Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Band: 79 (1956)

Artikel: Le temps et sa détermination astronomique
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-88859

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LE TEMPS ET SA DÉTERMINATION ASTRONOMIQUE

Conférence prononcée à Neuchâtel le 25 novembre 1955, devant la Société neuchâteloise des Sciences naturelles, par M. André Danjon, directeur de l'Observatoire de Paris

---

Qu'est-ce que le temps ? Aucune question n'est plus embarrassante que celle-là. Issu du latin populaire, ce substantif a-t-il jamais eu un sens déterminé et vraiment spécifique d'une chose ou d'une idée ? En consultant un dictionnaire, on peut s'assurer qu'il a, aujourd'hui, les acceptions les plus disparates. Littré ne lui consacre pas moins de 1068 lignes, formant 11 colonnes et demie, et réparties en 45 articles ! Suivant le cas, le mot temps s'applique à la durée, à l'état de l'atmosphère, aux grandes divisions de l'histoire ; c'est encore un terme de grammaire, de musique, de tactique, voire de vénerie. Cette confusion, si peu conforme au génie de la langue française, n'a rebuté ni les écrivains qui, depuis trois siècles, se sont attachés à épurer le vocabulaire, ni les savants, cependant grands producteurs de néologismes. Il eût été facile de créer autant de termes nouveaux qu'il y a de notions confondues sous ce monosyllabe : le temps. Mais pour cela, il eût fallu préciser ces notions, et là était la difficulté.

Au XVIIe et surtout au XVIIIe siècle, les lois de la mécanique ont été l'objet de débats animés, philosophes et savants passant au crible les concepts de masse, de force, de quantité de mouvement, de force vive, etc... Quant au temps, l'une des grandeurs fondamentales de la dynamique avec la longueur et la masse, ils n'y font que de brèves allusions, comme s'il s'agissait d'une notion intuitive, claire pour tout le monde. Le temps possède-t-il les attributs d'une grandeur mesurable, peut-on définir deux temps égaux, déterminer le rapport de deux durées, dont l'une sera, par exemple, le triple de l'autre, peut-on additionner les durées, ces questions essentielles ne sont jamais effleurées. Pourtant Leibniz avait esquissé une curieuse théorie du temps considéré comme un continu formé d'éléments identiques, inseccables, qu'on pourrait appeler des atomes de temps, mais il ne paraît pas avoir persévéré dans cette voie, qui ne l'aurait peut-être pas conduit loin. Plus tard, il définit le temps comme l'ordre de succession de nos perceptions ou de nos conceptions tel qu'il se fixe dans notre mémoire. Mais ce temps psycho-

logique n'est pas une grandeur mesurable, puisque, lorsque nous sommes gais, il paraît fuir rapidement, alors que nous trouvons le temps long quand nous sommes tristes ou désœuvrés.

Cependant, l'un des plus grands astronomes des temps modernes, Laplace, a repris à son compte la définition de Leibniz. Il écrit en effet : « Le temps est pour nous l'impression que laisse dans la mémoire une suite d'événements dont nous sommes certains que l'existence a été successive. » Nous retrouvons ici le temps psychologique ; mais Laplace écrit ensuite : « Le mouvement est propre à lui servir de mesure, car un corps ne pouvant être dans plusieurs lieux à la fois, il ne parvient d'un endroit à un autre qu'en passant successivement par tous les lieux intermédiaires. » Quels que soient l'admiration et le respect dus à cet illustre savant, il faut reconnaître qu'ici, il pèche contre la logique. Il commence par définir le temps psychologique, mais comme ce temps-là ne serait d'aucune utilité dans un traité de mécanique céleste, Laplace oublie aussitôt la définition qu'il vient de poser, et il lui substitue la définition du temps par le mouvement. Le seul lien entre les deux phrases est le mot *successif* ou *successivement* qui y figure : simple artifice de rhétorique sans valeur démonstrative. Ne serait-il pas plus simple et plus exact de dire tout de suite : le temps se définit et se mesure par le mouvement ?

