

Les effets de la révolution électronique sur l'horlogerie contemporaine

Autor(en): **Bassin, Pierre-Alain**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Actes de la Société jurassienne d'émulation**

Band (Jahr): **81 (1978)**

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-685225>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les effets de la révolution électronique sur l'horlogerie contemporaine

par Pierre-Alain Bassin

En Suisse, l'horlogerie est une industrie séculaire. Son origine remonte à 1679, date à laquelle un modeste serrurier de La Sagne, Daniel JeanRichard, entra dans la légende pour avoir su remettre en état de marche la montre de poche que portait un maquignon anglais de passage. Dans le Jura, la manufacture de la montre s'est répandue du sud au nord, apparaissant d'abord à La Neuveville, au XVII^e siècle, puis gagnant l'Erguël et les Franches-Montagnes, avant d'essaimer le long de la Birse et en Ajoie.

Durant deux cents ans, ce fut le règne de l'artisan, celui qui confectionnait la montre dans ses moindres détails. Au siècle dernier, l'arrivée du machinisme et la division du travail contribuèrent à la création des grandes entreprises. Depuis lors, l'horlogerie a fait vivre l'arc jurassien, de Genève à Schaffhouse. Elle fut le moteur de son industrialisation.

Cependant, avec la venue de la montre électronique, dernier-né des produits horlogers, les traditions sont bousculées. Auparavant, les entreprises, profondément enracinées dans la vie des communautés locales, étaient des facteurs d'équilibre. Elles participaient à une sorte de décentralisation économique. Chaque village avait ses petits ateliers autour desquels il s'était peu à peu développé. La réforme des structures puis l'avènement de la montre électronique ont modifié la répartition géographique des différents éléments de l'articulation industrielle. Désormais, la recherche est l'apanage des grands laboratoires, généralement implantés dans les villes du Plateau suisse. Et le Jura, où des générations d'ingénieurs et de techniciens ont su jadis imaginer périodiquement des produits nouveaux, est tenu à l'écart de l'effort de création qui anime l'horlogerie contemporaine. A de rares exceptions, ses usines ne font plus que produire selon des plans conçus ailleurs. Pourquoi?

HORS DE SON ISOLEMENT TECHNIQUE

Parce qu'aujourd'hui l'industrie de la montre s'inspire de techniques qui lui permettent de partager ses problèmes avec d'autres secteurs industriels. Lorsqu'il s'agissait d'inventer un nouveau mécanisme de remontage automatique ou d'améliorer la précision du mouvement, la tâche pouvait être confiée à un seul ingénieur, spécialiste des questions propres à la montre mécanique. Mais les performances, pourtant remarquables, atteintes par l'horlogerie classique, ont fini par l'isoler. Aucun autre domaine de la technique n'avait besoin d'une pareille précision ou d'un tel degré de miniaturisation. Il était donc improbable que des découvertes horlogères aient des retombées sur d'autres disciplines. Tout comme il était impossible d'importer des astuces ou des procédés développés pour d'autres techniques.

La situation est toute différente en horlogerie électronique. Ainsi, le niveau de consommation d'énergie conditionne la durée de vie de pile et, par conséquent, la fréquence des visites chez l'horloger rhabilleur. Ce n'est pas un sujet propre à l'horloger. L'électronicien rencontre les mêmes difficultés. La recherche spatiale, l'électronique médicale et l'industrie des ordinateurs ont des problèmes similaires. Au stade actuel de son développement, l'horlogerie électronique est entraînée dans un vaste mouvement engendré par l'invention des lampes, des transistors, puis des circuits intégrés. Elle n'est plus isolée et ses chercheurs trouvent des solutions en pouvant accéder aux travaux et aux conclusions d'autres chercheurs, œuvrant dans des domaines différents, mais rapprochés par l'électronique omniprésente.

Comment est née l'horlogerie moderne, celle où le tic-tac a été remplacé par le cheminement discret des électrons? Très longtemps, les horlogers n'ont utilisé que le va-et-vient du pendule ou du balancier-spiral, dont le bon fonctionnement reposait sur les principes énoncés en 1656 déjà, par le physicien hollandais Huygens. De constantes améliorations ont certes été apportées et elles ont eu des conséquences favorables sur les performances sans cesse accrues.

LES PRÉCURSEURS

C'est en 1832 qu'on parla pour la première fois d'horlogerie électrique, lorsque le physicien Zamboni, de Vérone, construisit une horloge dont le pendule était attiré, puis repoussé, par les pôles d'une pile électrique de sa conception, mais dérivée de celle de Volta.

