



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Comptes Rendus

Physique

Martha-Cecilia Bustamante De La Ossa

**Parcours, pratique théorique et documents scientifiques « privés » du physicien
Jacques Solomon**


Volume 23, Special Issue S2 (2022), p. 43-70

Published online: 2 May 2022

Issue date: 19 June 2023

<https://doi.org/10.5802/crphys.105>

Part of Special Issue: Prizes of the French Academy of Sciences 2021

 This article is licensed under the
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*Les Comptes Rendus. Physique sont membres du
Centre Mersenne pour l'édition scientifique ouverte*
www.centre-mersenne.org
e-ISSN : 1878-1535



Prizes of the French Academy of Sciences 2021 / *Prix 2021 de l'Académie des sciences*

Parcours, pratique théorique et documents scientifiques « privés » du physicien Jacques Solomon

Career, theoretical practice and “private” scientific documents of the physicist Jacques Solomon

Martha-Cecilia Bustamante De La Ossa*, ^a

^a Laboratoire SPHERE (UMR 7219-CNRS et Université de Paris), Campus Grands Moulins, France

Courriel: mcbusta@univ-paris-diderot.fr

Prix Paul Doistau-Émile Blutet 2021 (Histoire des sciences)

Résumé. Jacques Solomon (1908-1942) est une figure importante de la physique théorique des années 1930 en France. Ses travaux publiés et des documents qui lui ont appartenu et qui m'ont été confiés, font percevoir des processus spécifiques d'écriture et des élaborations théoriques, que sa mort prématurée ne lui permettra pas de mener à leur fin. Dans cet essai, je reviens sur son parcours et sur ces documents privés qui se composent de notes, brouillons, textes intermédiaires et avant-textes, dans l'optique d'une histoire intégrée des sciences et des textes.

Abstract. Jacques Solomon (1908-1942) is an important figure in the theoretical physics of the 1930s in France. His published works and the personal documents that have been entrusted to me, reveal specific writing processes and theoretical elaborations, which his premature death did not allow him to complete. In this essay, I examine his career and these private documents, which consist of notes, drafts and pre-texts, from the perspective of an integrated history of science and texts.

Mots-clés. France, quantification, gravitation, noyau, notes, brouillons, avant-textes.

Keywords. France, quantization, gravitation, nuclei, notes, drafts, pre-texts.

Published online: 2 May 2022, Issue date: 19 June 2023

* Auteur correspondant.

English version follows French version.

1. Introduction

Même si Jacques Solomon n'a pas laissé de théorie ou de théorème qui porte son nom, il fut l'un des rares physiciens théoriciens français à contribuer de manière significative aux théories quantiques relativistes et à la physique nucléaire des années 1930. Il fut aussi un militant communiste et un résistant, fusillé au Mont Valérien, à l'ouest de Paris, en mai 1942, par les nazis. Une plaque commémorative est apposée sur l'immeuble du 3, rue Vauquelin où il habita avec sa femme Hélène Langevin. En 2018, au mois de mai, une autre plaque est érigée dans le Salon d'honneur du Lycée Jacques Decour (ancien Collège Rollin) où Jacques Solomon fit sa scolarité. L'Académie des sciences commémore aussi le nom de Jacques Solomon. Elle attribue le Prix Langevin en hommage à la mémoire des savants français assassinés par les nazis en 1940-1945. Créé en 1945 à l'initiative de Paul Langevin, ce prix, quadriennal dans le domaine des mathématiques, souligne en quoi ces savants ont bien servi la science.

La courte carrière de Jacques Solomon, sous l'égide de Paul Langevin et au gré d'une amitié profonde avec Léon Rosenfeld, nous donne une idée des grandes questions qui agitaient la physique de son temps et des ressources dont disposait un jeune chercheur français pour les aborder. Par ailleurs, les circonstances tragiques de la guerre ont voulu que Jacques Solomon produise, alors qu'il devait se cacher de l'occupant nazi, une masse de documents inédits. Même si le but d'une bonne partie (surtout mathématique) de ces écrits risque de nous rester à jamais inconnu, les méthodes de l'histoire des textes, formulées théoriquement par Karine Chemla en 1995 [15, 16] et appliquées largement aujourd'hui aux sources aussi bien anciennes que contemporaines [10], permettent d'extraire de ce corpus singulier, quelques caractéristiques de la manière dont Jacques Solomon construisait sa pensée théorique en amont de la publication ou de l'exposition.

Dans ce qui suit, je me propose, dans un premier temps, de présenter Jacques Solomon en tant qu'acteur éphémère de la physique de la première moitié du XX^e siècle; puis, dans un deuxième temps, de développer ce que l'histoire des sciences et des textes nous apprend sur ses modes d'écriture.

2. Jacques Solomon et la physique de son temps

2.1. *Années de formation*

Jacques Solomon est né en 1908 à Paris, dans le quartier de Montmartre, d'un couple d'immigrés juifs et agnostiques d'origine roumaine et turque. Une fois diplômé d'un lycée parisien chargé d'histoire (Lycée Rollin aujourd'hui Lycée Jacques Decour), Jacques Solomon commença par faire des études de médecine qu'il abandonnera à cause de son aversion à l'égard de la vie hospitalière et de ses réalités. Il était, malgré tout, devenu « externe des hôpitaux de Paris », titre qui était sanctionné dans le cadre de la formation médicale mise au point au début du XIX^e siècle¹. C'est l'exemple de son père qui avait conduit le jeune Jacques vers cette profession.

En effet, Ibser Solomon était médecin, diplômé de la Faculté de médecine de Paris. Il s'était spécialisé au cours de la Grande Guerre dans l'utilisation que Marie Curie, pour soigner les soldats blessés, avait alors faite des rayons X, découverts à la fin du XIX^e siècle par Wilhelm Röntgen. Le docteur Solomon devenu, durant les années 1920, radiologiste réputé, membre de

¹ L'Externat, « premier palier des carrières médicales hospitalières », est une institution typiquement française qui faisait partie de la formation pratique des futurs médecins. Née en même temps que l'internat, elle n'existe plus aujourd'hui [28].

plusieurs sociétés savantes, manifestait un fort intérêt pour la radioactivité et pour les sciences en général. Il avait constitué, avec sa femme, une très riche bibliothèque. Jacques Solomon y a puisé ses premières connaissances en langues et en physique, sur les théories d'Einstein et sur la théorie de l'atome exposées dans le célèbre ouvrage *Atombau Spektralinien*, publié en 1919 par Arnold Sommerfeld. Cette bibliothèque familiale sera transférée à la Faculté de Médecine de Paris à la veille de la Seconde Guerre [5].



FIGURE 1. Jacques Solomon (1908-1942).

Ce portrait du jeune Jacques Solomon, attiré par la physique, se précise lorsqu'on considère les enseignements qu'il a suivis à la Faculté des sciences de Paris. Jacques Solomon prépare trois certificats d'études supérieures, « calcul des probabilités et physique mathématique », « mécanique rationnelle » et « physique générale ». Il suit les cours d'Émile Borel, grand spécialiste des probabilités en France depuis le début du siècle, ceux de mécanique rationnelle de Paul Montel, professeur de mathématiques générales qui avait remplacé Élie Cartan en 1925 et, enfin, ceux de physique quantique d'Eugène Bloch, nouveau responsable de la chaire de « physique théorique et physique céleste ». En 1930, il prépare un quatrième certificat, « chimie générale ». Pour ce faire, il suit les cours de Georges Urbain, nommé, récemment, professeur de chimie générale [26].

2.2. Rencontre avec Paul Langevin

À la fin de l'année 1926, Jacques Solomon qui est encore à la Faculté des sciences de Paris, suit au Collège de France les cours du physicien Paul Langevin, à la fois théoricien et expérimentateur. En 1908, Langevin avait succédé à Mascart à la chaire de « physique générale et expérimentale ». Depuis son arrivée en 1902, il attirait vers cette institution une jeunesse universitaire et des écoles parisiennes de l'enseignement supérieur, avide de théories physiques nouvelles [12]. À la fin des années 1920, les grands moments qui ont marqué l'histoire de la physique au XX^e siècle se sont déjà manifestés : la théorie quantique du rayonnement, la relativité restreinte et générale, la théorie de l'atome d'hydrogène de Niels Bohr, la mécanique quantique de Heisenberg et la mécanique ondulatoire de Louis de Broglie.

Depuis le début du siècle, les élèves de Langevin, sachant que le maître refusait de publier ses cours, avaient pris l'habitude de se réunir pour comparer et travailler leurs notes, pour produire contre sa volonté, un texte cohérent qui sauvegarderait une parole dont ils savaient qu'on ne trouverait pas de trace écrite ailleurs. L'étude détaillée des seules notes et cahiers d'élèves qui ont suivi, en 1926-27, les leçons au Collège de France, conservées actuellement à l'Académie des sciences, à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI) et dans quelques fonds privés, montre que Langevin y expliqua la nature et les possibilités heuristiques des statistiques quantiques : Bose–Einstein et Fermi–Dirac². Langevin, comme à son habitude, avait pris rapidement la mesure de l'intérêt suscité par ses travaux récents. Les développements dont il traita au Collège de France venaient d'être formulés. Par ailleurs, en 1924, il s'était occupé de Satyendra Nath Bose lorsque celui-ci vint à Paris. C'est grâce à son intervention que ce physicien indien, voulant profiter de son séjour parisien, a fait des recherches chez Marie Curie [14].

Sur ces matières, Langevin professa, pendant plusieurs mois, devant un ensemble d'« auditeurs-scripteurs », parmi lesquels on trouve, outre Jacques Solomon, toute une élite scientifique parisienne dont les physiciens Louis de Broglie, Léon Brillouin et Francis Perrin. Brillouin, dans le contexte favorable de la venue de Bose à Paris, du cours de Langevin et de ses propres recherches dans le domaine des quanta, sera l'auteur, par la suite, d'un ouvrage sur les statistiques quantiques où les enseignements de Langevin sont prolongés, élargis et transformés [4]. Enfin, en 1939, Francis Perrin fera de même dans l'ouvrage qu'il prépare pour le *Traité de Calcul des probabilités et de ses applications*. Émile Borel publiait depuis l'année 1921 cette collection qui était composée de fascicules portant sur des sujets très divers [13].

Les cours de Langevin étaient un lieu de formation et d'enseignement. Ils étaient aussi un espace de sociabilité scientifique et intellectuelle. Jacques Solomon y rencontra la fille de

² Cahiers de cours d'élèves de Langevin. [12, Structure de la lumière. Nouvelles méthodes de statistique, équilibre du rayonnement et la matière 1927].

Langevin, Hélène, qu'il épousa en 1929. Au cours des années trente, Jacques Solomon et sa femme devenus en 1933, au retour de leur voyage à Berlin, membres du parti communiste, militent avec la même ferveur, menant ensemble des actions politiques et de résistance avant et pendant l'occupation. Peu de temps après la mort de son mari, Hélène Langevin sera arrêtée et envoyée au camp de concentration de Auschwitz d'où elle reviendra au bout de plusieurs mois. Entre Jacques Solomon et son beau-père, Langevin, une relation filiale, intellectuelle et scientifique s'est forgée durant les années 1930³. En 1935, ils publièrent ensemble dans les *Comptes Rendus de l'Académie des sciences* une note sur la piézoélectricité qui se rapportait à une question expérimentale précise [6].

Plus généralement, Jacques Solomon, entré de façon définitive dans l'entourage de Langevin, s'inscrit dans la lignée de la physique théorique que son beau-père représentait : élaboration de synthèses et de mises au point, mise en relief de la conceptualisation physique et séparation des tendances dominantes de la physique mathématique française. Vers 1938, Langevin et Jacques Solomon réfléchissent ensemble sur des questions de philosophie politique; le groupe d'études matérialistes animé par Langevin est le point de rencontre du matérialisme dialectique et du rationalisme. Réunis comme d'habitude dans le bureau de Langevin à l'École de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris, Jacques Solomon et Langevin participent à la création de la revue *La Pensée* [11]. Ils sont en bonne partie responsables de l'orientation des articles scientifiques des premiers numéros, parus en 1939, nous y reviendrons⁴. En 1946, dans le contexte encore de la grande conflagration mondiale, Langevin associera son acte d'adhésion au parti communiste au souvenir de Jacques Solomon. Il déclara qu'il voulait occuper la place laissée par son gendre, fusillé par les nazis à cause de ses activités politiques et de son engagement dans les mouvements de Résistance [6].

