

Qu'est-ce qu'une échelle temporelle?

Dans notre premier article, nous avons expliqué comment un phénomène bien déterminé et bien observable (à un certain niveau de précision) peut servir d'horloge. L'horloge est un dispositif permettant de manifester et d'exploiter la loi temporelle du phénomène. Pour le faire, l'un des moyens les plus commodes est de lui incorporer une échelle temporelle. Celle-ci peut être caractérisée en deux temps :

a) Il s'agit tout d'abord d'une échelle simplement graduée, c'est-à-dire d'une échelle dont les degrés successifs correspondent chacun de façon univoque à l'un des états successifs du phénomène. Prenons le cas d'une horloge à eau, d'une clepsydre pour exemple. Le phénomène est ici représenté par l'abaissement continu du niveau de l'eau dans un récipient qui se vide plus ou moins régulièrement. Pour construire une échelle simplement graduée, il suffit de marquer à intervalles suffisamment rapprochés la suite de ces niveaux et de les numéroter.

De façon plus générale, supposons comme dans notre premier article que λ soit la valeur d'un paramètre caractérisant l'état du phénomène. IL suffira d'observer à intervalles suffisamment rapprochés une suite de valeurs de λ , de les noter et enfin de les numéroter. La suite de ces valeurs munies des numéros qui leur correspondent est une échelle du genre envisagé.

b) Dans l'échelle dont il vient d'être question, il n'est aucunement nécessaire que la durée d'évolution du phénomène ait été la même chaque fois que l'on a passé d'un degré de l'échelle au suivant. Mais si cette dernière condition est réalisée, on passe de l'échelle simplement graduée à l'échelle temporelle authentique.

Pour une horloge à eau qui n'a pas été construite de telle façon que son écoulement soit régulier, il ne suffit naturellement pas de subdiviser la hauteur d'eau maximale en intervalles réguliers.

Le problème de l'écoulement régulier et celui de l'échelle temporelle authentique ne sont d'ailleurs que deux faces du même problème.

Bien entendu, le problème de l'échelle temporelle authentique ne se pose pas véritablement si l'on dispose préalablement d'une horloge d'observation.

C'est en l'absence d'une telle horloge qu'il est intéressant de le poser et d'examiner s'il peut être résolu. Le voici donc clairement énoncé :

Est-il possible pour un phénomène bien donné (bien déterminé et bien observable) d'établir une échelle temporelle authentique sans disposer d'une horloge d'observation ([note1](#)) ? A première vue, le problème paraît insoluble. Il l'est en effet si l'on ne dispose que d'un seul phénomène observable et si on ne fait pas quelques présuppositions supplémentaires.

Nous supposerons que le phénomène en question est répétable en tout ou en partie, c'est-à-dire que l'on a la faculté de le répéter dans son ensemble ou dans toute partie de son évolution comprise entre deux états déterminés. Nous supposerons ensuite qu'on dispose d'un second phénomène, analogue ou non au premier, mais répétable dans les mêmes conditions.

Rappelons que chacun de ces phénomènes, une fois muni d'une échelle temporelle authentique, peut être utilisé comme une horloge. Voici comment il faut alors procéder pour leur conférer cette fonction.

Par commodité, nommons ces phénomènes le phénomène R et le phénomène S. Arrangeons-nous (les présuppositions le permettent) pour les faire commencer et finir en même temps et nommons alors τ leur durée commune. Nous pouvons aussi supposer que, pour toute cette durée, ils aient été munis d'une échelle simple commune, c.-à-d. d'une échelle dont les degrés correspondent pour l'un et pour l'autre à des états contemporains. En durées authentiques, cette échelle ira donc de 0 à τ . Montrons maintenant comment le point $\tau/2$ peut y être désigné. Supposons que les deux phénomènes aient évolué simultanément, mais chacun de son côté, jusqu'en l'état marqué α de leur échelle simple commune. Arrêtons-les tous les deux. Amenons alors S à 0, puis faisons-les évoluer de nouveau simultanément, R à partir de α et S à partir de 0. Appelons α' le point de leur échelle commune correspondant à l'état S lorsque R est arrivé au terme de son évolution.

On comprend sans peine que le point $\tau/2$ doit venir se placer entre α et α' . Il est ensuite facile d'imaginer une procédure d'approximations successives fixant le point $\tau/2$ avec une précision croissante tant que les marges inévitables d'imprécision ne rendent pas la poursuite de la procédure illusoire. Il suffit en effet de remplacer la lettre α de tout à l'heure par une lettre β comprise entre α et α' , et ainsi de suite. Nous venons ainsi de montrer comment une durée authentique τ peut être authentiquement partagée en deux durées égales que nous appellerons τ' et τ'' , τ' allant de 0 à $\tau/2$ et τ'' de $\tau/2$ à τ .

