

FORUM

Cette rubrique a pour but de soumettre à la discussion des problèmes de physique actuels et d'en proposer des solutions possibles. Elle est ouverte à tous. Les contributions pourront être des exposés, des questions qu'on désire soulever ou signaler, ou des commentaires sur les sujets parus : elles seront soumises à moi-même et à mes collaborateurs, non dans un but de censure « politiquement correcte » mais pour garder autant que possible les pieds sur terre. Ainsi, nous éviterons les paraphrases mathématiques absconses de théories connues ou les envolées lyriques sur le Big-Bang, les trous noirs ou la masse invisible de l'Univers.

Louis de Broglie m'a fait, en quarante ans, une seule allusion au Big-Bang : *«La physique, m'a-t-il dit, est une petite science qui a déjà du mal avec l'électron. L'Univers, c'est trop grand pour elle ».*

Georges Lochak

Site WEB <www.lochak.com>

Voici donc le premier problème et le premier espoir que je voudrais soumettre. Comme il s'agit d'un problème qui intéresse tout le monde, je m'efforcerai de le rendre intelligible – au moins dans ses principes – aux lecteurs non physiciens. Ce n'est qu'à la fin que je me permettrai d'être technique.

Une fusion nucléaire sous catalyse peut-elle supprimer les déchets et se passer des températures de millions de degrés ?

PREMIÈRE PARTIE

Rappel historique :

Il y a un peu plus d'un siècle et demi qu'apparut, dans le cercle étroit de quelques hommes de science, la notion d'énergie, l'équivalence de ses formes et sa conservation. Ils eussent été bien étonnés, s'ils revenaient sur terre, de voir cette notion abstraite (une « intégrale première du mouvement ») devenue l'une des questions les plus universellement connues, les plus angoissantes et les plus controversées de notre temps.

L'énergie a beau se conserver, ses sources disparaissent ou deviennent insuffisantes : chutes d'eau, charbon, pétrole, uranium... Et les sources en question sont devenues sources de conflits, même de guerres, en tout cas de disputes ; mais aussi d'idées nouvelles souvent étranges et disparates : les uns cherchent l'énergie dans les profondeurs de la terre, dans les courants marins, dans la chaleur du soleil ou dans sa lumière, grâce aux piles « photovoltaïques », d'autres par de curieux retours en arrière, veulent la tirer de moulins à vent surnommés « éoliennes », de la fermentation des végétaux, voire d'excréments d'animaux. **Deux grands partis se dégagent : l'écologie et le nucléaire.**

1) **Les écologistes** - en fait déjà cités - nous disent deux choses, outre les précédentes :

a) Qu'on gaspille l'énergie et qu'on doit l'économiser. C'est vrai, mais la principale dépense n'est pas le gaspillage, c'est la mécanisation, l'automobile, l'aviation, l'éclairage, l'information (la radio, la télévision, l'informatique, l'automatisation), tous dévoreurs d'énergie. On peut en être agacé mais tout le monde en profite, y compris ceux qui critiquent. Quant à ceux qui sont privés d'énergie, ils nous

l'envient, mais ce n'est pas sur leur dos que nous vivons, c'est grâce à notre intelligence et à notre travail.

b) L'autre antienne des écologistes est leur horreur du nucléaire, le second parti.

2) **Le second parti, le nucléaire**, est né en 1938 avec Joliot et ses collaborateurs, qui ont découvert la désintégration en chaîne de l'uranium et prévu la bombe atomique et le réacteur nucléaire. Vu la situation internationale, ils n'ont rien publié et n'ont déposé qu'un pli cacheté à l'Académie, ouvert après la guerre (et que j'ai lu). Dès le début de la guerre, ils ont transmis leurs résultats à nos alliés anglais et américains et l'on a oublié la primauté de Joliot. Il va sans dire que tout le monde est contre la « bombe », comme on dit en abrégé, sauf nouvelle catastrophe. Mais l'énergie nucléaire a changé le monde.

J'en viens à mon fait.

Je crois que notre pays est le plus nucléarisé au monde, sous l'impulsion de Joliot, de De Gaulle et de leurs successeurs. Un ministre anglais des années 50 a dit dans un style churchillien : « *La France n'a pas de charbon, la France n'a pas de pétrole, la France n'a pas le choix* ». Certes la France a des fleuves et elle s'en est servie, mais c'est loin de suffire. Le slogan à la mode en France fut : « La France n'a pas de pétrole mais elle a des idées »... ce que maintenant, il est devenu à la mode de contester.

Cela étant, bien qu'on soit au pays de Joliot – et je suis sûr qu'il m'approuverait – on peut dire que 75 ans après sa découverte – trois quarts de siècle ! – il est temps de dépasser ses idées : c'est ce que tout le monde pense plus ou moins. Car notre parc nucléaire, comme celui des autres pays, reste fondé sur **les réacteurs de Joliot**, qui ont fait de grands progrès, bien sûr, mais qui relèvent du même principe : **la fission de l'uranium**. Quoi qu'en pensent les détracteurs du nucléaire on doit à ces réacteurs des services éminents : sans eux, nous croupirions dans la crise de l'énergie depuis la fin de la guerre, mais ils ont trois grands défauts :

- 1) Ils sont le siège d'une intense radioactivité qui déferle en cas d'accident.
- 2) La désintégration de l'uranium crée des déchets qu'il faut retraiter et en partie enfouir profondément dans le sol. On en tire d'utiles radioéléments artificiels, ce qui ne compense pas leur danger qui est réel, mais qui est parfois imaginaire. Ainsi le transport des déchets déchaîne des terreurs sans fondement car je puis faire une révélation : les ingénieurs nucléaires ne sont ni stupides, ni irresponsables ni des assassins en puissance. Ils font attention !
- 3) Quant au dernier défaut, il est très sérieux. L'uranium est cher et, chose grave, il a deux isotopes dominants : U^{238} et U^{235} , dont le premier constitue plus de 99% de l'uranium naturel et le second 0,7 %. Or les réacteurs habituels fonctionnent uniquement avec ce dernier. Et le reste – donc presque tout – part en déchets.

Un seul progrès radical a été accompli, mais jusqu'à présent il a fait long feu, hélas : **le réacteur à neutrons rapides** qui fonctionne sur l'isotope U^{238} . Dû essentiellement à un grand physicien français, Georges Vendryès, il est plus connu sous le nom de son prototype en grandeur nature : **Super Phénix**. Si on généralisait les réacteurs à neutrons rapides, on multiplierait par 100 les réserves d'uranium naturel, sans parler de la récupération de l'énorme réserve de déchets contenant le U^{238} et d'autres déchets qu'on brûlerait également.

Mais la vie n'est pas simple : la peur du nucléaire l'a emporté, en partie par la faute d'un accident fâcheux mais finalement bénin et surtout **non nucléaire** : une fuite de sodium dans le circuit de refroidissement. Si un camion de chlore se renversait sur la route, ce serait aussi fâcheux mais personne n'en parlerait car cela ne rappellerait pas le nucléaire. Et Super Phénix fut abandonné.

Il est vrai que les recherches se poursuivent en France et dans d'autres pays, mais je crois qu'un élan a été brisé. J'ai eu connaissance de ces réacteurs en 1957, étant en stage d'un an à Doubna, au nord de Moscou et nous avons eu à l'Ambassade la visite du Haut Commissaire de l'époque, Francis Perrin, qui avait une nouvelle et une seule dont il était très fier : les travaux sur les réacteurs à neutrons rapides.

