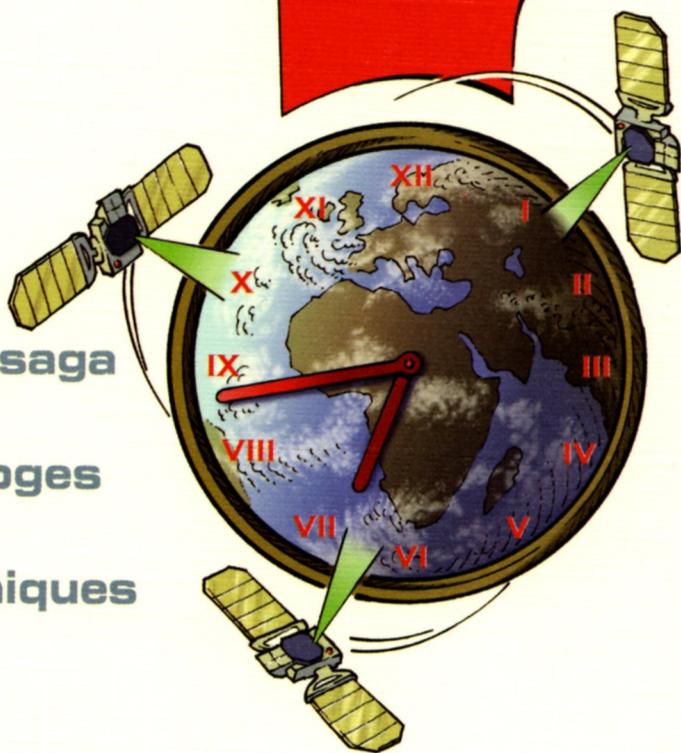


Tony Jones

Combien dure une seconde ?

La saga
des horloges
atomiques





Tony Jones

Combien dure une seconde ?

La saga des horloges atomiques

Traduit de l'anglais
par Alain Milsztajn

Préface
d'Alain Milsztajn



17, avenue du Hoggar
Parc d'Activité de Courtabœuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

« **Bulles de sciences** »
Collection dirigée par **Bénédicte Leclercq**

Ouvrages déjà parus :

La Terre chauffe-t-elle ? Gérard Lambert
Asymétrie, la beauté du diable, Frank Close
Que sait-on des maladies à prions ? Émile Desfeux
Des séquoias dans les étoiles, Philippe Chomaz
Les neutrinos vont-ils au paradis ? François Vannucci
Les requins sont-ils des fossiles vivants ? Gilles Cuny
Combien pèse un nuage ? Jean-Pierre Chalon
Pourquoi la Nature s'engourdit ? Jean Générmont et Catherine Perrin
Qu'est-ce qui fait trembler la Terre ? Pascal Bernard

À paraître :

À quoi ressemble Superman ? Roland Lehoucq
Un caillou peut-il menacer notre monde ? Christian Köberl

En couverture : Illustration originale de Thomas Haessig

Édition originale :

Splitting the Second : the story of Atomic Time, Tony Jones,
© 2000 IOP Publishing Ltd, Originally published in English by Institute of
Physics Publishing Ltd, Dirac House, Temple Back, Bristol BS1 6BE, England.
First published 2000.

ISBN : 2-86883-628-3

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2003.

Préface

*Ding, ding, ding, ding !
Et encore ding, ding, ding !
Je ne peux plus m'arrêter de sonner !
Je ne sais plus l'heure qu'il est !
Il m'a ôté mon balancier !
J'ai d'affreuses douleurs de ventre !
J'ai un courant d'air dans mon centre !
Et je commence à divaguer !*

L'Horloge comtoise, dans
L'Enfant et les Sortilèges
Livret de Colette
Musique de Maurice Ravel
(Éditions Durand SA, Paris, 1925)

Les horloges atomiques sont de plus en plus présentes dans notre vie même si, la plupart du temps, nous ne sommes pas conscients du rôle qu'elles y jouent. Nous savons bien que ces horloges existent et qu'elles sont à la base du « Temps universel coordonné », qui permet de définir l'heure légale dans chaque pays. Mais, dans la pratique, combien d'horloges faut-il pour fabriquer cette « heure officielle » ? Où sont-elles situées et comment fonctionnent-elles ? Comment les compare-t-on, comment les combine-t-on ? Quelle en est la précision ? Et, finalement, à quoi bon une telle précision ? Qui a *vraiment* besoin d'horloges atomiques ?

