chronométrophilia

ASSOCIATION SUISSE POUR
L'HISTOIRE DE LA MESURE DU TEMPS

SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT
FÜR DIE GESCHICHTE DER ZEITMESSUNG

Adresse:

Chronométrophilia
Case postale 1510, CH-2301 La Chaux-de-Fonds
CCP 23-3073-5 – Tél. 032 341 01 41
E-mail administration/manifestations: admin@chronometrophilia.ch
E-mail inscriptions/cotisations: cash@chronometrophilia.ch
E-mail bulletin: bulletin@chronometrophilia.ch
E-mail informations générales: info@chronometrophilia.ch
Internet: www.chronometrophilia.ch

Siège social:

c/o Musée international d'horlogerie
CH-2301 La Chaux-de-Fonds
Tél. 032 967 68 61

Trente troisième année – 2008
©2008 by Chronométrophilia, La Chaux-de-Fonds

FP

FRÉDÉRIC PIGUET SA

VALLEE DE JOUX

Manufacture de mouvements horlogers

Rue G.-H. Piguet 17 - 1347 Le Sentier

Tél. 021 / 845 16 16 Fax 021 / 845 16 00

UNE SOCIÉTÉ DU SWATCH GROUP

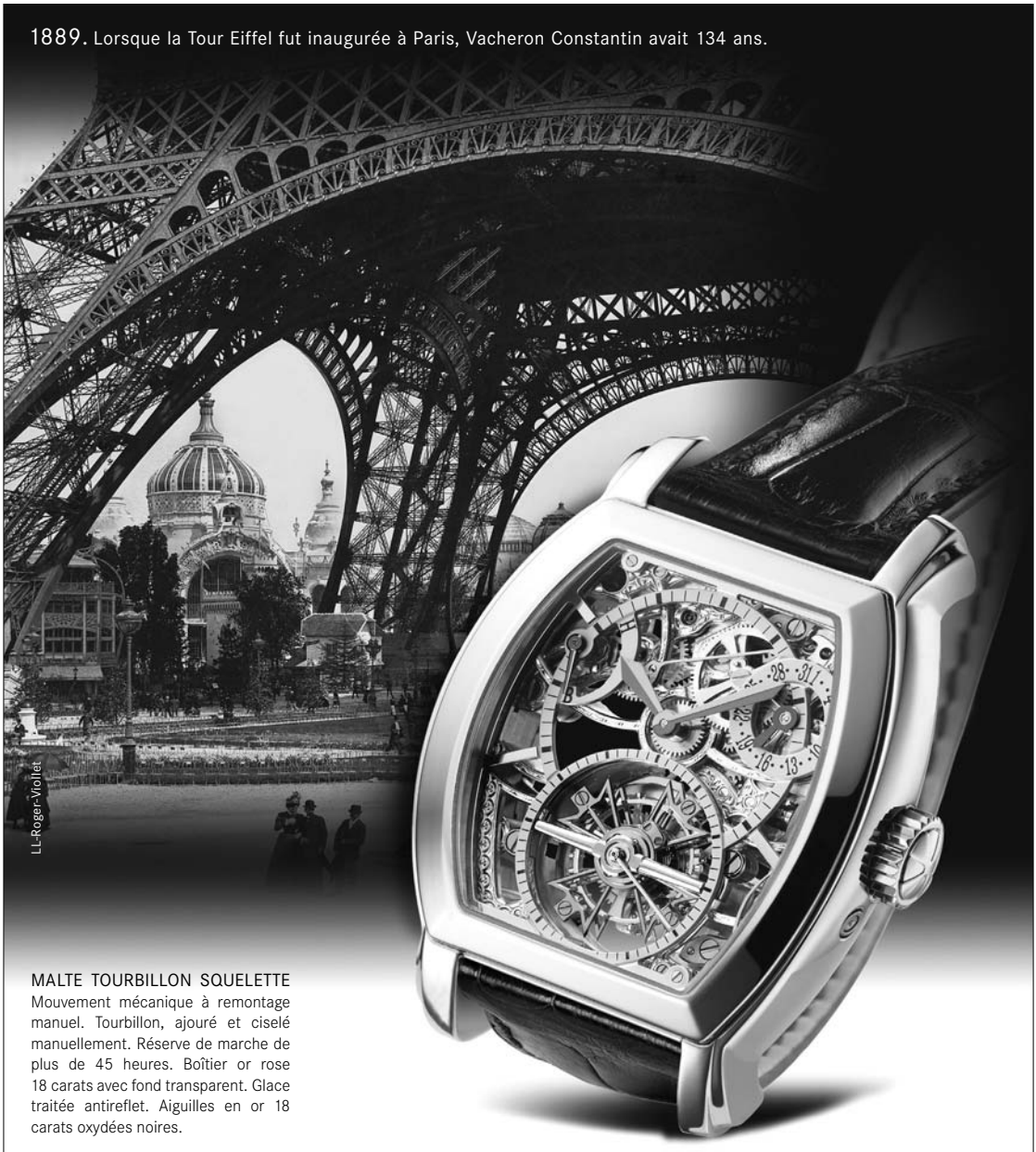
Sommaire

	Comité	5
	Editorial	7
	Leitartikel	10
Anne Walther	Une pièce exceptionnelle de Pierre-Louis Berthoud revient au Val-de-Travers	12
Christian Etienne	Le planétaire-tellurium Richard Mille	15
Daniel Aubert	Les cadrans solaires de la Vallée	24
Joël Pynson	Le chronographe-bracelet calendrier: 1890-1990	29
Beat Jeckelmann	Die Zeit im Internationalen Einheitensystem	51
Michel Viredaz	Chronomètre de marine à remontage électrique Dubois	59
Hermann-Michael Hahn	Das Uhrwek der astronomisch-geographischen Uhr von Thaddäus Rinderle	63
Charles-André Breguet	Jämes-César Pellaton (1873-1954)	73
Dietrich Siefart	Eine frühe Bulle-Clock gebaut nach Patenten von Maurice Philippe Favre-Bulle	79
Estelle Fallet et Osvaldo B. Ribeiro	Rijomax de Tabuaço	84
Jean G. Laviolette	Prémisses de l'interchangeabilité	91
Erich Strasser	Voyage de Chronométrophilia en Angleterre	95
Erich Strasser	Reise Chronométrophilia nach England	106
Walter Kaufmann	Deutschschweizer Uhrmacherkunst	108
Walter Kaufmann	L'horlogerie en Suisse alémanique	111
Michel Viredaz	Le lieu où la Suisse est la plus exacte	112
Michel Viredaz	Wo die Schweiz am genausten ist	114
	Divers	115
	Bibliographie	119

Couverture / Titelbild:
Jämes-César Pellaton
Tourbillon de démonstration / Demonstrationstourbillon
Système de Benoît
Voir article et légende détaillée pages 73 à 77
(©MIH)

PLUS DE 250 ANS D'HISTOIRE ININTERROMPUE

1889. Lorsque la Tour Eiffel fut inaugurée à Paris, Vacheron Constantin avait 134 ans.



MALTE TOURBILLON SQUELETTE
Mouvement mécanique à remontage manuel. Tourbillon, ajouré et ciselé manuellement. Réserve de marche de plus de 45 heures. Boîtier or rose 18 carats avec fond transparent. Glace traitée antireflet. Aiguilles en or 18 carats oxydées noires.

30067/000R-8954

VACHERON CONSTANTIN
Manufacture Horlogère. Genève, depuis 1755.

www.vacheron-constantin.com

Comité

Président :	Stephan Gagneux, 4132 Muttenz (president@chronometrophilia.ch)
Président d'honneur :	Antoine Simonin, 2000 Neuchâtel
Vice-président :	Alex Scartazzini, 3303 Jegenstorf
Vice-président, webmaster, rédacteur du bulletin :	Michel Viredaz, 1066 Epalinges (bulletin@chronometrophilia.ch)
Secrétaire des manifestations :	Suzanne Richon, 2502 Bienne (admin@chronometrophilia.ch)
Secrétaire-trésorière :	Minnie Chatelain, 2300 La Chaux-de-Fonds (cash@chronometrophilia.ch)
Assesseurs :	Felix Closs, 8134 Adliswil
	Estelle Fallet, Musée de l'horlogerie et de l'émaillerie, 1208 Genève
	Walter Maeder, 1007 Lausanne
	Jean-Michel Piguet, Musée international d'horlogerie, 2301 La Chaux-de-Fonds
	Erich Strasser, 8126 Zumikon
	Mariette Wyser, 2300 La Chaux-de-Fonds

Régie des annonces / Annoncen-Verwaltung : Publi Annonces SA
25, rue Jacques-Grosselin – Case postale 1531 – CH-1227 Carouge / Genève
Tél. 022 308 68 78 – Fax 022 342 56 12 – E-mail : welcome@publi-annonces.ch

Prix du bulletin / Preis pro Bulletin	CHF 40.–
Cotisations / Beiträge :	
Membres individuels / Einzel-Mitglieder	CHF 90.– (Suisse / Schweiz) CHF 100.– (Etranger / Ausland)
Membres collectifs / Kollektiv-Mitglieder	CHF 140.–
Jeunes membres / Jungmitglieder	CHF 45.–

Délai pour la remise des manuscrits pour les prochains numéros :
N° 64 : 10 août 2008 ; N° 65 : 10 février 2009
Eingabefrist der Manuskripte für die nächsten Ausgaben :
Nr. 64 : 10. August 2008 ; Nr. 65 : 10. Februar 2009

Dimanche 7 décembre 2008
Parvis des Esserts - Cluses
de 10h00 à 18h00

Cluses O'Clock

Bourse horlogère

Conférences , démonstrations
expositions , ateliers pédagogiques...

Entrée libre

CLUSES
Haute-Savoie

MUSEE de L'HORLOGERIE et du DÉCOLLETAGE

Organisé par le musée de l'Horlogerie et du Décolletage
www.musee-cluses.fr - 04 50 89 13 02

HORIA SA
MECANIQUE DE PRECISION

CH-2852 Courtételle horia @ bluewin.ch
Tél. +41(0)32 422 60 70 Fax. +41(0)32 422 60 71

Web: http://horia.ch

Fabrication et vente d'outils d'horlogerie
Développements et outils spéciaux sur demande

Editorial

Citation extraite du livre de proverbes
horlogers de H.R. Dürr

Consider a man without a watch :
He is like a soda without a scotch.

L'intérêt pour l'horlogerie m'accompagne depuis mon enfance. Toute petit, je pouvais déjà admirer la savonnette IWC en or de mon père, et la tenir dans mes mains. J'entends encore son tic-tac. Elle marche d'ailleurs toujours aussi bien septante ans après. Je l'ai maintenant héritée de mon père et je la porte volontiers dans une poche de gilet. Je ne l'ai par contre jamais vue sur mon père, qui avait déjà opté pour la montre-bracelet avant ma naissance.

Etant enfant, je n'ai jamais eu de montre, personne d'ailleurs n'en avait à l'école primaire. Malgré cela, je savais toujours l'heure. A la maison, il y avait la pendule Zenith, qui marchait et sonnait très exactement. Sur le chemin de l'école, il y avait plusieurs horloges publiques, certaines avec une sonnerie de cloches. Il y avait également les nombreuses montres-bracelets des adultes, dans les magasins, à l'église, dans le tram, ou celle du maître. Je pouvais lire ces montres de loin. En même temps, je faisais une sorte d'étude de marché. Je savais qui avait une montre en or, une montre de sport ou une montre bon marché. Je n'ai reçu ma propre montre que comme collégien. Le prestige était plus important que la lecture de l'heure, car j'avais déjà ma stratégie pour la connaître.

Qu'en est-il aujourd'hui ? Les enfants ont une montre avant même de savoir lire l'heure correctement. Dans le monde occidental, avoir sa propre montre est une évidence pour tous. Ce n'est d'ailleurs pas le seul phénomène. Une montre électronique avec heure et date se glisse dans pratiquement chaque appareil : cuisinière, ordinateur, radio, télévision, téléphone portable. Mes observations dans les lieux publics, que je continue toujours volontiers, me montrent que le portable a pratiquement pris la place de la montre de poche de nos aïeux. Je continue à lire l'heure sur ma montre par habitude, bien que j'aie aussi un portable et qu'il y a plusieurs horloges et pendules à la maison, comme il se doit pour un membre de Chronométrophilia...

Je ne voudrais renoncer en aucun cas à ma montre mécanique, pourquoi ? Parce que porter une montre est devenu pour moi

MUSÉE

Ω

OMEGA

150 ans

de création horlogère, à la pointe du savoir-faire,
de l'esthétique et de l'aventure humaine !

Visite sur demande au 032 343 92 11

RUE STÄMPFLI 96 • 2500 BIENNE 4

Dans l'air, sur terre,
glace et mer,
le Temps reste la mesure
de nos émotions.

DUBOIS DÉPRAZ

HORLOGERIE COMPLIQUÉE

1345 Le Lieu/Suisse Tél. +41 (0)21 841 15 51 Fax +41 (0)21 841 18 22 www.dubois-depraz.ch

Entreprise indépendante, au service des grandes marques depuis 1901

une nécessité. Elle m'appartient et représente une partie de ma personnalité. A cela s'ajoute l'enthousiasme pour la technique et l'esthétique de cette montre qui fait tic-tac jour et nuit, j'ai presque envie de dire qui respire comme un être vivant.

Quand je vois la prolifération des modèles et le succès de notre industrie, je me dis que je ne suis pas le seul à aimer cette noble mécanique, qui offre tant de satisfaction en plus de la simple indication de l'heure.

Grâce à Chronométrophilia, j'ai pu apprendre ce que le développement et la production d'une montre de classe demandent comme exigences aux collaborateurs de ces entreprises. Je n'ose pas faire une comparaison avec les vieux maîtres, qui fabriquaient des pièces incroyables avec calendrier perpétuel et répétition minute, mais j'aimerais remarquer qu'aujourd'hui tout doit aller beaucoup plus vite : innovation, développement, fabrication. Tout s'est accéléré, ce qui est aussi une performance remarquable en soi.

La question que je me pose est celle du comportement des générations à venir. Elles auront fait d'autres expériences en matière de détermination de l'heure pendant leur enfance. Ce qu'on ressent comme enfant imprègne la vie de façon forte et positive. Si j'étais actif dans le marketing horloger, je veillerais à ce que les jeunes apprennent aussi à connaître la montre-bracelet comme un fidèle et sympathique compagnon.

Je souhaite à tous les lecteurs et lectrices un bel été et beaucoup de soleil.

Stephan Gagneux

Leitartikel

Zitat aus dem Buch mit Uhrensprüchen
von H.R.Dürr

Consider a man without a watch:
He is like a soda without a scotch.

Das Interesse an der Zeitmessung begleitet mich seit meiner Kindheit. Schon als Kleinkind durfte ich die goldene IWC Savonnette meines Vaters bewundern und in den Händen halten. Das schöne Tikken höre ich heute noch. Sie tickt übrigens auch nach fast 70 Jahren noch genau so. Ich erbte sie von meinem Vater und trage sie gerne in der Gilettasche. Meinen Vater sah ich nie damit, er hatte vor meiner Geburt bereits auf die Armbanduhr umgestellt.

Als Kind hatte ich keine eigene Uhr, niemand in meiner Primarschule hatte eine. Trotzdem kannte ich die Uhrzeit praktisch immer. Zu Hause war die Zenith Pendule, die sehr zuverlässig die Zeit anzeigte und auch schlug. Auf dem Schulweg hatte es mehrere öffentliche Uhren, teilweise mit Glockenschlag. Dann waren noch die vielen Armbanduhren der Erwachsenen: in den Ladengeschäften, im Tram, in der Kirche oder die der Lehrer. Ich konnte diese Uhren von weitem ablesen. Gleichzeitig machte ich eine Art Marktstudie, ich wusste, wer eine Golduhr, Sportuhr oder Billiguhr trug. Eine eigene Uhr bekam ich erst als Mittelschüler, dabei war das Prestige wichtiger als das Ablesen der Zeit, denn ich hatte ja bereits meine Strategie, die Zeit zu erfahren.

Und wie ist es heute? Kinder besitzen eine Uhr, bevor sie die Zeit richtig ablesen können. In der westlichen Welt ist die eigene Armbanduhr zur Selbstverständlichkeit für alle geworden. Das ist aber nicht das einzige Phänomen. Die elektronische Uhr schleicht sich in praktisch jedes strombetriebene Gerät als zusätzlicher Komfort ein: Kochherd, PC, Radio, Television und das Handy bieten Tageszeit und Datum an. Meine Beobachtungen im öffentlichen Raum, die ich nach wie vor gerne mache, zeigen mir, dass vor allem das Handy quasi die Funktion der Taschenuhr unserer Väter übernommen hat. Aus lauter Gewohnheit lese ich die Zeit fast immer auf meiner Armbanduhr ab, obschon ich auch Handybesitzer bin und sich in meinem Haus einige Uhren befinden, wie sich das für ein Chronometrophilia-Mitglied gehört…

Ich möchte auf keinen Fall auf meine mechanische Armbanduhr

verzichten. Warum eigentlich? Weil das Tragen meiner Armbanduhr über die Jahre eine Notwendigkeit geworden ist. Sie gehört zu mir und verkörpert ein Stück meiner Persönlichkeit. Dazu kommt noch die Begeisterung für Technik und die Ästhetik der Uhr, die Tag und Nacht tickt, fast hätte ich gesagt, atmet wie ein Lebewesen.

Wenn ich die Entwicklung der Uhrenmodelle und auch den Erfolg unsere Uhrenin-dustrie betrachte, dann weiss ich, dass ich nicht alleine bin mit der Liebe zur edlen Mechanik, die viel mehr bietet als bloss die Zeit anzuzeigen.

Dank Chronometrophilia konnte ich sehr eindrücklich erfahren und erleben, was die technische Entwicklung und Produktion einer hochwertigen Uhr den Mitarbeitern abverlangt. Ich wage keinen Vergleich mit den alten Meistern, die unglaubliche Stücke mit ewigem Kalender und Minutenrepetition realisiert haben. Trotzdem möchte ich festhalten, dass heute alles sehr viel schneller gehen muss als damals: Innovation, Entwicklung und Fertigung. Alles hat sich beschleunigt, was ebenfalls als enorme Leistung zu bewerten ist.

Die Frage, die ich mir in diesem Zusammenhang stelle, ist das Verhalten der kommenden Generationen. Sie machten andere Erfahrungen in ihrer Kindheit bezüglich Zeitmessung. Das, was man als Kind intensiv und positiv erlebte, prägt das ganze Leben. Wäre ich im Uhren-Marketing tätig, würde ich sehr darauf achten, dass auch junge Leute, die Armbanduhr als sympathischen und treuen Begleiter kennen lernen.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern einen schönen Sommer mit vielen Sonnenstunden.

Stephan Gagneux

Une pièce exceptionnelle de Pierre-Louis Berthoud revient au Val-de-Travers

Anne Walther

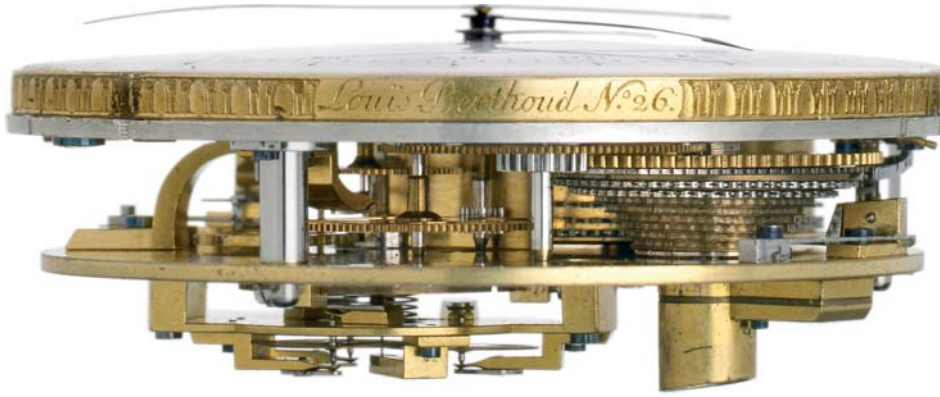
Courant 2007, le musée L.U.CEUM – Traces du Temps, appartenant à Chopard Manufacture S.A. à Fleurier, a acquis le premier chronomètre de marine à système décimal, n° 26, de Pierre-Louis Berthoud. Cette pièce exceptionnelle revient ainsi au Val-de-Travers, lieu d'origine de son fabricant.

Le garde-temps acquis par le musée L.U.CEUM – Traces du Temps est une pièce unique et historiquement très importante. Conçu, construit et terminé entre le 27 janvier 1792 et le 19 juin 1793, à Paris, il s'agit du premier chronomètre de marine affichant le système décimal, n° 26, destiné au mathématicien et marin français Jean-Charles de Borda (1733–1799).

Borda a contribué de manière pertinente au développement du système de mesure décimal. La désignation « mètres » lui est attribuée. Pierre-Louis Berthoud (dit Louis Berthoud) a entretenu des relations très étroites avec Borda, qui lui a prodigué des conseils concrets pour la construction de cette montre. Berthoud affirma d'ailleurs : « Je suis très satisfait de pouvoir me baser sur son opinion. »

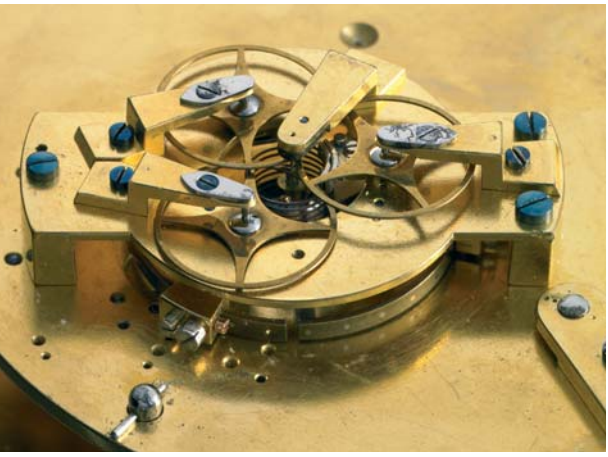
Le transfert de la division décimale dans la mesure du temps est typique de l'époque de la Révolution française. Cette période décimale n'a duré qu'une petite quinzaine d'années (de 1793 à 1806).

Considérée par Berthoud comme son chronomètre le plus important, cette montre de poche de précision possède un rouage spécialement étudié pour le système décimal, un



échappement à détente pivotée et un cadran régulateur. On trouve une signature sur le travail « Par Louis Berthoud/No.2440 », une inscription sur le cadran « Ls. Berthoud » et, au dos, la signature du cadranier Lucard.

Fils de Pierre Berthoud, conseiller et maître horloger pendulier à Couvet, Pierre-Louis Berthoud (dit Louis Berthoud) est né en 1754, dans le hameau de Plancemont, près de Couvet, dans le Val-de-Travers, canton de Neuchâtel (Suisse). Il a 15 ans lorsque son oncle, le célèbre horloger Ferdinand Berthoud, remarque ses capacités extraordinaires et l'invite à terminer son apprentissage à Paris, dans son atelier.



Dix ans plus tard, Ferdinand Berthoud se retire des affaires à Groslay, dans la vallée de Montmorency, au nord de Paris, afin de se consacrer exclusivement à la recherche. Il confie la direction de son atelier à son autre neveu, Henry Berthoud, le frère de Louis. Henry se suicide, laissant l'atelier de Paris criblé de dettes. Ferdinand Berthoud demande alors à Louis de retourner à Paris.

