

EINSTEIN, UN HOMME QUI AVAIT DE LA SUITE DANS LES IDÉES

Etienne Klein¹

Le père de la théorie de la relativité est une figure monumentale, un monolithe écrasant, une mythologie gelée à lui tout seul. À cette sorte d'intellectuel total qui fut également un héros populaire on a consacré, de son vivant et après, plus de deux mille livres, des millions d'articles, des centaines de documentaires. On l'a photographié, statufié, décortiqué, catalogué. Toutes sortes de clichés, de réductions et de caricatures l'ont « empoissé », pour parler comme Roland Barthes, c'est-à-dire l'ont assigné à une ou plusieurs identités stables souvent sans rapport vrai avec son être. Aussitôt après sa mort, en dépit de l'opposition spécifique qu'il avait formulée de son vivant, son encéphale fut même découpé en deux-cent-quarante lamelles, dispersées entre plusieurs institutions où elles furent minutieusement étudiées dans l'espoir d'y détecter quelque particularité morphologique susceptible d'expliquer son génie, comme s'il s'agissait d'une mécanique insolite qu'on allait enfin pouvoir démonter. En l'an 2000, c'est lui que, parmi une liste impressionnantes de grandes figures, les lecteurs du magazine *Time* ont choisi pour symboliser « l'homme du XX^e siècle ».

Mais selon moi, Einstein était surtout un génie qui avait de la suite dans les idées (ce qui vaut souvent mieux, ainsi que cela fut récemment démontré, que d'avoir des idées dans la suite). Cet homme-là ne lâchait jamais le fil que tiraient les questions qu'il se posait.

En juin 1895, à l'âge de quinze ans, alors qu'il avait démissionné de son lycée à Munich, il adressa à son oncle César Koch un mémoire de cinq pages intitulé « Sur l'état présent des recherches à propos de l'éther dans les champs magnétiques ». Il y énumérait les sujets de recherche qu'il aborderait au cours de sa vie. Tous tournaient autour de la propagation de la lumière dans l'espace. Qu'advierait-il, se demandait le jeune homme, si de la lumière émettait de la lumière ? Quelle serait la vitesse de l'onde émise ? Pourrait-elle aller plus vite que la lumière émettrice ? Mais alors, de la lumière irait plus vite que la lumière ! Et que se passerait-il si la lumière émise émettait à son tour de la lumière ? Ne pourrait-on pas ainsi construire un escalier cinématique vers l'infini ? Questions incroyables, étonnantes, en ce qu'elles supposaient à la fois une grande jeunesse d'esprit et une très bonne connaissance de la façon dont les physiciens pensaient alors la lumière. Dix ans plus tard, à Berne,

¹ Directeur de Recherches au CEA, auteur de *Discours sur l'origine de l'univers* (Champs-Flammarion, 2012)

Einstein sera en mesure de répondre aux questions de son adolescence, annonces de ses œuvres futures. Sa réponse aura un nom : la théorie de la relativité restreinte, qui stipule que la vitesse de la lumière est la même dans tous les référentiels, donc la même pour tous les observateurs, quelles que soient leur vitesse et celle de la source émettrice. L'hypothèse d'Einstein était si révolutionnaire qu'elle mettra carrément par terre la précédente conception de l'espace et du temps physiques, celle théorisée par Isaac Newton. Le temps newtonien était absolu, indépendant de l'espace, indifférent au mouvement, de sorte qu'il permettait de donner au mot « maintenant » un sens parfaitement clair : ce qui se passait « maintenant » pour moi se passait également « maintenant » pour tous les autres observateurs dans l'univers. En d'autres termes, selon la physique newtonienne, il n'y avait qu'un seul temps, universel par définition, si bien que le concept de simultanéité était absolu : à tout instant, deux observateurs pouvaient synchroniser leurs montres, et à tout instant ultérieur celles-ci resteraient synchronisées, quels que fussent les déplacements et les vitesses des deux observateurs, puisque toutes deux demeuraient en phase avec le temps de l'univers. Mais dans le cadre de la théorie d'Einstein, l'espace et le temps cessent d'être absolus pour devenir relatifs, se couplant l'un à l'autre de façon quasi-conjugale, acquièrent le statut de partenaires. Le concept de simultanéité ne se remettra jamais de cette nouvelle association.