Durant la seconde moitié du XIX^e siècle, plusieurs solutions allaient être trouvées pour entretenir électriquement le mouvement périodique de l'oscillateur. On en retiendra une, parce qu'elle fut géniale, celle de l'horloger wurtembourgeois Matthias Hipp, qui utilisa un interrupteur à palette, permettant une régulation automatique du balancier. Etabli à Neuchâtel, Hipp améliora son système et fonda une fabrique d'appareils électriques spécialisée dans les distributions horaires. Son principe se rencontre encore dans certaines horloges mères.

Tous les modèles proposés à cette époque étaient actionnés par des dispositifs à contact. On les retrouvera, perfectionnés, durant la première moitié du XX^e siècle, dans l'industrie de la pendulette. Sans entrer dans les détails, il convient de mentionner à ce chapitre les travaux de la Manufacture d'Horlogerie H. Bueche-Rossé, à Court, qui ont abouti à la mise au point de l'horloge *Orel*, et ceux de la société Horlogerie Electrique, à Reconvilier, qui se sont traduits par un modèle presque semblable, appelé *Sterling*. Dans les deux cas, le balancier et le spiral sont montés sur le même axe qu'une armature de fer doux dont les branches oscillent de part et d'autre de deux pièces polaires d'un électro-aimant en fer à cheval. Le circuit électrique de ce dernier est fermé par un contact solidaire de l'axe du balancier, de manière qu'à chaque oscillation l'électro-aimant soit excité. Une impulsion motrice est alors imprimée à l'armature, et la vibration du balancier et de son spiral est ainsi entretenue. La transmission de l'oscillation motrice au rouage se fait par l'intermédiaire d'un cliquet élastique agissant sur une roue à rochet.

LES HORLOGES A QUARTZ

La révolution électronique s'amorce, au début du XX^e siècle, avec la découverte de la lampe diode par l'Anglais John Ambrose Fleming. Puis avec le perfectionnement apporté par l'Américain Lee de Forest, inventeur de la lampe triode. A la fin de la Première Guerre mondiale, des physiciens réussirent à entretenir les vibrations d'un diapason à l'aide d'un montage faisant usage de ces lampes.

Mais un pas important allait être franchi avec les horloges à quartz, dont le premier modèle a été présenté en 1929 par l'Américain W. A.arrison et par les Allemands A. Scheibe et U. Adelsberger. Leurs travaux préfigurent ceux qui aboutirent à la montre électronique d'aujourd'hui, puisqu'un certain nombre d'organes se rencontrent dans les deux types de garde-temps : l'oscillateur étalon, le diviseur de fréquence, le moteur synchrone, le dispositif d'affichage de l'heure

et la source d'énergie. Ces nouvelles horloges surpassaient en précision toutes celles qui les précédaient. Leur cristal vibrait à des fréquences comprises entre 100 000 hertz (c'est-à-dire 100 000 oscillations par seconde) et 5 000 000 de hertz. Mais déjà s'annonce une troisième période, beaucoup plus fertile en innovations horlogères, grâce à la venue du transistor.

UNE DÉCOUVERTE CAPITALE: LE TRANSISTOR

Jusque-là, rien ne laissait supposer qu'on saurait un jour réduire ces volumineux instruments, dont certains avaient la dimension d'un placard, pour en faire des montres-bracelets. Une découverte presque fortuite allait jouer un rôle capital. En 1947, trois physiciens de la Bell Company, John Bardeen, Walter Brattain et William Shockley bricolent une diode à germanium. Brusquement, un phénomène inconnu se produit: un des conducteurs enregistre les mêmes signaux que ceux livrés à la diode, mais ils sont amplifiés jusqu'à quarante fois. C'est un peu comme si la résistance au courant électrique était transférée d'un fil à l'autre. Une image qui allait servir pour le baptême du nouvel élément, «transfer resistor» devenant «transistor».

A l'intérieur des lampes, les électrons cheminaient dans le vide. Avec les transistors, les courants vont s'établir au sein d'un cristal, entre des zones auxquelles sont appliquées des différences de potentiel. Les avantages sont évidents; par rapport aux tubes de Fleming ou de Forest, les transistors sont plus petits, plus solides et plus fiables. Il n'est pas nécessaire de les chauffer et les tensions qu'ils requièrent sont de l'ordre de quelques volts. Les débouchés sont abondants, par exemple pour les appareils qu'on pourra libérer de la sujétion d'un réseau de distribution électrique, en utilisant des piles de faible tension. Pour une génération, l'élément électronique «transistor» sera synonyme de «radio à transistors», sa première et sa plus spectaculaire percée industrielle.

