



HAL
open science

Les rapports entre les concepts d'espace, de temps et de mouvement doivent être repensés. Conséquences en physique (relativité). Discussion préliminaire.

Bernard Guy

► **To cite this version:**

Bernard Guy. Les rapports entre les concepts d'espace, de temps et de mouvement doivent être repensés. Conséquences en physique (relativité). Discussion préliminaire.. 2006. hal-00507100

HAL Id: hal-00507100

<https://hal.science/hal-00507100v1>

Preprint submitted on 29 Jul 2010

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.

**Les rapports entre les concepts d'espace, de
temps et de mouvement doivent être repensés.
Conséquences en physique (relativité).
Discussion préliminaire.**

**The links between the space, time and movement concepts must be re-
considered. Consequences in physics (relativity). A preliminary discussion**

Bernard GUY
Ecole n. s. des mines, 158 Cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, France ;
guy@emse.fr

Résumé

Nous devons renoncer à l'idée d'un temps autonome et séparé du monde, et l'envisager comme une façon indissociable de penser l'espace, comme la relativité nous y invite. Pour désigner cette association primaire de l'espace et du temps que les sciences cognitives nous révèlent aussi, nous utiliserons le mot « mouvement ». *Le mouvement engendre d'un coup l'espace et le temps comme deux faces inséparables de la même substance* : l'espace comme point de vue global, simultané, cardinal, immobile, réversible, et le temps comme point de vue analytique, séquentiel, ordinal, mobile, irréversible. Ce point de vue permet de relire certains aspects du fonctionnement de la physique et de commencer à soulager certaines difficultés qui s'y présentent.

Mots clés : espace ; temps ; mouvement ; théorie de la relativité ; sciences cognitives ; épistémologie ; récursivité ; transformation de Lorentz vectorielle ; révision des liens entre concepts de temps, espace et mouvement

Abstract

We must give up the idea of thinking time as autonomous and separated from the world, and must envision it as an inseparable manner to think space, as the relativity theory invites us to do. To designate this primary association of space and time that the cognitive sciences also reveal to us, we will use the word « movement ». *Movement generates space and time all together as two inseparable faces of the same substance: space as a global, simultaneous, cardinal, immobile, reversible, and time as analytical, sequential, ordinal, mobile, irreversible.* This point of view allows rereading certain aspects of the functioning of physics and beginning to relieve some problems that are set therein.

Key words : space, time, movement, theory of relativity, cognitive sciences, epistemology, self-reference, vectorial Lorentz transformation, revision of the links between the concepts of time, space and movement

Abridged English version

Facing the difficulties of all kinds to think time and to correctly run our mental or mathematical representations of this concept, from logic and philosophy to physics, including relativity theory ([2], [4] to [17], [23]), one is forced to give up the idea of time as autonomous and separated from the world. It is necessary then to envision it as an inseparable manner to think space, as the relativity theory already invites us to do ([1], [3]). One then faces new difficulties, at the frontier between the words and the representations. The understanding of these difficulties seems to us important, and a prerequisite to any new mathematical development, that would link up in an original way the parameters x , y , z , and t taken for granted, as usually done in physics. The cognitive sciences in the large do not start with separated time and space concepts; they construct them progressively from the phenomena ([24] to [32]). In order to make progress, we consider that we must connect their approach to the hypotheses that play in our physical and mathematical constructions. By so doing, we cannot avoid a shift in the meaning of the words time, space and movement. To designate this intimate and primary association of space and time that the cognitive sciences reveal to us, we will use the word « movement »; we prefer it to « space-time » that too much contains the idea of a separation and that is defined within a physical theory. We will say that movement at once generates space and time as two inseparable faces of the same substance: space as global, cardinal, simultaneous, immobile, reversible, and time as analytical, ordinal, sequential, mobile, irreversible. We must then dissociate the notion of movement from that of speed: speed is not a characteristic of a special movement, knowing that we are obliged in a first step to lean on a reference movement without speed (or let us say with speed equaling unity), to be chosen among the phenomena; the speed of any movement is then defined (second step) by a ratio to the reference movement. Space is constructed on movements that are interrupted or slowed down with respect to other movements, among which one is chosen to define the unique -synchronized- Time (reference movement); this is done through an irreducible part of arbitrary and of limitation, because of self-reference aspects. This point of view allows rereading certain aspects of the functioning of contemporary physics and beginning elucidating some problems that are set therein (concerning in particular the vectorial Lorentz transformations).

L'objet de cet article est de proposer une réflexion sur les concepts d'espace, de temps et de mouvement, appuyée en partie sur les sciences cognitives et en partie sur la théorie physique et en amont de cette dernière ; nous montrons en retour comment cette réflexion débouche sur la théorie physique et en esquissons diverses conséquences.

1. La situation aujourd'hui (le mouvement est construit à partir de l'espace et du temps supposés pensés préalablement) et ses difficultés

Nous héritons des Grecs et de toute la maturation de pensée qui mène à aujourd'hui, les deux concepts primaires d'espace et de temps. Ils nous sont donnés séparés, c'est à dire renvoyant à deux catégories distinctes de notre intelligence du monde, on pourrait dire à deux substances différentes du réel. Le concept de mouvement est saisi de façon seconde, par composition des deux concepts d'espace et de temps, y compris dans la théorie de la relativité [1] sur laquelle nous allons revenir. Cette situation entraîne une série d'embarras.

Au niveau logique tout d'abord. Un certain nombre d'auteurs ont bien souligné la difficulté de penser le mouvement, et le temps, et de les faire co-exister avec une pensée préalable de l'espace. On connaît les paradoxes de Zénon, de Berkeley : dire qu'un mobile est quelque part sur sa trajectoire, c'est l'arrêter, c'est en somme nier le mouvement... Les limites de la rationalisation des concepts de temps, espace et mouvement ont été spécialement bien décrites par Bergson dans *La Pensée et le Mouvant* [2] : l'esprit est mal à l'aise devant le mouvement, il a besoin de l'arrêter, de le fixer, de le rendre ponctuel, avec les contradictions qui s'ensuivent.

