectue plus rapidement que sa détente afin d'accélérer la reconstitution de la réserve de marche après une interruption de courant.

Le rouage usuel communique son mouvement aux aiguilles des heures et des minutes et sa rotation est réglée par un échappement à chevilles (3). La synchronisation de ce dernier par le courant alternatif est obtenue par un moyen très original reposant sur la synchronisation de l'oscillation du système spiral-balancier par une impulsion extérieure dont la phase et la période sont les mêmes que celles de la vibration propre du système spiral-balancier.

Dans ce but, le piton d'attache extérieur du spiral (4) est placé sur un bras (5), pivotant sur l'axe du balancier, de telle sorte qu'il puisse légèrement osciller de part et d'autre de sa position moyenne ; ce bras est relié par une bielle à une manivelle solidaire d'une roue dentée entraînée par le moteur synchrone. Cette disposition permet ainsi au piton d'osciller avec une fré-

quence dépendant de celle du courant alternatif. Pour obtenir la synchronisation, le rapport des engrenages doit être tel que le piton vibre à la fréquence du système spiral-balancier, en l'occurrence 135 vibrations doubles par minute.

Nous nous trouvons en présence d'un système oscillant asservi à un oscilateur extérieur, le couple exercé par le second étant supérieur au couple propre du premier. La fréquence de la vibration du système spiral-balancier étant pratiquement assez variable, nous sommes à même de la rendre constante en lui imposant celle du courant alternatif contrôlé qui doit rester entre des limites très rapprochées.

La synchronisation est possible tant que la différence entre ces deux fréquences reste dans des limites déterminées ; dans le cas, assez rare du reste, de l'égalité entre les deux fréquences (résonance), l'amplitude croît fortement (voir chapitre IV, page 108) mais est limitée toutefois par les résistances mécaniques de divers genres qui sont opposées.

*Horloge à réserve de marche des Etablissements Henry-Lepaute, à Paris.*  
Cette horloge est, comme la précédente, une horloge indépendante à remontoir à moteur dont l'échappement est synchronisé directement par le courant alternatif du réseau. Cette disposition a pour première conséquence que tout mécanisme horaire, qu'il soit à remontoir mécanique ou à remontoir électrique, peut être muni, sous certaines conditions, de l'organe de synchronisation et être transformé ainsi en horloge synchrone à réserve de marche ; une deuxième conséquence intéressante est que le rouage et l'échappement sont continuellement en marche et ne sont plus soumis aux inconvénients résultant d'un arrêt prolongé.

La fig. 340 montre schématiquement le principe de l'organe de synchronisation ; la serge du balancier non coupé porte une petite pièce en fer doux placée de telle sorte que, pendant l'arrêt du balancier, elle se trouve entre les deux pièces polaires d'un électro-aimant dont le bobinage est parcouru par le courant alternatif. Cet électro-aimant est, en plus, soit polarisé par un aimant permanent, soit soumis à l'action d'un deuxième bobinage parcouru par un courant redressé.

Le fonctionnement de ce dispositif peut s'expliquer de la façon suivante : le balancier de l'échappement bat 18 000 vibrations par heure de telle sorte que la petite pièce de fer doux dont il est muni passe 5 fois par seconde entre les pièces polaires. D'autre part, le champ magnétique entre ces pièces polaires passe par un maximum 50 fois par seconde. Il résulte de ce qui précède qu'à chaque dixième alternance la petite pièce de fer doux passe entre les becs des pièces polaires et est soumise à l'action du champ magnétique ; par suite de la rotation du balancier, la distance entre les pièces polaires et la petite

pièce de fer doux croît rapidement, de telle sorte que le flux magnétique créé par les alternances suivantes n'exerce qu'une influence minime sur la pièce de fer doux.

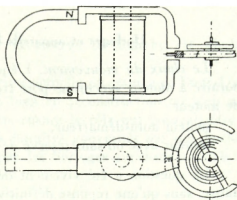
Si la fréquence du courant alternatif est synchrone avec celle d'un multiple entier, en l'occurrence 10, de la fréquence de vibration du balancier (sous-synchronisme) l'attraction et le freinage exercés sur la pièce en fer doux s'annulent : si l'horloge tend à retarder, la pièce en fer doux parviendra avec un peu de retard entre les becs des pièces polaires et elle sera attirée; si, au contraire, l'horloge tend à avancer, la pièce en fer doux aura dépassé l'entrefer et son mouvement sera freiné par l'attraction magnétique.

Mais ici intervient un des éléments essentiels de l'invention : nous constatons que l'impulsion motrice ou le freinage retardateur ont lieu au moment où le balancier passe au voisinage de la position d'équilibre or, nous savons que dans ce cas (voir chapitre IV, page 108) nous devons absorber l'excédent d'énergie fournie par l'organe synchronisant afin d'éviter un rebattement de l'échappement. Le moyen qu'a choisi l'inventeur consiste à utiliser les courants de Foucault induits dans la serge du balancier par le flux qui le traverse pour l'amortissement des oscillations.

L'emploi d'un aimant permanent présente toutefois l'inconvénient de freiner d'une façon gênante le balancier lors des interruptions de courant ; pour remédier à ce défaut, l'aimant peut être supprimé et l'électro-aimant est muni d'un deuxième enroulement parcouru par du courant alternatif redressé par un petit élément redresseur, l'amortissement n'est ainsi appliqué que pendant la période où l'horloge est sous tension.

*Horloges à réserve de marche de Siemens-Halske, à Berlin.* La Maison Siemens-Halske a construit une horloge basée sur le principe de la synchronisation des oscillations du balancier que nous venons de décrire, mais n'a pas muni le mécanisme d'un dispositif d'amortissement.

La même maison a fait breveter un dispositif de synchronisation basé sur un principe identique mais dont l'action, au lieu d'être d'origine électromagnétique, est basée sur l'emploi d'attractions et de répulsions électrostatiques dues aux champs alternatifs produits directement par des électrodes disposées à la périphérie du balancier.



*Fig. 340. Synchronisation du balancier par le courant du réseau alternatif, système Bertrand-Henry Lepaute.*

*Note. Dans l'exécution actuelle, la goupille en fer doux est remplacée par un petit paillon de même métal entourant la serge du balancier.*

## Horloges et appareils horaires à moteur synchrone

*Le choix du mouvement.* L'équipement d'une horloge ou d'un appareil horaire à moteur synchrone pose fréquemment le problème du choix du type de moteur :

- moteur auto-démarrreur,
- moteur avec ou sans réserve de marche.

La question a été vivement débattue, avant la guerre il faut le reconnaître, sans qu'une réponse définitive ait pu y être donnée : nous nous bornons donc à donner quelques indications générales qui faciliteront le choix du type de mouvement.

Tout d'abord, nous devons nous rendre compte de la « qualité », si l'on peut dire ainsi, du réseau qui alimentera l'horloge. Nous admettons sans autres que l'assurance a été donnée que la fréquence du réseau est contrôlée, c'est-à-dire qu'elle est maintenue constante ; pour le choix du type de mouvement deux points sont importants, mais souvent malaisés à déterminer, la fréquence et la durée des interruptions accidentelles du courant.

Il est vraisemblable que ces interruptions seront rares et de courte durée dans une localité importante où le réseau de distribution est conçu de façon à présenter le maximum de sécurité : alimentation par câbles souterrains, centres de distribution modernes chargés normalement, etc. Il est par contre tout aussi vraisemblable que ces interruptions seront plus fréquentes et souvent de longue durée dans un petit village isolé dans la montagne où l'alimentation se fait parfois dans des conditions précaires : lignes d'amenée et de distribution aérienne exposées aux coups de foudre, aux chutes d'arbres, etc.

En nous rappelant les caractéristiques des moteurs et mouvements synchrones, nous pourrions, selon les « qualités » du réseau, faire notre choix : nous constaterons en général que le moteur auto-démarrreur n'est réellement utilisable que dans des réseaux urbains offrant une grande sécurité d'alimentation et dont les « pannes » ne durent que quelques secondes ou, au contraire, sont suffisamment longues pour qu'une erreur d'indication d'heure soit facilement visible.

Dans tous les autres cas, le moteur à démarrage manuel doit être préféré, surtout s'il est pourvu d'un indicateur d'arrêt : voyant de couleur, aiguille des secondes.

Le mouvement à réserve de marche a été conçu pour parer aux inconvénients des interruptions de courant, malheureusement, il présente quelques désavantages qui en restreignent actuellement l'emploi : complication du mécanisme ; utilisation impossible pour les horloges de grand diamètre et pour celles qui sont installées en plein air ; épaissement des huiles du mécanisme de réserve de marche de certaines horloges, coût élevé de

l'horloge, surtout si l'échappement de la réserve de marche est de très bonne qualité.

On est obligé de constater qu'à l'heure actuelle où, sauf aux Etats-Unis, les réseaux d'énergie électrique sont ou bien en reconstruction ou bien surchargés, l'horloge synchrone ne joue pas encore le rôle qui pourrait être le sien. Ceci explique pourquoi les réseaux horaires gouvernés par une horloge mère n'ont pas encore été supplantés par les horloges synchrones, mais au contraire jouissent d'une faveur accrue.

*L'équipement des horloges synchrones.* L'emploi des mouvements à moteur synchrone est soumis aux mêmes règles que celui des mouvements secondaires, en particulier à la nécessité d'une proportion convenable entre le couple moteur et le diamètre de l'horloge ; comme nous venons de le voir, on proscrira l'emploi des mouvements à réserve de marche pour les horloges dont le diamètre du cadran dépasse 50 cm. et pour celles qui sont installées en plein air.

On veillera à l'accès facile aux horloges à moteur afin que la remise en marche et la mise à l'heure puissent s'effectuer sans difficultés.

En résumé, l'équipement et l'installation des horloges synchrones sera en tous points semblable à ceux des horloges secondaires, du moins en ce qui concerne celles dont le diamètre ne dépasse pas 1 mètre.

L'équipement des horloges de grand diamètre : horloges de clocher, horloges de rue, etc., a donné lieu à trois solutions intéressantes :

1. Les moteurs synchrones que nous avons étudiés ayant un couple trop faible pour l'entraînement d'aiguilles lourdes, divers constructeurs ont fait usage de petits moteurs synchrones industriels dont le démarrage est obtenu par un enroulement auxiliaire. Le diamètre des cadrans peut être considérable ; il faut toutefois remarquer que la remise à l'heure ne peut s'effectuer que manuellement en prévoyant éventuellement un engrenage et une manivelle auxiliaires.
2. Un procédé, souvent utilisé, consiste à accoupler à un petit moteur synchrone un contacteur émettant des impulsions de courant toutes les minutes ou toutes les demi-minutes ; ce dispositif joue le rôle d'horloge mère et peut conduire le ou les mouvements d'une horloge monumentale ou tout autre réseau d'horloges secondaires. Cette solution a trouvé de fréquentes applications pour remplacer des horloges mères usagées lorsqu'on désire synchroniser le réseau horaire existant par la distribution urbaine d'heure synchrone.
3. Une solution identique consiste à remplacer l'électro-aimant de déclenchement d'une horloge secondaire à moteur par un petit moteur

synchrone ; on conçoit facilement comment la commande du contact de mise en marche du moteur conduisant les aiguilles, peut être faite par un rouage et un disque à came appropriés. Il faut toutefois remarquer que l'emploi de cette solution supprime la possibilité de compléter l'horloge par un dispositif de remise à l'heure automatique.

Une application intéressante de cette solution a été faite par la Maison Henry-Lepaute, à Paris, pour la commande du cadran lumineux de l'horloge gigantesque qui avait été placée contre la Tour Eiffel. Le petit moteur synchrone entraînait par l'entremise d'un engrenage un contacteur multiple qui assurait l'allumage, puis l'extinction des lampes qui illuminaient les rayons successifs du cadran, figurant les aiguilles.

### Transmission de l'heure<sup>2</sup> par signaux sonores ou lumineux

Au lieu d'indiquer l'heure par la position d'aiguilles sur un cadran, on peut la faire connaître par des signaux lumineux ou sonores émis, soit d'une façon continue, soit à des heures déterminées de la journée ; ajoutons que cette méthode est plus particulièrement utilisée pour le contrôle de l'heure indiquée par les montres ou par les horloges mécaniques ou électriques.

Déjà en 1786, on avait installé, dans les jardins du Palais-Royal, à Paris, un petit canon dont la détonation indiquait l'heure de midi, ou plutôt, l'heure à laquelle le soleil passait au méridien de Paris. En 1863, pour la première fois, l'électricité fut utilisée pour la transmission d'un signal horaire sur tout le territoire suisse : l'Observatoire astronomique de Neuchâtel, qui venait d'être fondé en 1860, communiquait chaque jour, à une heure déterminée, l'heure précise au bureau central des télégraphes de Berne qui la retransmettait ensuite à tous les bureaux de télégraphe et à tous les offices postaux de Suisse.

Des méthodes semblables de transmission de l'heure se développèrent dans de nombreux pays et furent complétées dès 1910 (signaux horaires de la Tour Eiffel) par les services d'émission des signaux horaires radiotélégraphiques et téléphoniques.

Il est fort intéressant de constater que le besoin de la connaissance de l'heure exacte s'est fait sentir d'une façon si pressante depuis une vingtaine d'années que les administrations publiques et privées ont pris, depuis 1925, l'habitude de donner l'heure à ceux de leurs abonnés qui en font la demande : ce service a atteint une telle importance que certaines lignes des centraux téléphoniques en furent souvent embouteillées et que les techniciens durent chercher un moyen de l'automatiser. En 1931, l'horloge parlante fut construite et installée à Paris et, depuis lors, de nombreux centraux téléphoniques et



plusieurs postes de radiodiffusion transmettent à d'innombrables abonnés ou auditeurs l'heure parlée exacte.