Le 16 octobre 1802, Louis Berthoud reçoit, sur l'ordre du gouvernement, le titre d'« Horloger Mécanicien de la Marine ». Doué, il parvint à réduire ses garde-temps de précision au format de montres de poche, surpassant ainsi son oncle Ferdinand dans la miniaturisation. Ses deux fils, Jean-Louis-Simon-Henry et Charles-Auguste poursuivirent son travail.

Le retour au Val-de-Travers du premier chronomètre de marine à système décimal est à la fois un hommage au patrimoine horloger de la région et un voyage aux sources de la construction de montres.

Photographies

L.U.CEUM – Traces du Temps, Chopard Manufacture S.A., Fleurier, par François Bertin, photographe, Grandvaux.

Le planétaire-tellurium Richard Mille

Christian Etienne

Le Planétarium et La Clinique horlogère

En juillet 2004, la manufacture CompliTime, (Robert Greubel & Stephen Forsey), prend contact avec moi afin de me proposer un travail exceptionnel.

Une séance est agendée à La Chaux-de-Fonds où on me présente un prototype de planétaire. Mon mandat, si je l'accepte, est d'assembler un mouvement similaire dans lequel les ponts originairement en laiton seront remplacés par des ponts en titane.

Concernant l'habillage du Planétarium, le design n'est pas encore connu ; ce sera la maison Valgine & Richard Mille qui se chargera de le concevoir.

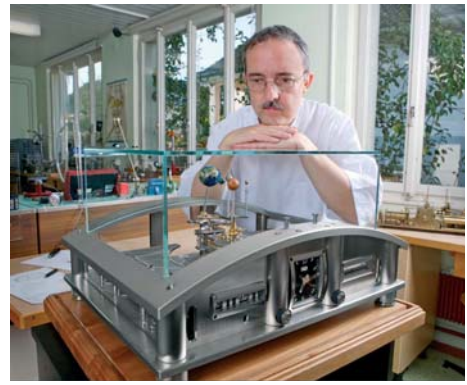
De mon côté, accepter le mandat ou non n'est pas une décision qui se prend à la légère. Je demande donc l'autorisation d'emporter le mouvement à Porrentruy, afin de l'étudier plus en détail :

La pendule mesure 50 cm de long, 40 cm de large et une trentaine de cm de haut. Mille quatre cents composants au total dont cinq cent cinquante vis.

Personne ne pouvait m'articuler un temps de montage, car la conception, la fabrication et l'assemblage du mouvement avaient pris dix années. Difficile dans ce cas d'évaluer avec précision le temps nécessaire au travail qui m'est demandé…

Après quelques jours de réflexion et plusieurs coups de fil avec le concepteur Stephen Forsey, ma décision est prise, l'aventure peut commencer.

Un mouvement de cette complexité demande de la rigueur et une certaine organisation dans le travail. En effet, le nombre des



Christian Etienne devant le planétaire terminé.

composants est élevé : 1400 au total, dont 79 axes, 112 roues et 550 vis. Par ailleurs, les dimensions de l'objet exigent un aménagement adapté de l'espace de travail.

Pour des raisons techniques, je scinde le mouvement en quatre parties bien distinctes qui correspondent à l'ordre chronologique du montage :

– le mouvement de base avec son porte-échappement
– l'affichage central, les saisons et l'indication de réserve de marche
– le quantième perpétuel et l'équation
– le bâti central supportant les planètes.

Cependant, tous les composants n'étant pas encore fabriqués, je commence l'assemblage par le bâti central. Pour m'aider dans cette tâche, j'ai à disposition le prototype et des vues en trois dimensions sur ordinateur. En effet, chaque composant m'a été livré avec son plan.

Le travail peut commencer. Je remets de longueur pratiquement toutes les vis et les

Vis en titane.

goupilles du planétaire ; les pivots des axes de roues sont polis, les bouchons alésés, les roues chassées sur leur axe. L'ensemble du mouvement est ainsi traité pièce par pièce. J'apporte également quelques améliorations techniques et avance quelques propositions au niveau esthétique.

Au mois de septembre 2005, le mouvement fonctionne avec son affichage et le bâti central. Cependant le quantième perpétuel me cause encore beaucoup de soucis.

Concernant le rouleau des saisons, le graveur y travaille encore, la première version ayant un design inadapté aux lignes futuristes du planétaire.

A cette époque, M. Dominique Guenat, directeur de la maison Valgine, me demande si je serais d'accord de m'occuper de l'assemblage de l'habillage du planétaire. Ainsi, en 2006, à l'occasion de la clôture du salon du SIHH à Genève, je rencontre pour la première fois Richard Mille à l'Hôtel des Bergues et nous en discutons. En effet, je n'avais jusque-là pas d'idée précise quant au design de cet habillage.

Les mois passent et l'assemblage arrive à son terme ; je suis satisfait car la pendule fonctionne très bien et indique l'heure avec une grande précision.

Début 2007, une vue en trois dimensions me parvient et me dévoile l'aspect extérieur de ce qu'on appelle la cage. Une nouvelle séance a lieu. M. Philippe Schaefer, le dessinateur-constructeur, est par la suite désigné pour discuter des problèmes qui pourraient survenir lors de l'assemblage de la cage et de son mouvement, me seconder et être l'intermédiaire entre tous les artisans impliqués dans la réalisation de l'habillage : le graveur (pour les planètes), le fabricant de verres, celui des aiguilles, etc.

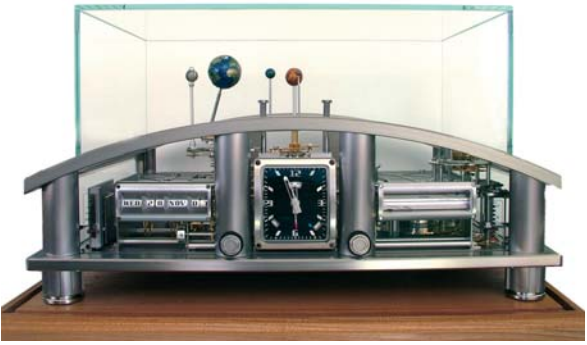
A titre d'exemple, le travail du graveur, Olivier Vaucher, est remarquable. Il façonne notre planète Terre en argent massif. Elle pèse 91 grammes et est recouverte d'émaux de dif-

Terre.

Lune.

férentes couleurs avec des reliefs. La Lune est également en argent et tous les cratères sont représentés. Le Soleil est en or jaune recouvert d'émaux allant du rouge au jaune en passant par l'orange. Mercure est en or rose et Vénus est une pierre naturelle.

En juillet 2007, je me consacre à l'assemblage de la cage et aux dernières retouches. Une fois le montage terminé, le planétaire est pesé : 44 kilos avec la cage et les verres.



Planétarium complet.

Début août, le journaliste Théodore Diehl ainsi que le photographe Guy de Peslouan, tous deux mandatés par Richard Mille, se retrouvent dans mon atelier. Quatre jours leur seront nécessaires pour réaliser la mise en forme de documents promotionnels sur le planétaire. Ces quatre jours sont pour moi également une expérience instructive.

D'un commun accord avec Richard Mille, j'organise un apéritif pour le 29 août afin de rassembler toutes les entreprises ayant participé à la conception et à la réalisation de ce projet ambitieux et exigeant.

C'est pour moi une profonde satisfaction de pouvoir partager ces années de travail. C'en est une également pour tous les intervenants qui peuvent enfin voir le planétarium en vrai et non pas dans des revues ou sur le Net.

Cependant, Richard Mille et moi-même ne sommes pas encore totalement satisfaits de l'esthétique de la face antérieure de la pendule. En effet, chaque face du planétaire est vitrée et permet d'admirer la mécanique, sauf la partie frontale. Toute cette masse grise occulte la beauté intérieure du prestigieux planétaire.

Mais le temps est compté, car le planétarium effectuera un grand voyage à destination de Singapour où il sera présenté en première mondiale à l'exposition « The Hour Glass 'Tempus Event », le 4 septembre. Les modifications esthétiques sont donc reportées à son retour. Encore quelques heures de travail en perspective…

Je suis fier aujourd'hui de pouvoir dire que j'ai assemblé un mouvement d'horlogerie si exceptionnel. Cette expérience fut très enrichissante pour moi, autant du point de vue technique que relationnel. Je tiens à remercier toutes les personnes avec qui j'ai travaillé, qui m'ont fait confiance. Je suis en particulier très reconnaissant envers Richard Mille qui m'a autorisé à présenter personnellement le travail que j'avais accompli. Concernant les photos, elles sont dues, pour une part, à Guy de Peslouan et, pour une autre, à moi-même.

Richard Mille, Stephen Forsey et Christian Etienne.

Historique

Dès les premiers temps de la civilisation, l'homme s'est efforcé de reproduire, de décrire et de donner un reflet de l'univers céleste qui entoure la terre. Pendant l'Antiquité, ces représentations physiques étaient généralement monumentales et statiques, à l'exemple des temples qui permettaient de relier un emplacement déterminé à des caractéristiques astronomiques spécifiques. Ultérieurement, des esprits inventifs se mirent à développer des modèles portatifs aux dimensions plus réduites qui illustraient les mouvements du soleil, de la terre, de la lune et des planètes ainsi que d'autres phénomènes célestes afin de faciliter l'orientation lors de longs voyages sur terre et en mer.

Un texte de Cicéron, consacré à une invention d'Archimède (287-212 avant J.-C.) qui n'a jamais été retrouvée, est considéré comme l'une des premières références à un mécanisme réalisé par l'homme pour reproduire les mouvements de la lune et des planètes. Le plus ancien planétaire connu est sans doute la célèbre machine d'Anticythère, qui fut vraisemblablement confectionnée entre 80 et 50 avant J.-C. Découverte en 1901 avec un grand nombre de statues et d'objets, elle abrite un dispositif en mesure de représenter les mouvements du soleil, de la lune et de quatre des planètes visibles à l'œil nu. Ce mécanisme secret ne fut cependant mis au jour qu'en 1959 à la suite d'un examen aux rayons X qui révéla les rouages contenus à l'intérieur de son corps vert foncé, en bronze décoloré.

De nombreuses civilisations ont réalisé des machines astronomiques destinées à décrire les mouvements des corps célestes sous les variantes les plus diverses. Toutefois, nous pouvons les répartir en deux catégories principales : les représentations mécaniques dotées d'une manivelle actionnée à la main et celles entraînées par un mouvement d'horlogerie.

L'une des premières illustrations d'un mécanisme à engrenage représentant les mouvements du soleil, de la terre et de la lune dans une disposition horizontale semblable aux tableaux qui apparurent à la fin du XVII^e^ siècle est visible dans un portrait de l'astronome et inventeur allemand Wilhem Schickard (1592-1635) qui enseigna à l'Université de Tübingen. Bien que grossière dans sa conception et dépourvue du nombre correct de dents pour assurer une représentation exacte des phénomènes célestes, le mécanisme à manivelle qu'il tient dans ses mains décrit les révolutions annuelles et diurnes de la terre selon le modèle copernicien. En outre, il semble bien que le premier tellurium (modèle en trois dimensions pour décrire le cycle annuel de la terre autour du soleil, ses mouvements diurnes et son parallélisme par rapport à l'axe) ait été développé en premier lieu aux Pays-Bas, une thèse accréditée par les telluriums réalisés par le célèbre cartographe amsterdamois Willem Janszoon Blaeu (1571-1638).

Toutefois, les planétaires et les telluriums entraînés par des mouvements d'horlogerie capables de montrer la course des corps célestes sans intervention manuelle ne connurent leur véritable essor qu'au cours du XVII^e^ siècle avec l'apparition de nouveaux types d'échappement plus précis. Hormis la nécessaire précision de marche, le développement de tels instruments était également subordonné à l'amélioration de la précision de représentation car l'inexactitude dans le calcul des rapports d'engrenage rendait nécessaire le réajustement bimensuel des planétaires (ainsi, une erreur de 1° en huit heures dans la rotation de la terre sur son axe se traduisait par un écart cumulé de +45° en quinze jours).

Dans une perspective plus générale, il n'est sans doute pas inutile de rappeler que depuis le XIV^e^ jusqu'au milieu du XX^e^ siècle, l'horlogerie et ses diverses applications revê-

taient une importance aussi cruciale pour les secteurs scientifiques, militaires et civils que la technologie informatique et les moyens de communication de nos jours. Il n'est donc pas étonnant que diverses nations, à l'instar de l'Italie, l'Allemagne, le Japon, la France, l'Angleterre et enfin la Suisse n'aient cessé de rivaliser d'ingéniosité pour développer des instruments de mesure du temps destinés à assurer leur suprématie dans ce domaine stratégique. La création de planétaires-telluriums mus par un mouvement d'horlogerie incarne de ce fait l'une des expressions de cet esprit de compétition.

Parmi les érudits et savants qui se sont intéressés au développement du planétarium, il importe de citer notamment : Han Kung-Lien (vers 1088), Giovanni de Dondi (1318-1389), Jost Bürgi (1532-1592), Willem Janszoon Blaeu (1571-1638), Christian Huygens (1629-1695), Thomas Tompion (1639-1713), Georges Graham (1673-1751), Philip-Mathaus Hahn (1739-1790), Jean-Baptiste Cattin (1688-1767), Antide Janvier (1751-1835), François Ducommun (1763-1839), Jean-Jacques Lepaute (1775-1830).

L'apport de Richard Mille au développement du planétaire-tellurium pour le XXIe siècle

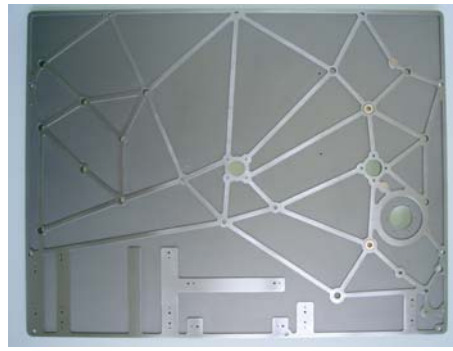
Très rare, le planétaire-tellurium Richard Mille recèle un vaste nombre d'indications et de représentations astronomiques d'une grande précision aux extrêmes limites des constructions mécaniques. Les horlogers de Richard Mille l'ont conçu de sorte à présenter une facilité d'utilisation dans les conditions de la vie quotidienne et l'ont ainsi doté de possibilités de correction en fonction des différents fuseaux horaires et d'un réglage d'une remarquable aisance. La réalisation artisanale d'une telle pièce maîtresse requiert des connaissances et un savoir-faire tels que la création du planétaire-tellurium de Richard Mille a requis non moins de dix années de recherches et de développement.

Un autre aspect exceptionnel du planétaire-tellurium Richard Mille réside dans le fait que les représentations astronomiques se complètent d'un quantième perpétuel. L'association d'un rouage d'une extrême précision et d'un barillet pour le planétaire à un échappement à détente fait de ce planétaire-tellurium à mouvement d'horlogerie le plus précis de son espèce.

Description du mouvement planétaire-tellurium Richard Mille

Malgré son immense complexité, le planétaire-tellurium Richard Mille est conçu pour être :

- facile à comprendre
- aisé et pratique à utiliser
- précis et fiable.



Plaque de base.

La cage.

Autant de caractéristiques qui permettent pour la première fois à une personne non spécialisée de comprendre et de régler sans difficulté un instrument d'un tel raffinement astronomique et technique.

Représentation visuelle compréhensible :

En premier lieu, le diamètre de la terre, considérablement agrandi pour des considérations pratiques et esthétiques (notre planète est en réalité 109 fois plus petite que le soleil), permet de distinguer aisément les divers continents et la plupart des pays. Toutes les planètes sont parfaitement visibles, même si elles ne sont pas reproduites à l'échelle de leur grandeur et de leur distance ainsi qu'il vient d'être dit. Les indications (date, équation du temps, zodiaque) sont affichées très lisiblement et de manière parfaitement cohérente dans un secteur distinct de celui consacré à la représentation de la rotation des planètes.

Aisance d'utilisation

Un système de levier permet de remonter le planétaire-tellurium et assure une réserve de marche de 15 jours.

Incorporé pour la première fois à un planétaire, le quantième perpétuel est doté d'un correcteur rapide qui permet de procéder aisément aux réglages requis, dans les deux sens, en avant et en arrière. Le planétaire-tellurium offre également des possibilités d'ajustement rapide s'il n'a pas été remonté pendant une longue période.

Simple en apparence, cette synchronisation constitue une véritable prouesse technique car elle est également reliée au mécanisme des indications horaires comprenant l'heure locale, l'heure d'été et l'heure d'hiver. Elle est le fruit de longues études et recherches mécaniques afin de permettre le réglage et le redémarrage rapide d'un instrument tellement complexe qu'un arrêt prolongé exigeait auparavant le recours aux services d'un horloger ou d'un astronome pour la remise en marche.

Le mouvement est équipé d'un balancier à dispositif arrêt-redémarrage qui permet de le remettre en marche après une période d'immobilisation. En effet, le fait que le balancier ne redémarre pas pendant le remontage du mouvement est une caractéristique de l'échappement à détente).

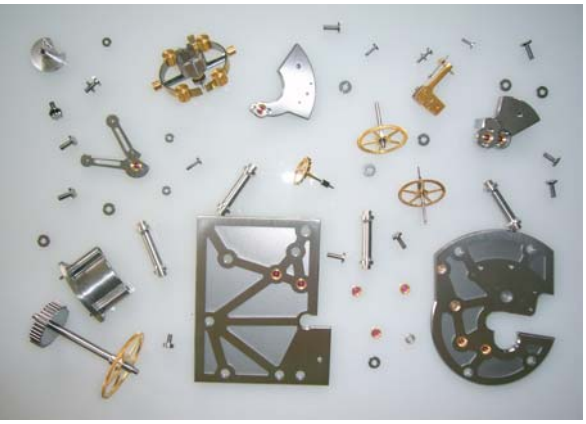
Précision et fiabilité du planétaire-tellurium Richard Mille

Un physicien astronome renommé a effectué les innombrables calculs exigés par la réalisation de ce projet. De ce fait, l'erreur la plus importante concerne l'angle de l'axe terrestre et elle se limite a + 1° tous les 7,7 ans approximativement. Les autres données sont : + 1° en environ 168 ans pour la rotation de la lune autour de la terre ainsi que – 1° en environ 2 millions d'années pour la rotation de la terre autour du soleil. Comme la valeur de 1° est inférieure aux tolérances de réglage (+/– 2°) adoptées pour ce planétaire et nettement moindres à celles retenues pour les anciens planétaires, il est aisé de réaliser que l'erreur de la terre par rapport à son axe est parfaitement acceptable, voire anodine.

Pour le mouvement de base

Le mouvement du planétaire-tellurium est équipé d'un échappement à détente beaucoup plus performant que l'échappement à

Porte-échappement.



Composants du porte-échappement.

Mouvement complet avec le levier de remontage.

ancre en raison de son interférence moindre avec l'organe réglant (le balancier).

La correction de l'avance et du retard est effectuée sur le balancier à inertie variable au moyen de vis de réglage. Extrêmement perfectionné, ce type de balancier garantit une fiabilité accrue et de meilleurs résultats chronométriques. La suppression de la raquette permet ainsi de réaliser de manière répétée des réglages plus précis.

Le ressort moteur de type Tensator assure une plus grande constance du couple, élément essentiel de la précision de marche.

Détail du barillet.

Représentations et indications

Représentations (R) et indications astronomiques (I) :

- Rotation de la terre sur son axe (R)
- Rotation de la terre autour du soleil (R)
- Obliquité de la terre (R)
- Rotation de la lune sur son axe (R)
- Rotation de la lune autour de la terre (R)
- Phase de lune (I)
- Equation de temps (I)
- Mercure (R)
- Vénus (R)
- Soleil (R).

Explications

Rotation de la terre sur son axe (R)

Un tour sur son axe en 24 heures. Erreur : +1° en 7,7 ans.

Rotation de la terre autour du soleil (R)

Une révolution en un an. Erreur : –1° en 2 millions d'années. Cette rotation est utilisée comme élément de base pour l'indication des saisons, des équinoxes, des solstices et des signes du zodiaque dans leurs guichets correspondants.

Obliquité de la terre (R)

Rotation exacte, l'inclinaison de l'axe de la terre passant aux deux pôles est de 23,5°. Cette inclinaison face au soleil permet de comprendre parfaitement le phénomène des saisons.

Rotation de la lune sur son axe et rotation de la lune autour de la terre (R)

Le calcul de la rotation est fondé sur un mois synodique de 29,53058912 jours (intervalle de temps entre deux nouvelles lunes). Erreur : +1° en 168 ans.

Phase de lune (I)

Les phases de la lune sont représentées sur la lune elle-même sous la forme d'un anneau qui illustre la partie visible depuis la terre.

Support de la lune.

Equation de temps (I)

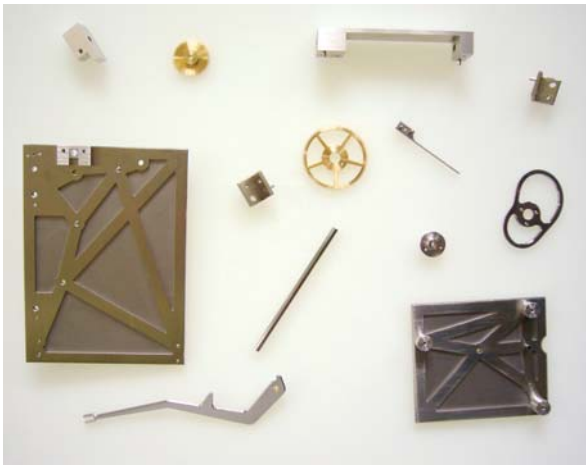
L'équation de temps est représentée par une aiguille et un cadran divisé en quatre secteurs sur la face du planétaire. L'aiguille indique en + ou en – les minutes qu'il faut rajouter ou soustraire à l'heure moyenne pour obtenir l'heure solaire vraie.

Heure solaire

Associée à l'équation du temps, elle représente l'heure solaire vraie. Reliée au mécanisme du planétaire, cette indication est située sur le cadran.

Mercure (R)

Représentation de Mercure qui effectue une rotation autour du soleil en 87,9 jours. Ne tourne pas sur son axe.



Composants de l'équation du temps.

Bâti des planètes vu de dessous.

Les planètes.

Vénus (R)
Représentation de Vénus qui effectue une rotation autour du soleil en 224,7 jours. Ne tourne pas sur son axe.

Soleil (R)
Représentation statique du soleil au centre du planétaire-tellurium.

Indications horlogères

- Heure
- Minute
- Fuseaux horaires
- Date (Quantième perpétuel)
- Jour (Quantième perpétuel)
- Mois (Quantième perpétuel)
- Année, décennie
- Année bissextile
- Réserve de marche
- Saisons, équinoxes, solstices, signes du zodiaque.

Quantième perpétuel.

Composants du module des saisons.

Matériaux utilisés

Titane, acier, laiton, or, argent, tungstène.

Durée de vie

De nos jours, il est encore possible de restaurer des horloges qui comptent plus de six siècles. Le planétaire-tellurium Richard Mille ne dérogera pas à cette règle et chacune de ses pièces peut être fabriquée à nouveau. Cependant, relevons à cet égard que le ressort de barillet est conçu pour posséder une durée de vie d'environ 350 ans…

Les cadrans solaires de La Vallée

Daniel Aubert

Le livre très intéressant de Christophe Gallaz, illustré par Jean-M. Bischoff, *les cadrans solaires vaudois*, paru en 1987, présente, entre autres œuvres d'art matérialisant le temps qui passe, deux instruments horaires décorant deux maisons de la Vallée de Joux.