Ce n'est pas mon domaine, mais je m'en suis toujours senti proche car M. Georges Vendryès est de mes amis, et il me semble que, tant qu'il y avait Super Phénix et pas de propagande contraire, il y avait un élan qu'il n'y a plus.

La peur du nucléaire provient-elle de la bombe d'Hiroshima ? Je n'en suis pas sûr. J'incline plutôt à croire que c'est une superstition engendrée par le progrès technique. Jadis, on a craint que les voyageurs de chemin de fer ne s'empoisonnent dans la fumée et n'étouffent dans les tunnels. Pasteur – oui, le grand Pasteur ! – a craint que le tout-à-l'égout ne répande des épidémies.

Toutes ces craintes sont-elles absurdes ? Non car le progrès n'est pas sans danger. Mais la seule réponse est que les progrès suivants font justice des craintes infondées et résolvent les problèmes posés par des craintes réelles. Ainsi, des ponts suspendus sont tombés sous le pas cadencé des soldats : alors ils vont en camion ou en autocar ; le pont de Tacoma (aux Etats Unis) s'est rompu à vide sous une brise légère : mais quelque chose a été fait, puisque ce n'est arrivé qu'une fois ; la vie dans les villes a multiplié les risques d'épidémies : mais les vaccins les ont réduits et largement éliminés... etc.

Cela étant, on ne peut nier que le nucléaire présente des risques, mais sur des centaines de réacteurs, une seule catastrophe a eu lieu, Tchernobyl (en Russie), dont les causes sont complexes et pas ce qu'on raconte : elles ne résultent ni d'erreurs humaines ni d'un défaut de construction, mais d'un accident fortuit. D'autre part, Three Mile Islands (aux Etats Unis) n'était qu'un mythe (finalement il ne s'est rien passé de grave), quant à Fukushima (au Japon), la cause n'en était pas le nucléaire mais le tsunami.

Et surtout, si l'expérience donne raison à ce qui suit, ou à une idée du même type, tous ces risques seront conjurés. Car le but est d'éliminer les trois défauts des réacteurs nucléaires à fission : en gros, les déchets, la radioactivité et la lourdeur (au propre comme au figuré) de l'uranium.

L'idée communément admise est de remplacer la fission (la désintégration) d'éléments lourds de la fin du tableau de Mendéléïev, comme l'uranium, par la fusion (la synthèse) d'éléments légers du début du tableau, à commencer par l'hydrogène. La fusion, qui est à l'origine de l'énergie des étoiles, ne produit pas d'éléments radioactifs et elle développe une énergie énormément plus grande que la fission : c'est la même différence – mais sous forme pacifique – qu'entre la bombe H et la bombe d'Hiroshima.

L'idée de la fusion nucléaire n'est pas nouvelle, elle date d'il y a 60 ans, mais elle s'est heurtée à deux obstacles :

- Le premier est dans son principe même. On veut fusionner des noyaux atomiques, en général des protons : des noyaux d'hydrogène. Pour cela, on chauffe un gaz à quelques dizaines de milliers de degrés, pour séparer les noyaux atomiques de leur cortège électronique, ce qui donne un plasma¹. Puis on cherche à rapprocher les noyaux. Or ils sont chargés de même signe et donc se repoussent.

¹ Un plasma est un mélange gazeux en parties égales de particules électrisées *plus* et *moins*.

Pour vaincre la force de répulsion, on chauffe le plasma pour augmenter les vitesses d'agitation moléculaire. Mais il faut des millions de degrés ! D'où une première difficulté : aucune enceinte ne peut contenir un tel plasma. La réponse, due à deux physiciens russes, Tamm et Sakharov, fut le **tokamak**², qui oblige les particules électriques à tourner autour d'un champ magnétique, créant ainsi une enceinte virtuelle sans bords matériels que les particules puissent toucher.

- Le second obstacle est plus grave : la fusion ne venant pas, on se lança dans une course aux hautes températures et le **tokamak devint instable**. Les spécialistes n'en vinrent pas à bout et les Russes abandonnèrent leur premier grand tokamak, tout en contribuant, en Occident, à **ITER** dont on nous promet le premier plasma pour 2027 : 35 ans après le lancement du projet

Que peut-on faire d'autre ? Après de nombreuses difficultés, on peut se demander s'il ne faut pas mettre en cause le procédé lui-même des recherches sur la fusion, qui consiste en un rapprochement « mécanique » entre les noyaux atomiques par l'augmentation des vitesses d'agitation moléculaire. Autrement dit : peut-on abandonner les hautes températures ?

Je vais commencer par une remarque simple. Il y a, entre les partisans des projets actuels et ceux qui en doutent (dont je suis), un problème de « vase à moitié plein » ou de « vase à moitié vide ». Les partisans vantent les indéniables progrès accomplis qui valorisent leurs efforts, et ils ont raison. Mais les autres, ceux qui doutent du résultat, trouvent le temps long.

Rappelons-nous le lancement des réacteurs à la Joliot, basés sur la fission : ils étaient peut-être lourds et ils avaient des défauts, mais ils ont marché tout de suite. Certes, il fallut des efforts pour parvenir à un stade industriellement valable, mais dès le départ, les réacteurs produisaient de l'énergie et il était évident que le projet aboutirait.

Dans le cas présent, on nous dit maintenant que ce n'est pas ITER mais son successeur qui produira de l'énergie. Peut-être, mais on est encore loin du succès.

L'idée que je propose découle de quelques remarques au sujet des forces nucléaires :

- 1) Les **interactions fortes**, de grande énergie, qui interviennent dans la **stabilité des noyaux atomiques** et dans la **fusion nucléaire, et qui sont la source de l'énergie des étoiles**.
- 2) Les **interactions faibles**, de bien plus faible énergie, mais qui jouent un grand rôle. Elles se manifestent dans la radioactivité bêta qui émet des électrons, très légers, et des **neutrinos**, encore beaucoup plus légers mais **ceux-ci véhiculent des interactions faibles**.

Nous ferons deux remarques qui entraînent deux hypothèses :

1) La fusion nucléaire, à l'origine de l'énergie des étoiles, est réalisable sur terre, mais moins bien que dans les étoiles et **à une température plus grande sur terre que dans les étoiles**.

D'où ma 1-ère hypothèse : peut-être existe-t-il dans les étoiles un catalyseur qui est absent des expériences terrestres.

2) Les astrophysiciens sont arrivés d'ailleurs à la conclusion que **les interactions fortes, dans les étoiles, sont contrôlées par les interactions faibles**. Ils disent, de façon imagée, que si l'on éteignait les interactions faibles, le soleil s'éteindrait.

² « Tokamak » est un acronyme russe qui signifie : « chambre toroïdale à bobines magnétiques ».

D'où ma 2-ième hypothèse : le catalyseur doit transporter des interactions faibles, mais comment ?

Pour le comprendre, considérons **l'expérience de Reines et Cowan qui a prouvé l'existence du neutrino**, que **Pauli** avait émise au sujet de la radioactivité bêta. Ils sont partis de la radioactivité bêta du neutron libre qui se transforme spontanément en un proton p (électriquement chargé *plus*) en émettant un électron (chargé *moins*, de sorte que la charge électrique se conserve). Si Pauli avait raison, un neutrino ν (en fait un antineutrino $\bar{\nu}$) devait être émis en même temps. La radioactivité du neutron se produit dans les réacteurs nucléaires, d'où l'idée de chercher des antineutrinos $\bar{\nu}$ dans leur voisinage.