C'est cela que le livre de Tony Jones nous raconte et nous apprend, avec précision, sans sécheresse et souvent avec humour. À ma connaissance, il s'agit du premier ouvrage qui expose l'histoire du temps atomique sans viser un public restreint de spécialistes. Tout au long de ce livre, vous découvrirez les applications parfois surprenantes des horloges atomiques, des plus étonnamment banales, comme la localisation des coups de foudre ou des incidents sur les lignes à haute tension, aux plus complexes, comme la mesure directe de la vitesse avec laquelle la Lune s'éloigne régulièrement de la Terre.

Tout le monde a entendu parler du système de positionnement par GPS qui est de plus en plus utilisé par les particuliers, par exemple les randonneurs ou les navigateurs, ou bien par des entreprises, comme la RATP qui localise ses bus à l'aide du GPS. Demain, le trafic aérien – atterrissage et décollage compris – sera peut-être géré à l'aide du GPS ou d'un système analogue. Toutes ces applications n'existeraient pas aujourd'hui sans la combinaison de la précision des horloges atomiques, de l'ordre de quelques milliardièmes de seconde, et de leur mise en orbite à bord de plusieurs dizaines de satellites. Notons au passage qu'il faut pour cela tenir compte de la théorie de la relativité, qui prédit que l'écoulement du temps mesuré par une horloge dépend de sa vitesse et de son altitude. La comparaison des horloges satellitaires et terrestres le démontre d'ailleurs amplement. Avec ce système de positionnement, on n'en est plus à vérifier la relativité ; on s'en sert dans des objets d'usage courant !

Pour bien apprécier cette révolution, il faut savoir pourquoi les horloges atomiques sont si précises et comment elles en sont venues à remplacer les corps célestes dans la mesure du temps. Là encore, le récit de Tony Jones est très instructif, car la « prise de pouvoir » sur le temps par les physiciens n'a pas été sans frictions entre les astronomes et eux : il est toujours passionnant d'étudier,

avec le recul du temps (sans jeu de mots !), l'émergence d'une nouvelle technique, sa réception par les diverses communautés, ainsi que les résistances justifiées ou non qu'elle suscite. Il s'agit vraiment ici d'un cas de figure, dont je suis sûr qu'on pourrait le « décalquer » sur de nombreuses autres révolutions techniques ou scientifiques. La « seconde des physiciens » est aujourd'hui tellement stable qu'elle permet d'étudier en détail les irrégularités de la rotation terrestre – voire même la dérive des continents et donc des observatoires astronomiques (quelques centimètres par an). Cela montre que l'astronomie a aussi largement bénéficié de cette évolution inévitable.

Toute évolution produit des fossiles, mais le passage au temps atomique en a fabriqué un particulièrement coriace, l'heure de Greenwich ou GMT. Comme le système horaire ne dépend plus directement du passage de certaines étoiles par le méridien de Greenwich, l'heure GMT aurait normalement dû disparaître voici plusieurs dizaines d'années, pour faire place au Temps universel coordonné. Comme on peut le constater tous les jours, l'usage commun n'a pas suivi les recommandations de la Conférence Générale des Poids et Mesures ! Je vous laisse découvrir la façon dont Tony Jones nous raconte avec beaucoup d'humour comment les choses se sont passées au Royaume-Uni.

Il est des révolutions « temporelles » qui marquent l'histoire, et d'autres qui passent presque inaperçues. Dans la première catégorie, on trouve la réforme du calendrier julien et celle du calendrier grégorien. Toutes deux avaient comme but – identique – d'adapter la durée de l'année *civile* (le nombre moyen de jours par an) à la durée de l'année *tropicque*, c'est-à-dire celle qui ramène les saisons, et les fêtes religieuses, à date fixe. Dans la catégorie des réformes méconnues, on trouve un seul exemple, celui des « secondes intercalaires ». Il vous est peut-être arrivé de lire vers la fin d'un mois de décembre dans votre quotidien favori que