Une analogie empruntée à la géométrie va nous faire comprendre comment cette double opération est possible. La notion de distance nous est donnée par l'expérience vulgaire : nous la tirons de nos sensations visuelles, tactiles et musculaires ; il n'est besoin, pour cela, d'aucune opération de l'esprit, puisque le chat, qui règle son élan sur la largeur du fossé, ne manque jamais son coup ; mais de là à construire une géométrie, il y a un abîme, que le chat ne franchit pas. C'est parce que nous savons mesurer des longueurs que nous pouvons nous élever au concept mathématique de longueur, et désigner par des lettres celles que nous voulons introduire dans les formules de la géométrie ou les équations de la mécanique. Avec une règle étalon et un comparateur, nous pouvons constater l'égalité de deux longueurs ou déterminer leur rapport ; en les mesurant d'abord séparément, puis bout à bout, nous constatons leur additivité. Sans doute, chacune de ces opérations comporte une certaine erreur, due aux imperfections de la règle et du comparateur ; les traits qui marquent les extrémités de l'étalon ont une épaisseur non négligeable, leur distance varie avec la température, la règle se déforme si on ne la manipule pas avec assez de soin, etc... Si nous traçons un triangle rectangle, et si nous en mesurons les côtés, les trois nombres obtenus ne satisfont pas rigoureusement au théorème de Pythagore. Mais nous pouvons réduire l'écart en améliorant la technique des mesures, en perfectionnant l'étalon et le comparateur, le mode du tracé du triangle, etc. Nous avons la certitude que, s'il nous était possible de mesurer avec un comparateur parfait les côtés d'un triangle tracé par un artiste d'une habileté surhumaine, la somme des carrés des côtés de l'angle droit serait rigoureusement égale au carré de l'hypoténuse. La longueur au sens mathématique est la limite vers laquelle tendent les résultats de

mesures physiques exécutées à l'aide d'instruments de plus en plus précis.

Voilà par quelles opérations de l'esprit nous passons de la notion purement physique de longueur mesurable au concept idéal de longueur mathématique. Des opérations analogues peuvent-elles être faites au sujet du temps ? Il suffit pour cela d'une horloge. On pourrait utiliser l'horloge naturelle que nous fournit le mouvement diurne apparent du soleil, mais pour éviter jusqu'à l'apparence d'un cercle vicieux, on lui préférera ici la plus ancienne des horloges artificielles, la clepsydre, qui fut employée dès le XVIe siècle avant notre ère par les Egyptiens. C'est un vase rempli d'eau, et dont le fond est percé d'un très petit orifice par lequel l'eau peut s'écouler et qu'un opercule permet d'ouvrir ou de fermer à volonté.

Ouvrons l'orifice, l'eau s'écoule en formant une veine liquide stable. Pour que l'expérience soit tout à fait correcte, il faut maintenir constante la pression hydrostatique au niveau de l'orifice, et pour cela, employer un vase de Mariotte ou, plus simplement, maintenir le niveau constant dans le vase en y versant de temps à autre un peu d'eau. Dans ces conditions, la veine liquide s'écoule avec une grande régularité. Si nous convenons de mesurer le temps par le poids de liquide recueilli, nous disposons d'une horloge. L'expérience nous montre que nous pouvons construire une physique et une mécanique cohérentes à l'aide de mesures de temps conduites de cette manière. Ainsi, nous pouvons étudier les lois de la chute des corps, en déterminant d'une part, la hauteur de chute, d'autre part, le temps de la chute. Il ne s'agit pas là d'une allégorie, car c'est à l'aide d'une clepsydre à mercure, dont il ouvrait et fermait l'orifice avec le doigt, que Galilée a démontré que l'espace parcouru par un corps en chute libre était proportionnel au carré du temps. La même méthode permet d'établir les lois de tous les mouvements simples, comme celui du pendule de gravité, et de démontrer expérimentalement l'isochronisme de ses oscillations. Ce n'est pas tout : nous pouvons encore rattacher les résultats relatifs à la chute des corps et au pendule à un même principe élémentaire, dont les conséquences, déduites par une voie mathématique, sont toutes vérifiées par l'expérience.

