

La précision de l'horloge atomique à domicile

Une grande première commerciale La pendulette réceptrice IMHOF

par M. LEROUX

A la recherche de la précision absolue

Depuis la plus haute antiquité, l'homme a cherché à mesurer le temps. La position du soleil, puis les cadrans solaires et les clepsydres indiquaient l'heure approximative. Avec le Moyen Age se fit sentir le besoin de diviser le jour en intervalles plus réguliers. Huyghens apporta la première grande révolution technologique en inventant le spiral : les montres firent aussitôt leur apparition.

Pendant près de trois siècles, les horlogers s'appliquèrent à perfectionner la montre, imaginer de nouveaux systèmes plus performants, réguler l'énergie motrice, améliorer le rendement mécanique des organes de transmission, compenser les défauts résiduels, sachant pertinemment que la perfectibilité d'un mécanisme aussi délicat que celui d'une montre ne serait pas illimitée. Pourtant, de matériau en matériau, d'échappement en échappement et de système en brevet, on gagnait constamment en précision. D'ailleurs, la fiabilité des montres, réveils et pendules ne posant plus guère de problèmes, on jugeait de la qualité au vu des résultats obtenus en précision et en stabilité dans le temps.

L'introduction du quartz dans l'horlogerie de grand public marqua le point de départ de la deuxième révolution technologique. Jusque-là réservé aux instruments de laboratoire, le quartz se démocratisa, faisant progresser la précision moyenne d'un pas de géant (fig 1).

Si l'on néglige l'intrusion éphémère du diapason, d'une marche mensuelle moyenne de 5 minutes (c'est-à-dire une heure par an !) avec les montres à ancre classiques, on enjambe désormais le seuil des 5 minutes par an. L'horlogerie à quartz actuelle, de petit ou de moyen volume, donne l'heure avec une précision annuelle d'une à deux minutes. Cinquante fois mieux que son homologue mécanique avec laquelle elle partage encore le marché.

Parallèlement, les étalons de référence, appareils fixes en général encombrants et fragiles à manipuler, bénéficiaient des derniers progrès de l'électronique et de la science nucléaire. Les horloges atomiques en particulier ont révolutionné la notion de la mesure du temps à ce point qu'elles fournissaient une mesure plus stable et plus précise que celle donnée par l'heure astronomique, en décelant de légères irrégularités dans la vitesse de rotation de la Terre autour de son axe.

Il fallut décider une nouvelle définition de la seconde de temps, désormais fondée sur une mesure périodique des radiations émises dans des conditions précises par l'atome de césium 133. Quant à l'heure internationale officielle,

l'heure « G.M.T. » (1), elle résulte, depuis 1967, de la comparaison de l'état des meilleures horloges atomiques des différents observatoires et laboratoires mondiaux.

On croirait volontiers qu'à ce stade avancé de la technologie on n'attendait plus rien ou presque qui permit d'améliorer encore la précision des mouvements et modules horlogers de grand public, hormis des systèmes compensateurs de l'effet thermique, correcteurs de l'instabilité résiduelle en fréquence ou régulateurs de tension par exemple, avec, en filigrane, la subordination à des effets secondaires indomptables pour obéir à une logique déjà éprouvée en horlogerie mécanique. Un palier au niveau duquel on s'attacherait à perfectionner les dispositifs électroniques existants, étant entendu que l'on mettrait l'horlogerie commerciale au défi de jamais atteindre le degré de précision et de stabilité des étalons au césium dont la « marche » diurne frôle le cent millionième de seconde, soit une erreur d'environ une seconde en 250.000 ans !

Pourtant, pionnier de la troisième révolution technologique, la Société suisse IMHOF vient de relever ce défi en construisant la première pendulette autonome à changement d'heure automatique été-hiver et dont la précision égale celle des meilleures horloges atomiques.

Nous nous trouvons dans la même situation qu'aux temps relativement récents de la première montre-bracelet « Lip-électronique » ou de la première pendulette à quartz 16 kilohertz bourrée de composants volumineux. Une ère nouvelle s'ouvre de nouveau à la profession : celle des récepteurs horaires de signaux-étalons.

Transmission de signaux par ondes hertziennes

Nul n'aurait soupçonné, à l'époque héroïque de la T.S.F., que l'horlogerie s'apparenterait, un jour, à la radio ! Il est vrai que l'électronique d'alors ne connaissait ni le transistor ni le circuit intégré dont la science spatiale a favorisé le prodigieux développement.

Depuis que le quartz est entré en force dans les montres, réveils et pendules, les spécialistes ont entrevu, au contraire, un avenir chargé de mutations technologiques dans tous les domaines. Pour notre part, dès 1976 (2) nous évoquions

(1) G. M. T. = Greenwich Middle Time (temps moyen de Greenwich).

(2) La France Horlogère de juin 1976, pages 51 et 52.