d'obscurs scientifiques avaient décidé que le 31 décembre prochain comporterait une seconde de plus (la dernière remonte au 31 décembre 1998). Cela prouve déjà que nous n'en sommes plus à ajuster le nombre de jours par an, mais bien *le nombre de secondes par an*, ce qui donne la mesure des progrès accomplis. Qui sont ces scientifiques, et qui leur a donné ce pouvoir d'agir à leur gré sur la durée de l'année ? Pourquoi cet ajout est-il si irrégulier qu'on doive réexaminer la question tous les six mois ? Peut-être est-ce cette irrégularité qui a empêché la « révolution » des secondes intercalaires d'acquérir la même notoriété que ses aînées ? Ou bien est-ce dû à la durée minimale de l'ajustement ? Il faut bien reconnaître qu'une seconde de plus ou de moins, ça vous a moins d'allure qu'un 29 février tous les quatre ans ; mais, tout de même, une minute de 61 secondes, voilà qui n'est pas ordinaire ! À moins tout bonnement que cette réforme ne demeure méconnue parce qu'on ne peut lui associer le nom d'une seule personne. Jules César et Grégoire XIII, à défaut d'avoir été les promoteurs scientifiques de leurs réformes, en ont été les « décideurs » politiques, ce qui fait que leurs noms y sont restés attachés... et que peu de gens connaissent Sosigène, l'astronome d'Alexandrie « consultant » de Jules César, et Clavius, l'un de ses homologues grégorien. Rien de tel pour les secondes intercalaires : pas de décideur unique, pas de savant unique. Mais, quelle que soit la raison de notre méconnaissance de cette réforme, nous avons ici une occasion de la combler grâce à ce livre.

Que l'on me permette, pour finir, d'évoquer un souvenir personnel. Lors d'un des premiers cours de physique auquel j'assistais, je suis littéralement tombé en arrêt devant la nouvelle définition de la seconde, qui datait à peine de deux ans : « *La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.* » Que pouvait bien vouloir dire tout ce

PRÉFACE

jargon ? Pourquoi 9 192 631 770 périodes ? Pourquoi le césium ? Qu'est-ce qu'un état fondamental ? Et un niveau hyperfin ? Même s'il me fallut un certain nombre d'années avant d'être en mesure de comprendre la réponse à ces questions, je me mis tout de même, à l'époque, à compulsier diverses encyclopédies pour essayer d'en savoir un peu plus. Et ce qui devait arriver arriva : la définition de la seconde atomique était trop récente, et je ne pus dénicher... que de longues explications sur le temps des éphémérides et la durée de l'année tropique en 1900 (soit dit en passant, je fus un peu surpris de l'existence d'un 0 janvier 1900). Cela m'apprit au moins deux choses : la science peut évoluer à vue d'œil, et même la définition de ses unités de mesure – ses « dix commandements » – est susceptible de changer sur une brève échelle de temps.

Je dois aujourd'hui à ce livre l'essentiel de mes connaissances sur l'histoire récente de la mesure du temps, et j'ai enfin compris pourquoi le balancier doit céder la place au jet de césium (que je me plais à considérer comme un moderne avatar du « *courant d'air dans son centre* » de Colette). J'ai donc pris beaucoup de plaisir à le lire, le relire pour finalement le traduire. J'espère sincèrement que vous partagerez ce plaisir.

Alain Milsztajn

Introduction

Au mur de mon bureau, il y a une horloge radio-pilotée. Ce n'est au fond qu'une banale horloge à quartz reliée à un minuscule récepteur radio. Toutes les deux heures, elle se met à l'écoute des impulsions diffusées régulièrement par un émetteur radio asservi sur les horloges atomiques du *National Physical Laboratory* britannique, ce qui lui permet de se recalibrer sur le Temps Universel Coordonné (couramment dénommé Heure de Greenwich, ou GMT – à tort comme nous allons le voir plus loin). Ce n'est pas tout : elle prend aussi automatiquement en compte le passage à l'heure d'été et le retour à l'heure d'hiver, et elle est même capable de gérer les secondes intercalaires, encore que pas de la façon la plus élégante qui soit. Je n'ai donc plus jamais besoin, pour connaître l'heure exacte, d'attendre les tops horaires diffusés chaque heure à la radio, ou d'appeler l'horloge parlante. Mon horloge donne une heure « garantie », à une fraction de seconde près, même si je n'ai pas vraiment l'usage d'une telle précision.

De telles horloges sont aujourd'hui chose courante, et cela traduit bien les bouleversements qu'a connus la mesure du temps au XX^e siècle. On peut même légitimement parler de révolution. Au début de ce siècle, la mesure du temps était contrôlée – depuis des millénaires – par les astronomes. À la fin du même siècle, le contrôle était passé aux physiciens, bien que les astronomes continuent à y

jouer un rôle, moindre. S'il fallait dater ce bouleversement, on pourrait en situer le début en 1955, avec le premier fonctionnement en continu d'une horloge atomique, et la fin en 1967, avec le remplacement officiel de la seconde astronomique par la seconde atomique dans le Système International d'Unités.

