

Espace et relativité autour de 1900 : Henri Poincaré

Christiane Vilain

LUTH, Observatoire de Paris, site de Meudon et SPHERE, Université Denis Diderot.

La question de la relativité du mouvement est familière au physicien qui sait, depuis Galilée, que le mouvement rectiligne uniforme est « comme rien », tandis que les accélérations entraînent des conséquences que l'on appelle les « forces d'inertie » bien formalisées depuis Newton.

Mais la nature de l'espace et du mouvement est en fait un problème depuis l'Antiquité, et la façon dont nos lois mécaniques effacent cette difficulté est périodiquement remise en question, jusqu'à aujourd'hui, ce qui entraîne une révision des rapports entre l'expérience et nos concepts les plus intuitifs...

On se demande déjà au Moyen Âge si le mouvement est quelque chose qui se trouve vraiment dans le corps mobile ou bien seulement dans une apparence relative aux autres corps. On se demande aussi si le vide peut exister, à l'intérieur des corps ou en dehors du Monde visible. Mais les concepts utilisés alors sont trop éloignés de notre culture pour que nous puissions en rendre compte ici en deux mots. L'historien des sciences sait bien qu'il lui faut beaucoup de temps et de patience pour abandonner ses réflexes d'homme du 20^e (21^e) siècle et accéder vraiment à ce qu'il appelle un autre « contexte » culturel, afin de comprendre vraiment ce que voulaient dire les médiévaux, ou même notre cher Galilée dans la République de Florence de 1630.

En ce qui concerne la perception du mouvement, certaines remarques semblent cependant échapper à la particularité d'une culture : la vision du mouvement est toujours relative puisque nous voyons encore le Soleil et les étoiles tourner autour de nous, bien que Copernic et Galilée nous aient persuadés que cette apparence n'était due qu'aux mouvements de la Terre sur elle-même et autour du Soleil. Mais sur la Terre elle-même, certains mouvements semblent relatifs et d'autres absolus ; lorsque le train roule à sa vitesse de croisière on peut bien penser, en lisant tranquillement, être au repos ; on peut même avoir l'impression que le paysage recule ; ce n'est plus la même chose si le train freine brusquement et qu'un sac nous tombe dessus ; nous remarquons également les virages : bien que le rayon de courbure soit grand nous sommes déportés d'un côté et savons que nous sommes en mouvement sans même regarder dehors.

Or ces forces d'inertie n'ont pas jusqu'à présent d'explication physique. Ayant acquis une bonne connaissance de la physique classique vous allez me répondre :

- Mais si ! Ce sont des forces fictives dues au fait que nous ne sommes pas dans un repère inertiel ! Tout le monde sait cela.

- Oui, mais qu'est-ce qui différencie un repère inertiel d'un autre si ce n'est que nous l'avons décidé ?

- Mais ce sont ces forces d'inertie justement, que nous éprouvons et mesurons !

- Est-ce que nous ne serions pas en train de tourner en rond ?

- Hmm, peut-être...

Isaac Newton refusait de tourner en rond et avait décidé d'attribuer à un espace vide absolu le pouvoir d'être la cause de ces forces. Cet espace presque divin possédait donc pour lui une puissance dynamique, principe qui sera refusé par beaucoup de ses contemporains et de ses successeurs. Newton avait conçu plusieurs expériences de pensée dont la plus célèbre est celle d'un seau en rotation : une fois entraînée par le mouvement du seau, l'eau tourne et sa surface se déforme pour prendre la forme d'un paraboloïde ; même un observateur lié au seau et qui ne voit rien de l'extérieur « sait » alors que le seau tourne. Newton affirmait de plus que l'effet serait le même s'il n'y avait aucun autre corps présent dans l'Univers et ce n'est donc pas le mouvement relatif qui est perçu mais bien un mouvement absolu.

Les spécialistes de mécanique céleste du 18^e siècle comme Léonard Euler ou Pierre-Simon de Laplace ne s'en préoccupent guère, car le système mis au point par Newton, une fois réécrit en langage

algébrique et différentiel, permet d'expliquer et de prévoir tellement de phénomènes célestes qu'il n'y a aucune raison de se poser des questions sur la nature de l'espace, du mouvement ou du vide. Les physiciens travaillent et la mécanique de Joseph Louis Lagrange permet de développer des méthodes de perturbation, d'affiner la théorie des mouvements de la Lune et des planètes et d'obtenir de bonnes éphémérides. Le siècle suivant voit naître diverses branches d'une nouvelle physique expérimentale : électricité, magnétisme, optique et thermodynamique, avec les succès que l'on connaît.

