



Abdelkader Bachta

Université de Tunis

Einstein et la physique nucléaire*

Einstein ne s'est pas inscrit en physique nucléaire et ne s'est pas intéressé, par conséquent, à la composition du noyau et aux réactions de ses composants, malgré son travail en 1907 sur la structure de l'atome à partir de la chaleur spécifique des corps¹.

La raison de cet écart est, bien entendu, l'appartenance d'Einstein à la physique théorique qui s'occupe des fondements physiques généraux. Or, la physique nucléaire est expérimentale et requiert une technologie, parfois perfectionnée, qui ne peut pas être dans les préoccupations de notre auteur.

Cependant, il y a, en général, des rapports certains entre la physique expérimentale et la physique théorique, contentons-nous de donner deux exemples révélateurs :

1/ Maxwell a fondé sa théorie bien connue sur des expériences optiques et électromagnétiques. Hertz, de son côté, a confirmé expérimentalement la théorie maxwellienne.

2/ Citons également, sur ce plan, un cas expérimental qui a beaucoup dérangé les savants de la fin du 19^e siècle. Il s'agit de la situation du corps noir, qui a été expliquée en 1900 par Planck, le fondateur de la physique des quanta.

D'autre part, à y voir clair, la physique nucléaire se fonde sur deux éléments nécessaires à son fonctionnement. Nous voulons parler de :

1. L'idée de l'existence réelle des atomes. En effet, il n'est pas possible de traiter la composition du noyau et les réactions nucléaires sans poser, au préalable, l'existence effective de ces entités microscopiques.

2. Le lien, admis sans réserve aujourd'hui, de cette physique à la production de l'énergie.

Par conséquent, pour établir les relations possibles de la science nucléaire au savoir théorique d'Einstein, on peut essayer de les comparer aux deux niveaux indiqués. C'est ce que nous allons faire dans cette étude. Notre exposé sera nécessairement bref ici :

¹ Cf. Einstein, *Œuvres choisies*. Direction F. Balibar, Seuil 1989 pp 75-84.

I. Le niveau atomique

Le point de départ de la physique nucléaire et la confirmation einsteinienne

1/ Le point de départ atomique de la physique nucléaire.

Le 20^e siècle a connu la démonstration de l'existence des atomes, au moins de deux façons, malgré l'opposition forte des énergétistes et des positivistes.

a- Une manière technique : En effet, pour s'assurer de l'existence des atomes matériels (car il y'a aussi les quanta), on a dû faire appel à la diffraction des rayons x qui émanent nécessairement des atomes. Il s'agit, en somme, d'une expérience précise qui a été faite en 1912 par Friedrich et Von Laue. Soixante ans après, on a pu voir les atomes d'abord rassemblés, puis isolés au moyen de microscopes dont le pouvoir séparateur est très grand².

b- L'observation de l'aspect granulaire de la matière : On a opté dès les débuts du siècle précédent pour cette méthode.

Sur ce plan on s'est référé, par exemple, au mouvement brownien, c'est-à-dire à cette situation désordonnée où se trouvent des particules en état de suspension dans un fluide quelconque en état de repos. Ce phénomène extraordinaire, à l'époque, a donné aux savants la preuve de l'existence des atomes, puisqu'on peut voir effectivement le mouvement des particules et leur distribution³.

Les électrons constituent également un signe certain de la réalité des atomes. Ces particules électroniques, qui ont été découvertes déjà à la fin du 19^e siècle, confirment, à leur tour, l'aspect granulaire de la matière, et par conséquent, l'existence des atomes⁴.

En parlant de la réalité des atomes, ou de leur existence effective, on ne doit pas oublier, bien entendu, les atomes du rayonnement (ou quanta) que Planck a découverts en Automne 1900, dont l'examen s'est poursuivi jusqu'à l'arrivée à la mécanique quantique (et après), et qui va constituer un instrument nécessaire au sein de la physique atomique et subatomique en général. Or ces quanta ne sont pas formels et chimériques puisqu'ils sont en relation avec l'expérience et qu'il est possible de les compter statistiquement. D'ailleurs les atomes matériels obéissent aussi à ces deux critères⁵.

