

Enrico Fermi

Etienne Klein (Rencontres d'été 2024 - le 1^{er} juillet 2024)

Enrico fermi naît à Rome, le 29 septembre 1901. C'est le cadet de trois enfants. Sa mère est institutrice et son père inspecteur en chef des chemins de fer. Bien qu'il ait été baptisé, Fermi ne reçoit aucune éducation religieuse, ni dans sa famille ni pendant ses études, et il restera agnostique toute sa vie. Lorsqu'il a dix ans, ses parents l'inscrivent au lycée Umberto I. Il se montre bon élève, sans toutefois exceller, il a parfois de mauvaises notes en rédaction car, comme le mentionne Emilio Segré, prix de Nobel de physique en 1959 et ami de Fermi dans son livre Enrico Fermi physicien : le style avec lequel il rédigeait ses compositions, totalement objectif et sans fioriture, faisait croire qu'il manquait de sensibilité ».

Fermi déclara un jour que le seul thème de dissertation qui l'eût intéressé aurait été la description d'une pièce de deux lires.

Ce désintéret pour la philosophie fera qu'il passera complètement à côté du débat concernant l'interprétation de la physique quantique.

Il jouait aussi beaucoup au tennis, notamment avec son ami Edoardo Amaldi. Fermi n'aimait pas perdre. Quand il était battu 6-4, il argumentait : « Cela ne compte pas, car la différence (2) est inférieure à la racine carrée de la somme des jeux (10) ». Fermi entendait par là que la différence des scores pouvait être due à des fluctuations statistiques et non à la supériorité de son adversaire. L'histoire ne dit pas s'il prenait autant de soin à rappeler cet argument lorsqu'il gagnait 6-4

Son intérêt pour la physique et les mathématiques se manifeste assez tôt : tout jeune, il achète chez un bouquiniste un volumineux traité en latin de physique mathématique, un truc en deux volumes de près de 900 pages, *Elementorum Physicae Mathematicae*, publié en 1840 par Andrea Caraffa, un professeur jésuite. Le jeune Fermi étudie à fond cet ouvrage, qui traite de mécanique des milieux continus et discontinus, d'optique, d'acoustique et d'astronomie. Dans les marges, il développe des calculs relatifs aux diverses formules du livre.

Il a vingt-deux ans lorsque, diplômé de l'École normale supérieure de Pise, il décide de quitter la péninsule pour poursuivre son apprentissage en physique quantique auprès des meilleurs : Max Born et Werner Heisenberg à l'université de Göttingen ; Paul Ehrenfest et un certain Albert Einstein à l'université de Leyde. Durant un an, Fermi se familiarise avec le monde de l'infiniment petit. Dès l'âge de dix-sept ans, Fermi s'était inculqué, sans aide aucune, l'essentiel de la théorie de la relativité générale qu'Einstein venait tout juste d'élaborer. La gravitation n'est plus une force s'exerçant à distance entre les corps, contrairement à ce qu'avait pensé Newton, mais une déformation géométrique de l'espace-temps lui-même.

Fermi impressionne tous ceux qui le croisent : il est doué aussi bien pour la théorie que pour l'expérimentation. Ce qui lui vaut, à vingt-cinq ans, d'être nommé professeur de physique théorique à la Sapienza, l'université de Rome. Le comité de sélection est présidé par Orso Mario Corbino, détenteur de la chaire de physique expérimentale, mais aussi figure politique :

il est sénateur et membre du cabinet de Mussolini, le seul à ne pas avoir sa carte du parti fasciste. Ce petit homme plein de vigueur, très préoccupé par l'étiollement de la physique en Italie, demande à Fermi de diriger les recherches de l'Institut de physique.

En septembre 1926, Fermi en prend les rênes. Très vite, il quitte l'enceinte de l'université pour installer confortablement l'Institut dans un bâtiment du XIX^e siècle au 89 A de la via Panisperna, à l'époque quartier des bordels romains. En 1927, ils sont à peine une poignée à y travailler. Enrico Persico, ami d'enfance de Fermi, Franco Rasetti et Edoardo Amaldi y mènent avec Fermi de remarquables travaux en physique atomique et moléculaire, une discipline encore plus jeune que ceux qui l'inaugurent.