La durée de vie du transistor dépasse 100 000 heures, contre quelques milliers pour le tube à vide. Il n'a presque pas d'inconvénients, sinon sa sensibilité aux variations de température. Il va suggérer de multiples applications, dans tous les domaines où la miniaturisation est un facteur impératif. Dans les années 1950, les horlogers vont songer à en équiper les montres, de manière à réaliser dans un volume moindre un appareil aussi précis que l'étaient les horloges à quartz. Du coup, c'est comme si le moteur de voiture pouvait prendre place dans un paquet de cigarettes!

LA MÉCANIQUE ESSOUFFLÉE

Une montre comprend immuablement trois organes : une source d'énergie, un oscillateur et un mécanisme de comptage chargé de comptabiliser les oscillations afin de rendre l'heure visible au moyen d'aiguilles ou de chiffres. Sa précision est déterminée par la régularité de cet oscillateur. Les montres mécaniques ont consacré la suprématie en la matière du balancier-spiral. Le balancier est une roue qui pivote sur un axe et le spiral est un ressort enroulé autour de l'axe, qui tend à ramener le balancier dans sa position d'équilibre dès qu'il s'en écarte. En théorie, le couple balancier-spiral a des oscillations de fréquence parfaitement constante s'il est exempt de frottements, parfaitement équilibré et s'il n'est pas soumis aux effets de la pesanteur.

Le système accomplit un mouvement isochrone ; cela signifie que le temps mis pour parcourir une oscillation est indépendant de l'amplitude, autrement dit de la valeur angulaire du déplacement. Mais, durant son mouvement, le résonateur perd de l'énergie, en raison des inévitables frottements. On doit donc, périodiquement, lui fournir une énergie d'entretien. Dans la montre mécanique, c'est le ressort de barillet qui assume cette fonction. Dans la montre électronique, où le résonateur subit des pertes identiques, la source d'énergie est une pile miniature produisant une énergie électrique à partir de réactions chimiques de recombinaison. Les piles les plus utilisées sont à l'oxyde de mercure.

La recherche d'une précision accrue a incité les chercheurs à se servir de résonateurs dont la fréquence est toujours plus élevée (fig. 1). Seule l'électronique pouvait permettre cette évolution. En effet, l'entretien mécanique d'un résonateur est limité à une dizaine d'impulsions par seconde. Ce seuil franchi, l'inertie des éléments en mouvement paralyse le système de distribution. Ce n'est pas le cas pour l'électron, qui jouit d'une très grande liberté de mouvement dans son conducteur. Il peut entretenir sans difficultés des résonateurs oscillant jusqu'à un million de fois par seconde.

SURCROÎT DE PRÉCISION

L'horlogerie électronique joue donc avec le surcroît de précision qu'elle peut offrir, puisqu'elle multiplie par un facteur dix les meilleures performances de la mécanique. Une montre à quartz de série peut atteindre une précision d'un dixième de seconde par jour, soit environ une minute par an. C'est plus qu'il n'en faut pour les usages courants. Et, une fois par an, le porteur se rend chez l'horloger-rhabilleur qui