Précision annuelle moyenne

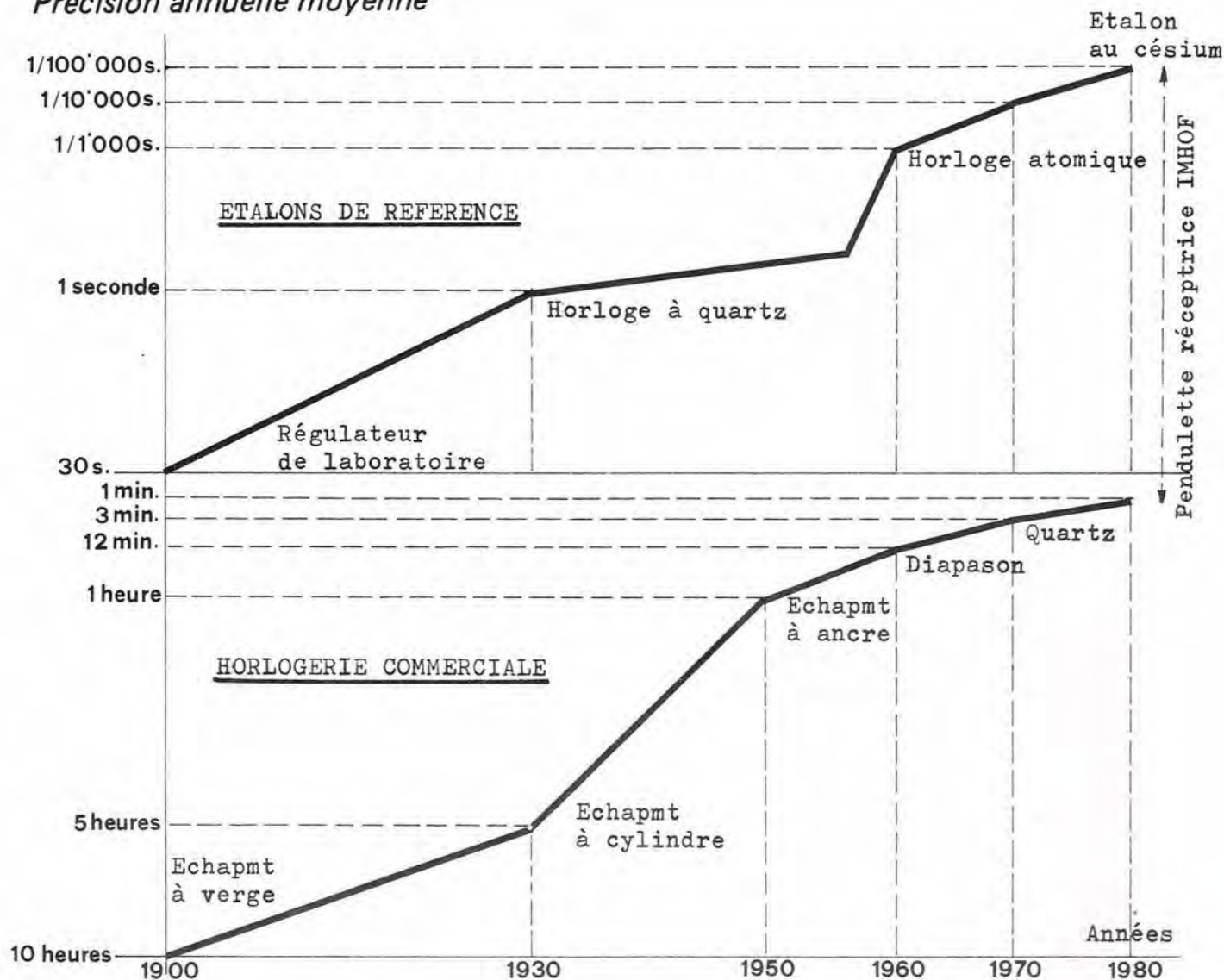


Fig. 1. — Evolution de la précision depuis le début du siècle.

l'après-quartz et plus précisément les récepteurs de signaux horaires. Et si nous parlions déjà de « perspective futuriste raisonnée », c'est bien parce que nous en devinons l'échéance relativement proche.

Certes, la transmission de signaux horaires était utilisée depuis longtemps en laboratoire et pour certaines applications particulières comme la navigation. D'ailleurs, quand on sait diffuser à distance des ondes sonores (émetteurs de radio-diffusion), intercepter les signaux émis et les traiter pour restituer les sons originaux (récepteurs radio), aucun obstacle ne se dresse contre la transmission d'impulsions à la fréquence de la seconde et de la minute. Cependant, les exigences habituelles de fiabilité, de précision et de stabilité en fréquence se posent ici avec plus d'acuité que pour la transmission de signaux émis par les stations radiophoniques.

La transmission à distance, et sans aucun support matériel de signaux horaires reste liée au principe de propagation des ondes électro-magnétiques.

Une vibration qui se propage dans l'espace forme une *onde* ; toute oscillation électrique entretenue engendre dans son

voisinage une *onde électro-magnétique* définie par sa fréquence. Le découpage des fréquences en différentes tranches débouche sur une classification des ondes électro-magnétiques (ou ondes hertziennes) en plusieurs bandes qui correspondent à des applications précises (fig. 2).