J'écrirai cette radioactivité sous forme symbolique, en priant le lecteur non spécialisé de ne pas s'inquiéter de l'apparence mathématique, qui n'est qu'une abréviation, comme si l'on mettait la phrase : « *un gamète femelle et un gamète mâle donnent un bébé* » sous la forme : « $f + m \rightarrow b$ », où la flèche : \rightarrow remplace le signe : $=$ pour dire « engendre », qui est plus exact que « égale ».

Pour la décomposition du neutron, nous désignerons le neutron par n , le proton par p , l'électron par e^- (il est ici positif, c'est un positron) et l'antineutrino par $\bar{\nu}$. On aura la formule suivante qui ressemble à la formule $f + m \rightarrow b$ avec des propriétés plus compliquées :

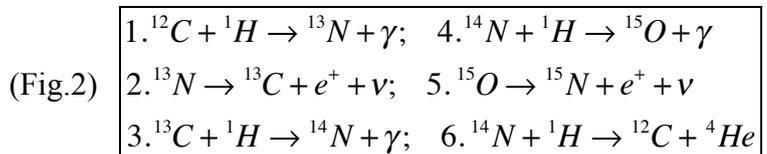
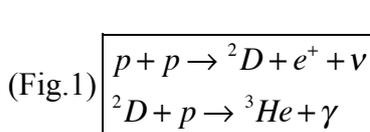
$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

En inversant cette formule, nous aurons la réaction qui représente un proton exposé aux antineutrinos du réacteur, où le positron remplace l'électron, car l'électricité se conserve :

$$p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+, \text{ où } e^+ \text{ est un positron.}$$

Et c'est ce que Reines et Cowan ont observé. En fait, ils n'ont pas prouvé l'existence du neutrino mais de l'antineutrino, car le génie de l'expérience était de comprendre qu'agir avec $\bar{\nu}$ à gauche équivaut à émettre ν à droite. Cette action de l'antineutrino sur le proton est équivalente à la formule de désintégration : $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ qui est la radioactivité bêta inverse. Nous reprendrons ce raisonnement en rappelant d'abord les deux réactions connues qui entretiennent l'énergie des étoiles :

- 1) **Le cycle de l'hydrogène**, en ne donnant ici que les deux premiers termes (Fig. 1) qui commencent par **la réaction proton – proton**, qui crée un deuton, un positron et un neutrino.
- 2) **Le cycle du carbone, de Bethe-Weizsäcker** (Fig.2).



Les deux séries de réactions sont des réactions de fusion nucléaire produites par des *interactions fortes* ; l'une et l'autre aboutissent à l'hélium : c'est évident pour la seconde, mais c'est vrai aussi pour la première que je n'ai pas donnée en entier. En outre, les deux séries commencent, ou sont entrecoupées, par des *interactions faibles*, avec émission d'un neutrino, qui sont du même type que celles que nous venons de voir. C'est en ce sens qu'on peut dire que les interactions faibles « commandent » les interactions fortes.

Or les interactions faibles qui émettent les neutrinos sont énormément plus lentes que les interactions fortes qui produisent l'énergie et leur lenteur ralentit tout le cycle.

Mais dans les étoiles, il n'en est pas ainsi car tout baigne dans les antineutrinos qui agissent « à gauche », dans le sens qu'on a vu plus haut, et qui accélèrent les réactions faibles.

Ces antineutrinos sont à mon avis les catalyseurs qui accélèrent les réactions stellaires et qui manquent dans les expériences terrestres.

Alors que faire ? On ne peut pas utiliser les antineutrinos des réacteurs nucléaires qui partent dans toutes les directions, qui ne sont pas manœuvrables et dont nous ne récupérons qu'un petit nombre. Mais nous possédons l'oiseau rare, **le monopôle magnétique leptonique que nous savons produire et observer** et que nous décrirons plus précisément en seconde partie. **Il a toutes les qualités requises :**

I) **Nous savons le produire à la demande car nous possédons des sources de monopôles.**

II) **Il est porteur des mêmes interactions faibles que le neutrino et l'antineutrino.**

III) **Il possède en outre une charge magnétique** (c'est un monopôle), ce qui le rend manœuvrable dans un champ électromagnétique. **Il peut donc être collimaté dans un faisceau : et ce n'est pas une vision théorique mais un fait expérimental.**

IV) **Nous avons construit un accélérateur** et nous savons donc contrôler l'énergie du monopôle.

V) **Enfin, le tokamak est lui-même un accélérateur de monopôles. Il suffit de les y injecter et ils suivront les lignes de champ magnétique en gagnant de l'énergie : ils se dirigeront à angle droit vers les trajectoires des particules électrisées (les protons) qui tournent autour du champ magnétique, et les monopôles pourront alors catalyser leur fusion.**

Mon idée est exposée ici sous la forme d'un dispositif lourd, industrialisable, si l'on dispose d'un tokamak. L'espoir qu'on peut y mettre est **d'abaisser suffisamment la température pour redonner toutes ses qualités initiales au tokamak** en écartant la principale cause d'instabilité qui est la très haute température. **Soulignons que cela n'a rien à voir avec la « fusion froide » dont je ne crois pas un mot. Il s'agit ici d'un processus catalytique dont j'espère seulement qu'il rendra inutiles les températures très élevées de millions ou de dizaines de millions de degrés.**

Mais si l'on ne dispose pas d'un Tokamak, peut-on vérifier mon idée ? Il se peut que oui. En effet, **toutes les sources de monopôles reposent sur un phénomène électrique disruptif – court-circuit, étincelle ou arc électrique – dans l'eau.** Cette explosion électrique réalise momentanément un milieu plasmatique dans lequel apparaissent des monopôles (on les recueille). On peut se demander si des effets de fusion de protons n'apparaissent pas en même temps. **Si c'est vrai, il va se créer du deutérium et donc de l'eau lourde dont la proportion dans l'eau deviendra supérieure à la normale, ce qui devrait être vérifiable.** Eventuellement, il faudrait augmenter l'énergie des monopôles incidents (pour une raison de bilan d'énergie), ce que nous pourrions faire, mais cela compliquerait l'expérience.

Notons que le point V) contient l'essentiel de mon idée : les monopôles jouent le rôle de quasi-catalyseurs. Ces monopôles sont des catalyseurs en tant que substances adjuvantes qui accélèrent la réaction cherchée, mais ils ne le sont que « quasi » parce qu'ils disparaissent dans la réaction, à laquelle ils finissent donc par prendre part.

Il faut dire maintenant que les idées exposées ici ne sont pas celles de la communauté scientifique. Depuis 30 ans, elles sont repoussées, censurées par le silence, voire moquées, pour une raison initiale

essentielle : **le monopôle à la mode est supposé avoir une masse gigantesque, tandis que le monopôle leptonique, initié par mes travaux théoriques, a une masse au repos nulle ou très faible.**

Dans la **SECONDE PARTIE** je rappellerai quelques données sur mon propre monopôle mais soulignons d'abord la différence véritable entre ce monopôle et les autres :

A) Mon monopôle est basé sur une équation qui s'inspire de l'équation de l'électron de Dirac, mais qui est différente. **Mon monopôle apparaît comme le second versant de l'électromagnétisme : son versant magnétique par opposition à son versant électrique, celui de l'électron.**

Contrairement aux théories rivales, mon équation satisfait automatiquement aux lois de symétrie des pôles magnétiques décrits par Maxwell et par Pierre Curie. En dehors de mes propres travaux théoriques, les plus importants et les plus originaux sont dus au Professeur **Harald Stumpf** de l'Université de Tübingen, qui est notamment l'auteur de la théorie de la création des monopôles.