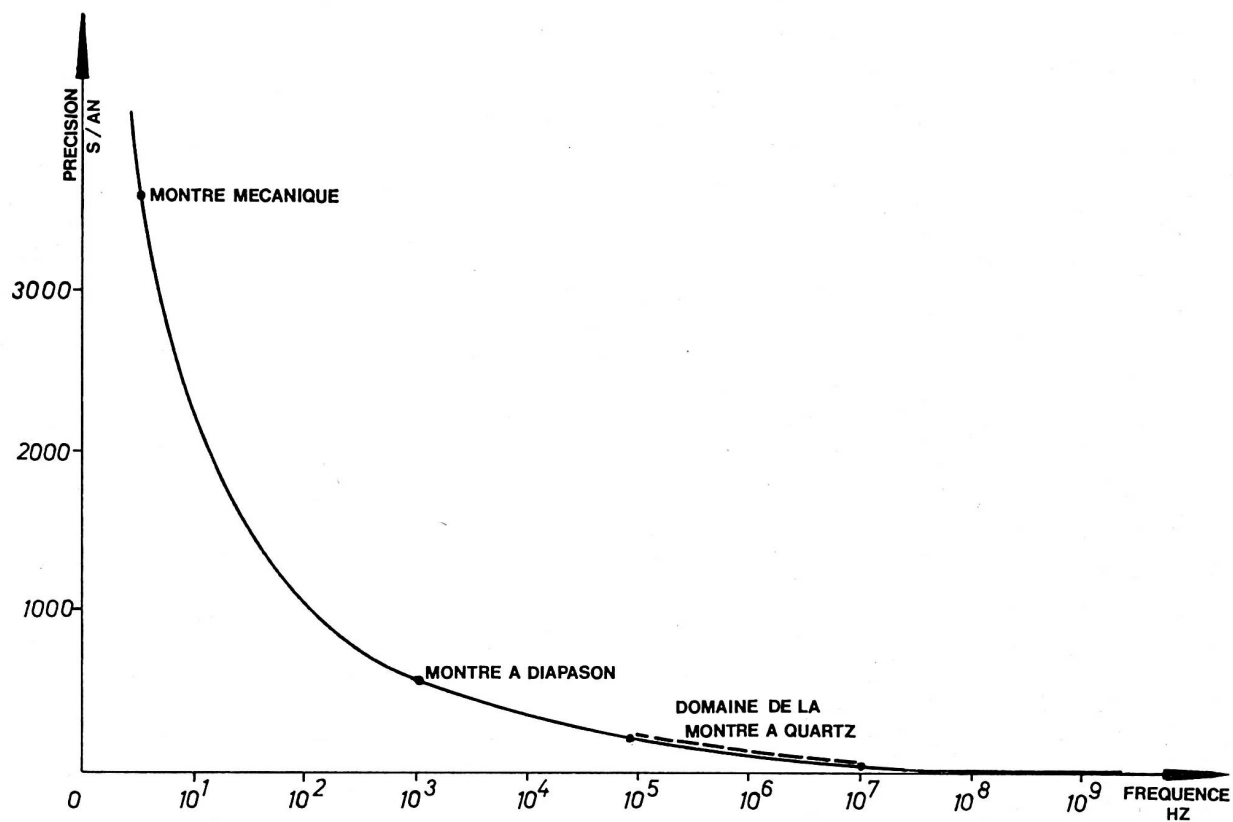


FIG. 1

procède au changement de la pile, dont les réactions chimiques se sont épuisées. L'horloger corrige alors le défaut de marche au dixième de seconde près et, durant une nouvelle année, l'utilisateur est assuré de lire l'heure à la minute près, sans avoir à effectuer la moindre opération d'entretien ou de contrôle.

Voilà l'objectif visé: la montre qu'on ne remet plus à l'heure soi-même. L'atteindre dans une pendulette électrique, qui n'est pas soumise à des facteurs perturbateurs comme les chocs ou les mouvements, est presque un jeu d'enfant. Y parvenir dans la montre-bracelet est d'une plus grande difficulté. Dans le premier cas, on en reste à l'électronique élémentaire; dans le second, il faut faire appel aux circuits électroniques les plus évolués. On sort de l'astucieux «bricolage» pour pénétrer dans le domaine avancé de la technologie des semi-conducteurs.

UN PREMIER PAS: LE DIAPASON

En 1960, l'ingénieur suisse Max Hetzel met au point une montre révolutionnaire, dans laquelle le balancier-spiral est remplacé par un diapason oscillant à la fréquence de 360 hertz. La pile de la montre fournit un courant électrique qui, en passant par deux bobines motrices, crée un champ magnétique agissant tour à tour sur deux aimants fixés aux extrémités du résonateur, dont la forme s'approche du U. Pour créer ces impulsions, un des aimants est entouré d'une bobine caprice et provoque, par son va-et-vient, une tension alternative qui ouvre et ferme un transistor. Les vibrations du résonateur sont transmises à leur tour à un engrenage mécanique qui actionne les aiguilles de la montre (fig. 2). Un garde-temps de ce genre atteint une précision d'une minute par mois. Sa marche est légèrement affectée par les changements de position, les branches du diapason subissant l'action de la pesanteur.