Ces ondes se propageant dans l'espace à la vitesse de 300.000 kilomètres par seconde, à chaque fréquence exprimée en hertz correspond une *longueur d'onde* λ selon la relation

$$\lambda \text{ (km)} = \frac{300.000 \text{ (km/s)}}{\text{fréquence (hertz)}}$$

La longueur d'onde représente — en termes plus horlogers — la distance en ligne droite parcourue par l'onde pendant une période ; elle s'exprime donc en unités de longueur du système métrique.

L'expérience enseigne que les ondes de haute fréquence (H.F.) se propagent mieux dans l'espace que celles de basse fréquence (B.F.) ; par contre, les B.F. pénètrent mieux que

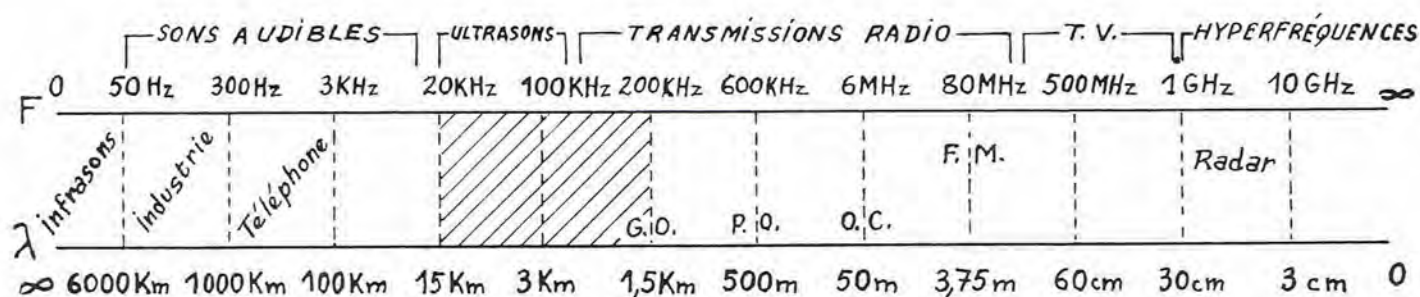


Fig. 2. — Les ondes électromagnétiques se caractérisent par leur fréquence F ou leur longueur d'onde λ . Les zones hachurées sont celles utilisées pour la transmission des signaux horaires.

les fréquences élevées. Or les tops-horaires (1 Hz ou $1/60^{\circ}$ d'hertz selon qu'on les émet chaque seconde ou chaque minute) appartiennent aux très basses fréquences dont la transmission directe par voie hertzienne ne saurait s'envisager.

Aussi use-t-on d'un artifice qui rappelle étrangement le principe des amplificateurs B.F. employés en horlogerie.

L'ampli happe au passage le signal trop faible et l'entraîne dans son circuit pour le restituer utilisable. Ici on mêle le signal B.F. à des signaux H.F. qui l'enveloppent pour le transporter vers un récepteur lointain. On recourt, dans les deux cas, aux services d'un support provisoire mais indispensable. Le signal H.F. chargé de véhiculer les tops horaires prend, pour cette raison, le nom d'onde porteuse.

Plusieurs critères ont guidé le choix de la fourchette des fréquences porteuses idéales pour acheminer les signaux horaires :

- Bande de fréquences relativement peu chargée, afin d'éviter les interférences dues à des signaux extérieurs.
- Bonne pénétration des signaux, avec une portée suffisante.
- Bonne stabilité de propagation.

— Antenne émettrice de dimensions acceptables.

Par compromis entre ces différentes exigences, la bande des 50 à 100 kilohertz avec des longueurs d'ondes échelonnées de 3 à 6 kilomètres, a été retenue jusqu'ici et quasi réservée aux signaux horaires. Elle se situe dans les plus basses fréquences de la bande des transmissions radio-électriques.

Nous donnons, ci-après, les caractéristiques des principaux émetteurs européens ainsi que, pour comparaison, celles des émetteurs de radiodiffusion d'Allouis et de Droitwich.

La combinaison des deux signaux, porteur H.F. et porté B.F., engendre — comme le montre la figure 3 — une modulation de l'enveloppe, c'est-à-dire une variation de l'amplitude des oscillations H.F. au rythme des oscillations B.F. Ces oscillations modulées doivent être traitées dans différents étages amplificateurs avant d'être appliquées à une antenne extérieure qui les rayonne dans l'espace. C'est le processus habituel de l'émission.

Naturellement, signaux horaires et fréquences porteuses sont générés par un étalon atomique ultra-précis. A titre d'exemple, l'émetteur suisse de Prangins délivre une porteuse à haute stabilité de 75 kilohertz, avec une erreur maximale de $\pm 2.10^{-12}$.

PAYS	Emplacement	Indicatif	Latitude	Longitude	Fréquence (KHz)	Longueur d'onde (km)	Précision ($\times 10^{-12}$)	Puissance (KW)
Suisse	Prangins	HBG	46° 24' N	6° 15' E	75	4	± 2	20
R.F. Allemagne	Mainflingen	DCF 77	50° 01' N	9° E	77,5	3,87	± 2	38
Grande-Bretagne	Rugby	MSF	52° 22' N	1° 11' W	60	5	± 10	50
Tchécoslovaquie	Podebrady	OMA	50° 04' N	14° 53' E	50	6	± 50	5
France	Allouis		47° 10' N	2° 12' E	163,84	1,83	± 50	500
Grande-Bretagne	Droitwich		52° 16' N	2° 09' W	200	1,5	± 20	400

Emetteurs européens de signaux horaires continus dans la bande des ondes kilométriques (pour information : émetteurs de radio-diffusion d'Allouis et de Droitwich, également pilotés par un étalon atomique).