En définitive, on peut affirmer à propos de l'existence effective des atomes (à peu près) ce que Poincaré avait dit, en substance d'une façon précoce, après une forte apposition à cette réalité : les atomes ne sont pas des illusions utiles puisqu'on croit les voir et les compter⁶.

² Cf. *Anatomie des atomes* de Hladik, pp. 20-22, Ellipses, 1999.

³ Cf. *La matière dérobée* de M. Paty, Éditions des archives contemporaines, 1989, pp. 90-99.

⁴ Ibid.

⁵ Ibid, pp. 99-110. Il est à remarquer à ce propos : 1/ Les quanta montre l'aspect granulaire (et donc atomique) du rayonnement. 2/ Nous parlons ici de l'existence des atomes, de leur réalité comme si cela ne posait aucun problème. En fait, il s'agit d'une question de haute métaphysique que nous ne pouvons pas traiter ici. Nous nous contentons de renvoyer à la controverse entre Einstein et l'école de Bohr sur la question.

⁶ Cité chez Hladik, *ibid*, p. 15.

De toute façon, cette réalité des atomes est une véritable révolution contre une longue période où l'atome était une simple hypothèse utile nous plongeant entièrement dans la réflexion métaphysique. Cette étape a commencé chez les Grecs, comme Démocrite, Épicure et Lucrèce (plus proche de nous), chez qui l'atome était une intuition susceptible d'expliquer la nature. Lucrèce l'a, d'ailleurs, sorti explicitement du cadre de la sensibilité puisque : pour lui, c'est un être dépourvu de couleur, d'odeur etc.... D'autre part, les atomes, chez les Grecs, n'ont rien à voir avec les mathématiques et le nombre (pourtant l'atomisme grec a succédé à Pythagore). L'idée de déclinaison dont Lucrèce a beaucoup parlé, n'avait rien avoir avec la science géométrique⁷.

Cette situation a duré à peu près jusqu'à la fin du 18^e siècle, avec de petits changements qui ne touchent pas à l'essentiel. Newton, par exemple, a lié les atomes, contrairement aux Grecs et manifestement sous l'influence de Gassendi, à Dieu, mais ce savant a gardé l'aspect hypothétique qui lui a permis de comprendre l'infini naturel et les applications du calcul infinitésimal⁸.

Au 18^e siècle, les savants sont restés, en somme, au niveau de généralités relatives à la matière et au matérialisme, sans écouter la voix de l'expérience et du nombre. Ils ont conservé, ainsi, la dimension hypothétique et intuitive de l'atome. Cependant, il y a eu, au cours de ce siècle, un savant avec qui on s'ouvre timidement à la science. Il s'agit de D. Bernoulli dont la préoccupation essentielle était la relation entre la tension qu'exercent un gaz et le mouvement de ses composants atomiques⁹.

Mais la véritable transition va se faire, certainement, au 19^e siècle, à trois niveaux différents qui sont :

a/ Les cristaux : On a découvert au début du 19^e siècle, la structure atomique du cristal. Là, on ne peut pas ne pas citer le père Haüy qui disait : « Le minéral (il s'agit du cristal) n'est qu'un assemblage de molécules similaires, réunies par l'affinité ; son accroissement se fait par la juxtaposition de nouvelles molécules qui s'appliquent à sa surface ». Il est clair, ici, au moins, qu'on touche sérieusement au plan sensible ; en plus, l'opération de compter est possible sur ce plan.

