



Dr Jean-Paul Bibérian

La fusion dans tous ses états

Fusion froide, ITER, Alchimie,
Transmutations biologiques...

Guy **Trédaniel**
éditeur

LA FUSION DANS TOUS SES ÉTATS

Jean-Paul Biberian

Maître de Conférences
Aix-Marseille Université

LA FUSION DANS TOUS SES ÉTATS

*Fusion froide, ITER, alchimie,
transmutations biologiques...*

Préface par Stanley Pons

Guy**Trédaniel** éditeur
19, rue Saint-Séverin
75005 Paris

Directeur de collection : Maxence Layet

Tous droits de reproduction, traduction ou adaptation
réservés pour tous pays.

© 2012 Guy Trédaniel Éditeur

ISBN : 978-2-8132-0533-9

www.editions-tredaniel.com

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	11
PRÉFACE EN ANGLAIS	15
INTRODUCTION	19
PARTIE 1 – AU COMMENCEMENT	25
CHAPITRE 1 – LA NAISSANCE DE LA FUSION FROIDE	27
L'annonce	27
<i>La folie dans les laboratoires du monde entier</i>	30
<i>La genèse</i>	32
<i>La conférence de presse et les médias</i>	33
<i>L'ERAB</i>	34
<i>Le retour de bâton</i>	36
<i>Martin Fleischmann</i>	37
<i>Stanley Pons</i>	37
Ce n'est pas une science pathologique	38
Que se passe-t-il en France ?	39
Pourquoi le terme « fusion froide » ?	40
La fusion froide avant Pons et Fleischmann	40
CHAPITRE 2 – MON HISTOIRE	43
Origines	43
Une passion de jeunesse	46
Les études	47
Thésard et assistant de physique	49
Berkeley	51
La navette spatiale	51
Création d'entreprise	52
Développement de logiciels	54
Les écrans de télévision plats	55
<i>L'idée</i>	55
<i>La douche froide</i>	58
<i>La société Thomson</i>	59
<i>La proposition</i>	60
<i>Le procès</i>	61
<i>L'épilogue</i>	63
Retour à Berkeley	64
La danse contemporaine	65
Les conférences de vulgarisation	65
Danse et fusion froide	66
PARTIE 2 – LA FUSION FROIDE FAIT-ELLE DU CHAUD ?	67
MES EXPÉRIENCES DE FUSION FROIDE	67
CHAPITRE 3 – MES TRAVAUX SUR LA FUSION FROIDE	69
L'intérêt	69
<i>Premières expériences à Berkeley</i>	70
<i>Francis Forrat</i>	72

<i>Roger Stringham et Russ George</i>	73
<i>Mike McKubre</i>	75
<i>Jean-Pierre Vigier</i>	75
<i>Georges Lonchampt</i>	76
<i>Séjour à Grenoble</i>	77
<i>Les expériences à Grenoble</i>	78
Retour à Marseille	79
Rencontre avec Stanley Pons et Martin Fleischmann	80
Le mercure rouge	81
<i>Les Renseignements généraux</i>	82
Michel Rambaut	83
Jacques Dufour	83
Pierre Clauzon	84
Jean-Louis Naudin et EDF	85
Le « Cincinnati Group »	86
Hervé Bottollier-Curtet	87
Georges Lochak	88
ICCF11 à Marseille	89
Nicolas Armanet	92
Fulvio Frisone	93
Jacques Kurkdjian et Michel Buxerolles	93
Fabrice David	94
Frédéric Henry-Couannier	95
Dag Zeiner-Gundersen	96
Les électrolytes solides	97
Le nouveau calorimètre à flux massique	98
<i>La puissance électrique</i>	98
<i>La puissance thermique</i>	99
<i>Le calorimètre à flux massique en gaz</i>	100
<i>Le calorimètre électrochimique à flux massique</i>	102
Mes tentatives à haut risque	104
<i>Une batterie nickel-métal hydrure</i>	105
<i>Une batterie nickel-cobalt</i>	106
<i>Le catalyseur au carbone</i>	106
Ma compréhension du phénomène	107
CHAPITRE 4 – LA FUSION FROIDE : DÉGAGEMENT DE CHALEUR	111
L'expérience de Pons et Fleischmann	111
La reproduction des expériences de Pons et Fleischmann	116
Les expériences de Mizuno	117
La double cathode d'Arata	117
Les électrolytes solides	119
<i>Mizuno</i>	119
<i>Forrat</i>	119
Les expériences en gaz	120
<i>Arata</i>	121
<i>Li</i>	121
<i>Piantelli</i>	121
<i>Rossi</i>	122
<i>Defkalion</i>	123

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 5 – LA FUSION FROIDE : LES TRANSMUTATIONS NUCLÉAIRES	125
Georges Oshawa	126
John Bockris	126
Mitsubishi Heavy Industries	127
Ubaldo Mastromatteo	128
Leonid Urutskoev-Georges Lochak	129
La production d'hélium	131
CHAPITRE 6 – LES THÉORIES DE LA FUSION FROIDE	133
L'écrantage électronique	133
Les atomes écrasés	134
La condensation de Bose-Einstein	135
Les poly-neutrons	136
La théorie de Widom-Larsen	136
Les monopôles magnétiques	137
La pico chimie	137
La fractofusion	138
Les clusters d'électrons	138
Les tétraèdres de deutérium	139
Les phonons de réseau	139
PARTIE 3 – QUEL AVENIR POUR LA FUSION FROIDE ?	141
CHAPITRE 7 – ITER	143
Comment doit fonctionner ITER	144
ITER, un échec programmé ?	145
<i>La physique</i>	146
<i>La radioactivité</i>	147
<i>L'ingénierie</i>	148
<i>L'économie</i>	149
Conclusion	150
CHAPITRE 8 – LES TRANSMUTATIONS BIOLOGIQUES	151
Les débuts	152
<i>Johann Christian Carl Schrader</i>	152
<i>Louis-Nicolas Vauquelin</i>	152
<i>Antoine Laurent de Lavoisier</i>	153
<i>Henri Braconnot</i>	154
<i>Albrecht von Herzelee</i>	154
<i>Pierre Baranger</i>	154
<i>Louis Kervran</i>	155
De nos jours	156
<i>Vladimir Vysotskii</i>	156
Les conséquences des transmutations biologiques	157
CHAPITRE 9 – L'ALCHIMIE	159
Un alchimiste célèbre	160
Albert Cau	160
Mes travaux	161
CHAPITRE 10 – LA FUSION FROIDE SELON LES PAYS	167
Europe	167
<i>Italie</i>	167

LA FUSION DANS TOUS SES ÉTATS

<i>Russie</i>	168
<i>Allemagne</i>	169
<i>Ukraine</i>	170
<i>Grande-Bretagne</i>	170
<i>Irlande</i>	170
<i>France</i>	170
<i>Grèce</i>	171
Asie	171
<i>Japon</i>	171
<i>Chine</i>	171
<i>Inde</i>	172
<i>Corée</i>	172
Amériques	172
<i>Colombie</i>	172
<i>États-Unis</i>	173
CHAPITRE 11 – LA VÉRITÉ SCIENTIFIQUE EN QUESTION	175
Qui décide ?	175
Les revues scientifiques	176
Les livres	177
Les sociétés savantes	177
Les congrès	178
Les Académies des sciences	178
Les prix scientifiques	178
Les cas historiques de non-reconnaissance	179
Comment se font les découvertes scientifiques ?	180
Le rôle des nouveaux instruments	182
Des cas encore litigieux	182
<i>La mémoire de l'eau</i>	182
<i>Le réchauffement climatique</i>	184
Alors qui décide ?	185
CHAPITRE 12 – LA FUSION FROIDE, AUJOURD'HUI... ET DEMAIN ?	187
Pourquoi la fusion froide est-elle rejetée ?	188
<i>Le point de vue scientifique</i>	188
<i>Le point de vue industriel</i>	189
<i>Le point de vue politique</i>	190
Les conférences	191
La société savante	192
La revue spécialisée	192
Le rôle d'Internet	194
Quel avenir pour la fusion froide ?	194
Une société de la fusion froide ? Rêvons un peu...	195
BIBLIOGRAPHIE	199
INDEX	201
ANNEXES	205

A mon père

PRÉFACE

Je m'appelle Stanley Pons. En mars 1989, j'ai été l'un des coauteurs de l'annonce publique, faite au nom de l'université d'Utah aux États-Unis, des résultats d'expériences scientifiques réalisées là-bas au sujet d'un phénomène, rapidement baptisé « fusion froide ». Je ne m'attarderai pas ici sur l'écrasant maelström d'événements catastrophiques qui ont changé ma vie à la suite immédiate de cette annonce. Je dirai plutôt que très rapidement, je me suis rendu compte que le sujet avait été déclaré mort en Amérique, embaumé en Amérique, et enterré en Amérique ; et quant à moi, j'ai été de manière non officielle, exilé pour toujours par « les hommes du président ». En me réveillant de cet horrible cauchemar, je me suis retrouvé, avec ma famille proche, au nouveau siège social scientifique de l'IMRA en France. Je me souviens que dans ce nouveau contexte régnait une atmosphère scientifique vivifiante entièrement différente de celle que je venais de quitter ; pour la première fois depuis de nombreux mois, j'ai pu recommencer à travailler sérieusement sur de nombreux fronts. Les *paparazzi* américains avaient pratiquement disparu, sauf en de rares occasions quand d'anciens collègues pensaient pouvoir satisfaire leur curiosité.