3. Le physicien théoricien

Revenons à Jacques Solomon et aux années 1930, en évoquant les premiers moments, décisifs, de son parcours de physicien théoricien. Il convient à ce titre de présenter ici le physicien belge Léon Rosenfeld. Après avoir été l'assistant de Max Born à Göttingen et de Wolfgang Pauli à Zürich, Rosenfeld, devient collaborateur de Niels Bohr à Copenhague. Jacques Solomon rencontre Rosenfeld pour la première fois, au Collège de France, pendant le cours de Langevin de 1926-27. L'influence de ce théoricien d'orientation marxiste sur Jacques Solomon est importante. Une intimité scientifique et intellectuelle s'établit entre les deux amis. Ils se retrouvent fréquemment chez les Langevin, et ils se promènent ensemble dans Paris pour discuter de science et de philosophie⁵. En écho aux premiers travaux de Rosenfeld sur le rayonnement et sur l'électron, Jacques Solomon va s'interroger sur le lien entre électromagnétisme et gravitation. En 1931, Jacques Solomon soutient sa thèse de doctorat sur la théorie quantique de Heisenberg et Pauli (1929), et il aspire déjà à une théorie physique unitaire [5, 24].

L'idée de l'élaboration d'une théorie quantique de la gravitation, non pas à partir de la relativité générale (à la manière d'Einstein) mais de la mécanique quantique et, plus rigoureusement, de sa généralisation relativiste, est au cœur d'un certain nombre de ses publications. Il

³ Nous disposons de très peu de témoignages directs sur ce qu'auraient été les échanges scientifiques entre Jacques Solomon et Langevin. Sur ce sujet et sur Langevin comme source d'inspiration pour Jacques Solomon en physique théorique, voir [6].

⁴ Jacques Solomon, militant politique, a tenté de rapprocher la physique et le matérialisme dialectique; la réalité et l'unité de la matière ont été au cœur de sa réflexion [6]. Il a également pris position dans les débats sur l'interprétation de la mécanique quantique [19].

⁵ Léon Rosenfeld (1904-1974), très intéressé par l'histoire des sciences, préparait alors l'article *Le premier conflit entre la théorie ondulatoire et la théorie corpusculaire de la lumière* pour la revue *Isis* dirigée par l'historien des sciences, d'origine belge, Georges Sarton à Harvard [24] et [18].

est, avec Rosenfeld et avec Matvei Petrovich Bronstein en URSS, l'un des premiers à s'être lancé dans cette tentative [23, 36]. En raison des difficultés rencontrées, ce projet ne donna pas lieu à un programme de recherche précis, mais à des travaux ponctuels, difficilement classables, très théoriques et souvent de nature épistémologique. Les études de Jacques Solomon sur ce sujet portent d'abord sur la légitimité de la notion de champ gravitationnel quantique, et il s'inspire ici de questions posées dans sa thèse de doctorat sur les possibilités de définition et d'observation du champ électromagnétique quantique. Ensuite, il cherchera à comprendre le rapport entre les particules élémentaires et les phénomènes gravitationnels, se demandant s'il était permis de parler de façon cohérente de forces gravitationnelles entre particules élémentaires [5, 31].

Les publications de Jacques Solomon, plus d'une trentaine surtout en français mais aussi en allemand, se répartissent entre le *Journal de Physique*, les *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, les *Annalen der Physik* et les *Annales de physique*. Elles portent sur des thématiques qui vont de la théorie quantique du rayonnement (en collaboration avec Rosenfeld [35]) à l'électrodynamique quantique et, enfin, à la physique des rayons cosmiques. La recherche sur les rayons cosmiques, née au début du siècle des recherches sur la conductivité de l'air atmosphérique, se développait de manière systématique à l'époque, et elle nourrissait le développement de la théorie quantique des champs [5, 8]. Théoriciens et expérimentateurs abordaient ainsi les interactions à très hautes énergies entre le rayonnement et la matière. L'intérêt de Jacques Solomon pour ce sujet n'était pas unique en France à cette époque. Des recherches expérimentales, impliquant l'utilisation de compteurs électriques et de chambres de Wilson, ont vu le jour, en particulier, chez Louis Leprince-Ringuet et Pierre Auger. Des exposés furent aussi donnés au nouvel Institut Henri Poincaré, par Robert Millikan, par exemple, physicien américain invité dans le cadre du projet relatif aux spécialistes étrangers. Le programme prévu par les fondateurs de l'Institut en 1928-29, était d'inviter des conférenciers prestigieux, théoriciens et expérimentateurs [17]. Mais en France, pour ce qui concerne les rayons cosmiques, la coupure a été nette entre les spécialistes. Expérimentateurs et les théoriciens menèrent leurs recherches chacun de leur côté [7].

En 1936, Jacques Solomon publie un ouvrage sur les rayons cosmiques chez Hermann, dans la collection *Exposés sur la théorie des quanta*. Cet ouvrage est issu d'une longue présentation du sujet qu'il a faite au Collège de France, en 1935. Jacques Solomon ne s'y place pas dans la perspective de la recherche expérimentale comme il était courant de le faire à l'époque dans un ouvrage sur les rayons cosmiques, ou dans les diverses mises au point faites alors sur la question. C'est à des analyses théoriques que le lecteur est confronté [30]. Sans manquer à la rigueur mathématique, Jacques Solomon met au premier plan les concepts physiques et les conséquences physiques de la théorie. Il traite des phénomènes de collisions et se concentre sur l'approche développée à Copenhague par C. G. Williams et par C. F. von Weizsäcker. Ces théoriciens étendaient la vieille méthode semi-classique du paramètre d'impact aux collisions à haute énergie. Jacques Solomon préfère cette voie aux formulations, plus rigoureuses (remarquait-il) élaborées à partir de la théorie quantique relativiste par Hans Bethe et Walter Heitler, tout en soulignant la convergence des deux approches [5].

Jacques Solomon intervient aussi dans le domaine de la physique nucléaire et des particules, alors en pleine expansion. Il publie de nombreux articles touchant aux nouvelles particules (neutron, positron, neutrino et méson lourd) et, surtout, un ouvrage intitulé *Protons, neutrons, neutrinos* [33]. Ce livre porte essentiellement sur le phénomène de désintégration bêta, sur l'hypothétique non-conservation de l'énergie dans ce processus et sur les interactions à l'intérieur du noyau. La présentation que fait Jacques Solomon de l'ensemble de ces questions prolonge cette approche qu'il nous avait laissé entrevoir dans les travaux précédents, plus axée sur les concepts physiques que sur le formalisme lui-même. Enfin, ce travail est l'aboutissement des leçons qu'il professa au Collège de France en 1937-38, au nom de la Fondation Claude-Antoine Peccot, instituée au tournant du XIX^e au XX^e siècle. Le but de cette institution étant de récompenser des

mathématiciens brillants et, exceptionnellement, des physiciens, âgés de moins de trente ans, le mathématicien Émile Borel avait été le premier lauréat⁶.

4. Une valise de manuscrits

4.1. *Documents privés : brouillons, textes intermédiaires, avant-textes et notes de lecture*

Les intérêts de Jacques Solomon en physique sont aussi manifestes dans ses documents « personnels », reflets de sa recherche au quotidien et de la sphère privée dans laquelle elle s'est développée. Nous avons des traces du travail que mène Jacques Solomon entre 1936 et février 1942, moment où il fut livré, tout comme ses camarades militants communistes, aux autorités allemandes par la police française [11]. Dans la France occupée, il vivait dans la clandestinité. Obligé de se cacher, il se déplaçait avec sa femme dans Paris avec une petite valise où il gardait avec soin ses papiers. Jacques Solomon devait pouvoir mener ses recherches n'importe où et quelques soient les circonstances. Il travaillait continuellement et avec acharnement. D'après ces documents, il lisait, étudiait, prenait beaucoup de notes et « élaborait » des textes scientifiques qui, par leur caractère inachevé, j'appellerai « intermédiaires » ou « avant-textes »⁷. Ne connaissant pas les motivations de Jacques Solomon lorsqu'il produit ces écrits, nous y renvoyons simplement comme à des documents d'étude et d'analyses théoriques, ou à des traces de consultation de littérature scientifique, en grande partie mathématique. Cela représente un « tout » composé de papiers qui sont, pour certains, manuscrits et, pour d'autres, tapés à la machine, pour d'autres, encore, sous les deux formes.

Il faut ajouter à cela, d'abord, les listes d'ouvrages, notes et extraits de textes ou idées, par exemple, une longue note sur Fontenelle (Figure 2), ou un fragment, relatif à Pascal et aux probabilités; ensuite, les nombreux brouillons de calculs, relevant soit de la physique soit des mathématiques. Certaines notes mathématiques et quelques brouillons de calculs de physique nucléaire sont datés de 1941 (Figure 3), ce qui met en évidence, d'une part, le non-abandon par Jacques Solomon de son activité de recherche et, d'autre part, son intérêt pour des sujets qui étaient, a priori, au cœur des préoccupations de l'équipe de Frédéric Joliot-Curie au Collège de France⁸. Ces brouillons sont truffés de remarques qualitatives noyées dans les chiffres ou dans les équations, témoignant d'une sorte de dialogue intérieur au fur et à mesure de l'obtention de résultats. Comme dans beaucoup d'écrits du même type, on y trouve une sensibilité aux éléments visuels comme moyen de compréhension, dessins, figures, barres, connecteurs⁹...

Nous nous concentrerons ici sur le reste des documents. Nous les distribuons en fonction de la discipline dont ils relèvent, sachant que, dans cet univers de l'écrit, aucune classification n'a de valeur absolue car les frontières y sont très mouvantes. La physique théorique et les mathématiques en constituent deux pôles essentiels.

4.2. *Avant-textes de physique théorique*

Arrêtons-nous, d'abord, sur les embryons d'articles, en général très avancés, par exemple, sur les différentes formes d'équation d'onde susceptibles d'être utilisées pour représenter les propriétés

⁶ Borel a été chargé du cours Peccot pendant trois années : 1899-1900, 1900-1901, 1901-1902.

⁷ Nous distinguons deux sortes de textes. Les textes à usage public, destinés à la publication, et les textes à usage privé, avec des modes d'écriture et des rituels que les exigences de la publication font disparaître [9] et [12, chapitre 3].

⁸ Sur Joliot [27].

⁹ Ces brouillons de Jacques Solomon présentent des modes qui, au niveau de l'écriture, sont apparentés à ce que nous avons trouvé dans les manuscrits de Borel sur les probabilités et la mécanique statistique, ainsi que dans ses notes sur le cours de Langevin sur le rayonnement au Collège de France (1912-1913) [12, chapitre 3].

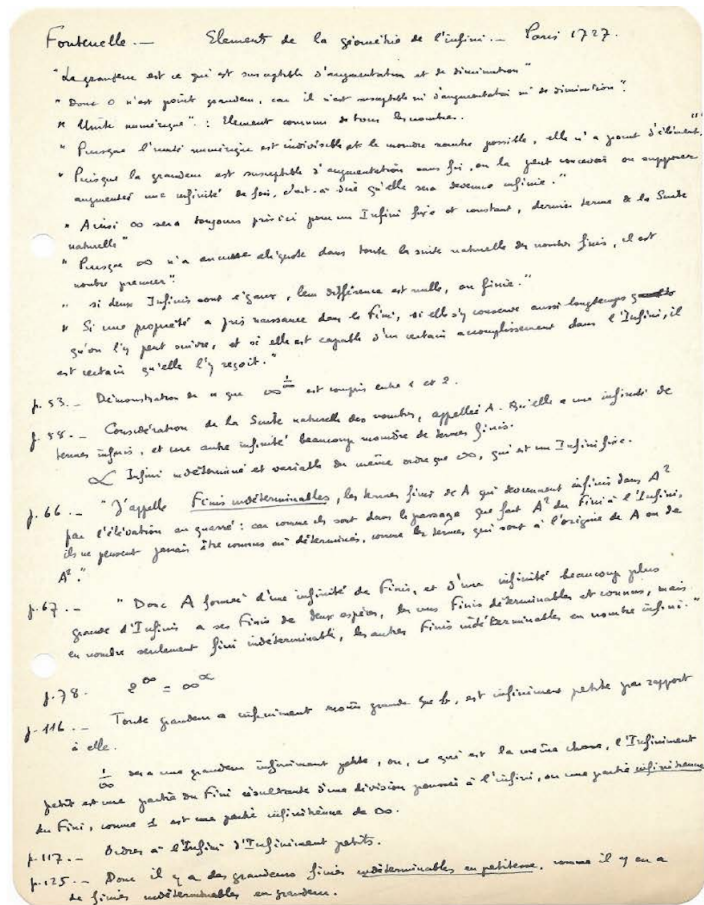


FIGURE 2. Note de lecture sur Fontenelle.

du méson lourd découvert vers 1936, ou sur la théorie du positron de Dirac qui intéressa beaucoup Jacques Solomon, pour traiter des problèmes de la mesure en mécanique quantique. On trouve, également, des textes, probablement de conférences, faites ou à faire, par exemple, sur l'énergie propre de l'électron que Jacques Solomon place dans un cadre, général, de problèmes fondamentaux de la théorie des quanta.