On trouve aussi des difficultés en physique. Le statut contemporain de la vitesse de la lumière n'est pas en cohérence avec ce caractère secondaire généralement admis du mouvement que nous venons de rappeler : depuis l'année 1983 [3], la valeur de la vitesse de la lumière est une constante fixée par décret, non par mesure, avec une précision infinie, ce qui est inhabituel pour une grandeur physique. Ce n'est pas un ratio, et la longueur du mètre est dérivée de celle de la seconde (l'on définit d'un seul coup l'étalon d'espace et l'étalon de temps). La vitesse de la lumière paraît donc « primaire », et cela suggère que le temps et l'espace sont deux façons de voir la même réalité. La mesure très fréquente aujourd'hui de positions par des temps de

propagation de la lumière va dans le même sens. On peut aussi se poser des questions sur l'espace-temps de la relativité : comment faire émerger une étoffe unique à partir de concepts classiques et séparés d'espace et de temps ? D'autres questions nous paraissent reliées aux difficultés présentées par les relations entre mouvement, espace et temps : - les problèmes variés rencontrés dans le fonctionnement mathématique de la théorie de la relativité (e.g. [4] à [17] : les transformations vectorielles de Lorentz à 3D ne constituent pas un groupe sans rajouter des rotations dont on peut discuter la signification ; elles ne s'accordent pas avec les équations de Maxwell pour des déplacements des ondes électromagnétiques perpendiculaires au déplacement des repères en mouvement relatif ou quelconques ; la rotation de Thomas, même si elle peut avoir une utilité pratique n'est pas comprise dans une approche globale et ne résout pas toutes les difficultés ; etc.) ; - la signification du temps en microphysique (quelques auteurs disent qu'il n'existe pas à cette échelle [18] à [20] : par quelle transition le faire apparaître à l'échelle macroscopique ?) ; - les rapports entre relativité et mécanique quantique ; - des faits expérimentaux, certes discutés, sur la propagation de la lumière, sa vitesse et son anisotropie [21], [22]. Au total, nombreux travaux de physiciens ont des choses à nous dire sur le fonctionnement de la théorie de la relativité e.g. [23], malgré le fait qu'ils la rejettent pour certains.

Si on se tourne vers la neurophysiologie et les diverses sciences cognitives, les concepts d'espace et de temps ne sont pas donnés séparés une fois pour toutes mais *se construisent* de façon associée (travaux de Piaget sur le développement de l'enfant [24]). Plus près de nous, A. Berthoz [25] montre de façon éclatante que la notion d'espace n'est pas indépendante de la notion de mouvement. Du côté de la philosophie et de l'anthropologie, de nombreuses civilisations n'ont pas abstrait de concept de temps : celui-ci disparaît dans les processus naturels, mouvements et changements (Jullien sur l'exemple de la Chine [26]). L'existence du temps comme entité séparée ne va donc pas forcément de soi et dans ces domaines se posent d'une autre façon les rapports entre temps, espace et mouvement.

En conclusion de ces brefs rappels, l'articulation actuelle des concepts de temps, espace et mouvement n'est pas satisfaisante. La séparation même entre concepts de temps et d'espace comme deux substances différentes pose problème. Le monde nous est donné d'un seul tenant et il n'y a pas d'étiquette sur ce qui est espace, ni sur ce qui est temps. Il faut contester le processus d'abstraction qui désigne ces concepts comme séparés et une reprise de la compréhension de ce que l'on entend par mouvement a un rôle clé pour ce faire.

2. Apport de la neurophysiologie et des sciences cognitives

Pourquoi faire intervenir dans cette discussion les sciences cognitives et jusqu'aux sciences humaines ? a) Elles nous éclairent sur le fonctionnement effectif des concepts d'espace, temps et mouvement, en amont même de la physique qui les prend sans en discuter l'existence. La démarche physico-mathématique représente une abstraction de la démarche cognitive et se relie à elle. b) Le physicien est aussi et d'abord un homme : la perception et la mesure de l'espace et du temps interviennent dans la vie de tous les jours. Comment le physicien vit-il en lui-même les difficultés et conflits qui ne manquent pas de se poser quand il dit par exemple que, à l'échelle de la microphysique, le temps n'existe pas ? c) Il n'y a pas de règles ou d'horloges indépendantes du monde, on se contente de comparer les phénomènes les uns aux autres et l'homme est comme un instrument de mesure qui doit se relier aux autres. Au total, il faut articuler les approches logiques, physiques et cognitives et appuyer sur ces dernières aussi notre rationalisation.

Que nous disent donc les sciences cognitives ? Elles commencent par nous dire que l'espace et le temps ne correspondent pas à des qualités séparées à l'avance de la réalité [27] à [32]. On ne perçoit que des phénomènes, des événements, des informations, non l'espace et le temps. Elles nous disent aussi que l'on ne perçoit que ce qu'elles appellent des mouvements. La construction même de l'espace ne peut être séparée du fonctionnement de ces mouvements, c'est à dire d'une exploration du monde qui prend de multiples formes. La vision n'apporte rien sur l'espace si elle n'est pas reliée à cette motricité. En d'autres termes, à toute portion d'espace on fait correspondre un temps, celui de l'exploration par le corps ou ses extensions dans l'imagination. Le temps aussi est construit par abstraction du mouvement, c'est à dire que réciproquement l'on ne peut se passer de l'espace pour marquer le temps. Dans les deux cas, temps et espace nous conduisent tous deux au seul mouvement, ce qui peut paraître contradictoire du point de vue logique ; pour les séparer, la solution comprend deux volets : 1) reconnaître deux aspects dans le mouvement qui renvoient respectivement à l'espace (mouvement dans sa totalité) et au temps (mouvement dans son processus) ; 2) voir l'aspect multiple des mouvements et *faire des distinctions parmi différents mouvements*. Dire que l'espace est un mouvement arrêté renvoie d'une part à la notion de mouvement qui donne le sens d'une position dans un trajet ; et d'autre part à la notion d'arrêt qui est relative et qui, par

comparaison à d'autres mouvements, laisse la place au temps. D'une façon générale, on constate la correspondance générale entre temps et espace portant sur les mêmes objets, espace plus synthétique, global, holistique, temps plus analytique. En linguistique et en sémiologie on retrouve aussi ces liens forts entre temps et espace, exprimés de différentes façons suivant les langues ; les métaphores temps-espace dans le langage sont significatives d'une qualité de la réalité. Le constat de ces correspondances entre temps, espace et mouvement peut être nourrie d'une multitude d'autres analyses (voir aussi [7]).