b/ La chimie : À la même époque, la chimie a progressé énormément dans le sens qui nous occupe. Dalton est probablement le meilleur exemple dans ce domaine. Ce savant a écrit un livre intitulé *A new system of chymical philosophy*, dont l'idée centrale est : les atomes du même élément sont identiques et ont le même poids, alors que les atomes d'éléments différents ne sont pas similaires, leurs poids non plus. D'un autre côté, Dalton a fait faire à la théorie atomique un progrès important quand il a établi, pour la première fois, une échelle des poids concernant les corps connus à l'époque. Il est à noter que cette nouvelle théorie chimique, qui a connu ultérieurement d'autres développements, a introduit la quantification dans le monde des atomes.

c/ La physique : Il est question ici, essentiellement, de la théorie cinétique des gaz, où on a dû, développer les idées de Bernoulli à quoi il a été fait allusion. Boltzman, par exemple, visait à rendre compte de l'état d'un gaz et de ses propriétés en partant de la loi de la répartition des vitesses des molécules et de l'hypothèse de la composition moléculaire ; le calcul de probabilité était fortement présent.

⁷ Cf. M. Paty, *ibid.*

⁸ Cf. Hladik et Paty, *ibid.*

⁹ Cf. Paty, *ibid.*, p.90.

Ainsi, l'existence de l'atome est le résultat d'une longue histoire qu'on vient de résumer très brièvement conformément au contexte. Il s'agit, en définitive, d'une révolution contre la métaphysique grecque, que le 19^e siècle a bien préparée¹⁰. Ce renversement notable a eu lieu à peu près au même temps que l'explosion du génie einsteinien, dont le caractère atomique est évident.

2/ La confirmation einsteinienne : Les écrits de 1905

Mars 1905 : Cet article, dont le titre est : *Un point de vue heuristique concernant la production de la lumière et son changement* intéresse les quanta et représente le premier prolongement de la théorie de Planck. Einstein a ainsi élargi le champ du quantum qui concerne désormais aussi la lumière en tant qu'entité granuleuse, constituée d'atomes qu'il appellera «photons». Cette opinion ne devait pas plaire, bien entendu, à Planck qui était plongé, comme les autres physiciens, dans la théorie ondulatoire soutenant plutôt le caractère continu de la lumière. De toute façon, les photons sont à ce niveau prisonniers de l'expérience et des statistiques.

L'article d'avril 1905 : Cette étude s'intitule : *Mouvement de particules suspendues dans un fluide en repos comme conséquence de la théorie cinétique des molécules relative à la chaleur*. Il est clair que l'auteur part, à ce niveau, de la thermodynamique (tel est également son point de départ dans l'article précédent) pour examiner le mouvement brownien découvert en 1828 par le physicien anglais, Brown. Cette étude comprend une position contre les énergétistes qui niaient l'existence d'ondulations. Einstein pense, au contraire, que celles-ci existent bien, et qu'il s'agit seulement de les calculer statistiquement et de les soumettre à l'expérience.

La relativité restreinte (Juin et septembre 1905). Ces deux textes contiennent, au fond, le concept de la nouvelle mécanique qui devait remplacer, dans des conditions physiques précises la conception de la mécanique classique, sans la réfuter complètement, Einstein a fondé l'aspect cinématique de sa mécanique dans le texte de juin 1905 ayant pour titre : *Réflexions sur l'électromagnétisme, l'éther, la géométrie et la relativité*, où il est parti des résultats de la science électromagnétique connus à cette époque. Les équations dites de Lorentz ont un rôle essentiel dans la théorie ; on en arrive enfin à la relativité du temps et de l'espace. Les absolus newtoniens ne sont pas valides au sein du cadre physique relatif à la nouvelle cinématique.

D'autre part, Einstein a traité la dimension dynamique de la relativité en septembre 1905, dans un texte très court qui porte le titre, *l'inertie d'un corps dépend-elle de sa capacité d'énergie*, où il a fondé sa pensée, encore une fois, sur l'électromagnétisme ; d'où la genèse de $E = mc^2$ (sous une forme pas encore entièrement mûre) qui va représenter la loi fondamentale de la nouvelle dynamique.