Aux environs de 1900

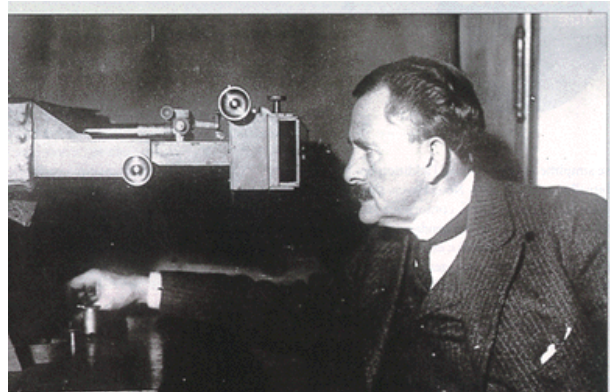
Vers la fin du 19^e siècle, on assiste chez les physiciens à un renouveau d'intérêt pour les fondements des sciences, questions qui avaient été abandonnées aux métaphysiciens ou tout au moins aux philosophes depuis au moins deux siècles. Ainsi, Hermann von Helmholtz et Ernst Mach en Allemagne, ou Henri Poincaré en France, « philosophe », s'interrogent sur la connaissance scientifique, se demandent de quoi elle est faite et jusqu'où elle peut aller.

On peut s'étonner d'une telle réflexion, d'une remise en question qui semblerait signaler une crise de la physique. Au début du 20^e siècle émergent en effet les théories révolutionnaires de la Relativité restreinte et générale, puis de la Mécanique quantique. Mais si l'on veut parler de « crise » avant 1900, il faudrait évoquer d'abord la querelle qui oppose dans les années 1870-80 les nouveaux « atomistes » comme Ludwig Boltzmann aux « énergétistes » qui refusent cette représentation par les atomes, un peu trop métaphysique à leur goût, de toute la matière. Ce qui a fait émerger de nouveaux problèmes est sans doute le désir qu'ont les scientifiques d'unifier leurs résultats : électricité et magnétisme, puis électromagnétisme et optique ; thermodynamique et mécanique. L'écossais James Clerk Maxwell a montré que les ondes électromagnétiques se propagent à la vitesse de la lumière, et que la lumière est donc une de ces ondes. Rudolph Clausius, Maxwell et Boltzmann proposent une interprétation mécanique de la chaleur. Et c'est là qu'interviennent l'éther et les atomes, qui ne sont pas directement visibles ni mesurables.

Mais plus précisément, deux questions épineuses agitent la communauté des physiciens :

1. Depuis les expériences de Thomas Young vers 1800 et les premières expériences de François Arago, la **théorie ondulatoire de la lumière**, avait été adoptée par l'ensemble de la communauté contre l'hypothèse corpusculaire défendue autrefois

par Newton. Mais il fallait à ces ondes lumineuses un support appelé « **éther** », dans lequel elles auraient une vitesse bien définie, comme le son dans l'air. La fameuse expérience de Michelson et Morley, faite et refaite entre 1881 et 1887, avait été conçue pour détecter le mouvement de la Terre par rapport à l'éther, mais on ne trouvait rien. Or si l'éther était totalement entraîné par la Terre, on ne pouvait plus expliquer le phénomène de l'« aberration stellaire » découvert par l'astronome britannique James Bradley en 1725.



Albert Abraham Michelson.

2. À partir de 1880, on connaissait de mieux en mieux le « **rayonnement de corps noir** » émis par tout corps chauffé et donc par les étoiles, mais aucune théorie ne parvenait encore à en expliquer les caractéristiques, pourtant simples et universelles. La meilleure formule proposée était celle que Wilhelm Wien avait déduite d'une analogie avec la physique statistique de Boltzmann, mais elle expliquait mal le comportement du spectre de rayonnement aux faibles énergies.

Réflexions épistémologiques.

Dans ce contexte de la fin du 19^e siècle, Helmholtz s'interroge sur la définition et la mesure des quantités physiques, et Poincaré commence à se demander ce que l'on peut dire de certain en science, quel est le lien véritable entre l'expérience et l'hypothèse. Ce n'est pas vraiment une période de crise, mais on y est sans doute moins optimiste qu'avant, lorsque les découvertes se succédaient en thermodynamique, électromagnétisme, astronomie ou spectroscopie, tout au long de ce siècle caractérisé par le triomphe de la méthode expérimentale.

Nous ne doutons plus aujourd'hui du bien fondé, de la « vérité », de la nature électromagnétique de la lumière ni du fait que la chaleur soit du mouvement. Nous avons d'ailleurs gardé les atomes qui nous semblent bien « réels », même s'ils sont composés

de quarks et de gluons. Pourtant l'éther a disparu et les ondes électromagnétiques n'ont plus de support ; elles vibrent dans le vide, ce qui ne correspond à aucune intuition puisque toute vibration est la vibration de quelque chose : de l'air, d'une corde, d'une membrane, ou encore de la surface de la mer. Mais cet éther aurait dû être à la fois indépendant du mouvement de la Terre autour du Soleil et entraîné par elle, ce qui est impossible. Heinrich Anton Lorentz avait alors imaginé une contraction des longueurs expliquant que l'interféromètre de Michelson ne puisse détecter le mouvement, pourtant réel pensait-il, de notre Terre par rapport à l'éther. Poincaré prolonge son travail sur les transformations des longueurs et des temps d'un repère à l'autre, de façon à assurer la réciprocité de la transformation et donc la relativité de cette contraction des longueurs (ainsi que de la dilatation du temps).