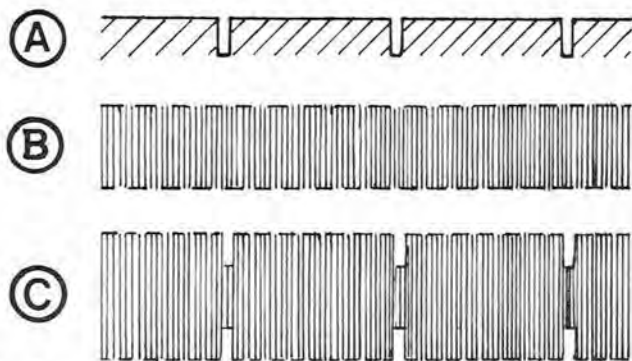


Fig. 3. — Le signal de basse fréquence (A) s'intègre aux ondes porteuses de haute fréquence (B) en les modulant (C).

Réception

Une fois intégré à l'onde porteuse qui lui sert de vaisseau, une fois ce vaisseau catapulté dans l'espace, le signal horaire parvient au récepteur qui l'intercepte au moyen d'une antenne ferrite classique, semblable à celle d'un récepteur radio. Il est toujours emprisonné dans son carcan de hautes fréquences qui induisent dans l'antenne des courants H.F. modulés.

Cependant, à la réception, l'antenne capterait tous les signaux émanant des différents émetteurs travaillant dans la même bande de fréquences si l'on ne prévoyait une sélection de ces fréquences pour refuser les émissions indésirables en isolant la fréquence propre de l'émetteur concerné. La sélection s'opère au moyen de circuits accordés sur la fréquence d'émission (circuits LC avec self ajustable et condensateur).

Le fonctionnement des circuits accordés s'appuie sur le phénomène de résonance en concédant la priorité de réception aux signaux de même fréquence que celle du circuit d'accord.

On recueille ainsi une tension alternative induite maximum, celle du courant H.F. modulé par l'intégration des signaux horaires.

Cette tension de quelques microvolts — donc trop faible pour être exploitée directement — doit subir un premier traitement amplificateur; on la soumet ensuite à la fonction de « détection » ou « démodulation » qui comporte, en réalité, deux opérations successives (fig. 4) : un redressement qui

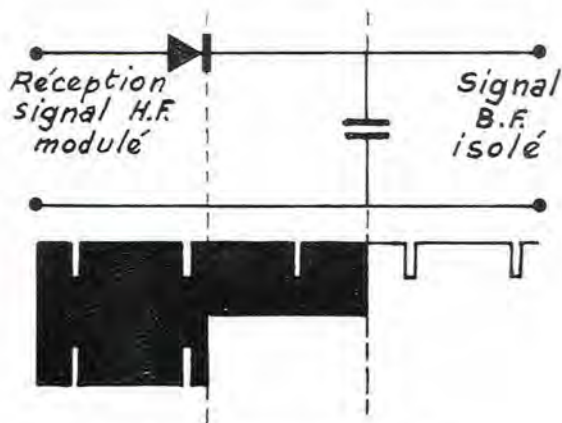


Fig. 4. — Principe de la détection

ne conserve qu'une seule polarité, puis un filtrage chargé d'éliminer la gangue H.F. pour ne restituer, en sortie, que le signal horaire de basse fréquence.

Affaibli par ces différents traitements, le signal utile doit être réamplifié pour remplir correctement sa mission.

A ce stade, direz-vous, inutile de fournir d'autres explications puisque nous disposons de signaux-secondes comme ceux recueillis à la sortie des circuits intégrés des mouvements à moteur pas-à-pas.

Si les conditions d'émission et surtout de réception s'avéraient fiables à 100 %, le signal horaire pourrait effectivement attaquer directement un transducteur. Mais la réception peut être perturbée par la présence voisine d'objets métalliques formant « cage de Faraday », la proximité d'une ligne à haute tension ou d'écrans métalliques divers sur la trajectoire entre l'émetteur et le récepteur, et même par des turbulences atmosphériques momentanées telles que les orages. Alors que la formation passagère de parasites perturbateurs n'entraîne pas de conséquences graves en cas de non-réception d'un programme télévisé, un signal horaire qui « passe mal » traduit un arrêt, c'est-à-dire un retard qui s'aggrave pendant toute la durée de la perturbation.

Il apparaît donc nécessaire de se prémunir contre ce risque inacceptable. En l'état actuel des techniques de transmission hertzienne, la solution la plus rationnelle consiste à faire usage du signal horaire pour asservir un oscillateur indépendant. La pendulette-réceptrice Imhof qui motive cette information se présente d'ailleurs comme l'adaptation en pilotage d'une pendulette quartz-aiguilles. Même en l'absence temporaire des signaux de référence, la pendulette continue de fonctionner, le pilotage redevenant efficace dès le rétablissement d'une réception normale.

