

**Enfin, qui a découvert la Relativité ?
Einstein ou Poincaré ? Einstein bien sûr
et personne d'autre¹ !**

GEORGES LOCHAK

Fondation Louis de Broglie,
23, rue Marsoulan, F-75012 Paris

En partant, dans ce titre, d'un jugement aussi péremptoire, je me sens obligé de commencer par dire ce que je pense de Poincaré.

Henri Poincaré affectionnait la physique mathématique, dont il n'hésitait pas à dire qu'elle était une mère nourricière des mathématiques. Il lui consacra un quart de ses travaux, car il faut compter deux tomes sur dix de ses œuvres complètes, où l'on trouve notamment l'électromagnétisme et les disciplines qui s'y rattachent, mais d'où est absente la mécanique, discipline reine de la physique, qui est classée ailleurs. Or Poincaré était passé maître en mécanique et lui a consacré, outre de nombreux mémoires, l'un des trois plus grands livres de l'histoire de la Mécanique, parus chaque fois à un siècle d'intervalle : les *Principia* de Newton (1686), la *Mécanique analytique* de Lagrange (1788) et les *Méthodes nouvelles de la mécanique céleste* de Poincaré (1892).

On peut dire d'Henri Poincaré, et avec plus de force encore, ce que, le philosophe Emile Meyerson a dit, avec une subtile nuance, de Louis de Broglie : « Non seulement il a du génie, mais il est très intelligent. » Je dirai même, en me permettant une petite outrecuidance, que Poincaré était si prodigieusement intelligent, qu'il donnait, dans tous les domaines,

¹ NDLR : Article écrit à l'aimable invitation de la Revue de l'électricité et de l'électronique, et paru dans le numéro 5, mai 2005, p. 25.

l'impression du génie, alors que son génie véritable était, quand même, avant tout en mathématique. Et comme il était doué d'une curiosité quasiment universelle, son intelligence s'exerçait dans les domaines les plus divers. Je crois que s'il s'était intéressé au problème des sauterelles en Afrique, il aurait dit quelque chose d'intéressant.

Un exemple de cette étonnante pénétration d'esprit nous est donné par sa contribution « inconsciente » à la théorie du monopôle magnétique². C'était deux ans après que Pierre Curie en eut prévu l'existence³, mais Poincaré ne l'avait sûrement pas lu et ne pouvait faire le lien avec son propos, que voici. Un physicien suisse, Birkeland, avait constaté qu'en introduisant dans un tube de Crookes un pôle d'aimant, il faisait converger les rayons cathodiques. Pour expliquer le phénomène, Poincaré écrivit la première équation du mouvement d'une charge électrique (*dont l'existence n'était pas encore prouvée*) sous l'effet de la force de Lorentz d'un pôle magnétique (*alors que la force de Lorentz venait d'être définie*). Cette équation était non linéaire, mais qu'est-ce qu'une équation non linéaire pour Poincaré ? Il n'en fit qu'une bouchée dans un bref feu d'artifice d'intégrales premières, de géométrie différentielle et d'astuces algébriques et géométriques. La Note s'intitulait modestement : « Remarques sur une expérience de M. Birkeland », mais Poincaré tira de son équation la description géométrique du phénomène observé, et l'inclut ainsi dans l'électromagnétisme de Maxwell-Lorentz.

Ce que Poincaré ne pouvait pas remarquer, c'est qu'il décrivait ainsi le mouvement d'une charge électrique dans le champ d'un monopôle magnétique lourd (simple changement de langage), ou encore le mouvement d'un monopôle léger dans le champ d'une charge électrique lourde (simple changement de point de vue). J'en puis témoigner : près d'un siècle plus tard, j'ai écrit l'équation d'un monopôle magnétique en introduisant une jauge non abélienne dans l'équation de Dirac. Cela semble très loin de Poincaré. Mais en cherchant ce qu'on appelle la limite de l'optique géométrique, j'ai trouvé qu'elle n'était autre que l'équation de Poincaré ! C'était un cercle qui se refermait, presque à mon insu, et le début d'un

² *Œuvres complètes*, t. X, p. 310, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. 123, p. 530-533, 1896.