La découverte d'un de ces éléments décoratifs et techniques interpelle et, sans qu'on le veuille, nous pousse à remonter le temps. Obélisques, gnomons, quadrants, anneaux solaires ou astrolabes, c'est la ronde des heures qui passent et des ombres qui s'allongent à l'infini.

Rassurez-vous, nous n'allons pas refaire tout l'historique de cet indicateur horaire dont les premiers datent de plus de mille ans avant Jésus-Christ, mais plutôt rappeler notre désir d'apprivoiser le temps qui passe inexorablement.

A ce propos, les devises peintes ou gravées accompagnant plusieurs d'entre eux sont significatives. Elles devraient nous rapprocher de Celui pour qui le temps n'a ni début ni fin. Ces sentences nous rappellent, dans bien des cas, les limites de notre propre existence.

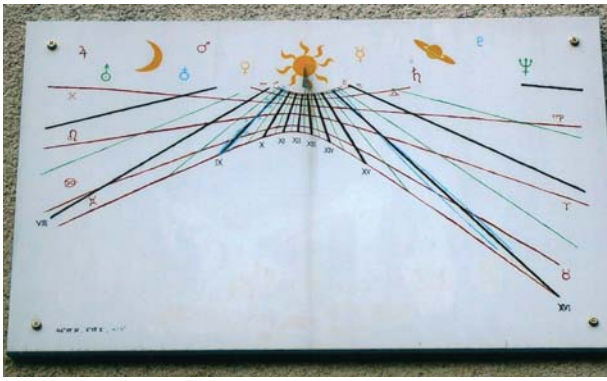
Citons :

Le temps fuit et la mort le suit
L'heure approche
Songer à la dernière
Ne les compte pas, mets-les à profit
Nous ne savons ni le jour ni l'heure
La vie fuit comme l'ombre
J'existe sans nuage
C'est l'heure de bien vivre
Le temps mène à l'éternité
Gloire à Dieu qui peut tout
Le ciel est ma règle.

Le soleil, figure privilégiée des cadrans solaires.

Qui veut vivre 100 ans au cri du coq se lève.

Réplique du jeu solaire du petit berger.

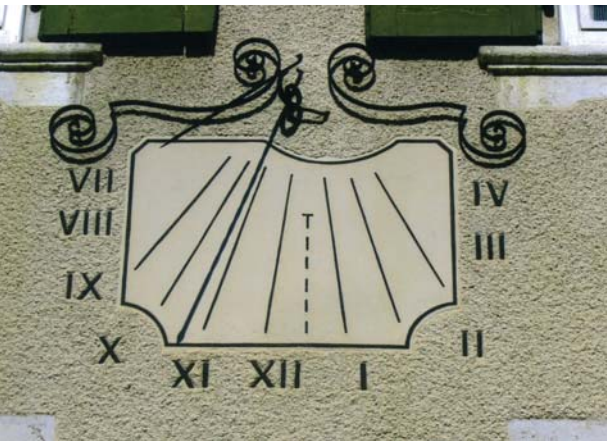


Le plus compliqué n'est pas le plus compréhensible.

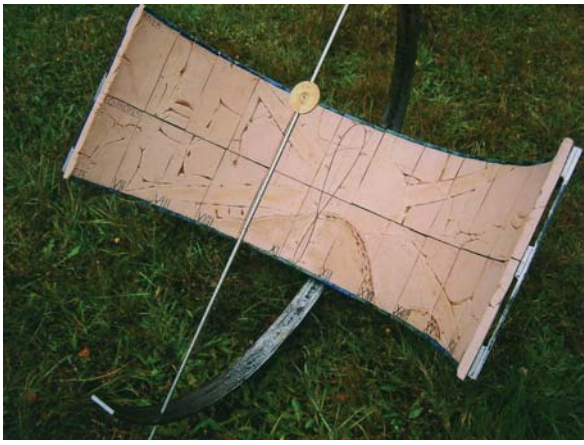
Globe gnomonique à indicateur mobile, positionné dans la direction du soleil, donnant l'heure.

C'est toujours l'heure de ne rien faire et d'en perdre son style.

La fuite des jours et la mesure du temps ont toujours interpellé notre condition humaine mesurée par le mouvement des astres. On raconte même que, de l'autre côté du Risoud, le petit berger jurassien, responsable de la garde de son troupeau, médite sur la hauteur du soleil à l'horizon et la direction de l'ombre des grands sapins. On en a pour preuve la façon dont il mesure le temps au milieu de sa pâture, appuyé sur son bâton, derrière le dos des vaches. Dans l'herbe rase, il trace un cercle ponctué de douze petits bois plantés dans le sol. Au centre, une branche rectiligne plus haute et plus importante, véritable gnomon, projette son ombre au fur et à mesure de la journée, passant tour à tour sur chacun



Style et rigueur d'un horloger.



Mariage de la céramique et du fer forgé.

Méridienne à équation du temps.

Le point lumineux indique à la suite le temps solaire vrai et le temps moyen.

des repères. C'est ainsi qu'il organise ses casse-croûtes à l'heure correspondante, jusqu'au moment de regrouper son troupeau pour la traite du soir et le conduire à l'étable du village.

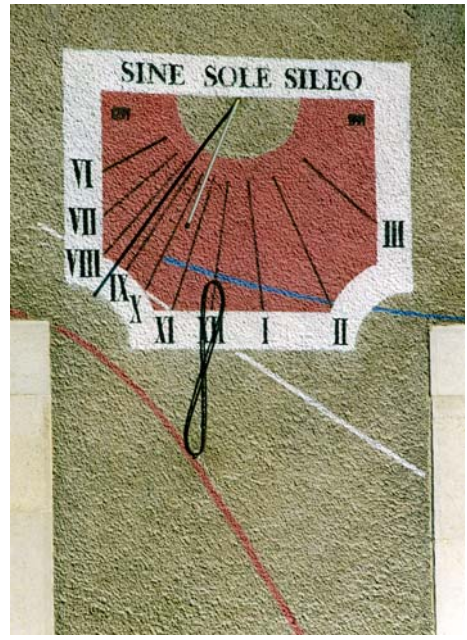
Les cadrans solaires de la Vallée de Joux, plus nombreux qu'on pourrait le penser au premier abord, étonnent par leur diversité. C'est au hasard d'une promenade, attiré par une façade non conventionnelle, une vénérable porte de grange ou un millésime artistement gravé qu'on les découvre. Et il y en a

certainement d'autres, moins connus, dans quelque jardin bien ensoleillé. Souvent décoratif, leurs indications diffèrent et varient de la simplicité réaliste à la complication incompréhensible. Les matériaux aussi couvrent toute la palette de l'inventaire d'un hangar d'entrepreneur en bâtiment. Tuile et ciment, fer forgé et mosaïque, récupération et poterie d'art, cuivre et céramique, et j'en passe. L'un rappelle le blason d'un village, un autre a traversé le lac à la suite d'un déménagement. Fixe ou amovible, tous certainement dévoilent un petit côté du caractère de leur propriétaire.

C'est intentionnellement qu'aucune indication géographique ne précise où ils se trouvent. Au lecteur, s'il le désire, de commencer la promenade qui le conduira tout autour de la Vallée de Joux. De villages en hameaux, tous bien exposés au soleil, sauf les jours de pluie… ils vous feront découvrir une face peu connue de la Vallée des horlogers. « Sine sole sileo ». Les trois mots latins ci-dessus, signifiant « sans soleil silence », résument les sautes d'humeur météorologiques de la Vallée de Joux, et par conséquent le développement très tardif dans cette haute vallée jurassienne de la construction de cadrans solaires.

A l'inverse, le pourtour méditerranéen a vu fleurir, dès l'Antiquité, l'art gnomonique. L'histoire biblique, vers 710 avant Jésus-Christ, fait référence au roi Ezéchias malade qui reçoit un signe de Dieu suite à sa prière : l'ombre reculera de dix degrés sur le célèbre escalier d'Achaz. Et c'est ici que la puissance de Celui qui a créé les astres, après avoir dans un premier temps séparé la lumière d'avec les ténèbres, se révèle. Non seulement, il a donné à l'homme l'intelligence de mesurer le temps mais, dans ce cas précis, il le guérit tout en manifestant son autorité sur la grande horloge céleste.

Mesurons-nous le temps pour nous rassurer ? De l'indicateur d'ombre de Toutmosis au scaphe inventé par les Grecs, du cadran so-



Cadran solaire à équation du temps indiquant le solstice d'hiver, les équinoxes et le solstice d'été, respectivement lignes bleue, blanche, rouge.

L'art de la mosaïque appliqué au cadran solaire.

Une boussole amovible permet l'orientation fixée sur la Polaire.

laire de berger à celui dit analemmatique de la Cathédrale de Brou, où le gnomon est l'observateur lui-même, tous ont impérativement besoin du soleil.

Et si vous désirez en construire un vous-même, rappelez-vous simplement que le style doit correspondre à la droite fictive reliant la Croix du sud à l'étoile polaire.

A l'heure de l'infaillible précision de l'horloge au césium, il est toujours bon de rêver et de s'extasier devant le côté poétique et artistique qui a prévalu à l'élaboration d'un cadran solaire.

Et si le soleil ne revenait pas…

Le chronographe-bracelet calendrier : 1890-1990

Joël Pynson

Les fonctions calendaires sont apparues très tôt dans l'histoire horlogère, y compris sur l'horlogerie de petit volume : certaines montres du XVII^e^ siècle, comme celles réalisées par Marc Girard à Blois ou Nourrisson à Lyon comportaient déjà la date, les jours de la semaine et les phases de la lune. Il s'agissait bien sûr de fonctions simples et les subtilités du calendrier grégorien avec ses mois de durée variable ne furent gérées mécaniquement dans les montres que bien plus tard.

Le chronographe fut, lui, inventé dans la seconde moitié du XIX^e^ siècle, soit en fait très récemment. Les montres compliquées, associant par exemple calendrier perpétuel et répétition minutes, existaient déjà depuis longtemps. Pourtant l'association du chronographe aux fonctions calendaires ne s'est pas faite immédiatement, à l'exception de certaines pièces exceptionnelles réalisées dans la Vallée de Joux par des horlogers talentueux comme Louis Audemars ou Aubert Frères. Cela s'explique certainement par le fait que le chronographe est aussi et surtout un outil de travail dont le développement fut lié à l'organisation des premières compétitions sportives, à la mécanisation de l'industrie et à l'organisation rationnelle du temps de travail. Ce n'est que dans la première moitié du XX^e^ siècle, lorsque le chronographe, désormais porté au poignet, devint une montre presque comme les autres, que l'intérêt pour la date revint, si l'on peut dire, au goût du jour.

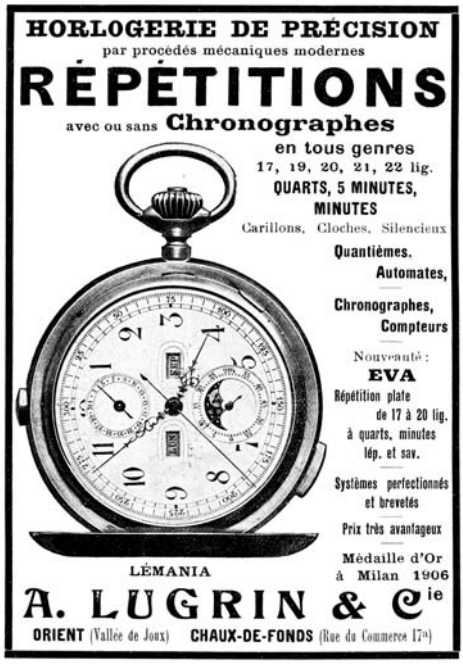
L'objectif de cet article n'est pas, bien sûr, d'être exhaustif et de décrire l'ensemble des chronographes avec fonction calendaire sur près d'un siècle d'histoire, il faudrait y consacrer un ouvrage entier, mais simplement d'essayer d'en donner une vue d'ensemble avec les principaux jalons, connus ou moins connus.

Les précurseurs : 1890-1940

La fabrication industrielle du chronographe calendrier n'a commencé qu'au tournant du XX^e^ siècle, d'abord sous la forme de montres de poche. Il s'agissait de montres à répétitions auxquelles s'ajoutaient les fonctions de quantième et de chronographe. En général la date était donnée par une aiguille, jour et mois par un guichet. Parmi les fabricants il faut citer Alfred Lugrin à L'Orient dans la Vallée de Joux, maison créée en 1884 et qui deviendra plus tard Lémania ; Barbezat-Baillot au Locle, maison créée en 1867 et plus connue sous le nom de Fabrique Le Phare ; Ditisheim & Cie à La Chaux-de-Fonds, fabrique des montres Volta et Vulcain ou encore Les Fils de R. Picard et Cie à La Chaux-de-Fonds, maison fondée en 1837 et fabricant des montres Invicta.

Même s'il ne s'agissait pas de montres bon marché, elles étaient plus abordables que les pièces d'exception fabriquées dans la Vallée de Joux. Elles témoignent aussi de la mutation industrielle en Suisse avec la montée en puissance des entrepreneurs des Montagnes neuchâteloises et des environs au détriment des maisons de la région de Genève.

Mais ces montres furent victimes à la fois de la découverte du radium, qui mit un terme au succès des montres à répétition de série, à l'engouement pour les montres-bracelets, et à la crise horlogère qui suivit la fin de la Première Guerre mondiale. Leur fabrication cessa dans les années 1920.



Grande complication dont chronographe et calendrier perpétuel. Publicité de 1904.

◁
Montre à répétitions avec chronographe et quantièmes. A noter la marque Lémania qui donnera son nom à la société d'Alfred Lugrin. Publicité de 1908.

Même si les premiers chronographes-bracelets datent du début des années 1910, l'adjonction de la date ne s'est faite que plus de vingt ans plus tard.

Il semble que le tout premier chronographe-bracelet avec date ait été réalisé par Longines, au milieu des années 1930. Le cadran de cette montre est visible sur la page d'accueil du site farfo.com mais le Musée Longines, contacté à plusieurs reprises, n'a pas infirmé ou confirmé s'il s'agissait d'une montre effectivement fabriquée à Saint-Imier.

Patek Philippe a fabriqué une pièce unique, le n° 198.393, commencée en 1930 et vendue en 1938, et comportant un chronographe à rattrapante et un calendrier perpétuel. C'était probablement le premier chronographe-bracelet avec quantième perpétuel. Mais dès 1937 Patek Philippe avait produit un chronographe avec calendrier simple dont les caractéristiques étaient prémonitoires. L'organisation du cadran allait en effet devenir une référence pour nombre de chronographes calendrier qui apparaîtront bien des années plus tard : jours et mois sont dans des guichets à midi et la phase de lune est à 6 h. La date est donnée par une aiguille qui tourne autour du cadran des phases de lune. Un autre modèle, le 1518 de 1941, reprend la même disposition du cadran mais le calendrier tient compte des irrégularités des mois et de celle des années bissextiles. Entre 1941 et 1954 seuls 281 de ces chronographes seront fabriqués, avec un mouvement sur base Valjoux de 13 lignes.

La fabrication en série de chronographes-bracelets avec date ne commença en fait

Chronographe calendrier perpétuel de Patek Philippe.

◁
Angelus Chronodato, vers 1942.

Calibre Angelus 215.

◁
Rare Angelus Chrono-Datoluxe, vers 1948. A noter la grande date à deux disques.

Calibre Angelus 252.

qu'au début des années 1940 grâce à Angélus et à Universal.

Angelus, maison créée au Locle par les frères Stolz en 1891, lança son chronographe calendrier en 1942. Baptisé Chronodato, ce remarquable chronographe est équipé du calibre 217 de 14 lignes, dérivé du 215 sorti la même année. La date est donnée par une aiguille à la périphérie du cadran, jour et mois sont dans des guichets, respectivement à 6 h et midi. Le compteur de minutes est de 45 minutes.

En 1948 Angélus sort un nouveau mouvement chronographe de 12 lignes (27,00 mm), le calibre 250 avec compteur 30 minutes. Il permettra le lancement, la même année, du Chrono-Datoluxe, premier chronographe fabriqué en série avec date par guichet, disposant également de l'indication du jour et des phases de la lune. Sur le mouvement, calibre 252, on remarque que les deux chiffres de la date sont en fait portés sur deux disques distincts, coaxiaux.

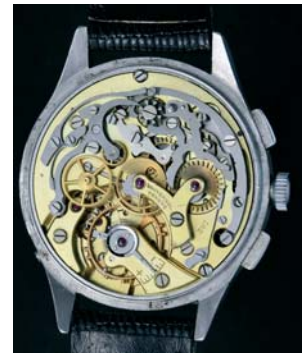
La société Perret & Berthoud, plus connue sous le nom d'Universal Watch Co., a été créée au Locle en 1894. A partir de 1930, sous l'impulsion de Raoul Perret, également administrateur de Zénith et président du conseil d'administration de la Martel Watch aux Ponts-de-Martel où sont fabriqués les calibres chronographes, Universal va jouer un rôle prépondérant dans le domaine du chronographe. En 1932 sort ainsi le modèle Compur, en 1938 le Compax avec compteur d'heures et en 1940 l'Aero-Compax. Vers 1942 apparaît le Dato-Compax, chronographe assez rare comprenant la date par une aiguille dans un petit cadran indépendant à midi. Les mouvements utilisés, comme le 287, portaient parfois l'extension DX.

Mais c'est en 1943 qu'Universal sort un modèle avec calendrier qui deviendra le plus célèbre de ses chronographes : le Tricompax, parfois surnommé « le glorieux ».

L'objectif était ambitieux : proposer un chronographe avec calendrier complet et

Universal Dato-Compax, vers 1942.

▷
Calibre Universal 287.



Universal Tricompax, vers 1960.

▷
Calibre Universal 281.

phases de lune a un prix raisonnable. Le Tricompax y parvint au-delà de toute espérance. L'un des problèmes à résoudre était celui de la lisibilité : le Tricompax ne comporte pas moins de 7 aiguilles et 3 guichets. La solution développée par les techniciens de la firme genevoise fut de loger le guichet des phases de lune à l'intérieur du cercle de la date à midi. Les fonctions calendaires sont ainsi totalement séparées des fonctions de chronographes.

Le succès du Tricompax fut considérable et sa production s'est poursuivie jusqu'à la fin des années 1960. Les premiers modèles avaient des poussoirs carrés. Dans les années 1950 apparaît une version non étanche à petits poussoirs ronds et, à la Foire de Bâle 1964, Universal présenta une version étanche avec des poussoirs ronds de dimension nettement plus importante. Des échelles tachymétriques ou pulsométriques ont orné la périphérie des cadrans des Tricompax dont les tailles peuvent être variables : Universal a utilisé pour ce chronographe des calibres de différentes dimensions, les extrêmes allant du 281 TX de 12,25 lignes aux 292 TX de 15,5 lignes soit pas moins de 35,20 mm de diamètre. Quelques-uns de ces mouvements, le 287 par exemple, ont été utilisés par Girard-Perregaux.

Les calibres chronographe calendrier entre 1940 et 1960

Les calibres Valjoux 72c et 88

Le Valjoux 72c est l'héritier d'un « monument » du chronographe suisse du XX^{e} siècle : le Valjoux 23, mouvement de 13 lignes apparu dans les années 1920. Ce mouvement avait été modernisé dans les années 1940 et baptisé alors 23 VZ. La version avec compteur d'heures du 23 VZ est le calibre 72 et c'est sur

Chronographe Breitling avec calendrier complet, vers 1945.

Calibre Valjoux 72c.

Publicité de 1948.

cette version qu'a été conçu en 1944 la version avec calendrier dénommée 72c.

Il s'agit d'un mouvement à « calendrier complet », à savoir date, donnée par une aiguille centrale, jour et mois, donnés par des guichets à midi. Des petits poussoirs de réglage sont disposés sur la carrure.

La demande pour les chronographes était très forte dans les années 1940 et dès que ce mouvement fut disponible en 1944 de nombreux fabricants l'utilisèrent pour certains de leurs modèles. Les premiers furent Arsa, Breitling, Léonidas, Nivia, Solvil, Doxa, Le Phare, Heuer et bien d'autres. De 1944 à 1948 ce fut d'ailleurs le seul calibre chronographe calendrier du trust Ebauches SA ce qui explique son ubiquité. Mais il poursuivra sa brillante carrière bien au-delà puisque on le retrouve jusqu'à la fin des années 1970, y compris dans des montres de marques prestigieuses comme Rolex ou Ulysse Nardin et y compris dans des maisons fabriquant pourtant leurs propres mouvements chronographe comme Eberhard ou Minerva.

En 1947 est apparu la version avec phases de lune du 72c, le calibre Valjoux 88. C'est aussi un excellent mouvement, dont la carrière s'est poursuivie jusqu'à la fin du XX^{e} siècle, qui a permis la réalisation de très belles montres, souvent considérées par les fabricants comme le fleuron de leur gamme. La Record Watch Co. a utilisé par exemple le Valjoux 88 dès 1947 pour son modèle Chrono Datofix. Record, qui s'est appelée un certain temps Record Dreadnought, avait été créée en 1904 à Tramelan pour produire une montre à heures et minutes rétrogrades, la Sector. C'était une manufacture qui produisait des mouvements de bonne qualité et savait innover, en particulier dans le domaine des échappements, de l'antimagnétisme ou de la montre étanche. En 1945 Record avait sorti une très belle montre avec calendrier complet et phases de lune, basée sur les calibres Maison 106 et 107. Mais Record ne fabriquait pas de mouvements chronographe et

se fournissait donc auprès d'Ebauches SA. C'est tout naturellement que le Valjoux 88 a été utilisé dès qu'il a été disponible pour créer un modèle chronographe, complément de la gamme Datofix.

Même principe utilisé chez Arbu, marque composée à partir du nom de son créateur A. Bueche, qui disposait d'une montre avec calendrier complet appelée Datostar, sur base Ebauches SA, et qui utilisa en 1948 le Valjoux 88 pour son modèle Chronostar.

Le Valjoux 88 a été utilisé par de nombreux fabricants. En 1948 citons Heuer, en 1949 Prexa et Breitling, puis dans les années 1950 Bovet, Le Phare, Mathey-Tissot, Auréole, Léonidas, Montilier, etc.

Les calibres Vénus et Landeron

Le modèle de Breitling muni du Valjoux 88 s'appelait Datora, mais ce nom existait déjà car ce n'était pas le premier chronographe calendrier de l'entreprise de La Chaux-de-Fonds. Breitling ne fabriquait pas ses mouvements mais entretenait des relations privilégiées avec les fabricants et monteurs de chronographes comme Charles Hahn au Landeron et Marcel Depraz dans la Vallée de Joux. Il existe ainsi une version de chronographe calendrier « pré-Datora », assez surprenante, sur base Vénus avec date par aiguille, jour et mois par tout petits guichets, datant probablement du début des années 1940. Peut-être s'agit-il d'un prototype.

Ce qui est sûr, en revanche, c'est que dès 1948 Breitling a utilisé en avant-première les calibres chronographe-calendrier Vénus, et en particulier les superbes Vénus 184 et 187 avec phases de lune et date par aiguille à midi pour le modèle Chronomat Phases de lune.