Mais je crois inutile d'entrer dans plus de détails. Nous avons demandé à notre horloge à eau, non seulement une image matérielle du temps, qui s'écoule lui aussi, mais, ce qui nous importe davantage, une mesure physique du temps. Cette horloge est un instrument imparfait, cela va sans dire ; beaucoup plus imparfait encore que la règle et le comparateur dont nous nous sommes servis à propos des longueurs. Mais pour le temps comme pour la longueur, la mesure nous conduit sans peine à la conception idéale du temps mathématique s'écoulant uniformément comme le liquide d'une clepsydre parfaite, et que l'on représentera par la lettre t lorsqu'on aura à l'introduire dans les équations du mouvement. Quand nous écrivons, avec Galilée, que l'espace parcouru par un corps tombant a pour expression

$$e = 1/2\, gt^2 ,$$

ce que représente la lettre t n'a évidemment rien de commun avec un ordre de succession gravé dans notre mémoire. Il ne s'agit en aucune façon du temps psychologique, mais d'un temps abstrait, proche parent de la longueur mathématique définie plus haut.

Mais comment tant de savants et de philosophes ont-ils pu se tromper à ce point ? L'essentiel n'avait-il pas été dit par cet homme admirable dont une épitaphe de l'Abbaye de Westminster assure qu'il fut l'honneur de l'humanité, Isaac Newton ? On lit en effet dans le livre des *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, paru en 1687, le passage suivant : « Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d'extérieur, coule uniformément et s'appelle durée. Le temps relatif apparent et vulgaire est cette mesure sensible et externe d'une partie de durée quelconque, prise du mouvement : telles sont les mesures d'heures, de jours, de mois, etc... dont on se sert ordinairement à la place du temps vrai [1]. »

Ce texte célèbre a donné lieu à d'innombrables gloses. Pour certains commentateurs, Newton pose ici le temps comme une donnée universelle, toutes les horloges de l'univers pouvant être réglées de telle sorte qu'elles marquent la même heure au même instant. Or, un tel réglage ne serait pas possible si l'on ne pouvait s'assurer de la simultanéité de deux événements, se produisant, l'un sur la terre, l'autre, par exemple, sur un astre de la nébuleuse d'Andromède. Ainsi, selon ces commentateurs, Newton aurait introduit la notion de simultanéité en même temps que celle de temps universel ; or, je ne vois rien de tel dans le passage cité. Le temps dont il parle, absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d'extérieur et qui s'écoule uniformément, possède les attributs du temps abstrait auquel nous sommes parvenus en idéalisant le temps physique mesuré au cours d'expériences sur les mouvements les plus simples, mais aucun des mots employés par Newton n'implique l'idée d'une simultanéité des échelles de temps dans tout l'univers. Quant au temps qu'il appelle relatif et qu'il mesure à l'aide des mouvements, c'est le temps physique fourni soit par une horloge, soit par l'observation des mouvements célestes. Newton n'ignorait pas que ce temps physique n'est qu'une approximation du temps mathématique, parce que les horloges sont imparfaites et que les mouvements célestes peuvent être troublés par des causes diverses. Nous connaissons bien sa pensée sur ce point, nous y reviendrons un peu plus loin.

Newton, a-t-on dit, était absolutiste en théorie et relativiste en pratique. Mais était-il absolutiste au sens que nous donnons aujourd'hui à ce terme, je n'en suis pas convaincu. J'ai déjà dit que l'idée de simultanéité absolue et de temps véritablement universel se transmettant instantanément n'apparaît pas explicitement dans ses ouvrages. Tout ce qu'il dit du temps et l'usage qu'il en fait se rapportent de toute évidence à ce que nous appelons aujourd'hui le temps propre de l'observateur. Newton, qui se proposait d'établir la théorie des mouvements célestes dans le système solaire, où nous savons bien que les effets relativistes

[1] Cette citation ainsi que les suivantes sont empruntées à la traduction de la marquise du Châtelet. Le texte anglais de Motte (1729) serre de plus près le latin de Newton.