B) Toutes les prévisions de mon équation sont confirmées par de **nombreuses expériences** dues tout d'abord aux équipes des Professeurs **Léonid Urutskoïev**, de l'Institut Kurtchatov de Moscou, **Nicolas Ivoïlov** de l'Université de Kazan, **Henri Rukhadze** de l'Institut de Physique Générale de L'Académie des Sciences de Russie, à Moscou, **Vladimir Kouznetsov**, de l'Institut Unifié de Recherches Nucléaires de Doubna. Mais d'autres ont contribué, comme le Professeur **Vyssotsky** de Kiev et le groupe **Racineux-Priem-Daviau** de l'Ecole Centrale de Nantes.

Le courant d'idées que j'ai créé a rencontré un courant parallèle créé par le Professeur Urutskoïev qui a émis quelques années plus tard, mais indépendamment de moi, sur des bases expérimentales et non pas théoriques, l'hypothèse des monopôles magnétiques, en se fondant sur des observations réalisées à Tchernobyl en vue de rechercher l'origine de la catastrophe. Contrairement à l'avis officiel, cette origine est attribuée par Urutskoïev non pas à des erreurs techniques mais à une explosion électrique spontanée (sans cause humaine reconnue) dans la salle des machines, qui a provoqué un courant de monopôles, lequel a déclenché une désintégration en chaîne d'un type jusque là inconnu. C'est cette explosion qui a mis Urutskoïev sur le chemin du monopôle.

Urutskoïev a passé dix ans à Tchernobyl, à la tête d'une équipe scientifique en vue de rechercher les causes de la catastrophe. Nos deux écoles se sont rejointes et collaborent depuis longtemps. Les Russes me font fait l'honneur de parler du « monopôle de Lochak » que j'ai effectivement prévu et décrit théoriquement. Mais c'est aux physiciens russes - en premier lieu à l'équipe d'Urutskoïev - qu'est due la presque totalité des preuves expérimentales de son existence.

S'il est vrai que ma théorie a été vérifiée par les expériences russes, inversement de nombreuses expériences ont été réalisées indépendamment de moi en Russie et il a fallu à la théorie les intégrer à son tour, souvent avec difficulté et parfois pas encore : **la nature recèle plus de mystères que la théorie !**

Un exemple de tels mystères est donné par la destruction de blocs de béton (par Urutskoïev), en faisant exploser des fils électriques survoltés dans des trous forés dans le béton et remplis d'eau. Ces effets mettent en jeu des déplacements d'énergie étonnamment faibles (au point que les auteurs ont dû vérifier la conservation de l'énergie). Ils sont frappants mais restent inexplicables. Un autre exemple est celui des effets biologiques par irradiation au voisinage d'une source de monopôles, observés par les Professeurs Pryakhine (de Tchelyabinsk), Urutskoïev (de Moscou) et Ivoïlov (de Kazan). Les monopôles sont invoqués, sans doute à bon droit, mais par des mécanismes que la théorie n'a pas su décrire.

SECONDE PARTIE

Quelques données sur le monopôle

Preuves expérimentales.

Nous possédons des centaines de traces comme celles données ci dessous. On m'a objecté que cela ne prouve pas l'existence du monopôle. **Certes mais le monopôle concurrent n'en a pas une seule !!! Ses partisans auraient pavoisé s'ils en avaient, alors que chez nous c'était une remarque parmi d'autres.** Et nous verrons plus loin d'autres preuves³.

Les Fig. 1 et Fig. 2 sont des traces normales sur pellicules, sous des agrandissements différents.

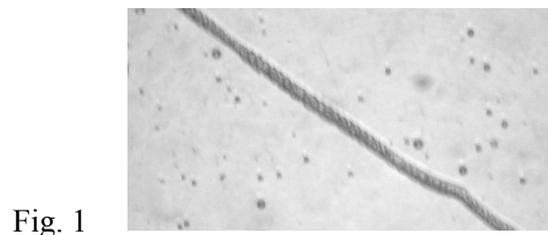


Fig. 1

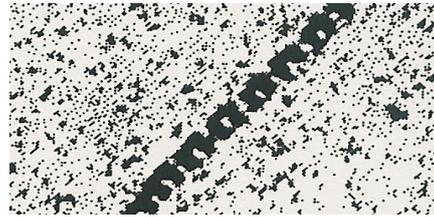


Fig. 2

Elles ont été vues pour la première fois à l'Institut Kurchatov, où les spécialistes ont tout de suite été frappés par leur caractère inhabituel : 1) L'épaisseur correspond à des particules électriques de 1 Gev, alors que l'énergie était de 5 Kev. 2) On ne voit **pas d'électrons delta** dus à l'arrachement d'électrons dans la matière qui caractérisent les traces électriques de cette importance. 3) La structure des traces, en « traces de chenille » n'a jamais été vue ailleurs. 4) **Les particules traversent des mètres d'air et d'autres matériaux, ce qui exclut les électrons.** 5) Il n'y a donc pas de charge électrique, mais il faut une autre charge, car les particules neutres ne laissent pas de trace. Le soupçon des monopôles existait déjà pour d'autres raisons ; cette observation est venue s'y ajouter.

La Fig. 3 représente une trace et son image dans un miroir en **germanium**. On remarque que l'objet et son image sont **identiques** et non pas opposés comme en optique, mais **tournés de 180°**, en accord avec les **lois de symétrie de Curie** et mon **équation du monopôle**.

La Fig. 4 représente une trace de monopôle photographiée par simple exposition au **pôle Nord magnétique terrestre**. **Sous un meilleur grossissement, elle est identique aux précédentes.** J'avais prévu d'après ma théorie qu'une émission bêta dans un champ magnétique devait comporter une proportion de monopôles résultant de l'excitation des neutrinos. Des expériences d'**Ivoilov** l'ont confirmé en laboratoire et j'ai sollicité l'explorateur **Jean-Louis Etienne**, qui a emporté des pellicules, lors d'une expédition au pôle Nord magnétique pour vérifier mon hypothèse que les neutrinos excités dans les champs magnétiques solaires dirigent vers les pôles terrestres. Ce que prouvent des photos comme la Fig. 4.

³ Pour ma part, je suis satisfait des traces mais ma conviction repose sur des arguments plus généraux. Par exemple : mon équation retrouve les symétries de Curie et, à la limite classique, l'équation de Poincaré de l'effet Birkeland. Mes raisonnements étant quantiques, mais pas ceux de Poincaré et Curie, leur rencontre a force de vérification.