Actuellement, la diffusion de l'heure par ces services horaires s'effectue par les moyens suivants :

- a) Signaux horaires transmis par les lignes télégraphiques ou téléphoniques et par les postes émetteurs de T.S.F.
- b) Indication parlée de l'heure.
- c) Signaux de précision à fréquence constante.

#### **Signaux horaires transmis par les lignes télégraphiques ou téléphoniques ou par les postes émetteurs de T.S.F.**

Il ne suffit pas que de nombreux observatoires aient été équipés pour la détermination et la conservation de l'heure, il faut que la connaissance de cette heure puisse être diffusée d'une manière aussi générale que possible. C'est la raison pour laquelle les administrations responsables de nombreux pays ont tout d'abord établi un service télégraphique de transmission de l'heure aux bureaux du télégraphe et de la poste, aux gares et stations de chemins de fer, puis, grâce aux progrès réalisés par la technique des télécommunications, ont mis ce service de diffusion à la disposition du public en utilisant les réseaux téléphoniques et les postes émetteurs de T. S. F.

Les signaux qui sont émis sont constitués par des successions d'impulsions de courant, longues ou brèves, souvent combinées d'après l'alphabet Morse ; en général, ils comportent un certain nombre de signes d'avertissement ou de préparation, suivis des signaux horaires proprement dits. Cet ensemble de signes peut être reçu à l'oreille, ou à l'œil s'il est lumineux, il peut être enregistré sur des diagrammes de précision, il peut enfin déclencher des appareils récepteurs appropriés.

Il ne peut être question d'entrer dans le détail des méthodes qui sont utilisées pour la transmission de ces signaux, car elles relèvent plutôt de la technique des télécommunications que de l'horlogerie.

Le principe de la partie horlogère de cette technique repose sur l'emploi d'un appareillage comportant deux organes principaux : l'horloge de précision et l'émetteur du signal. Ces appareils sont liés entre eux de façon à assurer la suite des opérations : préparation des appareils et des circuits électriques — émission éventuelle des signes d'avertissement — émission ou délimitation des signaux horaires proprement dits et remise en l'état initial de l'appareillage. Il est évident que l'émission des signaux horaires doit être



accomplie par l'horloge de précision en évitant, dans la mesure du possible, l'interposition d'organes intermédiaires.

A titre d'exemple, nous décrirons très brièvement deux applications de cette méthode : l'une réalisée par l'Administration des Chemins de fer allemands, qui transmettait jusqu'en 1944 un signal horaire depuis Berlin à quelques milliers de gares de son réseau, et l'autre, installée à l'Observatoire de Neuchâtel, pour la transmission des divers signaux horaires télégraphiques, téléphoniques et radiotéléphoniques.

*Centrale horaire de la gare de Silésie à Berlin [29.2-33].* La disposition générale de la première de ces installations, exécutée par Siemens-Halske et Normalzeit, est conçue de telle sorte que la gare de Silésie, à Berlin, équipée en centrale horaire principale, transmette le signal de l'heure, d'une part, aux gares de l'arrondissement de Berlin et, d'autre part, directement ou indirectement, à quelques milliers de gares et stations du réseau des chemins de fer allemands. Cette transmission s'effectue par 80 lignes télégraphiques, rayonnant depuis Berlin, sur chacune desquelles une dizaine de sous-stations horaires sont embranchées ; de certaines de celles-ci partent de nouvelles lignes qui atteignent les gares de leurs arrondissements respectifs.

L'équipement de la gare de Silésie comporte :

- un appareil permettant la comparaison entre l'heure astronomique, reçue directement de l'Observatoire de Babelsberg, et l'heure indiquée par l'horloge fondamentale (régulateur de précision Riefler) gouvernant le centre horaire,

- la centrale horaire proprement dite de l'arrondissement de Berlin, dont les deux horloges mères sont synchronisées par l'horloge fondamentale.

- le groupe d'appareils auquel est dévolue la fonction d'émettre le signal horaire et dont l'horloge, dite « M.E.Z. » (heure Europe centrale) est également synchronisée par l'horloge fondamentale.

La comparaison entre l'heure astronomique et celles indiquées par l'horloge fondamentale, les deux horloges de la centrale horaire et l'horloge « M.E.Z. » se fait, tous les jours à 4 h. 00 au moyen d'un appareil enregistreur à 5 styles inscripteurs.

L'asservissement des trois horloges à l'horloge fondamentale est obtenu par la synchronisation des balanciers ; à cet effet, l'horloge fondamentale est munie d'un contact émettant toutes les deux secondes une impulsion de courant dans les électro-aimants placés en bout de course des balanciers asservis.

L'émission du signal horaire est confiée à un appareil contacteur qui, déclenché automatiquement à 7 h. 58, transmet, par l'intermédiaire de relais,

l'avertissement M.E.Z. en signaux Morse et qui, à 7 h. 58 m. 10 s. branche sur les lignes de contact de l'horloge « M.E.Z. ». Ce contact reste fermé de 7 h. 58 m. 10 s. à 8 h. 00 m. 00 s., de telle sorte que la fin de l'impulsion de courant indique l'heure exacte de 8 h. 00 m. 10 s.

*Les services de diffusion de l'heure de l'Observatoire de Neuchâtel.*  
Depuis 1863, l'Observatoire de Neuchâtel a été chargé successivement de l'émission de divers signaux horaires ; à l'heure actuelle, ces émissions ont lieu aux heures suivantes :

- a) De 7 h. 42 à 7 h. 45, signal téléphonique transmis à la Direction générale des P.T.T., à Berne, qui l'utilise pour donner l'heure aux bureaux des télégraphes et des téléphones de ses réseaux.
- b) De 8 h. 31 à 8 h. 34, signal télégraphique transmis, d'une part, aux administration des chemins de fer suisses et, d'autre part, aux centres horlogers les plus importants de Suisse où il est reçu par les Bureaux officiels de contrôle des montres et par certaines fabriques d'horlogerie.

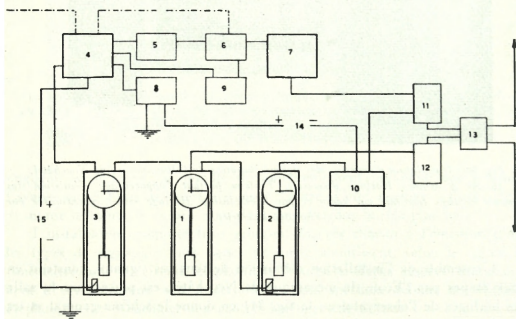
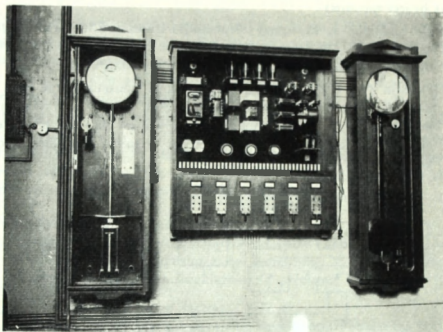


Fig. 341. Schéma de principe de l'installation d'émission des signaux horaires de l'Observatoire de Neuchâtel.

- 1) Pendule de précision directrice. 2) Régulateur synchronisé par la pendule 1. 3) Régulateur à balancier libre libéré par la pendule 1. 4) Dispositif à cames. 5) Relais. 6) Groupe d'alimentation, redresseur. 7) Oscillateur. 8) Relais. 9) Batterie de condensateurs. 10) Amplificateur. 11 et 12) Relais. 13) Manipulateur et commutateur de lignes.

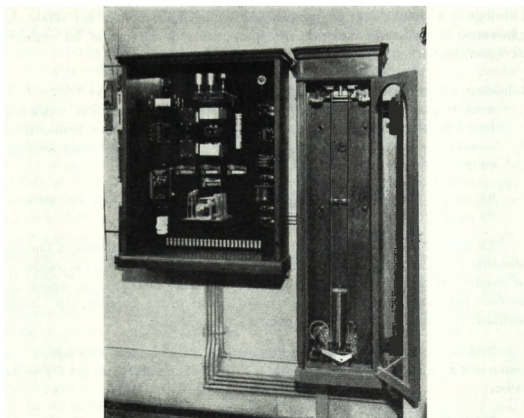
- c) De 8 h. 57 à 9 h. 00, signal téléphonique identique au signal *a*, mais transmis par le réseau téléphonique aux abonnés qui en font la demande.
- d) De 12 h. 29 à 12 h. 30, signal transmis par les postes de radiodiffusion suisses et par le service de la télédiffusion téléphonique.
- e) De 16 h. 29 à 16 h. 30, signal identique au précédent.



*Fig. 342. Installation d'émission des signaux horaires de l'Observatoire de Neuchâtel. De gauche à droite : Horloge directrice. Tableau portant l'appareillage d'émission des signaux horaires transmis par radio et par 'élédiffusion. Horloge relais synchronisée par l'horloge directrice.*

L'ensemble de l'installation d'émission de tous ces signaux, construit en deux étapes par l'Ecole de mécanique de Neuchâtel, est placé dans la salle des horloges de l'observatoire ; la fig. 341 en donne le schéma général et les fig. 342 et 343 en reproduisent l'aspect.

On constatera tout d'abord que toute l'installation est dirigée par une seule pendule de précision dont l'état de marche est comparé avant l'émission des signaux avec les indications des horloges fondamentales de l'observatoire. S'il y a lieu de le faire, sa remise à l'heure s'effectue au moyen de deux petits pendules auxiliaires accouplés au moment voulu à son balancier et dont la



*Fig. 343. Installation d'émission des signaux horaires de l'Observatoire de Neuchâtel.  
De gauche à droite : Tableau d'émission des signaux horaires transmis par téléphone ;  
horloge à balancier libre déclenché par l'horloge directrice.*

longueur est telle qu'une minute de fonctionnement provoque une seconde d'avance pour l'un ou de retard pour l'autre. Cette horloge « directrice » est munie de contacts de précision dont nous verrons le rôle plus loin.

L'installation comporte trois groupes réservés chacun à l'émission d'un des types de signaux ; leurs lignes de sortie aboutissent, selon le signal à transmettre, soit au circuit téléphonique Neuchâtel-Berne réservé exclusivement à ces émissions, soit à certains circuits spéciaux reliant la centrale téléphonique de Neuchâtel aux centres horlogers de Suisse.

Signaux transmis par radio et par télédiffusion (type *d* et *e*). Ces signaux sont constitués par deux traits de 5 secondes chacun suivis de six points marquant les 5 dernières secondes de la minute, le sixième, d'une autre tonalité, marquant la seconde zéro. Le groupe d'appareils destiné à leur émission comporte une horloge relais dont le balancier est synchronisé par

l'horloge « directrice » et le tableau sur lequel sont montés les relais, le générateur à fréquence musicale, les instruments de mesure et les organes de signalisation.

L'horloge relais porte tous les contacts préparatoires, c'est-à-dire :

deux contacts d'heures fermés par des goupilles fixées à deux roues qui font l'une, un tour en 24 heures et l'autre, un tour en une heure, trois contacts de minute commandés par trois disques à cames faisant un tour en deux minutes,

un contact à bascule actionné par une came faisant également un tour en deux minutes.

Le courant à fréquence musicale est produit par un oscillateur à lampes alimenté par un redresseur qui fournit aussi toutes les tensions continues nécessaires au fonctionnement des divers appareils ; la note plus élevée du sixième point est obtenue par une modification de la capacité du circuit oscillant lors de la fermeture du contact à bascule.

Préparation du signal. Cinquante secondes avant le début du signal, les contacts d'heures de l'horloge relais sont fermés et mettent en service l'oscillateur.

Emission du signal. Une demi-seconde avant le commencement du premier trait, les contacts de minute de l'horloge relais sont fermés ; à la seconde zéro, la fermeture du contact à seconde de l'horloge directrice établit un circuit contenant un relais dont l'un des contacts met l'oscillateur en circuit de ligne et dont l'autre maintient l'armature attirée, malgré les ouvertures et fermetures successives du contact à seconde. Le trait a ainsi été amorcé et sa fin est provoquée par la chute de l'armature du relais ensuite de la fermeture simultanée d'un des contacts à minute et du contact à seconde.

L'émission du second trait est préparée par la réouverture de deux des contacts à minute et exécutée par la fermeture du contact à seconde ; celle des 6 points est obtenue par la fermeture du contact préparatoire à minute, puis par les fermetures successives du contact à seconde de l'horloge directrice.

Remise en état. Dix secondes après le signal, le contact de l'horloge synchronisée est ouvert ce qui coupe tous les circuits d'alimentation.

L'étude de ces opérations montre que l'émission des signaux est préparée par un dispositif à cames conduit par le régulateur synchronisé, mais que le début et la fin de chaque trait, ainsi que les points de seconde, sont régis par les contacts de l'horloge directrice.

Signaux transmis par le réseau téléphonique. (Type *a* et *c*.) Le signal, du type ONOGO, est transmis durant trois minutes ; il comporte : la première minute, 6 traits de 4 secondes à intervalles de 4 secondes suivis de 3 points ; la deuxième minute, 5 groupes de signes trait-point (N) suivis de 6 points aux secondes 55 — 56 — 57 — 58 — 59 et 60 ; la troisième minute, 5 groupes de signes trait-trait-point (G), suivis de 6 points de seconde en seconde. Durant la deuxième et la troisième minute, les secondes muettes sont ponctuées par un battement.