sont très petits, n'a pas eu à s'occuper du problème de la transmission du temps d'un système à d'autres systèmes en mouvement par rapport au premier, avec des vitesses relatives considérables. L'idée que ce problème pût se poser un jour ne l'a même pas effleuré. Or, il était trop Anglais pour se soucier beaucoup des généralités et pour construire des systèmes sans nécessité ; il ne philosophait pas comme Descartes pour le plaisir de philosopher ; en revanche, il était meilleur physicien que Descartes. On a fait remonter à Newton le concept de mouvement absolu, rapporté à un repère immobile qu'on a identifié plus tard avec l'éther de Fresnel, et il écrit en effet que l'espace absolu, sans relation avec les choses externes, demeure par sa nature toujours similaire et immobile. Mais nous autres, professeurs de mécanique ou d'astronomie, qui nous disons relativistes, hésitons-nous à tracer au tableau noir un trièdre de cordonnées rectangulaires, Ox, Oy, Oz, que nous déclarons immobile, et auquel nous rapportons les positions successives des corps en mouvement ? Dans notre esprit, cela revient à dire que les mouvements rapportés à ce système obéissent aux lois simples de la mécanique classique. Newton avait-il autre chose en tête quand il écrivait le passage cité plus haut ? Il nous répond lui-même « qu'il n'y a aucun corps véritablement au repos auquel on puisse rapporter les lieux et les mouvements ». On lit, un peu plus loin, qu'« il n'y a de lieux immuables que ceux qui conservent à l'infini dans tous les sens leurs situations respectives ; et ce sont ces lieux qui constituent l'espace que j'appelle immobile ». En rejetant à l'infini le système de référence absolu, Newton ne fait que suivre l'exemple de Copernic, lequel rapporta les mouvements célestes à un système lié aux étoiles, et non à la terre comme le système de Ptolémée. Il n'est pas sans intérêt de rappeler que, dans la théorie de la relativité, le mouvement de rotation de la terre mis en évidence par l'aplatissement de notre globe et par les expériences de Foucault (pendule, gyroscope) se rapporte non à l'espace, forme vide, mais au champ de gravitation créé par les étoiles et les galaxies. Telle est, sur ce point, la différence essentielle entre la pensée de Newton et celle d'Einstein.

Je ne puis m'étendre ici sur la conception relativiste du temps, inséparable de l'espace, et qui a entraîné un profond bouleversement de la science, mais je veux parler d'une autre crise au cours de laquelle on a vu évoluer rapidement la notion de temps astronomique. Et me voilà conduit tout naturellement à citer encore une fois Newton : « On distingue en astronomie le temps absolu du temps relatif par l'équation du temps. Car les jours naturels sont inégaux, quoiqu'on les prenne communément pour une mesure égale du temps ; et les astronomes corrigent cette inégalité afin de mesurer les mouvements célestes par un temps plus exact. Il est très possible qu'il n'y ait point de mouvement parfaitement égal, qui puisse servir à la mesure exacte du temps, car tous les mouvements peuvent être accélérés ou retardés, mais le temps absolu doit couler toujours de la même manière. »

Pour pénétrer le sens de cette profonde remarque, de cette véritable prophétie, il faut nous remémorer la suite d'opérations à laquelle se

livrent les astronomes pour déterminer le temps. Pour simplifier cet exposé, je supposerai qu'ils se contentent d'observer le soleil à l'aide d'un cadran solaire soigneusement établi ; le cas des étoiles observées à la lunette méridienne se développerait de la même manière, mais il exigerait de plus longues explications. Les profanes s'imaginent que les retours de l'ombre sur la ligne méridienne du cadran solaire sont régulièrement espacés dans le temps. C'est ce que croyaient les bourgeois de Paris, il y a un siècle et demi. Ils s'assemblaient dans le jardin du Palais Royal, autour d'un petit canon de bronze dont le coup partait à midi juste, une lentille formant l'image du soleil à cet instant précis sur la lumière du canon. Chacun tenait à la main un beau chronomètre en or de Bréguet, l'horloger à la mode. Au coup de midi, ils remettaient les précieux chronomètres à l'heure, en manifestant chaque jour le même étonnement, un peu scandalisé, d'avoir à déplacer les aiguilles comme si les jours étaient inégaux ! A la mi-septembre, il fallait avancer les montres d'une vingtaine de secondes chaque jour à midi, tandis qu'à Noël, il fallait les retarder d'une demi-minute.