En 1967, une nouvelle montre électronique fait son apparition. Elle est l'œuvre du Centre électronique horloger, à Neuchâtel, un organisme communautaire qui regroupe deux douzaines de partenaires industriels. Elle utilise les propriétés piézo-électriques du quartz, découvertes en 1880 par Pierre et Jacques Curie. En quoi consistent ces dernières? Lorsqu'une lame de quartz subit une contrainte mécanique (flexion, compression ou cisaillement) dans des conditions bien déterminées, des charges électriques de signes opposés apparaissent sur certaines faces. En fait, c'est l'effet piézo-électrique inverse, mis au point par Lipmann en 1881, qui est utilisé en horlo-

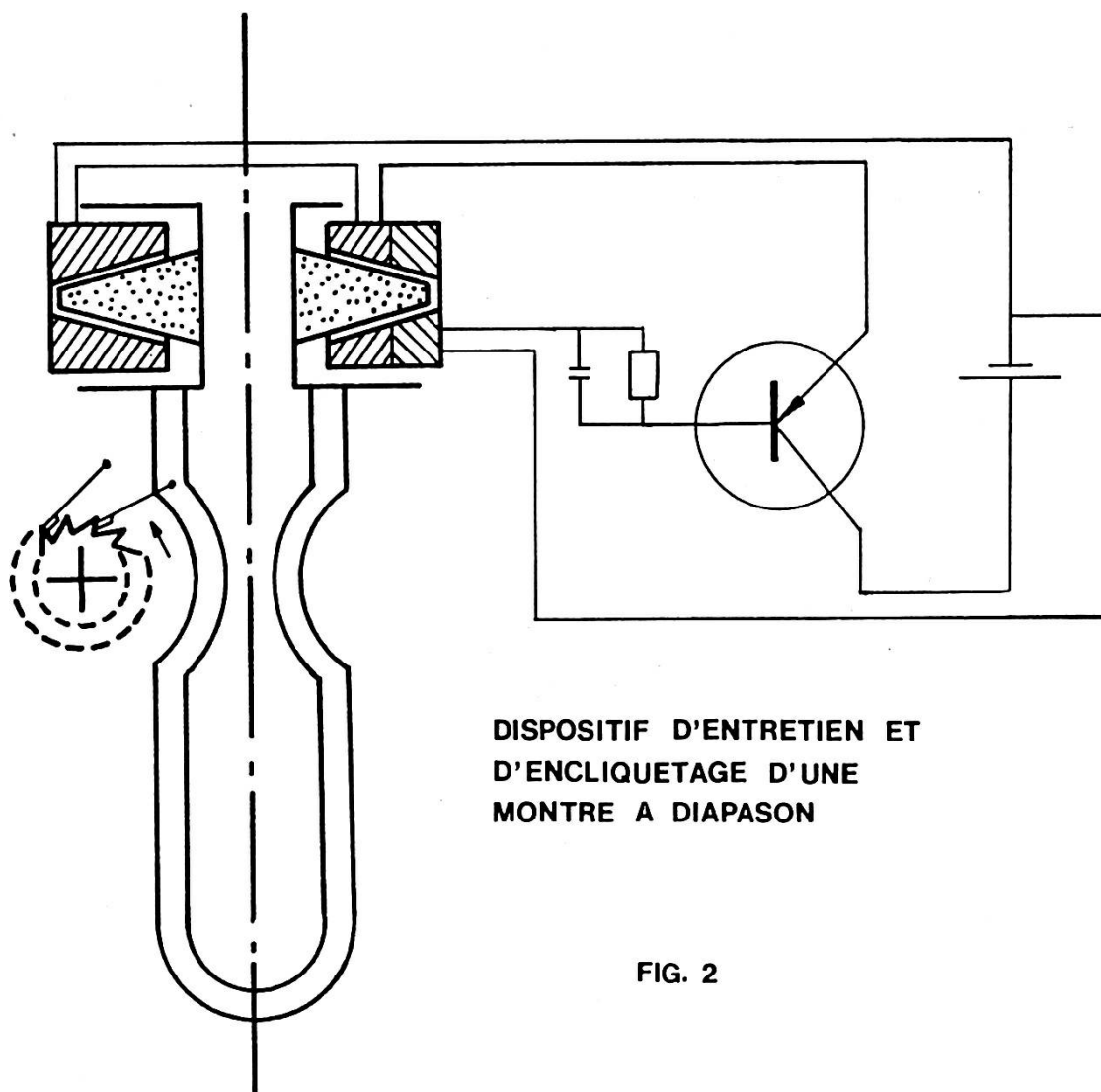
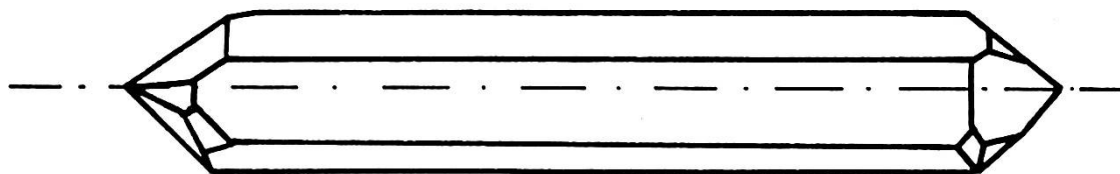