Le groupe d'appareils comporte une horloge à balancier libre battant la seconde et un tableau sur lequel sont rassemblés les organes de commande, en particulier un contacteur à cames et un générateur de courant à fréquence musicale (800 périodes par seconde).

Au repos, le balancier de l'horloge est maintenu à son élancement maximale par l'armature d'un électro-aimant ; sa libération est provoquée par la fermeture d'un contact de l'horloge directrice mais, pour que la phase de son oscillation corresponde exactement avec celle du balancier de l'horloge directrice, un dispositif retardateur à spiral et balancier circulaire ne permet cette libération qu'avec un décalage exact de 0,5 seconde.

Le balancier de cette horloge commande deux contacts à seconde, fermés, le premier lorsqu'il est aux extrémités de sa course, le second, au moment où il passe par la verticale (contact de précision).

Le contacteur à cames, les contacts de l'horloge à balancier libre, le système de déclenchement de ce dernier et le générateur de courant à fréquence musicale sont mis en service, selon les nécessités, par 5 relais.

L'arbre à cames du contacteur est mû par une roue à rochet de 184 dents entraînée dent par dent par l'armature d'un électro-aimant excité chaque seconde par une impulsion de courant émise par le contact de l'horloge à balancier libre. Grâce à cette disposition, la fermeture des contacts du contacteur a lieu une demi-seconde avant celle du contact de précision.

Les phases du travail de cet appareil sont comparables à celles du dispositif que nous avons décrit plus haut, ce qui nous permet de n'en citer que les caractéristiques principales.

Préparation. Une minute avant le signal, un contact de l'horloge directrice est fermé et fait avancer d'un premier pas l'arbre à cames du contacteur ; les circuits et le générateur à fréquence musicale sont préparés.

Emission du signal. La fermeture du contact à seconde de l'horloge directrice provoque simultanément la mise en action du dispositif de libération du balancier libre de l'horloge et, par l'intermédiaire d'un relais, celle du générateur de fréquence musicale. La fermeture de ce contact a donc pour



effet d'amorcer le premier trait et, une demi-seconde après, de provoquer la première oscillation du balancier. Les contacts de ce dernier se ferment chaque seconde et les impulsions de courant qu'ils laissent passer entretiennent la rotation pas à pas de l'arbre à cames du contacteur. Il faut noter que le contact de précision du balancier libre se ferme, pour la première fois, lors du passage par la verticale, exactement une seconde après la fermeture du contact de l'horloge directrice.

Une demi-seconde avant la fin du premier trait, un des contacts du contacteur se ferme et laisse passer l'impulsion de courant émise par le contact de précision du balancier libre : le relais est mis en court circuit et ses contacts coupent l'émission dans le circuit de ligne du courant à fréquence musicale.

Le début de la transmission des traits suivants est réglée par l'émission, par le contact de précision, d'une impulsion de courant dans un circuit établi par le contacteur une demi-seconde avant le début du trait. Cette impulsion met en action le relais commandant l'émission du courant à fréquence musicale, action qui ne prend fin qu'au moment où le passage d'une deuxième impulsion de courant émise par le contact de précision est autorisée par le contacteur.

L'émission des points est autorisée par l'ouverture d'un contact au contacteur une demi-seconde avant le début de la série de points ; les impulsions de courant émises chaque seconde par le contact de précision peuvent ainsi passer et sont arrêtées par la fermeture de ce contact.

Les battements des secondes muettes des deux dernières minutes sont produits par la décharge d'un condensateur chargé durant la transmission des signes musicaux par une tension de 250 volts. Le contacteur ouvre un de ses contacts une demi-seconde avant le début de la série des battements et le ferme une demi-seconde avant la fin, laissant ainsi passer les impulsions de courant émises chaque seconde par le contact de précision ; ces impulsions excitent un relais dont le contact transmet au circuit de ligne les brèves décharges du condensateur.

Remise en état. Une demi-seconde après l'émission du dernier point, le premier contact du contacteur s'ouvre et coupe le circuit d'alimentation en courant alternatif ; simultanément l'arbre à cames du contacteur est remis à sa position de départ, ce qui a aussi pour effet de fermer un circuit à 220 volts alimentant un petit moteur à induction qui a pour mission de remettre à sa position de départ le balancier de l'horloge.

Signal télégraphique (type *b*). L'émission de ce signal se fait très simplement car elle n'est pas précédée ou accompagnée de signes d'avertissement.



L'horloge relais, utilisée pour l'émission du signal radio-téléphonique, porte deux contacts préparatoires placés en série, fermés de 8 h. 31 à 8 h. 34, laissant passer l'impulsion de courant émise une fois par minute à la seconde zéro par le contact de l'horloge directrice. Ces impulsions, dont la tension au départ est de 50 volts, sont transmises aux stations réceptrices par les circuits dits « fantômes » ou « superfantômes » du réseau téléphonique fédéral.

L'équipement des stations réceptrices comportait primitivement une pendule dite à « coïncidence », dont le balancier arrêté à son élongation maximale est libéré par l'impulsion de courant émise par l'Observatoire. Cette pendule permet de déterminer, à  $\frac{1}{60}$  de seconde près, l'état de marche de l'horloge de précision de la station réceptrice.

Actuellement, seules quelques stations sont encore munies d'une pendule de ce genre, les autres enregistrent les signaux sur la bande d'un chronographe enregistreur.

Une exception est à mentionner, c'est l'équipement très moderne du *Bureau de Contrôle des montres du Sentier* construit par la *S. A. Favag, de Neuchâtel*. Le but réalisé par cette installation est de remettre chaque jour à l'heure exacte un des deux régulateurs de précision du Bureau, cette opération devant se faire automatiquement, sans causer de perturbations dans la marche des réseaux horaires à minute et à seconde. Trois groupes d'appareils composent l'installation, soit :

- a) l'appareil de réception du signal horaire ;
- b) le régulateur de précision N° 1 muni du dispositif de remise à l'heure directe et des contacts pour l'émission des impulsions de courant motrices toutes les minutes et toutes les secondes ;
- c) le régulateur de précision N° 2 muni d'un dispositif de remise à l'heure indirecte par modification de la période d'oscillation du balancier.

L'appareil de réception du signal a pour fonctions successives :

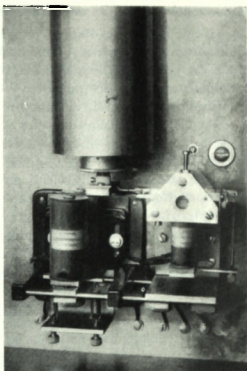
1. De préparer automatiquement dès 8 h. 25 les appareils et circuits pour la réception à 8 h. 31 00 du premier signal horaire ; dans ce but, un mouvement secondaire à contact ferme successivement les circuits de travail puis, lorsque toutes les opérations ont été effectuées, remet l'installation au repos, prête pour la réception d'un nouveau signal.
2. De recevoir sur un relais très sensible le signal horaire transmis par une ligne téléphonique depuis le central du Sentier.
3. De mettre en marche, lors de l'arrivée du signal, un mouvement auxiliaire à pendule dont la fonction est de rétablir les indications des horloges dans leur état initial si, pour une raison quelconque, le signal n'a pu être reçu.

#### 4. De diriger le signal horaire sur le régulateur N° 1.

Le régulateur N° 1 est une horloge mère Favag à échappement à palette de Hipp ; son mécanisme commande le contact à minute normal et son balancier le contact à seconde.

La fig. 344 montre comment, 4 secondes avant l'arrivée du signal, le balancier est retenu à la position extrême de sa course par l'armature d'un électro-aimant et est libéré lorsque ce dernier est parcouru par l'impulsion de courant du signal horaire. Cette dernière est aussi conduite dans un électro-aimant dont l'armature, au moyen d'une came en cœur, remet à l'heure exacte l'aiguille des secondes et le balai de contact du distributeur.

Le régulateur N° 2 est une horloge mécanique de précision, dont le rôle est de commander le compteur à secondes et les divers organes d'un appareil de contrôle de la marche des montres. Il joue également le rôle d'horloge de réserve et peut, dans ce cas, synchroniser l'oscillation du balancier de l'horloge N° 1. Le mécanisme de remise à l'heure est constitué par deux petites masses métalliques qui peuvent être adjointes au balancier, l'une provoquant le retard et l'autre l'avance nécessaires. La mise en place et l'enlèvement de ces masses sont opérés au moyen d'un mécanisme commandé par un petit moteur électrique, de telle sorte que l'opération peut se faire à distance d'une manière entièrement automatique.



*Fig. 344. Réseau horaire du « Bureau de Contrôle des montres » du Sentier. Le dispositif de relaxation du balancier du régulateur No 1 (Favag S. A.).*

#### Diffusion de l'heure par les horloges parlantes

L'invention, puis le perfectionnement du film sonore ont rendu possible la construction pratique de l'horloge parlante ; il n'était en effet pas admissible d'utiliser les disques ou rouleaux phonographiques dont l'usure eût été beaucoup trop rapide.

Comme pour les appareils précédemment décrits, l'appareillage comporte un mécanisme d'avertissement énonçant l'heure et une pendule de précision émettant le signal horaire ou « top ».

*Horloge parlante des Etablissements Brillié frères, à Paris.* Les organes de cette horloge, représentée schématiquement par les fig. 345 et 346 et dans son ensemble par la fig. 347, sont les suivants :

1. Le régulateur électrique de commande.
2. L'automate parlant.
3. Le générateur à circuit oscillant produisant le courant à fréquence musicale des tops.
4. L'amplificateur élevant au niveau voulu l'intensité du courant livré par les reproducteurs (pick-up photo-sensibles).

Le régulateur est une horloge demi-seconde identique à celle que nous avons étudiée aux pages 270 et ss. ; elle est munie de contacts fermant le circuit de synchronisation de l'automate parlant et celui de l'émission des

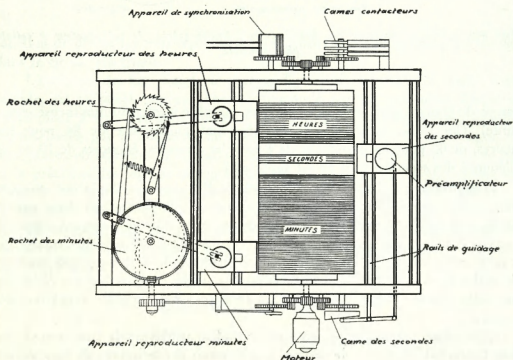


Fig. 345. L'horloge parlante des Etablissements Brillié frères : l'automate parlant.

tops horaires. Le plus souvent cette horloge est soit synchronisée, soit remise à l'heure par le service horaire d'un observatoire.

Quant à l'automate parlant, ses deux organes principaux sont le tambour porte-films et le groupe des trois reproducteurs à cellule photo-sensible. Le premier est un cylindre de 35 cm. de diamètre en duralumin, animé d'une rotation à vitesse suffisamment constante d'un tour en deux secondes par un petit moteur électrique ; sur sa périphérie sont fixés trois groupes de films sonores en cellon, impressionnés selon le système à intensité lumineuse variable : ceci veut dire que les ombres inscrites sur le film sont disposées en vagues ou bandes plus ou moins sombres au lieu d'être inscrites sous la

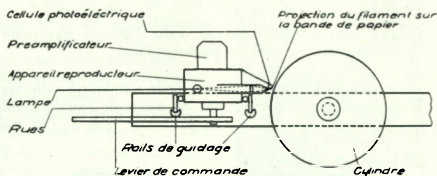
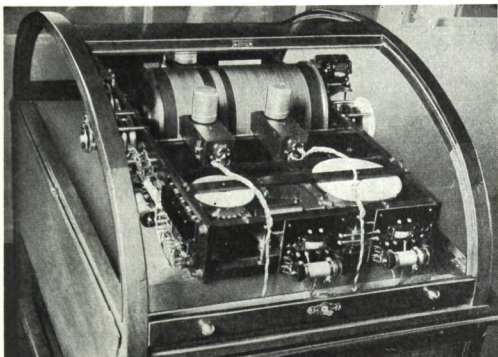


Fig. 346. L'horloge parlante des Etablissements Brillié frères : le reproducteur à cellule photo-sensible.

forme de franges plus ou moins dentelées (procédé à intensité lumineuse constante). Ces films circulaires, juxtaposés, sont au nombre de 24 pour les heures, de 60 pour les minutes et de 4 pour les secondes, énoncées de 10 en 10 (l'énoncé des secondes 0 et 50 est supprimé).

Les trois reproducteurs à cellule photo-électrique se déplacent, suivant une génératrice, le long du cylindre et traduisent en courant électrique variable la modulation lumineuse du film. Chacun de ces reproducteurs est construit comme le montre la figure schématique 346 ; le film, au lieu d'être éclairé en transparence, est illuminé frontalement sur une bande de moins d'un dixième de millimètre de largeur ; la cellule photo-électrique capte la lumière réfléchie par cette bande et en traduit la modulation par une variation synchrone de courant.

Ces reproducteurs se placent automatiquement devant le film à explorer sous l'action de leviers et de disques à cames mus par le rouage de l'automate. Un groupe de trois disques à cames, mû également par ce rouage, a pour



*Fig. 347. Le mécanisme de l'horloge parlante (Ateliers Brillié, Paris).*

fonction de placer les trois reproducteurs successivement, et au moment voulu, dans le circuit électrique.