Ces anomalies qui choquaient les Parisiens et leur faisait concevoir des doutes sur l'habileté des horlogers, étaient bien connues des astronomes, lesquels en tenaient compte dès le XVIIe siècle, ainsi que Newton le rapporte. Ils disaient que le temps solaire présente des inégalités, et que pour en déduire le temps uniforme, absolu, idéal, il faut le corriger de ces inégalités. Or, seule, la théorie peut nous en fournir la valeur. La mécanique céleste nous fait connaître le mouvement de rotation diurne de la terre et son mouvement de translation annuel autour du soleil, en fonction d'un certain paramètre désigné par la lettre t, et qui n'est autre que le temps absolu, vrai et mathématique de Newton. Elle nous apprend ainsi que, le 25 novembre 1955, le soleil passe au méridien de Greenwich, non à 12 h, mais à 11 h 46 m 50,66 s, dans l'échelle de temps réputée uniforme adoptée par les astronomes. Tel est donc le temps que devrait marquer à cet instant une horloge parfaite, si l'homme était capable d'en construire une. L'écart de 13 m 9,34 s est ce que Newton appelait l'équation du temps, et ce que nous désignons encore de ce nom.

Pour les lecteurs que ne rebute pas le langage mathématique, j'ouvrirai ici une parenthèse, afin d'exposer sous une forme plus technique et plus détaillée ce que je viens de présenter en termes familiers. Nous supposerons que les forces qui s'exercent entre les corps du système solaire obéissent à la loi de la gravitation universelle, c'est-à-dire que deux particules élémentaires s'attirent en raison de leurs masses et en raison inverse du carré de leur distance. Nous admettrons en outre l'exactitude rigoureuse des principes de la dynamique, et notamment, l'égalité vectorielle de la force exercée sur une particule élémentaire et du produit de l'accélération de cette particule par sa masse. Cette égalité s'exprime par des équations différentielles du second ordre par rapport au temps t absolu et uniforme, équations faisant intervenir les coordonnées des corps mobiles par rapport au trièdre Ox, Oy, Oz en repos dit absolu. C'est ici que le temps t s'introduit dans la théorie. L'intégration

des équations différentielles fait connaître pour chaque instant t la position de chacun des corps du système solaire par rapport au soleil, et, en particulier, la valeur de la longitude de la terre dans l'écliptique. D'autre part, la théorie du mouvement de la terre autour de son centre de gravité fait connaître au même instant la position de l'axe de rotation, ainsi que le temps sidéral. L'ensemble de ces inconnues : longitude du soleil, paramètres situant l'axe du monde, temps sidéral, étant calculé, il est facile d'en déduire la valeur théorique de t pour chaque passage du soleil au méridien de Greenwich. Les instants calculés ne sont pas équidistants, mais leurs intervalles variables étant désormais connus, ils déterminent après correction une échelle physique de temps que nous sommes en droit de considérer comme une bonne représentation de l'échelle idéale de temps uniforme.

Disons plutôt que les astronomes étaient en droit de la considérer comme uniforme jusqu'aux premières années de ce siècle, car une découverte capitale est venue changer la face des choses, celle des irrégularités de la rotation de la terre. Lorsque Newton mettait en doute l'existence d'un mouvement parfaitement uniforme qui pût servir à la mesure physique du temps, il rejoignait Képler, qui ne croyait pas à la parfaite régularité de la rotation de la terre. Mais on avait oublié les réserves formulées par ces grands précurseurs, et, après eux, par Lalande, qui ne jugeait pas impossibles des variations du temps terrestre allant à 2 ou 3 s par an. A la fin du XIXe siècle, on croyait si fermement à l'invariabilité de la rotation de la terre qu'on jugeait inutile d'y faire la moindre allusion dans les traités d'astronomie, comme si la chose allait de soi.