Nous sommes au début du XXI^e siècle, et le moment semble opportun pour raconter cette histoire à un large public. Le *National Physical Laboratory* (laboratoire national de métrologie du Royaume-Uni), qui vient de fêter son premier centenaire, y a joué un rôle capital, ce qui lui a conféré le droit en quelque sorte « naturel » d'être aujourd'hui le fournisseur officiel de l'heure au Royaume-Uni. Ce livre n'aurait d'ailleurs pas vu le jour sans Fiona Williams, du NPL, qui en a perçu l'opportunité et la nécessité, et qui a généreusement soutenu ce projet. Je suis également reconnaissant aux scientifiques du NPL, qui n'ont pas compté leur temps pour me transmettre leur savoir et leur expérience, en particulier John Lavery, James « Mac » Steele, Peter Whibberley et Paul Taylor. Je n'oublie pas non plus les nombreuses personnes de divers autres instituts qui m'ont fourni des documents et des illustrations, et ont répondu à mes nombreuses requêtes. Enfin, je remercie le personnel de la bibliothèque du NPL pour son hospitalité, Terry Christien pour ses illustrations, ainsi que Margaret O'Gorman, Robin Rees et Nicki Dennis de l'*Institute of Physics*, qui ont permis à ce livre de voir le jour.

1

Le temps des astronomes

Je suppose que, si vous êtes en train d'entamer cette lecture, c'est que vous vous intéressez à la mesure du temps. C'est bien le sujet de ce livre, même si on l'aborde sous un angle inhabituel. Il est inutile d'y chercher des balanciers ou des échappements, ni même l'histoire de la clepsydre ou de l'hémicyclium, et il vous faudra trouver une autre source si vous souhaitez connaître la différence entre un foliot et une fusée.

En effet, ce livre traite de moyens plus modernes qui, nous le verrons, trouvent leur origine en juin 1955, date du fonctionnement de la première horloge atomique. Les lois physiques qui ont rendu cette horloge possible ont mobilisé l'esprit de nombreux scientifiques de premier ordre. Pour s'en convaincre, reportons-nous à la figure 1, qui donne une liste de 13 lauréats du prix Nobel depuis 1940. Ces prix Nobel de physique n'ont pas été attribués à la légère. Chacun de ces physiciens a été récompensé pour une avancée majeure, qui a fait progresser notre compréhension de la physique. Leur point commun est qu'ils ont tous contribué à la science de la mesure atomique du temps.

Des ambitions dignes du prix Nobel

Parmi eux, seul Otto Stern ne s'est pas directement occupé des horloges atomiques proprement dites. Tous les autres, depuis Isidor

COMBIEN DURE UNE SECONDE ?

Année	Nom des lauréats	Contribution aux horloges atomiques
1943	Otto Stern	Stern a montré comment utiliser des faisceaux d'atomes pour étudier les propriétés magnétiques des atomes et des noyaux.
1944	Isidor Rabi	Rabi, qui collabora pendant deux ans avec Stern, a développé une méthode d'étude des propriétés magnétiques des noyaux par résonance en utilisant des jets atomiques. Il fut le premier à proposer de construire une horloge atomique à jet de césium.
1955	Polykarp Kusch	Kusch, collègue de Rabi, est un pionnier des horloges atomiques. Ses conceptions sont à la base de la première horloge opérationnelle, au NPL.
1964	Nicolai Basov, Aleksander Prochorov, Charles Townes	Ces trois physiciens ont inventé indépendamment un amplificateur de rayonnement, le maser et le laser ; le maser est à la base d'un type d'horloge atomique. Townes a aussi travaillé avec Rabi.
1966	Alfred Kastler	Kastler a inventé la technique de « pompage optique » utilisée dans les horloges atomiques les plus précises.
1989	Norman Ramsey	Ramsey, également un ancien collègue de Rabi, est le père de deux contributions. Il a inventé la « cavité de Ramsey », composant essentiel de toute horloge au césium ; il a aussi construit le premier maser à hydrogène.
1989	Hans Dehmelt Wolfgang Paul	Dehmelt et Paul ont conçu des méthodes de piégeage d'atomes isolés qu'on utilise aujourd'hui pour la recherche fondamentale sur les horloges du futur.
1997	Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji, William Phillips	Ces trois physiciens ont développé des méthodes de refroidissement extrême d'atomes, méthodes indispensables aux nouvelles horloges à fontaine de césium.