Ainsi la rationalisation, en présentant trop vite comme primordiaux espace et temps, a mal procédé. Le mouvement est premier (parcours, amplitude, consommation, intégration, balayage, histoire...) et permet par diverses abstractions de construire l'espace (relations constantes, bornes) par opposition au temps (relations variables). On ne peut définir d'«*abord*» un point en mathématiques, ni dans l'espace ni dans le temps. Notre question préalable peut être reformulée de la façon suivante. Les sciences humaines montrent une séparation «*laborieuse*» entre temps et espace. Les hypothèses sur lesquelles se base cette séparation ont-elles quelque chose à voir avec celles sur lesquelles fonctionne la relativité ? Le texte qui suit prétend répondre oui.

3. Renverser la démarche : espace et temps comme «*dérivés*» du mouvement : approche logique

Nous voulons esquisser ici une re-fondation des rapports entre temps, espace et mouvement. On se dit qu'il faudrait essayer de penser le mouvement comme primaire, permettant d'engendrer d'un seul coup espace et temps, deux manifestations de la même substance, presque synonymes. Comment comprendre cela ? Notre discussion doit porter sur les concepts associés aux mots, mais nous ne pourrons éviter un déplacement du sens même de ces mots qui nous lient énormément sur ces questions. Il faut que ces derniers soient davantage en correspondance avec la réalité telle que nous la découvrons par les sciences cognitives ou que nous la décrivons avec succès par la physique. Ce déplacement, si nous le jugeons nécessaire, apparaît plus difficile pour l'esprit que la compréhension d'une nouvelle théorie mathématique qui associerait simplement de façon inédite les variables x , y , z , t prises pour acquises. C'est pourtant lui qui apportera un regard neuf sur certains problèmes de la physique. Nous avons besoin d'un mot pour définir cette étoffe unique du monde. Nous

choisissons le mot « mouvement » plutôt qu' «espace-temps » qui pourtant existe déjà : ce dernier est trop composite, il suppose à la fois le point de départ et le résultat d'une séparation pratique entre espace et temps. Ce déplacement de sens (*le mouvement est primaire*) est un préalable indispensable à toute la suite.

4. Résumé de la démarche

A. 1) Nous proposons de dissocier la notion de mouvement de celle de vitesse, ainsi que la signification des mots correspondants. 2) On peut dire que le mouvement engendre à la fois l'espace et le temps, comme deux points de vue associés sur lui : espace dans le sens de l'amplitude du mouvement envisagée comme un tout, temps dans le sens du défilement d'une extrémité à l'autre de cette amplitude et qui permettra de la quantifier. 3) Il y a donc correspondance terme à terme entre des « morceaux » d'espace et des morceaux de temps comme définis par des fractions d'un mouvement.

B. 1) Un phénomène physique, dans les conditions où nous l'observons d'habitude, est choisi comme définissant un « mouvement standard » qui sert de référence universelle. 2) Une fraction quelconque de ce mouvement est choisie comme étalon d'espace, ou de façon équivalente de temps ; le mouvement standard permet de définir une identité entre étalons de temps et d'espace. 3) Le mot vitesse n'a pas de signification pour le mouvement standard, ce n'est pas un ratio ; par abus de langage on peut dire que la « vitesse » du mouvement standard est toujours égale à l'unité.

C. On peut définir une véritable vitesse, au sens de la grandeur associée à un mouvement particulier, par le rapport entre une portion de mouvement parcourue par lui et une portion du mouvement standard qu'on sait mettre en correspondance.

D. Temps et espace sont la même substance. On peut construire des variables d'espace et de temps séparées grâce à la multiplicité des points matériels du monde. Les points « réputés » immobiles les uns par rapport aux autres permettent de définir les variables d'espace. Un point mobile par rapport aux précédents définit le mouvement standard et une variable de temps unique (appelons la Temps avec une majuscule). Ces deux constructions sont associées et contiennent une part irréductible d'arbitraire et de limitation (voir note en fin de texte).

5. Développement

Soulignons qu'il y a des dans la démarche que nous venons de résumer divers aspects de récursivité. Celle-ci se traduit par une sorte de bouclage : absence de fondement premier, le premier énoncé s'appuie sur le dernier, ou chaque énoncé a besoin des autres... Mais il faut bien commencer par un bout (voir aussi la section 5.5).

5.1. Etape A : le mouvement « engendre » l'espace et le temps ; point de vue qualitatif

Considérons tel objet que nous pouvons embrasser d'un regard : un morceau de matière, une portion de notre terre. Nous pourrions dire qu'il occupe une certaine fraction d'espace et serions tentés de parler d'un attribut a priori de cet objet comme sa taille ou sa longueur dans telle direction. Au lieu de cela, disons qu'il définit un mouvement ou un déplacement de un mètre par exemple. Comme on dit : « faites un mouvement de un mètre » ; comme on parle de mouvement en regardant le trait du peintre, ou comme encore l'on définit la géométrie comme l'étude des déplacements des points. C'est à dire que nous nous donnons *une amplitude de mouvement comme un attribut propre de cet objet*. Ce n'est pas un mouvement relatif par rapport à quoi que ce soit d'extérieur. C'est le mouvement de la pensée qui va d'une extrémité à l'autre. Nous considérons de plus que nous pouvons fractionner ce mouvement en petites portions « élémentaires ».

Ce mouvement de la pensée qui parcourt l'objet engendre simultanément deux points de vue sur lui :

a) son amplitude totale en correspondance avec le cardinal du nombre la mesurant (nombre de portions élémentaires de mouvement, comme si on la connaissait d'un coup) ; nous dirons qu'elle relève de la catégorie espace, nous l'appellerons longueur (portion d'espace) ; nous pouvons en parler grâce la stabilité de cette portion de matière qui ne s'évanouit pas.

b) le défilement (ou énumération) des points d'une extrémité à l'autre de l'objet (ou le décompte de portions élémentaires de mouvement), en correspondance avec le nombre ordinal décrivant le parcours ; nous dirons qu'il relève de la catégorie temps, nous l'appellerons durée (portion de temps).