Au cours des premiers mois de travail à l'IMRA, nous avons eu la chance de pouvoir interagir avec un certain nombre de scientifiques français remarquables. La plupart de ces réunions étaient en effet très utiles en terme de suggestions constructives, de critiques éclairées, de commentaires justes, d'observations et d'offres de collaborations fructueuses. Une réunion mémorable et remarquable a eu lieu avec l'auteur de cet ouvrage, le professeur Jean-Paul Biberian.

Une synergie s'est immédiatement produite, car nous étions tous deux familiers du premier laboratoire américain d'étude de la science des surfaces, celui du distingué professeur de l'université de Californie, Gábor Somorjai ; Jean-Paul en tant que chercheur postdoctoral, et moi-même pour avoir donné une conférence sur mes travaux relatifs à la science des surfaces. Peu après nos premières rencontres, j'ai eu le plaisir d'assister à une présentation du professeur Biberian lors d'un congrès scientifique qui s'est tenu au Japon. Les participants ont immédiatement constaté que la conférence dont ils venaient d'être les témoins était une des conférences les plus claires, les plus significatives, et complètement divertissantes qu'ils n'aient jamais entendues.

Alors que beaucoup d'entre nous avaient déjà du respect pour le professeur Biberian, cette conférence, ainsi que quelques autres réunions de collaboration, nous ont révélé ses mérites scientifiques : une approche pragmatique de sa physique, une tendance visionnaire dans ses perspectives et certainement un haut niveau de moralité dans son approche analytique. Tout en respectant ce mérite, ces premières rencontres ont marqué la naissance d'une relation scientifique et personnelle agréable, qui est restée forte pendant ces presque vingt années entre ces deux Français naturalisés.

Je crois que tous les scientifiques (je dirais même tout le monde) ont dans l'idée d'écrire un livre. Un certain pourcentage de ceux qui y pensent, « menacent » même de le faire (souvent les scientifiques le font pour intimider des collègues par qui ils ont été intimidés auparavant). Mais, il est très rare que quelqu'un passe à l'acte. Le professeur Biberian disait toujours : « Un jour, j'écrirai un grand livre sur la fusion froide... » C'est pourquoi ce fut une surprise et un plaisir inattendu de recevoir une lettre jointe au manuscrit de son livre, par laquelle il me demandait d'en rédiger une préface. Par ailleurs, cela n'aurait pas dû être une surprise du tout, compte tenu de la palette de ses mérites scientifiques et de sa parole directe et honnête.

Je pense que les traits de caractère essentiels de ce scientifique se retrouvent dans le contenu de ce livre. Dans la première partie, le professeur Biberian présente un résumé assez complet de son parcours académique. Il est heureux qu'il l'ait fait, car cela illustre le pragmatisme, déjà mentionné, dont il fait preuve dans son approche scientifique : une personne nécessairement dédiée, des précautions conscientes, et une approche pleine d'entrain sont une évidence. Ceci est un prérequis pour analyser et travailler sur un tel sujet qui se caractérise par sa complexité et la controverse qu'il suscite. Un bref aperçu des secteurs d'où viennent les contributeurs, les protagonistes et antagonistes de ce domaine, révèle un champ d'expertise très large. Par exemple, des chimistes (organiciens, inorganiciens, analyticiens, physiciens, théoriciens...), des physiciens (des particules, du nucléaire, des théoriciens...), des mathématiciens, des scientifiques des surfaces, de la catalyse, des ingénieurs de nombreuses catégories, etc. Au cours de sa carrière, le professeur Biberian a apporté sa contribution à ce secteur de manière significative, et il est considéré comme très compétent dans plusieurs de ces

domaines d'expertise. Cela lui a donné un avantage indéniable pour examiner, qualifier et juger de l'apport des autres dans ce domaine. Cet avantage lui vaut un grand respect dans, et je dirais aussi « en dehors », de la communauté qui se consacre à ce sujet.

Évidemment, se lancer dans une telle recherche n'a pas été facile, mais je me souviens de la citation préférée du professeur Biberian (et de moi-même) : « Les grands esprits ont toujours rencontré l'opposition violente de la part d'esprits médiocres. » [A. Einstein]

Dans *La fusion dans tous ses états*, le professeur Biberian présente une enquête approfondie et cohérente de ce nouveau secteur émergent. Grâce à sa curiosité scientifique, son approche non biaisée et ouverte, et ses efforts inlassables pour discuter et observer le travail des chercheurs de pointe, il a acquis une expertise, unique au niveau international. Non content d'être un observateur, il est aussi un chercheur et un contributeur actif de ce domaine, en dépit d'un manque de financement.

En commençant par un bref historique de notre annonce de 1989, le professeur Biberian présente une vue d'ensemble des travaux à la fois expérimentaux et théoriques réalisés au niveau international et mis à jour, que tout nouveau venu appréciera. Cette présentation inclut aussi des discussions sur les transmutations biologiques, l'alchimie, et ITER (International Torus Experimental Reactor) en construction à Cadarache dans le sud de la France.

Disséminés dans le livre, le lecteur trouvera des commentaires perspicaces, des réflexions provocantes et des questions particulièrement appropriées soumis à notre considération personnelle et collective de l'avenir.

PRÉFACE EN ANGLAIS

My name is Stanley Pons. In March of 1989, I was one of the co-authors of a public announcement made on behalf of the University of Utah (USA) of the results of a set of scientific experiments conducted there regarding a phenomenon that was soon to be labeled “Cold Fusion”. I will not dwell here on the overwhelming maelstrom of life-changing, personally catastrophic events immediately following that announcement, other than to say that within a short period of time I found the subject had already been declared American dead, American embalmed, and American buried, and myself unofficially exiled forever by the then “president’s men”. Waking from this horrendous nightmare, I found myself, along with my immediate family, situated in new scientific headquarters at IMRA in France. I recall that the new situation presented an entirely different and invigorating scientific atmosphere than what I had just left ; for the first time in many months I was able to begin to work seriously again, on many fronts. The American paparazzi had mostly disappeared, except upon those infrequent occasions when colleagues thought it best to satisfy their curiosities.

During the first months of our work at IMRA, we were very fortunate to have been able to interact with a number of prominent French scientists. Most all of those sessions were indeed very useful in terms of receipt of constructive suggestions, knowledgeable criticisms, keen observational comments, and offers of valuable collaborations. A memorable and notable such meeting was one with the author, Professor Jean-Paul Biberian. An immediate synergy was ignited as we were both very familiar with, arguably, the premier surface-science laboratory in the US, that of California Distinguished University Professor Gábor Somorjai ; Jean-Paul as post-doctoral researcher, and I as a visiting speaker relating some of my own surface-science efforts.

Subsequently after our initial meetings, it was a pleasure for me to be present at one of Professor Biberian's scientific presentations at an international scientific congress in Japan. It was immediately and widely accepted by the participants that the lecture that we had just witnessed was one of the clearest, most significant, and entirely entertaining lectures that we had ever heard. While many of us already had respect for Professor Biberian, this lecture, along with a few more collaborative meetings, revealed to us his scientific merit : a pragmatic approach to his physics, a visionary tendency in his outlook, and certainly a high spirit in his approach to analysis. Still respecting this merit, these early encounters marked the birth of a very pleasant scientific and personal relationship that has remained strong during all these nearly twenty years between these two naturalized Frenchmen.

I believe that every scientist (should I say everybody ?) probably thinks about writing a book. Some percentage of those who think about it, even “threaten” to do so (scientists often do this to intimidate colleagues who have already intimidated

themselves). Then, rarely, one actually does so. Professor Biberian always just said “someday I am going to write a great book on cold fusion...” So, it was a surprise and a completely unexpected pleasure for me to receive a letter from him, attaching a draft of this book, and asking me to write a preface. On the other hand, it should have not been a surprise at all, when considering the nuances of his scientific merits and his direct and honest word.

I think that these important characteristics of this scientist follow in the content of this book. At the outset, Professor Biberian includes a rather complete summary of his academic autobiography. It is befitting to this account of Cold Fusion that he has done so, as it more than emphasizes the aforementioned pragmatism in his science : a required dedicated character, a mindful caution, and a spirited approach are clearly evident. This is prerequisite for analyzing and contributing to such a subject ; one that is manifest both in complexity and controversy. Any brief survey of the backgrounds of both the protagonist and antagonistic contributors to this field will reveal an unusually broad range of fields of expertise, *e.g.* chemists (organic, inorganic, analytical, physical, theoretical...), physicists (particle, nuclear, theoretical...) mathematicians, surface and catalytic scientists, engineers in many categories, etc. During his career, Professor Biberian has in no small measure contributed significantly to, and is considered to be very competent in, several of these fields of expertise. This gives him an unqualified advantage in examining, qualifying, and judging the significance in the experiments of others in this field ; this advantage has earned him acute respect within the internal and, shall we say, “external” communities of this field.