Fermi veut s'entourer des étudiants les plus prometteurs d'Italie. Ailleurs, tout va très vite et il le sait. Les principes qui gouvernent l'atome et ses constituants se dévoilent : le Français Louis de Broglie vient d'énoncer le principe de dualité entre l'onde et le corpuscule ; le Viennois Wolfgang Pauli son principe d'exclusion ; l'Allemand Werner Heisenberg, son principe d'indétermination ; le Danois Niels Bohr, son principe de complémentarité. Fermi veut que l'Italie rattrape son retard, elle a trop vécu sur ses lauriers que sont Galilée, Volta et Marconi. L'Institut de physique doit devenir un centre de renommée internationale. Pour cela, il a besoin de former un groupe vivant, solidaire, productif, une sorte de famille. Il est pressé de constituer sa *dream team*, mais soucieux de ne pas se tromper. Alors il fait passer des tests à sa façon, qui s'étalent sur plusieurs mois s'il le faut, et à l'issue desquels il tranche en laissant parler aussi son intuition.

C'est durant l'été 1928 que Fermi et Emilio Segré vont pouvoir se jauger, s'éprouver. Car certaines situations ne trompent pas. Tous deux sont d'excellents alpinistes et ils partent en randonnée dans les Dolomites, escaladent les Tours de Varjolet, le Sassolungo, des sommets rocheux sans neige ni végétation, et vont gravir le Gran Sasso, point culminant des Abruzzes, ou le Monte Aquila. Ils vont nager et deviser sur les plages d'Ostia Antica et de Sperlonga : « Nous allâmes à plusieurs reprises au bord de la mer ou en montagne, raconte Segré. Alors, Fermi me testait en me soumettant des problèmes. Un jour, il me demanda : « Eh bien, comment ferais-tu ceci ? » Il tenait une corde assez lourde, qui se balançait, fixée à un bout, et il fallait que j'en étudie les oscillations. Il voulait savoir s'il avait trouvé quelqu'un à faire entrer en physique. Je le flairais aussi, plus ou moins. C'était un processus réciproque »¹. Finalement, Fermi propose à Segré d'intégrer son groupe et n'aura pas à le regretter : son poulain obtiendra le prix Nobel de physique² en 1959 pour la découverte de l'antiproton.

¹ Emilio Segré, *Entretiens*, déposés au Center for History of Physics à l'American Institute of Physics, New York, p. 2.

² Emilio Segré fit deux contributions majeures en physique nucléaire. En 1937, il découvrit le technétium, le premier élément chimique (de numéro atomique 43) à avoir été produit artificiellement (*technetos* veut dire « artificiel » en grec). En 1955, avec l'aide d'Owen Chamberlain, il utilisa le tout nouvel accélérateur de Berkeley, le Bévatron, pour

Quelques semaines après son admission dans le groupe des *ragazzi*, Segré parle de Majorana à Fermi : son ami est un prodige, tout simplement. Et il suffira d'une seule rencontre pour que Fermi en soit convaincu. A la vérité, c'est lui, le patron de l'Institut, qui va passer un test. A l'époque, il travaille sur un modèle théorique simplifié de l'atome qui prendra par la suite le nom de « modèle de Thomas-Fermi ». Lors de leur première conversation, il en expose les grandes lignes à Majorana et lui montre les tirés à part de ses derniers travaux sur le sujet. Il cherche à résoudre un problème crucial : dans tout atome, des électrons de charge négative tournent autour du noyau de charge positive ; chacun d'eux est donc électriquement attiré par le noyau et repoussé par chacun des autres électrons. Comment calculer la résultante de toutes ces forces, qui détermine le niveau d'énergie de l'électron ? Le calcul exact étant impossible - trop de particules en mouvement sont en jeu -, Fermi fait l'hypothèse que tout se passe à peu près comme si le potentiel électrique qui induit la force agissant sur chaque électron était le potentiel *moyen* créé par le noyau et les autres électrons. Comme une espèce de nuage de charges électriques extrêmement mobiles, dont l'effet global sur l'électron doit pouvoir être calculé plus facilement. En une semaine, à l'aide de sa *Brunsviga* noire, la meilleure machine à calculer de l'époque, Fermi a seulement pu obtenir quelques-unes des valeurs numériques de ce potentiel moyen, dont l'intensité varie avec la distance au noyau. Il les a minutieusement rassemblées en un tableau de nombres qu'il montre à Majorana.