³ Pierre Curie, *Journal de Physique*, 3^e série, t. III, p. 415, 1894 ; reproduit dans : *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, **19**, p. 159, 1994.

rattachement à l'expérience, puisque l'équation de Poincaré est expérimentalement confirmée par l'effet Birkeland.

Comme tout ce que Poincaré a fait en physique, cette théorie portait la marque de son audace, de sa pénétration d'esprit et de sa domination mathématique. Mais, conscient des limites de la Science il devait écrire un jour :

« Les poètes l'emportent sur nous. Le hasard d'une rime fait sortir un système de l'ombre. »

Or c'est en mathématiques qu'il était un poète. Le génie, c'est de savoir avant de comprendre. C'est savoir d'instinct que c'est là qu'il faut poser telle pierre car il s'y élèvera une cathédrale, et qu'il ne faut pas la placer ailleurs, ou en mettre une autre. Le génie est une divine simplicité qui d'un coup fait entrevoir un monde, ou qui unit en un même système des domaines entiers de la pensée, autour d'un seul principe. Le génie, c'est apercevoir le dedans des choses quand tout le monde n'en voit que la surface.

On respire cela à chaque ligne dans les mathématiques de Poincaré. On croirait que les résultats lui coulent entre les doigts comme de l'eau claire et l'on se demande s'il connaissait vraiment les mathématiques ou s'il les réinventait à chaque instant. Ses raisonnements étonnent par leur profondeur et leur apparente simplicité. Ainsi, lorsqu'il dit, en commençant une démonstration : *« Si l'on savait telle chose, le théorème serait évident. Et il montre que c'est le cas. Or cette chose-là serait vraie si telle autre l'était. Ce qu'il prouve en quelques lignes. Et cette dernière serait vraie si telle autre était prouvée. »* Il démontre ce point et le théorème tombe. Il n'attaque pas une falaise en regardant le bas, mais le haut, il ne cherche pas la première prise mais la dernière, qu'il aperçoit au loin, puis celle d'où on peut l'atteindre et, en redescendant ainsi par le regard, toute la voie devient évidente.

Je n'ai jamais si bien compris le génie de Poincaré que grâce à une petite erreur de date de René Thom qui m'exprima un jour son admiration pour les célèbres mémoires de Poincaré *Sur les courbes définies par une équation différentielle*. Ces mémoires cherchent ce que l'on peut comprendre par des raisonnements généraux de nature analytique, géométrique et topologique, sur les courbes définies par une équation qu'on ne sait pas résoudre, ce qui est le cas de l'immense majorité des équations.

Thom voyait dans ces mémoires l'accomplissement du génial mathématicien à la fin de sa carrière, après avoir exploré tout ce qui pouvait

l'être. « *Mais non, lui dis - je, vous n'avez pas vu la date : il avait vingt-cinq ans !* » Thom ne m'a pas cru et voulut vérifier. Stupéfait, il a reconnu son erreur quelques jours plus tard.

C'est cela, le génie de Poincaré. Mais je voudrais, pour terminer, dire franchement, en ne lui retirant rien de mon admiration, y compris pour son œuvre en physique, que je ne crois pas que, dans ce domaine, il ait fait preuve d'un génie égal. On peut penser que, s'il est parfois un peu lourd et difficile à suivre c'est qu'il se sert de notations anciennes qui se sont condensées par la suite sous une forme qui nous est devenue familière. Mais il en est de même en mathématiques et on le lui pardonne volontiers au nom de son génie.