1. Quelques lauréats du prix Nobel de physique.

Rabi, ont soit construit ou amélioré des horloges atomiques, soit réalisé des travaux dont ils savaient qu'ils permettraient un progrès dans la mesure du temps ou des fréquences.

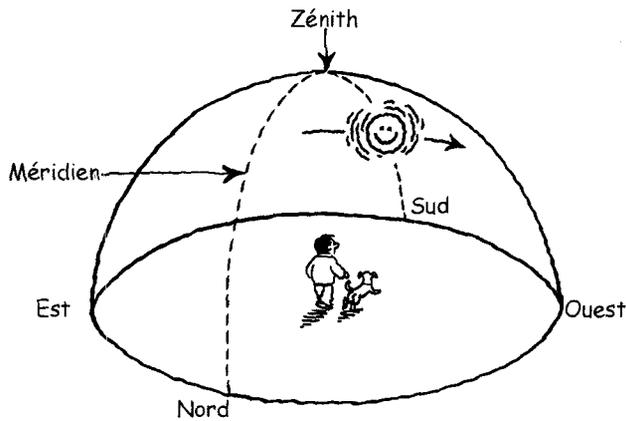
Nous reparlerons de certains d'entre eux plus loin dans ce livre, encore que brièvement, car mon but est davantage de décrire la façon dont le temps est gardé et mesuré aujourd'hui que de raconter l'histoire des horloges atomiques. Pour bien réaliser l'ampleur de la révolution engendrée par l'usage de ces horloges atomiques, il est néanmoins indispensable de les replacer dans le contexte historique et, pour cela, il nous faut remonter à la première méthode de mesure du temps : le Soleil.

Le temps solaire

Durant presque toute la période historique, et jusqu'aux dernières décennies du XX^e siècle, la mesure du temps s'est fondée sur le mouvement apparent du Soleil dans le ciel. Apparent seulement, car c'est bien la rotation de la Terre autour de son axe qui fait que le Soleil balaie le ciel en 24 heures, et non le mouvement du Soleil lui-même. Quand on emploie le Soleil pour définir les échelles de temps, on s'appuie en fait sur la rotation (supposée) perpétuelle de la Terre pour compter les jours.

Imaginons un grand demi-cercle dans le ciel qui parte du point de l'horizon le plus au nord pour rejoindre le point le plus au sud, en passant par le zénith, la direction à la verticale de votre tête (*voir la figure 2*). Cette ligne, c'est le méridien, qui divise la voûte céleste en deux moitiés, est et ouest. Nous sommes maintenant armés pour définir plus précisément la durée du jour. C'est à midi que le Soleil croise le méridien. Définissons aussi le « jour » comme l'intervalle de temps qui sépare deux traversées consécutives du méridien (on dit aussi des « culminations »). Cette définition a l'avantage de ne pas reposer sur la notion d'horizon – peu importe quand le Soleil se lève ou se couche. Autre mérite, elle ne dépend pas non plus de la durée de la journée, qui varie au long de l'année. La

COMBIEN DURE UNE SECONDE ?



2. « Midi » est défini comme l'instant où le Soleil coupe le méridien, un demi-cercle imaginaire joignant les horizons nord et sud en passant par le zénith. Le jour solaire est l'intervalle entre deux midis consécutifs.

traversée du méridien par le Soleil nous fournit à la fois le midi et la durée du jour – une échelle de temps et une unité de temps.

La plupart des gens sont surpris d'apprendre que la durée du jour ainsi définie... varie au long de l'année. Si vous vous équipez d'une horloge suffisamment précise et que vous mesurez l'instant de ces culminations solaires, vous trouverez que la longueur de ce jour « solaire » peut varier de 24 heures moins 22 secondes (en septembre) à 24 heures plus 30 secondes (en décembre). De plus, il est fort rare que le Soleil traverse le méridien à midi précise. Qu'est-ce qui peut bien clocher ?