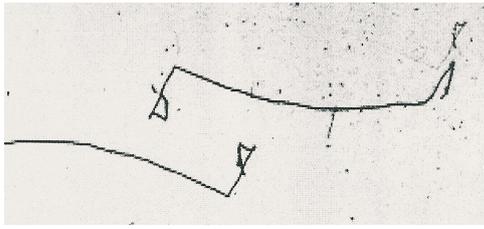


Fig. 3

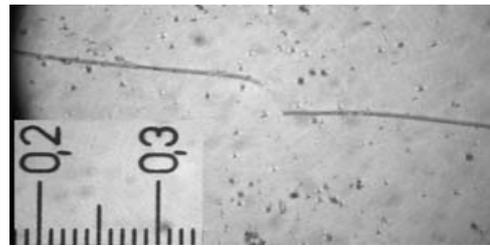


Fig. 4

Les Fig.5 et 6 représentent l'analyse au **microscope confocal** de traces analogues aux précédentes. On voit que ce ne sont pas de simples excitations de la couche sensible mais un creusement dans le support en matière plastique de la pellicule. Les monopôles sortant de l'accélérateur (pourtant de très faibles dimensions) ont percé des trous dans la pellicule.

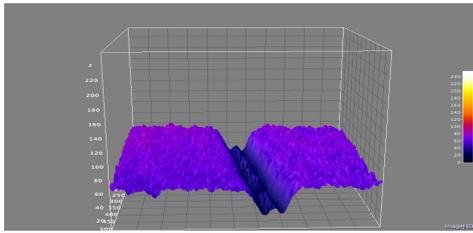


Fig. 5

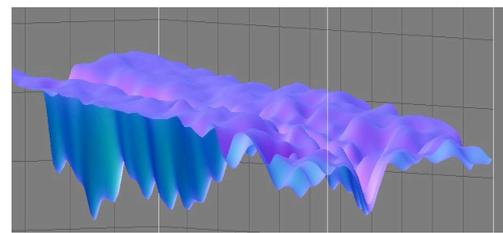


Fig. 6

Quelques autres propriétés des monopôles leptoniques.

Soulignons avant tout deux points importants.

- **Premier point.** Avant de chercher les propriétés des monopôles il faut les produire. Or il se trouve que les sources de monopôles leptoniques ne sont pas très difficiles à construire. En gros, ils apparaissent dans deux cas connus : 1) **Les phénomènes électriques disruptifs dans l'eau**, tels que : l'explosion d'un mince conducteur survolté, une étincelle entre deux électrodes, un arc électrique. La nécessité de l'eau est un fait empirique, mais ce qui est exposé dans le présent article donne à penser que ce n'est pas la molécule d'eau mais l'atome d'hydrogène qui joue un rôle important. 2) L'autre cas est **une désintégration bêta soumise à un champ magnétique, lequel provoque l'excitation d'un neutrino en monopôle** (prévu théoriquement et vérifié par l'expérience). D'après Harald Stumpf ce phénomène est élémentaire et les phénomènes électriques disruptifs sont une sorte d'« imitation ».

Il va de soi que tous les cas sont expérimentalement vérifiés. Notons en outre qu'une désintégration bêta produit au plus **un** monopôle (correspondant au neutrino habituel), alors que les phénomènes électriques disruptifs donnent naissance à **un flot** de monopôles.

- **Second point.** Avant d'en venir aux observations, notons qu'elles sont de deux ordres. Elles portent soit sur la propriété initiale : **le magnétisme**, soit sur une propriété adventice : **les interactions faibles** qui se révèlent tout aussi importantes, sinon plus que les précédentes.

Voici quelques observations.

L'équipe d'Urutskoiev opérait sur des monopôles produits par l'explosion électrique d'une mince feuille de titane. Ils ont découvert, sous l'effet d'une décharge électrique (0,1ms, 5 kV, 60 kJ) en milieu aqueux, une **redistribution des isotopes** dans les débris de titane ainsi que **l'apparition d'éléments chimiques initialement absents**, et cela sans aucune radioactivité. L'effet est répétable avec une grande précision [10]. Le caractère nucléaire de l'effet observé, l'absence d'interactions fortes et les basses énergies mises en jeu ont suggéré le rôle **d'interactions faibles**, mais la petite section efficace de ces dernières a suggéré la présence d'un **catalyseur**.

Or le phénomène produisait en même temps des **particules** qui laissaient sur les émulsions photographiques les **traces décrites plus haut**. Ce sont ces particules qu'on a peu à peu identifiées, par l'accumulation de différentes observations, aux monopôles et aux catalyseurs en question.

Ces particules réagissent à un champ magnétique :

1) Un *champ magnétique* de 20 *ærstedes* appliqué à la source du rayonnement transforme complètement les traces en des sortes de « *comètes* » même à plusieurs mètres de la source (**Urutskoiev**).

2) Les particules en question sont focalisées par des bobines magnétiques, qui créent ainsi des faisceaux (**Ivoïlov**)

3) Il se trouve que l'élément le plus sensible à l'**effet Mössbauer** est en même temps magnétique, c'est le fer cinquante-sept : Fe^{57} qui est un **piège à monopôles**. Un échantillon de Fe^{57} est soumis à leur rayonnement à quelques mètres de la source, avec un pôle d'aimant qui écarte les monopôles d'un signe et attire les autres. On retire ensuite l'échantillon et l'on étudie par effet Mössbauer sa raie γ caractéristique : **la raie est nettement déplacée**. On recommence l'expérience en changeant le pôle d'aimant : **le déplacement est dans l'autre sens**. Ce qui suggère qu'on a successivement piégé les monopôles nord et sud dans un mélange incident (**Urutskoiev et Ivoïlov**).

4) En outre, le rayonnement des monopôles crée un **magnétisme induit durable** : ainsi, l'irradiation avait lieu à Moscou, chez Urutskoiev et la mesure Mössbauer à Kazan, chez Ivoïlov après quelques heures de transport d'avion, de l'échantillon de Fe^{57} .

Autre signe de magnétisme induit, les débris de titane, après la décharge électrique, sont attirés par un aimant (le titane n'est pas magnétique). Par ailleurs, une boîte de Piétri irradiée à quelques mètres de la source, puis éloignée et conservée dans une armoire sur une émulsion photographique enveloppée dans du papier noir, fait apparaître dans l'émulsion les traces caractéristiques en chenilles (observation dédiée aux mânes d'Henri Becquerel !).

Mais tous les effets induits par les monopôles disparaissent au bout d'environ trois jours : signe d'une *durée de vie* que la théorie actuelle ne prévoit pas.

Ne subsistent que les transitions nucléaires ou chimiques.

Autres effets à distance :

a) *Action chimique* : les monopôles détruisent du nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) à plusieurs mètres de distance. Expériences réalisées, à la suite de la catastrophe AZF de Toulouse, par L. Urutskoiev et un spécialiste en explosifs, pour vérifier si une décharge électrique émettant un flot de monopôles peut mettre le feu à distance à un stock de nitrates.

Le même soupçon avait été émis à propos d'une explosion électrique survenue dans la salle des machines de Tchernobyl quelques secondes avant la catastrophe nucléaire. Dans les deux cas, la réponse est positive quant à la possibilité, mais sans pouvoir en dire plus.

b) *Action biologique* : Des biologistes dirigée par Pryakhine, de Chelyabinsk, a soumis des souris au rayonnement des monopôles, à une distance de 1 m de la source [4]. Le rayonnement augmente le nombre de cellules dans la moelle osseuse par augmentation de la division cellulaire.

c) *Les images chirales* : A Kazan, Ivoïlov a créé des monopôles de beaucoup plus faible énergie que ceux d'Urutskoiev. Ils laissent les mêmes traces dans les émulsions photographiques, mais de forme plus tourmentée. Ivoïlov a créé un miroir à monopôles (en germanium), pour distinguer la trace « aller » d'un monopôle, de la trace « retour » (on l'a déjà vu plus haut).