L'émission du top, simple à chaque dizaine de secondes et triple à la minute, est préparée par un contact commandé par un quatrième disque à came placé à côté des trois autres et exécutée par le contact fermé chaque demi-seconde par le balancier de l'horloge de commande. Ces deux contacts sont placés en série sur le circuit sortant du générateur à fréquence musicale et la précision des tops ne dépend ainsi que de la précision de la marche de l'horloge de commande, sans que l'influence de l'automate parlant puisse se faire sentir.

Les courants émis par les reproducteurs étant très faibles, il est nécessaire d'intercaler un amplificateur du type connu entre l'horloge parlante et le central téléphonique.

#### **Signaux à fréquence constante**

Les signaux radiotélégraphiques à fréquence constante ne sont pas à proprement parler un moyen de distribution ou d'unification de l'heure ; ils n'en revêtent pas moins une réelle importance dans la métrologie horaire car leur

emploi comme étalon de temps permet le contrôle précis de la marche d'horloges de précision et celui de vibrateurs, pouvant à leur tour être utilisés comme étalons de temps.

Depuis 1945, certains postes radiophoniques des Etats-Unis procèdent à des émissions continues, ou limitées à certaines heures de la journée, sur les fréquences normales de l'industrie radio-électrique ou sur certaines fréquences musicales (en particulier la note la').

Ces fréquences peuvent être comparées avec celles produites par des vibrateurs à basse fréquence ou avec celles engendrées par des amplificateurs à démultiplication de fréquence tels que nous les avons décrits lors de l'étude des horloges à cristal de quartz. Il n'est donc pas difficile de contrôler la marche d'une horloge de précision avec celle de l'horloge synchrone commandée par le vibrateur ou par le démultiplicateur.

Pour être à même de garantir la constance de la fréquence, les postes émetteurs sont pilotés par des quartz travaillant dans les meilleures conditions possibles.

## CHAPITRE XIV



### LA PRATIQUE DE L'HORLOGERIE ÉLECTRIQUE

Ce dernier chapitre est consacré à l'étude de quelques points relatifs à la construction, au choix, à l'installation et à l'entretien des horloges électriques ; nous ne prétendons certes pas à épuiser ce vaste sujet, mais nous espérons que le lecteur sera satisfait de trouver ici ou là quelque indication éprouvée par la pratique qui pourra peut-être lui être utile.

#### Construction des horloges électriques

Enonçons au début de ce paragraphe un aphorisme qui paraîtra peut-être une vérité à La Palisse mais qui, en réalité, est trop souvent méconnu : la raison d'être d'une horloge est d'indiquer l'heure exacte d'une façon lisible. Cet aphorisme doit guider constamment le constructeur de l'horloge et l'amener à établir son projet, à choisir le matériel dont il formera l'horloge et à prévoir les méthodes qu'il utilisera pour sa fabrication de manière à répondre aux conditions suivantes :

1. Lisibilité parfaite de l'heure indiquée.
2. Sécurité complète assurée au fonctionnement du mouvement et au jeu des organes indicateurs (aiguilles ou chiffres sautants)
3. Adaptation constructive au milieu dans lequel l'horloge est placée.

A ces trois conditions utilitaires s'en ajoute une quatrième :

4. L'aspect extérieur de l'horloge, simple ou ornementale, doit être adapté au cadre dans lequel elle est placée et à la fonction qu'elle doit remplir ; ses proportions, sa forme, sa couleur et son ornementation doivent être établis avec soin et avec un souci constant de l'esthétique ; on évitera de sacrifier à la mode du moment, car on se rappellera que la mode varie, tandis que l'horloge subsiste.





*Fig. 348. Les trois types de graduation des cadrans.*

Avant de passer à l'analyse de la construction des horloges, nous poserons quelques principes généraux qui leur sont applicables quel que soit leur genre ou leur système.

*Le cadran.* La condition principale que le cadran doit remplir est de permettre la lecture facile de l'heure, c'est-à-dire l'appréciation rapide et sûre de la position des aiguilles ; la graduation qu'il porte doit donc être considérée comme un ensemble de repères facilitant la détermination de la position de chaque aiguille. Il s'en suit que la proportion entre les dimensions des signes horaires (chiffres, index, etc.) et le diamètre du cadran doit rester entre certaines limites que l'expérience a déterminées ; on admet volontiers que ce rapport doit être de 0,15 : 1. La forme des signes horaires est également importante et, en pratique, dépendra beaucoup de la distance à laquelle l'heure doit être lue ; il est donc indispensable d'examiner depuis l'endroit où le cadran doit être vu habituellement un dessin ou une maquette en grandeur naturelle de ce dernier.

Les signes horaires que l'on emploie actuellement pour la graduation des cadrans sont les chiffres romains, les chiffres arabes et des figures géométriques, en général des rectangles (traits d'heures, bâtons ou index). Nous donnons à la fig. 348 la reproduction de quelques-unes de ces graduations.

Le choix du type de cadran est chose très personnelle, il est donc bien difficile de donner à ce sujet des règles précises ; les quelques remarques suivantes pourront toutefois servir de guide :

La graduation romaine est certainement la plus élégante, mais aussi la moins lisible ; on la réserve donc volontiers aux horloges ornementales et aux pendules de style.

La graduation arabe est très lisible pour autant que les chiffres soient dessinés selon le caractère dénommé « antique » par les imprimeurs et « bloc »

par les techniciens ; par contre, elle est un peu « sèche » et manque d'élégance. De plus, les heures 10, 11 et 12, composées de deux chiffres, amènent un certain déséquilibre dans l'aspect du cadran. Cette graduation est en général réservée aux horloges utilitaires.

Quant aux cadrans dans lesquels les chiffres ont été remplacés par des figures géométriques : rectangles, cercles, losanges, etc., on devra admettre que leur manque d'esthétique est quelque peu compensé par une excellente lisibilité. Ces cadrans sont indiqués pour les horloges utilitaires comme aussi pour les horloges de grand diamètre ; leur aspect trop sec et trop géométrique peut être amélioré en utilisant des chiffres arabes ou romains pour les heures 3 — 6 — 9 et 12 et des figures géométriques pour les heures intermédiaires.

Au moment de l'introduction de la division de la journée civile en 24 heures, on a souvent muni les cadrans d'une deuxième graduation, portant en chiffres plus petits, les nombres 13 à 24. Cette pratique est heureusement abandonnée, car cette deuxième graduation était pratiquement illisible et encombraient inutilement le cadran.

*Les aiguilles.* Il est utile de rappeler que les aiguilles sont les organes visibles principaux de l'horloge, il est en effet parfaitement possible de lire l'heure d'après la position des aiguilles sans le secours du cadran. Leur forme a suivi la même évolution que la graduation des cadrans ; on a renoncé, sauf pour certaines horloges de style, aux aiguilles découpées et ajourées pour en venir à l'aiguille rectiligne à côtés parallèles ou légèrement convergents.

Pour certaines horloges, les réceptrices en particulier, il est indispensable d'équilibrer les aiguilles par rapport à l'axe de façon à diminuer le couple résistant et à l'égaliser selon les positions de l'aiguille des minutes ; il est dans ce cas nécessaire de munir les aiguilles d'une partie arrière ou queue et de charger celle-ci par un contrepoids.

Le matériel utilisé pour la construction des aiguilles fut longtemps la tôle d'acier ; à l'heure actuelle, la métallurgie de l'aluminium permet la construction de toutes les aiguilles, sauf peut-être les très petits index, en tôle d'aluminium ou d'alliage d'aluminium (peralumin, duralumin, anticorodal, etc.).

Les petites aiguilles sont plates, tandis que les plus grandes sont bombées ou munies d'une nervure destinée à augmenter leur rigidité ; les grandes aiguilles sont renforcées et constituent souvent de véritables constructions métalliques. Les aiguilles sont montées sur des canons qui se fixent à l'extrémité des arbres de minutes et d'heures.

Dans le but de simplifier la construction des horloges et d'augmenter la visibilité du cadran, la tendance actuelle est de supprimer la glace qui

protège le cadran et les aiguilles ; cette pratique n'est toutefois recommandable que si le mouvement est suffisamment puissant pour permettre une avance sûre des aiguilles ; on se rappellera que la glace placée sur le cadran protège les aiguilles contre tout déplacement intempestif et le cadran contre le dépôt de poussières, de gouttes d'eau, etc.

Ces remarques préliminaires faites, il nous est maintenant possible d'examiner quelques points de la construction des horloges elles-mêmes.

*Horloges à balancier pendulaire.* On remarquera tout d'abord que la majorité de ces horloges sont des horloges mères et que, de ce fait, leur utilisation revêt un caractère technique bien marqué.

A l'exception des pendulettes de table ou de cheminée ou de certaines horloges ornementales, on donnera à ces appareils une ligne aussi sobre que possible et l'on évitera de surcharger leurs cabinets par des ornements, des moulures, des glaces inutiles et d'un effet disgracieux ; on ne tombera naturellement pas dans l'excès contraire et on craindra de donner aux horloges l'aspect d'une caisse d'emballage ou d'un cercueil.

La disposition des appareils à l'intérieur du cabinet doit être telle que l'on puisse accéder facilement aux organes dont le contrôle et le nettoyage doivent se faire fréquemment ; il est aussi recommandable de fixer les appareils sur la planche de fond de telle sorte que le cabinet puisse être facilement enlevé ; on rendra ainsi le montage, l'installation et plus tard l'entretien de l'horloge plus aisés.

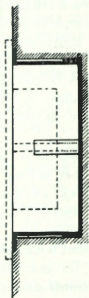


Fig. 349. Boîte pour l'encastrement du mouvement d'une horloge.

*Horloges installées à l'intérieur d'un bâtiment.* La forme de ces horloges dérive de celle des anciennes horloges mécaniques dites « œil-de-bœuf » ; massives et peu élégantes au début, elles se sont affinées par suite de la réduction des dimensions et surtout de l'épaisseur des mouvements électriques qui les équipent.

Les matériaux qui entrent dans leur construction sont très nombreux : métaux les plus divers, bois précieux ou communs, céramique, verre, matières plastiques de toutes couleurs. Les formes des boîtiers ou des cabinets sont innombrables, souvent très harmonieuses... quelquefois moins.

Au point de vue constructif, nous remarquons la tendance à faciliter le montage par une fixation appropriée du mouvement, à permettre un contrôle et un nettoyage facile de toutes les parties mobiles ; l'introduction des fils ou câbles conducteurs doit être étudiée avec soin de façon

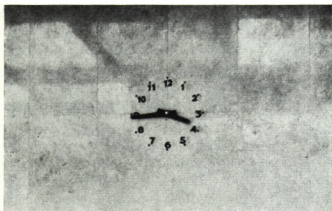


Fig. 350. Horloge encastrée dont le cadran est constitué par la paroi.

à faciliter la pose de l'horloge et à éviter tout danger de court-circuit ou de contact à la masse.

Le cadran est soit en métal peint, émaillé, imprimé ou oxydé par les procédés modernes, soit en bois mat ou poli ou, encore, en verre, en céramique ou en matière plastique, etc. Les graduations sont imprimées ou peintes ou encore gravées et teintées, elles sont souvent constituées par des chiffres, des plaquettes de formes diverses appliquées en relief sur le cadran.

Les boîtiers ou cabinets sont, ou bien appliqués contre le mur ou bien, pour diminuer la saillie de l'horloge, encastrés de telle sorte que le cadran apparaisse à fleur de la paroi. Dans ce dernier cas, l'installation est facilitée par la pose préalable d'une boîte que l'on encastre dans le trou pratiqué dans le mur (voir fig. 349). Une construction semblable permet, comme le montre la fig. 350, de supprimer le cabinet de l'horloge et d'utiliser la paroi elle-même comme cadran.

Lorsqu'il s'agit d'indiquer l'heure dans deux directions, par exemple dans un corridor, un grand atelier, etc., l'horloge est munie de deux cadrans, parallèles en général. Selon les constructeurs, les deux paires d'aiguilles sont actionnées, soit chacune par un mouvement, soit simultanément par un seul mouvement muni d'un renvoi angulaire et de deux rouages de minuterie, un pour chaque cadran. La première méthode est souvent utilisée pour les horloges secondaires ou pour celles à moteurs synchrones, tandis que la seconde est d'une application inévitable aux horloges à mouvements indépendants.

*Horloges pour montage en plein air* (horloges pour l'extérieur). Les cabinets ou caissons de ces horloges, qu'elles soient à un ou plusieurs cadrans, doivent être à même de résister aux intempéries, à la grande chaleur, au gel, à

l'humidité ; ils doivent en conséquence être construits très solidement avec un matériel éprouvé : tôle de fer, tôle de fer plombée, de zinc, de cuivre, d'alliage d'aluminium. Leurs bâtis et leurs contreforts doivent être judicieusement établis afin d'assurer la rigidité nécessaire sans toutefois dépasser un poids tolérable ; leur tôlerie doit assurer une complète protection des mouvements et des cadrans, tout particulièrement contre les infiltrations d'eau.

Les horloges avec éclairage du ou des cadrans doivent être construites de façon à assurer une bonne lisibilité de jour et de nuit de l'heure. Dans la règle, les cadrans translucides sont éclairés depuis l'intérieur de l'horloge par une ou plusieurs lampes électriques ; les aiguilles et les graduations sont vues en silhouettes noires sur un fond plus ou moins vivement éclairé. La disposition inverse : aiguilles et graduations éclairées sur cadran sombre est en général réservée, comme nous le verrons plus loin, aux horloges monumentales.

Les cadrans sont actuellement construits en verre dépoli, en verre opalin ou encore en verre recouvert d'une couche opalescente ; les graduations sont gravées au jet de sable, puis enduites d'un émail noir ou coloré ; elles peuvent aussi être constituées par des chiffres ou signes horaires métalliques fixés sur la plaque translucide.