Deux ans plus tard, alors qu'il était encore à Berne, Einstein eut « la plus heureuse de sa vie », l'idée qui sera la pierre angulaire de sa théorie de la relativité générale : « J'étais assis sur ma chaise au Bureau Fédéral de Berne, racontera-t-il. Je compris soudain que si une personne est en chute libre, elle ne sentira pas son propre poids. J'en ai été saisi. Cette pensée me fit une grande impression. Elle me poussa vers une nouvelle théorie de la gravitation ».

Ce qu'Einstein venait là de comprendre, c'est que lorsque nous tombons en chute libre, tout ce qui est proche de nous (parapluie, chapeau) tombe comme nous puisque la vitesse de chute des objets est la même pour tous les objets. Nous avons donc l'impression que la pesanteur a disparu dans notre voisinage alors même que nous sommes en train de subir sa loi. N'est-ce pas bizarre ? Tout se passe comme si l'accélération produite par la chute effaçait le champ de gravitation local...

À la suite de cet émoi, Einstein postula qu'il y aurait une sorte d'identité formelle entre accélération et gravitation : si une accélération peut effacer un champ gravitationnel réel, alors elle doit pouvoir aussi créer l'apparence d'un champ gravitationnel là où il n'y en a pas. En conséquence de ce « principe d'équivalence », une personne se trouvant dans un ascenseur sans fenêtre ne saurait dire si l'ascenseur est au repos dans un champ gravitationnel ou si, hors de tout champ de gravitation, il est tiré avec une accélération constante. Dans les deux cas, cette personne sentirait ses pieds plaqués au

plancher et, si elle lâchait un objet, celui-ci tomberait exactement comme il le fait sur Terre. L'expression des lois physiques devrait donc être formellement identique dans les deux situations.

Quatre ans plus tard, en 1911, alors à Prague, Einstein fit une seconde percée décisive en comprenant que le principe d'équivalence implique que la lumière, bien que de masse nulle, ne file pas tout droit dans un champ de gravitation. Imaginons que la cabine d'un ascenseur ait un mouvement accéléré et qu'un rayon de lumière parallèle au plancher passe par un minuscule orifice aménagé dans l'une de ses parois. La vitesse de la lumière n'étant pas infinie, il lui faut un certain temps pour atteindre la paroi opposée, temps pendant lequel la cabine se sera déplacée vers le haut, de sorte que le point d'impact du rayon lumineux sera un peu plus proche du plancher que l'orifice d'entrée. Si l'on pouvait observer la trajectoire du rayon lumineux traversant la cabine, on constaterait qu'elle est courbée en raison de l'accélération vers le « haut ». Qu'impose maintenant le principe d'équivalence ? Que cet effet serait le même si la cabine d'ascenseur était immobile dans un champ de gravitation. En clair, contrairement à ce qui se passe selon la théorie classique, le trajet de la lumière doit être dévié par la gravitation !

Cette idée va agir comme un sésame cosmique. Apparue au bord de la Vltava dans le recoin d'un cerveau capable de pensées peu ordinaires, elle va s'étayer, se formaliser, et finira par bouleverser dans l'esprit des physiciens la structure même de l'univers.

En 1913. De retour à Zurich, Einstein étudia avec l'aide de Marcel Grossmann la géométrie des espaces courbes qui avait été développée par Bernhard Riemann. Ce dernier n'avait envisagé que la courbure de l'espace, mais Einstein et son ami généralisèrent ses travaux à l'espace-temps tout entier. Dans un article rédigé à quatre mains, ils avancèrent l'idée que la gravitation n'est pas une véritable force, mais une manifestation locale de la courbure de l'espace-temps. Selon eux, la géométrie de l'univers serait en réalité courbée par les masses qu'il contient et, en retour, la géométrie de l'espace-temps déterminerait directement (c'est-à-dire sans qu'une force soit mise en jeu) le mouvement des objets matériels en son sein. Cependant, à cause d'une erreur commise par Einstein, ils ne purent trouver les équations reliant la courbure de l'espace-temps à la masse et à l'énergie qui y sont contenues. À partir de 1914, Einstein continua à travailler sur ce problème à Berlin, en grande partie épargnée par la guerre, et il finit par trouver les équations justes à la fin de l'année 1915. Au cours de la conférence qu'il donna le 25 novembre, il annonça la déviation de la lumière lors de son passage au voisinage du soleil devait être égale à 1,75 seconde d'arc.