Seul le parcours d'une extrémité à l'autre de l'objet permet d'obtenir une quantification, c'est à dire de définir la valeur de sa grandeur (longueur) c'est à dire de déterminer un nombre

cardinal par identification avec un nombre ordinal [33]. Le morceau de mouvement est alors identifié à la fois à un morceau d'espace et à un morceau de temps. C'est une façon de manifester qu'une position n'est pas la propriété d'un point mais celle d'un trajet, de même qu'un temps a sa valeur dans la position relative des points matériels les uns par rapport aux autres.

Nous ne parlons pas de vitesse à ce stade ; nous définissons un mouvement primordial sans unité. Sans dire comment il se déroule, c'est à dire par quelle personne ou par quel phénomène le parcours est effectué. Ce qui compte, c'est que ce mouvement permet d'attribuer le même nombre, pour l'instant non précisé, à la portion d'espace embrassée d'un coup et au parcours temporel d'une extrémité à l'autre, exprimé en mètres ou en secondes peu importe. On peut dire que ce mouvement a une vitesse cachée égale à l'unité (ou constante et permettant d'assurer une proportionnalité entre nombre ordinal et nombre cardinal). Ajoutons enfin que la notion de défilement associée à un temps manifeste une rupture de symétrie par rapport à l'espace que nous ne discuterons pas en détail ici.

5.2. Etape B. Le mouvement standard

En réalité, ce mouvement de parcours et de décompte n'est pas complètement abstrait dans la mesure où il va s'appuyer sur le rythme biologique de l'opérateur ou, suivant la taille de l'objet ou les facilités de mise en œuvre, sur un phénomène physique. Il faut alors remarquer que nous ne disposons pas d'outils extérieurs au monde pour l'étudier. Nous devons faire un choix plus ou moins arbitraire d'un phénomène utile pour affecter des chiffres aux portions d'espace et de temps que nous étudions. Nous choisissons aujourd'hui la propagation de la lumière pour effectuer le parcours standard et c'est elle qui relie les étalons d'espace et de temps. Pour ce mouvement choisi, on ne parle pas de vitesse puisque c'est lui qui va servir d'étalon pour les autres mouvements comme on va le voir. La correspondance que le mouvement standard permet d'établir entre les étalons d'espace et de temps définis aujourd'hui n'a pas la valeur $c = 1$ tout simplement parce, historiquement, nous avons définis préalablement, et apparemment indépendamment, le mètre et la seconde. Il faut renverser maintenant la démarche et mesurer les rythmes physiques ou biologiques à partir du mouvement de la lumière (la seconde « ancienne » était déjà définie par des phénomènes qui associaient une portion d'espace à une portion de temps, c'est à dire des mouvements, à comparer maintenant à celui de la lumière : rythme cardiaque, battement du pendule, mouvement du soleil etc.). Si par abus de langage on parle de vitesse pour le mouvement standard, on la dira constante, comme on le fait aujourd'hui pour c .

5.3. Etape C. Mesure des mouvements, notion de vitesse

La notion de vitesse ne peut qu'être seconde et obtenue par comparaison entre un mouvement particulier et le mouvement standard, qui lui n'est comparé à rien. Il n'y a pas de vitesse absolue, car il n'y a pas d'étalon de mouvement (ni d'espace, ni de temps) extérieur au monde. La vitesse est le ratio de deux portions de mouvement, ou de façon équivalente de deux longueurs ou de deux temps, l'une associée au phénomène étudié, l'autre au mouvement standard. On pourra observer qu'une vitesse aujourd'hui est finalement et effectivement une fraction de la « vitesse » de la lumière, ou qu'une longueur ou une durée peuvent être mis en correspondance avec un morceau de déplacement de la lumière.

5.4. Etape D. Espace et temps, Temps

Temps et espace sont la même substance, que nous avons appelée mouvement. En disant cela, nous donnons au temps une valeur locale donc multiple, comme pour l'espace, et définie pour tout point matériel comme l'ensemble de ses relations de positions par rapport aux autres points. Mais cela n'empêche pas que l'on puisse, dans le monde où nous nous trouvons, définir avec une validité suffisante un temps unique scalaire, que nous pouvons appeler le Temps (avec une majuscule pour le distinguer du temps commun de la substance), comme paramètre collectif de repérage. Cela est possible du fait de la multiplicité des points matériels qui constituent notre univers. Ainsi dans cette multiplicité, tous les points n'ont pas les mêmes caractères de mouvement. Les points de même mouvement ont une vitesse relative nulle, on peut parler aussi de mouvement arrêté (ou mouvement de vitesse infiniment petite par rapport au mouvement de référence), on construit sur eux l'espace. Par opposition au Temps : celui-ci est construit à partir des points mobiles – mobiles par rapport aux point immobiles- (vitesse non nulle compte-tenu de la précision que l'on peut atteindre avec les outils dont on dispose et des échelles spatio-temporelles auxquelles on a accès) et en choisissant un phénomène de propagation particulier auquel on donne un caractère incomparable. Le Temps unique est alors simplement la position d'un repère sur laquelle on peut se mettre d'accord moyennant certaines approximations (la définition d'un tel Temps n'est pas toujours possible). Il s'agit d'un mobile unique ou de divers mobiles du même type (photons) auxquels on peut passer par correspondance de proche en proche. Cette séparation Temps espace est ce qu'on appelle l'opération de synchronisation. Ce temps a par nature un caractère tri-dimensionnel. Il vaut mieux cependant parler de mouvement ou d'abscisse curviligne d'un mouvement pour insister sur le caractère scalaire du paramètre que l'on peut en déduire et qui a un véritable sens de

temps, comme paramètre de relation d'ordre. On continue d'utiliser le même mot de temps, et non un mot relevant de l'espace ou de la position, pour garder l'aspect séquentiel, ordinal attaché au temps. *Le Temps n'est pas quelque chose de mystérieux qui coulerait partout mais qu'on ne verrait pas, pas plus à une échelle qu'à une autre.*

La diversité des points de vue sur les mouvements relatifs ou la diversité des échelles spatio-temporelles envisagées entraîne la possible transformation continue des paramètres utilisés pour le temps en paramètres utilisés pour l'espace. Si l'on fait, par expérience de pensée (par simple changement de point de vue), « repartir » le mouvement que l'on avait arrêté pour définir l'espace, ou au contraire, que l'on arrête le mouvement que l'on avait laissé « filer » pour définir le temps, on passe de paramètres d'espace à des paramètres de temps ou réciproquement, comme on l'a discuté par ailleurs [7], manifestant d'une autre façon qu'il n'y a pas de coupure fondamentale entre concept de temps et concept d'espace. On peut dire par ce procédé qu'un arrêt transforme un ordinal en cardinal, un temps en espace.