Jusqu'à un diamètre de 120 à 150 cm., les cadrans sont faits en une seule pièce ; au-dessus de cette dimension, ils sont constitués par un certain nombre de pièces (secteurs et pièce centrale) maintenues par une armature métallique.

Les cadrans doivent être fixés sur leur cadre de telle sorte qu'ils puissent se dilater et se contracter sans éprouver de résistance ; en général, on les maintiendra en position par des crampons métalliques munis d'une pièce de serrage élastique en caoutchouc ou en liège. Il est à remarquer que les verres de protection, qu'ils soient destinés à une horloge éclairée ou à une horloge habituelle, sont à maintenir en place par un procédé semblable ou par un masticage élastique.

L'éclairage des horloges est presque toujours assuré par des lampes à incandescence normales, bien que l'on remarque une tendance à utiliser les tubes luminescents, les tubes au néon ou les lampes à vapeur métallique sous pression (mercure ou sodium).

La disposition du ou des mouvements, comme celle des sources lumineuses, doit être étudiée soigneusement afin d'éviter, d'une part, la projection d'une ombre sur le cadran par le corps du mouvement et, d'autre part, la formation de taches lumineuses vis-à-vis des lampes.

La fig. 351 montre comment la construction intérieure d'une horloge secondaire à double face a été prévue pour parer à ces deux défauts : d'une part, le tube qui contient les axes des aiguilles a été allongé jusqu'à une

longueur de 100 mm. et le filament des lampes a été placé à une distance de 120 mm. des cadrans. De plus, tout l'intérieur de l'horloge est verni avec une couleur blanche, légèrement bleuâtre, afin de bien diffuser la lumière. Enfin, on constate qu'il est préférable de diminuer l'intensité lumineuse individuelle des lampes (20 dlm) mais d'en augmenter le nombre (2, jusqu'à un diamètre de 40 cm. — 4, de 50 à 80 cm. — 6, de 90 à 120 cm.).

Le cabinet de l'horloge doit être pourvu d'un système de ventilation efficace, évacuant l'air trop chaud et empêchant la formation de buées sur le cadran ou sur le verre de protection. les ouvertures de ventilation ne doivent pas laisser entrer l'eau de pluie dans le cabinet et doivent être munies de filtres ou de chicanes empêchant l'entrée de la poussière et des insectes.

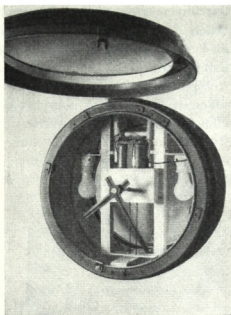
Enfin, on ne négligera pas de ménager à des endroits judicieusement choisis des portes par lesquelles on pourra nettoyer les mouvements et l'intérieur du cabinet et changer les lampes d'éclairage.

On peut assimiler aux horloges pour montage en plein air celles qui sont destinées à être installées dans des locaux mouillés ou dans ceux dont l'atmosphère est soit corrosive, soit très poussiéreuse.

Jusqu'à un diamètre de 40 cm., ces horloges sont souvent du type cuirassé (horloges marines) c'est-à-dire pourvues d'un boîtier en fonte de fer ou de bronze dont la fermeture est rendue étanche par divers moyens (fermeture à vis ou à excentrique, joints plastiques, etc.). Les verres de protection sont mastiqués sur les cadres ou les lunettes et les fils ou câbles électriques sont introduits par des pièces spéciales étanches.

Lorsque le diamètre des horloges dépasse 50 cm., la construction renforcée en tôle est utilisée et une attention toute spéciale est prêtée à la protection des organes intérieurs contre l'influence du milieu ambiant : fermeture hermétique ou renforcement du filtrage de l'air de ventilation.

*Horloges de grand diamètre, horloges monumentales.* La construction de ces horloges pose souvent des problèmes délicats aussi bien au fabricant qu'à



*Fig. 351. Construction intérieure d'une horloge secondaire à double face avec éclairage intérieur.*

l'architecte chargé d'établir le projet du bâtiment, mais la facilité d'adaptation de l'appareillage électrique rend souvent assez simple la résolution de ces problèmes, ce qui explique la faveur dont jouissent actuellement les mouvements électro-mécaniques ou purement électriques.

Nous dénommerons horloges monumentales toutes les horloges dont le diamètre dépasse 1,5 mètre et qui font corps avec le bâtiment dans lequel elles sont installées, soit que le caisson de protection et le cadran soient encastrés dans une ouverture du mur, soit que le mur lui-même soit utilisé comme cadran : elles peuvent aussi bien orner une façade ou un mur qu'être placées

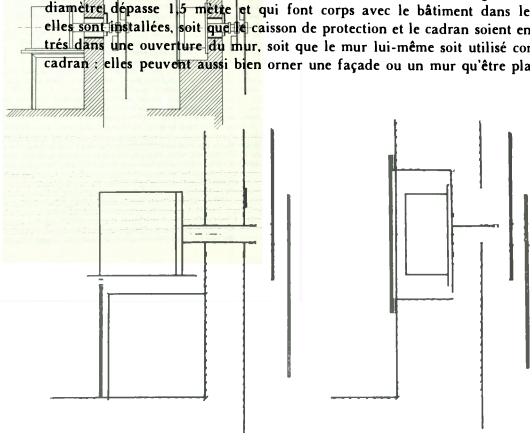


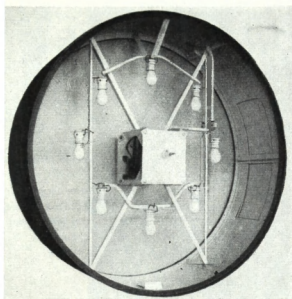
Fig. 352. Mode d'installation des mouvements d'horloges monumentales dont les cadrans ne sont pas éclairés.

dans une tour, un clocher, un campanile ou un beffroi. Les horloges monumentales électriques peuvent ou bien simplement indiquer l'heure sur un ou plusieurs cadrans ou bien être combinées avec un mécanisme simple ou compliqué de frappe des heures. Leurs aiguilles sont entraînées soit par des mouvements mécaniques à remontage et souvent à déclenchement électrique, soit par des mouvements secondaires à action directe ou à action indirecte par moteur électrique, soit enfin par des mouvements à moteur synchrone.



Les diamètres les plus courants de ces horloges sont compris entre 1,5 et 5 mètres, toutefois des cadrans de 8, 10, 15 mètres et même plus ont été construits et leur exploitation a entièrement répondu à l'attente des constructeurs.

La construction généralement adoptée pour les horloges dont le cadran ne doit pas être éclairé est représenté par la fig. 352 ; le mouvement au lieu

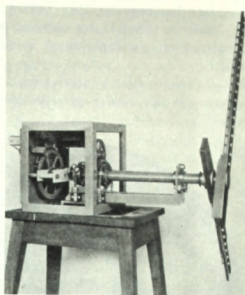
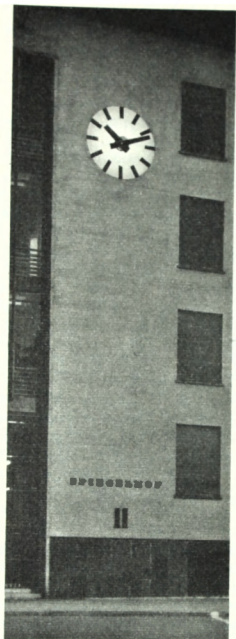


*Fig. 353. Disposition intérieure d'une horloge monumentale avec éclairage du cadran par l'intérieur.*

d'être encastré dans une niche accessible par l'arrière, est souvent placé sur une sellette ou sur une table fixée à la muraille. Très souvent, les horloges de tour comportent deux, trois ou quatre cadrans ; si leur mécanisme est un mouvement à poids, les paires d'aiguilles sont mues par des minuteriers, placées derrière chaque cadran, reliées au mouvement par un engrenage angulaire à 2, 3 ou 4 directions. L'espace requis par cette disposition est assez considérable et c'est souvent la raison pour laquelle on préfère entraîner chaque paire d'aiguilles par un mécanisme isolé, mouvement secondaire à action directe ou à moteur, mouvement synchrone.

Le cadran revêt des aspects et des formes très divers, quelquefois il est constitué par une plaque métallique, pourvue d'un encadrement plus ou moins apparent, posée contre le mur, plus souvent encore, le mur lui-même forme le cadran sur lequel les graduations sont peintes ou appliquées. Les aiguilles sont moins décorées et découpées que par le passé, leur « ligne » droite est plus apparente bien que l'on cherche à corriger sa sécheresse par quelques légers ornements. Lors de l'établissement du projet d'une horloge monumentale, on n'oubliera pas que celle-ci doit être vue à une distance assez grande et que le regard doit pouvoir se porter immédiatement sur les aiguilles, sans être gêné par les cadrans ou par des décorations inutiles.

La construction des horloges visibles de jour et de nuit procède actuellement de deux méthodes d'éclairage : le cadran illuminé, sur lequel les aiguilles

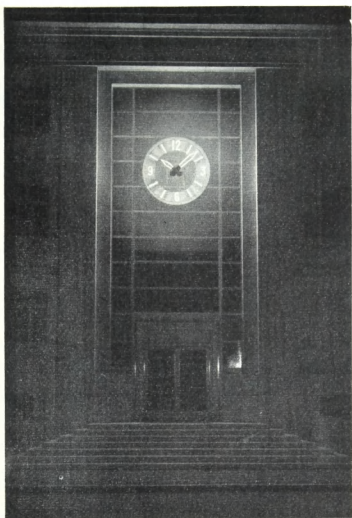


*Fig. 355. Aiguilles d'horloge monumentale pourvues d'une rampe lumineuse constituée par une série de petites lampes électriques. (Mouvement secondaire Favag.)*

*Fig. 354. Cadran d'horloge monumentale éclairé par des lampes placées sous la graduation (construction « Inducta »).*

et les graduations apparaissent en silhouette, ou les aiguilles et les graduations éclairées, se détachant sur un fond sombre.

Le premier procédé est toujours le plus communément employé, bien que le coût des très grands cadrans translucides soit fort élevé. Dès que le diamètre du cadran dépasse 1,5 mètre, il est indispensable de le diviser en un



*Fig. 356. Horloge monumentale dont les aiguilles sont pourvues d'un éclairage par tubes au néon (Favag S. A.).*

certain nombre de secteurs reliés entre eux et fixés au cadre par une armature métallique. L'éclairage intérieur est produit par une ou deux couronnes de lampes à incandescence, souvent munies de réflecteurs ou de diffuseurs ; le mécanisme de l'horloge doit être placé suffisamment en arrière du cadran pour ne pas projeter d'ombre.

La fig. 353 reproduit la disposition intérieure d'horloges du type classique ; la fig. 354 montre une disposition intéressante : les lampes d'éclairage sont dissimulées sous la graduation et éclairent le cadran auquel on a

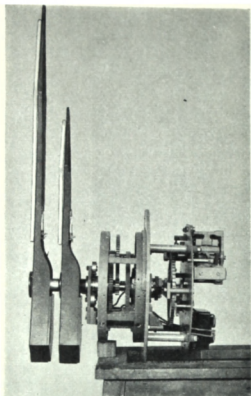


Fig. 337. Aiguilles d'horloge monumentale munies d'un éclairage par tubes au néon (mouvement secondaire Favag).

donné une forme conave ; les chiffres et les aiguilles apparaissent en silhouette sur le cadran éclairé. A remarquer toutefois que de jour la lumière solaire projetée sur le cadran les ombres, quelquefois gênantes, des aiguilles et de la graduation.

La méthode consistant à éclairer, par un moyen quelconque, les aiguilles et la graduation donne d'excellents résultats pour des cadrans dont le diamètre est supérieur à 250 cm. La fig. 355 montre l'éclairage réalisé au moyen de petites lampes à très basse tension (6 volts) et la fig. 356 celui au moyen de tubes au néon. La fig. 357 reproduit l'aspect du mouvement secondaire, on remarquera l'amenée du courant à basse tension aux aiguilles par l'intermédiaire de bagues et de frotteurs et l'utilisation des transformateurs, livrant aux tubes au néon le courant à haute tension, comme contre-poids d'aiguilles.

## Le choix des horloges électriques

### Le choix du système

Afin de faciliter le choix du système d'horloges électriques le mieux approprié à un usage bien défini, il est utile d'établir une comparaison entre les diverses catégories et de déterminer les avantages et les inconvénients des unes et des autres.

#### *Horloges indépendantes à échappement, pour courant fort*

**Avantages.** Simplicité de l'installation — consommation très minime de courant — marche silencieuse des horloges à moteur — précision suffisante — suppression du remontage manuel.

**Inconvénients.** Diamètre limité des cadrans — montage à l'air libre très peu recommandable — différences de marche inévitables entre horloges, ce

qui exclut leur groupement à moins que l'on prévoie une remise à l'heure centrale, ce qui complique leur mécanisme.

#### *Horloges indépendantes à balancier, pour courant fort*

*Avantages.* Les horloges de bonne qualité sont très précises — suppression du remontage manuel — remontage à moteur en général silencieux — remplacent avantageusement les régulateurs mécaniques à remontoir manuel.

*Inconvénients.* Prix assez élevé, surtout des horloges de précision.

#### *Horloges indépendantes à échappement, pour piles sèches*

*Avantages.* Aucun frais d'installation — peuvent s'utiliser partout — prix en général très abordable — précision suffisante — suppression du remontage manuel — utilisables comme horloges murales, comme pendulettes de table ou comme montres de bord.