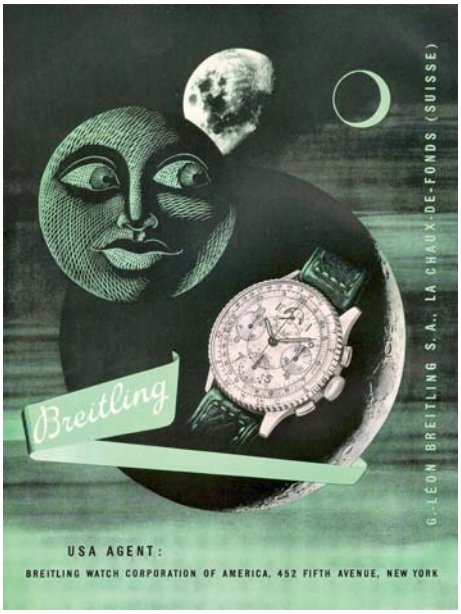
En réponse aux Valjoux 72c et 88, il y eut en effet une véritable explosion de nouveaux mouvements chronographe-calendrier chez Vénus et Landeron : près de vingt calibres différents entre 1948 et 1950 ! Pratiquement toutes les combinaisons existent : calendrier simple, calendrier complet, phases de lune,

Chronographe Aerowatch avec calendrier complet et phases de lune.

Calibre Valjoux 88.

Très rare chronographe Breitling avec calendrier complet. Peut-être un prototype.

Calibre Vénus, dérivé du 175.



Publicité pour le Chronomat Phases de lune de 1949.

compteur d'heures, rattrapante, avec ou sans roue à colonne, avec réglage par poussoirs ou par la lunette. Le chef-d'œuvre est sans conteste le Vénus 190 avec roue à colonne, compteur d'heures, calendrier complet, phases de lune et rattrapante. Les mouvements Landeron étaient censés être plus économiques et n'avaient pas de roue à colonne, mais il y a une exception : le superbe Landeron 10 de 1950 avec calendrier complet réglable par lunette tournante.

Il faut toutefois remarquer que tous ces mouvements comportaient une date par aiguille. La date par guichet est restée l'apanage de l'Angelus Chronodatoluxe jusqu'à l'arrivée en 1953 du calibre Vénus 211, sans roue à colonne, avec un double guichet à 6 h. Ce mouvement a eu toutefois une diffusion assez confidentielle, probablement liée au désintérêt du public pour le chronographe à la fin des années 1950.

Deux exemples de chronographes calendrier sur base Ebauches SA sans roue à colonnes. En haut, chronographe calendrier complet réglable par lunette tournante, calibre Landeron 58. En bas, modèle « Date-Chrono », calibre Landeron.

Deux exemples de chronographes calendrier sur base Ebauches SA avec roue à colonnes. En haut, chronographe calendrier phases de lune, calibre Vénus 184. En bas, chronographe calendrier simple, calibre Vénus 183.

Chronographe grande date, vers 1953.

▷
Calibre Vénus 211.

Eberhard Contodat, premier chronographe avec date par guichet simple.

▷
Calibre Eberhard 310/82.

Autres calibres

L'abondance de mouvements chronographe mis à la disposition des fabricants par Ebauches SA n'encouragea pas la création de nouveaux calibres dans les manufactures. On doit toutefois relever deux exceptions pour ce qui est des calibres chronographe avec calendrier : l'apparition à la fin des années 1950 de la date par guichet sur les « faux chronos » à ancre à goupille, en général sur base Lapanouse, et un modèle remarquable chez Eberhard : le Contodat.

Eberhard a été créée en 1887 à La Chaux-de-Fonds par Georges-Emile Eberhard. En 1919 ses fils George et Maurice prennent la suite et la même année sort le premier chronographe-bracelet de la marque. Eberhard ne fabrique pas ses ébauches mais se fournit auprès des spécialistes en la matière selon un cahier des charges bien précis. Ainsi c'est à Dépraz et Cie qu'Eberhard demande en 1950 de fabriquer l'un des plus beaux mouvements chronographe du XX^{e} siècle, le calibre Eberhard 310/8. C'est un mouvement de 14 lignes avec roue à colonne, dont toutes les pièces sont anglées, et qui équipera le modèle Eberhard Extra-Fort qui existait déjà dans la gamme Eberhard depuis quelques années. En 1957 ce mouvement sera équipé de la date sous la forme d'un guichet à 6 h, sous l'appellation 310/82, pour le modèle Contodat qui est en fait le premier chronographe de série avec date par guichet unique. Ce mouvement sera utilisé plus tard, vers 1969, par Doxa pour un modèle chronographe de plongée, le Sub 200 T-graph, lorsque les deux entreprises auront rejoint la holding CHP (Communauté d'Horlogerie de Précision).

Les années 1960 : le chronographe en difficulté

A la fin des années 1950 le chronographe est en perte de vitesse. La mode est à la montre automatique, à la montre de plongée et le chronographe s'est banalisé, voire dévalorisé avec la profusion de modèles génériques

« chronographe suisse » aux boîtes en or trop minces pour être honnêtes. En 1960 la Fédération horlogère crée un groupe de travail « Chronographes et Compteurs », présidé par Willy Breitling, et lance en 1962 une vaste campagne de promotion du chronographe dans la plupart des pays européens, relayée par les fabricants qui lancèrent à ce moment-là de nouveaux modèles. Le résultat fut à la hauteur des espérances : l'exportation de chronographes suisses en Europe passa de 52 000 unités en 1964 à plus de 173 000 en 1969.

Dans ce contexte, seuls deux nouveaux calibres calendrier ont été créés.

Le premier l'a été en 1963. Il s'agit du Landeron 187 et de sa variante 189. C'est un mouvement sans roue à colonne que l'on retrouve dans de nombreux modèles. Sur ce mouvement, la date, par guichet unique, peut être disposée à volonté à midi, à 6 h et même, fait nouveau à l'époque, à 3 h ou même à 9 h. Il équipera par exemple un très beau modèle Carrera d'Heuer. Le Carrera est caractéristique, avec le Breitling Top Time, d'une nouvelle tendance qui apparaît à la fin des années 1960 : pour attirer une clientèle plus jeune, chaque modèle de chronographe est proposé dans une multitude de variantes de forme et de cadran permettant de personnaliser son achat, voire de le multiplier. Il existe ainsi un Carrera 30, un 45, un 12, un Carrera Tachy et donc, vers 1965, un Carrera date.

Le second l'a été par Omega en 1969. Il s'agit du calibre 930 avec date par guichet à 9 h, dérivé du calibre 860 sorti un an auparavant. Il a équipé en particulier de très élégants chronographes « De Ville ».

La fin des années 1960 voit également la prolifération des montres bon marché à ancre à goupille. La société d'ébauches Bettlach SA, qui fait partie du groupe Ebauches SA, a par exemple lancé en 1964 toute une gamme de nouveaux calibres, la famille 8800 de 12 lignes. En 1969 une version chrono-

Heuer Carrera date, vers 1965.

Calibre Landeron 189.

Chronographe Omega De Ville, vers 1969.

Calibre Omega 930.

Zénith El Primero, vers 1970.

Calibre Zénith 3019 PHC.

Version phase de lune du El Primero, modèle Academy, vers 1987.

graphe est présentée, dont une variante, calibre 8806, dispose d'un quantième à guichet.

1969-1980 : le chronographe automatique

Face à la guerre des prix et au succès des montres bon marché, les fabricants de belles montres suisses sont confrontés au dilemme classique : innover ou décliner. Le chronographe est considéré comme une montre à forte valeur ajoutée, la montre automatique existe depuis plusieurs années et est désormais fiable : il faut les associer pour créer une nouveauté forte, susceptible de marquer les esprits et de relancer la montre technique en Suisse.

Omega y avait pensé dès la fin des années 1940 mais c'est Zénith-Movado et l'association Heuer-Léonidas, Bretling et Hamilton qui le feront les premiers en 1969. Et tous les modèles présentés alors auront la date dans un guichet.

Le Chrono-Matic, dont la partie chronographe a été développée par Dépraz et Cie et la partie automatique par Buren, a été fabriqué dès 1968, mais sa présentation au public s'est faite le 3 mars 1969, soit quelques semaines après la présentation du El Primero de Zénith-Movado le 10 janvier 1969.

Le El Primero, qui signifie « le premier » en espéranto, est un mouvement automatique intégré à haute fréquence, 36 000 alt/h, et dispose d'une roue à colonne et d'un rotor central. Il a été baptisé calibre 3019 PHC et a été développé grâce aux compétences de Zénith, Movado, mais aussi Martel Watch qui fabriquait les calibres Universal et avait été rachetée par Zénith en 1960. Le guichet pour la date des modèles Zénith est à 4 h 30, signe distinctif pour ce mouvement, et à midi pour les modèles Movado. En 1971, une très belle version avec calendrier complet et phases de lune, calibre 3019 PHF, fait son apparition. Elle n'empêchera pas les difficultés financières de Zénith lors de la grande crise des années

1970 et son sauvetage in extremis en 1978 par un groupe suisse comprenant la société Dixi au Locle.

Le Chrono-Matic a connu une histoire encore plus mouvementée : Buren est rachetée par Hamilton en 1966 et Dépraz et Cie devient Dubois-Dépraz en 1968. Mais dès 1966 Heuer-Léonidas et Breitling avaient signé une convention de fourniture exclusive du mouvement. C'est donc sous les marques Heuer, Breitling et Hamilton que sort en 1969 le calibre 11, avec une fréquence de 19 800 alt/h, rapidement suivi du calibre 12 dont la fréquence est de 21 600 alt/h et du calibre 14 avec indication 24 h. La date est dans un guichet à 6 h pour tous les modèles, tout comme pour le calibre 15, sorti en 1971, qui a une petite seconde permanente qui manquait aux premiers calibres.

Mais de nombreux ennuis vont surgir : Hamilton-Buren cesse toute activité en 1972 et la production est interrompue. Les mouvements restants seront proposés à diverses sociétés comme Kelek, Zodiac, Jaquet-Girard, Herma ou Bulova.

Il existe deux versions non automatiques du Chrono-Matic : les Valjoux 7740 et 7741, utilisés par Heuer et Breitling. Ces versions ont également la date par guichet.

Comme on peut s'en douter le chronographe automatique fit des émules.

Chez Omega tout d'abord. Le premier chronographe automatique Omega est équipé du calibre à rotor 1040 de 31,00 mm de diamètre conçu chez Lémania en 1970 par Raoul Henri Erard et Marius Meylan Piguet. Il comprend un compteur de minutes central, un quantième par guichet à 3 h, un indicateur 24 heures à 9 h et un compteur 12 heures à 6 h. Il équipera en 1972 le Speedmaster Professional Mark III et un chronographe Seamaster Automatic. En 1973, on le retrouvera dans le Speedmaster Professional Mark IV mais également, sans l'aiguille indiquant les 24 heures, dans un modèle d'Enicar, le Grapho-Matic. Une version simplifiée de ce

Première version du Chrono-Matic, sans petite seconde permanente, vers 1969.

Chrono-Matic calibre 11.

Chronographe Omega Seamaster, vers 1972.

Calibre Omega 1040.

Chronographe Tissot Navigator, vers 1972.

Calibre Lémania 1340.

Chronographe Omega destiné aux compétitions de football. A noter le « 45 » surdimensionné.

Calibre Lémania 5000 (Omega 1045).

mouvement, sans indication 24 heures, sera produite par Lémania à partir de 1972 sous les noms des calibres 1340 et 1341, et équipera de nombreux chronographes de marque Lémania, Tissot, BWC, Wakmann, Royce et même Sinn en Allemagne.

Confronté comme l'ensemble des horlogers suisses à la baisse des prix et à la revalorisation du franc suisse, Lémania va développer en 1974 un calibre simplifié, économique, mis au point par Albert Piguet, Louis Baumgartner, Hans Kocher et Paul Marmier : le Lémania 5000 (Omega 1045). Il dispose d'un embrayage axial, inventé par Hugues Bürki en 1973 et plus simple à fabriquer que l'embrayage latéral, et s'avère très complet malgré son faible coût : compteur de minutes central, compteur d'heures, indication 24 heures à midi, jour et date par guichet à 3 h. Il sera utilisé par Omega pour une nouvelle version du Speedmaster Automatic en 1975, mais l'arrivée des chronographes à diapason puis à quartz mettra une parenthèse à sa carrière qui reprendra toutefois au début des années 1980 sous le nom Lémania 5100.

Pour les visiteurs de la Foire de Bâle de 1973 en quête de chronographes automatiques, une surprise les attendait, de la part d'une marque quasi inconnue : Tenor & Dorly.

Quatre entreprises s'étaient en fait associées pour réaliser cette nouveauté : Brac, Dubois Dépraz, Kelek et Tenor & Dorly. Brac SA, à Breitenbach, était un fabricant d'ébauches économiques, ancre et Roskopf, dont les origines remontent à 1904. Avec Tenor & Dorly, jeune société créée dans les années 1960 à Tramelan, Brac avait conçu un mouvement automatique à quantième de 26 mm de diamètre (11,5 lignes), le calibre Brac 1300 dont une version existait avec affichage digital. Sur la base de ce calibre, mandat est donné à Dubois Dépraz, désormais spécialiste incontesté des mouvements modulaires, de concevoir un module chronographe, à roue à colonnes et avec compteur de minutes, qui sera logé entre le mouvement et le rotor central, en faisant

Chronographe Sevan à affichage digital des heures et minutes, calibre TDBK 1376, vers 1973.

ainsi le plus petit chronographe automatique de l'époque. Le remontage et la terminaison des chronographes sont assurés par Kelek SA à La Chaux-de-Fonds. Kelek a été créée en 1960, mais ses origines remontent à 1896 avec l'établissement d'Ernest Gorgerat à La Chaux-de-Fonds. Kelek s'était spécialisée dans le chronographe, sur base Ebauches SA, et avec l'arrivée dans l'entreprise de Gabriel Feuvrier en 1968, une collaboration étroite s'était instaurée avec Dubois Dépraz. Enfin, la commercialisation du nouveau chronographe devait être assurée par Kelek et Tenor & Dorly.

Deux versions de ce chronographe sont en fait lancées en 1973. La première, munie du calibre TDBK (initiales des quatre sociétés) 1376, comporte l'affichage digital des heures et minutes, un compteur 60 minutes et la date par guichet à 6 h. Le second, calibre TDBK 1369, a un affichage classique avec un compteur 30 minutes à 3 h, un compteur 6 heures à 11 h et la date par guichet à 9 h.

Tout comme pour le Chrono-matic, la commercialisation des calibres TDBK sera en fait rapidement étendue à d'autres sociétés et on les retrouvera également sous les marques Précimax, Minerva, Nivada, Whaltam, Oriosa, Plymouth, Kraiko, Tell ou Sevan.

Malgré son prix intéressant, le plus petit chronographe automatique pâtira des difficultés financières et des problèmes qualité rencontrés par la maison Brac. Sa fabrication sera alors interrompue après la production de seulement 23000 calibres.

1973 est aussi l'année de l'un des plus remarquable mouvements chronographe automatique suisse : le Valjoux 7750. Mis au point par Edmond Capt chez Ebauches SA, ce « monument » du chronographe suisse va connaître une carrière extraordinaire, sera utilisé par des dizaines d'entreprises, de la plus humble à la plus renommée, fera l'objet d'innombrables versions et modifications, et est encore aujourd'hui, plus de trente ans après sa création, une référence incontournable des chronographes contemporains.

Les critères qui ont présidé à sa conception étaient à la fois simples et ambitieux : précision, fiabilité et prix serré. Pour ce qui est de la précision, le choix s'est porté sur un échappement de nouvelle génération, de type Clinergic, à fréquence élevée : 28800 alt/h. Un dispositif à excentrique, original avec sa forme de glaive, permet un réglage fin de la raquette. Pour assurer fiabilité et coût réduit, le mécanisme de chronographe est très simple et ne comprend qu'une vingtaine de pièces. Ce mécanisme est à pignon oscillant, ce qui élimine une partie du rouage, et à cames, donc sans roue à colonnes. Deux excentriques permettent un réglage facile du pignon oscillant et les marteaux des heures et des minutes sont autoréglants. L'élégant pont de centre des mouvements classiques, avec les deux bras portant les cœurs de remise à zéro, disparaît sur le 7750. Il est remplacé par un pont unique maintenant barillet et rouages, ce qui a pour effet de masquer la quasi-totalité du mécanisme. L'esthétique s'en ressent et c'est un reproche que l'on fera à ce mouvement, surtout quelques années plus tard avec la mode des fonds transparents.

Le Valjoux 7750, qui fait 30,00 mm de diamètre pour une hauteur de 7,80 mm, comprend un compteur 30 minutes et un compteur 12 heures. Il comprend également la date et le jour par guichet, avec un système de correction à action rapide. Le mouvement comporte enfin un rotor central, monté sur rou-

Chronographe Le Jour, calibre Valjoux 7750, vers 1973. A noter la couleur noire, originale à l'époque.

lements à billes, dont l'action de remontage est unidirectionnelle.

A sa sortie en 1973 le Valjoux 7750 fut proposé en deux versions : avec remontoir à midi, pour des chronographes dits « pupitre » ou avec remontoir en position classique à 3 h. Dans cette dernière version, la plus utilisée, le compteur de minutes est à midi, celui des heures à 6 h, la petite seconde permanente à 9 h et les deux guichets à 3 h.

Dès qu'il fut disponible, il fut utilisé par des marques comme Nicolet, Desotos, marque de la fabrique Georges Gay aux Bioux, Technos, Arola, marque de la fabrique Alfred Rochat également aux Bioux, Longines, Mido ou encore Orfina qui produira une version de couleur noire due au designer Ferdinand Porsche.

En 1977 Valjoux SA décida de lancer deux nouveaux calibres sur la base du 7750 : le 7755, qui n'a pas l'indication du jour ni le réglage fin de la raquette, et le 7765, versions non automatiques du 7755.

1969-1980 : les autres mouvements chronographe calendrier

Ebauches SA proposa également au début des années 1970 des mouvements chronographes non automatiques : il s'agit des Valjoux 7733, 7734 et 7736, dérivés du Valjoux 7730 lui-même anciennement Vénus 188. Le 7734 avait un quantième à guichet avec remise à date rapide. Ces mouvements ont été fabriqués en grande série et utilisés par de très nombreuses marques comme Breitling, BWC, Tissot, Heuer, Mondia et également des marques non suisses comme Lip et Roch en France ou Junghans et Kienzle en Allemagne. En 1975, l'outillage nécessaire à la fabrication de ces mouvements fut acheté par l'Union soviétique et on retrouvera ces calibres sous la marque Poljot qui les fabrique toujours aujourd'hui.

Chronographe Atlantic, modèle Timeroy UT avec heures du monde, vers 1970.

Calibre Valjoux 7734.

C'est aussi vers 1971 qu'apparut le dernier mouvement Valjoux avec roue à colonnes : le calibre 234 et sa variante 237 avec retour en vol. C'est un beau mouvement, classique, qui comporte une date par guichet à 6 ou 12 h. Sa production fut relativement limitée.

Les années 1970 furent aussi celles de l'introduction de l'électronique. Le premier chronographe électronique a été développé par Ebauches SA et Dubois Dépraz. Ebauches SA avait développé un calibre à diapason 300 Hz dit « Mosaba » (mouvement sans balancier) sur la base des brevets de Bulova. En 1970 mandat est donné à Dubois Dépraz de développer un module chronographe pouvant s'adapter sur ce calibre. Le résultat sera présenté à la presse en mai 1972, par Paul Louis Mouquin chez Valjoux et Gérald Dubois chez Dubois Dépraz, sous la forme du calibre ESA 9210 Swissonic. C'est un chronographe deux poussoirs, d'apparence classique, avec jour et date par guichet à 3 h, avec toutefois une organisation inhabituelle des compteurs : la petite seconde permanente est à midi, le compteur 30 minutes à 9 h et le compteur 12 heures à 6 h. Il faudra attendre 1974 pour voir apparaître les premiers exemplaires commercialisés, chez Omega d'abord (modèle Speedsonic) puis chez Longines, Baume et Mercier (modèle Tronosonic) ou Certina (modèle Chronolympic C-Tronic).

Mais dans le domaine de l'électronique les progrès sont extrêmement rapides, de sorte qu'à peine commence la commercialisation du chronographe à diapason qu'on annonce l'arrivée du chronographe à quartz : le calibre ESA 9210 sera abandonné en 1976 après une production de seulement 21 000 exemplaires.

Comme on le sait, la technologie qui faillit faire disparaître l'horlogerie suisse est celle du quartz. Pourtant dès 1967 le Centre électronique horloger de Neuchâtel avait développé un mouvement à quartz à affichage analogique (par aiguilles) baptisé Bêta 2. Le premier chronographe à quartz, lancé par Heuer en

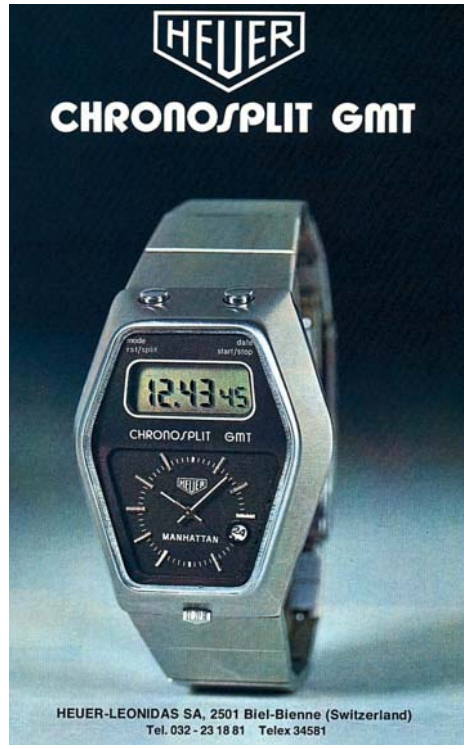
Chronographe Mathey-Tissot avec date par guichet à midi, vers 1971.

Calibre Valjoux 234, dernier calibre Valjoux avec roue à colonnes...

Chronographe électronique Certina, modèle Certronic, vers 1974.

Calibre électronique ESA 9210.
Le diapason est visible en haut avec son embobinement de cuivre.

Publicité de 1977 pour le chronographe à quartz à affichage digital Zodiac Astrodigit.



Publicité de 1978 pour le chronographe à quartz à affichage hybride Heuer Chronosplit GMT.

1975 sous le nom Chronosplit, était à affichage digital : cristaux liquides pour l'heure et diodes pour le chronographe qui affiche le 1/10e de seconde.

Il sera suivi en 1976 par l'Omega Chrono-Quartz à affichage hybride : affichage analogique pour l'heure et double affichage LCD pour le chronométrage qui se fait désormais au 1/100e de seconde.

Affichage digital et affichage hybride vont ensuite se concurrencer jusqu'à la fin des années 1970. L'affichage digital aura en 1977 les faveurs de Breitling avec le Navitimer Quartz, d'Omega avec le Speedmaster Professional Quartz et de Zodiac avec l'Astrodigit LCD Chronograph.

L'affichage hybride sera retenu en 1978 par Heuer pour les Manhattan GMT et Senator GMT disposant de deux modules quartz indépendants pour chacun des affichages. Tous ces modules aux multiples complications comportent bien sûr la date, voire des fonctions calendaires complètes, difficulté qui n'en est plus une lorsqu'il s'agit d'électronique.