L'observation dans des zones arctiques [23] a déjà été mentionnée plus haut.

Bref résumé sur la théorie des monopôles magnétiques leptoniques.

Cette partie s'adresse aux lecteurs qui connaissent le langage spinoriel de l'équation de Dirac, les matrices γ_μ ($\mu=1,\dots,4$) de Dirac et $\Gamma_N = \{I, \gamma_\mu, i\gamma_\mu\gamma_\nu, i\gamma_\mu\gamma_5, \gamma_5 = \gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4\}$ ($N=1,\dots,16$) de Clifford (voir la Littérature ci-dessous).

Seules deux matrices Γ_N de Clifford commutent de la même manière avec les 4 matrices γ_μ de Dirac. Ce sont : $\Gamma_1 = I$ (qui commute) et : $\Gamma_{16} = \gamma_5$ (qui anticommute) et l'on montre alors que :

a) La première matrice : $\Gamma_1 = I$ définit une invariance de phase (ou invariance de jauge) : $\psi \rightarrow e^{i\theta}\psi$, qui laisse invariante l'équation de Dirac sans champ, de masse quelconque :

$$\gamma_\mu \partial_\mu \psi + \frac{m_0 c}{\hbar} \psi = 0$$

b) La seconde matrice $\Gamma_{16} = \gamma_5$ définit une **seconde invariance de jauge** : $\psi \rightarrow e^{i\frac{e}{\hbar c}\gamma_5\theta}\psi$ **qui laisse invariante l'équation de Dirac sans champ uniquement de masse nulle** : $\gamma_\mu \partial_\mu \psi = 0$ **puisque γ_5 anticommute avec les γ_μ de Dirac.**

La première invariance de phase $\psi \rightarrow e^{i\theta}\psi$ permet d'introduire dans l'équation de Dirac avec masse **une dérivée covariante et une jauge locale avec les potentiels de Lorentz** :

$$\nabla_\mu = \partial_\mu - i\frac{e}{\hbar c}A_\mu; \psi \rightarrow e^{i\frac{e}{\hbar c}\theta}\psi, A_\mu \rightarrow A_\mu + \partial_\mu\theta$$

Cette jauge définit l'équation de l'électron de Dirac habituelle, celle de **l'électron** :

$$\gamma_\mu \left(\partial_\mu - i\frac{e}{\hbar c}A_\mu \right) \psi + \frac{m_0 c}{\hbar} \psi = 0$$

D'une façon analogue, j'ai défini (voir Littérature), grâce à la seconde jauge $\psi \rightarrow e^{i\frac{e}{\hbar c}\gamma_5\theta}\psi$, **une nouvelle dérivée covariante** avec des pseudo - potentiels à la place des potentiels de Lorentz :

$$\nabla_\mu = \partial_\mu - i\frac{g}{\hbar c}\gamma_5 B_\mu; \psi \rightarrow e^{i\frac{g}{\hbar c}\gamma_5\theta}\psi; B_\mu \rightarrow B_\mu + \partial_\mu\theta$$

On trouve trois équations distinctes du monopôle magnétique leptonique (voir Littérature) :

$$\boxed{\gamma_\alpha \left(\partial_\alpha - \frac{g}{\hbar c} \gamma_5 B_\alpha \right) \psi = 0}$$

$$\gamma_\alpha \left(\partial_\alpha - \frac{g}{\hbar c} \gamma_5 B_\alpha \right) \psi + i \frac{\mu(\rho)c}{\hbar} \frac{\Omega_1 - i\gamma_5 \Omega_2}{\sqrt{\Omega_1^2 + \Omega_2^2}} \psi = 0, \quad \rho = \sqrt{\Omega_1^2 + \Omega_2^2}$$

$$\gamma_\alpha \left(\partial_\alpha - \frac{g}{\hbar c} \gamma_5 B_\alpha \right) \psi + i \frac{m_0 c}{\hbar} e^{i\theta} \gamma_2 \psi^* = 0$$

La première équation (encadrée) est de masse nulle. C'est celle dont on se sert le plus souvent. Ses propriétés sont vérifiées par l'expérience et elle entraîne les lois de symétrie prévues par Maxwell et Pierre Curie (voir Littérature). Les deux autres équations satisfont aux mêmes lois de symétrie et admettent une masse non nulle. Toutefois, dont le besoin ne s'en étant pas encore fait sentir, on en reste pour l'instant à la première.

La substitution de la matrice pseudo-scalaire γ_5 , à la matrice unité I , dans l'équation de Dirac, joue un rôle capital : γ_5 échange l'électricité et le magnétisme, donc l'opérateur scalaire de charge électrique eI , et l'opérateur pseudo-scalaire de charge magnétique $G = g\gamma_5$ ⁴. De même, γ_5 échange le En un sens, γ_5 échange même le temps et l'espace, car l'équation de Dirac entraîne la conservation du courant électrique : $\partial_\mu J_\mu = 0$ ($J_\mu = i\bar{\psi}\gamma_\mu\psi$), où J_μ est *polaire* et *du genre temps*. D'une façon analogue, l'équation du monopôle conserve le courant magnétique : $\partial_\mu \Sigma_\mu = 0$ ($\Sigma_\mu = i\bar{\psi}\gamma_\mu\gamma_5\psi$). Mais Σ_μ est *axial* et *du genre espace* : il diffère du précédent par la matrice γ_5 . Les vecteurs J_μ et Σ_μ , sont liés par les formules suivantes (où Ω_1 et Ω_2 sont l'invariant et le pseudo invariant de Dirac):

$$J_\mu \Sigma_\mu = 0; -J_\mu J_\mu = \Sigma_\mu \Sigma_\mu = \Omega_1^2 + \Omega_2^2; (\Omega_1 = \bar{\psi}\psi; \Omega_2 = -i\bar{\psi}\gamma_5\psi).$$

On voit que J_μ est du genre temps et Σ_μ du genre espace, ce qui peut surprendre pour Σ_μ , mais pas en représentation de Weyl, car il suffit de poser : $\frac{1}{\sqrt{2}}(\gamma_4 + \gamma_5)\psi = \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix}$ et l'équation du monopôle se scinde en deux équations, gauche et droite, à deux composantes.

$$\left(\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} - \mathbf{s} \cdot \nabla - i \frac{g}{\hbar c} (W + \mathbf{s} \cdot \mathbf{B}) \right) \xi = 0$$

$$\left(\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{s} \cdot \nabla + i \frac{g}{\hbar c} (W - \mathbf{s} \cdot \mathbf{B}) \right) \eta = 0$$

Les \mathbf{s} sont les matrices de Pauli et : $iB_\mu = \{\mathbf{B}, iW\}$. \mathbf{B} et W sont un pseudo-vecteur et un pseudo-scalaire dans R^3 ; $B_4 = W$ est réelle, du fait que B_μ est axial. Les parties cinétiques de ces deux équations correspondent au neutrino et à l'anti - neutrino à deux composantes, tandis que les parties potentielles correspondent à une interaction électromagnétique avec une charge magnétique.

Ces équations montrent que les monopôles gauche et droit sont un neutrino et un antineutrino magnétiquement excités, ce qui m'a permis de prévoir que les monopôles leptoniques transportent à la fois une charge magnétique et une charge d'interaction faible. L'expérience a confirmé cette propriété, qui est utilisée dans le présent article.