En résumé, on peut comparer la transmission hertzienne au lancement d'une sonde spatiale au moyen d'une fusée porteuse dont on se débarrasse dès qu'elle devient inutile.

L'acheminement des ondes n'influence pas la fréquence originelle et n'altère que peu sa stabilité initiale.

Signaux horaires codés

Chaque seconde, l'émetteur envoie un signal distinctif, mais dans la succession des tops-seconde il convient d'identifier la minute; d'où un code établi suivant le principe binaire où l'on ne dispose que de deux états ou deux niveaux : 0 et 1. A partir de ces deux possibilités, on élabore un programme. Le tableau ci-dessous montre comment on substitue la numération binaire à la numération décimale :

Numération décimale	Numération binaire	Numération décimale	Numération binaire
0	0	7	111
1	1	8	1000
2	10	9	1001
3	11	10	1010
4	100	11	1011
5	101	12	1100
6	110	13	1101 etc.

Comme il n'existe actuellement aucune normalisation internationale des codes horaires transmis par voie radio-électrique, chaque émetteur choisit sa propre codification. L'émetteur suisse de Prangins, identifié H.B.G., émet avec le code suivant :

— *Identification de la seconde* : interruption de la porteuse H.F. pendant un dixième de seconde, au début de chaque seconde.

— *Identification de la minute* : double interruption de la porteuse H.F., la seconde interruption intervenant un dixième de seconde après la fin de la précédente (fig. 5).

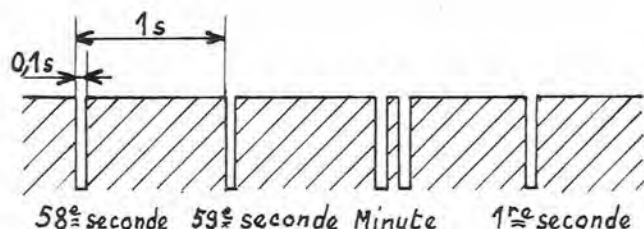


Fig. 5. — Codification de l'émetteur suisse HBG. (L'heure s'identifie par une triple interruption).

Certains émetteurs transmettent un code horaire complet indiquant également — toujours selon la logique binaire — les numéros de l'année, du mois, de la date et du jour de la semaine, précautions qui présentement ne paraissent pas indispensables.

La règle d'or d'IMHOF : tradition, raffinement, création

Nantis de ces renseignements préliminaires qui tiennent plus de la radio que de l'horlogerie électronique, les professionnels aborderont avec moins d'appréhension le fonctionnement de la pendulette asservie Imhof dont on sait déjà qu'elle marque un nouveau tournant dans l'histoire de la mesure du temps.

La Société Imhof vit le jour à La Chaux-de-Fonds, à l'aube du printemps 1924. A l'origine, un homme amoureux de la « belle ouvrage » décidé à créer des pendules et pendulettes de qualité, tant sur le plan technique qu'esthétique.

Toujours fidèle à cette vocation qu'elle considère comme une devise, la Manufacture de pendulettes et réveils Arthur Imhof S.A. continue de créer des modèles exclusifs en s'adaptant à la technique du quartz.

Mais le secret de la réussite d'Imhof réside dans le refus catégorique de produire des pendulettes d'art aux émaux rayonnants et aux formes agréables dont les luxueuses façades cacheraient un médiocre mouvement... parce qu'il en faut un ; la manufacture chaux-de-fonnière s'est, au contraire, fixée pour objectif d'allier la qualité du mouvement à celle de l'habillage. Et le seul moyen d'obtenir un mouvement sur mesure et soigné n'était-il pas de le fabriquer soi-même ?

Les horlogers apprécient depuis longtemps la bien-facture des mouvements Imhof, comme en témoigne la photo 6. Le dernier-né, un mouvement à quartz, a d'ailleurs enlevé les tout premiers bulletins de marche pour pendulettes à quartz, l'élevant ainsi au rang prestigieux de chronomètre. Conséquence qui devient une référence : les mouvements Imhof équipent désormais les pendulettes portant la griffe de Cartier.

La production totale de la manufacture comporte maintenant 50 % de quartz et s'installe définitivement dans le haut de gamme. C'est dans cette optique qu'a été élaborée, avec la complicité de l'Observatoire Cantonal de Neuchâtel, la pendulette asservie à un étalon au césium.

Le dernier cri de la technique horlogère

Une pendulette à quartz que l'on asservit à une horloge de très haute précision au moyen de signaux radio périodiques : voilà qui apparaît simple dans le principe général puisqu'on domine bien la technologie du quartz, qu'on maîtrise parfaitement la transmission de signaux par ondes hertziennes et que les horloges ultra-précises trônent depuis



Fig. 6. — Avec le quartz, comme avec la mécanique, Imhof sort des sentiers battus.



Fig. 7.
L'Observatoire Cantonal
de Neuchâtel
abrite des horloges à césium
parmi les plus précises
au monde.

longtemps dans les observatoires et dans certains laboratoires (fig. 7). Simple dans le principe, complexe dans l'application en raison de la haute fiabilité exigée, car il faut réunir, à ce stade, un ensemble de conditions spécifiques et la défaillance caractérisée d'un seul élément de la chaîne détruit tout l'intérêt du système.