Après la fin du carnage mondial, Arthur Eddington, le directeur de l'observatoire de Cambridge, organisa deux expéditions en vue d'observer l'éclipse du 29 mai 1919. Lui-même partit avec une

première équipe pour une petite île de l'Atlantique Sud, tandis qu'une seconde équipe posait ses instruments dans une ville du Brésil. Malgré une météo peu coopérative et des plaques photographiques de mauvaise qualité, les mesures confirmèrent les calculs d'Einstein. L'annonce de ce résultat déclencha un enthousiasme sans précédent et fit d'Einstein une star mondiale.

Lorsqu'Eduard, son second fils, lui demanda pourquoi il était devenu si célèbre, il obtint une jolie réponse qui résumait l'essentiel de l'affaire : « Quand un scarabée aveugle marche à la surface d'une branche incurvée, lui expliqua son père, il ne se rend pas compte que le chemin qu'il suit est lui aussi incurvé. J'ai eu la chance de remarquer ce que le scarabée ne peut pas voir ».

En 1916, alors qu'il était malade, épuisé par des années de travail intense, Einstein avait commencé à se demander si une masse en mouvement accéléré pouvait rayonner des « ondes gravitationnelles », de la même façon qu'une charge électrique qu'on accélère rayonne des ondes électromagnétiques. Il avait découvert rapidement des solutions de ses équations correspondant à des ondulations de l'espace-temps se propageant à la vitesse de la lumière. Au cours de leur trajet, elles devraient secouer l'espace-temps, ce qui aurait pour effet de modifier brièvement la distance séparant deux points dans l'espace.

La gravitation étant très faible en intensité, de telles ondes sont très difficiles à détecter. De fait, elles n'ont pu l'être qu'avec la complicité d'un événement monstrueux qui s'est produit il y a plus d'un milliard d'années : deux trous noirs voisins ont fusionné à une vitesse égale aux deux tiers de la vitesse de la lumière ; ce phénomène hyper-violent a libéré une énergie inimaginable en seulement 20 millisecondes, et engendré un train d'ondes gravitationnelles qui ont progressivement perdu de la puissance au cours de leur long voyage ; leur passage au travers de la Terre, le 14 septembre 2015 à 9 heures 50 minutes et 45 secondes (Temps Universel), a pu être détecté grâce aux instruments extrêmement sensibles de l'expérience LIGO (qui - coup de chance incroyable - venaient tout juste d'être mis en service). Attardons-nous une seconde sur la prouesse réalisée : les variations de longueur que cet instrument est parvenu à mesurer sont largement inférieures à la taille d'un proton ! Mathématiquement articulée, la physique agit décidément comme un véritable « treuil ontologique » : à partir d'un examen de ses équations et de ce qu'elles impliquent, elle révèle de nouveaux éléments de réalité. Elle le fit déjà en prédisant puis démontrant l'existence des photons, des antiparticules, des quarks, et, plus récemment, en 2012, du boson de Higgs. Mais là, l'histoire se donne en plus avec une certaine ironie, car Einstein n'a jamais cru en l'existence des trous noirs. Or, ce sont bien deux tels objets qui, en s'accouplant jusqu'à n'en plus faire qu'un, ont permis que soient enfin détectées les ondes gravitationnelles qu'il avait prédites.

Il s'agit en fait d'une double découverte : la preuve de la réalité des ondes gravitationnelles confirme en retour, par une sorte de renvoi d'ascenseur cosmique, l'existence des trous noirs (qui était encore contestée par certains), ainsi que la possibilité de leur coalescence.

L'annonce du 11 février dernier vient donc à point nommé pour célébrer majestueusement le centenaire d'une extraordinaire construction intellectuelle. Elle sonne comme l'aboutissement d'une idée simple et en effet « heureuse » qui, un beau jour, éclata comme une bulle dans le cerveau d'un génie.