Les trois points 0 , $\tau/2$ et τ peuvent être envisagés comme un embryon d'échelle temporelle authentique commune à R et à S , qui viendrait se superposer à l'échelle simple déjà commune aux deux phénomènes. Cette échelle temporelle peut-elle être complétée ? Il suffirait, bien entendu, d'appliquer la même procédure de « dichotomie » aux intervalles τ' et τ'' . L'échelle en construction comprendrait alors les points 0 , $\tau/4$, $\tau/2$, $3\tau/4$ et τ . En principe, l'opération pourrait être poursuivie tant que, comme plus haut, les marges d'imprécision ne la rendraient pas inopérante.

(IL faut d'ailleurs bien se rendre compte que, quelles que soient les circonstances dans lesquelles on opère, jamais l'échelle ne peut être réellement établie avec une précision arbitrairement grande. On reste fatalement en dessous d'un niveau, d'un plafond de précision qui dépend de la situation dans laquelle on opère et plus spécialement de l'ensemble des moyens techniques qu'elle comporte. On aura remarqué qu'une échelle temporelle ainsi établie ne procéderait pas selon un système décimal de numérotation, mais selon le système dual. La chose est sans importance, car le passage de l'un des systèmes à l'autre est une simple affaire d'arithmétique.)

Les considérations précédentes peuvent donner lieu à réflexion. Elles mettent tout d'abord en évidence qu'il faut faire une nette différence entre une échelle qu'on attribuerait arbitrairement à un phénomène et une échelle temporelle authentique. On entend parfois affirmer que toute échelle, pourvu qu'elle soit bien en correspondance avec la suite des états du phénomène, *doit pouvoir servir d'échelle temporelle*. On justifie cette affirmation en disant que, pour un phénomène donné et en l'absence de toute horloge d'observation, on ne dispose d'aucun moyen de reconnaître que telle ou telle échelle porte en elle les caractères d'une échelle temporelle authentique, - et que si l'on s'en rapporte à une horloge d'observation, c'est pour celle-ci qu'une simple échelle a été élevée par convention au rôle d'échelle temporelle. Nous le savons maintenant, c'est là une opinion erronée. Il est parfaitement possible qu'une horloge comporte une échelle temporelle non conventionnelle (si ce n'est dans le choix de l'unité de durée), puisqu'une telle échelle peut être construite avec l'aide, il est vrai, d'un second phénomène adéquatement choisi, sans l'aide d'aucune horloge préalable. C'est là une constatation très importante, car elle permet de dissiper les doutes qu'on émet souvent sur le caractère objectif de la mesure du temps par les horloges. Le fait que, pour remplacer une horloge d'observation, il suffise d'avoir recours à un second phénomène répétable (d'ailleurs quelconque, pourvu

qu'il satisfasse aux conditions énoncées plus haut) mérite aussi d'être souligné. On voit que c'est par sa mise en correspondance efficace et durable des phénomènes que s'assure pour nous la valeur objective du temps mesuré.

Deux phénomènes suffisent, avons-nous dit, mais rien ne s'oppose en principe à ce que la solidarité temporelle soit étendue à trois, quatre, n phénomènes en évolution simultanée. C'est ainsi que les expériences les plus élémentaires sur lesquelles l'édification d'une horloge peut se baser viennent à l'appui de l'idée que nous portons tous en nous d'un temps qui devrait pouvoir servir de métronome universel à l'ensemble des phénomènes dont un observateur peut prendre connaissance.

Pour y voir encore plus clair, il faudrait analyser aussi les présuppositions faites sur les phénomènes R et S. L'une d'elles en particulier peut encore donner lieu à certaines objections et à certaines remarques de principe. Comment peut-on s'assurer qu'un phénomène est répétable ? L'objection suivante vient d'elle-même à l'esprit : pour avoir le droit d'affirmer qu'un phénomène est répétable, il faudrait pouvoir comparer son évolution passée avec son évolution présente et avec son évolution future. Pour réussir, ne faudrait-il pas l'avoir observé, l'observer maintenant et l'observer encore par la suite en ayant la possibilité de noter chaque fois ce qu'a été, ce qu'est et ce que sera son évolution temporelle ? N'est-il pas exclu que la chose puisse se faire sans une horloge d'observation ? Encore une fois, l'horloge n'est pas indispensable. Mais l'analyse révèle un autre aspect de l'argumentation élémentaire (et souvent même implicite) sur laquelle l'emploi des horloges se fonde. Les deux moments suivants sont particulièrement à relever :

A) Si, à partir de certaines conditions initiales, d'un certain contexte initial C , un phénomène a évolué d'un état initial α à un état final ω on posera qu'il ne peut que se répéter tel quel s'il reprend son cours à partir du même état initial α dans le même contexte initial C .

