



9 – L’instrument et les expériences fondateurs de la chronométrie

Jean Stratonovitch

► To cite this version:

Jean Stratonovitch. 9 – L’instrument et les expériences fondateurs de la chronométrie: le panel instrumental de la relativité restreinte n’est pas minimal. 2015. hal-01247019

HAL Id: hal-01247019

<https://hal.science/hal-01247019>

Preprint submitted on 21 Dec 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

L'INSTRUMENT ET LES EXPÉRIENCES FONDATEURS DE LA CHRONOMÉTRIE

.....

Le panel instrumental de la relativité restreinte n'est pas minimal

Jean Stratonovitch

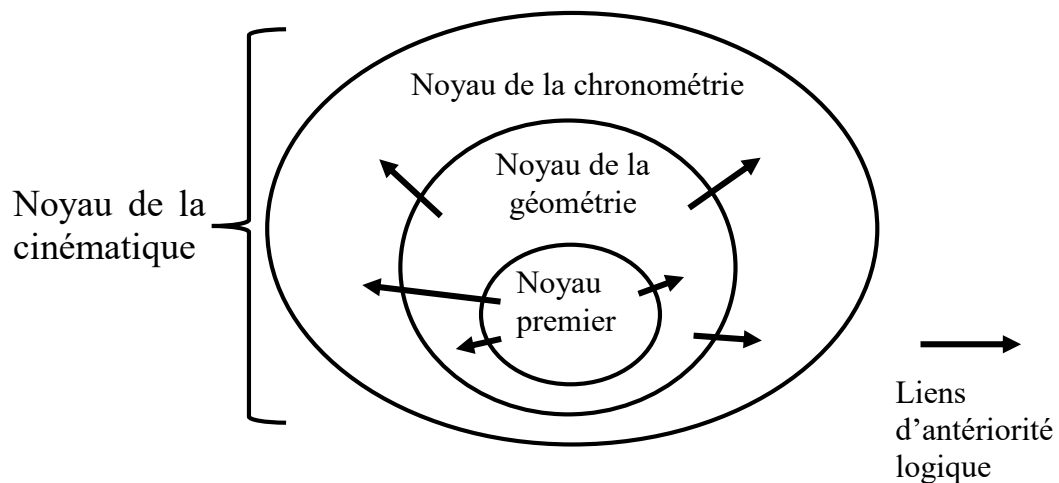
Nous avons constaté dans l'article *la Bizarre Disparité des instruments de la relativité restreinte*

- que l'horloge einsteinienne, réduite à un seul point, est une illusion d'instrument, qui ne fonde sa validité sur aucune loi physique ;
- qu'Einstein aurait pu définir d'au moins deux façons différentes des horloges théoriques effectives, l'horloge à lumière et l'horloge inertielle ;
- mais qu'une horloge correctement définie, et donc non ponctuelle, place la théorie devant une contradiction épistémologique ;
- et que s'il lui substitue une « horloge » vide, c'est dans l'intention de respecter l'exigence de fondation sur l'instrument et l'expérience, ce à quoi il ne peut évidemment pas parvenir avec un tel semblant d'instrument.

Dans le présent article nous nous efforcerons de déterminer quel est ou quels sont ou les instruments du noyau de la chronométrie conformes aux contraintes développées dans l'article *Cahier des exigences d'une axiomatisation de la cinématique*.

.....

1 – LE CONTEXTE AU SORTIR DE L'AXIOMATISATION DE LA GÉOMÉTRIE



NOYAU	INSTRUMENT(S)	EXPÉRIENCE(S)
Noyau premier	Le point historicisé	<ul style="list-style-type: none"> – Le repérage de la coïncidence instantanée, qui construit le concept d'instant local. – Le repérage du lien causal, qui construit l'ordre chronologique – le temps non mesuré – nécessaire à la réalisation d'expériences de géométrie.
Noyau de la géométrie	Le corps mémoforme au repos galiléen	– La superposition durable de deux corps mémoformes, qui permet de construire la géométrie
Noyau de la chronométrie	?	?