Of course the course of undertaking research in this area has been any but an easy one, but I recall Professor Biberian’s (and

my own) favorite quotation : “Great spirits have always encountered violent opposition from mediocre minds.” [A. Einstein]

In *La fusion dans tous ses états*, Professor Biberian presents an extensive and coherent survey of this newly emerging field. Due to his scientific curiosity, his unbiased and open-minded approach and his tireless endeavors to discuss and observe the work of leading researchers, he has acquired a uniquely broad expertise in the field on an international level. Not content to be an observer only, he has also been an active researcher and collaborator in the field despite the lack of funding available for this area.

Beginning with a brief history of our announcement in 1989, Professor Biberian offers an up to date succinct synopsis of both experimental and theoretical work being performed globally which any newcomer to the field will appreciate. He also includes discussions on biological transmutations, alchemy and the International Torus Experimental Reactor being constructed at Cadarache in the south of France.

Interspersed throughout, the reader will find insightful, thought-provoking comments and questions which are particularly appropriate to our personal and collective consideration of the future.

INTRODUCTION

L'idée d'écrire un livre sur la fusion froide tourne dans ma tête depuis longtemps. Ce sujet me passionne. Il a des implications à la fois scientifiques, économiques, sociologiques, politiques, voire philosophiques, et pourtant, le grand public comme les spécialistes de tous ces domaines ne le connaissent pas. On trouve de nos jours des informations sur Internet, surtout en anglais, une bonne dizaine d'ouvrages écrits par des Américains, des Japonais ou des Italiens, mais rien en français. Chacun d'entre eux a son angle de vue personnel, parfois historique, d'autres fois beaucoup plus technique. Alors pourquoi ce livre ?

Ce livre s'adresse à plusieurs publics. D'une part au chercheur ayant une connaissance limitée de ce domaine, et curieux d'en savoir plus. Mais aussi à toute personne souhaitant découvrir cette nouvelle science, sans avoir à faire des recherches bibliographiques étendues.

Dans une première partie, le livre présente la naissance de la fusion froide, son développement, et les réactions qu'elle a suscitées à travers le monde. J'ai pensé aussi qu'il serait intéressant

pour le lecteur de connaître mon parcours. Chacun a le sien, et il est agréable parfois de réaliser qu'il s'avère aussi intéressant que celui d'un autre.

La deuxième partie s'attache à décrire mes propres travaux, ainsi que les grandes découvertes issues de la fusion froide : la production de chaleur, les transmutations et aussi les théories. Expérimentateur avant tout, je ne suis pas à même de fournir un modèle théorique de la fusion froide. Néanmoins, il est important de connaître les différentes idées proposées. J'y consacre un chapitre en présentant les grandes lignes des théories en présence. Je les décris sans jugement. Au lecteur de faire la part des choses, de choisir ou de rejeter telle ou telle démarche.

Dans la troisième section, j'ai essayé de replacer la fusion froide dans un contexte plus vaste de recherches. La comparaison avec ITER, le futur réacteur de fusion thermonucléaire, est importante, surtout en France, où il est en cours de construction, et où le gouvernement français a beaucoup investi financièrement et scientifiquement. Dans un champ apparemment éloigné de la fusion froide, les transmutations biologiques sont un domaine complètement méconnu par la science actuelle, que j'ai effleuré. Il est, à mon avis, plein d'avenir. Si l'alchimie a été décriée et remplacée il y a trois siècles par la chimie, certaines personnes s'en réclament toujours, et je pensais intéressant pour le lecteur de suivre ma démarche ouverte et pragmatique de recherche de la vérité. Afin de mieux comprendre les enjeux en cours, un chapitre décrit brièvement la situation dans les différents pays. Par ailleurs, on se demande parfois comment fonctionne la science aujourd'hui, ce qu'est une vérité scientifique : un chapitre spécial est consacré à l'analyse de son fonctionnement.

La fusion froide sera-t-elle l'énergie du futur ? Nul ne le sait. Mais c'est certainement une piste à suivre. Si la fusion froide

se développe comme nous l'espérons, cela pourra changer la face du monde. Les besoins énergétiques sont de plus en plus grands, et la fusion froide apportera peut-être une solution applicable pratiquement partout. De plus, avec la possibilité des transmutations à basse énergie s'ouvre une voie pouvant régler le grave problème des déchets radioactifs et des métaux lourds.

J'ai demandé à Stanley Pons, l'un des deux découvreurs de la fusion froide avec Martin Fleischmann, d'écrire une préface. Il m'a fait le grand honneur d'accepter, et je suis également honoré d'être devenu son ami au fil des années. C'est grâce à ces deux pionniers que j'ai pu me lancer dans ce nouveau domaine de la science. Une révolution telle que celle-ci ne se produit qu'exceptionnellement dans la vie d'un chercheur, et je les remercie de m'avoir permis de prendre part à cette passionnante aventure.

Je tiens à remercier ma compagne Rachel Estève pour ses encouragements constants tout au long de mes travaux de recherche, et aussi pour son implication dans la relecture critique de cet ouvrage. Je remercie également mes amis Marie Giral et Jean-Michel Toustard qui m'ont grandement aidé par leurs observations et suggestions tant au niveau du fond que de la forme.

Nous sommes le vendredi 28 octobre 2011, Andrea Rossi vient de montrer à Bologne, en Italie, son générateur : l'E-cat, capable de produire un mégawatt de chaleur. Andrea Rossi est un inconnu dans le domaine de la fusion froide. Il est apparu subitement en début d'année 2011 avec une première démonstration publique d'un générateur produisant 10 kilowatts de chaleur. Rossi s'était rapproché d'un scientifique italien bien connu dans la communauté, Sergio Focardi, qui avait travaillé de nombreuses années avec le professeur Francesco Piantelli de l'université de Sienne. Les deux chercheurs avaient montré que, dans certaines conditions, le nickel interagissait avec de l'hydrogène pour produire une chaleur anormale. Andrea Rossi a repris cette même approche, en remplaçant le nickel massif par une poudre de nickel associée à un catalyseur.

Cet appareil inédit, fondé sur le principe de la fusion froide, est l'aboutissement de près d'un quart de siècle de travaux effectués par des chercheurs de plusieurs pays.

PARTIE 1

AU COMMENCEMENT

CHAPITRE 1

LA NAISSANCE DE LA FUSION FROIDE

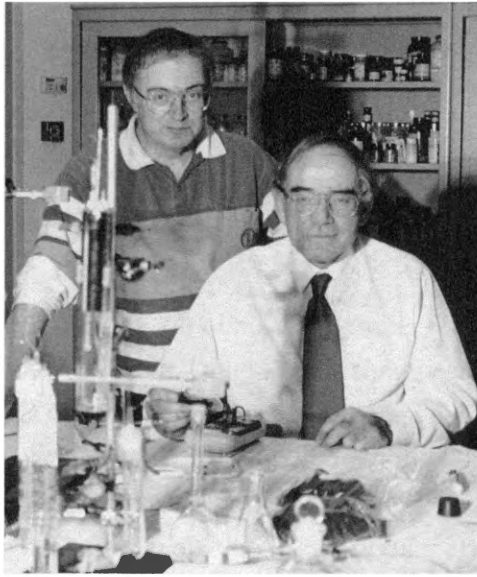
L'ANNONCE

Ce jeudi 23 mars 1989 était un jour ordinaire dans ma vie d'enseignant-chercheur. J'apprends par la télévision qu'une conférence de presse avait été donnée à Salt Lake City, dans l'État de l'Utah aux États-Unis, par deux scientifiques de renom, Stanley Pons et Martin Fleischmann. Ils avaient fait une découverte inattendue : l'équivalent d'une réaction nucléaire dans un tube à essai ! La « fusion froide » était née. J'ai tout de suite été enthousiasmé par cette nouvelle. Je savais que la science que je connaissais ne serait plus la même à partir de ce jour-là.

À cette époque, je donnais des cours d'électricité aux étudiants de physique de première année de DEUG¹. J'aime bien ce genre d'enseignement pratique qui permet aux étudiants de se familiariser avec l'expérimentation. Depuis déjà vingt ans, à

1. Le DEUG : Diplôme d'études universitaires générales, qui correspondait, jusqu'à la réforme de l'enseignement supérieur en 2004, aux deux premières années d'enseignement à l'université.

la faculté des sciences de Luminy à Marseille, je dirigeais mes recherches dans le domaine des structures cristallographiques de surface, un domaine de la science s'intéressant aux arrangements respectifs des atomes sur la surface des matériaux. Parallèlement à mes travaux de recherche, comme tout enseignant-chercheur, je donnais des cours de physique et d'électronique, des domaines qui m'ont également toujours intéressé.



STANLEY PONS ET MARTIN FLEISCHMANN

Un événement tel que celui-ci se produit au mieux une fois dans la vie d'un chercheur. Le plus fascinant dans cette découverte était, pour moi, la simplicité de l'expérience, à la portée d'un chercheur isolé ayant peu de moyens. Je rêvais de participer à cette aventure, mais les deux inventeurs utilisaient l'électrochimie, et ce n'était pas mon domaine de compétences. Je me demandais comment je pourrais apporter ma contribution. J'étais familier du domaine des surfaces des matériaux, et

j'imaginai des expériences avec des pointes métalliques dans une atmosphère de deutérium. Tout cela restait très flou dans mon imagination. En réalité, je ne savais pas quoi faire. Je rêvais d'aller les rencontrer à Salt Lake City, d'en savoir plus, de les écouter.