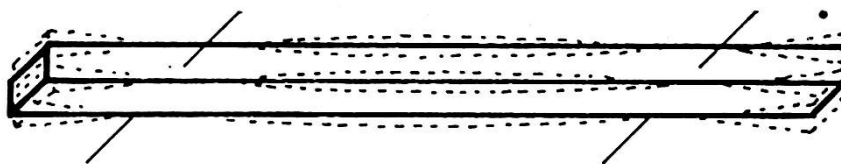
FIG. 2

gerie: une lame de quartz placée dans un champ électrique variable se dilate et se contracte, autrement dit se met à vibrer. Il est donc possible de s'en servir comme résonateur; lorsque la fréquence propre du quartz est égale à celle de l'excitation, le quartz entre en résonance. Le quartz naturel se présente sous la forme d'un prisme hexagonal, aux extrémités pyramidales (fig. 3). La fréquence est déterminée par le façonnage (fig. 4).



CRISTAL DE QUARTZ DE FORME HEXAGONALE

FIG. 3

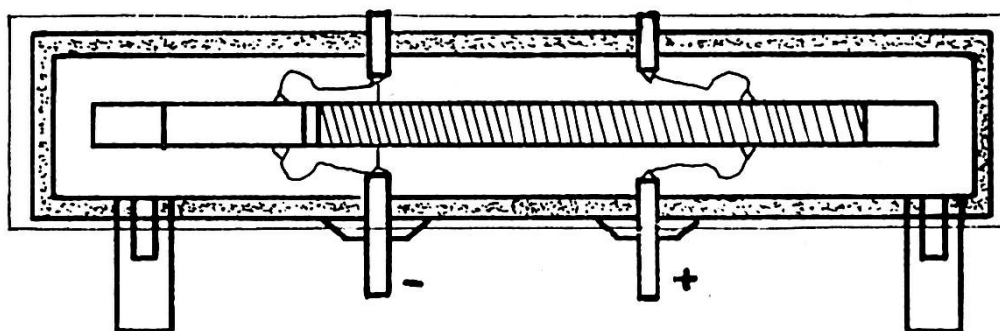


LAME DE QUARTZ SOUMISE A UNE VIBRATION EN FLEXION

FIG. 4

FACTEUR DE QUALITÉ SUPÉRIEUR

Dans les montres à quartz, le cristal est placé entre deux électrodes reliées à un circuit électrique (fig. 5). Quand le quartz est comprimé, une tension électrique apparaît sur les électrodes et, réciproquement, l'envoi d'une tension sur les électrodes crée une pression sur le quartz. La première compression fait donc apparaître une tension électrique qui, transmise par le circuit, reviendra sur le quartz pour le comprimer à nouveau. Si le système était isolé et si la résistance électrique des éléments du circuit était nulle, la fréquence des oscillations serait parfaitement déterminée. Mais les frottements, inévitables, tendent à amortir les oscillations. Il faut alors coupler l'oscillateur à une source d'énergie qui compensera ces pertes. On doit encore asservir le système de comptage. En raison de ces différentes liaisons, la fréquence n'est plus parfaitement définie. Elle n'est plus la fréquence de résonance du quartz, mais elle varie à l'intérieur d'un étroit domaine. Cette excursion de fréquence est appelée facteur de qualité par les horlogers. Et ce facteur est d'autant plus grand que le domaine est plus étroit. L'avantage essentiel du quartz utilisé comme résonateur de montre est que le facteur de qualité est cent à mille fois plus grand que celui d'un balancier-spiral. La montre à quartz peut donc être cent à mille fois plus précise que la montre mécanique classique. C'est un atout



QUARTZ EMBOITE SOUS VIDE DANS UNE CAPSULE METALLIQUE

FIG. 5

déterminant: la montre à quartz dérive de quelques secondes par année, contre quelques secondes par jour pour la montre à balancier.