On peut s'apercevoir que la nouvelle mécanique concerne plutôt les vitesses fort grandes et non celles dont s'occupe la mécanique classique et qui sont ordinaires sans plus. L'auteur lui-même a insisté sur cette différence dans son œuvre, et à plusieurs reprises. Cependant, seuls les atomes peuvent bénéficier de telles vitesses extraordinaires. C'est ce que l'auteur de la relativité a souligné dans tous les textes où il

¹⁰ À propos du 19^e siècle, cf, par exemple, Hladik, ibid, pp. 10-15.

a relevé la différence ; il cite, à ce propos, par exemple, les atomes des éléments radioactifs, ceux du radium, les électrons, les ions etc.

Par conséquent, on peut traduire autrement l'écart avec la mécanique classique et celle qu'Einstein vient d'établir : La première s'occupe de corps macroscopiques dont les vitesses sont normales, la seconde se charge des atomes qui ont des vitesses extraordinaires¹¹.

Par conséquent, l'atomisme d'Einstein est certain. Il est évident également que notre savant croit à l'existence effective des atomes. Il suivra d'ailleurs cette voie ultérieurement au niveau de la relativité générale, par exemple. Le rôle d'Einstein est, ici, très important. Il a, en effet, confirmé «la réalité» des atomes à un moment où elle était l'objet d'un accord relatif. Nous avons fait, plus haut, allusion à l'opposition des énergétistes et des positivistes.

I. L'énergie

Le phénomène nucléaire et son fondement einsteinien

1/ L'énergie en physique nucléaire : L'énergie de liaison, la radioactivité, la fission et la fusion

a- L'énergie de liaison : Il est possible de commencer par un fait qui peut paraître étrange et qui caractérise la structure même du noyau : celui-ci se compose de protons positifs et de neutrons dépourvus de toute charge électrique. C'est en tout cas ce qu'on avait admis dès 1932. Ce qui est vraiment étonnant, c'est que la masse du noyau est supérieure à celle des ses protons et neutrons réunis ; il y a, donc, un manque de masse que les physiciens attribuent à un manque d'énergie, appelé «énergie de liaison». Cela signifie, en définitive, qu'ils posent une équivalence entre la masse et l'énergie.

b- La radioactivité : Les nucléons émettent, au cas où ils ne sont pas stables, des rayonnements différents qui sont au nombre de trois : 1) Le rayonnement alpha constitué de particules positives. 2) Le rayonnement bêta (β) formé d'électrons. 3) Le rayonnement gamma (γ) qui est d'origine électromagnétique. C'est Rutherford qui a établi cette classification. Il a été devancé, au 19^e siècle, par le Français Becquerel qui n'avait, en fait, aucune idée sur l'origine de la radioactivité.

c- La fission nucléaire : Il s'agit là d'une réaction nucléaire qui résulte, en général, de la destruction voulue de noyaux lourds pour en avoir d'autres qui sont moyens. Cette opération n'est pas spontanée. Le procédé en usage, à ce niveau, est par exemple, l'émission de particules alpha ou de neutrons. Le problème est que la plupart des noyaux ne répondent pas à ce genre de bombardement. Il y a cependant quelques rares exceptions comme l'uranium 235 et 233 et le plutonium 236.

En général, il y a trois cas : 1) Quand on a moins d'un neutron valide, le moyen pour provoquer la fission est insuffisant ; résultat : la réaction n'a pas lieu. 2) Lorsque on a affaire à un seul neutron valable, la réaction se conserve. C'est sur cette base qu'on construit des réacteurs nucléaires. 3) Au cas où, il y a plus d'un neutron utile, c'est

¹¹ Concernant les travaux de 1905 d'Einstein cf. *Œuvres choisies* direction de F. Balibar, ibid, Volume1 (Quanta).

l'explosion et la bombe atomique. Il est clair, par conséquent, que la différence entre le réacteur et la bombe réside dans le nombre de neutrons utilisés positivement. C'est la technologie qui s'occupe, normalement, du passage allant de l'un à l'autre. Il suffit de mettre des barres qui absorbent les particules en surplus et qui font éviter l'explosion. Si on a besoin de faire une bombe, on les relève et l'opération d'absorption cesse.