Internet n'en était alors qu'à ses premiers balbutiements, et seuls les laboratoires universitaires étaient reliés à ce réseau. Les nouvelles arrivaient, jour après jour, grâce à un scientifique du CERN² à Genève, le Dr Douglas Morrison³. Bien que n'y croyant pas, il envoyait quotidiennement son rapport sur l'état des lieux : tel laboratoire confirme les résultats de Pons et Fleischmann ; tel autre, non.

Que disait donc précisément cette découverte si révolutionnaire ? Elle disait qu'il était possible de produire des réactions nucléaires par voie chimique, ou plus exactement électrochimique.

Toutes les personnes qui ont fait un minimum de science savent qu'on ne peut pas faire fusionner deux noyaux d'hydrogène par voie chimique. Pour que cela soit possible, il faut des conditions extrêmes de température et de pression nécessitant des moyens techniques bien plus gigantesques qu'un simple tube à essai. Ces réactions ont lieu naturellement depuis des milliards d'années au cœur du soleil. Elles ont été mises en action dans la bombe H, et des centaines de scientifiques essaient maintenant de les réaliser à Cadarache grâce au projet ITER⁴. Mais par la voie chimique, cela semble impossible.

2. Le Conseil européen pour la recherche nucléaire, installé à Genève.

3. Douglas Morrison travaillait au CERN à Genève et était très critique par rapport à la fusion froide. Jusqu'à sa mort en 2004, il assistait à toutes les conférences et posait toujours des questions afin d'essayer de montrer que tout cela était faux.

4. ITER : International Torus Experimental Reactor.

La chimie permet de changer l'arrangement des atomes les uns par rapport aux autres, mais ne peut pas modifier les atomes eux-mêmes. Pour cela, il est nécessaire de provoquer des réactions nucléaires dans des conditions complètement différentes, comme celles qu'on trouve au sein des réacteurs nucléaires ou des accélérateurs de particules.

LA FOLIE DANS LES LABORATOIRES DU MONDE ENTIER

Dès l'annonce de cette découverte, l'ensemble du monde scientifique entre en ébullition. Dans de nombreux laboratoires, connus ou inconnus, réputés ou non, chacun tente de reproduire l'expérience dont tout le monde parle. Encore faut-il trouver les ingrédients nécessaires ! Les découvreurs affirment que l'expérience est simple à réaliser. Malheureusement, les détails manquent. Les copies de copies de copies de l'article soumis à publication par Pons et Fleischmann circulent par fax. Pour réaliser l'expérience, il suffirait d'avoir de l'eau lourde⁵, du palladium⁶, du platine et de la lithine⁷. Mais le mode opératoire n'est pas clair. Chacun y va de sa compréhension, ou pire, essaie de faire mieux en s'éloignant du procédé des découvreurs. Les plus efficaces sont les électrochimistes. Ils savent faire ce type de montage. Cependant, afin d'en tirer pleinement profit, ils doivent faire de la calorimétrie⁸, une science délicate et pleine d'embûches.

5. Une molécule d'eau contient deux atomes d'hydrogène et un d'oxygène. Dans l'eau lourde, l'hydrogène est remplacé par du deutérium, un isotope de l'hydrogène.

6. Le palladium est un métal précieux de la famille du platine, utilisé en particulier dans l'industrie de la catalyse et en dentisterie.

7. LiOD.

8. La calorimétrie est la science permettant de mesurer la chaleur produite par une réaction.

Dans le monde entier, des équipes confirment les résultats de Pons et Fleischmann. Certaines détectent un excès de chaleur, d'autres des neutrons ou des rayons X. La frénésie est telle que la communication se fait par l'intermédiaire de journaux grand public, sans passer par la méthode traditionnelle de publication dans les revues spécialisées, trop lentes par rapport aux enjeux. Du coup, des annonces de résultats positifs sont souvent suivies de démentis, ou encore ces résultats n'ont aucune suite, car ils ont été obtenus dans des conditions approximatives. La confusion est telle que les bons résultats positifs de qualité passent inaperçus.

L'annonce est prise au sérieux, puisque faite par des chercheurs reconnus pour la qualité de leurs travaux antérieurs. Martin Fleischmann est professeur à l'université de Southampton, et membre de l'Académie royale de Grande-Bretagne. Stanley Pons est le président du département de chimie de l'université d'Utah à Salt Lake City. Mais le nucléaire est une science trop capitale pour la laisser entre les mains de n'importe quels chercheurs...

Trois grands laboratoires se chargent de la vérification dite « officielle » : l'équipe de Nathan Lewis au Caltech⁹ de Los Angeles, le célèbre Massachusetts Institute of Technology aux États-Unis, et en Angleterre, le laboratoire Harwell. Quelques semaines après l'annonce, les jeux sont faits :

« Il n'y a rien d'anormal dans l'expérience de Pons et Fleischmann. »

Les trois équipes ont donné leur verdict, et sonné la fin de la partie. Cinq semaines seulement après l'annonce de Pons et Fleischmann, à la réunion annuelle de l'American Physical

9. Le California Institute of Technology.

Society à Baltimore¹⁰, l'opprobre est jeté contre les deux professeurs. Nathan Lewis fait un exposé remarquable, démontrant à quel point l'expérience de Pons et Fleischmann était mal réalisée. Sa conférence est saluée par une *standing ovation* des 2000 participants. C'est un enterrement de première classe. Pour eux, Pons et Fleischmann se sont trompés, ce sont de mauvais scientifiques, et peut-être même ont-ils fraudé.

LA GENÈSE

La décision d'annoncer la découverte par voie de conférence de presse avait été prise par le président de l'université d'Utah. Il pensait pouvoir transformer cette région en nouvelle « Silicon Valley » de la « fusion froide ». L'université d'Utah n'en était pas à son premier coup médiatique. Quelques années plus tôt, en 1982, dans cette même institution, le premier cœur artificiel avait été testé sur un homme. La terre entière avait alors pu suivre en direct l'agonie de Barney Clark.

De plus, tout à fait fortuitement, un autre chercheur d'une université voisine, la Brigham Young University, travaillait sur un sujet similaire. Steven Jones, professeur de cette université appartenant à l'église mormone des Saints des derniers jours, pensait produire des neutrons lors d'expériences électrochimiques. Par un hasard incroyable, ces deux équipes travaillaient secrètement, chacune de son côté, à 50 kilomètres l'une de l'autre.

Pons et Fleischmann avaient commencé leurs travaux quatre ans plus tôt dans le garage de Stanley Pons. Il leur avait paru préférable d'effectuer ces recherches non conventionnelles en dehors de l'université. Après de premiers résultats positifs, et

10. Un seul Français était présent à cette conférence, le professeur Genet. Dans son laboratoire de l'Institut de physique nucléaire d'Orsay, des tentatives furent faites pendant trois mois pour répliquer l'expérience de Pons et Fleischmann.

en particulier la fusion d'une électrode de palladium, les deux professeurs furent convaincus de la réalité du phénomène. Ils avaient donc fait une demande de financement afin de poursuivre leurs recherches dans de meilleures conditions. Par un autre hasard extraordinaire, l'organisme de financement était aussi en contact avec Steven Jones. Les deux équipes se rencontrèrent, et proposèrent de publier leurs résultats simultanément dans la plus grande revue scientifique britannique, *Nature*. Mais, à la suite d'un malentendu, l'université de Salt Lake City prit la décision d'annoncer la nouvelle par une conférence de presse.

Les scientifiques n'aiment pas les annonces par voie de presse, sans passer par le circuit habituel des publications dans une revue spécialisée, ou par la présentation des résultats au cours d'une conférence scientifique. Dans ces deux contextes, les détails des expériences peuvent être étudiés et critiqués par leurs pairs. La conférence de presse avait présenté des résultats extraordinaires, sans référence à des données précises, vérifiables et critiquables.

LA CONFÉRENCE DE PRESSE ET LES MÉDIAS

Le journal britannique *Financial Times*, mis au courant de l'annonce qui allait être faite de la découverte de la fusion froide, publia un article simultanément à la conférence de presse organisée par l'université de Salt Lake City. Celle-ci se déroula dans un climat irrationnel, cette découverte pouvant potentiellement bouleverser toutes les cartes de l'énergie mondiale. Les deux découvreurs étaient propulsés malgré eux au-devant de la scène internationale. Ce qu'ils annonçaient était tout simplement extraordinaire. Cela pouvait bouleverser l'économie de la planète. Avec cette découverte, l'énergie pourrait devenir disponible partout sur terre, une promesse pleine d'avenir pour l'humanité... mais dangereuse pour les autres acteurs de l'énergie : ils avaient tous et tout à y perdre, et aucun n'avait intérêt à

ce qu'un nouvel acteur vienne perturber le fragile équilibre qui s'est établi entre tous les fournisseurs d'énergie.

La presse mondiale s'empara de la nouvelle, et tous les journaux en firent état. Le cours du palladium flamba. Des dizaines de laboratoires se lancèrent dans cette nouvelle piste, c'était le sujet du jour.

Ce nouveau type de fusion nucléaire a immédiatement mis la fusion thermonucléaire en concurrence. La situation était délicate, surtout en période de demande de financement. Il y avait un risque qu'une partie des finances de la fusion thermonucléaire soit affectée à la fusion froide. La réaction n'allait pas tarder : il fallait empêcher la poursuite de cette recherche.