2 - L'HORLOGE EFFECTIVE ET MINIMALE DU NOYAU DE LA CHRONOMÉTRIE

Au sortir de l'axiomatisation du noyau de la géométrie, les notions dont nous disposons permettent de décrire les mouvements de points historicisés relativement à un espace galiléen, en utilisant comme variables leurs chronologies. Dans ce contexte, l'extension conceptuelle minimale qui permettra de définir une horloge effective et minimale – une **horloge première**, donc – est celle qui permettra de décider, parmi tous ces mouvements, lesquels sont réguliers.

Pour ce qui est de la modélisation axiomatique, les horloges premières sont donc des ensembles particuliers de points historicisés, dont les passages successifs en un lieu d'un espace galiléen définissent des instants locaux « régulièrement espacés ».

Or depuis Galilée, nous savons quels sont les objets qui, relativement à un espace galiléen, ont des mouvements qui peuvent être qualifiés de réguliers : ce sont ceux sur lesquels aucune action n'est exercée, autrement dit les objets en **mouvement inertiel**. Le principe de Galilée, étendu aux mouvements inertiels en général, implique et engendre une définition du temps mesuré.

D'habitude, on réserve l'appellation « mouvement inertiel » à des mouvements rectilignes uniformes. Je m'écarte de cette définition stricte en considérant comme « inertiel » par exemple le mouvement de rotation sur lui-même d'un objet qui n'est soumis à aucune action. La loi de conservation du moment cinétique dérive directement de celle de conservation de la quantité de mouvement et il est clair que tous les mouvements inertiels au sens où je l'entends forment une catégorie qui a son homogénéité. Ne parle-t-on pas, d'ailleurs, de volant d'inertie ou de moment d'inertie ?

Les mouvements inertiels relativement à un espace galiléen sont réguliers les uns par rapport aux autres. Le temps qu'ils définissent est celui de la conservation de la quantité de mouvement, d'où découle la conservation du moment cinétique.

Tous les objets en mouvement inertiel sont des horloges et à ce titre se valent, mais nous n'avons aucun intérêt à choisir les mouvements inertiels généraux, qui, parce qu'ils combinent

translation et rotation, sont inutilement compliqués. Deux sortes d'horloges inertielles simples peuvent retenir notre attention.

– Les **horloges inertielles tournantes**. Ce sont des objets ayant une symétrie de révolution, par exemple des cylindres de révolution, globalement immobiles relativement à l'espace galiléen depuis lequel on les considère, et animés d'un mouvement inertiel de rotation autour de leur axe. Ils définissent des durées proportionnelles, pour chacun d'eux, au nombre de tours qu'il fait.

– Les **horloges inertielles glissantes**. Ce sont des objets au repos galiléen, et dont les vitesses relativement à l'espace galiléen depuis lequel on les considère ne sont pas nulles. Ils sont donc animés de mouvements de translation et définissent des durées proportionnelles, pour chacun d'eux, aux longueurs des parcours de ses points.

Qu'elles soient glissantes ou tournantes, les horloges inertielles, ayant des mouvements réguliers les unes par rapport aux autres, définissent la même égalité des durées et donc les mêmes classes d'équivalence modulo cette égalité, autrement dit les mêmes durées.

L'horloge glissante est en fait constituée de deux corps mémoformes au repos galiléen, celui qui est en mouvement relativement à l'espace galiléen (E), et l'espace (E) lui-même. C'est exactement le même matériel que celui qui a servi à fonder la géométrie, utilisé sur un autre mode. On ne peut pas faire plus minimal.