Le renouveau : 1980-1990

Au début des années 1980 les calibres chronographe mécaniques ont pratiquement tous disparu. L'horlogerie suisse est en crise et la récession se poursuit jusqu'en 1983. ETA a drastiquement réduit la gamme héritée d'Ebauches SA et seules subsistent les familles du 7733 et du 7750 ; chez Zénith dorment encore quelques El Primero ; chez Omega quelques chronographes font de la résistance… Ce sont pourtant ces mouvements qui vont assurer la relance.

En 1983 apparaît une version avec phases de lune du 7734, utilisé par exemple par Tissot, et en 1984 sortent deux nouvelles versions du 7750 avec phases de lune et calendrier par aiguille centrale. La première version avec phases de lune à 3 h sera utilisée par exemple par Tissot pour un modèle du chronographe automatique PR 100 et un peu plus tard, en 1988, par Chronoswiss. La seconde version a les phases de lune à 6 h. Elle sera utilisée par exemple par Girard-Perregaux en 1984 dans sa version automatique et par Epos en 1987 dans sa version à remontage manuel.

Une nouvelle version vient enrichir la famille en 1986 : le calibre 7751. C'est un mouvement particulièrement complet avec calendrier et phases de lune, jours et mois à guichet, et indicateur 24 heures par une seconde aiguille à 9 h. Il sera utilisé par de nombreuses marques, les premières étant Georges Gay, Lucien Rochat, Universal ou Eberhard.

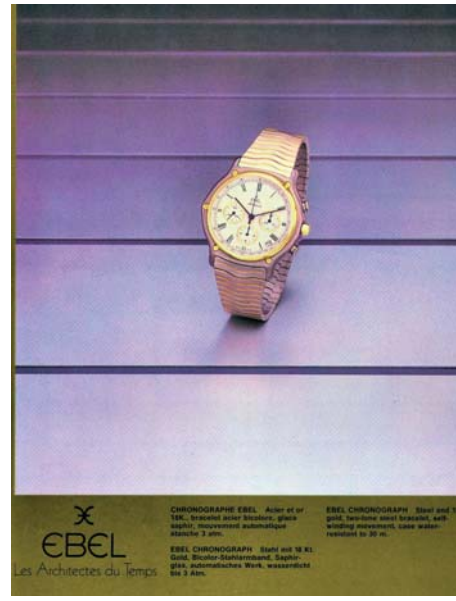
Le Zénith El Primero, lui, doit à Ebel sa renaissance. En 1981 Pierre Alain Blum, qui dirige depuis 1970 l'entreprise créée par ses grands-parents en 1911, recherche un mouvement mécanique pour lancer une gamme de beaux chronographes. Il s'adresse à Zénith, redevenu suisse en 1978, qui ne produit plus le calibre El Primero mais possède encore de nombreux mouvements. Le chronographe Ebel sera présenté à la Foire de Bâle en 1982 et aura un tel succès que Zénith décidera de reprendre la production du El Primero pour le sortir sous son propre nom en 1985.

1985 est aussi l'année où Omega proposera une jolie version calendrier phases de lune du chronographe Speedmaster. Equipé du calibre 866, dérivé du 861, ce chronographe est sans doute le plus élégant hommage à la Speedmaster d'origine dont le mouvement à roue à colonnes n'est plus fabriqué.

Comme la demande pour le chronographe augmente progressivement, de nouveaux mouvements vont faire leur apparition. Le premier viendra de l'entreprise qui a accom-

Chronographe Tissot 1853, vers 1984.

Calibre Valjoux 7734, variante avec phases de lune.



Publicité de 1983 pour le chronographe Ebel muni du calibre El Primero.

pagné l'évolution du mouvement chronographe tout au long du XXe siècle, Dubois Dépraz, et ce mouvement, calibre 2000, marquera un tournant dans cette évolution.

Le calibre 2000 est un module chronographe conçu au départ pour être placé sur un module automatique ETA 2892, solide mouvement qui servira de moteur à des millions de montres, ou sur un module à quartz ESA 555 111. Un accord de commercialisation est trouvé avec Nouvelle Lémania qui a été rachetée en 1981 par un groupe suisse comprenant Piaget, lequel groupe a racheté également Heuer-Léonidas en 1982. Et c'est sous la marque Heuer que seront présentées en 1983 les premières versions quartz du calibre 2000, qui devient par le fait le premier chronographe analogique suisse à quartz. Les versions automatiques sortiront l'année suivante, mais en 1985 Heuer est racheté par le groupe TAG et Nouvelle Lémania proposera alors le calibre à d'autres entreprises. Enfin, en 1992 Nouvelle Lémania est rachetée par le groupe saoudien Investcorp et Dubois Dépraz reprendra tous les droits de commercialisation du mouvement.

Le calibre 2000 a un aspect classique avec trois compteurs, petite seconde à midi, compteur 12 h à 6 h, compteur 30 minutes à 3 h et la date par guichet à 3 h. Le guichet de la date comporte une loupe car le disque de la date est situé en profondeur, sous le module chronographe.

Le calibre 2000 sera utilisé à partir de 1987 par Audemars Piguet, à partir de 1988 par Girard-Perregaux pour le chronographe GP 7000 et GP 4900 Olimpico, et à partir de 1989 par Chopard et Vacheron et Constantin sur mouvement automatique Jaeger-LeCoultre.

Les deux autres mouvements qui vont apparaître en 1987 et 1988 vont tenter de marier les technologies anciennes et actuelles. Ce sont en effet des calibres hybrides, mécaniques pour la partie chronographe à affichage analogique et à quartz pour l'entraînement. Le premier de ces mouvements, que l'on appelle également « méca-quartz », est le calibre Frédéric Piguet 1270 P qui, pour un diamètre de 27 mm, ne fait que 4,75 mm d'épaisseur. La partie quartz, très fine, permet en effet de réduire considérablement l'encombrement du mouvement, et le deuxième de ces calibres, le 632 Jaeger-LeCoultre, ne fait que 3,70 mm d'épaisseur pour un diamètre de 23,30 mm. Il équipera en particulier le chronographe Odyssus de 1988 avec date et phases de lune.

Publicité de 1985 pour le chronographe Heuer Titanium muni du calibre 2000. L'année suivante la marque Heuer disparaîtra au profit de Tag-Heuer.

Mais les notions de belle horlogerie traditionnelle, désormais fermement revendiquées par des équipes marketing affûtées, ont du mal à se conjuguer avec le quartz et l'électronique. Et le remarquable calibre chronographe que proposera en 1988 Frédéric Piguet, qui depuis 1982 vole de ses propres ailes avec Blancpain, sera, lui, entièrement mécanique.

Ce calibre série 1180-1185 réussit aussi une

Publicité de 1988 pour le chronographe rattrapante Blancpain muni du calibre Piguet 1180-1185.

première : c'est le plus petit et le plus plat calibre chronographe jamais construit. Pour un diamètre de 11,5 lignes (25,60 mm) il ne fait que 3,95 mm de hauteur en version manuelle et 5,35 mm en version automatique. Ce calibre est également d'emblée conçu pour être évolutif : un mécanisme de rattrapante est déjà prévu, le quantième est intégré dans la platine, le mécanisme de remontage automatique, qui remonte dans un seul sens, est modulaire et se fixe par trois vis, et une plaque de quantième perpétuel est prévue pour s'adapter sur le mouvement.

C'est d'ailleurs dans sa version automatique avec rattrapante et date par guichet à 6 h, le mouvement ayant alors une épaisseur de 6,75 mm, que Blancpain proposera le mouvement en 1988, cette association de fonctions étant alors réalisée pour la première fois.

Avec la renaissance de la montre mécanique et l'intérêt porté aux beaux mouvements, la montre compliquée, qui est une vitrine, témoin du savoir-faire et de l'excellence d'une marque, va devenir un passage obligé pour acquérir sa place parmi les grands. C'est Ebel qui va donner le départ en faisant sensation en 1983 avec un chronographe automatique avec calendrier perpétuel et phases de lune. Ebel dispose, on l'a vu, du calibre Zénith El Primero et le module comportant le calendrier perpétuel sur lequel il était monté est développé par Dubois Dépraz. Depuis 1978 en effet Dubois Dépraz collaborait avec Patek Philippe ou Audemars-Piguet pour la réalisation de mécanismes compliqués tels que répétitions et quantièmes perpétuels. Conçus au départ pour être montés sur des montres de poche, les quantièmes perpétuels Dubois Dépraz seront ensuite créés pour être montés sur des mouvements automatiques ou des chronographes de montres-bracelets. Et à partir de 1984, en étroite collaboration avec Kelek, Dubois Dépraz va concevoir une série de calibres chronographe aux fonctions calendaires de plus en plus sophistiquées.

L'histoire de Kelek est intimement liée à celle de Dubois Dépraz. Avec le développement du calibre chronographe automatique TDBK en 1973, puis du calibre répétition DK 75 deux ans plus tard, des contacts étroits et amicaux s'étaient liés entre Gabriel Feuvrier, président de Kelek, et Gérald Dubois, président de Dubois Dépraz. Dans le domaine du chronographe, cette collaboration va conduire à partir de 1984 à la mise au point d'une série impressionnante de nouveaux calibres avec un chef-d'œuvre en 1989 : le calibre 2152. Les premiers chronographes compliqués de Kelek sont basés sur le fameux calibre DD 2000, modulaire, monté sur le solide mouvement automatique ETA 2892. Il s'agit tout d'abord des calibres 2100, 2700 et 2372, mis en production à partir de 1985. Le calibre 2100 est un chronographe avec quantième perpétuel par aiguille, agrémenté des phases de lune à 3 h. Le 2700 en est une version simplifiée, le quantième n'étant programmé que sur quatre ans. Quant aux 2372

c'est une version du 2700 où les phases de lune sont remplacées par un compteur 52 semaines.

Mais l'objectif de Dubois Dépraz et Kelek est encore plus ambitieux : faire le chronographe-bracelet le plus compliqué jamais fabriqué. Ce chronographe, calibre 2152, verra le jour début 1989. Il comprend dix-sept fonctions dont quantième perpétuel, phases de lune, indication 24 heures, indication des semaines et des saisons, géré par douze aiguilles et six poussoirs correcteurs. Le mouvement, monté sur un calibre automatique ETA 2892 avec ponts et mécanismes perlés, aciers anglés et masse oscillante décorée, fait 7,70 mm d'épaisseur. Monté sur un mouvement automatique Jaeger LeCoultre, utilisé par d'autres maisons horlogères, il ne fait que 7,40 mm d'épaisseur.

Certains des nouveaux chronographes Kelek de cette époque ont une base Valjoux. C'est le cas du calibre Valjoux 7758, développé en 1985 par Kelek et construit par Valjoux. Il s'agit d'un chronographe avec date par guichet à 3 h et phases de lune à 6 h. Pendant un an il sera réservé à Kelek. C'est aussi le cas du Valjoux 7752 de 1989 : c'est un 7750 avec date par guichet à 3 h sur lequel vient s'ajouter une aiguille 24 heures centrale pour un second fuseau horaire. Construit par Dubois Dépraz, ce mouvement est réservé à Kelek.

En 1985 est présenté à la Foire de Bâle un chronographe compliqué qui fera couler beaucoup d'encre : l'IWC Da Vinci.

En 1978, juste après le rachat par le groupe allemand VDO, IWC avait collaboré avec le designer Ferdinand Porsche pour le développement du premier chronographe de la marque, au boîtier en titane et dont les premiers exemplaires apparurent en 1980.

Le succès inattendu des chronographes mécaniques conduisit alors IWC à travailler sur un chronographe avec un quantième perpétuel aux caractéristiques révolutionnaires : il n'y a aucun poussoir de réglage et la mise

Publicité de 1990 pour le chronographe grande complication de Kelek.

Chronographe avec calendrier perpétuel IWC Da Vinci, vers 1987.

à la date, comme la mise à l'heure, se font directement depuis la couronne. De surcroît le quantième indique l'année avec ses quatre chiffres dans un guichet.

Le Da Vinci a été conçu par Kurt Klaus chez IWC et breveté en 1985. Dans son principe, le quantième perpétuel est simple : il fonctionne en quelque sorte de façon continue, l'ensemble des rouages gérant les différents mois et les années bissextiles sans réglage jusqu'an 2100. La partie chronographe, en revanche, est très classique puisqu'elle a pour base le calibre Valjoux 7750, certes assez profondément remanié.

Dans la foulée du Da Vinci, réf. 3750, IWC lança dans les années qui suivirent de nombreux modèles de chronographe, certains sur base Valjoux 7750 comme le chronographe automatique réf. 3703, mais la plupart sur base méca-quartz comme le Fliegerchronograph réf. 3740 ou un chronographe avec un système original de date par index en périphérie du cadran, réf. 3731, breveté par Kurt Klaus en 1987.

A partir des années 1990 l'horlogerie suisse va connaître une ascension que les plus optimistes des stratèges n'auraient osé imaginer. Le chronographe calendrier est toujours là, sous les formes les plus diverses, de la plus compliquée, comme un calendrier perpétuel avec chronographe à commande à gauche chez Girard-Perregaux à la plus épurée comme le chronographe calendrier annuel créé par Ludwig Oeschlin pour le Musée international d'horlogerie de La Chaux-de- Fonds.

Et avec la profusion des nouveaux talents qui fleurissent aujourd'hui, nul doute que le chronographe calendrier a de beaux jours devant lui !

Remerciements

Cet article a bénéficié des conseils avisés de Sébastien Chaulmontet. Pour les illustrations. Remerciements particuliers à Sébastien Chaulmontet, Edi Zumbach, Klaus Zimmerman, Gerd-R. Lang et Christian Pfeiffer-Belli. La plupart des documents d'archives ont été consultés au Musée international d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds grâce à l'amabilité et la disponibilité de toute l'équipe de Ludwig Oechslin et Jean-Michel Piguet.

Sources

Martin Huber et Alan Banbery, *Patek Philippe, Montres-bracelets*, Antiquorum, 1988.
Marco Richon, *Omega Saga*, Omega, 1998.
Journal suisse d'horlogerie.
Revue internationale d'horlogerie.
Alfred Golay et Gérald Dubois, *Dubois Dépraz, 90 années d'horlogerie compliquée*, Dubois Dépraz, 1991.
Hans Kocher, *Une vie marquée par des hommes et des montres*, édité par l'auteur, 1998.
Fritz Von Osterhausen, *The Movado history*, Schiffer, 1996.
Roland Carrera, *Kelek, bientôt cent ans d'horlogerie compliquée*, Kelek, 1992.

	Calibre	Année	Diam. Ligne/mm	Roue à colonne	Cpt.h	Date	Jour	Mois	Phases de lune	Autre	Réglage
Valjoux	72c	1944	13/29,5	oui	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	non		
	88	1947	13/29,5	oui	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	disque à 6 h		
	723	c.1969	13/29,5	oui	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	non		
	234	c.1971	13/29,5	oui	non	guichet	non	non	non		
	237	c.1971	13/29,5	oui	non	guichet	non	non	non	retour en vol	
	7740	c.1971	14/31	non	oui	guichet	non	non	non		
	7741	c.1971	14/31	non	oui	guichet	non	non	non	indication 24 h	
	7734	c.1971	14/31	non	non	guichet	non	non	non		
	7750	1973	13/30	non	oui	guichet	guichet	non	non	automatique	
	730	c.1976	13/29,5	oui	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	non		
	7755	1977	13/30	non	oui	guichet	non	non	non	automatique	
	7765	1977	13/30	non	oui	guichet	non	non	non	manuel	
	7734L	1983	14l31	non	non	guichet	non	non	disque à 12 h	manuel	
	7758	1986	13/30	non	non	guichet	non	non	disque à 6 h	automatique	
	7761	1986	13/30	non	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	disque à 6 h	indication 24 h	
	7768	1986	13/30	non	non	guichet	non	non	disque à 6 h	manuel	
	77?	1987	13/30	non	non	guichet	non	non	disque à 6 h	manuel	
Vénus	183	1948	14/31	oui	oui	aiguille à midi	non	non	non		
	184	1948	14/31	oui	oui	aiguille à midi	non	non	disque à midi		
	186	1948	13/29,5	oui	oui	aiguille à midi	non	non	non		
	187	1948	13/29,5	oui	oui	aiguille à midi	non	non	disque à midi		
	189	1948	14/31	oui	oui	aiguille à midi	non	non	non	rattrapante	
	190	1948	14/31	oui	oui	aiguille à midi	non	non	disque à midi	rattrapante	
	191	1948	13/29,5	oui	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	non		
	192	1950	14/31	oui	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	non		
	193	1950	14/31	oui	oui	aiguille centrale	guichet	guichet	non	rattrapante	
	194	1950	14/31	oui	non	aiguille centrale	guichet	guichet	non		
	198	1950	14/31	oui	non	aiguille centrale	guichet	guichet	disque à 6 h		
	199	1950	14/31	non	non	aiguille centrale	guichet	guichet	non		
	200	1950	14/31	non	non	aiguille centrale	guichet	guichet	disque à 6 h		
	205	1950	14/31	oui	non	aiguille centrale	guichet	guichet	disque à 6 h	rattrapante	
	211	1953	12,5/28	non	non	double guichet à 6 h	non	non	non		
Lande-ron	58	1948	13,75/31	non	non	aiguille à 6 h	guichet	guichet	non		lunette tournante
	59	1948	13,75/31	non	non	aiguille à 6 h	guichet	guichet	non		lunette tournante
	80	1948	13,75/31	non	non	aiguille à 6 h	guichet	guichet	non		poussoirs
	81	1948	13,75/31	non	non	aiguille centrale	guichet	guichet	disque à 6 h		poussoirs
	185	1948	13,75/31	non	non	aiguille à 6 h	guichet	guichet	non		poussoirs
	186	1948	13,75/31	non	non	aiguille centrale	guichet	guichet	disque à 6 h		poussoirs
	10	1950	13/29,5	oui	non	aiguille à 6 h	guichet	guichet	non		lunette tournante
	56	1950	14/31,8	non	non	aiguille à 6 h	guichet	guichet	non		lunette tournante
	57	1950	14/31,8	non	non	aiguille à 6 h	guichet	guichet	non		lunette tournante
	187	1963	13,75/31	non	non	guichet	non	non	non		
	189	1963	13,75/31	non	non	guichet	non	non	non		

Die Zeit im Internationalen Einheitensystem*

Beat Jeckelmann

Die Zeitmessung hat eine für unsere Sinne unvorstellbare Genauigkeit erreicht. Wie vor 200 Jahren sind noch heute die Navigation und die Astronomie die Hauptnutzniesser der stetig verbesserten Uhrentechnik. Wie überall in der Metrologie kann auch in der Zeitmessung ein Resultat nicht genauer sein als die zu Grunde liegende Einheitenrealisierung und die darauf aufbauende Messskala. Dem Stand der wissenschaftlich-technischen Entwicklung entsprechend waren die Definitionen der Zeiteinheiten und -skalen im Verlauf der letzten Jahrhunderte einem steten Wandel unterworfen.

Zeit ist ein vielschichtiger Begriff. Wir haben ein intuitives Verständnis dafür, erfahren Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft und damit eine unumkehrbare Zeitrichtung, ganz fassen können wir die Zeit trotzdem nie. Auch in der Physik tut man sich mit der abstrakten Grösse Zeit schwer. Im Weltbild Newtons ist die Zeit eine absolute Grösse. Uhren laufen überall im Universum gleich, unabhängig von ihrem Ort oder ihrer Bewegung. Seit Einstein wissen wir, dass auch die Zeit relativ ist. Wie schnell eine Uhr läuft, hängt unter anderem von der Geschwindigkeit des Beobachters und vom umgebenden Schwerefeld ab. Im täglichen Leben spielen die damit verbundenen Effekte kaum eine Rolle und deshalb sind viele Konsequenzen der Einstein'schen Relativitätstheorie intuitiv nicht erfassbar. Es gibt aber durchaus Bereiche wie die Teilchenphysik, wo die relativistischen Effekte bedeutend sind und auch routinemässig genutzt werden. Aber selbst in der Relativitätstheorie gibt es wie in den meisten anderen physikalischen Theorien keine bevorzugte Zeitrichtung. Die Thermodynamik enthält mit dem Entropiebegriff erste Ansätze zur Deutung der Irreversibilität des zeitlichen Ablaufs von Ereignissen. Erst in den neusten physikalischen Theorien, mit deren Hilfe die Forscher Näheres zum Ursprung und der Entwicklung des Universums erfahren wollen, ist eine Asymmetrie in der Zeitrichtung explizit eingebaut.

Zeitlabor am METAS: Mit seinen Atomuhren trägt METAS zur Weltzeitskala bei.

Neben den grundsätzlichen Fragen über das Wesen der Zeit ist das Messen der Zeit eine vergleichsweise einfache Sache. Auf die Entwicklung der Einheiten und der Skalen in der Zeitmessung im Verlauf der letzten 200 Jahre soll in den nächsten Abschnitten näher eingegangen werden.

** Voir résumé en français à la fin de l'article.*

Zeiteinheit und Zeitskalen

Der Begriff «Zeit» wird häufig auch in den exakten Wissenschaften unterschiedlich belegt. Zum einen kann er im Sinn eines Datums, das heisst als bezeichneter Punkt auf einer gedachten Zeitachse, verwendet werden. Die Spezialisten sprechen in diesem Fall von der Epoche. Man versteht darunter aber auch die Länge eines Zeitintervalls oder – gleichbedeutend – die Dauer zwischen zwei Ereignissen. Die beiden verschiedenen Konzepte werden oft vermischt, was zu Missverständnissen führen kann.

Zur Beschreibung von physikalischen Sachverhalten muss die Zeit quantifiziert und damit der Begriff des Zeitintervalls eingeführt werden. Für die Messung von Zeitintervallen braucht es eine Einheit, die im Internationalen Einheitensystem (SI) Sekunde (s) genannt wird.

Ein Konzept, mit dem einzelnen Ereignissen Daten (Epochen) zugeordnet werden können, wird «Zeitskala» genannt. Bei der Bildung einer Zeitskala werden die Intervalle ab einem festgelegten Anfangspunkt weg aufsummiert. Von einem Kalender spricht man, wenn zusätzlich Regeln für die Nummerierung der Epochen auf der Zeitskala gelten.

Damit zwei Beobachter einer bestimmten Epoche denselben Wert zuweisen, muss also der Anfangszeitpunkt und das Mass der Zeitskala bei beiden übereinstimmen. Noch 1894 wurden in der Schweiz heftige Diskussion über Kalenderfragen geführt [1], was belegt, dass diese Bedingungen nicht ohne weiteres erfüllt sind.