Et pourtant, le mouvement axial de la terre est soumis à des variations de vitesse angulaire telles que notre globe ne constitue plus, à nos yeux, qu'une horloge de médiocre qualité. Comment les astronomes s'en sont-ils aperçus ? C'est en comparant sa marche à celle d'autres horloges naturelles, c'est-à-dire à des mouvements célestes indépendants de la rotation de la terre, comme les mouvements orbitaux de la lune autour de la terre et des planètes autour du soleil. Un astre mobile fait connaître l'heure par sa position sur son orbite, comme le fait une aiguille sur un cadran. Ainsi, d'après les tables du soleil, le 26 novembre 1955 à 12 h 0 m 0 s en temps civil de Greenwich, la longitude du soleil était de 243° 26′ 33″, 80. En retournant cette proposition, nous dirons qu'une horloge parfaite aurait marqué midi à Greenwich ce jour-là quand l'observation nous aurait appris que le soleil passait exactement par la longitude en question. Or, une détermination du temps conduite de cette manière ne fait intervenir en rien la rotation de la terre, elle peut donc servir à contrôler le temps terrestre. Elle serait difficile dans le cas du soleil, mais elle est plus facile dans le cas de la lune, parce que notre satellite occulte fréquemment des étoiles, et que l'on peut situer l'occultation avec une assez bonne précision dans l'échelle de temps terrestre. C'est ce que firent notamment les astronomes de l'Observatoire de Paris dès sa création en 1667. On peut, d'autre part, calculer l'instant des occultations en partant des tables de la lune. Si le calcul et

l'observation ne sont pas d'accord, c'est que le mouvement de la lune détermine une échelle de temps différente de l'échelle terrestre. Pour départager ces échelles, il faut en utiliser une troisième, par exemple celle que détermine le mouvement d'une planète. C'est à la planète Mercure que l'on s'est adressé d'abord, parce que ses passages devant le soleil, dont la première observation fut faite en 1631 par Gassendi, peuvent être traités de la même manière que les occultations d'étoiles par la lune. La comparaison de l'échelle de temps terrestre aux échelles déterminées par les mouvements de la lune et de Mercure a donc été entreprise pour les trois derniers siècles, et elle a été concluante. Elle a été complétée par l'étude d'autres mouvements orbitaux. Or, ceux de la lune, de Mercure, de Vénus, de la Terre, s'accordent bien entre eux aux erreurs d'observation près, mais l'échelle de temps terrestre diffère notablement des quatre autres, et c'est elle qu'il convient de rejeter.

Ce résultat qui parut surprenant il y a trente ans était cependant aisé à prévoir. La terre n'est pas le solide parfait de la théorie ; elle comporte des masses fluides considérables ; il n'est même pas certain que la croûte solide adhère à son noyau. Les marées consomment une partie non négligeable de son énergie de rotation — en d'autres termes, freinent son mouvement axial. En effet, le jour solaire s'est allongé de trois centièmes de seconde depuis le temps des astronomes grecs, quantité petite, mais dont l'accumulation au cours des siècles se traduit par des heures. On peut prédire que, dans mille ans, l'horloge terrestre aura pris un retard d'une heure sur des horloges de temps uniforme. Celles-ci marqueront en moyenne 13 h de temps uniforme, au lieu de 12, quand le soleil passera au méridien de Greenwich. Dans quatorze siècles, la locution populaire : chercher midi à quatorze heures, aura perdu toute sa saveur, si le temps uniforme préconisé par les astronomes de notre génération reste en vigueur jusqu'à ce lointain avenir.

A cette variation séculaire s'ajoutent des variations capricieuses, dont on a pu reconstituer l'allure pour les derniers siècles, grâce, principalement, aux observations d'occultations d'étoiles par la lune retrouvées dans les archives des grands observatoires. Après avoir éliminé la variation séculaire, on constate que l'horloge terrestre avançait de 23 s sur les horloges planétaires et lunaire vers l'année 1680 ; qu'elle était en retard de 27 s vers 1780, en avance de nouveau de 30 s vers 1900 ; en ce moment (1955) elle est en avance de plus de 42 s. Enfin, le temps terrestre présente des inégalités saisonnières dont l'amplitude est faible, mais qui se traduisent pourtant par des variations sensibles de la durée du jour.

Ainsi, les corrections apportées par les astronomes dès l'époque de Newton pour régulariser l'échelle de temps fournie par les passages du soleil (ou des étoiles) ne suffisaient pas, car elles avaient été calculées en supposant uniforme la rotation de la terre. Malheureusement, nous ne sommes pas en état d'en prévoir les fluctuations irrégulières ; nous les déduisons à posteriori des occultations d'étoiles par la lune, mais nous ne pouvons en tenir compte à l'avance dans la prédiction de ces phénomènes, ni dans celle des éclipses.