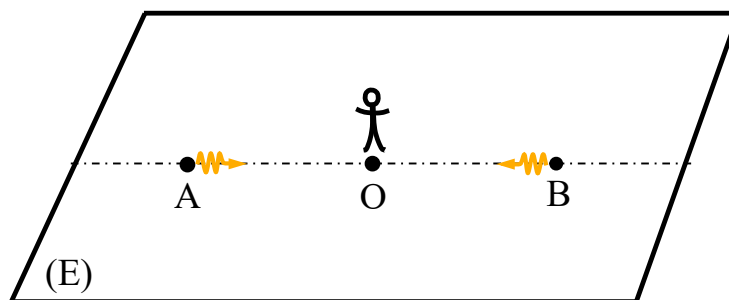
L'horloge tournante est elle aussi minimale, même si c'est un peu moins flagrant. Pour que la régularité de son fonctionnement soit assurée, il faut que la matière dont elle est faite reste constamment identique à elle-même. Cette invariabilité lors de conditions physiques invariables est un cas particulier des propriétés du corps élastique, qui par définition redevient en tout point identique à ce qu'il était lorsqu'on le ramène à des conditions en tout point identiques. Les horloges tournantes sont donc elles aussi des corps mémoformes et le temps qu'elles délivrent repose sur les mêmes fondements que celui délivré par les horloges glissantes : le défilement régulier d'un corps mémoforme devant un autre corps mémoforme, l'un et l'autre étant emportés par un mouvement inertiel. À ce titre, ce ne sont que deux variantes également minimales du même instrument.

L'horloge première de la physique, effective et minimale, est celle que réalise un objet en mouvement inertiel relativement à un espace galiléen.

.....

3 - LE VÉRIFICATEUR DE SIMULTANÉITÉ EFFECTIF ET MINIMAL

L'instrument qu'emploie Einstein pour définir ou vérifier la simultanéité¹ est ce que nous avons appelé le « vérificateur de simultanéité »², utilisant la lumière et l'observateur médian.



Ainsi, dans la construction einsteinienne, la chronométrie est fondée sur deux instruments, l'horloge et le vérificateur de simultanéité. Cela peut nous faire douter de l'unité que nous accordons intuitivement aux notions temporelles élaborées, et qui nous ont fait les réunir dans un même noyau, pour nous demander si celui-ci ne doit pas être scindé en deux, un sous-noyau de la durée, fondé sur l'horloge, et un sous-noyau de la simultanéité, fondé sur le vérificateur de simultanéité.

¹ Einstein, *la Relativité*.

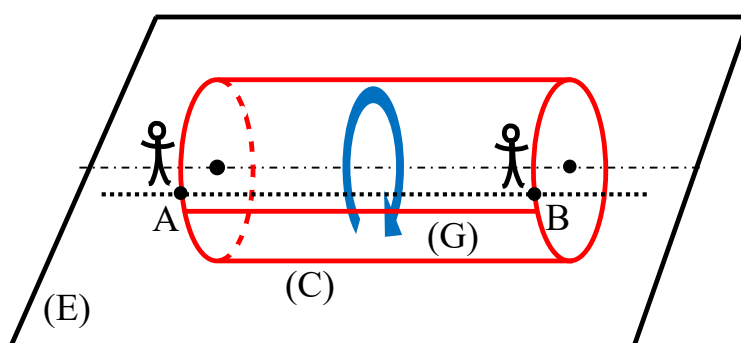
² *La Bizarre Disparité des instruments de la relativité restreinte*, hal-01096136.

On rencontre dans la construction instrumentale traditionnelle de la géométrie une situation analogue, la présence conjointe de deux instruments premiers, la règle et le compas, respectivement associés à deux concepts premiers, ceux de droite et de distance, dualités homologues qui pourraient nous faire douter de l'unité du noyau de la géométrie et le diviser en un sous-noyau de l'alignement et un sous-noyau de la distance. Mais en montrant que la géométrie est constructible sur le seul corps mémoforme, nous montrons que tel n'est pas le cas, et que ce noyau possède bien l'unité interne que l'intuition lui attribue.

Ce résultat est à rapprocher du théorème de Mohr-Mascheroni, démontré par Mohr en 1672 et par Mascheroni en 1797, qui affirme que si une construction géométrique est possible à la règle et au compas, alors elle est possible au compas seul.