Les constructeurs sont confrontés à des impératifs d'ordre technique ou technologique: la longueur du barreau de quartz est limitée par la dimension du boîtier. Or, plus le barreau est court, plus sa fréquence de vibration est élevée. Les mêmes contingences volumiques président au choix du diviseur de fréquence, des circuits d'entretien et de commande. Les ingénieurs ont dû opter pour les circuits intégrés, c'est-à-dire pour ces petites plaquettes monolithiques qui comportent un très grand nombre de composants sous un volume réduit.

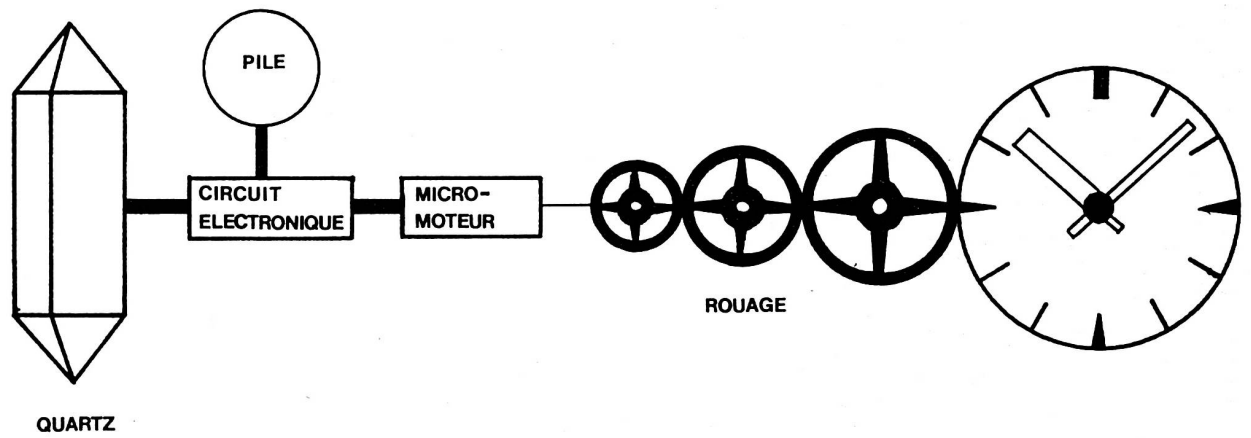
A quoi servent ces circuits? On ne peut envisager l'utilisation directe des vibrations du quartz pour afficher l'heure. Si la fréquence du quartz est de 8192 ou de 32 768 hertz, il faut la ramener à une valeur plus basse, compatible avec les exigences du dispositif d'affichage, qu'il s'agisse d'un minuscule moteur ou d'un système à chiffres lumineux.

L'énergie fournie par la pile est transmise par un circuit d'entretien pour maintenir l'agitation du quartz. Dans une montre bien conçue, la fréquence de ce dernier peut être corrigée, au besoin, à l'aide d'une petite capacité variable. Les vibrations du quartz sont ensuite divisées électroniquement jusqu'à ce qu'on parvienne à une grandeur utilisable par un moteur, si l'affichage se fait au moyen d'aiguilles (fig. 6). Dans ce cas, le rôle du moteur est de transformer les impulsions électriques qu'il reçoit en un mouvement mécanique qui actionnera les aiguilles de la montre.

La réalisation d'une montre à quartz n'aurait pas été concevable sans les progrès de la micro-électronique. Car, si les puissances mises en jeu et si les courants qui traversent les circuits sont très faibles, les problèmes de miniaturisation ont été réels à l'époque où les premières montres électroniques germaient dans le secret des laboratoires. Au stade actuel du développement, les circuits intégrés ont une densité d'environ 10 000 éléments par centimètre cube. A titre de comparaison, la densité des neurones du cerveau humain est d'environ dix millions par centimètre cube.