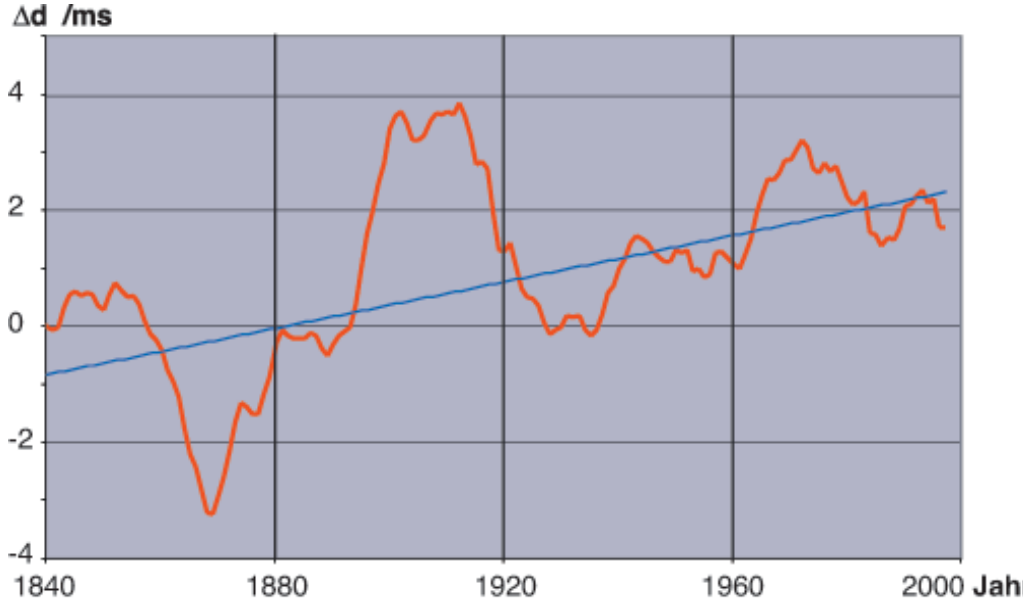
Astronomische Zeitskalen (UT, UT1, UT2)

Die scheinbare Bewegung der Sonne am Himmel und der Wechsel von Tag und Nacht werden seit der Frühgeschichte der Menschheit für die Zeitbestimmung genutzt. Das Zählen der Tage, Monate und Jahre – ausgehend von einem willkürlich festgelegten

Sonnenuhr an der Kyburg (ZH). Seit alters her wird der scheinbare Gang der Sonne am Himmel für die Zeitmessung genutzt.

Startpunkt – bildet eine natürliche Zeitskala. Das zu Grunde liegende Skalenmass ist der wahre Sonnentag, dessen Dauer durch die tägliche Beobachtung des Sonnenhöchststandes an einem fixen Standort bestimmt wird. Wegen der Neigung der Erdrotationsachse zur Bahnebene und der Elliptizität der Erdbahn ist die Länge des Tages nicht konstant, sie weicht im Verlauf des Jahres bis zu ±30 s von der mittleren Tageslänge ab. Die über ein Jahr gemittelte Tageslänge wird mittlerer Sonnentag genannt, sie bildet das Skalenmass der Weltzeit UT (Universal Time). Die Skala ist auf den durch das Observatorium in Greenwich verlaufenden Nullmeridian bezogen und wird auch Greenwich Mean Time (GMT) genannt. Der Tag ist in 24 Stunden zu je 60 Minuten zu je 60 Sekunden aufgeteilt. Vor 1956 war die Sekunde entsprechend als der 86400. Teil des mittleren Sonnentages definiert. Im SI wurde diese Definition jedoch nie verbindlich festgelegt. Die Bestimmung des mittleren Sonnentages überliess man den Astronomen. In vielen Ländern basierte die gesetzliche Zeit auf der Weltzeit UT. Die lokale Zeit ergab sich aus UT durch Zuziehen oder Abziehen einer, je nach geographischer Lage des Landes, Anzahl ganzer Stunden.

Mit den Fortschritten in der Zeitmessung als

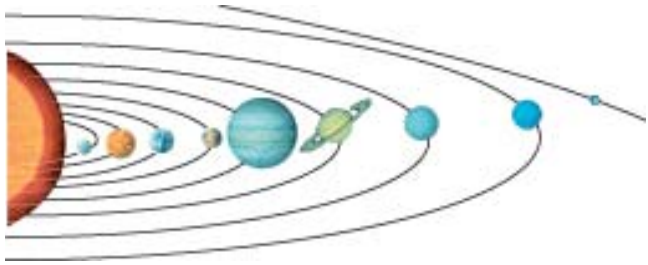


Langzeitige Schwankungen des mittleren Sonnentags. Die eingezeichnete Gerade stellt die geschätzte Zunahme der Tageslänge wegen der durch die Gezeitenreibung verursachten Abbremsung der Erdrotation dar.

Folge der Entwicklung von mechanischen Uhren wurde bald klar, dass UT nicht überall auf der Erde gleich ist. Der Grund ist eine periodische Verlagerung der Rotationsachse innerhalb des Erdkörpers. Der Durchstosspunkt der Achse beschreibt Spiralbahnen auf der Erdoberfläche auf einer Fläche von ca. 15×15 m^2. Die dadurch verursachten ortsabhängigen Fehler sind in der Weltzeitskala UT1 korrigiert. Diese gegenüber UT viel gleichmässigere Zeitskala wurde 1956 eingeführt und ist noch heute in Gebrauch. UT1 ist wegen ihrer Beziehung zum Drehwinkel der Erde die Skala der Navigatoren.

Um 1930 war die Technik der Quarzuhren so weit fortgeschritten, dass erstmals Unregelmässigkeiten in der Erdrotationsfrequenz festgestellt wurden. Die Schwankungen weisen Perioden von einem halben und einem Jahr auf und sind auf Änderungen des Trägheitsmomentes der Erde zurückzuführen. Die relativen Schwankungen des mittleren Sonnentages betragen ca. 10^{-8}. Auch diese Unregelmässigkeiten können korrigiert werden und die Folge ist eine nochmals verbesserte Zeitskala UT2. Diese ist jedoch für die Astronomen und Navigatoren nicht von besonderer Bedeutung, weil sie nicht die wirklichen, periodischen Schwankungen der Winkelposition der Erde wiederspiegelt.

Nebst den bereits erwähnten Effekten gibt es eine Reihe von weiteren Störungen (Präzession der Erdachse, Einfluss der Planetenkonstellation usw.), die Unregelmässigkeiten in der Rotationsfrequenz der Erde verursachen. Zusätzlich verlangsamt sich die Erdrotation wegen der Gezeitenreibung kontinuierlich. Untersuchungen der Jahresringe an Fossilien haben gezeigt, dass ein Jahr vor 400 Millionen Jahren ca. 400 Tage lang war. Die Rotationsfrequenz nimmt also mit ca. 2×10^{-10} pro Jahr ab (siehe auch das Diagramm auf dieser Seite). Dies bedeutet, dass eine auf der Erddrehung basierende Zeitskala und eine ideale Zeitskala in 100 Jahren um ungefähr 30 s auseinander laufen.



Tabellen, in denen erwartete Positionen der Sonne, des Mondes und einiger Planeten aufgezeichnet sind, werden Ephemeriden genannt.

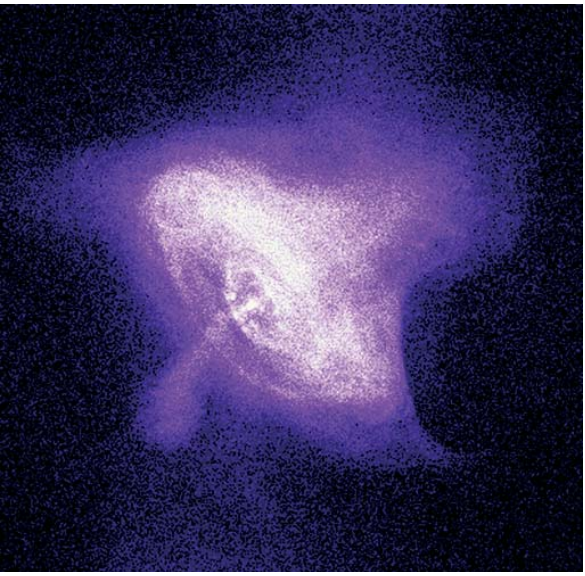
Ephemeridenzeit (ET)

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts berechnete Simon Newcombe auf der Basis von astronomischen Beobachtungen und der Newton' schen Mechanik Tabellen mit den erwarteten Positionen der Sonne, des Mondes und einiger Planeten für die Zukunft. Tabellen dieser Art werden Ephemeriden genannt. Die Astronomen stellten nun allmählich Unterschiede zwischen den vorausberechneten und tatsächlichen Positionen fest, die nicht mit Messfehlern oder den Annäherungen in den Berechnungen erklärt werden konnten. Der Grund war, wie schliesslich die Messungen mit den neu entwickelten Quarzuhren zeigten, falsche Zeitmessungen als Folge der unregelmässigen Erdrotation. Die natürliche Reaktion auf diese Entdeckung war es, den Ephemeridentabellen zu vertrauen und diese für die Zeitbestimmung heranzuziehen. In diesem Konzept, Ephemeridenzeit ET genannt, ist der Umlauf der Erde um die Sonne der periodische Vorgang, der für die Definition der Zeiteinheit genutzt wird. Auf Vorschlag der Astronomen definierte 1956 das Internationale Komitee für Mass und Gewicht die SI-Sekunde als einen bestimmten Bruchteil des tropischen Jahrs. Das tropische Jahr ist die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der mittleren Sonne durch den mittleren Frühlingspunkt (Tag-Nacht-Gleiche). Die Umsetzung dieser Definition in die Praxis gestaltete sich als schwierig und das Konzept der Ephemeridensekunde wurde in der Folge recht schnell wieder fallen gelassen.

Atomzeit (TAI)

Alle bisher genannten Definitionen der Sekunde hängen von den Bewegungen der Erde ab. Wie wir gesehen haben, birgt dieser Ansatz eine Reihe von Problemen in sich. Schon 1870 erkannte der Physiker James Maxwell, dass makroskopische Körper nur schlecht für die Definition von Masseinheiten geeignet sind. Vor der British Association for the Advancement of Science stellte er die bekannte Forderung auf [2]: « If then, we wish to obtain standards of length, time and mass which shall be absolutely permanent, we must seek them not in the dimensions, the motion or the mass of our planet, but in the wave length, the period of vibration, and the absolute mass of these imperishable and unalterable and perfectly similar molecules. » Die Metrologen haben dieses Anliegen sehr ernst genommen und in vielen Gebieten, so auch in der Zeitmessung, umgesetzt.

Gegen 1950 wurden die ersten Atomuhren erfolgreich in Betrieb genommen. In Atomen, den « unteilbaren und unveränderlichen Molekülen » Maxwell's, können verschiedene quantisierte Zustände der Elektronen auftreten. Strahlung mit einer bestimmten Frequenz wird beim Übergang von einem Zustand zum anderen abgestrahlt. Umgekehrt kann eine Zustandsänderung in einem Atom auch von aussen angeregt werden, wenn das Atom mit der exakt zum gewählten Übergang passenden elektromagnetischen Strahlung bestrahlt wird. Diesen Mechanismus macht man sich in einer Atomuhr zu Nutze, indem ein Oszillator (z.B. ein Quarz) über einen Re-



Teleskopaufnahme eines Pulsars. Pulsare sind schnell rotierende Neutronensterne (Frequenz: 1 ms bis 1000 s). Die auf der Erde im Rhythmus der Rotationsfrequenz empfangene Radiostrahlung von Pulsaren könnte als Basis für ein Zeitnormal dienen.

gelkreis genau mit der Übergangsfrequenz eines ausgewählten Übergangs im Atom abgestimmt wird. Erste Zeitskalen auf der Basis von Atomuhren wurden in den 50er-Jahren realisiert. Ein Übergang im Caesium-Atom mit einer Frequenz im GHz-Bereich erwies sich als besonders günstig für die praktische Nutzung, so dass schliesslich dieser Übergang als Basis für eine neue Sekundendefinition gewählt wurde. Zunächst galt es, die Frequenz der ausgewählten Strahlung mit der Ephemeridensekunde als Einheit zu bestimmen. Die relative Unsicherheit wurde mit 2×10^{-9} angegeben, was – wie wir heute wissen – etwas optimistisch war. Die 13. Generalkonferenz für Mass und Gewicht führte 1967 als neue Sekundendefinition im SI ein:

«Die Sekunde ist das 9192 631 770- fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.»

Die SI-Sekunde dient als Skalenmass für die Atomzeitskala (Temps Atomique International: TAI). Zu Beginn wurde diese vom Bureau International de l'Heure in Paris unterhalten und verbreitet. Heute wird TAI vom Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) aus den Daten von über 250 Caesium-Uhren ermittelt. Die Uhren befinden sich in ca. 50 über die Welt verteilten Zeitlaboratorien und ihr Stand wird mit Hilfe von Satelliten ständig miteinander verglichen [3]. METAS trägt mit fünf Uhren zu TAI bei. Das BIPM schätzt, dass TAI gegenüber einer als ideal angenommenen Uhr nicht mehr als 0.1 μs pro Jahr vorauseilt oder nachgeht.

Ist TAI gut genug?

Genaue Zeitintervalle und Zeitskalen sind in zwei unterschiedlichen Bereichen von grosser Bedeutung: Im Internationalen Einheitensystem mit seiner Anwendung in Wissenschaft und Technik und im Bereich der klassischen Navigation und der Astronomie. Im SI wird eine Sekundendefinition angestrebt, die eine möglichst genaue, zeitlich konstante Realisierung der Einheit und darauf aufbauend eine gleichmässige Zeitskala ermöglicht. Sollte auf Grund des technischen Fortschritts eine Neudefinition notwendig werden, so muss die neue Einheit innerhalb der aktuellen Messunsicherheit mit der alten übereinstimmen. In der Navigation und Astronomie hingegen ist die exakte Position der Erde von herausragender Bedeutung, die Sekundendauer ist sekundär.

Weil die Erdbewegungen unregelmässig sind und sich nicht genau genug vorausberechnen lassen, sind die Anforderungen der beiden Anwender-Kategorien nicht im Einklang. Es braucht deshalb zusätzlich zu TAI eine Zeitskala, die von der Stabilität und Genauigkeit der atomar definierten Sekunde profitiert und gleichzeitig mit der astronomischen Zeitskala UT1 synchronisiert bleibt. Diese Forderung – wenn auch nicht auf dem-

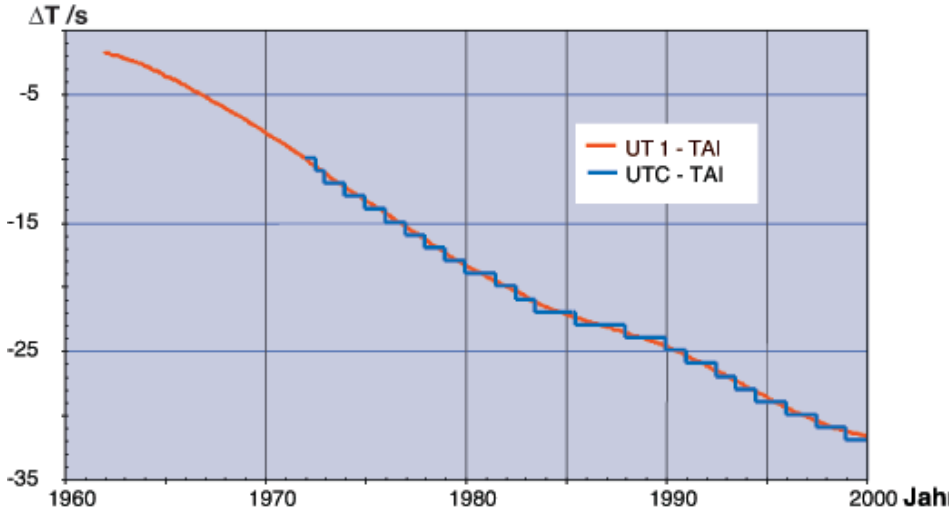
selben Genauigkeitsniveau – besteht natürlich auch für die Zeitmessung im Alltag. Es wäre eher unpraktisch, wenn unsere Uhren nicht mehr im Takt mit der Sonne laufen würden. Eine Kompromiss-Lösung wurde mit der Einführung der so genannten koordinierten Weltzeit (Universal Time Coordinated, UTC) gefunden. Von 1960 bis 1970 wurde die Synchronisation der durch Atomuhren gesteuerten Skala UTC durch eine Anpassung des zugrunde liegenden Zeitintervalls erreicht. Da die Rotationsperiode der Erde nicht exakt vorausberechnet werden kann, waren regelmässige (jährliche) Gangänderungen oder Uhrennachführungen notwendig, um die gewünschte Übereinstimmung mit UT1 zu erreichen. Wichtig zu bemerken ist, dass damit die Sekunde von UTC zwar in bekannter Beziehung zur SI-Sekunde stand, aber nicht mit ihr übereinstimmte.

Seit 1972 basiert UTC auf der atomar definierten Sekunde wie TAI. Das Einfügen oder Weglassen von Schaltsekunden soll gewährleisten, dass der Unterschied zwischen UTC und UT1 genügend klein bleibt. Für die Verknüpfung der Zeitskalen werden folgende Forderungen gestellt:

(1) UTC = TAI – n Sekunden
(n ganzzahlig),
(2) |UTC – UT1| < 0.9 s

Die Zahl n kann positiv, negativ oder null sein. Da die zwei Zeitskalen UTC und UT1 auf ganz verschiedenen Definitionen beruhen, bleibt ihre Differenz nicht konstant. UTC muss daher so gesteuert werden, dass die Bedingung (2) immer erfüllt wird. Um dies zu erreichen, wird von Zeit zu Zeit entweder eine Sekunde eingeschaltet oder weggelassen, d. h. n in Schritten von ±1 angepasst. In den letzten Jahren wurde n ca. alle anderthalb Jahre am 1. Januar 0 h UTC oder am 1. Juli 0 h UTC um +1 geändert und hat bis heute den Wert n = +33 erreicht. Die nächste Änderung geschieht frühestens am 1. Januar 2009. Der International Earth Rotation Service in Paris (IERS, www.iers.org) überwacht die Entwicklung von UTC – UT1 und entscheidet, wann UTC um eine Sekunde korrigiert wird.

Seit der Neudefinition von UTC (1972) wurde die Differenz zwischen UTC und TAI gemäss den Angaben in Tabelle auf Seite 57 angepasst. Nimmt n zu, so wurde eine Sekunde eingeschaltet, d. h. die letzte Minute des Vortages war um eine Sekunde länger.



Verlauf der Weltzeit UT1 gegenüber der Atomzeit TAI und der koordinierten Weltzeit UTC. UTC basiert auf TAI und wird seit 1972 mit Hilfe von Schaltsekunden mit UT1 synchronisiert.

Datum	*n*	Datum	*n*
1. Jan 1972	+10 (Startwert)	1. Juli 1983	+22
1. Juli 1972	+11	1. Juli 1985	+23
1. Jan 1973	+12	1. Jan 1988	+24
1. Jan 1974	+13	1. Jan 1990	+25
1. Jan 1975	+14	1. Jan 1991	+26
1. Jan 1976	+15	1. Juli 1992	+27
1. Jan 1977	+16	1. Juli 1993	+28
1. Jan 1978	+17	1. Juli 1994	+29
1. Jan 1979	+18	1. Jan 1996	+30
1. Jan 1980	+19	1. Juli 1997	+31
1. Juli 1981	+20	1. Jan 1999	+32
1. Juli 1982	+21	1. Jan 2006	+33

Anpassungen von UTC durch Schaltsekunden.

Der Anfangswert von $n = 10$ am 1.1.1972 bedeutet nicht eine abrupte Änderung von UTC an diesem Tag um 10 s. Es handelt sich vielmehr um den Startoffset, der einen kontinuierlichen Übergang von der alten UTC-Skala zur neuen erlaubte.

Im Diagramm auf Seite 56 sind die Unterschiede von UT1 und UTC zu TAI aufgezeichnet. Die Differenz zwischen Atom- und astronomischer Skala nimmt stetig zu. Im Mittel ist die Weltzeitsekunde (UT1-Skala) um 2.2×10^{-8} s länger als die SI-Sekunde (TAI-Skala). Dieser Unterschied zeigt, dass der tatsächliche Fehler bei der Messung des Cs-Übergangs in Ephemeridensekunden etwa 10-mal grösser war als die damals angegebene Messunsicherheit. Es wird häufig angeregt, dass die Schaltsekunden nach einer Korrektur der Sekundendauer nicht mehr notwendig wären. Wie aber eine genauere Analyse der Daten zeigt, schwankt die Differenz UT1 – TAI selbst nach der Korrektur des mittleren Frequenzoffsets immer noch um mehr als eine Sekunde um einen mittleren Wert. Eine zunehmende Verlängerung der Weltzeitsekunde und damit ein weiteres Auseinanderdriften von UT1 und TAI ist auch wegen der Verlangsamung der Erdrotation zu erwarten.

Die Rolle des METAS

Die 15. Generalkonferenz für Mass und Gewicht (1975) empfiehlt die koordinierte Weltzeit als Basis für die gesetzlich gültige Zeit in den Mitgliedstaaten der Meterkonvention. In der Schweiz wurde ein allgemein gültiges Zeitgesetz zum ersten Mal 1980 eingeführt. Da in der Bundesverfassung von 1848 dem Bund die Vereinheitlichung der Zeit nicht übertragen wurde, war die Regelung bis zu diesem Zeitpunkt den Kantonen vorbehalten. Das Zeitgesetz von 1980 hält fest, dass in der Schweiz die mitteleuropäische Zeit (MEZ) gilt. MEZ wiederum ist die Weltzeit UTC plus eine Stunde. Im Sommer kann nach separater Regelung die Sommerzeit (MESZ) eingeführt werden. Sie ist definiert als die Weltzeit UTC plus zwei Stunden.

Als nationales Metrologieinstitut ist METAS für die Verbreitung der Zeit in der Schweiz verantwortlich. Es tut dies über verschiedene Kanäle (Langwellensender, Internet-Zeitserver, Telefonverbindungen); für detaillierte Angaben sei auf die Internetseiten des Labors für Zeit und Frequenz verwiesen (www.official-time.ch). METAS trägt mit seiner Grundlagenarbeit auf dem Gebiet der Zeit und Frequenz und mit seinen Atomuhren zum Fortschritt und der ständigen Verfügbarkeit der Weltzeitskala bei [3-5]. UTC ist das Gemeinschaftswerk vieler Metrologieinstitute. Die Skala steht weltweit über verschiedenste Kanäle für alle interessierten Kreise kostenlos zur Verfügung und ist ein Beispiel für eine gut funktionierende internationale Zusammenarbeit über alle politischen Grenzen hinweg.

Referenzen

[1] Jakob Messerli, *Die Entstehung einer Einheitszeit: Zeitnormen im 19. Jahrhundert in der Schweiz*, OFMETInfo, Vol. 4, 2/1997, S. 3-7.

[2] James Clerk Maxwell, Report Brit. Association Adv. Science XL, Math. Phys. Sec., pp. 215-219, 1870.

[3] Gregor Dudle, Frédéric Overney und Thomas Schildknecht, *Neue Massstäbe im interkontinentalen Uhrenvergleich*, OFMETInfo, Vol. 6, 3/1999, S. 8-14.

[4] Leon Prost und Ulrich Feller, *Grundlagen der Zeitmessung – Aufgaben des EAM-Zeitlabors*, OFMETInfo, Vol. 2, 3/1995, S. 3-6.
[5] P. Thomann, *Vers une horloge primaire à atomes froids*, OFMETInfo, Vol. 4, 3/1997, S. 5-6.