L'horloge inertielle, étant minimale, ne peut être remplacée dans ce rôle par aucune autre. Elle est *première*. Aussi, le noyau de la chronométrie possède bien l'unité que nous lui devinons à condition qu'il soit fondé sur un seul instrument, autrement dit que l'horloge inertielle soit également instrument de définition et de vérification de la simultanéité.

Or c'est évidemment le cas. Considérons, dans un espace galiléen isotrope (E), un cylindre de révolution (C) globalement immobile, tournant librement sur lui-même, et sur lequel est gravée une génératrice (G).

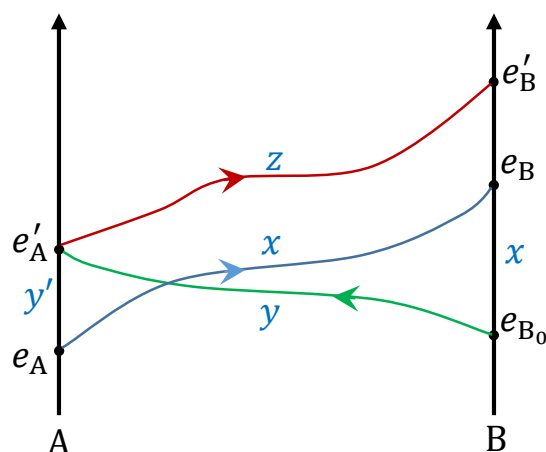


A et B sont deux points de (E) appartenant au domaine parcouru par (C), et tels que la droite (AB) soit parallèle à son axe. Deux événements e_A et e_B se déroulant l'un en A et l'autre en B sont **simultanés** si c'est la même génératrice (G) qui traverse A et B lorsqu'ils se produisent.

Il y a un petit problème auquel il faut remédier : ces événements pourraient être non simultanés mais décalés d'un nombre entier de tours. Une solution est d'étalonner cet instrument grâce à un observateur faisant le trajet AB en comptant le nombre x de tours qu'effectue devant lui la génératrice. Arrivé en B il sait que l'instant en B simultané à celui où il a quitté A est celui où la génératrice en B était x tours en arrière de sa position actuelle.

Montrons que cet étalonnage fait depuis A aboutit au même résultat que s'il était fait depuis B. Les nombres de tours comptés durant deux trajets de même origine et de même extrémité faits sur la droite AB diffèrent d'un nombre entier ; et si ces trajets sont homotopes, c'est-à-dire tels qu'on puisse passer de l'un à l'autre par déformation continue, alors cette différence de nombres de tours, qui est entière et dépend continûment des trajets, est constante ; elle vaut donc la valeur prise quand les trajets sont identiques, soit zéro.

Un piège de circularité nous guette ici. Nous avons dans *Le paradoxe des jumeaux de Langevin et l'expérience d'aller et retour d'un cylindre en rotation* défini une génératrice comme étant à tout instant, quand le cylindre globalement immobile dans (E) tourne librement autour de son axe, une droite parallèle à cet axe. Ayant ainsi défini la génératrice à partir de la simultanéité, nous ne pouvons définir la simultanéité à partir de la génératrice. Heureusement, on peut définir la génératrice autrement : par exemple en s'installant sur le cylindre et en la traçant avec une équerre comme perpendiculaire aux cercles du cylindre (qui sont eux tracés comme trajectoires sur lui des points de (E)).



Parti à l'instant e_A de A, un observateur compte x tours sur l'horloge avant d'arriver en B à l'instant e_B . Il en déduit que l'instant e_{B_0} simultané en B à e_A est antérieur de x tours à e_B .

Parti à l'instant e_{B_0} de B, un observateur compte y tours sur l'horloge avant d'arriver en A à l'instant e'_A . Soit y' le nombre de tours comptés en A entre e_A et e'_A .