L'AFFICHAGE PAR CHIFFRES LUMINEUX

Les montres entièrement électroniques ont été mises sur le marché au début des années soixante-dix. Les premiers modèles mettaient en pratique les diodes lumineuses, qui ont l'inconvénient de



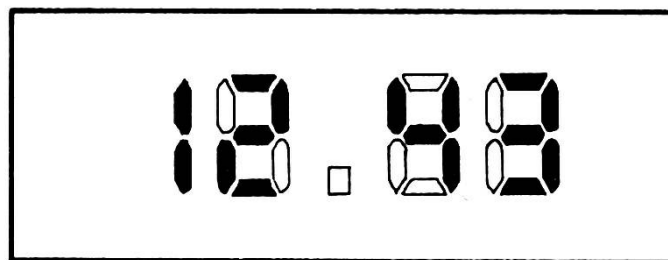
SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE MONTRE A QUARTZ ANALOGIQUE

FIG. 6

consommer beaucoup d'énergie (3,4 Wh en affichage permanent). Chaque base de chiffre est composée de sept segments formés chacun de cinq diodes alimentées en parallèle. Ces segments peuvent être illuminés individuellement, et ils permettent de former n'importe quel chiffre. C'est aux Etats-Unis que ces dispositifs ont été mis au point. Ils sont fiables, ont une longue durée de vie et un faible encombrement. Malheureusement, lorsque la lumière ambiante est intense, par exemple en plein soleil, la lisibilité est mauvaise. En outre, l'affichage par diodes doit surmonter un «handicap pratique», puisqu'il faut peser sur un bouton pour pouvoir lire l'heure. L'usage de ce bouton est une contrainte et non un choix. La capacité de la pile est insuffisante pour que les diodes fonctionnent de façon continue durant douze ou dix-huit mois.

Peu à peu, les dispositifs d'affichage par cristaux liquides ont remplacé les diodes. Les cristaux liquides sont des corps dont l'organisation moléculaire est à mi-chemin entre l'état liquide (ou désordonné) et l'arrangement cristallin. Le corps conserve les propriétés mécaniques d'un liquide, mais il se comporte malgré tout comme un cristal. On distingue trois catégories de cristaux liquides: les nématiques, les smectiques et les cholestériques. En horlogerie, ce sont principalement les nématiques que l'on rencontre.

Les cristaux liquides n'émettent pas de lumière. Ils sont déposés entre deux plaques de verre (qui font office d'électrodes), badigeonnées d'une mince couche de revêtement conducteur. Lorsque aucune tension électrique n'est appliquée entre les plaques, les cristaux restent transparents et c'est l'électrode arrière qui se présente aux yeux du lecteur. Lorsque les segments sont sous tension, ils présentent une couleur différente et les chiffres qu'ils composent deviennent instantanément visibles (fig. 7).



**AFFICHAGE PAR CRISTAUX LIQUIDES
LES CHIFFRES SONT FORMES PAR 7 SEGMENTS**

FIG. 7

Certes, les cristaux liquides ont aussi leurs inconvénients. Il faut impérativement se trouver en présence d'une source extérieure de lumière pour faire apparaître les chiffres, puisque la lecture est rendue possible grâce à un phénomène de réflexion des rayons lumineux. D'autre part, la durée de vie n'excède pas trois à quatre ans. Mais la consommation d'énergie est extrêmement réduite, et cela compense largement ces désavantages.

CENTRALISME TECHNOLOGIQUE

La montre moderne n'a plus ni barillet, ni balancier-spiral. Elle fait appel à des technologies de pointe, dont l'application a eu pour effet de revaloriser certaines professions horlogères. Mais la fabrication de cellules à cristaux liquides ou de modules électroniques n'a rien de commun avec le décolletage d'un barillet. Elle impose des investissements nouveaux, non seulement pour les équipements qu'elle nécessite, mais aussi pour les travaux de recherche qui la précèdent ou l'accompagnent. On comprend mieux pourquoi les meilleurs circuits d'affichage actuellement disponibles ont été développés par Brown Boveri, une entreprise non horlogère.

Les producteurs ont profité de leurs réformes structurelles et financières pour centraliser la recherche, accentuant ainsi le phénomène de glissement géographique vers la plaine, qui n'est pas propre à l'horlogerie. Aujourd'hui, les problèmes technologiques sont tels qu'ils ne peuvent être étudiés isolément; ils impliquent la présence de chimistes, de physiciens ou de mathématiciens qui viennent encadrer l'ingénieur horloger. Dans ces conditions, il est illusoire de voir une région périphérique comme le Jura hériter d'un laboratoire où prendrait naissance la montre de l'an 2000.

Cette évolution est fâcheuse, parce qu'elle condamne à l'exode les ingénieurs et les techniciens formés par les écoles techniques jurassiennes. Elle est aussi facteur d'incertitude pour les petites et moyennes entreprises condamnées à des travaux de sous-traitance. Car, si l'on n'est pas maître de l'évolution technologique de ses produits, on voit s'échapper les moyens d'agir sur son destin.

Pierre-Alain Bassin