Guidée par sa vocation irrépessible, la Société Imhof affirme une maîtrise de leader en réalisant la première pendulette réceptrice synchronisée par horloge atomique et commercialisable auprès du public.

L'ÉTALON-PILOTE : une horloge à césium contrôlée par l'Observatoire Cantonal de Neuchâtel dont l'appui s'est avéré efficace et décisif pour mener à son terme un projet aussi audacieux. La fréquence de référence de 75 kilohertz délivrée par l'étalon se distingue par sa stabilité à long terme et sa remarquable précision. L'écart relatif de cette fréquence, par rapport à l'échelle internationale atomique, reste inférieur à 1.10^{-12} (un billionième). La fréquence-étalon communique sa précision et sa stabilité aux signaux horaires émis à la cadence d'un signal par seconde avec redoublement à la minute.

L'ÉMETTEUR : la station H.B.G. de Prangins, sur les rives nord du lac Léman (fig. 8). Pour la circonstance, l'une des horloges atomiques de l'Observatoire de Neuchâtel a été transférée sur les lieux-mêmes de l'émission pour diffuser en permanence des signaux horaires selon le code de la figure 5.

Aidé par la puissance d'émission (20 kilowatts), le choix de la fréquence porteuse garantit une réception convenable — sauf cas exceptionnels — dans un rayon de 2.000 kilomètres couvrant l'Europe entière, avec une bonne pénétration dans les immeubles sans recourir à la servitude d'une antenne extérieure comme en télévision.

LE RÉCEPTEUR : une prestigieuse pendulette à poser signée Imhof. Tels une pierre précieuse sertie dans sa monture, le mouvement et ses circuits électroniques satellites de réception, détection et synchronisation sont enchâssés dans

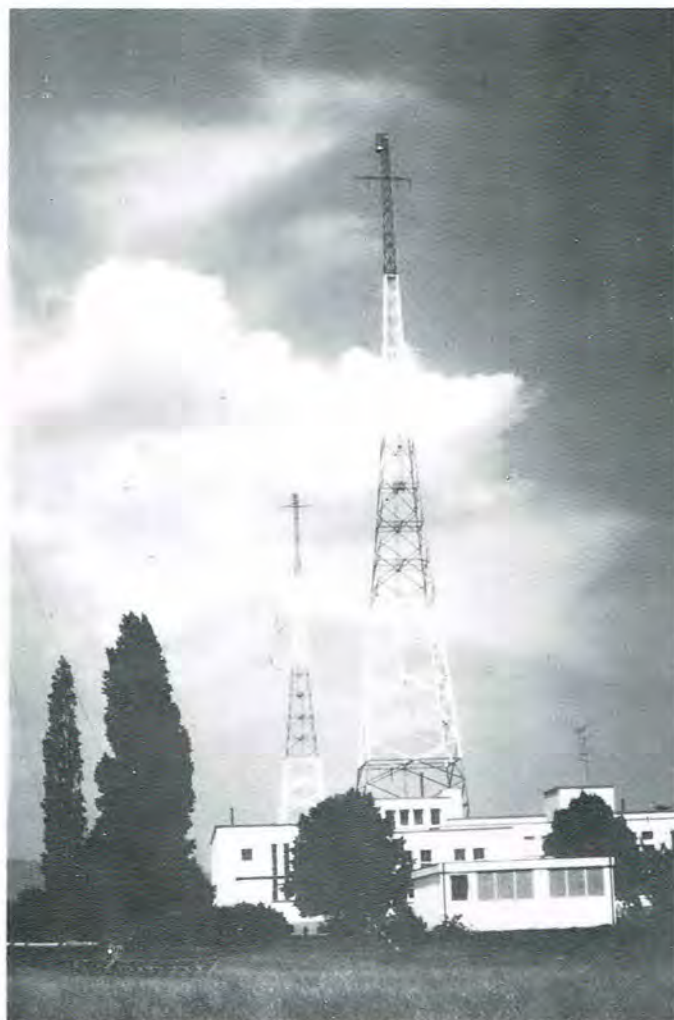


Fig. 8.
L'antenne émettrice
de Prangins.



Fig. 9. — Sans aucune intervention, l'heure exacte pendant dix ans : c'est la performance étonnante d'Imhof.

une cage d'acajou massif poli et verni au polyester, avec incrustation en laiton brossé. Un luxueux cadran doré, avec index relief, donne libre champ à de fines aiguilles bâton, celles qui justement indiquent l'heure, la minute et la seconde avec la précision télécommandée d'une horloge atomique lointaine et invisible (fig. 9).

Fiable et 100 % automatique avec une autonomie d'environ dix ans, ce chronomètre exceptionnel comporte même un système de commutation automatique pour le changement d'heure semestriel été-hiver.

Un modèle racé qui s'adresse d'abord à un public de connaisseurs et qui pourrait bien tenter les professionnels horlogers, spécialistes avertis, pour leur usage personnel, leur magasin ou leur atelier.