5.5. Aspects de récursivité

La section précédente montre une dualité de points de vue : a) on peut définir un Temps unique séparé de l'espace dans une certaine portion du monde / b) temps et espace sont la même substance. Elle nous fait bien comprendre les aspects de récursivité ou autoréférence qui sont au cœur de notre démarche. Nous sommes conduits à un va et vient à l'infini de la pensée entre deux représentations qui s'appellent et se nient l'une l'autre : a) nous avons besoin d'un début de distinction entre Temps et espace dans le monde où nous sommes, pour ensuite nous apercevoir que b) temps et espace sont la même substance ; ceci nous permet alors de comprendre la distinction initiale comme appuyée sur la multiplicité des points matériels du monde et la possibilité de les partager en deux groupes (ce qui relève en définitive d'un caractère particulier de ce monde) ; et ainsi de suite. L'impossibilité de penser et d'étalonner séparément une immobilité et une constante mobilité relève de cette même situation [7].

6. Théorie de la relativité

Nous avons ici la structure essentielle de la théorie de la relativité. Cette théorie donne en effet une place privilégiée à un mouvement que l'on peut qualifier d'incomparable : celui de

la lumière. Mouvement incomparable, c'est à dire de caractéristiques constantes quel que soit le déplacement éventuel par rapport à lui. A partir de lui, les autres mouvements peuvent être quantifiés par l'attribution d'une vitesse. Ce que nous pouvons rajouter ici, c'est que ce choix de donner à la lumière des propriétés spéciales est provisoire ou dans une certaine mesure arbitraire : *il ne repose pas sur une propriété ultime ou intrinsèque de la lumière*. Mais on est forcé de le faire à un moment donné pour pouvoir penser. En faisant ce choix, on arrête une régression qui irait à l'infini et on en assume les conséquences dans notre représentation du monde (relations de Lorentz etc.). Dans la mesure où nous donnons au mouvement un caractère primaire par rapport à l'espace et au temps, c'est en quelque sorte sur une vitesse étalon qui permet de mesurer tout le reste que se fait la régression : comment être sûr que la « vitesse » de la lumière ne varie pas ? Il faudrait la comparer à une autre vitesse, qui devrait elle-même être comparée à une troisième pour s'assurer de sa constance, et ainsi de suite. Cette situation paraît paradoxale car on pense a priori que l'étalon de vitesse renvoie à la composition de deux étalons d'espace et de temps et qu'il faudrait des régressions séparées sur les étalons de longueur (comment être sûr que la règle ne varie pas : il faut la comparer à une autre...) ou de temps (comment être sûr que l'horloge donne un rythme constant ?). C'est ce que l'on faisait dans un passé récent en décidant : cette règle ne varie pas de longueur, cette horloge donne un rythme constant. C'est désormais sur la « vitesse » du mouvement standard (qui n'est pas strictement une vitesse comme nous l'avons dit) que se fait et s'arrête la régression.

7. Examen et résolution (?) des problèmes posés

A notre sens, le point de vue présenté ici permet de soulager certaines difficultés concernant les relations entre temps, espace et mouvement.

7.1. Les paradoxes de Zénon, les critiques de Bergson etc. : comment comprendre le mouvement comme second par rapport à l'espace et au temps ? En réalité, pour poser l'espace, il faut déjà du mouvement. Pour qu'une position dans l'espace ait une signification comme position quelque part, elle doit correspondre à un trajet qui la relie et l'oppose à d'autres positions, sinon on est devant une sorte de néant. Dès que l'on envisage donc des positions différentes dans l'espace, on envisage le mouvement qui les relie et les distingue.

7.2. En physique : nous avons vu comment comprendre la structure de la théorie de la relativité. Nous pouvons reprendre un certain nombre de problèmes qui s'y posent. Il faut avant tout se poser la question de la représentation mathématique du temps dans la théorie physique. La compréhension du temps comme « vectoriel » est un élément majeur de la présente approche. On a parlé pour lui de la position d'un repère mobile : on doit donc a priori se donner un vecteur T avec ses trois composantes T_x, T_y, T_z . Ce temps vectoriel peut sembler incompréhensible (que faire de trois paramètres ?) mais cache un « mouvement ». Le scalaire qui permet d'ordonner les événements, et mérite la dénomination de temps, est ainsi la position ou l'abscisse curviligne du mobile sur sa trajectoire ; c'est encore la longueur du vecteur T le long du mouvement rectiligne dans la direction de celui-ci (on conviendra sans s'attarder que le mouvement de référence définit aussi la ligne droite). On est conduit à se demander alors : quels sont les paramètres α_i de cette direction ? C'est à dire pratiquement : quelle est l'orientation de l'horloge à photons qui nous sert à mesurer le temps ? Dans quelle direction les photons s'y déplacent-ils ? Dès le repère « au repos », on a donc besoin de définir la direction de un ou plusieurs mouvements. Divers choix sont possibles en fonction desquels on peut écrire les transformations vectorielles de Lorentz de différentes façons. Diverses expressions mathématiques, avec ou non un temps tri-dimensionnel, sont données dans la littérature. Sans les reprendre ici, un arrêt sur leur compréhension physique est la clé des développements potentiels de la présente approche.