Beat Jeckelmann, Dr. rer. nat.,
Sektionschef Elektrizität
Direktwahl +41 31 32 33 297
beat.jeckelmann@metas.ch

Le temps dans le Système international d'unités

Depuis les temps immémoriaux, la perception subjective du temps, aussi bien que sa mesure, ont été associées à l'alternance du jour et de la nuit, aux phases de la lune et à l'alternance des saisons. La rotation de la terre a été utilisée comme base de définition de la seconde jusqu'au milieu du XX^e siècle. Les progrès de la mesure du temps au moyen d'horloges ont permis de détecter, dès les années 1930, des irrégularités dans la périodicité de la rotation de la terre sur elle-même et autour du soleil. La définition de la seconde en termes de périodicité de la rotation de la terre finit par ne plus satisfaire aux exigences métrologiques de l'époque. En 1967, l'unité de temps du Système international d'unités, la seconde, fut redéfinie sur la base de la transition hyperfine de l'atome de césium. A partir de cette nouvelle définition, réalisée par les horloges atomiques à jet de césium, les laboratoires temps et fréquence des différents laboratoires nationaux se sont associés pour réaliser en commun l'échelle de temps atomique internationale TAI et le temps universel coordonné UTC. Le temps universel coordonné est basé sur la seconde TAI tout en restant synchronisée avec le temps astronomique par l'addition sporadique de secondes intercalaires. Les secondes intercalaires ont pour fonction le maintien de l'harmonie entre le temps des horloges et celui de la rotation de la terre.

Chronomètre de marine à remontage électrique Dubois

Michel Viredaz

J'aimerais montrer aujourd'hui une pièce intéressante et probablement unique, ayant passé par l'Ecole d'horlogerie de Neuchâtel. Faut-il l'appeler pour autant « pièce école », la question reste ouverte.

Il s'agit d'un chronomètre de « marine » (on verra plus loin pourquoi des guillemets) d'allure extérieure classique, signé sur le cadran « Ls. Dubois Neuchâtel, remontage électrique » et sous le cadran « T.M. 12571 » pour Thomas Mercer London & St Albans. Le même numéro se trouve aussi sur le cercle d'emboîtage. On trouve encore la date « 1923 » sur le pont de balancier et la mention « E....Neuchâtel » sur une platine coupée après gravure pour installer le remontage électrique. De toute évidence, comme on peut le voir sur un chronomètre frère resté mécanique (voir la photo ci-dessous) : « Ecole d'horlogerie Neuchâtel ».

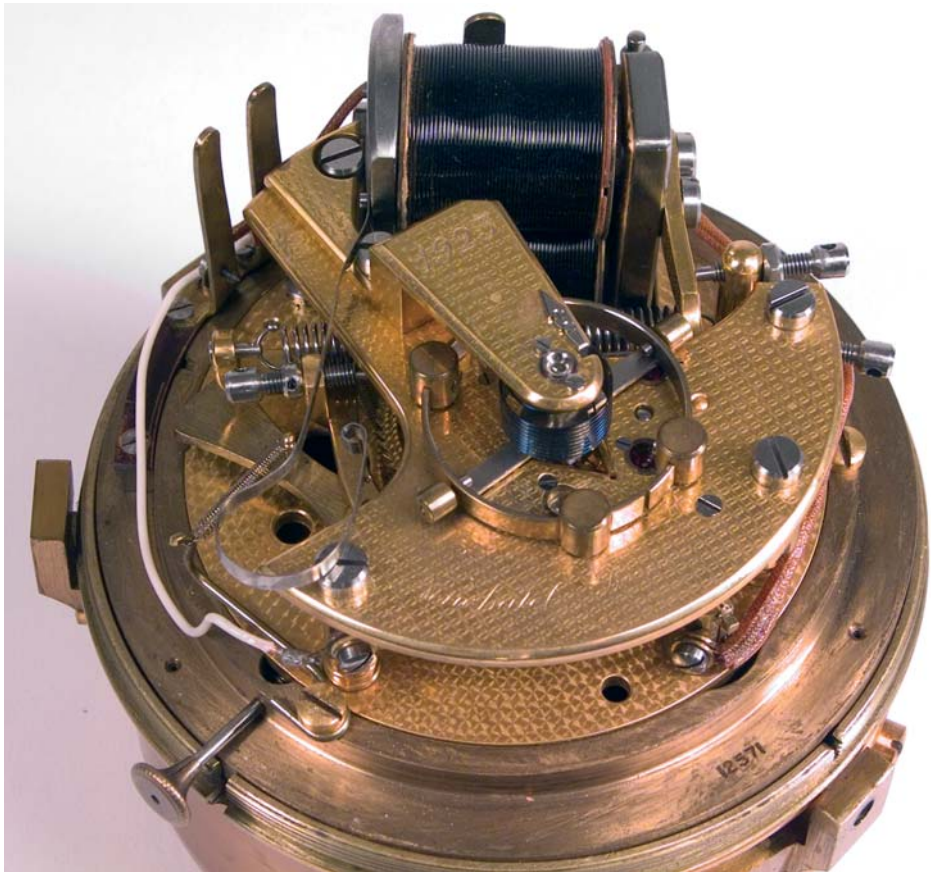
A part le remontage électrique, qu'on étudiera plus loin, on observe quelques éléments remarquables :

– un poussoir latéral de mise à l'heure, et l'absence de clé pour la mise à l'heure par l'axe central, pourtant carré comme usuellement ; ce rajout est malheureusement trop faible pour être fonctionnel, les dents du pignon, nécessairement trop fines, sont condamnées à se casser à l'usage ;
– un échappement à détente avec balancier Guillaume typique de l'école, et jamais utilisé par Mercer ;
– une finition soignée avec platine supérieure et pont de balancier biseautés, ce qui n'est pas usuel sur un chronomètre de marine.

Que peut-on en conclure ? Certainement qu'il s'agit d'une ébauche Mercer achetée par l'école de Neuchâtel, où l'on a terminé ou modifié l'échappement et peut-être d'autres éléments. Ce chronomètre a ensuite passé entre les mains de Dubois, qui a retiré la fu-

sée et le barillet, puis découpé la platine supérieure pour y installer un remontage électrique inspiré de David Perret. Il a également refait le cadran à son nom, surtout parce qu'il ne fallait plus le cercle de réserve de marche sous le 12. Cette deuxième transformation a-t-elle impliqué l'école ? On en est réduit à des suppositions. Le numéro Mercer 12571 correspond à une fabrication de 1922. La date de transformation de 1923 est donc parfaitement plausible.

Quant au remontage électrique, nous avons déjà dit qu'il est inspiré, pour ne pas dire copié, de David Perret. Rien de neuf à ce moment. En 1923, David Perret était déjà mort depuis quinze ans ! Le système comprend un électro-aimant à une bobine (6 Volts) et armature oscillante. Celle-ci, lorsqu'elle est attirée, tend par l'intermédiaire d'une tige et de leviers un ressort à boudin, dont l'action s'exerce alors sur une dent d'une roue à rochet de 60 dents fixées sur l'axe des minutes. Un système de contact, dans le détail duquel nous n'entrerons pas, assure le remontage ponctuellement chaque minute. On trouve là l'explication des guillemets que nous avons mis à « marine » plus haut. Quel fou partirait en mer avec un chronomètre n'ayant qu'une



seule minute de réserve de marche en cas d'interruption de courant ? Il est évident que Dubois a voulu faire un exercice de style et fabriquer un chronomètre décoratif de bureau. Le poussoir externe de mise à l'heure (pour éviter de dévisser la lunette) est un autre indice de cette volonté. Le contact de remontage est par ailleurs dérivé dans une troisième borne, qui aurait permis d'actionner une horloge secondaire à impulsions minute non polarisées. La vis de contact n'a visiblement jamais été desserrée et il est donc évident que cette fonction n'a jamais été mise en service.

Quelques mots de Dubois maintenant. Selon *The Ships Chronometer, Marvin Whitney* (pages 106-107), Louis Dubois a appris son métier à l'Ecole d'horlogerie du Locle. Ensuite, il se spécialisa dans les montres compliquées, puis retourna semble-t-il à son école comme enseignant. Nous n'avons pas pu confirmer ces faits. En 1931, il émigre aux USA et travaille pour Herschede et Telechron à des horloges synchrones à sonnerie. Puis il rejoint la Hamilton Watch Company, où il sera en charge de la fabrication des détentes pour les fameux chronomètres de marine de cette entreprise. Après la guerre, en 1946, il devient enseignant puis doyen de l'American Academy of Horology, Denver, Colorado. Il mourra tragiquement en octobre 1949, en tombant dans une cage d'ascenseur alors qu'il s'était rendu à son école un dimanche pour contrôler ses chers chronomètres.

© Deutsches Uhrenmuseum Furtwangen.

Das Uhrwerk der astronomisch-geografischen Uhr von Thaddäus Rinderle

Versuch einer gedanklichen Rekonstruktion

Hermann-Michael Hahn

Schon bald nach der Erfindung mechanischer Uhrwerke im 14. Jahrhundert machten Uhrmacher die himmlischen Abläufe zum Gegenstand ihrer Kunst. Jahrtausendelang hatten die himmlischen Bewegungen (und hier vor allem der tägliche scheinbare Umschwung der Fixsternsphäre) die Zeitbestimmung geprägt, doch nun konnten die Uhrmacher die Verhältnisse umkehren und mit ihren Uhren die himmlischen Abläufe nachahmen. Da sie damit zugleich auch den himmlischen «Schöpfungsplan» modellierten, waren nicht selten Kirchen die Auftraggeber solcher astronomischen Uhren. Die älteste erhaltene und noch funktionierende Grossuhr dieser Art ist in der St. Marienkirche in Rostock zu finden; sie wurde 1379/80 gebaut, rund 90 Jahre später erneuert und zeigt neben der Uhrzeit den Stand der Sonne auf der Ekliptik (und damit das Datum), den Stand des Mondes und seine Phase sowie den Wochentag an und benennt auf einer zusätzlichen, zwischenzeitlich mehrfach aktualisierten Kalenderscheibe die Ostertermine bis zum Jahre 2017. Aber auch weltliche Herrscher waren an solchen Symbolen der Macht interessiert, wie manche Rathäuser und Kunstkabinette noch heute belegen. Das wohl bekannteste, wenn auch nur noch als Nachbau «erhaltene» Beispiel ist das Astrarium von Giovanni de' Dondi, das dieser zwischen 1348 und 1364 in Padua baute und in seinem «Tractatus Astrarii» 1389 ausführlich beschrieb.

Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht wirklich, dass das nachweislich erste käuflich erworbene Ausstellungsstück im Deutschen Uhrenmuseum in Furtwangen eine astronomisch-geographische Uhr ist, die 1787 von dem aus Stauffen stammenden Benediktinerpater Thaddäus Rinderle konstruiert und gefertigt wurde (Abb. 1). 2007 erschien in einer neuen Folge der Furtwanger Beiträge zur Uhrengeschichte (Band 1) eine Schrift von Johann Wenzel, der diese Uhr 1980 zerlegt und dokumentiert hatte. Diese Dokumentation, die der gegenwärtige Direktor des Deutschen Uhrenmuseums, Professor Eduard Saluz, 2006 während eines Besuches bei Johann Wenzel entdeckte, bildet den Hauptteil der Schrift. Johann Wenzel schreibt dort einleitend «Tatsächlich ist wohl kaum eine astronomische Uhr zu finden, deren Getriebe so klar und einfach aufgebaut wäre; und dabei sind die Annäherungen an die Verhältnisse der verschiedenen Umlaufzeiten vorzüglich.» [1]

Wenzel beschliesst seine ausführliche Beschreibung mit einer kurzen Betrachtung zur Getriebe-Berechnung: «Nach der beachtlichen Zahl der verschiedenen aufgebauten astronomischen Getriebe zu urteilen, muss es eine Art Mode-Denksport gewesen sein, verschiedene Übersetzungsverhältnisse auszuprobieren. Sicher gab es Methoden, welchen nachzugehen einer eigenen Untersuchung bedürfte. Es ist eine kleine Mühe, auch ohne Hilfsmittel mit den gegebenen Zähnezahlen die verschiedenen Umlaufzeiten auszurechnen. Diese Zahlen zu finden, erfordert gewiss einen sehr viel grösseren Rechenaufwand.» [2] Diese Schlussbemerkung veranlasste mich,

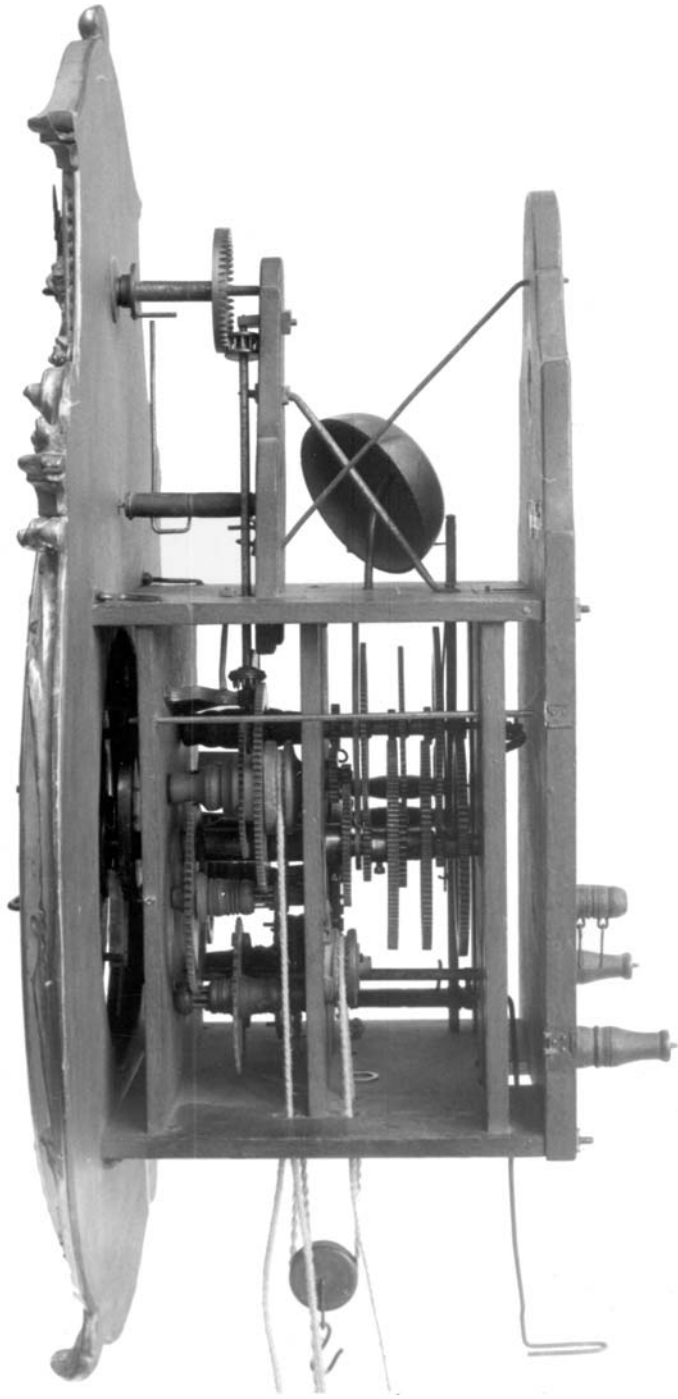
der ich im Sommer 2007 das Deutsche Uhrenmuseum wegen seiner astronomischen Uhren besuchte, zu eigenen Gedanken und Berechnungen. Schliesslich hatte ich mich während der letzten Jahre aufgrund meiner sonstigen Arbeit (vor allem im Zusammenhang mit der 2005 erschienenen Dokumentation über die astronomische Uhr des Festo Harmonices Mundi) recht intensiv mit astronomischen Getrieben befasst. Die Ergebnisse dieser Überlegungen möchte ich im Folgenden vorstellen und erläutern.

Zum besseren Verständnis meiner Ausführungen schicke ich eine kurze Beschreibung der Rinderle-Uhr voraus. Sie umfasst – neben einem separaten Minutenzeiger auf einem gesonderten Zifferblatt – eine drehbare Erdscheibe mit Zeiger für die Stunde, eine feststehende, durchsichtige Sternenscheibe, einen Mondzeiger, einen Sonnenring mit Zeiger für das Datum und Zifferblatt für die Stunde sowie mit exzentrischem Ring zur Darstellung der Mondphase, einen beweglichen Draht zur Anzeige der jahreszeitlich wechselnden Beleuchtungsgrenze auf der Erde (den « Lichtscheider »), einen Mondknotenzeiger sowie einen feststehenden Rand mit Kalenderangaben. Damit lassen sich folgende astronomisch-geografischen Details anzeigen:

- die wahre Ortszeit in 24-Stunden-Anzeige (die Einteilung der Erde in Zonenzeiten erfolgte erst rund 100 Jahre später),
- die Sonnenstellung in der Ekliptik, die direkt das aktuelle Datum wiedergibt,
- die Mondstellung in der Ekliptik,
- die Mondphase sowie
- die Lage der Mondknoten, die zusammen mit der Mondphase eine Aussage über mögliche Sonnen- bzw. Mondfinsternisse erlaubt; die feststehende Kalenderskala enthält darüber hinaus die Namen der unbeweglichen Festtage sowie der Tagesheiligen.

Da Thaddäus Rinderle mit seiner Uhr die wahre Ortszeit (Sonnenzeit) anzeigen wollte, konnte er nicht auf ein einfaches 24-Stunden-Uhrwerk zurückgreifen, das aus 3600 Sekunden eine Stunde macht und 24 Stunden zu einem Tag aufsummiert. Vielmehr musste er zum einen die ungleichförmige Bewegung der Erde um die Sonne und deren Auswirkung auf die Länge des Sonnentages (die Zeit zwischen zwei Mittagsstellungen der Sonne) berücksichtigen, die sich aus der Ellipsenform der Erdbahn ergibt, und zusätzlich den Einfluss der Schiefstellung der Erdachse. So sorgt die von Johannes Kepler erstmals erkannte und beschriebene elliptische Form der Erdbahn dafür, dass die Erde in Sonnennähe (im Winter) pro Tag ein kleines Stück weiter um die Sonne vorankommt und sich entsprechend ein entsprechend kleines Stück weiter drehen muss als im Sommer, ehe die Sonne wieder im Süden steht. Im Maximum dauert der Sonnentag dann etwa 24 Stunden und 8 Sekunden und damit rund 16 Sekunden länger als im Sommer, und dieser Betrag summiert sich innerhalb mehrerer Wochen zu mehr als 7,5 Minuten auf.

In ähnlicher Form beeinflusst die gegen den Erdäquator geneigte Bahn der Erde die Länge des Sonnentages, der dadurch in der Nähe der Sonnenwendtermine etwa 40 Sekunden länger als zu den beiden Tagundnacht-Gleichen ist. Beide Effekte werden zur so genannten Zeitgleichung zusammengefasst, die innerhalb eines Jahres insgesamt vier Extremwerte durchläuft, zwischen minus 14,2 Minuten Mitte Februar (die wahre Sonne geht gegenüber einer Uhr mit konstanter Tageslänge um 14,2 Minuten nach) und plus 16,35 Minuten Anfang November (die wahre Sonne geht gegenüber einer Uhr mit konstanter Tageslänge um 16,35 Minuten vor). Um diese periodischen Schwankungen der Tageslänge zu berücksichtigen, versah Rinderle das « Sonnenrad » in seinem Getriebe mit einer doppelt ungleichmässigen Teilung, die diese variable Tageslänge mit hinreichender Genauigkeit darzustellen vermochte.



© Deutsches Uhrenmuseum Furtwangen.

Die einzelnen Anzeigen der Uhr werden über ein stufenförmig aufgebautes Getriebe angesteuert, das seinen Antrieb vom Walzenrad der Uhr bezieht; dieses Walzenrad vollführt eine Umdrehung in zwei Stunden. Über zwei hintereinander geschaltete Zahnradpaare (73/61 und 100/10) werden daraus 23,93442623 Stunden oder 23 Stunden 56 Minuten und 3,93 Sekunden, was bis auf 0,156 Sekunden der so genannten siderischen Rotationsdauer der Erde (23 Stunden, 56 Minuten und 4,09 Sekunden) entspricht; in diesem Zeitraum dreht sich die Erde bezogen auf die Sterne einmal um ihre Achse, vollführt also eine vollständige 360°-Drehung. Zwei weitere Zahnradpaare (103/23 und 104/17) bremsen die Umlaufzeit des nächsten Zeigers auf 655,71757998 Stunden oder 27,3215658 Tage ab; gegenüber der damals bekannten tropischen Umlaufzeit des Mondes von 27,3215741 Tagen ergibt sich damit eine Differenz von lediglich 0,7 Sekunden, die der Mond nach einem Monat «vorgeht». Johann Wenzel nennt in seiner Schrift zwar eine Abweichung von rund 8 Sekunden, bezieht sich dabei aber fälschlicherweise auf die damals bekannte siderische Umlaufzeit des Mondes. Wenn die Uhr aber auf der Basis der tropischen Jahreslänge konzipiert ist (was sich aus der Beschreibung der Uhr durch Thaddäus Rinderle zweifelsfrei ergibt – und auch sinnvoll erscheint, weil Rinderle ja mit dem Jahreslauf der Sonne den Gregorianischen Kalender umsetzen wollte), muss statt des siderischen Monats auch der tropische Monat benutzt werden, der etwa 7 Sekunden kürzer als der siderische Monat ist[3]. Rinderle gibt die Länge dieses tropischen Monats in seiner Beschreibung der Uhr korrekt mit 27 Tagen, 7 Stunden, 43 Minuten und 5 Sekunden an. Dadurch verringert sich der Fehler der Monddarstellung gegenüber dem von Wenzel angegebenen Wert in der genannten Weise[4].

Die nächste Stufe bilden wiederum zwei Zahnradpaare (72/36 und 127/19), die den Zeitraum des tropischen Mondumlaufs auf 8765,9087016 Stunden oder 365,2461959 Tage dehnen; dies sind etwa 5 Minuten und 46,14 Sekunden länger als die Dauer des tropischen Jahres Mitte des 18. Jahrhunderts. Diese letztgenannte Stufe stellt die Zahl der tropischen Mondumläufe pro tropischem «Sonnenumlauf» dar, nämlich 13,3684211, woraus sich die Zahl der synodischen Monate (Umlaufzeit relativ zur bewegten Sonne) pro Jahr zu 13,3684211 – 1 ergibt und damit die Dauer einer Lunation (von Neumond bis Neumond) zu 29,5305435 Tagen oder 29 Tagen, 12 Stunden, 43 Minuten und 58,96 Sekunden; gegenüber dem damals bekannten Wert bedeutet dies eine Abweichung von lediglich 3,06 Sekunden!

In einer letzten Stufe wird die Dauer des Jahresumschwungs durch die drei Zahnradpaare 94/40, 24/20 und 66/10 noch einmal so gedehnt, dass eine Umdrehung des letzten Zeigers die «rückläufige» Bewegung des so genannten Mondknotens wiedergibt; dabei bedeutet rückläufig, dass die Bewegung entgegen dem Drehsinn von Sonne, Mond und Sternen erfolgt (weshalb ein drittes Zahnradpaar zur Umkehr der Drehrichtung benötigt wird). Dieser Mondknoten markiert den Schnittpunkt zwischen Ekliptik und Mondbahn, der sich aufgrund zahlreicher Störeinflüsse von Sonne, Planeten und der abgeplatteten Form der Erdkugel innerhalb von (damals bekannten) 6798,25 Tagen einmal durch die ganze Ekliptik verschiebt. (Die zur Zeit Rinderles genauesten und allgemein zugänglichen Daten waren nach Johann Wenzel zu finden in «Astronomisches Handbuch oder Sternkunde in einem kurzen Lehrbegriff verfasst von Herrn de la Lande. Leipzig 1775.»[5]) Der von Rinderle erreichte Näherungswert weicht mit 163151,0927430 Stunden oder 6797,9622 Tagen nur um knapp 7 Stunden oder 0,04 Promille vom Zielwert ab.