L'ERAB

Stanley Pons et Martin Fleischmann furent invités au Congrès¹¹ des États-Unis pour rendre compte de leur découverte. Elle était tellement importante pour les besoins énergétiques du pays qu'une décision s'imposait. Les sénateurs étaient prêts à allouer des fonds pour la fusion froide qu'ils retireraient probablement à ceux de la fusion thermonucléaire. Le danger pour les tenants de la fusion chaude était grand. En recherche scientifique, les financements ne sont pas extensibles, et la fusion froide allait entrer en concurrence avec les autres projets industriels de production d'énergie, en particulier la fusion thermonucléaire, grande consommatrice de moyens financiers. Personne n'avait intérêt à voir entrer un nouveau concurrent.

11. Le Congrès des États-Unis regroupe l'ensemble de la Chambre des représentants et du Sénat.

Une commission *ad hoc*, l'ERAB, l'Energy Research Advisory Board¹² fut créée pour faire le point, et décider s'il fallait lancer ou pas un programme de recherche spécifique. Ce groupe de scientifiques, dirigé par le professeur John Huizenga de l'université de Rochester, fit son enquête auprès des différents laboratoires qui avaient travaillé sur le sujet. Le 26 novembre 1989, la commission publia les recommandations suivantes :

1. *Pas de financement spécifique du phénomène attribué à la fusion froide. Donc, pas d'établissement de programmes spéciaux ou de centres de recherche pour développer la fusion froide.*
2. *La commission est ouverte à un soutien modeste pour des expériences précises en collaboration avec le système de financement actuel.*
3. *La commission recommande que la recherche en fusion froide dans le domaine de la chaleur se concentre principalement à prouver ou réfuter les rapports sur l'excès de chaleur. L'accent devrait être porté sur la calorimétrie avec des systèmes fermés, et la recombinaison totale des gaz, l'utilisation de méthodes de calorimétrie alternatives, et celle de matériaux bien caractérisés, l'échange de matériaux entre les groupes, et l'estimation soignée des erreurs systématiques et non contrôlées. Des expériences en coopération sont encouragées en vue de résoudre certaines revendications et contre-revendications en calorimétrie.*
4. *Un point faible de la plupart des expériences qui ont permis de constater la production d'excès de chaleur est qu'elles ne sont pas accompagnées, dans la même cellule, d'une mesure simultanée des produits de fusion. Si l'excès de chaleur doit être attribué à de la*

12. La totalité du rapport est disponible en anglais : www.lenr.org/acrobat/ERA-Breportofth.pdf.

fusion, une telle revendication devrait être soutenue par la mesure des produits de fusion à des niveaux comparables.

5. *Il est souhaitable que des recherches soient destinées à vérifier les observations d'excès de tritium dans les cellules électrolytiques.*

Ce rapport ne disait pas d'arrêter la fusion froide. Au contraire, il proposait de vérifier les résultats observés de manière sérieuse. En réalité, la quasi-totalité des membres de la commission étaient opposés à la fusion froide, excepté le vice-président Norman Ramsey¹³, prix Nobel de physique, qui avait mis sa démission en jeu si rien de positif n'était écrit dans ce rapport.

Malheureusement, ces conclusions n'ont pas été suivies d'effet. La grande majorité des scientifiques en a conclu que la fusion froide n'était pas un sujet de recherche scientifique sérieux. Elle a été mise au niveau de la charlatanerie, d'une pseudoscience.

LE RETOUR DE BÂTON

Le résultat de tout ce tintamarre fut qu'aux États-Unis les financements ont été très limités. Dans les autres pays, la situation n'était guère meilleure. Cependant, quelques personnalités soutenaient les deux inventeurs. Le plus célèbre était certainement Julian Schwinger¹⁴, prix Nobel de physique. Il proposa une théorie expliquant le phénomène, il supposait qu'un noyau de deutérium interagissait avec un noyau d'hydrogène pour former du tritium. Il soumit deux articles sur ce thème au journal *Physical Review Letters*¹⁵ appartenant à l'American Physical Society. À la suite du refus de publication, malgré sa qualité de lauréat du prix Nobel, il démissionna de cette société savante.

13. Norman F. Ramsey, prix Nobel de physique en 1989.

14. Julian Schwinger (1918-1994), prix Nobel de physique en 1965, en même temps que Richard Feynman.

15. *Physical Review Letters* est l'une des plus importantes publications en physique.

MARTIN FLEISCHMANN

Martin Fleischmann est né le 29 mars 1927 à Karlovy Vary en Tchécoslovaquie. En 1938, il émigre en Grande-Bretagne avec sa famille. En 1950, il passe son PhD¹⁶, une thèse à l'Imperial College de Londres. Il enseigne ensuite au King's College. Puis, en 1967, devient professeur d'électrochimie à l'université de Southampton. De 1970 à 1972, il est président de la Société internationale d'électrochimie. En 1974, il fait une importante découverte sur la diffusion Raman de surface géante sur l'argent, ce qui lui vaut une grande célébrité, car cette découverte était surprenante. En 1979, il reçoit la médaille d'électrochimie et de thermodynamique de la Royal Society de Londres. En 1986, il est élu membre de la Royal Society, l'équivalent de l'Académie des sciences française. Il a quitté l'enseignement en 1983, mais continué ses travaux de recherche avec en particulier Stanley Pons aux États-Unis, à l'occasion de ses nombreux séjours à Salt Lake City.

STANLEY PONS

Stanley Pons est né le 8 février 1943 à Valdese en Caroline du Nord aux États-Unis. Sur le point de soutenir sa thèse à l'université du Michigan, il décide de mettre fin à son parcours universitaire et de s'impliquer dans l'industrie du textile dirigée par son père. Puis il se lance dans la restauration en Floride. En 1976, il retourne à la recherche et passe sa thèse à l'université de Southampton en Grande-Bretagne. C'est là qu'il rencontre Martin Fleischmann. Au moment de la découverte de la fusion froide, il est président du département de chimie de l'université d'Utah à Salt Lake City.

16. PhD : Philosophical Doctor, l'équivalent d'un doctorat en France.

CE N'EST PAS UNE SCIENCE PATHOLOGIQUE

Des scientifiques bien-pensants ont considéré la fusion froide comme une science pathologique. Ce concept avait été développé par Irving Langmuir¹⁷. Pour lui, les caractéristiques d'une telle science sont les suivantes :

- *L'effet maximum observé se produit par une cause d'intensité à peine détectable, et l'amplitude de l'effet est substantiellement indépendante de l'intensité de la cause.*
- *L'amplitude de l'effet est d'une amplitude qui est à la limite de la détectabilité, ou bien de nombreuses mesures sont nécessaires à cause du niveau très faible de la statistique.*
- *Il y a des revendications d'une très grande précision.*
- *On suggère des théories fantastiques contraires à l'expérience.*
- *Les critiques sont repoussées par des excuses ad hoc imaginées sur l'instant.*
- *Le rapport entre le nombre de supporters par rapport aux critiques monte jusqu'à près de 50 %, puis décline graduellement jusqu'à l'oubli.*

Au début des travaux, le doute pouvait exister en raison de la grande diversité des résultats obtenus. Plus de deux décennies après, le domaine est toujours actif. Les observations sont maintenant validées par de nombreux chercheurs. Nous ne sommes pas ici dans le cadre d'une science pathologique¹⁸. Il s'agit d'une nouvelle science, celle des réactions nucléaires dans la matière condensée. Elle est critiquée, vilipendée, ignorée, mais

17. Irving Langmuir (1881-1957), prix Nobel de chimie en 1932.

18. Les rayons N avaient été découverts par le physicien français René Blondlot (1849-1930) en 1903 à Nancy. Peu de temps après, il fut démontré que ces rayons n'existaient pas, et n'étaient dus qu'à une mauvaise manipulation. C'est un exemple de science pathologique.

elle existe réellement, étudiée par des scientifiques n'ayant pas peur de prendre le risque d'y perdre leur renommée.

QUE SE PASSE-T-IL EN FRANCE ?

En France, comme partout ailleurs, le sujet était important. Le CNRS¹⁹ décida d'effectuer une expérience cruciale. Une équipe constituée d'une part de spécialistes en électrochimie, et d'autre part de spécialistes en mesure de neutrons fut constituée. Elle comprenait, côté électrochimie, Robert Durand et René Faure de l'ENSEEG²⁰ de Grenoble, des spécialistes des surfaces que je connaissais par ailleurs, et côté mesures neutronique, une équipe spécialisée dont faisait partie Marie-Claude Cousinou de l'IN2P3²¹. Quelques années plus tard, elle a été nommée professeur de physique à la faculté des sciences de Luminy. Nous avons enseigné ensemble pendant plusieurs années.

Cette expérience avait pour objectif de mesurer la présence éventuelle de neutrons dans la réaction, seul critère valable à leurs yeux, de sa nature nucléaire. La manipulation eut lieu dans un tunnel pour que le niveau de neutrons parasites provenant des rayons cosmiques soit minimisé. Cette équipe n'avait ni les équipements ni l'objectif de mesurer des dégagements de chaleur anormaux. On sait maintenant que la fusion froide ne produit pratiquement pas de neutrons. C'est exactement ce qu'ils ont trouvé. Mais pour eux, donc pour le CNRS, ce fut la preuve que la fusion froide n'existait pas, point final officiel des travaux en France.