Non, à vrai dire, s'il est plus lourd en physique qu'en mathématique c'est qu'il ne retrouve pas en physique sa légèreté d'elfe, celle du génie. Einstein a dit un jour que, lorsqu'il était jeune, il se sentait aussi fort en mathématique qu'en physique mais qu'il s'est aperçu qu'en mathématique, il ne savait que raisonner dans des domaines déjà connus, alors qu'en physique, il avait l'impression (ô combien confirmée par la suite !) qu'il était capable d'idées originales. Je pense que l'inverse peut se dire de Poincaré.

Poincaré et Einstein, l'un comme l'autre, nous montrent, chacun dans son domaine, ce qu'est le génie : Einstein avait, en physique, la même simplicité, la même évidence de raisonnement, la même largeur de vue que Poincaré en mathématiques. En mathématiques, Einstein pouvait être extrêmement habile et profond, mais il n'y a jamais ouvert de branche nouvelle ni démontré de théorème très général. Pas plus que Poincaré n'est l'auteur d'aucune grande théorie physique. Alors on objecte : *la relativité*.

Je pense que Poincaré a été aussi loin en relativité que pouvait aller un esprit supérieurement intelligent. Mais la relativité, c'est Einstein et lui seul, pour une raison très simple. C'est que *la relativité est une nouvelle théorie de l'espace et du temps*. Et c'est lui qui l'a vu. Personne d'autre. On en a mainte preuve.

Ni Lorentz, ni Poincaré n'ont déduit les transformations de Lorentz de principes généraux. Lorentz les a posées *a priori* et a montré qu'elles conservent la forme des équations de Maxwell. Poincaré les a prises chez Lorentz et les considère comme données. Il les rattache comme Lorentz aux mêmes équations de Maxwell.

Au contraire, Einstein ne part pas des équations de Maxwell mais uniquement des deux principes de *relativité* et d'*invariance de la vitesse de*

la lumière et il en déduit les transformations de l'espace et du temps qui doivent se substituer, **dans toute la physique**, aux transformations habituelles connues en mécanique.

C'est à cet endroit précis qu'on change de physique. Poincaré parlait de principe de relativité et le considérait comme inévitable, mais Einstein seul s'en servait dans les calculs. Poincaré calculait *de facto* comme si la vitesse de la lumière était invariante, alors qu'Einstein le pose en loi fondamentale et s'en sert explicitement. Et surtout, Einstein construit sa théorie, non pas pour interpréter l'expérience de Michelson, mais pour comprendre la mesure de l'espace et du temps.

Chez Poincaré, comme chez Lorentz, tout repose sur les lois de l'électromagnétisme. Le fameux groupe de Lorentz n'est qu'une loi de transformation qui conserve la forme des équations de Maxwell et cette loi est devinée plus que démontrée.

Au contraire chez Einstein, la transformation de Lorentz est *démontrée* à partir des principes généraux de relativité et d'invariance de la vitesse de la lumière. Il est seul, à énoncer ce dernier principe et remarque, sur un ton d'évidence, qu'il est en apparence contraire au principe de relativité.

La constante que Poincaré désigne par epsilon et qui s'introduit dans la transformation de Lorentz, est regardé par ces deux auteurs comme une constante arbitraire dont l'unique propriété est d'être inférieure à l'unité.

Au contraire, chez Einstein, cette constante a une expression précise et une signification physique : c'est le quotient v/c de la vitesse v du mobile (par rapport à l'observateur), par la vitesse c de la lumière dans le vide.

Cette différence entre Einstein d'une part et Lorentz et Poincaré de l'autre est capitale car elle provient du fait que, pour Einstein, la transformation de Lorentz n'est pas seulement une loi d'invariance des équations de Maxwell (dont il ne parle même pas à cet endroit) : c'est une conséquence de sa conception générale de l'espace et du temps dans laquelle les équations de Maxwell s'inséreront par la suite.

Autrement dit c'est un nouveau cadre donné à toute la physique et non pas une propriété de telle théorie particulière.

On peut en dire autant de la contraction de Lorentz, c'est-à-dire du fait que la nouvelle loi de transformation de l'espace et du temps a pour conséquence qu'un observateur, en mouvement rectiligne et uniforme

parallèlement à une règle rigide, verra cette règle plus courte que si celle-ci restait immobile par rapport à l'observateur.