Pour le savoir, nous devons nous pencher plus en détail sur le mouvement apparent du Soleil. La Terre décrit une orbite autour du Soleil, en une année ; de notre point de vue, sur la Terre supposée fixe, le Soleil semble parcourir une orbite autour de la Terre. La trajectoire apparente du Soleil sur le fond de ciel s'appelle l'écliptique. S'il était possible de voir les étoiles et le Soleil en même temps, nous nous rendrions compte que le Soleil se déplace lentement vers l'est le long de l'écliptique, à raison d'environ un degré par jour (en

effet, il y a 360 degrés dans un cercle, et 365 jours dans une année). Pour être plus précis, si l'orbite de la Terre était parfaitement circulaire, le Soleil se déplacerait dans le ciel chaque jour de 0,986 degré.

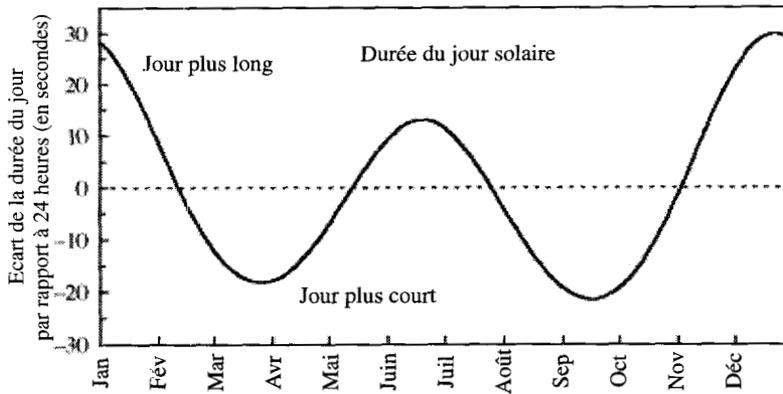
En fait, à l'instar de la plupart des trajectoires astronomiques dans le Système solaire, la trajectoire de la Terre est une ellipse. Voilà une première raison de la durée variable du jour. Le 3 janvier, la Terre se trouve 5 millions de kilomètres plus près du Soleil qu'elle ne l'est le 4 juillet (à un jour près pour ces deux dates). Quand elle est au plus près du Soleil, la Terre se déplace plus vite sur son orbite. Vu de la Terre, le Soleil semble trotter à 1,019 degré par jour en janvier, alors qu'au début de l'été il se traîne à 0,953 degré par jour. Cette variation de vitesse, si elle était seule en jeu, fournirait des jours plus courts en été qu'en hiver (n'oubliez pas que le Soleil se déplace dans le ciel d'ouest en est !).

La deuxième cause de la variation de la durée du jour est l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite, soit, de façon équivalente, l'angle entre le plan de l'équateur et celui de l'écliptique. La conséquence en est que, outre son mouvement général d'ouest en est, le Soleil se déplace aussi vers le nord au printemps, et vers le sud en automne. Ce n'est qu'aux solstices, aux alentours du 21 juin et du 21 décembre, que le mouvement du Soleil est exactement orienté de l'ouest vers l'est. À tout autre moment de l'année, le mouvement du Soleil a une composante vers le nord ou le sud, et il se déplace donc légèrement moins vite par rapport au méridien. Par conséquent, l'inclinaison, si elle était le seul effet responsable de la variation de la durée du jour, nous fournirait des jours plus longs près des solstices d'été et d'hiver, et plus courts près des équinoxes de printemps et d'automne.

Si l'on combine ces deux effets, on obtient la variation annuelle représentée sur la figure 3. Les fabricants de cadrans solaires la connaissent depuis longtemps, eux qui ont conçu de nombreuses méthodes astucieuses pour en tenir compte dans la conception des cadrans afin que ceux-ci donnent l'heure exacte. Comme

COMBIEN DURE UNE SECONDE ?

un jour de durée variable dans l'année n'est pas bien utile à qui veut conserver une heure précise, les astronomes ont fini par inventer la notion d'un « soleil moyen », un corps imaginaire qui se déplacerait de façon régulière le long de l'équateur – par opposition à l'écliptique – et à vitesse constante. Ce concept de soleil moyen n'est rien d'autre qu'un artifice mathématique pour éliminer les effets gênants de l'orbite elliptique et de l'inclinaison de l'axe terrestre, dans le but de créer un « jour solaire moyen » de durée constante. Le temps associé au soleil moyen s'appelle (logiquement) le temps solaire moyen, par opposition au temps indiqué par le vrai Soleil (par exemple sur un cadran solaire), qu'on appelle le temps solaire apparent. Ces deux temps peuvent différer de plus de 16 minutes, et la différence est dénommée « équation du temps » (voir la figure 4). Naturellement, le vrai Soleil et le soleil moyen finissent par se retrouver au bout d'un an à la même position, ce qui fait qu'ils restent synchronisés à long terme.