De toute façon et dans tous les cas, l'énergie provient de la matière. On revient ainsi à notre point de départ, c'est-à-dire à la relation précise entre la masse et l'énergie.

d- La fusion nucléaire : Cette réaction nucléaire consiste à unir des noyaux légers pour en obtenir d'autres qui sont moyens. Le soleil, par exemple, est une fusion nucléaire, par excellence, car c'est une union de noyaux de ce genre.

Pour réussir cette réaction nucléaire, il est nécessaire d'élever les éléments matériels qui devraient fusionner à une haute température et pour une longue période. En général, la fusion est spontanée (contrairement à la fission). Cependant, on a affaire, à ce niveau, à des entités matérielles positives, ce qui donnerait lieu, en principe, à la répulsion. La technologie nucléaire a bien trouvé une solution à ce problème «théorique».

Ce qui attire particulièrement l'attention sur ce plan, c'est la production prodigieuse d'énergie, l'exemple du soleil en est une illustration éclatante. Il est évident, que la fusion nucléaire, à son tour, implique la transformation de la matière en énergie. Cette conclusion confirme la relation que nous avons entre vue, précédemment, entre la masse et l'énergie¹².

Il est, par conséquent, clair d'après ce qui précède, que la physique nucléaire en tant que productrice de l'énergie (qui définit également partiellement son objet, le noyau) s'appuie, dans son fonctionnement, sur les masses matérielles. C'est de cette source qu'elle tire sa production, mais aussi la circonscription de son domaine.

Tout cela nous renvoie, au fond, à la relation qu'Einstein a découverte en septembre 1905 entre la masse et l'énergie. Nous voulons, bien entendu, parler de l'équation, la plus connue en physique, $E= mc^2$.

2/ Le fondement einsteinien : Les significations du concept de masse et les révolutions qu'il a provoquées

a- Les significations du concept : Équivalence et variation

1. En effet, la dimension dynamique de la relativité restreinte fait état très nettement de l'équivalence entre la masse et l'énergie. L'équation $E= mc^2$, déjà indiquée, n'est, en fait, que la traduction de l'idée d'existence de l'énergie dans un corps en repos et ayant une masse précise. C'est, d'ailleurs, ce qu'Einstein a bien souligné dans plusieurs textes dont on peut citer :

- *La conférence de Princeton*, où il dit, en substance, que la masse d'un corps et son énergie sont deux aspects de la même essence¹³.

¹² En ce qui concerne l'énergie nucléaire, cf., par exemple, J. L. Lavallard, « De la bombe nucléaire à l'électricité nucléaire », in *Science et Avenir*, n°26.

¹³ *Quatre conférences sur la théorie de la relativité faites à l'université de Princeton*. Gautier Villars, 1925, p. 41.

- *La relativité*, où on peut lire, en somme, que le résultat le plus important de la relativité restreinte concerne la masse qui est intégrée dans le cadre du même principe que l'énergie¹⁴.
- *L'évolution des idées physique* (que l'auteur a écrit avec Infeld) nous informe, par exemple, que la relativité restreinte apporte une réponse claire, convaincante, et dont le caractère est quantitatif, et que chaque énergie se comporte comme une masse en s'opposant au changement¹⁵.