Pourquoi fait-il cela ?

Henri Poincaré et le mouvement relatif

Poincaré, déjà connu comme spécialiste de la mécanique céleste et plus généralement de la physique mathématique, publie en 1902 un ouvrage qui va avoir beaucoup de succès : *La science et l'hypothèse*, dans lequel il s'interroge sur la nature de nos principes physiques dans leurs rapports avec l'expérience.



Henri Poincaré en 1890.

C'est ainsi qu'il affirme : « *Le mouvement d'un système quelconque doit obéir aux mêmes lois,*

qu'on le rapporte à des axes fixes, ou à des axes mobiles entraînés dans un mouvement rectiligne et uniforme. C'est là le principe du mouvement relatif, qui s'impose à nous pour deux raisons : d'abord, l'expérience la plus vulgaire le confirme, et ensuite l'hypothèse contraire répugnerait singulièrement à l'esprit. »

Il semble que là, contrairement à son habitude, Poincaré demeure tributaire de son apprentissage qui lui a fait considérer comme évident un principe établi difficilement par Galilée au début du 17^e siècle. L'expérience « vulgaire » en question est en effet celle de l'**invariance galiléenne**, qui fait constater que le mouvement rectiligne et uniforme d'un navire, d'un train ou de tout autre contenant, n'affecte aucune des expériences mécaniques que l'on peut effectuer à l'intérieur. Mais ce n'est vrai que si le mouvement est parfaitement régulier, ce qui est rare. Alors les lois de la physique devront s'écrire de la même façon dans ce repère que dans celui de la berge, considérée comme au repos. Quant à ce qui répugnerait à l'esprit, il est dangereux de l'avancer ainsi, car peu de personnes sont persuadées encore aujourd'hui de l'équivalence des repères, qu'il s'agisse du train en mouvement rectiligne uniforme, de l'ascenseur en chute libre ou de la navette en orbite. Les inégalités du mouvement du train font sentir le mouvement, même si on peut avoir l'impression par moment que c'est le paysage qui recule. Ce que Galilée a établi est que la **relativité visuelle** du mouvement n'était pas seulement une illusion d'optique : le mouvement, à condition qu'il soit parfaitement uniforme, est vraiment « comme rien ».

Mais revenons à Poincaré, convaincu de l'évidence du principe de relativité :

« *Mais alors, pourquoi le principe n'est-il vrai que si le mouvement des axes mobiles est rectiligne et uniforme ? Il semble qu'il devrait s'imposer à nous avec la même force, si ce mouvement est varié, ou tout au moins s'il se réduit à une rotation uniforme. Or dans ces deux cas, le principe n'est pas vrai. [...]*

Si le ciel était sans cesse couvert de nuages et si nous n'avions aucun moyen d'observer les astres, nous pourrions, néanmoins, conclure que la Terre tourne ; nous en serions avertis par son aplatissement, ou bien encore par l'expérience du pendule de Foucault. »

Le pendule de Foucault joue, pour la rotation de la Terre, le même rôle que la surface incurvée de l'eau du seau de Newton dont nous avons parlé au début de ce texte et semble bien détecter de l'intérieur,

donc de façon absolue et non pas relative, le mouvement de rotation.

Quelle physique feraient donc ces terriens privés de tout repère extérieur ? Il leur faudrait rendre compte des forces d'inertie - force centrifuge et de Coriolis - par des forces d'attraction qui, au lieu de décroître en raison de la distance, croîtraient. Il leur faudrait admettre une dissymétrie dans les mouvements, une orientation de leur surface, et peut-être introduire un « éther » spécifique pour transmettre ces forces. Poincaré sait très bien nous montrer qu'une telle physique serait possible, mais aussi compliquée que le système des cercles – déférents et épicycles- que Claude Ptolémée avait inventé pour traduire le mouvement compliqué des planètes autour de la Terre supposée immobile. Alors, dit-il, sur cette Terre isolée par les nuages, surviendrait un autre

Copernic qui, sans voir aucune étoile ni aucune planète dirait : « la Terre tourne ». Et Poincaré de conclure :

« Et de même que notre Copernic à nous, nous a dit : il est plus commode de supposer que la Terre tourne, parce qu'on exprime ainsi les lois de l'astronomie dans un langage bien plus simple ; celui-là dirait : Il est plus commode de supposer que la Terre tourne, parce qu'on exprime ainsi les lois de la mécanique dans un langage bien plus simple. »

Poincaré, voulant « enfoncer le clou », conclut en disant que l'expression « la Terre tourne » n'a aucun sens, soulevant immédiatement une vague de protestations indignées dans le milieu scientifique ! ■

Suite dans le prochain CC