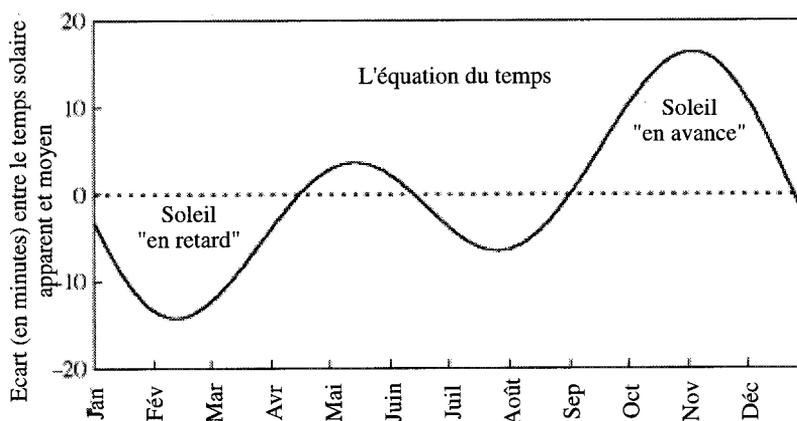


3. Comme l'orbite terrestre n'est pas circulaire, et comme l'axe de rotation terrestre est penché, la durée du jour solaire varie au long de l'année. Elle est plus longue d'une minute environ à la fin décembre qu'à la mi-septembre.

Le temps solaire moyen est resté la base de toute mesure ou référence de temps jusqu'aux dernières décennies. Toutefois, le temps solaire apparent est encore utilisé, en particulier pour la méthode traditionnelle de navigation maritime. Par exemple, l'Almanach Nautique américain donnait encore jusqu'en 1833 le temps solaire apparent.

Le temps standardisé

Il existe un inconvénient évident à utiliser une heure basée sur le Soleil – même le soleil moyen – : c'est qu'elle n'est pas la même en tout point du Globe. Dès lors que l'on nomme midi l'instant où le soleil moyen traverse le méridien, l'heure va dépendre de la longitude où l'on se trouve. Il sera « midi » à Londres 10 minutes après Paris, et 54 minutes après Berlin. Sans parler de Dublin (25 minutes plus tard) ni de New York (presque 5 heures après). Le cas extrême-



4. L'équation du temps est la différence entre les temps solaires moyen et apparent, due à la durée variable du jour solaire vrai. Le Soleil retarde de plus de 14 minutes sur le soleil moyen à la mi-février et est en avance de plus de 16 minutes début novembre. Un cadran solaire ne donne l'heure solaire moyenne que quatre jours par an : les 16 avril, 14 juin, 2 septembre et 25 décembre (à un jour près). Quand on souhaite régler un cadran solaire au plus juste, il faut le faire à ces dates.

me est celui des habitants de Taveuni, une île des Fidji dont la longitude diffère de celle de Londres de 180 degrés, pour qui il est « minuit » quand il est « midi » à Londres. Cela leur permet d'ailleurs de bénéficier des nouveaux millénaires 12 heures avant les Londoniens.

Jusqu'au XIX^e siècle, tout le monde vivait heureux avec sa version personnelle du temps solaire moyen. Quand le rythme de vie était plus tranquille, et que personne ne voyageait à grande vitesse, peu importait que l'heure de Manchester diffère de celle de Liverpool de trois minutes, ni même que les horloges de l'Amérique du Nord s'en écartent de plusieurs heures. Mais sont arrivés le télégraphe et les chemins de fer, qui ont imposé de s'entendre sur l'heure qu'il est à des distances de centaines ou de milliers de kilomètres. Sinon, comment les trains auraient-ils pu arriver à l'heure ?

La solution – elle vint des États-Unis et du Canada en 1883 – fut l'invention des « fuseaux horaires ». Dans chaque fuseau, on convenait que toutes les pendules donneraient la même heure, différant de l'heure des pendules du fuseau voisin d'exactly une heure. L'idée s'est vite propagée et, en 1884, la conférence internationale de Washington établit un système mondial de fuseaux horaires pour l'ensemble de la planète. Le temps de référence serait à l'avenir le temps solaire moyen de l'Observatoire Royal de Greenwich, à l'est de Londres, un temps désigné depuis 1880 comme le *Greenwich Mean Time*, ou GMT (temps moyen de Greenwich). À ce jour, l'heure GMT n'a plus d'existence légale, mais nous l'utiliserons par commodité dans la suite de ce chapitre, avant de révéler son triste destin.