Caractéristiques techniques : synchronisation ; heure été-hiver

Ouvrons la pendulette

L'ouverture du couvercle arrière laisse apparaître trois boutons de couleurs différentes. Deux d'entre eux assurent respectivement la mise à l'heure initiale et l'arrêt à volonté de la trotteuse au voisinage d'un top de référence. Associé à un témoin lumineux de réception, le troisième bouton contrôle si la pendulette capte bien les signaux-pilotes de Prangins, seconde par seconde, c'est-à-dire au rythme de l'émission H.B.G. Cette précaution préliminaire est indispensable pour détecter le mutisme éventuel des signaux de pilotage et pour déterminer l'emplacement et l'orientation idéaux de la pendulette comme on le fait habituellement avec un récepteur radio.

Les yeux se porteront ensuite sur la plaquette électronique composée d'une vingtaine de circuits intégrés et de divers éléments qui rappellent ceux d'un récepteur radio (fig. 10) :

— Une antenne ferrite classique A qui capte les signaux pour les traiter dans un récepteur accordé sur la fréquence d'émission de 75.000 hertz. On distingue nettement les selfs d'accord, ajustables.

— La base de temps B, oscillateur à quartz semblable à ceux de toutes les pendulettes électroniques actuelles. On reconnaît aisément la capsule cylindrique du quartz, le trimmer et le circuit intégré avec ses composants annexes.

L'oscillateur délivre des signaux de 4,194304 MHz que le circuit intégré divise jusqu'à la seconde et à la minute. Cette base de temps ne requiert pas une grande précision puisqu'elle se laisse piloter par les signaux stabilisateurs H.B.G. ; elle n'est donc pas thermostatée et son ajustement s'opère par le trimmer avec une tolérance diurne d'une demi-seconde, soit 3 minutes par an.

— Les circuits logiques C de synchronisation du quartz avec le signal de minute de l'émetteur. Ils réalisent le parfait synchronisme entre les impulsions-minute de l'oscillateur B et celles captées de l'émetteur.

— Le circuit D de détection et d'exécution des ordres en provenance de l'émetteur. Ce circuit traduit et exécute tous les ordres transmis, y compris le changement d'heure été-hiver après avoir interrogé la pendulette préalablement codée pour cette fonction.

— Le circuit E actionnant le transducteur électro-mécanique, un moteur pas-à-pas normal. La forte capacité qui se détache du circuit réalise, par charges et décharges successives, l'alternance des polarités au moteur.

— Le dispositif F de contrôle de réception par diode électro-luminescente des signaux de Prangins.

— La pile au lithium G à grande capacité, d'une tension de 3,4 volts environ. Elle assure une longévité exceptionnelle

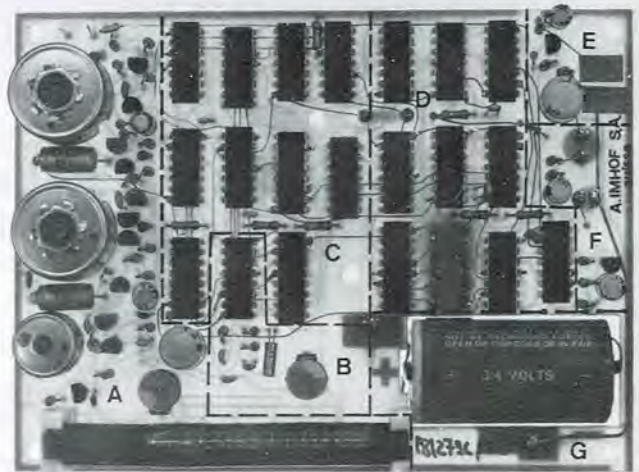


Fig. 10. — Un véritable cerveau électronique qui enregistre, traduit, compare et corrige :

A : Antenne et récepteur accordé.

B : Base de temps, à quartz.

C : Circuit de synchronisation.

D : Détection et exécution des ordres émanant de l'émetteur.

E : Circuit actionnant le moteur pas-à-pas.

F : Contrôle de réception des signaux HBG.

G : Pile lithium longue durée.

qui se traduit par un fonctionnement autonome et régulier de la pendulette pendant dix ans sans aucun entretien ni aucune intervention manuelle, pas même les corrections imposées par les décalages horaires été-hiver.

Le circuit imprimé largement dimensionné masque la partie mécanique et la minuterie qui demeurent traditionnellement horlogères.

A souligner le très haut facteur de qualité de l'amplificateur du récepteur A refusant l'inclusion de parasites H.F. qui dénatureraient le signal utile.

La consommation moyenne globale n'excède pas 50 μ A sous 3,4 volts.

Synchronisation

Une réception parfaite et ininterrompue s'imagine difficilement puisqu'on peut craindre en tous points de la zone de réception le passage d'un avion à basse altitude et au moment précis d'un signal-seconde, une perturbation atmosphérique entre l'émetteur et le récepteur, ou simplement la formation de parasites temporaires par des émetteurs locaux, des moteurs ou des tubes au néon, certains parasites influençant d'ailleurs aussi bien l'émetteur que le récepteur.

Il fallait donc impérativement que le récepteur possédât sa propre base de temps afin de garantir sinon la fiabilité absolue du réglage du moins celle du fonctionnement permanent.