*Inconvénients.* Diamètre limité des cadrans — montage à l'air libre exclu — différences de marche inévitables entre horloges, ce qui exclut leur groupement.

#### *Horloges indépendantes à balancier, pour piles sèches*

*Avantages.* Aucun frais d'installation — peuvent être utilisées partout — les horloges de bonne qualité sont très précises — suppression du remontage manuel — en général très silencieuses — excellents régulateurs de précision, pendulettes et cartels de cheminée.

*Inconvénients.* Prix assez élevé, surtout pour les horloges de précision.

#### *Horloges monumentales mécaniques indépendantes, à remontoir électrique*

*Avantages.* Peuvent être utilisées partout, pour autant que le courant électrique convenable soit à disposition — réserve de marche — suppression du remontage manuel pénible — le mouvement est très robuste.

*Inconvénients.* Variations souvent importantes de la marche dues à ce que le mécanisme est rarement à l'abri des changements de température et d'humidité — encombrement souvent considérable dû aux dimensions du mouvement, aux tringlages de transmission et à la descente du ou des poids moteurs.

#### *Réseaux horaires*

*Avantages.* Unification réelle de l'heure — l'horloge mère peut être aussi précise qu'on le désire, elle est installée dans un local soustrait aux influences

extérieures tandis que les horloges secondaires peuvent être placées à n'importe quel endroit — pas de limite pour le diamètre du cadran — les mouvements secondaires sont robustes et ne réclament que peu d'entretien — adjonction facile de services horaires auxiliaires — les horloges monumentales secondaires pures ou à moteur sont robustes et ne demandent que peu d'entretien, leur encombrement est très réduit ce qui facilite la construction de leur emplacement — les horloges monumentales mécaniques peuvent être intégrées à un réseau horaire en leur adaptant une détente à mouvement secondaire.

*Inconvénients.* Prix élevé des réseaux très étendus ou des très petits réseaux par suite de la nécessité de construire un réseau de lignes indépendant.

#### a) Réseaux avec batterie de piles ou d'accumulateurs

*Avantages.* Indépendance de la source de courant — sécurité du service, des batteries de piles sèches ou d'accumulateurs bien entretenues — possibilité d'utiliser des sources de courant installées pour d'autres services — remise à l'heure depuis l'horloge mère.

*Inconvénients.* Entretien des batteries d'accumulateurs ou remplacement des piles usées.

#### b) Réseaux alimentés directement par le courant lumière ou par un inducteur

*Avantages.* Suppression de la batterie d'accumulateurs ou de piles et de son entretien.

*Inconvénients.* Si le réseau est alimenté directement par le courant lumière, les horloges secondaires s'arrêtent en cas de panne de courant, leur remise à l'heure, manuelle ou automatique, ne peut s'effectuer que lors du rétablissement du courant. — Les impulsions de courant fournies par une horloge mère à inducteur sont très brèves et ne conviennent qu'à certains mouvements secondaires — la capacité d'un inducteur est nettement limitée.

### Horloges synchrones

*Avantages.* Suppression des horloges mères, des réseaux de lignes indépendants et des sources de courant locales — mécanismes simples et bon marché — utilisables aussi bien pour des horloges individuelles que pour des horloges groupées en réseaux — adaptation facile d'une aiguille des secondes à rotation continue.

*Inconvénients.* La fréquence du courant alternatif doit être réglée constamment d'une façon très précise, les plus petits écarts au-dessus ou au-

dessous de la fréquence normale causant rapidement des écarts de marche considérables — l'arrêt du courant, même très bref, produit l'arrêt immédiat des horloges sans réserve de marche — les horloges à moteur auto-démarrreur indiquent une heure inexacte à la reprise du courant — la remise à l'heure centrale est généralement impossible ou entraîne l'installation de lignes supplémentaires — le mécanisme des horloges à réserve de marche est compliqué ce qui limite les possibilités de leur application et rend leur prix élevé — les moteurs dont le rotor tourne à grande vitesse sont sujets à usure rapide et leur marche devient souvent bruyante.

### Le choix du diamètre et de l'emplacement d'une horloge

Le constructeur, le vendeur et l'acheteur d'une horloge doivent se souvenir que, si la condition première posée à une horloge c'est sa lisibilité, la seconde est son adaptation logique à l'endroit où elle doit être installée. Cette condition requiert donc la connaissance de ses besoins techniques, si l'on peut dire ainsi, et le choix de ses dimensions, de sa forme et de sa couleur.

*Le choix de la dimension.* La tablelle suivante, destinée plus spécialement aux horloges utilitaires, donne pour chaque diamètre courant la distance de visibilité optimum et celle de la limite de visibilité.

#### *Horloges pour montage intérieur*

Diamètre	optimum	limite
8 à 12 cm.	3 m.	6 m.
15	4	8
20	5	10
25	6	12
30	10	20
40	15	35
50	25	50

#### *Horloges pour montage en plein air*

Diamètre	optimum	limite
40 cm.	15 m.	35 m.
50	25	50
60	40	80
70	60	110
80	100	150
100	140	180



Il est très difficile de donner une règle satisfaisante pour le choix du diamètre d'une horloge monumentale, car les conditions d'installation et l'angle de visibilité varient considérablement d'un cas à un autre. On se souviendra néanmoins qu'un cadran paraissant énorme, exagéré vu de près est souvent trop petit lorsqu'il est mis en place. Il est donc indispensable, avant de passer à l'exécution définitive, de « présenter » en place une maquette ou un dessin en grandeur naturelle du cadran muni de ses aiguilles.

*Le choix de l'emplacement.* Il est évident que l'horloge ne rendra tout le service attendu que si l'emplacement qui doit la recevoir a été choisi avec soin, en tenant compte de quelques règles enseignées par la pratique.

Horloge à balancier pendulaire. La paroi contre laquelle l'horloge sera fixée doit être solide, exempte de vibrations : on proscrira par exemple le voisinage de machines, de portes battantes, d'ascenseurs, etc. Un moyen pratique pour déceler les vibrations est d'appuyer contre la paroi à contrôler une soucoupe dans laquelle on a versé un peu de mercure, les rides plus ou moins prononcées formées à la surface du métal indiquent la présence de vibrations et leur intensité.

L'emplacement choisi doit se trouver à une distance d'au moins 2 à 3 mètres d'une source de chaleur vive, fourneau, radiateur ; en aucun cas l'horloge ne doit être placée au-dessus d'une telle source. La température de la paroi, et si possible celle du local, doivent rester aussi stables que possible.

L'horloge sera fixée solidement au moyen de vis enfoncées dans des tampons ou dans des douilles métalliques scellées dans le mur. Sa verticalité, de côté et en avant, doit être contrôlée au moyen d'un fil à plomb. La mise en place se fait en suivant strictement les instructions qui sont toujours remises par les maisons constructrices.

Horloges pour montage intérieur. La visibilité de l'emplacement choisi doit être assurée pour les usagers sans que ceux-ci soient obligés de se déplacer ou de se retourner. L'emplacement d'horloges installées dans des corridors, des cages d'escaliers, des halles, doit tenir compte de la disposition et du sens du courant de la circulation des habitants afin que l'horloge soit vue facilement par ceux à qui l'indication de l'heure rend le plus de services.

On évitera de placer une horloge à côté ou au-dessus d'une fenêtre, sinon le contraste d'éclairement rendra la lecture de l'heure difficile.

Si les aiguilles ne sont pas protégées par une glace, l'horloge doit être placée hors d'atteinte des mauvais plaisants, une aiguille est facilement avancée ou reculée, même avec une canne ou un parapluie.

Il sera souvent indiqué de contrôler si la nature du local requiert l'installation d'horloges dont le fonctionnement soit silencieux ; il ne faut toutefois pas exagérer l'importance de cette condition.

Horloges installées en plein air. Les indications qui ont été données pour les horloges montées à l'intérieur d'un bâtiment sont aussi valables pour celles qui sont montées en plein air.

La visibilité de l'emplacement doit être vérifiée soigneusement ; si possible en faisant usage d'une maquette en grandeur naturelle de l'horloge.

La disposition et le sens des courants de circulation des passants doivent être déterminés ; si plusieurs courants importants co-existent on installera soit deux ou plusieurs horloges à simple face soit une horloge à deux, trois ou quatre cadrans judicieusement placée.

Si la circulation se poursuit de jour et de nuit, il est indiqué d'installer des horloges à indication lumineuse, cadrans ou aiguilles illuminés. Le constructeur notera que l'éclairage des cadrans se fait de préférence avec plusieurs lampes à faible intensité (20 watts ou 20 dlm), on évitera ainsi la formation de taches lumineuses sur les cadrans et un interrupteur automatique pourra supprimer durant une partie de la nuit un groupe de lampes.

### L'entretien et la réparation des horloges électriques

Le possesseur d'une horloge électrique et, à plus forte raison, celui d'un réseau d'horloges se souviendront qu'électrique ou automatique ne signifie pas « éternel », que toute horloge, qu'elle soit mécanique ou électrique, doit être revisée, nettoyée et huilée périodiquement et que la source de courant, à moins qu'il ne s'agisse du réseau lumière, doit être contrôlée périodiquement aussi.

C'est en conséquence à un praticien spécialisé qu'il faudra faire appel pour exécuter ce contrôle ou procéder aux réparations petites ou grandes qui pourraient survenir.

Mais qui sera ce praticien ? Ici nous insistons sur le danger de confier ce travail à une personne ou à une entreprise qui ne dispose ni des connaissances professionnelles, ni de l'outillage nécessaires, une fois de plus, nous signalons le danger du « bricolage ». Pour autant que cela sera possible, on s'adressera à un très bon horloger-« rhabilleur », à un électro-technicien spécialisé dans le « courant faible », à un mécanicien en fine mécanique, à un atelier ou à une fabrique d'appareils électriques. Les réparations importantes seront exécutées par la fabrique qui a construit l'appareil ou, dans certains cas, par ses agents ou ses représentants.

Signalons que certaines fabriques d'horloges électriques exécutent en abonnement ces travaux, tout spécialement la revision et l'entretien des

réseaux horaires : les expériences qui ont été faites sont concluantes : la marche des appareils est constamment bonne, leur longévité est prolongée et les pannes sont pratiquement supprimées.

Enfin, remarquons que l'entretien des grands réseaux ou groupements d'horloges est souvent confié au mécanicien ou à l'électricien qui a la surveillance des autres installations mécaniques ou électriques du bâtiment : il en est de même de certaines administrations privées ou publiques qui disposent souvent d'un service complet pour l'installation et le contrôle des horloges de leurs réseaux horaires.

L'outillage du praticien doit lui permettre d'exécuter le travail facilement et proprement, il doit être adapté au genre et aux dimensions des appareils et comporte en conséquence les outils principaux de l'horloger rhabilleur, du mécanicien de précision et de l'électricien. Si le praticien est itinérant, s'il doit se rendre d'une installation à une autre, les outils sont enfermés dans une trousse, une caissette ou une valise aménagées spécialement (précepte recommandé : « une place pour chaque outil et chaque outil à sa place »).

L'outillage suivant a été éprouvé pendant de nombreuses années par les spécialistes de Favag S. A. :

1 marteau 200 gr.	1 ruban de cuivre pour polir les pivots et détentes
1 petite clef anglaise	1 ruban de zinc pour la même opération
1 jeu clefs à fourche 3 à 10 mm.	1 levier coudé pour cambrer les ressorts (No 1, fig. 358)
1 jeu tournevis	1 frottoir pour contacts (No 2)
1 lime demi-ronde	1 lime à contacts, taille No 6 (No 3)
1 lime plate	1 polissoir mat et poli (No 4)
1 lime à pivots	1 micromètre
1 pince plate	1 pied à coulisse (calibre)
1 pince plate à longs becs	1 dynamomètre à ressort 0 à 30 gr.
1 pince à couper droite	1 dynamomètre à ressort 0 à 100 gr.
1 pince à couper oblique	1 instrument de mesures électriques (voltmètre et milliampèremètre combiné)
1 pince crocodile	1 ohmmètre (résistances courantes et isolation)
1 brucelle	fil de soudure à la colophane (sans acide)
2 petits mandrins à main	
1 jeu chasse-goupilles 0,5 à 3 mm.	
1 polissoir acier plat	
1 polissoir acier rond	
1 pinceau plat 30 à 40 mm.	
1 pinceau rond, diam. 10 mm.	
1 aréomètre (pèse-acides)	

1 loupe 3 à 4 X	1 coupelle pour benzine
1 pierre à huile triangulaire	1 petit flacon poudre abrasive « Rubisine »
1 brosse d'horloger, 4 rangs, dure	1 flacon huile spéciale pour mouve- ments d'horlogerie
1 paquet de chevilles de bois pour nettoyage, divers diamètres	1 flacon d'huile spéciale pour basses températures (— 20°)
1 chiffon genre Selvyt	1 petit pot graisse consistante spé- ciale (type L.S.R.H.)
1 chiffon fil pour nettoyage	un approvisionnement de fil et de câbles conducteurs avec fiches ba- nanes, fiches à pince crocodile, toile isolante.
papier d'émeri, divers grains	
1 fer à souder électrique pour 110 et 220 volts	
1 flacon benzine rectifiée légère	
1 petit flacon poudre abrasive « Diamantine »	

L'équipement d'un atelier de réparation et d'entretien est plus complet et comprend, outre l'outillage énuméré ci-dessus, les outils usuels du mécanicien de précision et de l'électricien, ainsi que les machines-outils de précision les plus courantes : tour d'outilleur, fraiseuse d'établi, perceuse, meuleuse, etc.