Un texte tapé à la machine porte le titre *Les spectres bêta et la théorie du neutrino*. Ce document est probablement le rapport de Jacques Solomon pour le huitième Conseil Solvay auquel il avait été invité à participer. Celui-ci était prévu pour 1939 mais fut annulé à cause de la situation politique internationale. Il eut lieu en 1948 mais le rapport de Jacques Solomon, préparé donc à l'aube de la tourmente, ne fut pas présenté. Il est resté inédit. Jacques Solomon analyse avec précision que deux hypothèses sont possibles en rapport au phénomène bêta, soit il n'y pas conservation de l'énergie, soit elle est conservée et une partie de l'énergie disponible est emportée par un système supplémentaire : le neutrino introduit pour la première fois par Pauli en 1931. La première hypothèse lui semble « toute négative » du fait, surtout, qu'elle est en contradiction avec le principe de conservation de la charge électrique qui, souligne-t-il, est à la base même de la conception des processus de désintégration bêta. C'est donc sur la seconde « hypothèse » qu'il porte toute son attention. Dans un premier temps son exposé tourne autour, d'abord, de la théorie de Fermi, puis de celle de Konopinski-Uhlenbeck. Cette dernière, dans

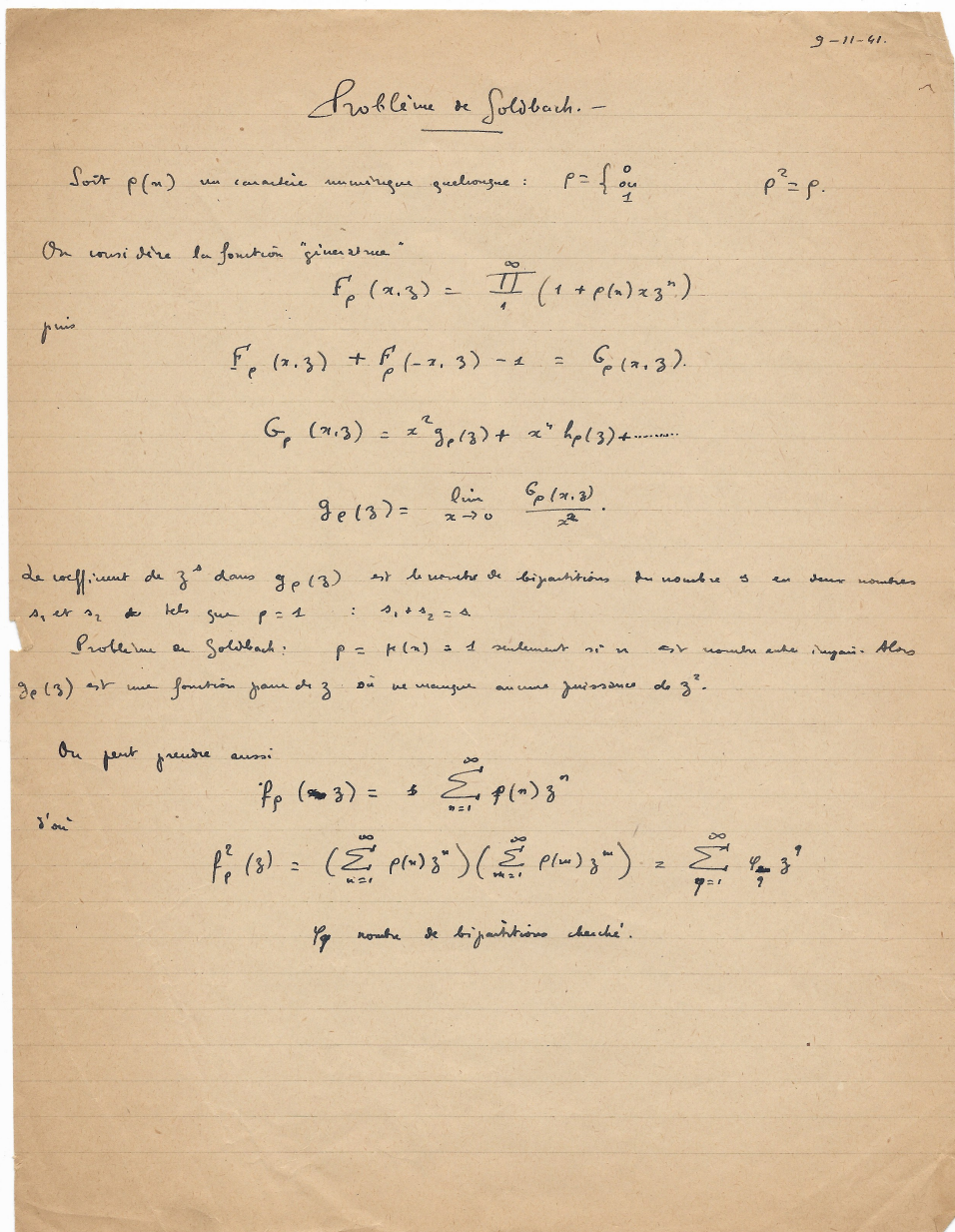


FIGURE 3. Note mathématique datée du 11 novembre 1941.

la prolongation de la première, avait pour lui l'intérêt de rendre compte de l'asymétrie de la forme générale de la courbe spectrale qui n'était pas prévue par la théorie de Fermi. Habitué aux mises au point détaillées, à la manière de son maître Langevin, Jacques Solomon les analyse en profondeur, les compare entre elles et considère, surtout, leurs résultats à la lumière des données expérimentales qui étaient à l'époque nombreuses. D'autres thématiques, théoriques, sont aussi développées : la compatibilité de la forme fondamentale de l'interaction de Fermi avec une théorie hamiltonienne, la relation du neutrino avec la théorie de la gravitation, thème qui lui est

très cher, ou enfin les liens entre neutrinos et mésons lourds cosmiques (qu'il nomme mésotons selon l'usage en France). Sa conclusion est à la fois incisive et concise : avec la désintégration bêta nous sommes en présence d'un des plus profonds phénomènes de la physique nucléaire, un de ceux qui sont les plus susceptibles de nous apporter le plus de renseignements sur la structure de la matière, l'une de ses thématiques, encore, de prédilection.

Dans d'autres documents Jacques Solomon se révèle, à la fois, physicien et militant politique ayant un ancrage philosophique. Un manuscrit est consacré aux « constituants élémentaires de la matière », selon la terminologie que développait Langevin depuis les découvertes de l'électron et de l'atome à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècles, respectivement. Marqué par ces découvertes, Langevin parlait depuis lors de constituants élémentaires de la matière, de la nouvelle physique et de physique du discontinu¹⁰. Très naturellement, la discontinuité de la matière, chère à Langevin, est aussi chère à Jacques Solomon. Le texte en question ne contient aucun formalisme mathématique et favorise surtout les concepts physiques. C'est une lecture de la physique à la lumière du matérialisme dialectique qui est proposée par l'auteur. Jacques Solomon y tente d'articuler deux axes conceptuels, d'un côté, la question de la diversité et la complexité des relations entre les particules et, d'un autre côté, celle de la réalité ultime de la matière et de son unité [6].

Ces considérations de Jacques Solomon, inédites, sont en harmonie avec la teneur de ses articles publiés dans *La Pensée*. Mais la perspective du discours est cette fois-ci tributaire de la nature de cette revue. *La Pensée*, soutenue par le parti communiste, est présentée par les hauts cadres du parti comme un instrument de lutte contre l'obscurantisme. Les grandes revues classiques, affirme-t-on, agonisent dans le bavardage et la confusion des idées. *La Pensée* est donc appelée à être une contribution active à la défense du rationalisme et à jouer un rôle de premier plan dans la vie intellectuelle du pays. C'est ce que préconise en 1939 la revue *Commune* qui, proche aussi du parti communiste, est un organe d'expression militante de l'Association des écrivains. Jacques Solomon épouse ces aspirations d'ordre à la fois théorique et politique et propose, à son tour, les développements qui s'imposent à son esprit tant scientifique que critique. Dans *Du « Radium artificiel » à la conception de l'atome*, l'un de ses articles publiés dans le premier numéro de *La Pensée*, sorti en 1939, il évoque la radioactivité et les travaux des Joliot-Curie et de Fermi. Avec leurs résultats, et avec ceux d'une « pléiade de physiciens américains », la physique moderne a réalisé le rêve des alchimistes mais aussi démontré « l'unité de la matière ».

La question de la réalité ultime de la matière est évoquée dans le contexte du regard que dans le même article porte Jacques Solomon sur un livre récent de Pascual Jordan, connu comme national-socialiste. Jacques Solomon accuse le physicien allemand de falsifier le sens des acquisitions récentes de la science. Il dénonce les affirmations de Jordan selon lesquelles l'atome de 1938 est tout à fait différent de l'atome de Démocrite et que c'est, en dernière instance, une question de goût que de savoir si la conception actuelle de l'atome confirme ou nie la conception de l'atome du siècle dernier (XIX^e). Enfin, la physique est à coup sûr, remarque encore Jacques Solomon, l'une des sciences où les progrès récents ont été les plus révolutionnaires, mais elle est sans doute aussi la science où les doctrines philosophiques les plus rétrogrades ont cherché à trouver de nouvelles armes pour leur lutte contre le rationalisme qui est justement à l'origine d'aussi magnifiques conquêtes [32].

Les sources d'inspiration et les instrumentalisation ayant été nombreuses dans la lutte politique de la fin des années 1930, des thématiques d'un autre ordre sont aussi présentes chez Jacques Solomon militant. Le parti communiste s'étant emparé de la mémoire nationale, le 150^{ème} anniversaire de la Révolution française qu'on célèbre en 1939, a donné l'occasion aux militants de réaffirmer leurs convictions sociales et politiques. [2] Dans des écrits pour la revue

¹⁰ Sur ce sujet [12].

Commune, Jacques Solomon explore « l'œuvre révolutionnaire » dans le monde des sciences, ou l'intérêt qu'ont porté les hommes de la Révolution à l'organisation de la vie scientifique. Dans *Les cahiers du bolchevisme* Jacques Solomon traite de « l'éducation du peuple » que l'idéologie communiste lui inspire. Il dénonce ce dont il avait été lui-même victime, le manque et la suppression de postes à l'université, les chaires non pourvues au Collège de France... Aucun document du travail de préparation de ces publications n'existe aujourd'hui, seules plusieurs notes de lecture qui ont servi probablement à la préparation de ses écrits sur la Révolution française et sur les philosophes des lumières nous sont restées. Nous avons mentionné, plus haut, la note de lecture relative à Fontenelle. Une étude sur *La pensée française, des origines à la Révolution*, qu'il avait presque achevée en 1939, fut retrouvée parmi ses manuscrits et publiée en 1946 [34].

4.3. Notes de lecture mathématiques

Les documents privés de Jacques Solomon qui relèvent des mathématiques sont plus nombreux et plus riches que ceux qui portent sur la physique. Ces manuscrits mathématiques, dans des formats divers, constituent une sorte de nébuleuse théorique où l'on voit Jacques Solomon explorer des questions, entre autres, de topologie générale, de géométries, non archimédienne, infinitésimale, convexe... ou d'algèbres des nombres hypercomplexes, transfinis, etc. Ils renvoient à des travaux d'auteurs de l'époque : Adrian Albert, N. Bourbaki, Waclaw Sierpinski, Nicolas Lusin, Georges Bouligand, Eric Harold Neville, qu'il connaît par sa lecture de Bouligand. Un auteur, ou un concept, a dû mener vers un autre, selon des liens que son regard attentif lui permis d'identifier.

Ces documents sont pour nous des « Notes » de type « lecture d'article » et « lecture de livre » (Figures 4 et 5)¹¹. Une note de lecture d'article est un texte de plusieurs pages qui présente des calculs personnels inspirés par la source consultée; dans d'autres notes Jacques Solomon reprend tels quels les calculs faits par l'auteur. Par contraste, une note de lecture de livre est un texte, également de plusieurs pages, qui est composé de séries d'énoncés, de définitions, de considérations ou autre; chaque élément de la série est précédé d'un numéro qui correspond à la page du livre consulté.