19. Centre national de la recherche scientifique.

20. École nationale supérieure d'électrochimie et d'électrometallurgie de Grenoble.

21. Institut national de physique nucléaire et de physique des particules.

POURQUOI LE TERME « FUSION FROIDE » ?

Pourquoi avoir nommé cette découverte « fusion froide » ? Cette expression a été au départ concoctée pour la « fusion muonique ». Elle avait été prédite, notamment par le grand physicien soviétique Andreï Sakharov²². L'idée était de remplacer l'électron qui tourne autour du noyau d'hydrogène par un muon, une particule de masse 207 fois plus élevée que celle de l'électron, mais ayant la même charge électrique. Le muon étant 207 fois plus lourd, tourne 207 fois plus près du noyau. L'atome d'hydrogène muonique devient alors beaucoup plus petit, et les réactions nucléaires de fusion peuvent se produire plus facilement, par effet tunnel quantique²³. Il n'est donc plus nécessaire d'atteindre des températures élevées comme dans le soleil pour faire fusionner deux noyaux d'hydrogène muonique. La réaction peut alors avoir lieu à température ambiante.

C'est ainsi que la notion de fusion froide est apparue. Ce terme a été repris pour décrire l'effet Pons et Fleischmann, puisque leurs expériences se sont aussi produites à température ambiante.

LA FUSION FROIDE AVANT PONS ET FLEISCHMANN

En 1927, deux scientifiques autrichiens, Friedrich Paneth et Kurt Peters, avaient montré la production d'hélium avec de l'hydrogène mis en contact avec du palladium finement divisé. C'était la preuve que l'hydrogène s'était transformé en hélium, comme dans les expériences de Pons et Fleischmann. Cependant, plus tard, ils se rétractèrent, estimant que leurs données n'étaient

22. Andreï Sakharov a obtenu le prix Nobel de la paix en 1975, il est aussi le père de la bombe H soviétique.

23. L'effet tunnel quantique est une conséquence de la théorie de la mécanique quantique permettant à des particules de passer une barrière énergétique, même si elles n'ont pas l'énergie suffisante pour y parvenir.

pas suffisantes, et qu'une contamination avec l'hélium de l'air avait été possible. La même année, le Suédois John Tandberg utilisa un système d'électrolyse avec électrodes de palladium et déclara avoir aussi produit de l'hélium.

En 1957, le savant soviétique, Ivan Stepanovich Filimonenko proposa et breveta une méthode de production de fusion froide. Il réalisa lui aussi une électrolyse de l'eau lourde avec une cathode en palladium. La réaction pouvait produire de grandes quantités d'énergie sans radiations. Il avait montré également qu'il pouvait réduire, voire supprimer la radioactivité par un processus d'émission inconnu provenant de son réacteur.

Plus tard, en 1986, une équipe dirigée par le professeur Kluev d'Union soviétique montra une production de neutrons quand une forte action mécanique était exercée contre de la glace lourde ou du deutérure de lithium. En 1989, Derjaguin et ses collaborateurs démontrèrent la production de neutrons quand des copeaux de deutérure de titane étaient soumis à des vibrations mécaniques.

Des travaux ayant précédé ceux de Pons et Fleischmann avaient donc démontré la possibilité de réactions nucléaires à faible énergie. Ces derniers étaient restés discrets et n'avaient fait l'objet d'aucun développement. C'est grâce à Stanley Pons et Martin Fleischmann que le sujet est ressorti dans les milieux scientifiques internationaux.

CHAPITRE 2

MON HISTOIRE

ORIGINES

Je suis né le 26 juin 1946 à Marseille, dans une famille d'immigrés arméniens venant de Turquie.

Mon père, Hatchick²⁴, a fui vers la France de Turquie durant la guerre gréco-turque. Il était né en 1909, « à l'époque des aubergines », il ne savait pas exactement quel jour. En ces temps-là, et à cet endroit, cela ne devait pas être très important. En 1922, lui, ses deux frères, sa sœur, sa mère et un oncle avaient quitté Kütahya, une ville située à égale distance entre Istanbul et Ankara, où ils vivaient. La guerre entre les Grecs chrétiens et les Turcs musulmans les mettait en danger. Les Arméniens de ces régions qui avaient échappé aux massacres de 1915 s'expatrièrent en nombre. Après avoir pris le bateau à Izmir, ils étaient arrivés en Grèce. Un an après, ils débarquaient à Marseille. Mon grand-père paternel venait de mourir en déportation, nul ne sait ni quand ni comment. Ils vécurent

24. Mon père se faisait appeler « Pierre » par les Français.

quelque temps tous ensemble dans une petite chambre dans le centre de Marseille. Quand ma grand-mère voulut inscrire mon père à l'école, il avait treize ans – elle se vit répondre qu'à cet âge, en France, on quittait l'école ! C'est ainsi qu'il n'a jamais su ni lire ni écrire en français, ce qui ne l'a pas empêché d'être à la fois un entrepreneur, un père et oncle extraordinaire, un être dévoué et intelligent. En 1939, à la déclaration de guerre, il dut partir sous les drapeaux, comme tous les autres hommes de sa génération, bien que n'étant pas de nationalité française. Il avait toujours son statut de réfugié. Fait prisonnier de guerre, il tenta par trois fois de s'évader, mais ne revint finalement à Marseille qu'en mai 1945, après l'armistice.

Ma mère, Marie Tilki²⁵, est née le 23 août 1922, pendant cette même guerre gréco-turque, entre Bilecik et Istanbul, personne ne sait vraiment où. Sa famille habitait à Bilecik, et dut fuir en direction d'Istanbul où elle avait de la famille et où la situation était plus stable. Les conditions étaient très dures, et ma grand-mère n'avait pas de lait pour la nourrir. Sa sœur aînée, Raymonde, lui donnait un mélange d'eau et de farine à la cuillère. On disait à ma grand-mère de l'abandonner, « de toute manière elle ne survivra pas ». Elle a survécu, et très bien. À Bilecik, ses parents avaient une usine de filage de soie, ce qui leur procurait une bonne situation. En quittant leur ville, ils perdirent tout. À Istanbul, leur situation financière devint difficile. Ma grand-mère avait sept enfants, il fallait trouver une solution. Ma tante Aimée était partie en Argentine pour se marier, et en 1937, ma mère âgée de quinze ans à peine fut envoyée seule la rejoindre là-bas.

25. En Turquie, beaucoup d'Arméniens avaient « turquisé » leur nom de famille, « Tilkian » est devenu « Tilki ».

À cette époque, et surtout dans notre culture, les mariages étaient arrangés. Une autre sœur de ma mère, Alice, était mariée avec Garabet, le frère aîné de mon père. Il fut décidé que ma mère épouserait son frère cadet, mon père. C'est ainsi que deux ans plus tard, à l'été 1939, ma mère quitta l'Argentine pour Marseille. Au cours de la traversée, elle apprit la déclaration de guerre, et quand elle débarqua, mon père était déjà parti sous les drapeaux. Pendant la drôle de guerre, il eut quelques permissions qui lui permirent de rencontrer sa fiancée, mais ce n'est qu'à la Libération qu'ils purent se marier.

Mes deux oncles et mon père étaient des travailleurs et entrepreneurs. Partant de rien à leur arrivée à Marseille, et installés dans une seule chambre, ils réussirent à construire ensemble une entreprise prospère de fabrication de chaussures de sport, les chaussures Bibert. Quelques années plus tard, chacun des trois frères eut sa maison. Malheureusement, dans les années 1960, la situation devint difficile, nous étions devenus nombreux : chacun des frères avait 4 ou 5 enfants, et les chaussures de sport n'avaient plus la cote. Nous étions entrés dans l'ère de l'automobile, et plus personne ne voulait faire de vélo. C'est ainsi que, tant bien que mal, ils se reconvertirent dans le commerce des vins et liqueurs, en ouvrant un magasin. Quelle ironie, ils fabriquaient des chaussures de sport, alors qu'aucun d'eux n'était sportif ; ils se lancèrent dans le commerce du vin alors qu'ils n'en buvaient pas !

Bien que mon père fût illettré, il était très fier de ses enfants, et il était clair que nous allions faire des études, surtout les garçons. Pour les filles, c'était différent : elles avaient un choix limité, quelque part entre devenir secrétaire ou infirmière. Mes deux sœurs, Renée et Nicole, ont fait des études de secrétariat. Pierre, mon jeune frère, est devenu médecin.

UNE PASSION DE JEUNESSE

Je n'ai jamais voulu être pompier, à la différence de beaucoup de camarades de mon âge. Le premier métier que j'ai souhaité faire était mécanicien, puis rapidement, « ingénieur-inventeur ». Il n'existe probablement pas un tel intitulé, mais c'était ce dont je rêvais : créer des objets techniques et scientifiques. À dix ans et fils de fabricant de chaussures, le métier d'ingénieur ne signifiait pas grand-chose, je ne savais pas ce que cela recouvrait, et pourtant, c'était ce que je rêvais de devenir.