A propos des éclipses, signalons une curieuse conséquence de l'allongement séculaire du jour. Si nous utilisions sans précaution les observations contemporaines pour calculer les éclipses sur lesquelles s'appuie toute la chronologie des dynasties égyptiennes, nous commettrions de graves erreurs. En effet, pour chaque heure de retard prise par la terre depuis ces temps reculés, le lieu de l'éclipse se déplace de 15° sur notre globe, ce qui peut suffire à le faire passer d'un continent dans un autre ! Or, le retard varie comme le carré du temps : il atteint une heure pour 1000 ans, quatre heures pour 2000 ans, etc...

A la suite des découvertes dont je viens de résumer l'enchaînement, il a paru nécessaire de modifier la définition de l'unité de temps. La définition admise jusqu'à présent rattachait la seconde au jour solaire moyen dont elle était la 86.400e partie. Mais, c'est un bien mauvais étalon que ce jour solaire moyen dont les variations atteignent un dix-millionnième au cours d'une vie d'homme. Les astronomes ont donc proposé de rattacher la seconde à l'année tropique, c'est-à-dire au mouvement orbital de la terre et non plus à son mouvement de rotation. La seconde sera désormais la fraction 1/31.556.925,975 de l'année tropique pour 1900,0. L'année tropique est, rappelons-le, l'intervalle de deux équinoxes de printemps consécutifs ; elle décroît de 0,530 s par siècle, mais il est facile de tenir compte de cette variation. Ainsi, une horloge parfaite devrait compter 31.556.925 s plus 679 millièmes de seconde, entre les équinoxes de printemps de 1955 et 1956.

Sans doute, à l'étalon de temps traditionnel auquel nous ne pouvons plus nous fier, se substitue un nouvel étalon astronomique, certainement plus fidèle. Mais le mouvement orbital de la lune et ceux des planètes nous livrent-ils enfin le temps « absolu, vrai, mathématique » à la recherche duquel les astronomes sont lancés depuis Newton ? Il serait bien téméraire de l'affirmer. Nous ne sommes pas certains de connaître toutes les forces qui régissent les mouvements célestes ; nous avons de sérieuses raisons de penser que la masse du soleil, et peut-être celle des planètes, sont variables. Nous ne croyons plus que les corps célestes se déplacent sans frottement dans un espace vide de matière. Les physiciens ont découvert la pression de radiation, qui agit sur les corps éclairés par le soleil à l'encontre de l'attraction solaire, ce qui nous vaut le spectacle impressionnant des queues cométaires. Les hypothèses simples sur lesquelles repose la théorie des planètes ne nous inspirent donc plus la même confiance qu'autrefois. La mécanique céleste est, a-t-on dit, le chef-d'œuvre de l'esprit humain, mais, comme toutes les œuvres humaines, elle est certainement imparfaite. Le temps fourni par les mouvements orbitaux, auquel on a donné le nom bizarre de temps des éphémérides, est sans aucun doute plus proche du temps uniforme que le temps terrestre, mais nos successeurs lui découvriront certainement des inégalités et des fluctuations. L'astronomie est une entreprise admirable, certes, mais, depuis ses origines, c'est une entreprise « sans cesse recommencée ».

Au cours des dernières années, les physiciens, qui ont conscience de nos difficultés, sont venus à notre secours. Ils se sont proposé de cons-

truire des horloges réglées par des phénomènes physiques mieux déterminés que les oscillations d'un pendule et indépendants des effets des frottements, de l'usure, et des inégalités des engrenages. Ils nous ont proposé d'abord l'horloge à quartz. C'est un oscillateur électrique dont l'organe réglant est un quartz piézoélectrique placé dans un champ électrique oscillant, qu'il entretient par sa fréquence propre. Grâce à un ingénieux dispositif d'amplification et de démultiplication, l'horloge débite un courant alternatif de fréquence stable, à raison de 1000 cycles par seconde. L'appareil fournit ainsi une division du temps plus fine, et par conséquent plus favorable aux mesures de haute précision, que l'horloge à balancier ; le fonctionnement en est aussi beaucoup plus régulier. Malheureusement, la fréquence du circuit oscillant varie avec le temps, très lentement il est vrai, et très régulièrement, mais il est nécessaire de déterminer sa dérive par de fréquentes comparaisons astronomiques. Le problème n'est donc pas résolu par l'horloge à quartz seule, mais il le sera peut-être dans un avenir proche grâce aux étalons moléculaires ou atomiques de fréquence associés à des horloges à quartz.