Nous mettons, évidemment, de côté les fragments thématiques de longueur très variable, accompagnés ou pas d'un titre. Ces notes montrent que Jacques Solomon, lecteur et scripteur, est dans une logique, d'une part, d'efficacité et de clarté et, d'autre part, de choix et d'intérêts personnels. On peut l'inférer par leurs sens et leurs aspects visuels.

Prenons, par exemple, la note sur un article de Georges Bouligand, « Les espaces granulaires quasi-distanciés [du géomètre anglais Eric Harold Neville], du point de vue axiomatique et leur adaptation possible à la physique » [3]. D'abord, Jacques Solomon transforme en mots soulignés les italiques du texte imprimé. Ensuite, il laisse des espaces blancs ou trace des lignes qui ne sont pas dans le texte imprimé. Les espaces blancs correspondent, souvent, à des mots ou expressions de Bouligand, auteur, que Jacques Solomon a éliminés lors de la prise de notes. Les lignes sont des éléments qui lui servent à matérialiser des transitions ou des articulations explicitées par Bouligand. Enfin, Jacques Solomon ne retient du texte de Bouligand que les considérations d'ordre mathématique : définitions d' « Espace distancié » (de Maurice Fréchet que Bouligand mentionne mais pas Jacques Solomon) et d' « Espace quasi-distancié » (de E. H. Neville [25] que Bouligand et Jacques Solomon mentionnent) et dans le cadre de ces derniers, les notions de « Grain », « Voisinage », « Point d'accumulation » etc.

¹¹ Cette dénomination est un recours méthodologique que nous utilisons. Elle nous permet d'identifier une forme spécifique d'écriture et, surtout, de travail intellectuel. Elle vise à saisir l'intention de Jacques Solomon, lecteur, de s'approprier des théories, des concepts et/ou des informations.

Aussi de la qu'on peut appeler (a, b) unités si a est entier, quel que soit b. Ou (68)
 au lieu de cette façon à une arithmétique généralisée, si l'on les regarde, à la manière de nombres,
 et qu'on peut appeler habituellement isomorphe avec elle.

Fonctions analytiques d'une variable hypercomplexe - Bibliographie.

L. Antonine, Sur les propriétés qui, pour les fonctions d'une variable complexe, correspondent à la
 monogénéité. - Journal de Math. 1902, p. 53.
 - Sur la fonction monogène d'une variable hypercomplexe dans un groupe commutatif.
 (Bull. Soc. Math. 37, p. 176).

R. Fueter. - Analytische Funktionen einer Quaternionenvariablen
 (Comment. Math. Helv. 9, 1932, p. 9)

Etude systématique des groupes commutatifs et pseudo-unités de quantités hypercomplexes.
 d'après d'Antonine, Annales Université de Lyon, I fasc. 31, 1912.

Nous étudions un groupe (G) commutatif et pseudo-unité à 2 unités commutatives par des
 nombres hypercomplexes $x = \sum_{\alpha} \epsilon_{\alpha} x_{\alpha}$ ($\alpha = 1, 2$) aux 2 coordonnées x_{α} . Les x_{α} sont des nombres
 réels ou complexes.

La multiplication des unités est donnée par les formules

$$\epsilon_{\alpha} \epsilon_{\beta} = \epsilon_{\gamma} \epsilon_{\delta} = \sum_{\alpha} \epsilon_{\alpha} a_{\alpha\beta\gamma\delta}$$

$$\begin{cases} a_{111} = 1 \\ a_{212} = 1 \\ a_{221} = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} a_{211} = a_{212} = a_{221} \\ = a_{112} = a_{222} = 0 \end{cases}$$

On définit avec Frobenius la matrice du groupe

$$S_x = (s_{\alpha\beta}(x)) \text{ où } s_{\alpha\beta}(x) = \sum_{\gamma} a_{\alpha\beta\gamma} x_{\gamma}$$

$$S_x = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ x_2 & x_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ x_2 & x_1 \end{vmatrix}$$

La matrice parastrophie

$$R_u = (r_{\alpha\beta}(u)) \text{ où } r_{\alpha\beta}(u) = \sum_{\alpha} u_{\alpha} a_{\alpha\beta\gamma}$$

$$R_u = \begin{vmatrix} u_1 & u_2 \\ u_2 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} u_1 & u_2 \\ u_2 & 0 \end{vmatrix}$$

Le groupe (G) est défini sans multiplicité par la matrice S_x .

Si l'on considère la forme trilineaire

$$F(u, y, z) = \sum_{\alpha\beta\gamma} a_{\alpha\beta\gamma} u_{\alpha} y_{\beta} z_{\gamma} = u_1 y_1 z_1 + u_2 y_1 z_2 + u_2 y_2 z_1$$

on a

$$S_y = \left(\frac{\partial^2 F}{\partial u_{\alpha} \partial y_{\beta}} \right) \quad R_u = \left(\frac{\partial^2 F}{\partial y_{\beta} \partial z_{\gamma}} \right)$$

Enfin la matrice autostrophie est définie par

$$T_z = \left(\frac{\partial^2 F}{\partial u_{\alpha} \partial y_{\beta}} \right) = \begin{vmatrix} z_1 & 0 \\ z_2 & z_1 \end{vmatrix}$$

Elle a donc la même forme que la matrice du groupe dans le cas précédent.

FIGURE 4. Note type « lecture d'article ». Elle présente des calculs de Jacques Solomon, personnels, inspirés par la source consultée.

Les définitions d'Espace distancié et d'Espace quasi-distancié sont présentées l'une après l'autre et il en est de même des notions correspondant à l'espace quasi-distancié. Très concrètement, Jacques Solomon élimine ce qui, pour Bouligand, est l'intérêt de l'approche axiomatique de Eric Harold Neville. Un paragraphe de quelques lignes, écrit entre guillemets, est situé à la fin du texte de Jacques Solomon. À première vue, ce paragraphe ne fait pas sens par rapport aux fragments mathématiques sélectionnés dans la prise de notes, à moins qu'il ne soit trop implicite. Le paragraphe se rattache précisément aux motivations de l'auteur que Jacques Solomon avait « éliminées ». Il semble, en fait, que Jacques Solomon attachait des enjeux particuliers au sujet mathématique mentionné dans ces dernières lignes. Elles concernent la géométrie non archimédienne. Ceci est un sujet évoqué largement par Jacques Solomon, ailleurs dans les manuscrits.

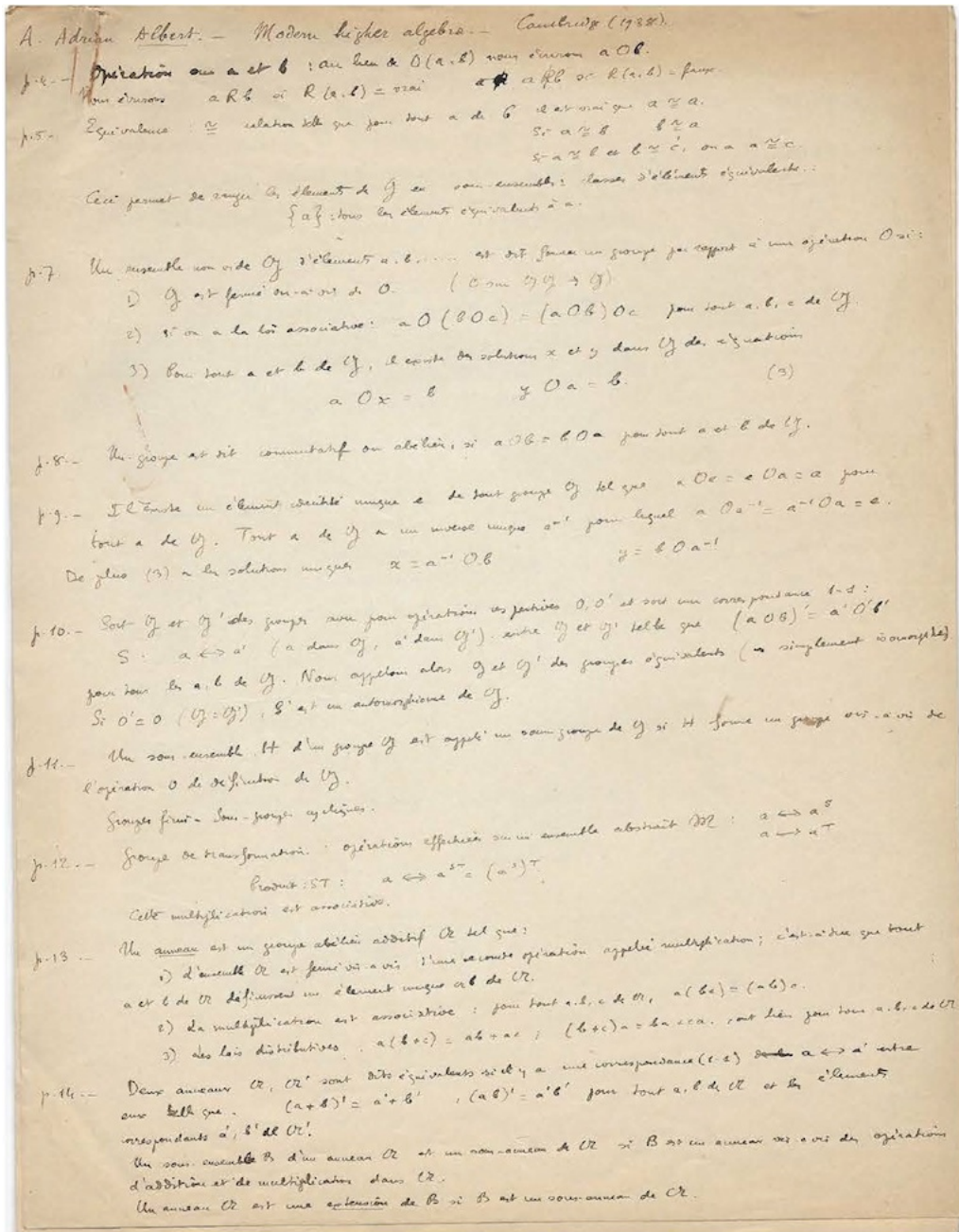


FIGURE 5. Note type « lecture de livre ».

4.4. Un ensemble thématique

« Géométries non-archimédiennes » est le titre ajouté par Jacques Solomon (son écriture est bien reconnaissable) à une chemise qui contient de nombreux documents. Arrêtons-nous sur un certain sous-ensemble, composé de 45 pages manuscrites, avec quelques dates sur les dernières pages (17, 19, 20, 21 et 22 décembre 1939), inscrites non à la main mais avec un cachet à

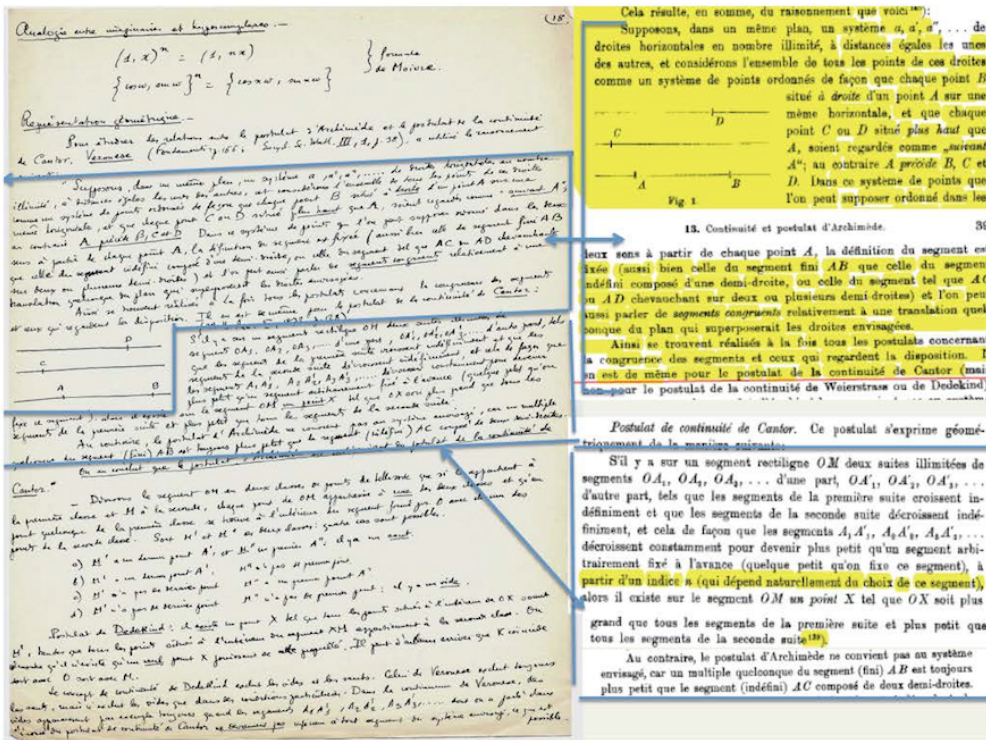


FIGURE 6. À gauche, première page de la Note de lecture de Jacques Solomon sur l'article de Federico Enriques, « Principes de la Géométrie », publié dans l'Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées, 1-3, 1911. Elle est formée d'emprunts (faits à Enriques) et de transformations. À droite plusieurs extraits de l'article d'Enriques. Chaque encadré à gauche a son correspondant à droite.

l'encre rouge. C'est là un puzzle matériel et intellectuel. Les feuillets précisent des noms de revues et d'ouvrages (consultés, certainement) ainsi que des mentions mathématiques relevant à des thèmes qui s'y trouvent développés : fonctions analytiques de variables hypercomplexes, théorie des nombres hypercomplexes, intégration hypercomplexe, trigonométrie hypercomplexe, algèbres, relations de commutation, représentations matricielles... Enfin, on relève également quelques mentions comme « en mécanique quantique ordinaire... » ou « les opérateurs de Dirac ». Elles rappellent que le scripteur est un physicien, mais elles sont plutôt rares.