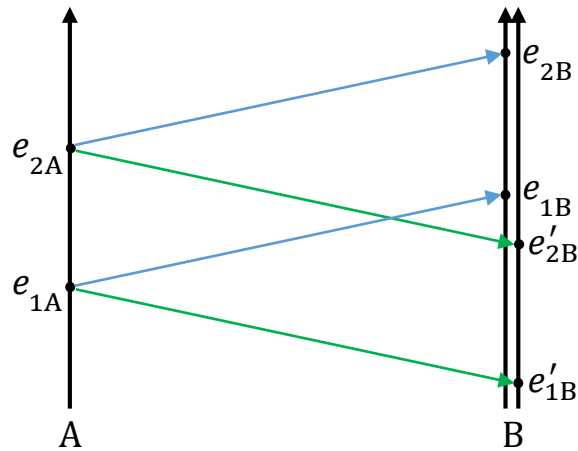
Un observateur en A parti à l'instant e'_A compte z tours avant d'arriver en B à l'instant e'_B .

Les trajets $e_{B_0}e'_Ae'_B$ et $e_{B_0}e_Be'_B$ étant homotopes, le nombre de tours comptés en B entre e_B et e'_B est $y + z - x$.

Comme les trajets $e_Ae'_Ae'_B$ et $e_Ae_Be'_B$ sont homotopes, $y' + z = x + y + z - x$, d'où $y = y'$.

Ainsi, que l'on étalonne la simultanéité en partant de A ou de B, cela revient au même : cet étalonnage n'affecte donc pas la symétrie du dispositif.

Il faut montrer que cette simultanéité ne dépend pas de l'horloge utilisée. Supposons donc que la droite (AB) soit le long de deux horloges (C) et (C') de vitesses de rotation, d'axes et de rayons éventuellement différents. Soit e_{1A} et e_{2A} deux événements se déroulant en A, e_{1B} et e_{2B} leurs simultanés en B par l'horloge (C), e'_{1B} et e'_{2B} leurs simultanés en B par (C').



De l'instant local e_{1A} à l'instant local e_{2A} , (C) tourne disons de m tours et (C') de n tours. Par conséquent, en B, de e_{1B} à e_{2B} , (C) tourne de m tours, et (C'), de e'_{1B} à e'_{2B} , de n tours. Comme le rapport des durées mesurées en un point par les deux horloges est invariable, lorsque (C') tourne en B de n tours, (C) tourne en ce même point de m tours. Donc (C), en B, de e'_{1B} à e'_{2B} , tourne de m tours, c'est-à-dire autant que de e_{1B} à e_{2B} . On en déduit que (C) tourne autant de e'_{1B} à e_{1B} que de e'_{2B} à e_{2B} : le décalage de durée entre les simultanités transportées de A en B par (C) et par (C'), lu sur (C), est constant. Il est immédiat que si on intervertit A et B ce décalage est changé en son opposé. Comme l'espace (E) dans lequel les deux horloges sont globalement immobiles est isotrope, (C) et (C') sont symétriques par rapport au plan médiateur de AB, et le décalage de A vers B doit être égal au décalage de B vers A, c'est-à-dire à son opposé. Il est donc nul.

Toutes les horloges tournantes de (E) définissent la même simultanéité relative à (E).

Il faut enfin montrer que cette simultanéité est une relation d'équivalence.

Elle est trivialement réflexive (tout évènement est simultané à lui-même) et symétrique (si e_A est simultané à e_B , alors e_B l'est à e_A). Penchons-nous sur la question de sa transitivité.

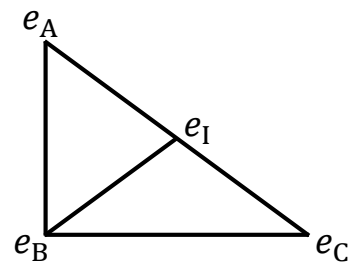
Pour cela, commençons par remarquer que

Étant donné deux points M et N de (E) et un instant local e_M se déroulant en M, il existe un unique instant local e_N se déroulant en N et simultané à lui.

Soit A, B et C trois points de (E), et e_A , e_B et e_C trois événements ayant respectivement lieu en ces points, et tels que e_A soit simultané à e_B ainsi que e_B à e_C .

