Il y a des idées qui flottent dans l'air du temps et qui n'attendent que le moment de prendre forme. La relativité restreinte fut de celles-là. Lorentz et Poincaré disposaient des pièces du puzzle mais ils n'ont pas vu comment les assembler ils n'ont probablement même pas compris que ces pièces appartenaient à un même puzzle. Voilà pourquoi le mérite de la relativité est attribué à Einstein.

A la fin du 19ème siècle la physique classique était achevée sur base de deux corpus, la mécanique analytique de Newton et l'électromagnétisme de Maxwell. Le problème était que ces deux théories étaient contradictoires sur un point essentiel les lois de Newton étaient invariantes par la transformation de Galilée tandis que les lois de Maxwell étaient invariantes par la transformation de Lorentz. Or ces transformations diffèrent, en particulier lorsque la vitesse relative entre deux observateurs approche la vitesse de la lumière.

Cette vitesse dans le vide avait été mesurée égale à 310^8 m/s mais il n'était pas clair par rapport à quel référentiel. L'expérience de Michelson et Morley a ajouté à la confusion en apportant la forte présomption pour ne pas dire la certitude que cette vitesse semblait être la même dans tous les cas au mépris des règles de composition les plus élémentaires.

Il revient à Einstein d'avoir compris qu'il ne fallait pas définir la vitesse à partir des notions d'espace et de temps mais définir l'espace et surtout le temps à partir de la vitesse c.

L'espace de la relativité restreinte est plat et c'est la géométrie d'Euclide qui s'applique. C'est une exigence très forte qui n'est rigoureusement respectée que dans les domaines vides de matière car dès que la matière est présente en quantité appréciable, l'espace se courbe et c'est la relativité générale, nettement plus compliquée, qui s'applique. Autant dire que ce cas est théorique mais il est un préalable important afin de s'assurer que l'on maîtrise les exigences d'une formalisation de l'espace-temps.

Tout événement (par exemple une collision entre deux particules) se produisant en un lieu de l'espace-temps est repéré par 4 coordonnées, trois d'espace (x, y, z) et une de temps (t).

Les coordonnées d'espace sont celles du point où l'événement s'est produit et la coordonnée de temps est celle indiquée par l'horloge (locale) située en ce point. Cela présuppose deux choses : 1) que l'espace a été préalablement spatialement balisé par un réseau tridimensionnel de droites repères régulièrement espacées et graduées (Ces droites sont évidemment virtuelles à la manière de ce qui se fait en longitude et latitude à la surface de la terre) et 2) qu'on a réparti des horloges identiques et en état de marche en tous points. Encore faut-il que ces horloges soient synchrones, un problème nettement plus ardu qu'estimé en leurs temps par Galilée et Newton.

Tout évènement est mesurable par un observateur et en relativité restreinte celui-ci doit impérativement être inertiel (Cela cesse d'être le cas en relativité générale avec les complications qu'on devine). Un observateur inertiel est un idéal qui flotte dans l'espace de la relativité restreinte donc idéalement éloigné de toute matière. Le principe d'inertie, universellement valable dans ce vide hypothétique, énonce que tout observateur, O', en translation rectiligne et uniforme par rapport à un autre observateur inertiel, O, est lui aussi inertiel. Dans la suite nous considérerons fréquemment deux observateurs inertiels, O et O', tels que les axes x et x' coïncident, tels que y//y' et z//z' et tels que O' se déplace selon l'axe commun, x=x', à la vitesse v par rapport à O.

Le terme "relativité" se réfère aux différences de mesures que ces deux observateurs inertiels, A et B, sont susceptibles de faire à propos d'un même événement. Que l'espace soit relatif n'a jamais choqué personne : Galilée et Newton savait que, dans le cas simple des observateurs définis au paragraphe précédent, la position d'un événement diffère d'un observateur à l'autre. Par contre il a toujours été considéré comme une évidence n'exigeant aucune explication que les coordonnées temporelles coïncident toujours, autrement dit pour eux le temps est absolu sans qu'il soit nécessaire de prendre d'autre précaution que celle de s'assure que les horloges utilisées sont exactes.