Enfin, une partie de ce sous-ensemble de feuilles est composée de quelques pages manuscrites comme tout le reste, mais à l'écriture plus serrée que d'habitude. Cette partie commence par le titre « Représentation géométrique ». Une mention apparaît ensuite, qui fait référence, d'une part, à une publication du mathématicien italien Giuseppe Veronese, « Fondamenti » [37, p. 106], et d'autre part, à l'article « Géométries » du mathématicien, italien aussi, Federico Enriques. Ce dernier article est paru, en 1912, dans l'Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées [22]. Une sorte de note de lecture sur cet article de Enriques vient après. On y voit d'emblée une mention qui fait allusion à Veronese et aux réflexions de ce dernier sur « les relations entre le postulat d'Archimède et le postulat de la continuité de Cantor ». Les considérations qui viennent ensuite sont des développements mathématiques relatifs, par exemple, à la manière dont différents auteurs

traitent le continu. C'est une note qui est formée d'« emprunts » (faits à Enriques) et de transformations : des comparaisons entre des notions et/ou des phrases sont éliminées, des explications, qui sont parfois des répétitions, sont modifiées (Figure 4). Enfin, la dernière partie est une sorte de note de lecture sur un texte du mathématicien allemand Arthur Moritz Schoenflies qui accompagne l'article d'Enriques [29]. Jacques Solomon, toujours guidé par la logique de ses choix personnels en retient, cette fois-ci, la quasi totalité.

Plus généralement, le dossier « Géométries non archimédiennes » réserve aussi de nombreuses surprises. Par exemple, une des dernières feuilles continue un calcul présenté dans l'une des premières pages. La mention de renvoi indique : « définition de [fonctions analytiques] au sens de la page [7] ». Cela suggère que Jacques Solomon poursuit dans ces pages une recherche ou un travail en cours. Ces feuilles témoignent de son monde intime de physicien, en l'occurrence théoricien. Mais elles cachent, comme tout le reste des documents, le but qui les motiva.

5. Remarques finales

Nous sommes, avec Jacques Solomon, loin du mythe du physicien confiné à la pratique de sa propre science. L'inventaire que nous avons dressé de ses travaux nous a permis de montrer l'activité qu'il mena en tant que physicien théoricien et scripteur, animé d'humanisme, d'érudition et de vision encyclopédique. Nous avons laissé de côté l'intellectuel militant politique qu'il a été. Nous avons mis en évidence les lignes directrices de ses recherches et les caractéristiques textuelles de ses documents privés. Mais des questions essentielles restent sans réponse.

Est-ce que les 45 pages sont le projet d'un livre, ou d'un cours qu'il préparait dans une période très troublée, lui qui après son enseignement au Collège de France n'enseignait plus que l'économie politique dans les universités populaires organisées par le parti communiste? Le théoricien était-il à la recherche d'instruments et de concepts en vue d'une recherche future? Pensait-il à des recherches qu'il avait en cours et en rapport avec les travaux déjà faits? Les indices manquent actuellement et une exploration approfondie reste à faire. Seul nous reste perceptible son intérêt pour les sujets abordés, la minutie avec laquelle il les étudiait et, enfin, le soin qu'il a mis à la préservation de ses documents. Il satisfaisait ainsi son appétit encyclopédique, son besoin de se documenter, d'emmagasiner des idées et des concepts, de s'exercer dans des calculs et d'assimiler des notions mathématiques.

À quel but précis rattacher les analyses de Jacques Solomon? On sait que dans les années 1930 les physiciens ont fait face à des difficultés théoriques : le problème des infinis de la théorie quantique des champs, les difficultés d'avancer dans le sens de la quantification de la gravitation... On peut penser que Jacques Solomon, bien informé de ces difficultés, a recherché ses propres solutions. Par ailleurs, certaines spéculations mathématiques de théoriciens des années 1980 et 1990, nous donneraient-elles des pistes? Ces théoriciens cherchent à construire une théorie quantique relativiste de la gravitation en partant de la géométrie non-archimédienne et des nombres p -adiques [1, 20, 21]. Ces sujets sont ceux qui ont intéressé Jacques Solomon dans les années 1930. Mais ses manuscrits ne comportent aucune mention d'un lien entre les questions mathématiques abordées et l'intérêt qu'il a manifesté pour la quantification de la gravitation dans ses publications entre 1932 et 1938.

Remerciements

Je remercie chaleureusement Karine Chemla et Olivier Darrigol qui m'ont fait bénéficier de leurs commentaires. Madame Hélène Langevin-Joliot-Curie m'a permis d'avoir accès aux papiers de Jacques Solomon. Je l'en remercie vivement. Je remercie également Philippe Nabonnand qui m'a fait bénéficier de ses commentaires sur les manuscrits mathématiques de Jacques Solomon. Cette

version finale de mon article doit beaucoup à Monsieur Jacques Villain, éditeur en chef, qui m'a fait de précieuses suggestions. Je l'en remercie en même temps que le rapporteur anonyme pour ses précieux propos. Enfin, je remercie Monsieur Julien Desmarets, secrétaire de rédaction, pour sa grande disponibilité.

Version anglaise

1. Introduction

Although Jacques Solomon did not leave a theory or theorem that bears his name, he was one of the few French theoretical physicists to make a significant contribution to relativistic quantum theories and nuclear physics in the 1930s. He was also a communist activist and Resistance fighter, executed at Mont Valérien, West of Paris, in May 1942 by the Nazis. A commemorative plaque is affixed to the building at 3, rue Vauquelin where he lived with his wife Hélène Langevin. In May 2018, another plaque was erected in the “Salon d’honneur” of the Lycée Jacques Decour (formerly Collège Rollin) where Solomon attended school. The Academy of Sciences also commemorates Solomon’s legacy. It awards the Langevin Prize as a tribute to the memory of French scientists murdered by the Nazis in 1940-1945. Created in 1945 on the initiative of Paul Langevin, this prize, which is awarded every four years in the field of mathematics, underscores how these scientists served science well.

Solomon’s short career, under the aegis of Paul Langevin and through a close friendship with Léon Rosenfeld, gives us an idea of the great questions that agitated the physics of his time and of the resources available to a young French researcher to tackle them. Moreover, the tragic circumstances of the war meant that Solomon produced a mass of unpublished documents while in hiding from the Nazi occupiers. Even if the purpose of a good part (especially mathematical) of these writings may remain unknown to us forever, the methods of the history of texts, formulated theoretically by Karine Chemla in 1995 [15, 16] and widely applied today to both ancient and contemporary sources [10], make it possible to extract from this singular corpus some characteristics of the way in which Solomon constructed his theoretical thought upstream of the publication or exhibition.

In what follows, I will first present Solomon as an important but ephemeral actor in the physics of the first half of the twentieth century; then, in a second step, I will develop what the history of science and texts tells us about his modes of writing.

2. Jacques Solomon and the physics of his time

2.1. Formative years

Solomon was born in 1908 in Paris, in the Montmartre district, into a Jewish and agnostic immigrant couple of Romanian and Turkish origin. After graduating from a Parisian high school steeped in history (Lycée Rolin, now Lycée Jacques Decour), Solomon began studying medicine, which he abandoned because of his aversion to the realities of hospital life. Despite this, he became an “Externe des hôpitaux de Paris”, a title which, sanctioned in the framework of a medical training set up at the beginning of the 19th century, presented a great difficulty.¹ It was his father’s example that had led the young Jacques to this profession. Ibser Solomon

¹ The Externat is a typically French institution that no longer exists. It was involved, for decades, in the practical training of future doctors [28].



Figure 1. Jacques Solomon (1908-1942).

was a doctor, a graduate of the Faculty of Medicine in Paris. During the Great War, he had specialised in the use of X-rays, discovered by Wilhelm Röntgen at the end of the 19th century, to treat wounded soldiers. During the 1920s, Dr. Solomon became a renowned radiologist and member of several learned societies, and showed a strong interest in radioactivity and science in general. Together with his wife, he had built up a very rich library. Jacques Solomon drew from it his first knowledge of languages and physics, of Einstein's theories and of the theory of the atom,

as set out in the famous book *Atombau Spektralinien*, published in 1919 by Arnold Sommerfeld. This family library was transferred to the Faculty of Medicine in Paris on the eve of the Second World War [5].

This portrait of the young Solomon, attracted by physics, becomes clearer when one considers the courses he took at the Paris Faculty of Sciences. Solomon prepared for three higher education certificates, *Calcul des probabilités et physique mathématique*, *Mécanique rationnelle* and *Physique générale*. He attended the courses of Émile Borel, a great specialist in probability in France since the beginning of the last century, those of rational mechanics of Paul Montel, professor of general mathematics who had replaced Cartan in 1925 and, finally, those of quantum physics of Eugène Bloch, the new head of the chair of Theoretical physics and celestial physics. In 1930, he prepared a fourth certificate, General chemistry. He attended the classes of Georges Urbain, recently appointed professor of general chemistry [26].

2.2. Meeting with Paul Langevin

At the end of 1926, Solomon, who was still at the Faculty of Science in Paris, attended classes at the Collège de France with the physicist Paul Langevin, who was both a theoretician and an experimenter. In 1908, Langevin had succeeded Mascart in the chair of “General and Experimental Physics”. Since the beginning of the century, he had been attracting young people from universities and Parisian schools of higher education, eager to learn about new physical theories [12]. At the end of the 1920s, the great moments that marked the history of physics in the 20th century had already appeared: the quantum theory of radiation, special and general relativity, Niels Bohr’s theory of the hydrogen atom, Heisenberg’s quantum mechanics and the wave mechanics of Louis de Broglie.

Since the beginning of the century, Langevin’s students, knowing that the teacher refused to publish his lectures, had taken to meeting to compare and work on their notes, and to produce, against his wishes, a coherent text which would safeguard a work of which they knew that no written trace would be found elsewhere. A detailed study of the notes and notebooks of the students who followed the lessons at the Collège de France in 1926-27, now preserved in the Académie des sciences and in other collections, shows that Langevin explained the nature and the heuristic possibilities of quantum statistics: Bose–Einstein and Fermi–Dirac.² Langevin, as usual, was quick to appreciate the interest in recent developments. The developments he dealt with at the Collège de France had indeed just been formulated. Moreover, in 1924, Langevin had interacted with Satyendra Nath Bose when the latter came to Paris. It was thanks to his intervention that this Indian physicist did research at Marie Curie’s laboratory [14].

On these subjects, Langevin lectured for several months to a group of “auditor-scribers”, including, in addition to Solomon, a whole Parisian scientific elite, including the physicists Louis de Broglie, Léon Brillouin and Francis Perrin. Brillouin, in the fortuitous context of Bose’s arrival in Paris, Langevin’s course and his own research in the field of quantum physics, would later write a book on quantum statistics in which Langevin’s teachings were extended, broadened and transformed [4]. Finally, in 1939, Francis Perrin did the same in a work he prepared for the *Traité de Calcul des Probabilités et de ses applications*, published under the direction of Émile Borel [13].