Si le triangle ABC est isocèle en un quelconque de ses sommets, aplati ou non, alors par symétrie, e_A et e_C sont simultanés.

Si le triangle ABC est rectangle en B, soit I le milieu de AC et e_I l'évènement en I simultané à e_B . Dans le triangle isocèle ABI, e_A est simultané à e_B et e_B à e_I , donc e_A et e_I le sont. De la même façon, e_I et e_C le sont, et, parce que I est le milieu de AC, e_A et e_C .



Comme tout triangle est un collage de deux triangles rectangles, on montre de même que la propriété vaut pour les triangles quelconques ; et de même, qu'elle s'étend aux triangles aplatis.

La simultanéité inertielle tournante relativement à (E) est une relation d'équivalence parmi les instants locaux. Elle définit donc des classes d'équivalence appelées instants relatifs à (E).

Deux lignes polygonales joignant deux points A et B d'un même espace galiléen transportent la même simultanéité entre A et B.

Jusqu'ici, nous ne pouvions comparer les vitesses de rotation des horloges que si elles ont un point commun. La simultanéité globale relative à (E) permet de s'affranchir de cette limitation. Deux horloges tournent à la même vitesse s'il existe deux instants locaux e_A et e'_A se

déroulant en un point A appartenant au support de l'une, et deux instants locaux respectivement simultanés à eux e_B et e'_B se déroulant en B appartenant au support de l'autre, tels que les deux horloges fassent le même nombre de tours entre ces deux paires d'instant. On montre facilement que :

Si deux horloges de (E) vont à la même vitesse pour deux paires particulières d'instant locaux, elles vont à la même vitesse pour toutes les paires possibles d'instant locaux situées sur leurs supports respectifs et deux à deux (E)-simultanés.

Autrement dit :

Les horloges inertielles tournantes globalement immobiles relativement à un espace galiléen isotrope le munissent d'une mesure des durées et d'une définition de la simultanéité compatible avec elle.

On peut aussi définir la simultanéité au moyen d'horloges glissantes. Soit e_A et e_B deux instants locaux se déroulant en des lieux A et B de (E). Soit (E') un espace galiléen dont la direction de déplacement relativement à (E) est perpendiculaire à (AB). e_A et e_B sont simultanés s'ils coïncident avec le passage en A et en B d'un même plan de (E') perpendiculaire à la direction de déplacement de (E) dans (E'). Puisque les points de (E') défilent tous dans le même sens dans (E) et inversement, cette définition de la simultanéité s'accompagne de celle d'un ordre chronologique : e_A est antérieur à e_B si les plans de (E') dont les passages en A et en B coïncident avec eux ont des abscisses rangées dans cet ordre le long de la direction de déplacement de (E) dans (E').

Pour un espace galiléen (E') répondant aux contraintes, notons \sim_g cette simultanéité, \leq_g cet ordre chronologique et \sim la simultanéité par horloges tournantes. Comme la situation est symétrique relativement à A et à B, si $e_A \sim e_B$ alors $e_A \leq_g e_B \Rightarrow e_B \leq_g e_A$. Donc $e_A \sim e_B \Rightarrow e_A \sim_g e_B$; et, puisque chacune des deux simultanéités est une bijection entre les instants locaux en A et ceux en B, elles sont identiques.

Qu'elles soient tournantes ou glissantes, les horloges inertielles définissent la même simultanéité relativement à un espace galiléen isotrope.

Un dernier point reste à vérifier : que cette simultanéité inertielle est équivalente, *relativement à un espace galiléen isotrope*, à la simultanéité-lumière.

Notons \sim_i la simultanéité inertielle et \sim_l la simultanéité-lumière relatives à (E), $<_l$ et $<_i$ les ordres chronologiques associés ; et considérons un segment AB le long duquel tourne une horloge inertielle. Un observateur médian est installé au milieu I de AB. L'isotropie de (E) fait que la figure est symétrique par rapport au plan médiateur de AB, et donc que les lois qui la régissent sont invariantes par permutation de A et de B.