Supposons une longue interruption de la réception des signaux de pilotage, 24 heures par exemple. La pendulette fonctionnera à partir de son propre oscillateur qui engendrera peut-être une « marche » d'une seconde au terme de ces fatidiques 24 heures. Un recalage par signaux-seconde se montre, dès lors, impossible car le récepteur, ignorant le nombre de secondes d'interruption et donc incapable de totaliser les écarts élémentaires, procéderait à la synchronisation de la seconde erronée avec le signal H.B.G. L'écart subsisterait.

Aussi utile-t-on le double top-minute pour rétablir la coïncidence temporelle. L'interruption des émissions ne durant jamais plusieurs mois, la base de temps imparfaite de la pendulette conservera l'heure à moins d'une demi-minute près. Le recalage se produira donc automatiquement sur la minute vraie de l'émetteur dès le retour à des conditions normales de réception.

Un compteur dit *up-down* donne, chaque minute, le signe de décalage entre la minute exacte de l'oscillateur et celle de l'horloge atomique. Ce signe est enregistré en même temps que la valeur absolue du décalage : la correction s'effectue ensuite par adjonction ou suppression de certaines impulsions.

La capacité de correction avoisine 2 secondes par heure. Des écarts horaires de 2 secondes ne pouvant se produire que par un concours de circonstances impensable imposant notamment la présence très marquée de parasites synchrones, un processus de synchronisation permanent s'instaure entre l'horloge atomique et la pendulette-réceptrice.

Changement d'heure été-hiver télécommandé

Plusieurs pays européens — dont la France — adoptent un double horaire été-hiver, et de surcroît à des dates différentes pour pratiquer le changement d'heure officiel.

Pendant la nuit du décalage, l'émetteur H.B.G. transmet, outre le signal horaire, un message codé indiquant le pays concerné ainsi que l'opération à effectuer. Le récepteur, dont les circuits sont adaptés à la codification choisie, déchiffre le message et ordonne son exécution : soit l'arrêt pendant une heure, soit l'avance accélérée d'une heure. Commandé depuis Prangins, le changement d'heure n'appelle donc aucune manipulation.

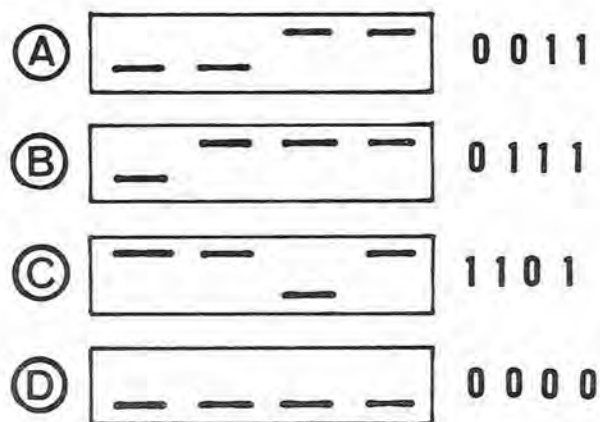


Fig. 11. — Codification binaire par l'émetteur HBG pour l'Europe entière (A), sauf l'Italie (B), le Benelux (C) et code en réserve (D), (programmation manuelle sur barrette, à l'arrière de la pendulette).

Techniquement, l'émetteur module ses signaux d'après un code de 8 « bits », c'est-à-dire de 8 unités d'information particulières, entre la 3^e et la 8^e seconde de chaque minute. La durée de certains tops est doublée (0,2 seconde), ce qui équivaut à un « 1 binaire » alors qu'un top normal (0,1 seconde) équivaut à un « 0 binaire ». On réalise ainsi un code qui désigne le pays visé.

Au niveau du récepteur, une série de 4 plots de commutation permettent de programmer, selon un tableau de référence, la codification propre à chaque pays. C'est un exemple simple mais significatif d'une programmation en logique binaire (fig. 11).

Afin de parer à une mauvaise réception passagère, les signaux de changement d'heure (étalés sur 8 secondes) sont répétés pendant une heure, plusieurs fois au cours de la journée concernée. Cependant, pour éviter le risque d'une cumulation d'effets, un système électronique *flip-flop* fixe le sens de la retouche en interdisant toute réaction des circuits face à une succession d'ordres identiques.

Naturellement, les principes de la synchronisation et de l'automatisme intégral reposent à la fois sur le bon fonctionnement de l'émetteur qui implique une dépendance unilatérale et sur la bonne réception des signaux qui dépend du récepteur et des impondérables de la transmission hertzienne.

Quand on connaît la fiabilité à long terme de l'électronique comparée à celle de la mécanique, quand on se rappelle que la fréquence porteuse a été choisie dans une bande peu encombrée et quasi réservée aux applications particulières des signaux horaires, quand on sait enfin que chaque pendulette fait l'objet, en usine, d'essais fonctionnels complets à courte distance avec un émetteur de travail simulant les signaux H.B.G., on doit admettre qu'Imhof a mis toutes les chances de son côté pour réaliser la plus prestigieuse pendulette des temps modernes.

M.L.



MANUFACTURE
DE PENDULETTES D'ART ET RÉVEILS

ARTHUR IMHOF S.A.

2300 LA CHAUX-DE-FONDS (SUISSE)