2. Ce concept d'équivalence est, d'un autre côté, lié à l'idée de variation de la masse en fonction de l'énergie et vice-versa. Cette vérité découle, d'ailleurs, nettement de l'équation en question, $E = mc^2$. Dans ses analyses, Einstein a, parfois, choisi entre ces deux idées corrélatives, qui concernent soit l'équivalence, soit la variation. Si on se réfère, par exemple, à *L'inertie d'un corps dépend-elle de sa capacité d'énergie ?* on s'aperçoit que l'auteur s'attache plutôt à l'idée de variation. Certains commentateurs ont suivi Einstein sur ce plan. Nous avons remarqué, en effet, qu'ils optent pour l'une ou l'autre de ces deux pensées.

De toute façon, ce nouveau concept avec ses deux significations a donné lieu à une double révolution.

b- Une double révolution : Contre la mécanique classique et l'énergétisme

1/ La mécanique classique a conçu la masse et l'énergie comme étant deux entités différentes. Elle parle, à ce propos, de deux principes distincts dont l'un concerne, la masse, l'autre l'énergie. Par ailleurs, cette science croyait à l'invariance de la masse. Nous n'en voulons pour preuve que le tout début des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* de Newton.

Le nouveau concept einsteinien représente une véritable révolution contre le classicisme. Einstein, qui a bien étudié l'histoire de la physique – son écrit de 1946, intitulée, $E = mc^2$ en témoigne – est entièrement conscient de ce bouleversement profond. Il nous dit, par exemple, dans *L'évolution des idées en physique* : « La physique classique a introduit deux substances : la matière et l'énergie. La première était douée de poids, tandis que cette dernière en était privée. Dans la physique classique, nous avons deux lois de conservation : une pour la matière et une pour l'énergie. Mais la physique moderne ne maintient pas cette conception de deux substances et de deux lois de conservation. Conformément à la théorie de la relativité, il n'y a pas de distinction essentielle entre la masse et l'énergie. »¹⁶

2/ D'autre part, l'énergétisme, qui est dû au développement de la thermodynamique et de la révolution industrielle au 19^e siècle, réduit le monde matériel entier à la seule énergie. Ostwald, par exemple, pense, en 1890, que l'énergie, dans l'espace et le temps, représente la réalité ultime du monde. La matière paraît, par conséquent, pour lui, comme un simple auxiliaire qu'on peut négliger. Les énergétistes sont allés jusqu'à dire que l'esprit lui-même n'est qu'énergie¹⁷.

¹⁴ *La relativité*, Payot, 1956, p. 57.

¹⁵ *L'évolution des idées en physique*, Flammarion, 1948, pp. 144-145.

¹⁶ Ibid, mêmes pages.

¹⁷ En ce qui concerne l'énergétisme, cf, par exemple, Tomanaga, *Quantum Mechanics*, Amsterdam, 1962.

À ce niveau précis, on peut considérer également que le concept einsteinien de masse est une révolution. L'énergie est importante, certes, chez notre physicien, mais elle n'est pas la seule sur la scène ; il y'a aussi la matière qui est aussi essentielle qu'elle. Einstein a, en effet, soutenu l'équivalence entre ces deux entités. (En outre l'atomisme empêche Einstein d'être du côté de l'énergétisme niant l'existence des atomes).

En résumé, il y'a deux types de rapport entre la physique nucléaire et la pensée einsteinienne qui sont :

- 1) Une relation de confirmation du point de départ de la science en question. Ce type de rapport existe bien chez notre savant ailleurs. On peut dire, en effet, par exemple, qu'il a confirmé l'idée de constance de la vitesse de la lumière qui vient de travaux expérimentaux faits par Morley et Michelson. En fait, tout l'édifice de la relativité restreinte, qui se fonde largement sur cette idée, en est une illustration.
- 2) Un rapport de fondation qui nous rappelle l'attitude du savant à l'égard du mouvement brownien relevant de la physique expérimentale. Einstein a, effectivement, expliqué, comme on a vu dans cette étude, cet état physique embarrassant, ce qui signifie qu'il l'a fondé.

De cette manière, il est possible d'affirmer qu'Einstein a participé indirectement à la construction de la physique nucléaire malgré la différence fondamentale de spécialistes.