Supposons que $e_A \sim_l e_B$ et $e_A <_i e_B$.

On doit alors avoir, en permutant A et B, $e_B \sim_l e_A$ et $e_B <_i e_A$, ce qui contredit l'hypothèse. De la même façon, $e_A \sim_l e_B$ et $e_A >_i e_B$ conduit à une contradiction. Donc $e_A \sim_l e_B \Rightarrow e_A \sim_i e_B$.

On montre de la même façon que $e_A \sim_i e_B \Rightarrow e_A \sim_l e_B$.

Par conséquent, $e_A \sim_i e_B \Leftrightarrow e_A \sim_l e_B$

La simultanéité-lumière et la simultanéité inertielle relatives à un espace galiléen isotrope sont équivalentes.

.....

4 – CONVERGENCE AVEC LE PARCOURS INSTRUMENTAL DE L'HUMANITÉ

Les instruments *premiers*, selon le sens particulier que nous donnons à ce mot dans la perspective de la fondation sur l'instrument et l'expérience, sont les premiers dont peut se saisir l'« homme préhistorique » que nous jouons à être lorsque nous nous penchons sur le problème d'une axiomatisation constructiviste de la cinématique. Aussi doivent-ils logiquement être également les premiers dont a pu s'emparer l'humanité.

Tel est bien le cas. La première de toutes les horloges utilisées par l'homme est le globe terrestre tel qu'il est animé d'un mouvement inertiel de rotation sur lui-même. Elle longtemps été considérée comme parfaite. Nous savons aujourd'hui qu'elle ne l'est pas tout à fait, et que sa vitesse de rotation décroît lentement, la faisant au bout d'un siècle retarder d'environ 29 secondes sur le temps qu'elle aurait donné si elle avait été parfaite. Ce très faible ralentissement a d'ailleurs été dans un premier temps interprété comme une accélération séculaire de la vitesse de rotation de la Lune, restée inexplicée jusqu'à ce qu'on réalise que c'était celle de la Terre qui ralentissait en raison principalement des phénomènes de marée engendrés par la Lune, le Soleil et les astres proches. Autant dire que si la Terre était solide, et si nous pouvions supprimer les influences des corps célestes voisins, elle serait une horloge parfaite. Nous savons aujourd'hui suffisamment bien modéliser l'évolution de l'orbite lunaire pour pouvoir faire les calculs correctifs rétablissant le temps inertiel parfait que donnerait la Terre si elle n'était pas soumise à ces actions qui la ralentissent. Cependant, nous disposons aujourd'hui d'horloges atomiques tellement précises qu'elles font perdre tout intérêt à ces calculs. L'avènement de ces horloges a entraîné une redéfinition de la seconde à partir des propriétés du césium 133. Cela ne change rien au fait que le temps inertiel parfait, comme nous l'avons montré plus haut, est le temps premier de la physique. Simplement, l'horloge atomique nous permet de l'atteindre bien mieux que l'imparfaite horloge terrestre.

Pour sa célèbre mesure de la circonférence de la Terre, c'est la simultanéité inertielle qu'Ératosthène utilise – et qui pendant presque deux millénaires restera la seule dont disposera l'humanité. Il profite en effet de ce qu'Alexandrie et Syène sont sur le même méridien pour tracer la figure de la situation en un même instant. Un trajet d'Alexandrie à Syène en comptant les jours lui a été nécessaire pour étalonner cette horloge.

La Terre n'est cependant pas une pure horloge inertielle, car l'index qui sert à lire les graduations fonctionne grâce à la lumière. Dans une pure horloge inertielle, cet index serait un point de l'espace galiléen dans lequel elle tourne, point situé sur le passage de l'horloge, si bien que l'index fonctionnerait grâce à la coïncidence instantanée des points, qui est du ressort du noyau primitif et n'invoque pas la lumière. Malgré cette différence, le temps et la simultanéité fournis par la Terre sont clairement inertiels.