7.3. Dans l'espace tri-dimensionnel, on peut d'abord définir le temps le long d'une direction unique de cosinus directeurs $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ permettant d'écrire $T_x = \alpha_x T, T_y = \alpha_y T, T_z = \alpha_z T$ avec $T^2 = T_x^2 + T_y^2 + T_z^2$. *La vitesse du repère en mouvement sera prise le long de la même direction* : le principe de relativité exprime dans son essence la possibilité même d'écrire une vitesse v quelconque par un rapport v/c . Cela demande ainsi de postuler la constance de la « vitesse » de propagation de référence c vue de deux points de vue, c'est à dire la conservation de l'équation $x^2 + y^2 + z^2 = c^2 T^2$ devant donner dans le repère mobile l'équation $x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 T'^2$. Ces équations sont écrites le long de la direction choisie commune à v et à c , c'est à dire T (vectoriel). Envisager deux mouvements v et c de même direction exprime aussi que le principe de relativité n'est pas par lui-même lié à la dimensionalité. Pour écrire les expressions mathématiques des transformations le long des trois axes, on doit faire ensuite diverses projections, en prenant soin de projeter non seulement les coordonnées d'espace mais aussi celles de temps, c'est à dire les longueurs associées au mouvement de référence. En omettant cela dans les dérivations standard des transformations vectorielles de

Lorentz [15] on tombe sur une série de difficultés citées en introduction de ce travail. Cette méthode permet de relire de façon éclairante les développements mathématiques de divers auteurs : par exemple, parmi des auteurs récents, ceux de Franco [5] –inspiré par nos travaux [6], [7]-, ou de Tsabary et Censor [34] qui choisissent formellement et implicitement (c'est à dire sans reconnaître sa signification dans un mouvement) la direction du temps vectoriel le long du mouvement des deux repères en translation relative. Cela permet d'écrire des relations symétriques, qui évitent aussi un certain nombre de problèmes qui se posaient à propos des équations de Maxwell ; on peut donner par là à celles-ci un formalisme général. Celui-ci s'étend [34] à toute équation de conservation, en remarquant que toute grandeur physique a un aspect vectoriel caché et s'accompagne d'une grandeur duale (un aspect temporel, un aspect spatial). Les équations de conservation expriment l'identité ou la réciprocité des deux points de vue spatial et temporel. On comprend ainsi les dualités (E, B), (j, ρ), (mv, E) etc. Cela débouche sur les aspects dynamiques.

7.4. On peut aussi définir un mouvement de référence pour chaque axe, on se retrouve avec trois photons d'équations de propagation à conserver $x = \pm cT_x$, $y = \pm cT_y$ et $z = \pm cT_z$ avec trois temps T_x , T_y et T_z . Le temps unique d'un repère tri-dimensionnel est alors l'un ou l'autre de ces trois temps, sous réserve que l'on admette ou établisse une correspondance avec les autres. C'est le choix qu'il faut faire si l'on compose des déplacements de repères dans des directions quelconques les unes par rapport aux autres, dans la mesure où chaque axe a un sens à la fois spatial et temporel et requiert un principe de relativité qui lui est propre. On retrouve alors la structure de groupe des transformations [7]. Dans le premier cas d'une seule direction de mouvement (cf. section 7.3.), la structure de groupe est perdue à cause de l'opération de projection sur les trois axes de coordonnées. Il est intéressant de constater que de très nombreux auteurs (e.g. [11], [12], [35] à [37]) ont présenté des développements mathématiques faisant appel à un temps tri-dimensionnel et qui évitent formellement un certain nombre de difficultés du fonctionnement des relations de Lorentz vectorielles standard. Mais, de l'aveu même de ces auteurs, la question de la signification d'un tel temps se pose. L'approche présentée ici permet de comprendre à quoi correspondent ces pratiques et permet d'en tirer parti de façon nouvelle (voir note en fin de texte).

7.5. Nous pouvons aussi envisager que la structure de la relativité soit compatible avec des faits que l'on s'interdisait d'envisager dans sa compréhension antérieure : - possibilité de déplacements à des vitesses supérieures à celle de la lumière [38], [39], - possibilité de

« variations » de la vitesse de la lumière, -possibilité d'une anisotropie de l'espace, -existence de relations d'incertitude en relativité, comme en mécanique quantique (traduisant l'ignorance que l'on a de la mobilité de points distants [7]), - compréhension d'un certain nombre d'expériences de la microphysique (mettant en jeu les liens entre la mécanique quantique et la relativité) qui font parler de l'« inexistence du temps » [18] à [20]. Le temps attaché à un point n'a effectivement pas de signification. Le résultat de l'expérience de Michelson et Morley lui-même apparaît moins crucial, du fait du caractère conventionnel des choix que l'on fait sur le phénomène de référence servant à organiser nos représentations physiques. D'autres points sont discutés dans [7].

7.6. Du côté de la philosophie enfin : les apories du temps. Si l'on comprend le caractère conventionnel du Temps unique qui correspond simplement à la position d'un mobile de référence et ne « passe » donc pas partout, la séparation entre passé, présent et futur n'est plus étanche et donc moins problématique : l'espace, appuyé sur un ensemble de points matériels de positions relatives constantes, assure la connexion entre passé, présent et futur, une permanence sans temps en quelque sorte ; le présent est relié à l'espace immédiat autour de soi ; le passé est encore présent dans une partie de l'espace ; le futur s'appuie sur l'espace et se définit aussi par les potentialités que l'on peut y préparer (les projets du présent) etc. Mais il n'y a pas d'axe temporel donné à l'avance comme réceptacle à remplir. Il faut examiner avec cette approche la dualité espace-temps dans toute la culture (voir aussi [7])

8. Nouvelles difficultés de la présente approche ? Comment se convaincre du lien entre concepts de temps et concepts d'espace ?