Le terme "relativité" a subi une fameuse réfection à la suite des travaux profonds d'Einstein tendant à démontrer que le temps ne pouvait être absolu et que cela invalidait la transformation de Galilée. L'argument essentiel défendu par Einstein est qu'il ne suffit pas de considérer que le synchronisme des horloges va de soi et que cela ne nécessite aucune précaution. Einstein a au contraire posé l'exigence du principe opérationnel selon lequel il est indispensable de préciser par quel protocole on entend synchroniser les horloges. La méthode naïve qui consisterait à se procurer un grand nombre d'horloges identiques et à les disposer un peu partout dans les systèmes de référence ne convient pas du tout car elle ne précise pas comment il faudrait s'y prendre pour régler ces horloges afin d'être sûr que si H et H', d'une part, et H et H", d'autre part, sont synchrones alors H' et H" le sont également. Cette propriété de transitivité est pourtant essentielle si l'on veut assurer la cohérence de la description d'une série d'événements, par exemple simultanés. Ayant pris conscience de cette exigence Einstein a posé que c'est par un échange de signaux lumineux que cette synchronisation est possible : plaçant une horloge préréglée sur t=0 (sans provisoirement l'activer !), il dispose, un peu partout dans le référentiel, les autres horloges cette fois préréglées sur t=d/c (sans provisoirement les activer !), où d mesure la distance à l'origine et où c est la vitesse de la lumière dans le vide. Une fois ces préparatifs exécuté, il ne reste plus qu'à déclencher successivement les horloges en émettant un flash lumineux isotrope à partir de O, ce flash mettant les horloges en marche au fur et à mesure qu'il les atteint. Pour fonctionner correctement cette procédure exige que la vitesse de la lumière, c, soit une constante universelle la même pour tous les observateurs inertiels quel que soit leur état de mouvement. Ce postulat étonnant semble contraire à l'intuition qu'un observateur qui va à la rencontre de la lumière devrait la voir progresser plus vite mais il est indispensable pour garantir la transitivité de la synchronisation. Il est vite apparu que l'énormité de la valeur de c (=3 10^8 m/s) atténuait les conséquences de la relativité à l'échelle humaine, raison pour laquelle notre intuition quant à la relativité de la vitesse de la lumière a pu être prise en défaut au cours de l'histoire. A l'évidence la transformation de Galilée cesse d'être rigoureusement exacte et elle doit subir un aménagement conforme au principe de l'invariance de c. Ce fut la première tâche exécutée par Einstein dans son fameux article de 1905 que de montrer que la transformation de Galilée devait être remplacée par une autre transformation déjà connue de Lorentz et Poincaré parce qu'elles assuraient l'invariance des équations de Maxwell sans que ces derniers aient véritablement fait le rapprochement avec le problème de la synchronisation des horloges.

En 1900 la physique classique se partageait entre deux corpus imposants mais étrangers l'un à l'autre : la mécanique de Newton reposait sur des lois invariantes par rapport à la transformation de Galilée et l'électromagnétisme de Maxwell reposait sur des lois invariantes par rapport à la transformation de Lorentz, une différence intolérable pour une physique (classique) unifiée. Einstein résolvait deux problèmes d'un seul coup.

Physics in space and time (Kevin Brown)

Toute tentative de formaliser l'exposé des préliminaires de physique se heurte inévitablement à l'obstacle de la tautologie initiale. Exemples : 1) un système inertiel (galiléen) est tel que le principe d'inertie (1ère loi de Newton) s'applique et la première loi énonce que dans un système inertiel (galiléen) le principe d'inertie est d'application. 2) Une horloge est un dispositif reposant sur un mécanisme périodique et un mécanisme est périodique s'il est décomposable en phases successives prenant des temps égaux mais comment savoir que ces temps sont égaux alors qu'on se propose précisément de construire la première horloge objective ?

Parmi les postulats de base se trouvent l'homogénéité et l'isotropie de l'espace. L'homogénéité est en rapport direct avec la première loi mais les deux autres nécessitent l'invocation de l'isotropie au niveau de la synchronisation des horloges. La synchronisation newtonienne est purement mécanique reposant sur l'existence possible d'un mécanisme de désintégration du type, A->B+B, impliquant l'émission conjointe des particules B avec des vitesses exactement opposées (si A est initialement au repos), peu importe l'orientation de l'axe selon lequel elles se séparent. Les deux objets B autorisent de fait la synchronisation des horloges. La relativité restreinte repose sur un autre mécanisme de synchronisation de nature électromagnétique et reposant sur l'invariance de c quel que soit le mouvement de la source ou de l'observateur.

Q. Dans un choc parfaitement mou la quantité de mouvement est conservée mais pas l'énergie cinétique. Où cette dernière est-elle passée ? Il y a eu activation d'un grand nombre de degrés de libertés internes au niveau microscopique. Ceci est à rapprocher de la situation d'interférence de deux ondes qui se superposent en opposition de phase : l'amplitude résultante est nulle sans que l'énergie ait disparu pour autant, seulement transférée au niveau inférieur.

Q. Lorsqu'une corde parfaitement élastique vibre en mode fondamental, ce mode ne perdure pas éternellement même en l'absence (théorique) de tout frottement : les modes secondaires entrent progressivement en vibration, par résonance, répartissant l'énergie totale à tous les niveaux.