Majorana l'écoute attentivement, pose quelques questions, puis tourne les talons sans manifester ses pensées ni ses intentions. Le lendemain, il se présente de nouveau à l'Institut, entre directement dans le bureau de Fermi et, sans aucun préambule, le prie de lui remonter le tableau des valeurs numériques. Il sort alors de sa poche un petit papier sur lequel il a griffonné un tableau analogue, mais complet. Incroyable ! Il l'a établi en une nuit, avec son seul cerveau pour calculatrice. Quelle ruse élégante ! Il a transformé (je le précise pour les spécialistes, qui, j'en suis sûr, apprécieront) l'équation différentielle de Fermi, qui est du deuxième ordre et non-linéaire, en une équation de Riccati, plus facile à résoudre car intégrable. Majorana compare les deux tableaux et, constatant que leurs parties communes concordent parfaitement, annonce au maître des lieux que ses calculs sont... justes ! Il ne fera jamais preuve de tact avec Fermi, qu'il surpassera toujours en puissance et en vitesse de calcul. L'histoire ne dit pas comment Fermi prit la chose mais il accueille à bras ouverts cet impudent qui s'ignore.

Les jeunes physiciens de la Via Panisperna sont de remarquables ingénieurs et des expérimentateurs de haut vol. Mais pour ces bricoleurs inspirés, la physique quantique est trop contraire au bon sens. Et lorsqu'une théorie est si éloignée du monde empirique, lorsque

projeter des protons de haute énergie sur une cible fixe. Grâce à un astucieux dispositif de détection, ils purent prouver que de ces collisions émergeaient des antiprotons, dont l'existence, jusqu'alors hypothétique, fut ainsi démontrée. Chamberlain et Segré furent les deux lauréats du prix Nobel de physique en 1959.

ses concepts sont si différents des concepts classiques, n'est-ce pas plutôt de foi qu'il s'agit ? Très vite, ils surnomment Fermi le « Pape », car il est le seul à vraiment maîtriser la nouvelle théorie, et promeuvent Franco Rasetti, son bras droit, « Vicaire Cardinal ». Curieusement, ce Vicaire Cardinal qui prétend ne rien comprendre est pourtant amené à remplacer le Pape lorsqu'il s'absente. Majorana est surnommé « le Grand Inquisiteur » car il est le seul à pouvoir parler d'égal à égal avec le Pape. Le caractère colérique d'Emilio Segré lui vaudra d'être surnommé « le Basilic », du nom de ce serpent légendaire dont le regard réduit en cendres ceux qui osent l'offenser. Les jours tranquilles, il devient le « Préfet de la bibliothèque ».

Avec Galilée, Volta et Marconi, Fermi est l'un des italiens que l'on peut considérer comme un génie de la science. Fermi avait une personnalité complexe, c'est doute à cause des circonstances dans lesquelles il a vécu. Fermi a vécu dans la tourmente politique associée au fascisme italien, puis à la deuxième guerre mondiale, puis à la guerre froide. Le mythe de fermi s'est donc cristallisé autour de stéréotypes contradictoires.

D'un côté, la figure du génie solitaire, uniquement dévoué à son propre travail de recherche, qui étudie les noyaux atomiques et en révèle certains secrets, une image d'autodidacte brillant entouré de jeunes chercheurs dans la tour d'ivoire de l'Institut de physique de Rome.

De l'autre, un physicien qui a joué à l'apprenti sorcier, associé au champignon atomique qui s'est élevé d'abord dans le désert d'Alamogordo, puis au-dessus d'Hiroshima et de Nagasaki.

On dit de Fermi qu'il fut le dernier des physiciens à avoir dominé aussi bien la physique théorique que la physique expérimentale, ce que plus personne n'est capable de faire aujourd'hui.