Langevin’s classes were a place of training and teaching. They were also a place of scientific and intellectual sociability. Solomon met Langevin’s daughter Hélène, whom he married in 1929. In the human and political sphere during the 1930s, Solomon and his wife, who became members of the Communist Party in 1933, were equally fervent activists, carrying out political

² Cahiers de cours d’élèves de Langevin [12, Structure de la lumière. Nouvelles méthodes de statistique, équilibre du rayonnement et la matière 1927].

and resistance actions together before and during the occupation. Shortly after her husband's death, H el ene Langevin was arrested and sent to the Auschwitz concentration camp, from which she returned after two years. Solomon and his father-in-law, Langevin, forged a filial, intellectual and scientific relationship during the 1930s.³

In 1935, Solomon and Langevin, jointly published a note in the *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, on piezoelectricity, which related to a specific experimental question [6]. More generally, Solomon, who had joined Langevin's entourage for good, followed in the footsteps of the theoretical physics that Langevin represented: the elaboration of syntheses and developments, the highlighting of physical conceptualisation and the separation from the dominant tendencies of French mathematical physics. Around 1938, Langevin and Solomon reflected together on questions of political philosophy; the Materialist Studies group led by Langevin represented the intersection of dialectical materialism and rationalism. Meeting as usual in Langevin's office at the Ecole de Physique et de Chimie de la Ville de Paris, Solomon and Langevin participated in the creation of the journal *La Pensée* [11]. They were largely responsible for the orientation of the scientific articles in the first issues, published in 1939.⁴ In 1946, still in the context of the great world conflagration, Langevin associated his act of joining the Communist Party with the memory of Jacques Solomon. He declared that he wanted to occupy the place left by his son-in-law, who had been murdered by the Nazis because of his political activities and his involvement in the Resistance movements [6].

3. The theoretical physicist

Let us return to Solomon and the thirties, by evoking the first decisive moments of his career as a physicist. It is appropriate here to introduce the Belgian physicist L eon Rosenfeld. After having been Max Born's assistant in Göttingen and Wolfgang Pauli's in Z urich, Rosenfeld became Niels Bohr's collaborator in Copenhagen. Solomon met Rosenfeld for the first time at the Coll ege de France during Langevin's lecture of 1926-27. The influence of this Marxist-oriented theorist on Solomon is significant. A scientific and intellectual intimacy was established between the two friends. They frequently met at the Langevin's house, and they walked together in Paris to discuss science and philosophy.⁵ Echoing Rosenfeld's early work on radiation and the electron, Solomon began to question the link between electromagnetism and gravitation. In 1931, Solomon submitted his doctoral thesis on the quantum theory of Heisenberg and Pauli (1929), and he already aspired to a unitary physical theory [5, 24].

The idea of developing a quantum theory of gravitation, not from general relativity (in the manner of Einstein) but from quantum mechanics and, more rigorously, from its relativistic generalisation, is at the heart of a number of his publications. He was, along with Rosenfeld and Matvei Petrovich Bronstein in the USSR, one of the first to make this attempt [23, 36]. Because of the difficulties encountered, this project did not give rise to a precise research programme, but to occasional works that are difficult to classify, highly theoretical and often epistemological in nature. Solomon's work first focuses on the legitimacy of the notion of a quantum gravitational field, and here he draws on questions posed in his doctoral thesis on the possibilities of defining and observing the quantum electromagnetic field. Secondly, he will seek to understand the

³ We have very few direct testimonies on what would have been the scientific exchanges between Solomon and Langevin. On this subject and on Langevin as a source of inspiration for Solomon in theoretical physics see [6].

⁴ Solomon, a political activist, was tempted by a reading of physics in the light of dialectical materialism and through the conception of reality and the unity of matter [6]. He also took positions on the interpretation of quantum mechanics [19].

⁵ L eon Rosenfeld (1904-1974). Rosenfeld, very interested in the history of science, was preparing an article on "The first conflict between the wave theory and the corpuscular theory of light" for the journal *Isis* edited at Harvard by Georges Sarton [24] and [18].

relationship between elementary particles and gravitational phenomena, asking whether it is permissible to speak coherently of gravitational forces between elementary particles [5, 31].

Solomon's relevant publications, mainly in French but also in German, are divided between the *Journal de Physique*, the *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, the *Annalen der Physik*, etc. They cover topics ranging from quantum radiation theory (in collaboration with Rosenfeld [35]) to quantum electrodynamics and, finally, cosmic ray physics. Research on cosmic rays, which originated at the beginning of the century from research on the conductivity of atmospheric air, was developing systematically at the time and fed into the development of quantum field theory [5, 8]. Theoreticians and experimenters were thus addressing the very high energy interactions between radiation and matter. Solomon's interest in this subject was not unique in France at that time. Experimental research, involving the use of electricity counters and Wilson chambers, was then carried out, in particular by Louis Leprince-Ringuet and Pierre Auger. Lectures on this subject were given at the new Institut Henri Poincaré, for example by the American physicist Robert Millikan. The programme foreseen by the founders of the Institute in 1928-29 was to organise conferences given by prestigious and foreign guests, theorists and experimenters [17]. In France, there was a clear divide between specialists. Experimentalists and theorists carried out their research separately [7].

In 1936, Solomon published a book on cosmic rays with Hermann Editor, in the collection *Exposés sur la théorie des quanta*. This work is the result of a long presentation he had given on the subject in 1935 at the Collège de France. Solomon does not place himself in the perspective of experimental research, as was common at the time in a book on cosmic rays, or in the updates that were then being made on the question. The reader is confronted with theoretical analyses [30]. Without lacking in mathematical rigour, Solomon puts the physical concepts and the physical consequences of the theory in the foreground. Solomon deals with collision phenomena and focuses on the approach developed in Copenhagen by C. G. Williams and C. F. von Weizsäcker. These theorists extended the old semi-classical impact parameter method to high-energy collisions. Solomon preferred this route to the more rigorous formulations (he noted) developed from relativistic quantum theory by Hans Bethe and Walter Heitler, while emphasising the convergence of the two approaches [5].

Finally, Solomon was involved in the rapidly expanding field of nuclear and particle physics. He published numerous articles on new particles (neutron, positron, neutrino and heavy meson) and a book entitled *Protons, neutrons, neutrinos* [33]. This book focuses on the phenomenon of beta decay, the hypothetical non-conservation of energy in this process and the interactions within the nucleus. Solomon's presentation of all these issues continues the approach that he had hinted at in previous works, focusing more on the physical concepts than on the formalism itself. Finally, this work is the culmination of the lessons Solomon gave at the Collège de France in 1937-38, on behalf of the Claude-Antoine Peccot Foundation, instituted at the turn of the 19th and 20th centuries.⁶

4. A suitcase of manuscripts

4.1. *Private documents: drafts, pre-texts and reading notes*

Solomon's interests in physics are also evident in his "personal" documents, which reflect his daily research and the private sphere in which it developed. We have traces of Solomon's work between 1936 and February 1942, when he and his fellow communist activists were handed over to the German authorities by the French police [11]. When France was occupied, he

⁶ The Peccot Foundation rewards brilliant mathematicians and, exceptionally, physicists under the age of 30. Borel, mathematician, was one of the first laureates.

lived in hiding. Forced into seclusion, he moved around Paris with his wife, carrying a small suitcase where he carefully kept his papers. Solomon had to be able to conduct his research anywhere and under any circumstances. He worked hard and tirelessly. According to these documents,⁷ he read, studied, took a lot of notes and “elaborated” scientific texts which, because of their unfinished character, I will call “intermediates” or “pre-texts”. Not knowing Solomon’s motivations when he produced these writings, we simply refer to them as documents of study and theoretical analysis, or as traces of consultation of scientific literature, much of it mathematical. This represents a “entirety” of papers that are, in some cases, handwritten and, in others, typed, and in others, both.

To this must be added, firstly, lists of works, notes and extracts from texts or ideas, for example, a long note on Fontenelle, or a fragment relating to Pascal and probabilities; secondly, the numerous drafts of calculations, either in physics or mathematics. Some drafts of nuclear physics calculations are dated 1941, this highlights, on the one hand, Solomon’s non-abandonment of his research activity, and on the other hand, his interest in subjects that were, a priori, at the heart of the concerns of Frédéric Joliot-Curie’s team at the Collège de France.⁸ These drafts are full of qualitative remarks embedded in the figures or equations, showing a kind of inner dialogue as the results are obtained. As in many writings of the same type, there is a sensitivity to visual elements as a means of understanding, drawings, figures, bars, connectors...⁹

We will concentrate here on the rest of the documents. We distribute them according to the discipline they belong to, knowing that, in this universe of the written word, no classification has any absolute value because the borders are very fluid. Theoretical physics and mathematics constitute two essential poles.

4.2. *Theoretical physics pre-texts*

Let us consider the generally well developed embryonic articles on the different forms of wave equation, likely to be used to represent the properties of the heavy meson discovered around 1936, or on Dirac’s theory of the positron, which interested Solomon a great deal, in order to deal with the problems of measurement in quantum mechanics. There are also texts, probably from lectures given or to be given, for example, on the electron’s own energy, which Solomon places in a general framework of fundamental problems of quantum theory, or, finally, on the neutrino and the conservation of energy. Here, one can consider a comparative reading with his book *Protons, neutrons, neutrinos*, which has the phenomenon of beta decay as its main focus. The lecture text on the neutrino and the book have similarities, both thematically and in terms of writing, but they differ in their approach, depending on the emphasis placed on experimental results (which is more important in the book).

In other documents Solomon appears both as a physicist and a political activist with a philosophical background. One manuscript is devoted to the “elementary constituents of matter”, according to the terminology that had been developing since the beginning of the century. It contains no mathematical formalism and favours above all physical concepts. It is a reading of physics in the light of dialectical materialism that is proposed by the author. Solomon attempts to articulate two conceptual axes, on the one hand, the question of the diversity and complexity of the relations between particles and, on the other hand, that of the ultimate reality of matter and

⁷ We distinguish between texts for public use, intended for publication, and texts for private use, with modes of writing and rituals that the demands of publication make disappear. For this topic see [9] and [12, Chapter 3].

⁸ On Joliot see [27].

⁹ These drafts of Solomon’s calculations present modes that, at the level of writing, are related to what we found in the Borel’s manuscripts on probability and statistical mechanics, as well as in his notes on Langevin’s course on radiation at the Collège de France (1912-1913) [12, Chapter 3].