Les courants $X_\mu = \{\xi^+ \xi, -\xi^+ \mathbf{s} \xi\}$; $Y_\mu = \{\eta^+ \eta, \eta^+ \mathbf{s} \eta\}$, sont *isotropes* et conservatifs car on a : $\partial_\mu X_\mu = 0$; $\partial_\mu Y_\mu = 0$. Quant aux deux courants habituels, ils sont respectivement égaux à : $J_\mu = X_\mu + Y_\mu$; $\Sigma_\mu = X_\mu - Y_\mu$. Ils sont conservatifs, comme X_μ et Y_μ . Mais Σ_μ n'est pas le courant magnétique total. C'est la *différence entre les deux courants gauche et droit*. Si Σ_μ est du genre espace c'est simplement parce que : $X_\mu Y_\mu = 4|\xi^+ \eta|^2 \geq 0$, ce qui ne contrevient pas au principe de causalité⁵.

⁴ Contrairement aux autres théories, la charge magnétique g est ici un scalaire, comme toutes les grandeurs physiques. C'est l'opérateur de charge $G = g\gamma_5$ qui est un pseudo-scalaire comme représentant quantique de la grandeur physique.

⁵ Si l'on fait la somme et la différence de deux vecteurs isotropes, l'une est du genre temps et l'autre du genre espace. Chez Dirac, c'est la somme qui est du genre temps. C'est pourquoi on peut interpréter J_μ comme un courant électrique ou de probabilité et c'est là que se trouve la causalité.

TROISIÈME PARTIE

L'évolution de l'électromagnétisme

Cette partie a pour but de montrer que le monopôle magnétique leptonique, que j'ai mis en évidence **et qui est observé, contrairement aux autres**, est l'aboutissement logique de l'électromagnétisme né au XIX^e siècle, avec les lois de Coulomb, d'Ampère et de Faraday.

Les deux premières lois (celle de Coulomb et d'Ampère) ne dépendaient pas du temps. La loi de Faraday, qui en dépendait, fut longtemps refusée. Mais le génie de Maxwell fut de comprendre que c'était Faraday qui avait raison ! Il généralisa les deux premières lois en introduisant le **courant de déplacement**. Les nouvelles lois ainsi écrites sont devenues les **équations de Maxwell**, l'un des plus grands exploits de la physique mathématique. **Maxwell déduit de ses équations que les ondes lumineuses de Fresnel étaient électromagnétiques : ce fut la théorie électromagnétique de la lumière. Ce n'est que plus tard que Hertz produisit ces ondes par des procédés électriques qui ne dépendaient pas de l'optique, découvrant ainsi les ondes de radio.**

Le grand pas suivant date de 1897, quand J.J. Thomson, rassemblant un ensemble de résultats, eut l'audace d'annoncer l'existence d'une particule d'électricité douée d'une charge élémentaire : **l'électron**.

La découverte fondamentale suivante fut l'hypothèse d'Einstein, selon laquelle la théorie de Maxwell, qui considérait la lumière comme formée d'ondes électromagnétiques, ne pouvait à elle seule rendre compte de tous les phénomènes lumineux. En effet, on peut imaginer qu'un point émet une onde sphérique progressive qui enfle peu à peu. Mais on ne saurait admettre que le phénomène inverse, l'absorption de la lumière par un point, consiste en ce qu'une onde sphérique, venue de partout, se recroqueville sur le point.

Autrement dit, la théorie des ondes donne une image acceptable de l'émission de la lumière par une source ponctuelle mais elle n'en donne pas pour le phénomène inverse de l'absorption. Avec ce que je me permets d'appeler la « candeur du génie », Einstein en a conclu qu'il fallait admettre que l'énergie lumineuse n'est pas transportée par des ondes continues, mais concentrée dans des particules, les **quanta de lumière**, qu'on appellera les **photons**. L'émission ou l'absorption de la lumière consiste alors en un transport d'un petit paquet ponctuel d'un point à un autre, ou l'inverse.

Einstein, déjà auteur de la relativité, était déjà considéré comme le plus grand physicien du monde. Mais devant ce raisonnement, on admit qu'il était devenu un peu fou.

Cela dura près de 25 ans, quand Louis de Broglie dit bien pire : il proposait d'admettre que toute particule était associée à une onde et tout onde à une particule. On le traita de fou, lui aussi. Un ignorant a même dit que « c'était La Comédie Française », qu'il confondait sans doute avec les Folies Bergère sans savoir que sa comparaison était flatteuse. Mais, trois ans plus tard, on fit diffracter les électrons et la polémique se tut peu à peu⁶.

Revenons au magnétisme. Entre temps était paru le Traité d'Electromagnétisme de Maxwell (1873) dont le tome I était consacré à l'Electricité et le tome II au Magnétisme. Ils commençaient de la même manière. Le Tome I par la loi de force de Coulomb d'un pôle électrique, et le tome II par la loi de force (la même !) d'un pôle magnétique.

L'hypothèse des pôles magnétiques remontait à Coulomb. Il disposait de corps chargés d'électricité mais il ne disposait pas de corps magnétiques équivalents. Il prit (en 1785) un long fil d'acier aimanté et admit que la force magnétique exercée par l'une des extrémités ne serait guère perturbée par l'autre, tant qu'on resterait dans son voisinage : ce serait à peu près un pôle magnétique. Et il retrouva la loi de Coulomb ! Maxwell mit ce résultat à la base de sa théorie du magnétisme.

⁶ Je me plais à rappeler qu'Einstein ne s'accordait que deux idées : la relativité et le photon.

Les années passèrent et vint Pierre Curie (1894). Comme tous les physiciens de l'époque, il était un as en cristallographie et imbu des lois de symétrie. Il entreprit de chercher les lois de symétrie en physique, sous forme générale, spécialement pour l'électricité et le magnétisme. Il montra qu'elles sont très différentes l'une de l'autre parce que le champ et le courant électriques étaient des vecteurs polaires, tandis que le champ et le courant magnétiques étaient des vecteurs axiaux (sa terminologie différait un peu de la nôtre). Maxwell le savait déjà mais Curie en fit un système, au point de vouloir changer l'écriture des équations de Maxwell, mais il ne fut pas suivi.

Curie montra alors qu'il peut exister des charges et des courants magnétiques, qui seraient les analogues de leurs pendants électriques. Et il établit leurs lois de symétrie. Cent ans plus tard, alors que j'avais établi l'équation quantique du monopôle (1983), un de mes amis, Xavier Oudet, spécialiste en magnétisme, m'engagea à me replonger dans Pierre Curie. C'était facile car j'avais fait de la minéralogie, mais j'eus très peur en lisant Curie car il était évident qu'il avait raison en tous points et que je n'avais pas le droit de m'en écarter d'un pouce. Dieu merci, mon équation, partie de principes différents des siens, en rejoignait les conclusions. C'était donc une victoire ; merci à Xavier qui m'a procuré une assurance que je ne possédais pas !

Trente ans avant (en 1956). J'étais depuis deux ans, dans le groupe de Broglie où tout le monde travaillait sur l'équation de Dirac et j'eus l'idée qu'à cause du spin, on pouvait tout décrire avec une densité et 7 angles : 3 angles d'Euler pour la rotation d'espace, 3 angles imaginaires dans l'espace-temps, pour la vitesse dans l'espace, et un 7-ième qu'on désignait par A et que deux de mes éminents prédécesseurs – un Français et un Japonais : Yvon et Takabayasi – avaient déduit de l'équation de Dirac. J'ai obtenu un système d'équations, sauf deux qui sont très simples et analogues entre elles.