La compréhension et l'adhésion éventuelle au point de vue présenté dans ces lignes est freinée par des difficultés de représentation.

a) Comment accepter d'abord d'envisager l'espace comme fondamentalement lié au temps ? Quand on évoque une tige de 1 mètre posée sur le sol, on se dit qu'on peut le faire indépendamment de toute pensée sur le temps. Mais cette représentation mentale n'est pas bonne. Il faut la remplacer par celle d'un mouvement d'une extrémité à l'autre de cette tige, par exemple celui d'un marcheur qui ferait une enjambée de un mètre par seconde (ou celui des interactions électromagnétiques qui assurent la cohésion de cette tige à la vitesse c). La

longueur de un mètre est alors simplement une fraction du mouvement du marcheur et une autre façon de voir la durée d'une seconde. La possibilité d'abstraire le temps de la pensée de ce morceau d'espace vient de sa dimension modeste par rapport à notre échelle humaine ; mais nous aurions plus de mal à imaginer dans l'instant, c'est à dire en dehors du temps, une longueur d'un milliard d'années lumière... Cette expression même renvoie à un morceau de mouvement, donc à une correspondance entre portions d'espace et de temps. La possibilité de séparer l'espace du temps vient aussi de la stabilité de cette tige qui ne se désagrège pas à l'échelle de temps où nous vivons. Pour la distance de un milliard d'années lumière, il est difficile d'envisager une signification matérielle stable et une permanence en termes d'astres qui la jalonnaient et lui donneraient son sens indépendant du temps. Tout ceci se comprend donc en fonction des circonstances particulières dans lesquelles nous sommes plongés et qui tiennent à des échelles spatio-temporelles relatives (vitesse de la lumière grande par rapport à celle de nos déplacements). Pour se représenter la longueur de quelques microns d'une fibre minérale vue au microscope, il faut en réalité aussi se faire petit et se déplacer le long d'elle comme le marcheur évoqué tout à l'heure. Ce n'est rien d'autre que ce que dit Alain Berthoz quand il associe mouvement à l'espace [25].

b) Inversement, comment accepter d'envisager le temps comme fondamentalement lié à l'espace ? On pense à une durée d'une seconde sans référence à l'espace ? Elle renvoie au temps de la conscience intérieure à soi, apparemment sans lien avec l'espace extérieur. Mais cela est en réalité rendu possible par le repli des dimensions d'espace sur soi : il y a « homogénéisation » de toutes les réactions biochimiques qui se déroulent dans le corps humain et qui associent bel et bien à chaque instant des portions de temps à des portions d'espace. Si le corps humain était réduit à deux atomes en mouvement l'un par rapport à l'autre, la situation serait plus claire, quant à l'association du temps et de l'espace ! Pour l'évocation de la seconde, il faut donc faire appel à la même image que tout à l'heure du marcheur qui fait une enjambée de un mètre par seconde (comme on l'a dit, le rythme cardiaque, qui définit plus ou moins la seconde, repose sur la contraction d'un muscle qui associe bien une distance à un temps).

c) Une fois que l'on a compris ce lien entre temps et espace et qu'on s'en est fait une représentation mentale intime, on se retrouve devant le va et vient à l'infini de la pensée dont nous avons parlé plus haut. Il représente une troisième difficulté. Celle-ci est inévitable et nous fait osciller entre d'un côté une pensée indépendante de l'espace et du temps et de l'autre

la compréhension de leur lien et de leur identité de substance. Cette difficulté se résout au prix d'une sorte de renoncement, jamais complètement accepté par l'esprit, à un fondement ultime et solide pour penser et construire notre représentation du monde. Il faut accepter de s'appuyer sur des fondements provisoires, même en matière d'espace et de temps ; nous rejoignons cette caractéristique fondamentale de la pensée contemporaine que Ladrière a appelé le retrait du fondement [40] (voir aussi les travaux de Hofstadter [41] sur la récursivité, de Léonhardt sur la « pensée antagoniste » [42], ainsi que les réflexions de l'auteur sur l'incertitude, dans un sens fort, attachée à ces questions, voir note en fin de texte).

d) Il y a aussi la difficulté de se dire qu'il faut toujours quelque part de la mobilité. A-t-on découvert le mouvement perpétuel ? Cette difficulté est une autre forme de la difficulté précédente. Dès qu'il y a rationalisation du monde, il y a dénombrement, il y a mouvement, temps et espace ; mouvement substance des choses.

e) Il y a enfin les problèmes redoutables de langue évoqués au début de ce travail : nous héritons de mots qui fonctionnent les uns par rapport aux autres et qui tentent d'exprimer des notions forgées au cours des millénaires. Ils renvoient au fonctionnement en gros de notre monde, mais ne suffisent pas pour caractériser finement ce qui se passe, c'est à dire pour comprendre notre monde par rapport à tous les mondes envisageables par la pensée. Nous devons fonder nos concepts de façon plus universelle pour appréhender des situations plus rares qui pourtant nous mènent plus au fond des choses. Il faut donc voir comme synonymes, avec les nuances qui s'imposent, les mots mouvements, temps et espace.

Note : ce texte, écrit en 2006, est déposé sur les archives HAL en 2010, sans modification. Depuis 2006, l'auteur a publié ou déposé d'autres textes de sujets voisins et qui pourront être consultés avec profit :

Guy B. (2009) Groupes sociaux, espace, temps, dialogue entre un physicien et un anthropologue, Ecole n.s. des mines de Saint-Etienne, inédit, 26 p. Archives ouvertes HAL: <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00468407/en/>

Guy B. (2010) Contradictions dans la pensée de l'espace, du temps et du mouvement, in Guy, 2010, éditeur, Actes des ateliers sur la contradiction, Ecole nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, Mars 2009, Presses des mines, Transvalor, ISBN 978-2-9111256-16-5, pp. 85-92.