Cette contraction est mis au centre de la théorie par Lorentz et Poincaré qui la traitent comme s'il s'agissait d'une compression physique due à quelque force extérieure. Au contraire, chez Einstein, cette contraction est signalée au passage comme un simple effet cinématique.

Entre les deux points de vue, il y a la même différence qu'entre l'idée de traiter la réduction apparente des objets lointains comme une diminution véritable de leurs dimensions et le fait de n'y voir qu'un simple résultat de la perspective, donc d'une propriété géométrique et non d'une modification de l'objet observé.

Notons également que la relativité, donc la transformation de Lorentz, entraîne que, si un objet se déplace par rapport à un objet qui lui même se déplace par rapport à un autre avec une vitesse parallèle à la première, la vitesse du premier objet par rapport au troisième ne sera plus la somme ou la différence des vitesses précédentes comme nous y sommes accoutumés. C'est une expression beaucoup plus compliquée qu'on appelle la « loi de composition relativiste des vitesses ».

Ce résultat se trouve dans le fameux article d'Einstein de 1905. On prétend qu'il se trouve aussi chez Poincaré la même année. Mais c'est complètement faux car, s'il est vrai que Poincaré trouve une formule mathématiquement analogue, il s'agit seulement du calcul de la constante epsilon, dont nous parlions plus haut, qui s'introduit, en l'occurrence, dans une transformation de Lorentz résultant de deux transformations successives : le epsilon cherché est une fonction des deux epsilons précédents et la formule est celle-là même qu'obtient Einstein pour la vitesse résultante du dernier observateur par rapport au premier en tenant compte de l'observateur intermédiaire.

Mais il y a une différence radicale entre le résultat d'Einstein et celui de Poincaré : pour le premier il s'agit de la composition de deux vitesses relatives, tandis que pour le second il s'agit seulement du calcul d'un paramètre abstrait, sans signification physique, à partir de deux autres tout aussi abstraits.

Cette différence s'accuse encore du fait que chez Poincaré comme chez Lorentz, l'éther est conservé en arrière plan de la théorie, tandis qu'Einstein le supprime dès le début et supprime par là même toute possibilité de mouvement absolu. Chez lui, seuls les mouvements relatifs demeurent. On

peut vraiment dire que c'est avec lui que la relativité commence et non avec Poincaré, qui certes, en parle, mais n'y voit qu'un espoir lointain.

Et c'est pour cette raison là que, deux ans plus tard, Einstein était déjà lancé dans la relativité générale, bien qu'il n'y fût encore question, ni d'espace de Riemann, ni de tenseur, ni d'invariant, mais seulement d'intuitions physiques. Ses principales réflexions portaient sur des mouvements relatifs mais cette fois-ci, non uniformes et donc avec des vitesses et éventuellement des orientations variables.

Il réfléchissait en outre sur les conditions de mouvement à l'intérieur d'une cabine d'ascenseur en chute libre, ce que nous appelons maintenant, à l'ère de l'astronautique, un mouvement en «apesanteur». De même, il réfléchissait sur la manière dont les voyageurs se sentent projetés d'avant en arrière ou sur le côté dans une voiture qui freine, accélère ou tourne. Il a compris que les forces qui apparaissent là sont d'une nature tout à fait différente des forces mécaniques ou électromagnétiques, comme l'étaient les forces qui avaient déjà attiré l'attention de Newton lorsqu'on fait tourner sur lui-même un seau d'eau dont la surface du liquide se creuse : on les appelle des forces d'inertie et Einstein a compris qu'elles faisaient le lien avec la force de gravitation.

Nous n'irons pas plus loin mais on aperçoit déjà que ce sont des réflexions physiques profondes sur des phénomènes familiers et non des développements mathématiques abstraits qui ont conduit Einstein à la découverte de la Relativité, y compris générale.