Il n'est pas dans notre intention de traiter ici la technique du « rhabillage » horloger mais plutôt de proposer, d'une part, les méthodes de travail les plus rationnelles et, d'autre part, de rappeler quelques opérations propres à la technique de l'horlogerie électrique.

Nous traiterons successivement les opérations de contrôle, d'entretien et de réparation des réseaux de distribution de l'heure, puis des horloges indépendantes et enfin des horloges synchrones. Les indications les plus complètes seront données à propos des réseaux horaires car, dans leur majorité, elles sont aussi applicables aux horloges indépendantes et aux horloges synchrones.

### Réseaux de distribution de l'heure

*Le contrôle et l'entretien.* Il est très recommandable de suivre un plan logique pour l'exécution des opérations ; en le suivant, on évite des pertes de temps et on est sûr de n'oublier aucun appareil. Nous proposons donc l'ordre suivant : source de courant, lignes de connexion, horloge mère, horloges et appareils horaires récepteurs, appareils de signalisation et enfin essai général.

Avant d'entreprendre son travail, le praticien s'assurera une place de travail convenable et bien éclairée où il pourra procéder avec suffisamment de confort aux travaux de nettoyage, éventuellement de réparation.

*La source de courant.* Les opérations de contrôle sont peu nombreuses : mesure de la tension à vide et sous charge (on profitera pour cette dernière mesure de l'émission d'une impulsion de courant) — serrage des vis des serre-fils — nettoyage extérieur des piles ou des accumulateurs.

Les instructions remises par les fabriques prescrivent généralement les opérations d'entretien des accumulateurs : à défaut de celles-ci, on mesurera, outre la tension à vide et sous charge, la densité et le niveau de l'électrolyte de chaque élément [batteries au plomb : complètement chargée 1,265 (30° Bé), déchargée 1,125 (16° Bé)]. L'électrolyte évaporé est remplacé par de l'eau distillée, celui qui a été enlevé accidentellement par de l'électrolyte frais : on prendra grand soin de n'utiliser la solution d'acide sulfurique que pour les accumulateurs au plomb et la solution alcaline que pour ceux au fer-nickel. En général, ces électrolytes sont livrés par les constructeurs.

*Les lignes de connexion.* Un réseau de lignes bien installé (voir chapitre IX) ne réclame que peu ou pas de surveillance. On contrôlera néanmoins le serrage des vis des boîtes de jonction et celui des serre-fils des appareils ainsi que le bon état des fusibles. Une section de ligne défectueuse ou même douteuse sera révisée ou même refaite par un bon électricien.

*Horloges mères.* Le mouvement sera démonté complètement, ses pièces seront nettoyées à la benzine légère pure ; les trous de pivotage seront nettoyés avec une cheville de bois (mais jamais avec un alésoir ou une lime ronde) : les pivots seront rafraîchis et repolis à la « Diamantine » ou à la « Rubisine » et avec le polissoir en acier.

Après avoir été nettoyé, le mouvement sera remonté et huilé ; les fabriques fournissent fréquemment l'huile convenable ou indiquent le type à utiliser. Cette huile, établie spécialement pour les pendules, régulateurs, réveils et compteurs, doit être caractérisée par une grande onctuosité, une bonne conservation, un étalement minimum et une viscosité moyenne ; elle doit assurer une bonne lubrification jusqu'à une température de — 5° C.

L'huilage se fera méthodiquement, un axe après l'autre, le pivot avant puis le pivot arrière ; on utilisera un gros pique-huile d'horloger ou bien un fil métallique de 0,3 ou 0,4 mm. dont l'extrémité est aplatie en spatule. Huiler suffisamment, mais jamais en excès.

Les pièces frottantes et les détentes ne seront pas huilées afin d'éviter les projections d'huile et l'assèchement consécutif des parties soumises à usure. On lubrifiera avec quelques parcelles de graisse consistante spéciale, par exemple celle qui a été établie par le Laboratoire suisse de recherches horlogères.

Si l'organe de remontoir est un électro-aimant ou un moteur à induction, les pièces fixes seront laissées en place tandis que les pièces mobiles seront démontées et nettoyées, après que le courant ait été coupé. Le nettoyage terminé, les pièces mobiles seront remontées ; les pivotement seront huilés (éventuellement selon les instructions de la fabrique) et les fonctions du remontoir seront contrôlées.

Les opérations de nettoyage que nous venons d'énumérer sont courantes en horlogerie, par contre, le praticien sera moins familiarisé avec le contrôle et le nettoyage du contact. Comme nous l'avons écrit au chapitre III, cet organe est la partie électrique vitale de l'horloge mère et les conditions dans lesquelles il travaille sont très dures : un contrôle régulier de son état et le nettoyage des surfaces de contact sont donc indispensables.

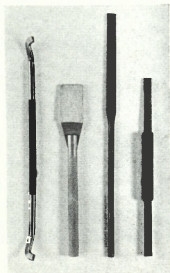
Un examen rapide à la loupe de l'aspect des surfaces permettra de constater si le contact est simplement noirci par oxydation ou par carbonisation des poussières ou s'il est altéré et s'il a subi une érosion plus ou moins prononcée.

Contact noirci : si la brûlure est faible, un simple nettoyage à la benzine ou à l'éther suffira ; si le noircissement est très prononcé, les surfaces de contact seront nettoyées avec une peau de daim que l'on peut placer sur une barrette de bois ou de cellulose, mieux encore, le nettoyage s'effectuera avec le frottoir spécial (outil No 2 de la figure 358). L'opération se terminera par un premier polissage avec la surface mate de l'outil No 4, puis par un dernier polissage avec la surface polie du même outil.

Contact brûlé avec érosion : Si le contact est en métal relativement tendre (argent, or, platine, etc.) on reformera tout d'abord la surface avec la lime douce No 3 (taille No 6) puis on terminera l'opération par un polissage exécuté comme décrit ci-dessus.

L'emploi de papier d'émeri ou d'un abrasif quelconque est à proscrire, car des grains de ce matériel peuvent se loger dans des cavités du contact et empêcher le passage du courant.

Lorsque le cratère formé dans le contact est trop profond, il est nécessaire de changer le contact ou, ce qui est souvent plus facile, la lamelle porte-contact elle-même.



*Fig. 358. Les outils favorables utilisés pour le nettoyage des contacts.*





Fig. 359. Dynamomètre à ressort.

Lorsque les contacts sont nettoyés et reformés, il est indispensable de contrôler si la pression entre les deux surfaces de contact est correcte. Ce contrôle se fait au moyen de dynamomètres à ressort (grammomètres) comme l'indique la fig. 359. Les pressions de contact sont parfois indiquées par les fabriques, sinon il est recommandable de les mesurer avant la revision. On peut admettre que dans la majorité des cas la pression d'un contact frottant doit être ajustée entre 4 et 6 gr. et celle d'un contact de pression entre 8 et 10 gr. Le contrôle de l'écartement entre les pièces de contact se fait au moyen de jauges plates calibrées.

La cambrure et la tension des ressorts se corrigent au moyen de leviers coudés dont les becs sont munis d'entailles (outil No 1) ; on peut ainsi plier ou redresser le ressort

jusqu'au moment où le dynamomètre indique la pression convenable.

Le contrôle des contacts à mercure comporte la vérification de la qualité du mercure (d'après son aspect), celle des câbles de connexion et celle du jeu du tube. Enfin les points de pivotement seront nettoyés et huilés.

Certains constructeurs recommandent de vérifier la durée de fermeture du contact et donnent à ce sujet les valeurs normales de durée ; une mesure approximative peut s'effectuer en appréciant la durée du déplacement de l'aiguille du voltmètre branché sur la ligne des horloges secondaires.

Les indications que nous venons de donner pour les contacts d'émission des impulsions horaires sont évidemment aussi valables pour les contacts des dispositifs de signalisation, pour ceux des relais comme pour ceux des mécanismes de mise en marche des moteurs de remontoir.

*Horloges et appareils récepteurs.* Avant d'entreprendre la revision du mouvement, il est nécessaire de nettoyer l'horloge ou l'appareil, d'en enlever la poussière, les toiles d'araignée et les insectes.



Le mouvement sera enlevé, puis sa partie mécanique démontée ; le nettoyage et le huilage s'opéreront comme nous l'avons vu plus haut. L'électro-aimant restera fixé à ses platines de support pour éviter un dérèglement des entrefers ; l'aimant de polarisation, s'il est de bonne qualité, reste stable pendant 10 à 15 ans et ne demande pas de remagnétisation.

L'huile qui est utilisée pour les horloges mères peut être employée pour le huilage des mouvements et appareils secondaires placés à l'intérieur d'un bâtiment ; par contre, les mouvements placés en plein air doivent être huilés avec une huile spéciale supportant une température d'au moins  $-20^{\circ}$ . Si cette précaution n'est pas prise, il est à craindre que les horloges soient paralysées dès que la température descend au-dessous de  $-5^{\circ}$  à  $-10^{\circ}$  C.

Avant d'être remis en place, le mouvement sera essayé mécaniquement et électriquement ; lorsque le montage de l'horloge sera terminé, on contrôlera si les aiguilles ne s'accrochent pas et si elles ne frottent ni le verre de protection ni le cadran. Pour la mise à l'heure de l'aiguille des minutes, on la saisira entre trois doigts, aussi près que possible de son axe afin de lui éviter une déformation.

Le contrôle et le nettoyage du mouvement des horloges secondaires à contact s'effectueront comme nous venons de le dire ; quant au nettoyage des contacts, on se reportera à ce qui a été écrit au sujet des horloges mères.

A moins que les maisons constructrices n'aient prescrit des mesures spéciales, le contrôle et le nettoyage du mouvement des horloges monumentales s'opéreront comme celui des mouvements secondaires normaux. Il en est de même des appareils reliés au réseau horaire : enregistreurs, appareils de pointage des cartes de travail, etc.

*Appareils de signalisation.* Sauf un dépoussiérage consciencieux, les appareils de signalisation tels que sonneries, claxons, etc. ne demandent que peu d'entretien ; quant à celui des sirènes, les prescriptions des fabricants donnent les indications nécessaires.

*Essai général.* Lorsque tous les appareils du réseau horaire auront été révisés, on procédera à un essai suffisamment prolongé pour qu'il soit possible de se rendre compte des défauts qui auraient pu échapper à la revision.

Pour terminer ce paragraphe, nous remarquons que, si un réseau est révisé chaque année à date plus ou moins fixe, il n'est pas nécessaire de procéder chaque année au nettoyage de tous les appareils. Si les contacts de l'horloge mère et la source de courant doivent être révisés chaque année, il est suffisant de nettoyer le mouvement de l'horloge mère tous les deux ou trois ans et ceux des horloges secondaires tous les trois ans, à moins toutefois qu'ils ne soient très exposés à la poussière ou à l'humidité.

### *Les pannes des réseaux horaires, la correction des défauts*

La recherche d'un défaut de marche est grandement facilitée si l'on suit un programme logique de travail ; la pratique montre qu'il faut contrôler successivement :

- a) si la perturbation affecte une horloge isolée ou plusieurs et, dans ce dernier cas, si les cadrans en défaut appartiennent au même groupe ou à des groupes différents,
- b) si le retard est le même pour tous les cadrans ou s'il varie d'une horloge à une autre,
- c) si les cadrans en défaut sont arrêtés totalement ou bien si leurs aiguilles se remettent en marche d'une manière intermittente.

En suivant cet ordre d'examen, nous parvenons aux constatations suivantes :

1. Une horloge isolée est arrêtée. Causes électriques probables : interruption de la ligne d'amenée ou du fil du bobinage. Remèdes : contrôler les vis de serre-fils, l'état des lignes et celui du bobinage (au voltmètre ou à l'ohmmètre). Causes mécaniques probables : mouvement sale et poussiéreux, pivots rouillés ou usés, les aiguilles s'accrochent ou frottent le cadran ou le verre de protection. Remèdes : nettoyage du mouvement, redressement des aiguilles.
2. Une horloge isolée est en retard et sa marche est intermittente. Causes mécaniques probables : rouage sale et poussiéreux, pivots rouillés ou usés, les aiguilles frottent le cadran. Remèdes : nettoyage et remise en état du mouvement, redressement des aiguilles. Causes électriques probables : mauvais contact dans un serre-fil, aimant de polarisation affaibli. Remèdes : serrage des vis du serre-fil, réaimantation de l'aimant. Le contrôle de ce dernier se fera en essayant l'horloge à une tension double de la tension normale, si le mouvement a des ratés, on peut en conclure que l'aimant doit être remagnétisé. Cette opération peut se faire en enroulant autour de l'aimant du fil isolé diamètre 0,8 à 1 mm. et en y faisant passer pendant 10 à 20 secondes le courant d'une batterie d'accumulateurs d'automobile de 6 ou de 12 volts ; après cette opération, il est nécessaire de frapper l'aimant avec un marteau de bois pour ramener l'intensité du magnétisme à une valeur stable.
3. Plusieurs horloges branchées sur la même ligne sont arrêtées. Causes probables : rupture du fil d'embranchement, deux fils de ligne sont en court-circuit (fréquent lorsque les portées de lignes aériennes sont

trop longues) desserrage des vis de la boîte de dérivation. Remèdes : contrôle des lignes et élimination des défauts.