En principe, les fuseaux horaires divisent la planète en 24 zones égales, de 15 degrés de longitude chacune – un peu comme les quartiers d'une orange. Chaque zone a son temps standard, basé sur le temps solaire moyen de la longitude centrale de la zone, et qui diffère du GMT d'un nombre d'heures entier. Par exemple, tout lieu de longitude comprise entre 7,5 degrés est et 7,5 degrés ouest appartient

au fuseau horaire de Greenwich, et les horloges y donnent l'heure GMT. Entre 7,5 et 22,5 degrés ouest, les horloges indiquent GMT - 1 heure ; de 7,5 à 22,5 degrés est, elles marquent GMT + 1 heure. On définit ainsi de proche en proche chaque fuseau à l'est ou à l'ouest de Greenwich, jusqu'à ce qu'on arrive à l'autre bout du monde. Ce fuseau horaire opposé à celui de Greenwich est centré sur une longitude de 180 degrés et l'heure y diffère de l'heure GMT de 12 heures. Mais s'agit-il de 12 heures *avant* ou 12 heures *après* ? La réponse est : les deux ; cette zone est en effet divisée en son milieu par la Ligne Internationale de Changement de Date. L'heure est la même de part et d'autre de la Ligne, mais les dates y diffèrent d'un jour.

Dans la pratique, tous ces fuseaux horaires ont été largement influencés par la géographie et la politique, et ils ne ressemblent que de loin à leur forme théorique. Même la Ligne de Changement de Date présente quelques bosses nécessaires pour éviter de traverser des régions trop peuplées. Chaque pays décide souverainement de la zone à laquelle il appartient. La plupart des pays d'Europe occidentale ont adopté l'heure de l'Europe centrale (GMT + 1), y compris des pays comme la France ou l'Espagne qui sont situés dans le fuseau de Greenwich. Dans ces deux pays, le midi légal est plus proche de 13 heures au temps solaire moyen que de 12 heures. La Chine s'étend sur trois fuseaux horaires, mais toutes les pendules y indiquent GMT + 8. Il existe même quelques pays où l'heure légale s'écarte de celle de Greenwich d'un nombre d'heures non entier ; l'île de Terre-Neuve est 3 heures 30 avant GMT, alors que le Népal est 5 heures 45 après. Les zones polaires, comme l'Antarctique, n'ont même pas d'heure standard et on y utilise souvent l'heure GMT. Tout cela semble manquer de cohérence, mais ce qui compte finalement, c'est que chaque endroit sur la planète ait son heure légale, reliée à celle de Greenwich.

Le temps universel

En 1912, le Bureau des Longitudes français accueillit une conférence scientifique pour étudier la coordination internationale

U

Union Astronomique Internationale
(UAI) 20, 33, 37, 38, 76, 96
Union Internationale des
Télécommunications (UIT) 95, 199
United States Naval Observatory,
Observatoire naval des États-Unis
(USNO)
UT0 (*Universal Time 0*, Temps
Universel 0) 78, 80, 121, 160, 168,
231, 234
UT1 (*Universal Time 1*, Temps
Universel 1) 77, 96, 126, 127,
142–144, 146, 229
UT1–UTC 146
UT2 (*Universal Time 2*, Temps
Universel 2) 77, 80, 89, 122
UTC local 115, 117, 119, 122
UTC mondial 122

V

Variations de la durée du jour 142
Very Long Baseline Interferometry,
Interférométrie à très grande base
(VLBI) 130, 131, 199, 200
Vessot (Robert) 187
Viking 189
Vitesse de la lumière 204

Y-Z

Ytterbium 222, 224, 227
Zacharias (Jerrold) 66, 87, 104–106

Table des matières

Préface	3
Introduction	9
1. Le temps des astronomes	11
2. Le temps des physiciens	41
3. Le temps atomique	75
4. Un temps planétaire	93
5. Les secondes intercalaires	125
6. Le partage du temps	151
7. Une heure précise : pour qui, pourquoi ?	183
8. L'avenir du temps	209
Appendice	236
Liste des sigles	245
Index	250