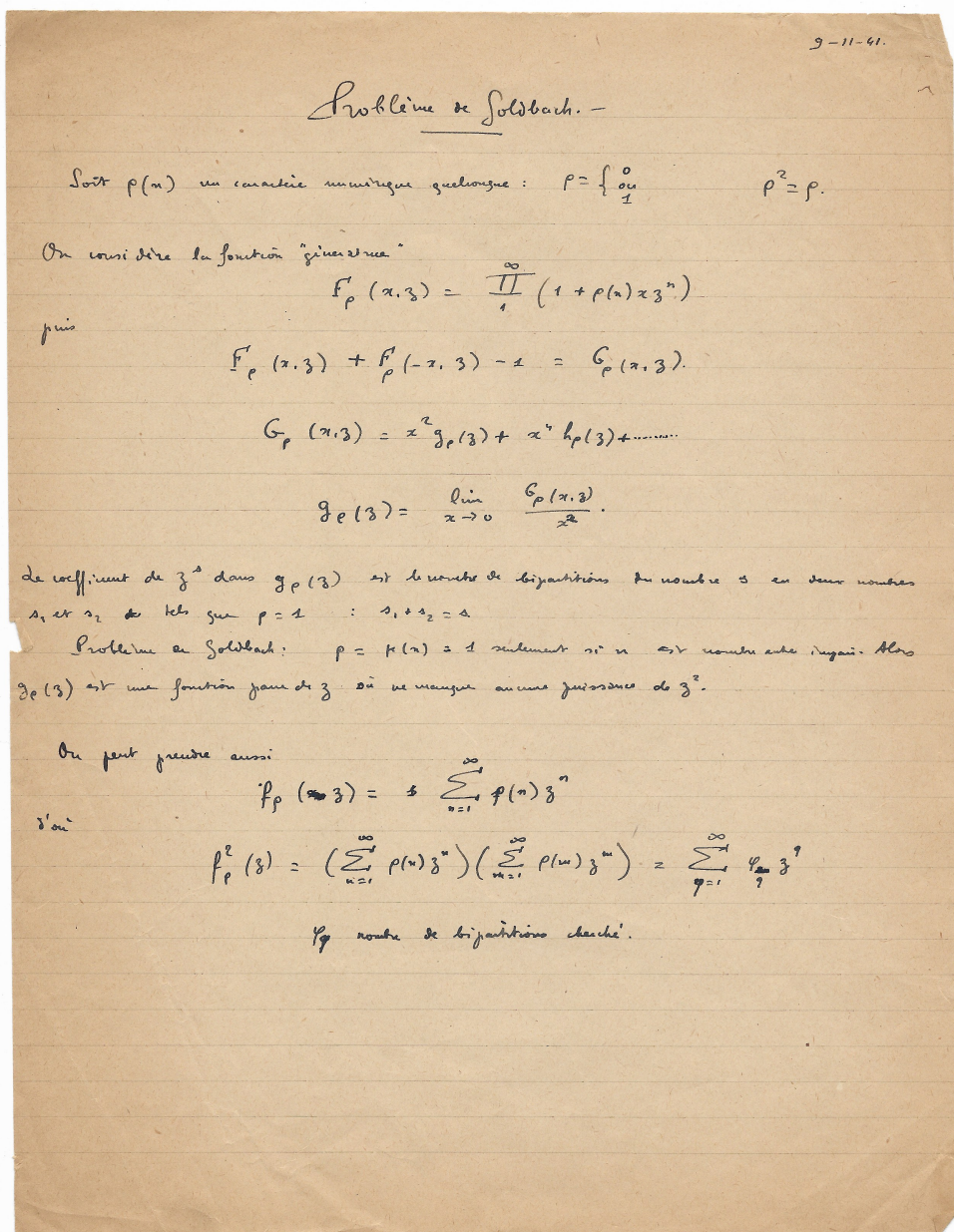


Figure 2. Mathematical note dated November 11, 1941

its unity [6]. These unpublished considerations are in harmony with the content of Solomon's articles published in journals supported by the Communist Party.

4.3. Reading notes on mathematics

Solomon's private papers on mathematics are more numerous and richer than those on physics. These mathematical manuscripts, in various formats, constitute a sort of theoretical nebula in

which we see Solomon exploring questions of, among other things, general topology, geometries, non-archimedean, infinitesimal, convex... or algebras of hypercomplex numbers, transfinite, etc. They refer to the works of authors of the time: Adrian Albert, N. Bourbaki, Waclaw Sierpinski, Nicolas Lusin, Georges Bouligand, Eric Harold Neville, whom he knows from reading Bouligand. One author, or one concept, must have led to another, according to links that a careful look allowed to identify.

For us, these documents are “Notes” of the “article reading” and “book reading” type (Figures 2, 3).¹⁰ We are obviously leaving aside the thematic fragments of very variable length, with or without a title. These notes show that Solomon, both reader and writer, employs a logic of efficiency and clarity on the one hand, and of personal choice and interest on the other. This can be inferred from their meaning and visual aspects.

Let us take, for example, the note on an article by Georges Bouligand, “Quasi-distanced granular spaces [by the English geometer Eric Harold Neville], from the axiomatic point of view and their possible adaptation to physics” [3]. First, Solomon transforms the italics in the printed text into underlined words. Second, he leaves blank spaces or draws lines that are not in the printed text. The white spaces often correspond to words or expressions of Bouligand, the author, which Solomon eliminated when taking notes. The lines are elements that he uses to materialise transitions or articulations made explicit by Bouligand. Finally, Solomon retains only mathematical considerations from Bouligand’s text: definitions of “distanced space” (by Maurice Fréchet, which Bouligand mentions but Solomon does not) and (by E.H. Neville [25], which Bouligand and Solomon mention), and within the framework of “quasi-distanced space” concept, the notions of “Grain”, “Neighbourhood”, “Accumulation point”, etc.

The definitions of Distanced Space and Quasi-Distanced Space are presented one after the other and so are the notions corresponding to Quasi-Distanced Space. Very concretely, Solomon eliminates what, for Bouligand, is the interest of Eric Harold Neville’s axiomatic approach. A paragraph of a few lines, written between quotations marks, is located at the end of Solomon’s text. At first sight, this paragraph does not make sense in relation to the mathematical fragments selected in the note-taking, unless it is too implicit. The paragraph relates precisely to the author’s motivations that Solomon had “eliminated”. It seems, in fact, that Solomon attached particular significance to the mathematical subject mentioned in these last lines. They concern non-archimedean geometry. This is a subject that Solomon discusses extensively elsewhere in the manuscripts.

4.4. *A thematic set*

“Non-archimedean geometries” is the title added by Solomon (his handwriting is clearly recognisable) to a folder containing numerous documents. Let us stop at a certain subset, composed of 45 handwritten pages, with some dates on the last pages (17, 19, 20, 21 and 22 December 1939), written not by hand but with a red ink cache. It is a material and intellectual puzzle. The pages give the names of journals and books (certainly consulted) as well as mathematical references to the themes developed in them: analytic functions of hypercomplex variables, hypercomplex number theory, hypercomplex integration, hypercomplex trigonometry, algebras, commutation relations, matrix representations... Finally, there are also a few references such as “in ordinary quantum mechanics...” or “Dirac’s operators”. They remind us that the writer is a physicist, but they are rather rare.

¹⁰ This denomination is a methodological recourse that we use. It allows us to identify a specific form of writing and, above all, of intellectual work. It aims at capturing the intention of Solomon, the reader, to appropriate theories, concepts and/or information.

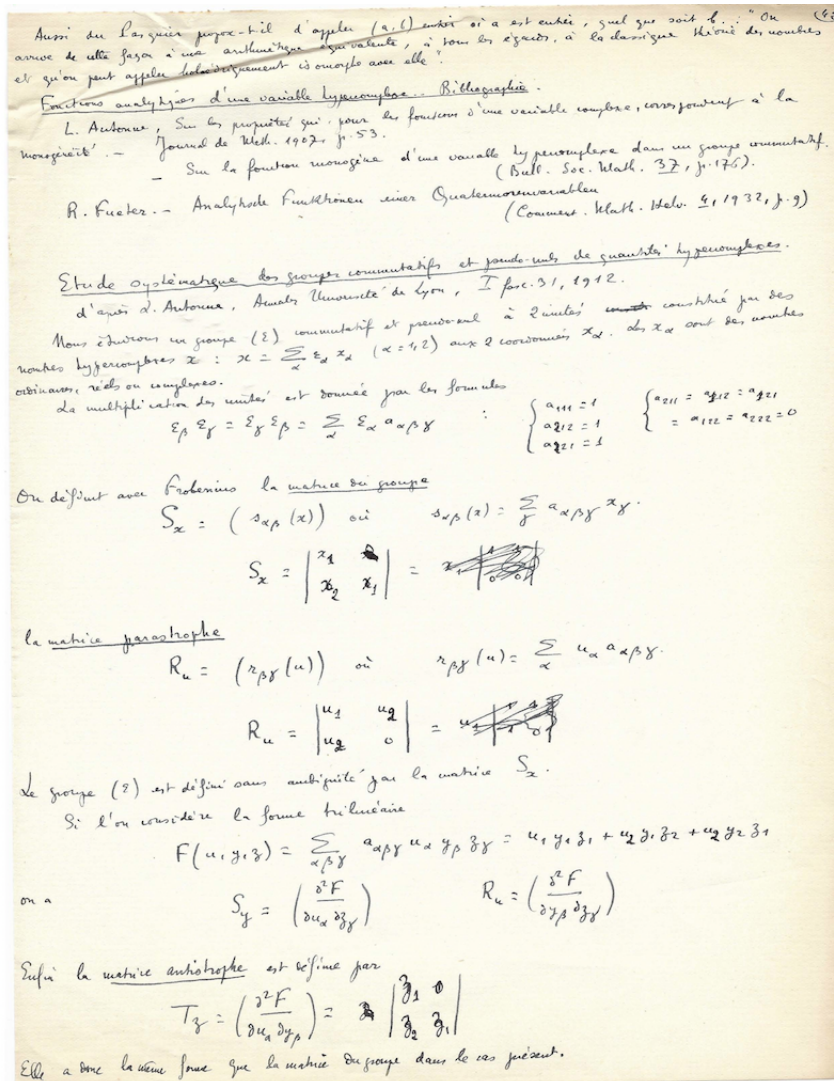


Figure 3. Typical article reading note. It presents Solomon's calculations inspired by the consulted source.

Finally, one part of this subset of sheets consists of a few pages handwritten like everything else, but with tighter handwriting than usual. This part begins with the title "Représentation géométrique". Then a reference appears to a work by the Italian mathematician Giuseppe Veronese, "Fondamenti" [37, p. 106], and to the article "Géométries" by the Italian mathematician Federico Enriques. The latter article appeared in 1912 in the *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées* [22]. A sort of reading note on this article by Enriques follows. It begins with a reference to Veronese and his reflections on "the relations between Archimedes' postulate and Cantor's postulate of continuity". The considerations that follow are mathematical developments, relating, for example, to the way in which different authors treat the continuum. It is a note that is made up of "borrowings" (from Enriques) and transformations: comparisons between notions and/or sentences are eliminated, explanations, which are sometimes repetitions,

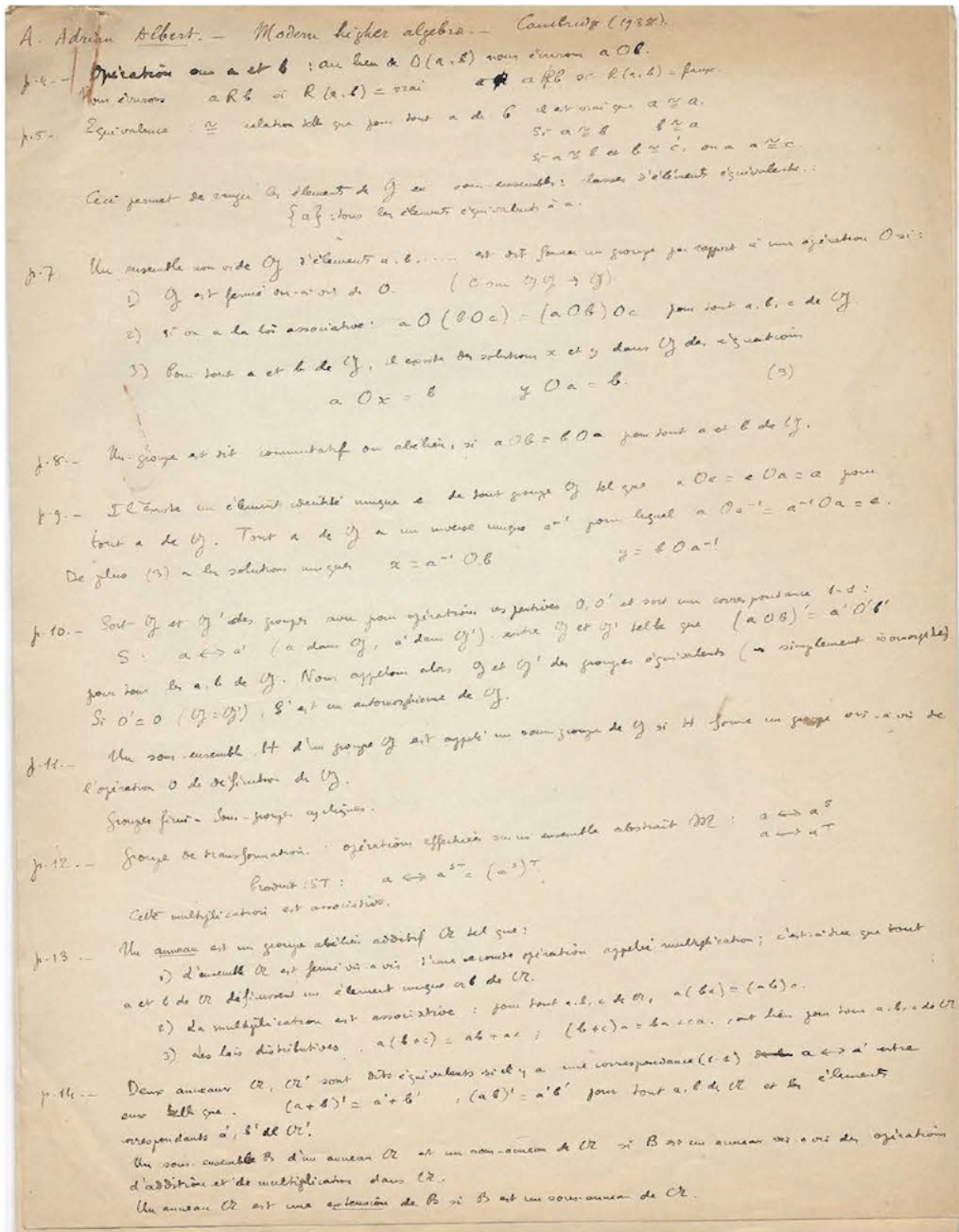


Figure 4. Typical book reading note.

are modified (Figure 4). Finally, the last part is a kind of reading note on a text by the German mathematician Arthur Moritz Schoenflies that accompanies Enriques' article [29]. Solomon, still guided by the logic of his personal choices, retains this time almost all of it.