4. Plusieurs horloges branchées sur la même ligne ont une marche intermittente. Causes probables : contact imparfait dans une boîte de dérivation, soudure mal faite, contact du distributeur de l'horloge mère sale. Remèdes : élimination du défaut de ligne, nettoyage du distributeur.
5. Toutes les horloges du réseau sont arrêtées à la même heure. Causes probables : ligne d'alimentation interrompue, fusible de cette ligne fondu, source de courant déconnectée, contact de l'horloge mère défectueux. Remèdes : élimination du défaut d'alimentation, réparation du contact et de son mécanisme.
6. Toutes les horloges du réseau marchent d'une manière intermittente. Causes probables : tension insuffisante de la source de courant, contacts de l'horloge mère salis ou érodés. Remèdes : mise en ordre de la source de courant, nettoyage des contacts de l'horloge mère ou des relais.

Les causes de perturbations que nous venons d'énumérer sont les plus fréquentes, mais il est évident que d'autres défauts peuvent apparaître et c'est là que le « flair », la sagacité et le travail intelligent et méthodique du praticien sont mis à contribution.

### Horloges indépendantes et horloges synchrones

La construction des horloges indépendantes et des horloges synchrones ne différant que par des détails insignifiants de celle des horloges mères et secondaires, les indications que nous avons données au paragraphe précédent sont également valables pour leur contrôle et pour leur entretien.

*Partie électrique :* Revoir les indications que nous avons données pour les horloges mères, en particulier pour le nettoyage des contacts. Il est recommandable de ne pas enlever les stators et les électro-aimants des dispositifs de remontoir de leurs platines de support ; par contre, il est prudent de s'assurer si les vis de fixation et celles de serrage de tôles sont vissées à fond, on évitera le bourdonnement des moteurs dû au fait que les tôles sont insuffisamment serrées.

*Partie mécanique :* Le rouage sera démonté, nettoyé, remonté et huilé comme nous l'avons dit précédemment ; l'échappement à ancre sera démonté, soigneusement nettoyé puis remonté et huilé (huile pour montres). Les rouages des moteurs synchrones enfermés dans une capsule contenant de l'huile ne

seront jamais démontés, on admet que la provision d'huile est suffisante pour durer jusqu'à usure normale du moteur.

Comme nous l'avons fait pour les réseaux horaires, nous mentionnerons quelques *causes fréquentes de dérangements et les remèdes à y apporter*.

*Horloges indépendantes alimentées par le courant d'éclairage.* Causes probables de l'arrêt du moteur : pivots encrassés ou usés, le frein de limitation de remontage est resté serré, panne de courant ou fusible fondu. Remède : élimination de la cause du défaut.

*Horloges indépendantes à pile sèche.* Action électrique insuffisante ou nulle de l'organe de remontoir, causes probables : pile usée, court-circuit ou rupture des fils d'amenée du courant, contact dérégulé ou sale et brûlé. Remèdes : pile fraîche, réparation des fils, nettoyage ou réglage du contact.

*Horloges synchrones.* Le moteur ne peut se remettre en marche, causes probables : fusible fondu, rouage encrassé. Remèdes : fusible neuf, nettoyage et huilage du rouage (les pivots tournant dans du tissu bakéliné (Novotex) seront graissés de préférence avec la graisse spéciale du Laboratoire suisse de recherches horlogères). Le moteur tourne librement, mais la marche de l'horloge est irrégulière : la fréquence du réseau est instable par suite de surcharge. Le moteur tourne, mais l'horloge produit un bourdonnement anormal : les vis de fixation des tôles sont desserrées ou bien les engrenages du mouvement sont sales ou usés.

*Réparation des horloges électriques.* En règle générale, les réparations importantes seront confiées soit à des ateliers spécialisés, soit à la fabrique qui a livré l'appareil ou le réseau. Ces travaux étant exécutés par des spécialistes, horlogers ou mécaniciens en fine mécanique, il n'entre pas dans le cadre de cet ouvrage de les décrire.

## Conclusion

Parvenus au terme de cette étude, il nous paraît intéressant de citer quelques-unes des améliorations qui pourraient être apportées actuellement à l'horloge électrique et de mentionner quelques nouvelles applications auxquelles on peut déjà songer. Pour faciliter cette analyse très sommaire, examinons l'une après l'autre les diverses classes d'appareils horaires.

*Horloges indépendantes.* Le mécanisme des horloges indépendantes branchées sur le réseau lumière ne pourra guère être simplifié davantage, par contre la qualité de la marche pourra certainement être améliorée en adaptant

mieux l'échappement à sa fonction spéciale. Les horloges de grand diamètre pourront être réalisées lorsqu'on les munira d'un gros ressort et d'un égalisateur de couple, par exemple celui inventé par M. H. Jeanneret, de La Chaux-de-Fonds.

Cette même adjonction permettra d'égaliser le couple moteur entre les deux états extrêmes de remontage du ressort, ce qui assurera à l'horloge la même précision de marche pendant les interruptions de courant que durant le service normal.

L'application du mouvement indépendant électrique à l'équipement des appareils enregistreurs de tous genres a déjà été réalisée, mais cette technique pourra se développer sans contrainte lorsque le mouvement à grand couple moteur sera construit pratiquement.

Le dispositif de remise à l'heure par impulsion de courant superposée pourrait être envisagé de même que celui de la synchronisation du balancier de l'échappement (procédé Bertrand-Henry Lepaute).

L'horloge à remontoir à électro-aimant, dite « à pile sèche » a été depuis une vingtaine d'années l'objet de nombreux perfectionnements, toutefois il paraît vraisemblable que d'autres améliorations peuvent encore être apportées à son mécanisme : simplification de l'électro-aimant et augmentation de son rendement, amélioration de la sécurité du contact, disposition plus rationnelle du rouage. Ces transformations auront pour résultat la diminution du coût de l'horloge puis son adaptation facile aux montres de bord de bonne qualité des automobiles et des avions.

*Horloges de précision.* L'application de l'électricité dans ce domaine de la métrologie de haute précision du temps est certainement capable de conduire à de nouveaux progrès.

Les horloges à balancier pendulaire Shortt et Schuler ont confirmé les prévisions de Hipp au sujet de l'horlogerie électrique de précision. Il est probable que l'utilisation judicieuse de la cellule photo-sensible, l'application du principe de la synchronisation des pendules, l'amélioration de la construction du balancier, de sa suspension en particulier, apporteront de nouveaux progrès dans la conquête ardue du « millième de seconde ».

Quant à l'horloge à quartz, les progrès qui ont été accomplis, aux Etats-Unis plus particulièrement, pendant la deuxième guerre mondiale dans la technique du quartz piézo-électrique, exerceront certainement une influence considérable sur sa construction et sur la précision de sa marche. Il suffit de comparer l'horloge construite par l'Ecole Polytechnique de Zurich avec celles qui ont été réalisées une dizaine d'années auparavant pour se rendre compte des progrès et des simplifications qui ont été apportées à ses organes principaux.

Ces simplifications permettront vraisemblablement de construire de petites horloges dont la précision équivaudra à celle des régulateurs de précision ou à celle des chronomètres de marine. Une nouvelle orientation pourrait être ainsi donnée à certaines branches de l'horlogerie classique et à la construction des centres horaires gouvernant les réseaux horaires et les groupes d'horloges synchrones.

Les recherches continueront pour rendre la fréquence de vibration du cristal complètement indépendante des conditions dans lesquelles l'horloge travaille : variation de la température, vieillissement du cristal piézo-électrique, variation des conditions d'alimentation des lampes, etc.

D'autre part, ce qui deviendra plus difficile à trouver, ce sont les méthodes de mesure permettant des comparaisons de plus en plus délicates et un étalon de temps avec lequel l'horloge pourra être comparée.

*Réseaux horaires.* Comme nous l'avons déjà dit, la technique du courant faible a exercé une influence grandissante sur la construction des horloges mères, des centres horaires et des appareils récepteurs. Cette influence continuera à se faire sentir et contribuera à l'amélioration de certains organes des appareils : contacts de l'horloge mère, relais de distribution, électro-aimant et armatures des mouvements secondaires.

D'autre part, diverses modifications de principe doivent être introduites afin de répondre aux exigences et aux suggestions qui sont présentées actuellement par les techniciens et la clientèle. Citons parmi les améliorations les plus pressantes :

L'augmentation de la fréquence des impulsions motrices qui devrait passer de une toutes les 30 ou 60 secondes à une toutes les 15 ou même toutes les 5 secondes, sans que la simplicité de construction et la durée de vie du contact et du rouage aient à en souffrir.

On peut envisager comme solution de munir l'horloge d'une troisième aiguille indiquant la seconde, conduite par un compteur électro-chronométrique ; cette solution requiert toutefois l'installation d'un réseau de lignes commandé par un contact à secondes, indépendant du réseau à minutes. Cependant, d'autres solutions sont aussi admissibles : on peut, par exemple, superposer sur la même ligne les impulsions de courant continu chaque minute et les impulsions chaque seconde émises en courant alternatif que l'on redressera à l'horloge réceptrice. On peut aussi entraîner l'aiguille des secondes par un petit moteur synchrone dont on corrige, chaque minute, la rotation par le mouvement secondaire qui mène les deux autres aiguilles.

La question du fonctionnement silencieux du mouvement secondaire à minute, ou du compteur battant la seconde, est aussi à l'ordre du jour, parfois un peu abusivement ; il n'en est pas moins vrai que la construction de mouve-



ments, l'un à fonctionnement semi-silencieux et l'autre à fonctionnement totalement silencieux est urgente. Il est tout aussi nécessaire que l'aiguille des minutes ou des secondes s'arrête franchement après chaque saut avec le minimum de vibrations. La construction doit être simple et ne pas entraver le bon fonctionnement de l'horloge réceptrice.

Notons aussi que la réduction du nombre de modèles dont les dimensions sont étagées réduira le prix de revient des horloges ; l'utilisation des nouveaux aciers à aimant contribuera certainement à la résolution de ce problème d'ordre économique.

Le plus important des services auxiliaires, dépendant d'un réseau d'horloges, est celui de la signalisation horaire assurée par l'horloge mère ou par des horloges secondaires à contact. Les dispositifs que nous avons décrits n'offrent souvent que des possibilités limitées de combinaisons des signaux, ils ne permettent pas toujours de préparer les programmes de signalisation selon les besoins réels et il faut quelquefois se contenter de solutions peu satisfaisantes. En particulier, l'intervalle minimum de 5, éventuellement de 2  $\frac{1}{2}$  minutes entre deux signaux est trop long et les nouvelles constructions doivent tendre à l'abaisser à 1 minute ; il est aussi désirable de prévoir une construction de la roue de 24 heures qui facilite et rende plus rapide le changement des heures de signalisation.

*Horloges synchrones.* L'horloge électrique idéale sera peut-être l'horloge synchrone à démarrage manuel, sans réserve de marche... lorsque les réseaux de distribution de lumière et de force garantiront du 1er janvier au 31 décembre la constance de la fréquence et auront supprimé toutes les causes d'interruptions voulues ou accidentelles du courant. Il faudra néanmoins que le rouage de cette horloge résiste à l'usure aussi bien que celui de son rival, le mouvement secondaire.

Lorsque toutes ces conditions seront remplies, on pourra régler la fréquence par une horloge astronomique à cristal de quartz et garantir l'heure avec une précision de quelques centièmes de seconde.

Il sera également possible de remplacer les horloges mères des réseaux horaires existants par des contacteurs mûs par un moteur synchrone ou bien, selon la proposition de M. Marius Lavet, de synchroniser par le courant du réseau lumière l'oscillation des balanciers des horloges mères.

Si l'on se contente de vues moins lointaines, on souhaitera une amélioration du mécanisme de la réserve de marche dans le sens que nous avons indiqué pour les horloges indépendantes.

*Autres systèmes d'horloges électriques.* Des perspectives intéressantes pour l'avenir du service horaire sont offertes par l'emploi simultané des lignes



des réseaux de télécommunication et des réseaux d'éclairage et de force électrique.

Les résultats obtenus depuis plusieurs années dans les domaines de la télémesure et de la télécommande laissent penser que l'extension de ces méthodes à la transmission de l'heure n'offrira guère de difficultés. Il sera certainement possible de créer des réseaux de distribution de l'heure similaires à ceux des horloges synchrone mais ne possédant pas leurs défauts. Il sera aussi possible dans certains cas d'unifier, quelques fois par jour, la marche des horloges indépendantes pourvues d'un mécanisme de remise à l'heure.

\* \* \*

Au cours de ces quatorze chapitres, nous avons passé en revue les principales applications de l'électricité à la mesure du temps et à la distribution de l'heure ; nous avons pu constater que ce domaine, déjà très vaste, s'enrichit chaque jour par de nouvelles conquêtes ; il ne nous a pas été possible de les étudier toutes dans ce volume.

Nous avons dû négliger la description des nombreux appareils enregistreurs et celle des horloges de pointage que l'industrie utilise pour le contrôle de la durée du travail ; nous n'avons fait qu'effleurer les appareils électriques frappant les heures sur des cloches ou ceux qui remplacent le carillon manuel des beffrois et nous avons dû renoncer à nous initier à la technique moderne de la mesure des intervalles de temps ou celle des appareils qui délimitent automatiquement la durée de ces intervalles.

Mais cette revue nous a néanmoins fait connaître l'effort inlassable et fructueux accompli depuis plus d'un siècle par les inventeurs, les constructeurs et les théoriciens, tant horlogers que physiciens ou électriciens ; elle nous a permis de rendre hommage à tous ceux qui se sont voués à la tâche ardue, mais combien passionnante, d'appliquer l'électricité à la mesure toujours plus précise du temps et à la mise à la portée de tous de l'heure exacte.