Un tournant dans ma passion naissante pour la science eut lieu le 4 octobre 1957, lorsque l'URSS envoya son *Spoutnik* dans l'espace, le premier satellite artificiel de la terre. Peu de gens alors pouvaient imaginer qu'un engin sans moteur puisse se déplacer à 28 000 kilomètres à l'heure au-dessus de nos têtes. C'était complètement magique. Plus d'un demi-siècle plus tard, tout cela semble normal, mais à l'époque ce fut un choc.

Dès lors, je savais qu'un jour je ferais de la science. Je lisais des magazines sur l'aviation, l'espace et des bandes dessinées de science-fiction²⁶. Je dessinais mes propres plans de fusée, et avec mon cousin Richard, aujourd'hui malheureusement décédé, nous avons créé une association : le CFCF, le Club des fusées de construction française. Nous fabriquions des maquettes en bois qui ne volaient pas, ainsi que d'autres qui décollaient avec grande difficulté. À cette époque, on ne pouvait pas acheter des moteurs de fusées pour les maquettes. Nous étions dans l'obligation de les fabriquer nous-mêmes avec différents mélanges explosifs : un peu de salpêtre, de soufre, de charbon de bois, et le tour était joué. Par chance, nous ne nous sommes jamais blessés. Au cours de ces mêmes années, avec mon autre cousin Georges

26. En particulier, le magazine *Météore*.

de trois ans mon aîné, nous fabriquions des maquettes volantes d'avion avec moteur à explosion. C'étaient des vols circulaires, où l'avion était tenu par deux câbles qui permettaient de le faire monter ou descendre. J'ai cassé sept modèles avant de savoir en faire voler un convenablement.

LES ÉTUDES

Après des études modernes à l'école Saint-Joseph, puis au lycée Périer à Marseille, étant relativement doué pour les mathématiques, je suis tout naturellement entré en classes préparatoires aux grandes écoles, au lycée Thiers. En première année, je ne me suis pas trop mal débrouillé, ce qui m'a permis d'entrer en deuxième année dans la section la plus difficile conduisant éventuellement à l'École normale supérieure, à l'École polytechnique et autres grandes écoles. Là, ce fut le choc, je me suis retrouvé, pour la première fois, dernier ou au mieux avant-dernier d'une classe de 43 élèves ! Nous faisions beaucoup de mathématiques, et le rythme était épouvantable. Je crois que ces deux années ont été les pires de ma vie. Il fallait travailler sans arrêt, jour et nuit.

J'ai eu la chance cette année-là d'être en classe avec Alain Connes²⁷, un génie des mathématiques. En fait, il était doué pour tout, aussi bien dans les sciences comme la physique et la chimie qu'en sport. Nous étions très copains. Je me souviens comment, en dehors des cours, il travaillait sur les nombres premiers, essayant de trouver la formule qui puisse les déterminer tous.

Dès que j'ai été admis à l'ENSEM, l'École nationale supérieure d'électricité et de mécanique de Nancy, j'y suis allé. Je n'ai pas souhaité redoubler pour essayer d'intégrer une école de meilleur

27. Alain Connes, né en 1947, est professeur au Collège de France, il a reçu la médaille Fields en 1982, c'est l'équivalent du prix Nobel pour les mathématiques.

rang. Après une période de deux années de folie, où nous travaillions tous sous pression constante, je ne pouvais qu'apprécier la tranquillité de mon école d'ingénieur. Les trois années que j'y ai passées ont été un soulagement. C'était la première fois que j'étais loin de ma famille, et jouissais, à vingt ans, d'un peu de liberté et de calme. J'ai découvert l'ambiance « des copains », que je ne connaissais pas. Ce furent trois années fabuleuses, agrémentées par les événements de Mai 68 auxquels j'ai pu participer activement en me mettant aux premières loges. Ce fut la première et dernière fois que je fis grève et que je défilai dans les rues. En ce mois de mai, espérant être plus proche de l'action, je suis allé en stop²⁸ à Paris. J'y ai adoré l'ambiance de liberté qui régnait dans les rues, dans l'amphithéâtre de la Sorbonne aussi bien qu'au théâtre de l'Odéon. Un nouveau monde était en construction, tout était possible. Un vent de liberté soufflait sur la France. Il était « interdit d'interdire ». Les structures hiérarchiques qui pesaient sur tous devaient disparaître pour faire surgir une nouvelle façon de travailler tous au même niveau.

J'avais choisi la spécialité « électronique et physique nucléaire », deux sujets qui m'ont toujours passionné. Dans mon jeune âge, je fabriquais des postes de radio avec des détecteurs à galène ou à diodes, ce qui me permettait d'écouter la radio le soir dans mon lit. Mes montages étaient plutôt rudimentaires. Je ne captais que Radio Monte-Carlo, dont l'émetteur était proche de Marseille. J'adorais aussi tout ce qui concernait la physique nucléaire, plus particulièrement la structure des noyaux atomiques. J'avais, et ai toujours, l'intuition que les briques élémentaires permettront de mieux comprendre le monde qui nous entoure. J'aimais la physique théorique, mais je n'étais pas assez bon en mathématiques pour en faire une carrière. D'ailleurs, j'aimais, et j'aime toujours,

28. Aucun train ne roulait à cause de la grève générale.

les petits bricolages. À la fin de mes études, le programme nucléaire français avait évolué, et la filière originelle graphite-gaz était abandonnée au profit de celle de Westinghouse à base d'eau légère pressurisée. Il s'ensuivit pendant quelques années une baisse d'embauches d'ingénieurs dans ce domaine. Il fallait que je trouve une autre voie.

Au cours de ma formation à Nancy, j'eus l'occasion de visiter des usines, et je compris rapidement que le métier d'ingénieur n'était pas fait pour moi. Je voulais faire de la recherche. Le professeur Michel Bienfait, originaire de Lorraine, venait de créer son laboratoire à Marseille, et souhaitait recruter un assistant pour faire une thèse sur la cristallographie de surface. Je répondis au message qu'il avait mis sur le tableau d'affichage de l'école, et fus rapidement embauché. Voilà comment je me suis retrouvé fonctionnaire, embarqué dans une carrière d'enseignant-chercheur.

THÉSARD ET ASSISTANT DE PHYSIQUE

Dès la rentrée de septembre 1969, je me suis impliqué à fond dans mes recherches à la fois expérimentales et théoriques. J'ai travaillé si vite qu'en un an et demi, j'ai pu soutenir le diplôme d'études approfondies et ma thèse de docteur-ingénieur sur :

« L'étude théorique de l'écart quadratique moyen des atomes de surface et de volume du graphite. »

En français compréhensible : comment et combien les atomes de la surface du graphite vibrent²⁹.

29. Dans un matériau, quel qu'il soit, les atomes le constituant oscillent autour de leur position, d'autant plus que la température est élevée. À la surface du matériau, ils vibrent plus que dans le volume.

Peu de temps après, j'ai rencontré Gordon Rhead, un chercheur anglais du CNRS qui travaillait à l'École nationale supérieure de chimie de Paris sur les dépôts de métaux sur métaux. Voulant prendre un peu de distance, je suis parti dans son laboratoire afin de travailler sur ma thèse d'État. J'ai pu la soutenir en 1975 sur :

« *L'étude par diffraction d'électrons lents et spectroscopie des électrons Auger de l'adsorption du plomb sur l'or*³⁰. »

Autrement dit : comment les atomes de plomb s'organisent quand ils sont déposés sur une surface d'or.

En même temps que mes travaux de recherche, j'accomplissais ma mission d'enseignant auprès d'étudiants à peine plus jeunes que moi. Je me rends compte maintenant que cela était parfois un peu délicat.

C'est à cette époque que je me suis marié avec Sylvie, et ai eu ma première fille, Mélanie.

La passion de l'étude des surfaces des matériaux ne m'a jamais quitté, et je continue à y travailler, bien que de manière moins intense. Récemment, avec mes collègues Bernard Aufray, Haik Jamgotchian et Bénédicte Ealet, nous avons découvert le silicène³¹, une forme jusqu'à présent inconnue du silicium. Nous avons montré que le silicium pouvait avoir une autre forme cristalline ressemblant à celle du graphite. Si cette piste aboutit, on pourra peut-être un jour fabriquer des transistors encore plus rapides que ceux qui existent aujourd'hui.

30. Il ne s'agit évidemment pas de transmuter le plomb en or !

31. Le carbone a deux formes cristallographiques : graphite et diamant, alors que le silicium n'avait jusqu'à présent qu'une seule forme, celle équivalente du diamant. Le silicène est du silicium ayant une structure équivalente à celle du graphite que nous avons découverte.

BERKELEY

Après ma thèse d'État, j'ai regagné mon laboratoire d'origine à Marseille. Puis, en juillet 1976, je suis parti passer une année postdoctorale aux États-Unis dans le laboratoire du professeur Gábor Somorjai à Berkeley. À la demande de mon patron américain, j'y suis resté avec joie une année de plus pour continuer mes travaux sur la catalyse. Ce furent deux années fécondes, et agréables. J'ai beaucoup apprécié la vie là-bas, aussi bien d'un point de vue pratique que professionnel. Je trouvais que tout était plus simple, du passage du permis de conduire jusqu'à la location d'un appartement. Au laboratoire, j'avais énormément de liberté, et l'organisation générale était faite pour nous faciliter le travail.