More generally, the "Non-Archimedean Geometries" folder contains many surprises. For example, one of the last sheets continues a calculation presented in one of the first pages. The

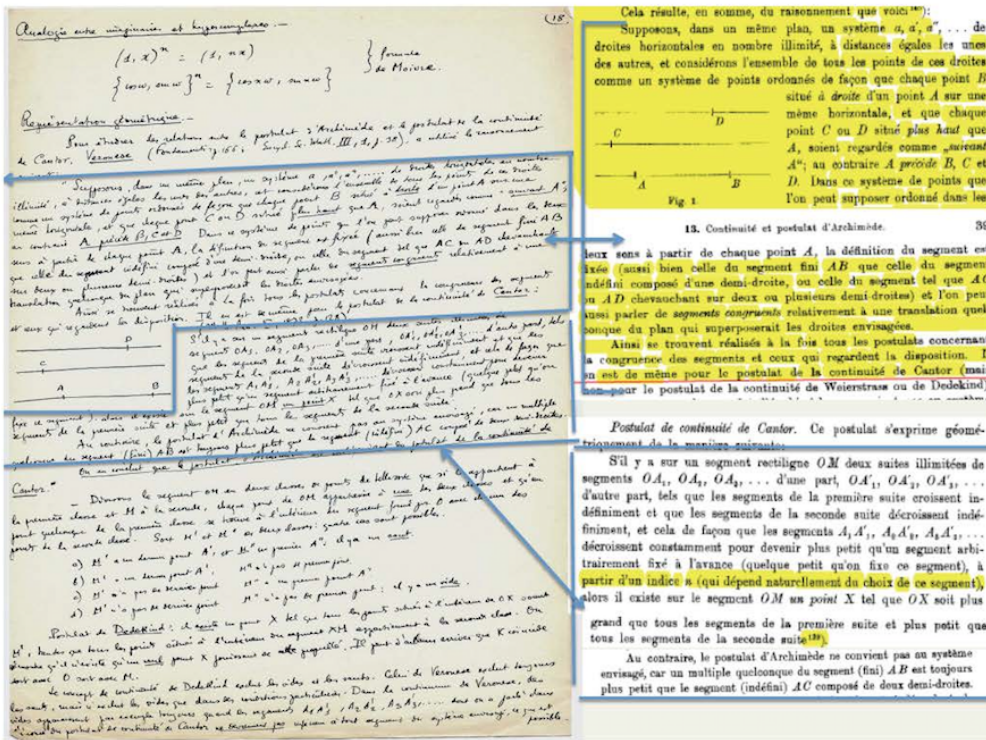


Figure 5. On the left, first page of the reading note on the article by Federico Enriques. Principles of the geometry. *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*, 1-3, 1911. It is made up of borrowings (from Enriques) and transformations. On the right several extracts from Enriques' paper. Each box on the left has its corresponding box on the right.

cross-reference says: "definition of [analytic functions] in the sense of page (7)". This suggests that Solomon is continuing a research or work in progress in these pages. These sheets bear witness to his intimate world as a physicist, in this case a theorist. But they conceal, like all the rest of the documents, the purpose for which they were written.

Concluding remarks

To sum up the discussion at this point, we are far from the myth of the physicist confined to the practice of his own science. The inventory that we have drawn up of the work of Jacques Solomon has enabled us to show the activity that he led as both a researcher and a scribe, animated by humanism, erudition and encyclopedic vision. We have highlighted the guidelines of his research and the textual characteristics of his private documents. But essential questions remain unanswered.

Are the 45 handwritten pages the draft of a book, or of a course he was preparing in a very troubled period, when after his teaching at the Collège de France he was only teaching Political Economy in the popular universities organised by the communist party? More broadly speaking, was the theorist looking for instruments and concepts for future research? Was he thinking about research he had in progress and related to work already done? There are no clues at present and a thorough exploration remains to be done. Only his interest in the subjects he

dealt with, the meticulousness with which he studied them and, finally, the care he took in preserving his documents remain perceptible. In this way he satisfied his encyclopaedic appetite, his need to document, to store up ideas and concepts, to practise calculations and to assimilate mathematical notions.

To what precise goal can Solomon's analyses be linked? We know that in the 1930s physicists were faced with theoretical difficulties: the problem of infinities in quantum field theory, the difficulties of advancing in the direction of the quantization of gravitation... One can think that Solomon, well aware of these difficulties, sought his own solutions. Moreover, could some mathematical speculations of theorists of the 1980s and 1990s give us some clues? These theorists sought to construct a relativistic quantum theory of gravitation based on non-archimedean geometry and p-adic numbers [1, 20, 21]. These are the subjects that interested Solomon in the 1930s. But there is no mention in his manuscripts of a link between the mathematical questions addressed and his interest in the quantization of gravitation in his publications between 1932 and 1938.

Acknowledgements

I warmly thank Karine Chemla and Olivier Darrigol who gave me the benefit of their comments. Mrs. H el ene Langevin-Joliot-Curie allowed me to have access to Jacques Solomon's papers. I thank her warmly. I also thank Philippe Nabonnand for his comments on Jacques Solomon's mathematical manuscripts. This final version of my article owes a lot to the editor in chief Mr. Jacques Villain who gave me valuable suggestions. I thank him for that as well as the anonymous reviewer for his valuable comments. Finally, I would like to thank the editorial secretary Mr Julien Desmarests for his availability.

References

- [1] I. Aref'eva, P. H. Frampton, "Beyond Planck Energy to non-Archimedean Geometry", *Modern Physics Letter A* **6** (1991), n o 4, p. 313-316.
- [2] M.-C. Bouju, "L'Histoire dans la culture militante communiste en France, 1921-1939", *Cahiers du CRHQ* (2012), néo 3, p. 1-23.
- [3] G. Bouligand, "Les espaces granulaires quasi-distanci es du point de vue de l'axiomatique et leur adaptation possible   la physique", *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées* **49** (1938), p. 39-44.
- [4] L. Brillouin, *Théorie des quanta. Les statistiques quantiques et leurs applications*, vol. 18, Presses Universitaires de France, 1930.
- [5] M. C. Bustamante De La Ossa, "Jacques Solomon (1908-1942) : profil d'un physicien théoricien dans la France des années trente", *Revue d'histoire des sciences* **50** (1997), néo 1/2, p. 49-87.
- [6] ———, "Jacques Solomon et Paul Langevin : Filiation et différences", * pist mologiques* **2** (2002), néo 1-2, p. 177-188.
- [7] ———, "Cosmic rays in France during the thirties: Pierre Auger and Louis Leprince-Ringuet", in *Os 60anos do CBPF e a G nese do CNPq*, Centro Brasileiro de Pesquisas F sicas, Rio de Janeiro, 2010, p. 95-115.
- [8] ———, "A descoberta dos raios c smicos ou o problema da ioniza o do ar atmosf rico", *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35** (2013), néo 2, article no. 2603.
- [9] ———, "Les notes d'Émile Borel sur un cours de P. Langevin sur la théorie du rayonnement thermique. Entre émission, perception et compréhension", *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* **65** (2015), néo 175, p. 617-641.
- [10] ———, "Oralit s et documents scientifiques écrits. Nouvelles perspectives en histoire des sciences", *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* **65** (2015), néo 175, p. 503-515.
- [11] ———, "Trois militants communistes des années 1930 en France : Jacques Solomon, Georges Politzer et Jacques Decour", *Cultura Cientifica e Neo-Realismo* (2019), p. 357-370.
- [12] ———, *  l'aube de la théorie des quanta : notes inédites d'Émile Borel sur un cours de Paul Langevin au Collège de France (1912-1913)*, Brepols Publishers, 2020.
- [13] M. C. Bustamante De La Ossa, M. Cléry, L. Mazliak, "Le Traité du calcul des probabilités et de ses applications.  tendue et limites d'un projet borélien de grande envergure", *North-Western European Journal of Mathematics* **1** (2015), p. 85-123.

- [14] S. Chatterjee, E. Chatterjee, *Satyendra Nath Bose*, National Book Trust, New Delhi, India, 1976.
- [15] K. Chemla, "Histoire des sciences et matérialité des textes. Proposition d'enquête", *Enquête* (1995), n° 1, p. 167-180.
- [16] ———, "What is the content of this book? A plea for developing history of science and history of text conjointly", in *History of Science, History of Text*, Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 238, Springer, 2005, p. 201-230.
- [17] M. Cléry, "La théorie des probabilités. L'Institut Henri Poincaré (1918-1939). Construction d'un champ probabiliste parisien et pratique d'un transfert culturel", Thèse, Université Paris Sud-Orsay, Paris, France, 2020.
- [18] R. S. Cohen, J. J. Stachel, "Jacques Solomon (1959)", in *Selected Papers of Léon Rosenfeld*, Boston studies in the philosophy of science, vol. 21, Springer, 1979, p. 297-301.
- [19] C. Colin, "Jacques Solomon et l'interprétation de la théorie quantique", *Revue d'histoire des sciences* **63** (2010), n° 1, p. 221-246.
- [20] B. Dragovich, "Non-Archimedean Geometry and Physics on Adelic Spaces", <https://arxiv.org/abs/math-ph/0306023v1>, 2003.
- [21] M. S. El Naschie, "Dimensional symmetry breaking and gravity in cantorion space", *Chaos, Solitons and Fractals* **8** (1997), n° 5, p. 753-759.
- [22] F. Enriques, "Principes de la géométrie", in *Tome III. Géométrie* (J. F. von Meyer, H. Mohrmann, eds.), Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées, vol. 1, Gauthier-Villars, 1911, p. 1-147.
- [23] V. Y. Frenkel, G. E. Gorelik, *Matvei Petrovich Bronstein and Soviet Theoretical Physics in the Thirties*, Science network historical studie, vol. 12, Birkhäuser, 2011.
- [24] A. S. Jacobsen, *Léon Rosenfeld: Physics, philosophy, and politics in the twentieth century*, World Scientific, 2012.
- [25] E. H. Neville, "The classification of sets of points", *Acta Mathematica* (1920), n° 42, p. 63-93.
- [26] D. Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, Editions des Archives Contemporaines, Paris, France, 1984.
- [27] M. Pinault, *Frédéric Joliot-Curie*, Odile Jacob, Paris, France, 2000.
- [28] J. Poirier, "Fonctions et privilèges des externes des hôpitaux de Paris (1802-1968)", *La Revue du praticien (Paris)* **64** (2014), n° 2, p. 142-145.
- [29] A. Schoenflies, "Notes sur la géométrie non-archimédienne", in *Tome III. Géométrie*, Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées, vol. 1, Gauthier-Villars, Paris, France, 1911, p. 148-151.
- [30] J. Solomon, *Théorie du passage des rayons cosmiques à travers la matière*, Hermann & cie, Paris, France, 1936.
- [31] ———, "Gravitation et quanta", *Journal de Physique et du Radium* **9** (1938), n° 11, p. 479-485.
- [32] ———, "Du "Radium artificiel" à la conception de l'atome", *La Pensée* **1** (1939), p. 92-97.
- [33] ———, *Protons, neutrons, neutrinos : leçons professées au Collège de France*, vol. 6, Gauthier-Villars, Paris, France, 1939.
- [34] ———, *La pensée française des origines à la Révolution*, Union française universitaire, France, 1946.
- [35] J. Solomon, L. Rosenfeld, "Zur theorie der Hohlraumstrahlung", *Die Naturwissenschaften* (1931), n° 19, p. 376.
- [36] J. J. Stachel, "Einstein et "Zweistein"", *Revue de Synthèse* **126** (2005), n° 2, p. 353-365.
- [37] G. Veronese, *Fondamenti di geometria a più dimensioni e a più specie di unità rettilinee esposti in forma elementare, Lezioni per la Scuola di magistero in Matematica*. Padova, Tipografia del Seminario, Typographia del Seminario, Padova, Italia, 1891.