La première équation était évidente : elle représentait la conservation de l'électricité ce qui, pour une équation de l'électron, n'est pas une découverte. Mais la seconde était incompréhensible : elle contenait l'angle A d'Yvon – Takabayasi, ce qui était un début mystérieux, et une autre grandeur « encore pire » qui était la composante de temps d'un quadrivecteur relativiste du genre espace, connu mais dont personne ne savait que faire, sinon que les composantes d'espace avaient été associées au spin, ce qui ne m'aidait en rien.

Tout en faisant maintes autres choses, cette équation a traîné chez moi pendant 25 ans dans un tiroir et je la revoyais en vain de temps en temps. Jusqu'au jour (en 1983) où, après un long dédale, l'idée simple m'est venue que si sa sœur signifiait la conservation de l'électricité, celle-ci voulait dire la conservation du magnétisme. Il y avait donc un monopôle magnétique caché derrière l'électron.

Le mystérieux angle A d'Yvon - Takabayasi qui était apparu pour des raisons obscures à ses découvreurs, figure maintenant (on l'a vu plus haut) sous une forme générale et sous le nom de θ dans

la seconde invariance de jauge $\psi \rightarrow e^{i \frac{e}{\hbar c} \gamma_5 \theta} \psi$ de l'équation sans masse du monopôle. Il est lié à la conservation du magnétisme parce qu'il est un second angle de phase – à γ_5 près ! – et il est au magnétisme ce que l'angle de phase ordinaire est à l'électricité.

L'équation du monopôle m'est apparue presque aussitôt et l'on voit que le monopôle magnétique leptonique prend la suite logique de toute l'évolution du magnétisme. Je ne prétends aucunement que le monopôle leptonique soit LE monopôle car il y en a sûrement d'autres mais il occupe probablement une place aussi particulière que celle de l'électron.

Je voudrais pour finir rendre hommage à deux de mes maîtres qui étaient déjà âgés quand je faisais cela mais à qui j'ai tenu tout de suite à le raconter. Je citerai d'abord **Louis Néel** qui présidait alors notre Fondation, qui était grand admirateur de Louis de Broglie, Prix Nobel de physique et pape du magnétisme. C'est donc lui que je suis allé voir en premier pour lui parler du monopôle. Il m'a écouté avec beaucoup d'attention en me posant quelques questions et me fit cette unique conclusion avec un sourire d'encouragement : « Maintenant c'est aux expérimentateurs de parler ». Ils ont parlé depuis, mais Néel était déjà mort et je ne lui ai plus rien raconté.

Le second fut Louis de Broglie dont je fus l'élève et le collaborateur et dont j'eus l'honneur de devenir un ami. Il devait avoir quatre-vingt dix ans et était rapidement fatigable. J'avais pris l'habitude de ne plus le harasser de calculs, ni même d'analyses physiques trop précises et je ne lui apportais des explications qu'en faisant appel à des lois générales auxquelles il était resté très sensible et réactif. Je lui fis donc un récit de cette manière et il m'a fait ce seul commentaire : «Dommage qu'Einstein soit mort. Ça l'aurait intéressé ». Je n'en espérais pas tant.

Littérature

- [1] J.C. Maxwell, *A treatise on electricity and magnetism* (1873), Third Edition Clarendon Press (1991), deux Volumes reproduits par Dover.
- [2] P. Curie, *Journal de Physique*, 3^e série, t.III, 1894, p. 393, p. 415. *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **19**, 1994, p.159
- [4] G. Lochak, *Ann. Fond. Louis de Broglie* (I) : **22**, 1997, p.1 (II) : p. 187.
- [5] P.A.M. Dirac, *Proc. Roy. Soc. Ser. A*, 133, 1931, p. 60.
- [6] W. Pauli, *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, **6**, 1936, p. 109.
- [7] G. Lochak, Sur un monopôle de masse nulle, *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **8**, 1983, p. 345 (I). **9**, 1984, p. 5 (II).
- [8] G. Lochak, Wave equation for a magnetic monopole, *IJTP*, **24**, 1985, p. 1019.
- [9] G. Lochak, *The Symmetry between Electricity and Magnetism and the Problem of the Existence of a Magnetic Monopole in* : Advanced Electromagnetism, Ed. T.W. Barrett, D.M. Grimes, World Scientific, Singapore, 1995, p. 105-148.
- [10] L.I. Urutskoiev, V.I. Liksonov, V.G. Tsinoev, Expérimental observation of a « Strange Radiation » and of the transmutation of chemical elements, *Journal de radioélectronique*, N°3, 2000 (en russe) ; (traduction française dans : *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **28**, 2002, p. 701
- [11] G. Lochak, L'équation de Dirac sur le cône de lumière. Electrons de Majorana et monopôles magnétiques, *Ann. Fond. Louis de Broglie*, **28**, 2003, p. 403.
- [12] T. Borne, G. Lochak and H. Stumpf, *Nonperturbative Quantum Field Theory and the Structure of matter*, Kluwer, Dordrecht 2001.
- [13] H. Stumpf, *Ann. Fond. L. de Broglie*, **28**, 2003, 65 ; **29**, 2004, 513, 895.
- [14] H. Stumpf, *Z. Naturforsch.* **58a**, 2003, 1 ; **59a**, 2004, 750 ; **60a**, 2005, 696
- [15] H. Stumpf, *Effective Dynamics of Electric and Magnetic Electroweak Bosons and Leptons with Partonic Substructure for CP-Symmetry Breaking*, Preprint, 2006.
- [16] G. Lochak et L. Urutskoiev, *Low Eenergy Nuclear Reactions and Leptonic Monopoles*, Conférence Internationale sur la Fusion Froide (ICCF 11), Marseille 31.10.04 au 05.11.04, 2004.
- [17] G. Lochak, *Z. Naturforschung*, **62a**,231-246, 2007
- [18]H.Stumpf,Z.Naturforschung,**66a**,205-214,2011 ;**66a**,329-338,2011
- [19]H.Stumpf,Z. Naturforschung,**66a**, 329-338,2011
- [20]H. Stumpf, *Z. Naturforschung* **67a**, 163-179, 2012
- [21] G. Lochak, *A new electromagnetism based on 4 photons : Electric, Magnetic, with Spin 1 and 0.* (Part I : Optics) *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, **35**, 2010, p. 1-21 ; (Part II : Gravitation) id. **36**, 2011, p. 1 (en russe dans *Prikladnaja Fisika*, Moscou).
- [22] E. Priakhine, L. Urutskoiev, G. Tryapitsina, A. Akleyev, Assessment of the biological effects of « strang » radiation, CCTBEM 2004.
- [23] G. Bardout, G. Lochak, D. Fargue, *Sur la présence de monopôles magnétiques légers au pôle Nord* *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, **32**, 2007, p. 551.
- [24] V. Kuznetsov, G. Mishinsky, F. Penkov, V. Arbuzov, Zhemenuk, Low energy transmutation of atomic nuclei of chemical elements, *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, **28**, 2003, p. 173.
- [25] G. Lochak, L. Urutskoiev, *Comptes rendus de la Conférence sur les Transmutations à Basse Energie, Marseille, 31/10, 2004 – 05/11, 2004.*