Guy (2010) Les relations de Lorentz et le temps : proposition d'utilisation d'un paramètre temporel tri-dimensionnel défini par un déplacement ; la question du temps en physique. Ecole n.s. des mines de Saint-Etienne, 45 p. Archives ouvertes HAL: <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00506296>

Références

- [1] Einstein A. (1905) Sur l'électrodynamique des corps en mouvement, *Annalen der Physik*, XVII, 891-921.
- [2] Bergson H. (1938) *La pensée et le mouvant*, Presses Universitaires de France, 294 p., réédition 1998.
- [3] Blanc-Lapierre A. (1984) La nouvelle définition du mètre, in: A propos de la 17^e conférence générale des poids et mesures (17-21 octobre 1983), *La Vie des Sciences, Comptes Rendus, série générale, tome 1, n°1*, 47-50.
- [4] Brill M.H. (1999) Lost in velocity space : problems with the single-boost Lorentz transformation, *Phys. Essays*, 12, 3, 527-530.
- [5] Franco J.A. (2006) Vectorial Lorentz transformations, *Electronic Journal of Theoretical Physics*, 9, 35-64.
- [6] Guy B. (2004) About the necessary associated re-assessments of space and time concepts : a clue to discuss open questions in relativity theory, *Physical Interpretations of Relativity Theory IX*, Imperial College, London, Sept. 3-6 2004.
- [7] Guy B. (2004) *L'éclair et le tonnerre, promenades entre l'espace et le temps ; à propos de la théorie de la relativité (On lightning and thunder, a stroll between space and time, about the theory of relativity)*. Editions E.P.U., Paris, 224 p.
- [8] Mocanu C.I. (1986) Some difficulties within the framework of relativistic electrodynamics, *Archiv für Elektrotechnik*, 69, 97-110.
- [9] Mocanu C.I. (1991) The paradox of Thomas rotation, *Galilean Electrodynamics*, 2, 67-74.
- [10] Mocanu C.I. (1993) Kinematic confirmation of Thomas paradox, *Galilean Electrodynamics*, 4, 2, 23-28.
- [11] Pappas P.T. (1978) Physics in six dimensions: an axiomatic formulation, *Lett. Nuovo Cimento*, 22, 15, 601-607.
- [12] Pappas P.T. (1979) The "three-dimensional time" equation, *Lett. Nuovo Cimento*, 25, 14, 429-434.
- [13] Pierseaux Y. (1999) *La structure fine de la relativité restreinte*, L'Harmattan, 432 p.
- [14] Rössler O.E., Frölich D., Kleiner N. and Müller F.J. (2002) Nonunique simultaneity on isochrones of the rotating disk: a timelooop in special relativity? *J. New Energy*, 7.
- [15] Tonnelat M.A. (1959) *Les principes de la théorie électromagnétique et de la relativité*, Masson, Paris, 394 p.
- [16] Ungar A.A. (1989) The relativistic velocity composition paradox and the Thomas rotation, *Found. Phys.*, 19, 1385-1396.
- [17] Ungar A.A. (1991) Successive Lorentz transformations of the electromagnetic field, *Found. Phys.*, 21, 5, 569-589.
- [18] Rovelli C. (1990) Quantum mechanics without time: a model, *Physical Review D*, 42, 8, 2638-2646.
- [19] Rovelli C. (1991) Time in quantum gravity: an hypothesis, *Physical Review D*, 43, 2, 442-456.
- [20] Stefanov A., Zbinden H., Gisin N. et Suarez A. (2003) Quantum correlation with moving beamsplitters in relativistic configuration, *Pramana, J. of Physics*, 59, 2, 181-188.
- [21] Allais M. (1999a) Des régularités très significatives dans les observations interférométriques de Dayton C. Miller 1925-1926, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 237, IIB, 1405-1410.
- [22] Nodland B. et Ralston J.P. (1997) Indication of anisotropy in electromagnetic propagation over cosmological distances, *Phys. Rev. Lett.*, 78, 16, 3043-3046.
- [23] Selleri F. ed. (1998) *Open questions in relativistic physics*, Apeiron, Montréal, 375 p.

- [24] Piaget J. et Inhelder B. (1947) La représentation de l'espace chez l'enfant, PUF, Paris.
- [25] Berthoz A. (1997) Le sens du mouvement, Odile Jacob, Paris, 346 p.
- [26] Jullien F. (2001) Du temps, éléments d'une philosophie du vivre, Grasset, Paris, 214 p.
- [27] Alegria J. (1983) Le développement de la notion d'espace et de temps, in : L'espace et le temps, E. Noël édit., Le Seuil, 165-178.
- [28] Borillo A. (1998) L'espace et son expression en français, Ophrys, Paris, Gap.
- [29] Imbert M. (1983) L'espace, le temps et la neurobiologie, in : L'espace et le temps, E. Noël édit., Le Seuil, 179-192.
- [30] Morais J. (1983) La perception de l'espace et du temps, in : L'espace et le temps, E. Noël édit., Le Seuil, 149-164.
- [31] Ninio J. (1983) La géométrie, l'œil et le cerveau, in : L'espace et le temps, E. Noël édit., Le Seuil, 193-205.
- [32] Sadoulet P. (2000) Description géographique, mouvement, iteration, succession: de quelques usages descriptifs du géographe grec Strabon, communication au 4^o colloque Chronos, Nice 18-20 Mai 2000, 12 p.
- [33] Dantzig T. (1967) Le nombre, langage de la science, A. Blanchard Paris, 1974.
- [34] Tsabary G. and Censor A. (2004) An alternative mathematical model for special relativity, ArXiv:math-ph/0402054v1 19 Feb 2004, 17 p.
- [35] Demers P. (1975) Symétrisation de la longueur et du temps dans un espace de Lorentz C^3 en algèbre linéaire, pouvant servir en théorie trichromatique des couleurs, Can. J. Phys., 53, 1687-1688.
- [36] Ziino G. (1979a) On the theoretical reliability of a three-temporal Lorentz transformation, Lett. Nuovo Cimento, 24, 6, 171-174.
- [37] Ziino G. (1979b) On the possibility of a three-temporal Lorentz transformation, Phys. Lett., 70A, 2, 87-88.
- [38] Nimitz G. (2003) Progr. Quantum Electronics 27, 417.
- [39] Scarani V. and Gisin N. (2005) Superluminal hidden communication as the underlying mechanism for quantum correlations: constraining models, Brazilian Journal of Physics, 35, 2A, 328-332.
- [40] Ladrière J. (1976) L'abîme, in : Savoir, faire, espérer : les limites de la raison, J. Beaufret éd., Bruxelles, Pub. Fac. Univ. Saint-Louis, Tome 1, 171-191
- [41] Hofstadter D. (1985) Gödel, Escher, Bach, Les Brins d'une guirlande éternelle, Interéditions, 884 p.
- [42] Léonhardt J.L. (2006) Essai sur la raison de l'homme de science : les modèles de la raison rationaliste et antagoniste, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, CNRS, Lyon, inédit.