On sait que les atomes et les molécules peuvent émettre ou absorber certaines radiations dans le domaine de la lumière visible ainsi que dans celui de l'infra-rouge et de l'ultra-violet. Ces radiations fournissent, au spectroscope, les raies ou bandes spectrales caractéristiques des divers états de l'atome ou de la molécule. En outre, on sait aujourd'hui que ce spectre peut s'étendre au domaine des ondes radioélectriques, millimétriques ou centimétriques. Cette nouvelle spectroscopie en est à ses débuts ; elle est encore très pauvre, puisqu'on ne connaît qu'un petit nombre de raies électriques, en regard des dizaines de milliers de raies identifiées dans le spectre visible, mais elle fait entrevoir toute une famille de méthodes nouvelles pour la production de fréquences radioélectriques stables, correspondant à des fréquences propres des atomes ou des molécules. En effet, grâce aux méthodes de l'électronique, ces radiations peuvent être utilisées pour faire entrer en résonance des circuits électriques, propriété précieuse que ne possèdent pas les ondes lumineuses, dont la fréquence n'est pas directement accessible et ne peut être décelée.

Il ne fait aucun doute pour personne que les principes sur lesquels reposait depuis trois siècles la mesure du temps nous ont donné tout ce qu'ils pouvaient donner, mais qu'une ère nouvelle s'ouvre devant nous. Déjà des résultats encourageants ont été obtenus avec les transitions moléculaires de l'ammoniaque, et les transitions atomiques du césium. Cette année, au congrès de l'Union astronomique internationale, à Dublin, Essen a présenté une horloge à césium dont la fréquence de résonance est

$$9.192.631.830 \pm 10 \text{ c/s},$$

l'incertitude correspondant à quelques centièmes de seconde par an, alors que les écarts de marche annuels de l'horloge terre ont atteint parfois quelques secondes.

Une question nouvelle se pose alors : les phénomènes atomiques ou moléculaires sont-ils insensibles à toute action extérieure, leurs cycles

représentent-ils pour nous les atomes de temps rigoureusement identiques et invariables de Leibniz ? Ces atomes de temps sont-ils à l'épreuve du temps, n'évoluent-ils pas avec l'âge de l'univers ? Les physiciens qui, autrefois, voyaient dans les lois naturelles des décrets éternels de la Providence, et qui naguère encore, professaient leur universalité, se montrent moins affirmatifs aujourd'hui. Le principe du déterminisme, fortement ébranlé par les développements de la physique atomique et quantique, tend à reprendre une partie de son autorité d'antan, sous l'impulsion de Louis de Broglie et de son école, mais il ne recouvrera probablement jamais le caractère inconditionnel qu'il avait au XIXe siècle, le siècle de l'absolutisme scientifique par excellence.

Quoi qu'il en soit, le temps défini et mesuré par les mouvements ne répond plus à nos exigences. Le temps mesuré par les transitions moléculaires ou atomiques apportera certainement un palliatif aux imperfections du temps astronomique, mais quel sort lui est réservé, nul n'en sait rien. Nous n'en sommes plus à demander à la science la stabilité et la continuité que nous refuse le monde inquiet auquel nous sommes enchaînés.

Au surplus, il faut vivre avec son époque. Jusqu'à présent, les astronomes ont étudié l'univers en vue de déterminer le temps, indispensable aux physiciens. Désormais, ils utiliseront le temps des physiciens, réputé uniforme jusqu'à preuve du contraire, pour étudier les mouvements célestes. Grâce à ce renfort, ils découvriront des phénomènes aujourd'hui insoupçonnés. Pourquoi seraient-ils pessimistes ? Leur pensée, qui évolue dans la familiarité d'espaces et de durées en apparence illimités traversera cette révolution sans s'en émouvoir.

Quant au public, je suppose que nos occupations ne sont pour lui que des jeux innocents, elles ne peuvent lui faire de mal ; elle ne mettent pas en danger la sécurité du monde.