On peut voir dans cette règle une application du principe dit de raison suffisante dans la forme suivante : il n'y a pas de raison, dans les conditions présupposées, pour que le phénomène prenne la seconde fois un autre cours que la première fois. On peut y voir aussi une application du principe du déterminisme qui informe toute la science classique. On sait qu'une certaine conception de la probabilité fait échec à ce dernier principe, trouvant un champ d'application efficace dans les théories quantiques. Mais il n'est pas justifié de chercher à en tenir compte pour les dispositifs et les phénomènes dont on se sert dans la

mesure du temps. Il n'en est pas moins vrai que dans l'application de cette « règle », l'évaluation des contextes initiaux reste sujette parfois (pour ce qu'on exige d'elle) à des études complémentaires. Nous y reviendrons un peu plus bas.

Dans la pratique, c'est souvent par les conséquences qu'on en juge. La seconde règle qui va suivre permet cependant d'aller plus loin dans l'affirmation. B) Supposons qu'on ait jugé les conditions remplies pour qu'un phénomène R soit répétable. Cette hypothèse peut être éprouvée à l'aide d'un second phénomène, jugé lui aussi répétable. Supposons qu'ils aient été mis en correspondance par l'intermédiaire d'une échelle, d'ailleurs quelconque (comme plus haut). IL suffit alors de les observer simultanément, se déroulant à partir de deux états initiaux correspondants.

1. Si leur mise en correspondance est altérée, c'est que l'un au moins des deux phénomènes ne s'est pas répété tel quel.
2. Si leur mise en correspondance n'est pas altérée, deux éventualités restent en ligne:
 - Ou bien le déroulement des deux phénomènes à la fois n'a pas subi d'altération. Dans ce cas, et si rien ne change, on peut en conclure sans trop de risque qu'ils sont répétables l'un et l'autre.
 - Ou bien le déroulement s'est altéré pour l'un et pour l'autre. S'il n'est pas improbable qu'une certaine altération puisse les affecter l'un et l'autre, il est en revanche extrêmement improbable que cette altération reste exactement la même pour les deux à la fois. Cette éventualité est même si improbable qu'elle peut être écartée sans risque pratique d'erreur.

C'est là le raisonnement par l'improbable, dont on fait un usage répété dans la plupart des problèmes délicats de la mesure du temps. Il arrive même, tellement il s'impose, qu'il reste comme sous-jacent. Il s'étend de lui-même à plus de deux phénomènes et prend d'autant plus de force que le nombre des dispositifs entrant en compétition s'accroît.

C'est donc sur la foi de ce raisonnement qu'on peut décider dans la dernière des éventualités envisagées que les deux phénomènes R et S ont toutes chances d'être l'un et l'autre répétables.

Dans notre premier article, nous avons cherché à dégager l'idée générale de l'horloge. Dans cet article-ci, notre intention n'est pas d'analyser toutes les circonstances dont la réunion permet de passer de cette idée générale à la

réalisation de telle ou telle horloge. Elle est surtout de faire saisir que la mesure du temps n'est pas affaire de simple convention ; tout ce qui vient d'être dit pourrait être abondamment illustré par l'exemple des horloges à écoulement, des horloges à eau ou à mercure. A ce niveau élémentaire déjà, et si éloigné qu'on soit encore des hautes précisions, il est en notre pouvoir d'assurer le caractère objectif du temps qu'on mesure. Il suffit pour cela de faire appel à la solidarité temporelle des phénomènes, sans laquelle l'univers n'aurait d'ailleurs aucune stabilité. C'est là la vérité parfois méconnue et contestée que nous entendions mettre en évidence.

Il faut cependant reconnaître que la fabrication des montres et des horloges satisfaisant collectivement à certaines exigences de précision a été toute dominée par une circonstance singulière : celle de l'existence de l'horloge privilégiée que représente le mouvement apparent de la voûte céleste et des étoiles fixes qui lui paraissent attachées. L'examen de cette circonstance particulière semblera tout d'abord nous éloigner des considérations précédentes. Mais l'étude des conditions dans lesquelles se réalisent les hautes précisions nous y ramènera. Nous pourrons alors en mesurer la portée à la fois du côté pratique et du côté théorique.

Note 1 Bien entendu, lorsque nous parlons d'un phénomène bien déterminé et bien observable, il faut toujours sous-entendre que le phénomène n'est déterminé et observable qu'à un certain niveau de précision.