Il est vrai qu'un seul de ses travaux en physique théorique (découverte de la statistique quantique qui porte son nom, théorie de la désintégration bêta), une seule de découverte expérimentale (comme la radioactivité artificielle induite par les neutrons lents ou la réalisation de la première réaction en chaîne contrôlée) aurait suffi pour lui assurer une place remarquable. Parallèlement, sa qualité de membre influent de la communauté scientifique de Los Alamos, son rôle de consultant du gouvernement des Etats-Unis sur la politique atomique, sur le développement et le contrôle des armes nucléaires font de lui un acteur de l'histoire du siècle.

Fermi a laissé son nom à beaucoup de choses :

- 1) D'abord à une unité de longueur, le fermi.
- 2) Deuxièmement à une statistique, la statistique de Fermi-Dirac
- 3) A toute une classe de particules, les fermions.
- 4) A une règle d'or.
- 5) A la première théorie de l'interaction faible.
- 6) A une constante, la constante de Fermi
- 7) A un nouvel élément chimique, le fermium, $Z = 100$
- 8) A une pile, construite à la hâte dans le stade de Chicago.

- 9) A un paradoxe : En 1950, alors qu'il est à Los Alamos, Fermi pose l'une de ses fameuses questions : « Quelle est la probabilité pour que, dans les dix prochaines années, nous ayons la preuve de l'existence d'un extraterrestre ? » La réponse de Teller – une chance sur un million – ne satisfait pas Fermi, qui penche plutôt pour dix pour cent de chance. Il reste silencieux un moment, et brusquement s'écrit : « Mais où sont ils ? » Fermi entame un débat qui va passionner les astronomes, et les biologistes, et en fait pratiquement tout le monde. En effet, la colonisation de la galaxie devrait être une entreprise rapide à l'échelle du temps de l'univers : si l'humanité envoyait des colons vers deux étoiles proches, le voyage durerait une centaine d'années avec les techniques envisagées aujourd'hui. Après 400 ans d'installation, chaque colonie enverrait deux nouvelles missions de colonisation et ainsi de suite. En 3,75 milliards d'années, l'ensemble de la galaxie serait colonisé. Si des extraterrestres avaient entrepris un tel programme, ils devraient déjà être là. D'où la question de Fermi, « Mais où sont-ils ? ». « Ils sont déjà là, lui répondit Szilard, ce sont les hongrois ».
- 10) A un gaz et à un niveau : Fermi considère un gaz parfait où les particules se placent sur les niveaux d'énergie quantifiés de l'oscillateur harmonique. Selon le principe de Pauli, le nombre de particules sur un même niveau d'énergie est limité. Ainsi, les niveaux se remplissent à partir du bas, jusqu'à atteindre le plus haut niveau occupé, qu'on appelle le niveau de Fermi. Ce modèle prendra le nom de gaz de Fermi.
- 11) A un système de coordonnées, les coordonnées de Fermi, qu'il propose en 1922 (il a 22 ans !), alors qu'il est au début de sa quatrième année d'université. Il publie à cette occasion son premier travail important de relativité générale, intitulé « Sur les phénomènes qui ont lieu au voisinage d'une ligne d'univers ». Dans cette étude, il introduit un système de coordonnées spatio-temporelles qui sont particulièrement adaptées pour suivre l'évolution temporelle de phénomènes survenant dans une petite région spatiale. Il démontre ensuite un théorème qui aura de nombreuses applications, impliquant entre autres choses qu'à proximité d'une ligne d'univers, l'espace se comporte comme s'il était euclidien. Ce théorème est cité dans tous les ouvrages de relativité générale, notamment celui de Levi-Civita publié en 1925.
- 12) La théorie de Fermi-Urey : Dans le modèle de Bohr, les électrons de l'atome sont sur des orbites de rayon croissant, qui correspondent à des niveaux d'énergie quantifiés. A priori, l'atome a ainsi une infinité d'orbites. Fermi et Urey proposent que la distance moyenne d entre deux atomes d'un gaz empêche l'existence des orbites dont le diamètre est supérieur à d. Cette coupure élimine un paradoxe du modèle quantique de Bohr, et Fermi peut renormaliser les probabilités des états quantiques pour que leur somme soit égale à un.
- 13) A un laboratoire américain : le Fermi National Accelerator Laboratory à Chicago, le fameux Fermilab, en passe de découvrir le boson de Higgs.