Angesichts dieser geringen Fehler (siehe Tabelle 1) erscheint das Staunen über die Fin-

Stufe	Sollwert [Tage]	Istwert [Tage]	relativer Fehler	Jahre bis 1°-Abweichung
Walzenrad		1/12		
Sternzeit	0,997269567	0,99726776	–1,8072E-06	4,18538164
Tropischer Monat	27,32157407	27,32156583	–8,2418E-06	688,821644
Tropisches Jahr	365,2422457	365,2461959	0,00395016	256,843484
Knotenumlauf	6798,285868	6797,962197	–0,32367064	1085,9038

Tabelle 1: Vergleich von Soll- und Istwerten der reziproken Drehzahlen (in Tagen) der Rinderle-Uhr nach Wenzel und Auflistung der relativen und absoluten Fehler.

digkeit des Konstrukteurs auf den ersten Blick berechtigt. Sie soll durch die anschliessende Betrachtung des Getriebes aus astronomischer Sicht auch nicht untergraben werden, denn auch die in den meisten Fällen erkennbare blosse Umsetzung der unmittelbaren «himmlischen Vorgaben» erfordert ein hohes Konstruktionsgeschick, das Beachtung verdient.

Die astronomische Erklärung der benutzten Getriebe-Stufen

Der Sterntag beschreibt die Dauer der Erdrotation relativ zu den Sternen. Er ist etwas kürzer als ein Sonnentag, weil sich die Erde im Laufe eines Jahres bezogen zu den Sternen einmal mehr dreht als relativ zur Sonne. Dieser – im Vergleich zum Sonnentag – etwas kürzere Sterntag sorgt dafür, dass die Sterne jeden Tag etwa vier Minuten früher aufgehen oder jeden Monat entsprechend etwa zwei Stunden früher; dies ist der Grund dafür, dass sich der Anblick des Sternhimmels im Laufe eines Jahres verändert und man zum Beispiel von typischen Winter- oder Sommersternbildern spricht. Nach einem Jahr summiert sich diese Abweichung zu 24 Stunden oder einer Umdrehung auf. Für das Getriebe zur Umwandlung der «Normalzeit» in die Sternzeit, mit der bei der Uhr die Erdscheibe gedreht wird, benutzt Rinderle die Getriebekombination 73/61 · 100/10, die sich mathematisch auch als 73 · 10/61 darstellen lässt. Da diese Kombination die 2-Stunden-Drehung des Walzenrades auf die Länge des Sterntages dehnt, also pro Sonnentag 12 Umdrehungen (statt einer) auf die Länge des Sterntages bringen muss, stellt sich der Umwandlungsfaktor korrekt als 73/61 · 10/12 dar oder – gekürzt – als 73/61 · 5/6. Ausmultipliziert ergibt sich daraus der Bruch 365/366 und damit das ganzzahlige Verhältnis von Sonnentagen zur Sterntagen pro Jahr. Mit anderen Worten steckt hinter dieser ersten Getriebestufe eine stark vereinfachte Näherung des gegebenen Zahlenverhältnisses, was auch zu einem vergleichsweise grossen Fehler führt: Er summiert sich bereits nach rund vier Jahren zu einer 1° -Abweichung auf.

Die Rekonstruktion der Mondstufe erweist sich im Vergleich dazu auf den ersten Blick als schwierig, denn weder die Näherungswerte für den von Wenzel genannten Wert von 27,32166 Tagen (beziehungsweise 27,39645 Sterntagen) noch die für den korrekten Wert des tropischen Monats (27,396378 Sterntage) führen zu einer sinnvollen Getriebedarstellung; Rinderle dürfte an dieser Stelle die Methode der Kettenbruchrechnung angesetzt haben, die im 17. Jahrhundert von Christiaan Huygens entwickelt wurde (vergl. Tabelle 2.a+b).

Vermutlich dürfte Thaddäus Rinderle aber bereits gewusst haben, dass «falsche Summen» von Näherungslösungen zu weiteren Lösungsmöglichkeiten führen: Addiert man zum Beispiel die beiden Näherungen 137/5

Näherungswerte für 27,39645	Kommentar
27/1 = 27	
55/2 = 27,5	
82/3 = 27,333333333333332	
137/5 = 27,4	ungeeignet – Fehler zu gross
1452/53 = 27,39622641509434	ungeeignet – Nenner als Primzahl nicht weiter zerlegbar
1589/58 = 27,396551724137932	7/2 · 227/29 – Zähnezahl zu gross
4630/169 = 27,39644970414201	463/13 · 10/13 – Zähnezahl zu gross

Tabelle 2a: Kettenbruch-Näherungen für den von Wenzel genannten (unpassenden) siderischen Monat samt möglicher Zerlegungen in Getriebe-Zahnräder.

Näherungswerte für 27,396378	Kommentar
27/1 = 27	
55/2 = 27,5	
82/3 = 27,333333333333332	
137/5 = 27,4	ungeeignet – Fehler zu gross
1452/53 = 27,39622641509434	ungeeignet – Nenner als Primzahl nicht weiter zerlegbar
3041/111 = 27,396396396396398	ungeeignet – Zähler als Primzahl nicht weiter zerlegbar
10575/386 = 27,39637305699482	ungeeignet – Zähnezahl im Nenner zu gross

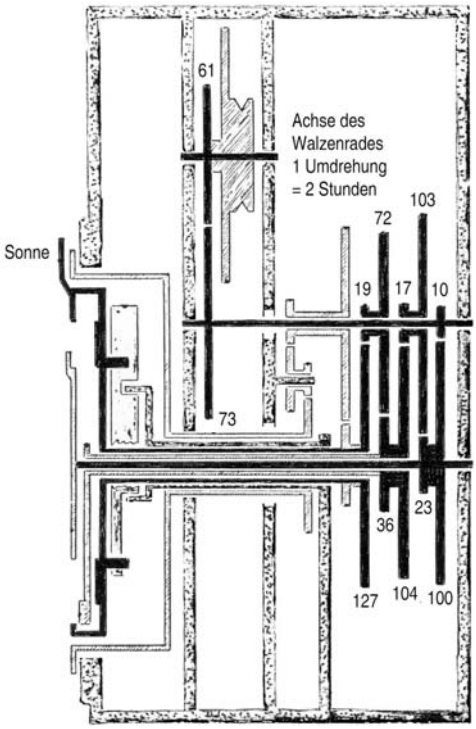
Tabelle 2b: Kettenbruch-Näherungen für die von Rinderle genannte Länge des tropischen Monats.

und 10575/386 dergestalt, dass einfach die beiden Zähler und Nenner unabhängig voneinander zusammengerechnet werden, so führt diese «falsche Summe» (137+10575)/(5+386)[6] zu dem Bruch 10712/391, der sich leicht in Primzahlfaktoren zerlegen lässt: 10712 erweist sich als Produkt 2 · 2 · 2 · 13 · 103 (oder 104 · 103), während 391 das Produkt 17 · 23 ist.

Mit dieser – vielleicht auf diesem Wege gefundenen – zweiten Getriebestufe konnte Thaddäus Rinderle die Länge des tropischen Monats aus der Länge des Sterntages darstellen und erhielt einen Wert, der mit 27,32157 Tagen um lediglich 0,7 Sekunden kürzer ausfiel als der damals bekannte Wert.

Für die Fortführung des tropischen Monats zum tropischen Jahr (der Zeit zwischen zwei Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt) greift Rinderle auf den seit dem Altertum bekannten Metonschen Zyklus zurück. Dieser besagt, dass die Mondphasen nach jeweils 19 Jahren wieder auf das gleiche Datum fallen. Der Metonsche Zyklus bildet auch die Grundlage für die Goldene Zahl, die im Julianischen Kalender für die Bestimmung des Ostertermins genutzt wurde: 19 tropische Jahre entsprechen annähernd 235 synodischen Monaten – und damit 235 + 19 = 254 tropischen Monaten. Die gewählte Zahnradkombination 72/36 · 127/19 ist die lediglich mit 36 erweiterte Form von 254/19; eine solche Erweiterung auf zwei Zahnradpaare war aus konstruktionstechnischen Gründen erforderlich.

Bei der Umlaufzeit des Mondknotens kam



© Deutsches Uhrenmuseum Furtwangen.

Thaddäus Rinderle die Natur gleichsam entgegen, denn die rückläufige Knotenwanderung nimmt annähernd 18,612 tropische Jahre (genau 18,6133… Jahre) in Anspruch. Das Tausendfache dieses Wertes, die Zahl 18612, lässt sich bequem in Primzahlfaktoren zerlegen: 18612 = 2 · 2 · 3 · 3 · 11 · 47), was für die Zahlen «nachbarn» (18610 bis 18614) ebenso wenig gilt wie für die Zahlen um 186133. So verwundert es nicht wirklich, dass die Dreierkombination 94 · 24 · 66/40 · 20 · 10 für die Darstellung der Mondknotenbewegung dem mit 8 erweiterten Zahlenverhältnis 18612/1000 entspricht.

Zumindest bei drei der vier erforderlichen Getriebe hat Thaddäus Rinderle sich also mit der direkten Umsetzung der astronomischen Zahlenverhältnisse begnügen können, da die damit erreichte Genauigkeit – bis auf die Darstellung der Sternzeit – für damalige Uhren bereits sehr gut war: So weicht der Mondzeiger erst nach fast 690 Jahren um 1 Grad von der «Sollstellung» (mittlerer Mond) ab, der Sonnenzeiger erst nach 256 Jahren und der Mondknotenzeiger sogar erst nach rund 1085 Jahren. Lediglich die sich unter der feststehenden Sternkarte drehende Erde bewegt sich etwas zu schnell, so dass sie bereits nach gut vier Jahren eine entsprechende Abweichung aufweist, die immerhin vier Zeitminuten entspricht.

Gäbe es wirklich «bessere» Getriebe?

Nachdem ich das Getriebe Rinderles – wie beschrieben – als vergleichsweise einfache Umsetzung ziemlich klarer astronomischer Vorgaben «entlarvt» hatte, stellte sich für mich die Frage, ob man (mit geeigneten Hilfsmitteln) auf rein mathematischem Wege «bessere» Getriebestufen hätte finden können, die den gleichen technischen Vorgaben Rinderles entsprachen (wozu scheinbar eine maximale Zähnezahl um 130 gehörte).

Wie Jendritzki und Hans Dittrich in ihrem Artikel über Sonnen- und Sternzeitgetriebe (Klassik Uhren, Heft 2, 1995, zitiert in «Numerische Methoden zur Berechnung "astronomischer" Übersetzungsverhältnisse» von Heinrich Pavel (erhältlich beim Kölner Uhrenkreis) anführen, scheint als einziges zweistufiges Getriebe die Zahnrad-Kombination 82/51 · 49/79 eine bessere Annäherung an den Sollwert zu bieten. Sie liefert für die Dauer eines Sterntages den Wert 23,934475 Stunden oder 23 Stunden 56 Minuten und 4,11 Sekunden, was gegenüber dem realen Sterntag um lediglich 0,02 Sekunden zu lang ist. Diese Abweichung ist fast achtmal kleiner als bei der von Rinderle gewählten Getriebestufe und führt entsprechend erst nach 33 Jahren zu einer 1°-Abweichung (vergl. Tabelle 4a); dafür lässt sich diese Stufe aber auch nicht so einfach an die 2-Stunden-Drehung des Walzenrades ankoppeln. Darüber hinaus würden die «Anschlussfehler» beim tropischen Monat und tropischen Jahr gegenüber

Stufe	Sollwert [Tage]	Istwert [Tage]	relativer Fehler	Jahre bis 1°-Abweichung
Walzenrad		2		
Sternzeit	0,997269567	0,997269794	2,2723E-07	33,2867343
Tropischer Monat	27,32157407	27,32162157	4,7494E-05	119,532734
Tropisches Jahr	365,2422457	365,246941	0,00469526	216,084748
Knotenumlauf	6798,285868	6797,976065	−0,30980277	1134,51503

Tabelle 4a: Genauigkeiten einer Rinderle-Uhr mit modifiziertem Sternzeit-Getriebe nach Pavel; ein genaueres Sternzeit-Getriebe wäre nur mit einem anderen Gesamtaufbau der Uhr möglich gewesen.

Stufe	Sollwert [Tage]	Istwert [Tage]	relativer Fehler	Jahre bis 1°-Abweichung
Walzenrad		2		
Sternzeit	0,997269567	0,997269303	−2,6356E-07	28,6987412
Tropischer Monat	27,32157407	27,32160812	3,4048E-05	166,736952
Tropisches Jahr	365,2422457	365,2467612	0,00451551	224,686421
Knotenumlauf	6798,285868	6797,97272	−0,31314829	1122,39387

Tabelle 4b: Genauigkeiten einer Rinderle-Uhr mit modifiziertem Sternzeit-Getriebe nach Hahn; hier kann der Gesamtaufbau der Uhr unverändert bleiben.

dem Originalgetriebe vergrössert; nur der Knotenzeiger würde noch weiter an Genauigkeit gewinnen.

Eigene Berechnungen lieferten dagegen noch eine weitere Zahnrad-Kombination, die sich zudem mit dem 2-Stunden-Walzenrad kombinieren lässt und nur geringfügig ungenauer ist: Über die Winkelkette 119/15 · 89/59 wird die 2-Stunden-Drehung des Walzenrades auf eine Umdrehung in 23,934463 Stunden reduziert (entsprechend 23 Stunden, 56 Minuten und 4,07 Sekunden); hier wächst die Fehlanzeige nach knapp 29 Jahren auf 1 Grad an (vergl. Tabelle 4.b).

Lässt man statt dessen auch dreistufige Getriebe zu, so bringt zum Beispiel die Kombination von 136 · 76 · 107/101 · 15 · 61 hinter dem 2-Stunden-Walzenrad einen Sterntag von 23,93446951 Stunden oder 23 Stunden 56 Minuten 4,0902 Sekunden, was einer Abweichung von nur noch etwa 1/4000 Sekunde entspricht! Eine solchermassen angesteuerte Erdscheibe stünde erst nach mehr als 2000 Jahren um ein Grad falsch. Da ein dreistufiges Getriebe allerdings zwangsläufig eine Umkehr des Drehsinns am letzten Zahnrad bewirkt, hätte man noch eine zusätzliche Umkehrstufe einfügen müssen, um den dann anderen Drehsinn der Erdscheibe (und aller nachfolgender Anzeigen) zu «korrigieren». Wenn aber schon eine vierstufige Winkelkette diskutiert wird, kann man sie auch zur Steigerung der Genauigkeit nutzen und das Ganze auf die Spitze treiben: Die vierstufige Winkelkette 67 · 69 · 83 · 91/16 · 20 · 94 · 97 liefert zusammen mit dem 2-Stunden-Walzenrad einen Sterntag, der erst nach rund 20000 Jahren um 1 Grad von der Sollposition abweicht[7]...

Mögliche Verbesserungen

Aufbauend auf die genannte Winkelkette 119/15 · 89/59 im Anschluss an das 2-Stunden-Walzenrad habe ich dann mit einem ei-

gens dafür entwickelten Algorithmus nach einer besseren Reduzierung auf die tropische Monatslänge gesucht. Die originale Rinderle-Übersetzung führt an dieser Stelle zu einer 1°-Abweichung nach bereits 167 Jahren (gegenüber beachtlichen knapp 690 Jahren mit dem ursprünglichen, aber ungenaueren Sternzeit-Getriebe). Interessanterweise konnte das Computerprogramm keine bessere Variante ausweisen, die den weiter oben erwähnten mutmasslichen Anforderungen Rinderles genügt hätte. Die bisherigen Betrachtungen lassen allerdings den Verdacht aufkommen, dass die angenommene Beschränkung auf Zähnezahlen unter 130 gar nicht absichtlich gewählt wurde, sondern durch die Umsetzung der natürlichen Vorgaben vielleicht nur vorgetäuscht wird; immerhin lieferten die natürlichen Vorgaben ja bereits eine für die damalige Zeit völlig ausreichende Genauigkeit. Erhöht man die maximal erlaubte Zähnezahl beispielsweise auf 210, so liefert die Kombination 209/49 · 167/26 zusammen mit dem verbesserten Sternzeitgetriebe eine Länge des tropischen Monats, die erst nach mehr als 1400 Jahren eine Abweichung von einem Grad ergibt.

Eine interessante Variante zum Rinderle-Ansatz für die Jahresstufe stellt die Winkelkette 73/18 · 89/27 dar, die im ansonsten unveränderten Originalgetriebe den tropischen Monat auf eine Jahreslänge von 365,243237 Tagen – entsprechend 365 Tage, 5 Stunden, 50 Minuten und 15,7 Sekunden – dehnt. Die Abweichung beträgt damit nur noch 1 Minute und 26,6 Sekunden, so dass die Sonne erst nach rund 1023 Jahren um ein Grad neben der Sollposition steht. Spätestens an dieser Stelle wird deutlich, dass Rinderle seine Zähnezahlen nicht optimierte, sondern lediglich die natürlichen Vorgaben aufgegriffen und umgesetzt hat.

Das gilt noch mehr für die letzte Stufe, die die Jahresdrehung der Sonne auf die Bewegung der Mondknoten reduziert. Schon im ansonsten unveränderten Rinderle-Entwurf liefert die Dreierkette 39/21 · 93/21 · 43/19 eine Knotenperiode, die erst nach mehr als 2220 Jahren um 1 Grad vom Sollwert abweicht; zusammen mit der zuvor beschriebenen verbesserten Jahresstufe zögert diese Variante die 1°-Abweichung sogar bis auf mehr als 3400 Jahre hinaus.

Diese Einsichten stützen die zuvor geäusserte Annahme, dass Thaddäus Rinderle «nur» die vorgegebenen astronomischen Verhältniszahlen ohne wirkliche Optimierung umgesetzt hat. Denkbar ist natürlich auch, dass die damit erzielbare Genauigkeit ihm wirklich gereicht hat.

Ein optimiertes Getriebe

Abschliessend sei die Frage erlaubt, ob sich nach der Konzeption Rinderles auch ein Uhrwerk konstruieren lässt, das die einzelnen Fehler in einer vergleichbaren Grössenordnung hält, zum Beispiel derart, dass alle Anzeigen für die Dauer eines halben Jahrhunderts unter der 1°-Abweichung bleiben. Auch für diese Aufgabe konnte ich meinen Algorithmus nutzen, der alle möglichen Näherungswerte für eine vorgegebene Getriebestufe durchforstet.

Dabei zeigte sich erneut, dass ein zweistufiges Sternzeitgetriebe der gewünschten Genauigkeit mit den Rinderle-Vorgaben nicht zu erzielen ist. Entweder weicht man auf eine vierstufige Winkelkette aus oder knackt die Begrenzung der Zähnezahl. Ich fand dazu die Zweierkette 114/16 · 173/103, die die 2-Stunden-Drehung des Walzenrades auf 0,99726942 Tage oder 23 Stunden 56 Minuten und 4,08 Sekunden dehnt. Gegenüber dem realen Sterntag ist diese Periode lediglich um 1/13 Sekunde zu lang: Die so gedrehte Erdscheibe bleibt nach 50 Jahren um 1 Grad hinter der Sollposition zurück.

Das anschliessende Mondgetriebe fügt sich aus den beiden Stufen 161/33 · 73/13 zusammen. Sie machen aus dem Sterntag einen tropischen Monat von 27 Tagen, 7 Stunden,

Rinderle-Uhr für 50 Jahre optimiert

Stufe	Sollwert [Tage]	Istwert [Tage]	relativer Fehler	Jahre bis 1°-Abweichung
Walzenrad		2		
Sternzeit	0,99726957	0,99726942	–1,4929E-07	50,6669309
Tropischer Monat	27,3215741	27,3214626	–0,00011146	50,9362051
Tropisches Jahr	365,242246	365,222081	–0,02016437	50,3118043
Knotenumlauf	6798,28587	6791,36351	–6,92235884	50,7246181

Tabelle 6: Vergleich von Soll- und Istwerten der reziproken Drehzahlen (in Tagen) für eine «optimierte» Rinderle-Uhr.

42 Minuten und 54,4 Sekunden, was gegenüber dem mittleren tropischen Monat lediglich 9,3 Sekunden zu kurz ist – der mittlere Mond geht nach 50 Jahren um ein Grad vor. Die nachfolgende Jahresstufe 38/11 · 89/23 verleiht der Sonne eine tropische Umlaufzeit von 365 Tagen, 5 Stunden, 19 Minuten und 47,8 Sekunden. Das sind zwar 29 Minuten und 2,2 Sekunden zu kurz, doch auch dieser Fehler schaukelt sich erst nach 50 Jahren zu einer Abweichung von einem Grad auf.

Die abschliessende dreigliedrige Stufe 61/31 · 36/16 · 63/15 führt den Mondknoten in 6791,3 Tagen einmal rückläufig durch die Ekliptik (oder fast 7 Tage zu schnell), was nach ebenfalls 50 Jahren zu einer 1°-Missweisung führt.

Mir ist klar, dass die genannten Zähnezahlen sich nicht notwendigerweise zu einem realen Getriebe nach dem Vorbild der Rinderle-Uhr umsetzen lassen – dazu fehlt mir die praktische Erfahrung eines Getriebebauers. Da das Rechenverfahren aber eine Vielzahl weiterer Kombinationen als Lösungsmöglichkeiten auswirft, lassen sich mit Sicherheit auch «getriebetaugliche» Zahnradkombinationen finden. Vielleicht findet sich unter den Lesern ja jemand, der sich gemeinsam mit mir an einen «modernen», optimierten Nachbau des Rinderle-Getriebes macht…

[1] Johann Wenzel, *Furtwanger Beiträge zur Uhrengeschichte*, Neue Folge, Band 1, Seite 11.
[2] Ebd., Seite 37.
[3] Siderische Perioden (Monat, Jahr) beschreiben stets einen 360°-Umlauf und beziehen sich damit auf die Position der Sterne. Die Jahreszeiten – und damit der Kalender – richten sich aber nach der Position des Frühlingspunktes, der im Laufe von rund 25 800 Jahren einmal rückläufig durch die Sternbilder der Ekliptik wandert, also der Sonne oder dem Mond «entgegen kommt»; entsprechend sind die tropischen (auf den Frühlingspunkt bezogenen) Umlaufzeiten stets etwas kürzer als die siderischen Perioden.
[4] Ebd., Seite 17.
[5] Ebd., Seite 17.
[6] Als «falsch» wird diese Summe bezeichnet, weil man zur Addition die beiden Brüche eigentlich zunächst auf den gemeinsamen Hauptnenner bringen müsste, ehe man die beiden Zähler addieren kann. Diese «normale» Addition führt in der Sache aber nicht weiter.
[7] Zur Feststellung dieser Genauigkeit muss natürlich auch der Sollwert mit entsprechender Präzision vorliegen. Als Bezugswert wurde hier der von Professor Hans Scheurenbrand zur Konstruktion der Astronomischen Uhr des Festo Harmonices Mundi herangezogen, der einen Sterntag zu 0,9972695663 Sonnentagen ansetzt.