5 – CONCLUSION

Après avoir dégagé le corps mémoforme comme instrument effectif et minimal de la géométrie, nous le retrouvons comme instrument effectif et minimal de la chronométrie.

Pour la géométrie, il s'agit du corps mémoforme au repos galiléen utilisé dans des expériences de superposition durable – donc des systèmes de deux corps mémoformes au repos galiléen immobiles l'un par rapport à l'autre.

Pour la chronométrie, c'est le corps mémoforme utilisé dans des expériences de mouvement inertiel relativement à un espace galiléen – donc des systèmes de deux corps mémoformes en mouvement inertiel l'un par rapport à l'autre.

Comme le repos galiléen est une des formes du mouvement inertiel, les systèmes de deux corps en mouvement inertiel, dont l'un au moins est un repos galiléen, suffisent à la construction de la géométrie et de la chronométrie.

La cinématique est constructible avec un unique instrument, le couple de corps mémoformes en mouvement inertiel, dont l'un au moins est au repos galiléen.

En particulier, puisque les horloges glissantes sont faites avec deux corps au repos galiléen, et qu'il en est de même des expériences de superposition durable :

La cinématique est constructible avec un unique instrument, le couple de corps mémoformes au repos galiléen, que ceux-ci soient immobiles l'un relativement à l'autre (cas de la géométrie) ou en mouvement l'un par rapport à l'autre (cas de la chronométrie).

Ainsi, la non-définition de l'horloge n'est pas le seul problème que pose le panel instrumental einsteinien. Il s'y ajoute fait le que la définition instrumentale de la simultanéité ne respecte pas l'exigence de minimalité. Le « vérificateur de simultanéité » d'Einstein est un instrument qui n'a pas lieu d'être, car l'horloge première porte en elle une définition de la simultanéité. Cette deuxième anomalie est

l'héritière directe de la précédente : c'est parce que son horloge n'est pas définie qu'Einstein doit rajouter cet instrument superflu.

Or, d'après le principe de minimalité, le superflu est proscrit. C'est la construction la plus économique qui doit être retenue. Ce n'est en l'occurrence pas anodin, puisque le fonctionnement du vérificateur de simultanéité d'Einstein fait appel à la lumière. Si nous le supprimons, comme nous pouvons et donc devons le faire, plus aucun instrument n'y fait appel.

Parmi les innombrables espèces intelligentes qui probablement peuplent l'univers, il y en a peut-être qui n'ont pas le sens de la vue, et que cela n'a pas empêché de construire les notions temporelles. D'ailleurs, sur notre Terre, il existe des montres tactiles, graduées en Braille, que des aveugles de naissance utilisent à la perfection.

La construction effective et minimale de cinématique est une construction à l'aveugle, dans laquelle la lumière n'a et ne peut avoir aucune part.

Ce résultat a quelque chose de troublant qui mérite réflexion attentive : quoique la lumière soit hors de propos dans la construction instrumentée de la cinématique, sa vitesse apparaît dans le formulaire lorentzien – dont nous ne doutons pas, répétons-le, qu'il soit pertinent.

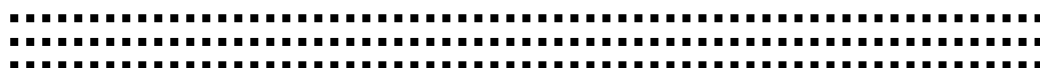


TABLE DES MATIÈRES

1 – LE CONTEXTE AU SORTIR DE L'AXIOMATISATION DE LA GÉOMÉTRIE	2
2 – L'HORLOGE EFFECTIVE ET MINIMALE DU NOYAU DE LA CHRONOMÉTRIE.....	3
3 – LE VÉRIFICATEUR DE SIMULTANÉITÉ EFFECTIF ET MINIMAL.....	5
4 – CONVERGENCE AVEC LE PARCOURS INSTRUMENTAL DE L'HUMANITÉ	12
5 – CONCLUSION	14