Au cours de ce séjour, j'ai rencontré Michel Van Hove, un chercheur théoricien belge qui était venu travailler dans ce même laboratoire. Il s'en est suivi une grande amitié, et des travaux en commun très fructueux. Gábor Somorjai souhaitait que je reste dans son laboratoire, il m'y offrait un poste. Mais c'était en chimie, et mon domaine était la physique. J'avais peur de n'être pas assez créatif dans un domaine que je ne maîtrisais pas. Par ailleurs, mon poste d'assistant me permettant de faire à la fois de l'enseignement et de la recherche m'attendait à Marseille. J'espérais pouvoir y développer ma propre équipe de recherche.

Je déclinai donc l'offre, et toute la famille, agrandie de mon fils Gabriel, né à Berkeley, rentra à Marseille.

LA NAVETTE SPATIALE

C'est pendant mon séjour aux États-Unis que j'avais lu au printemps 1977 dans le journal *Le Monde* une annonce du Centre national d'études spatiales : cette institution chargée de mener

la politique spatiale de la France recherchait des spationautes scientifiques européens pour une mission dans la future navette spatiale américaine³². Après une première sélection sur dossier, et une visite médicale sur place, je fus invité à passer des tests de sélection au Centre d'essais en vol de Brétigny-sur-Orge. En juillet de cette année-là, j'ai donc passé deux semaines à vivre et à subir toutes sortes de « tortures » pour savoir si j'étais apte à voler dans l'espace. Au fur et à mesure des épreuves, les candidats étaient éliminés. Sur les 400 présélectionnés, je suis arrivé au bout des tests, mais fus finalement éliminé. Il ne restait plus que douze candidats après mon départ. J'avoue avoir beaucoup apprécié certaines expériences, en particulier le vol en Fouga Magister qui m'a fait connaître le plaisir de l'apesanteur, ainsi que l'appréhension du vol sur le dos.

CRÉATION D'ENTREPRISE

À mon retour des États-Unis, la différence de fonctionnement entre ces deux pays m'a déçu. Là-bas, j'étais jugé *a posteriori*, on me donnait d'abord ma chance de faire mes preuves, et la sanction ou la récompense tombait ensuite. En France, c'était l'inverse, le contrôle était *a priori*. C'était très frustrant. Pour retrouver cette liberté, je retournais chaque été en Californie dans mon laboratoire d'accueil pour continuer à travailler pendant que la France entière était en vacances.

Je m'étais fait à l'idée de repartir m'installer en Amérique, lorsqu'un événement important a remis tout en cause. Fin juin 1982, mon patron, Michel Bienfait, qui assurait à ce moment-là la présidence du département de physique, me dit avoir reçu une invitation à participer à une réunion avec Jean Matouk de la

32. La navette spatiale n'avait pas encore volé à ce moment-là.

banque Chaix au sujet de la création d'entreprises. Il me proposa d'y aller à sa place. Ce 4 juillet 1982, je participai donc avec une vingtaine d'autres scientifiques à un déjeuner au restaurant La Rotonde à Aix-en-Provence. Jean Matouk, un universitaire en économie à Nîmes, venait d'être nommé directeur de la banque Chaix, une banque régionale qui avait tout juste été nationalisée.

Après la victoire de la gauche à l'élection présidentielle de 1981, les grandes banques avaient été nationalisées. C'était maintenant le tour des petites. Le nouveau patron de la Chaix souhaitait créer une synergie entre les chercheurs qui ont des idées et la banque qui a de l'argent. Sa proposition était donc simple : vous apportez vos idées, nous apportons notre argent, et nous faisons ensemble des sociétés de haute technologie. L'idée m'a immédiatement séduit. Avec Philippe Fontaine, l'étudiant en thèse que j'avais embauché à mon retour des États-Unis, nous avons développé un logiciel d'acquisition de spectres pour nos propres besoins. Nous utilisons le célèbre micro-ordinateur Apple II, sur lequel nous avons développé une interface. J'ai proposé de fabriquer cet équipement afin de le commercialiser. Je crois bien avoir été le seul à répondre à sa demande, et mon projet fut rapidement accepté. Le 11 octobre 1982, j'ai donc créé une SARL, le Laboratoire d'étude des surfaces, et embauché cinq personnes pour la technique et le commercial.

Grâce au soutien du doyen de la faculté des sciences de Luminy, Mohamed Mebkhout, nous avons pu nous installer dans les locaux mêmes de la faculté, ce qui était pratique pour moi, puisque j'y poursuivais mes activités de recherche et d'enseignement. Rapidement, mon désir d'aller plus loin a pris le dessus, et au lieu de nous limiter aux logiciels, nous nous sommes lancés dans des projets plus complexes, avec le développement de matériels électroniques et d'instruments d'analyse.

Après deux années de fonctionnement, il était clair que les objectifs initiaux imposés par Jean Matouk à la création de l'entreprise d'atteindre l'équilibre au bout de trois mois n'étaient pas réalistes. Proches du dépôt de bilan, et grâce au conseiller Eugène-André Rey, nous avons créé en 1984 une nouvelle structure avec beaucoup plus de capitaux : la société anonyme Luminy-Instruments. Nous nous sommes installés dans de nouveaux locaux en dehors de l'université. L'équipe s'agrandit jusqu'à douze personnes, mais les problèmes de trésorerie persistèrent, ce qui nous conduisit fin 1986 au dépôt de bilan.

La société fut rachetée quelques mois plus tard par Cybernétix, une entreprise marseillaise de robotique, intéressée par notre savoir-faire dans le domaine de l'analyse de surface. C'est ainsi que prit fin mon aventure dans le monde de l'entreprise. Embauché en tant que consultant pour développer et vendre nos produits selon la méthodologie des grandes entreprises, ma situation financière était confortable, puisque je continuais à travailler à l'université dans les domaines de la recherche et de l'enseignement, tout en recevant des émoluments de consultant. Mais rapidement, j'ai réalisé que ce type de travail ne me convenait pas, il y avait trop d'administration, d'organisation et pas assez de technique. Au bout de dix-huit mois, j'ai démissionné.

DÉVELOPPEMENT DE LOGICIELS

Je suis revenu à mon idée initiale de 1982, développer des logiciels d'acquisition de données pour des instruments d'analyse de surface³³, domaine de recherche que je connaissais vraiment bien. J'ai créé International Consultant, une structure libérale,

33. Ce sont des instruments d'analyse de surface sensibles à l'échelle de l'épaisseur d'un ou quelques atomes. Il s'agit de la spectroscopie des électrons Auger et de la photoémission d'électrons.

sans personnel, et sous-traitais à des personnes extérieures ce que je ne savais pas faire moi-même. Cette nouvelle approche me convenait bien mieux, car elle était souple tant sur le plan technique qu'organisationnel. Je n'avais plus à gérer de structure, ni de personnel. Je pouvais poursuivre cette activité avec une grande liberté.

LES ÉCRANS DE TÉLÉVISION PLATS

L'IDÉE

Entre le repas à la Rotonde et la création du Laboratoire d'étude des surfaces, j'étais reparti comme chaque année pour travailler pendant l'été à Berkeley. Un soir de la mi-août 1982, il me vint subitement une idée : pourquoi ne pas faire des écrans de télévision plats avec des micropointes à émission de champ ? Ces pointes pourraient émettre facilement des électrons et remplacer avantageusement les canons à électrons des tubes de télévision classique. Je n'avais jamais travaillé sur les écrans de télévision, et cette idée était loin de mes préoccupations.

À ce moment-là, les écrans plats n'étaient pas encore ce qu'ils sont aujourd'hui. Deux techniques étaient en concurrence : les écrans à cristaux liquides et les plasmas. Dans les deux cas, la qualité et la taille n'étaient pas au rendez-vous. L'idée qui m'était tombée dessus comme la pomme de Newton était d'utiliser un procédé totalement différent. Dans un tube de télévision classique, un canon à électron balaye la surface de l'écran avec une intensité variable qui permet d'avoir des niveaux de gris. Avec trois canons, on produit les trois couleurs de base, rouge, vert et bleu permettant de reconstituer l'ensemble de la palette. Mon idée était de remplacer le canon à électrons par des milliers de petits canons, chacun placé derrière chaque pixel de l'écran.

Chaque pixel aurait donc sa source d'électrons. Dans un canon à électrons classique, les électrons sont produits en chauffant un filament à haute température. Dans le nouveau dispositif, ils seraient émis grâce au phénomène bien connu de l'effet de pointe. C'est l'inverse du paratonnerre qui attire la foudre parce que le mat est pointu : à partir d'une pointe, on peut facilement extraire les électrons, c'est ce que l'on appelle « l'émission électronique par effet de champ ».

Dès le lendemain, j'en ai parlé à mes collègues du laboratoire. Après quelques calculs simples, ils ont trouvé l'idée intéressante. Ils m'ont parlé d'un certain Cap Spindt³⁴ de SRI-International³⁵, qui avait donné quelque temps avant un séminaire sur les micropointes à émission de champ. Ce laboratoire était situé dans la Silicon Valley, à une cinquantaine de kilomètres de Berkeley. Malheureusement, il n'était pas à ce moment-là dans son laboratoire, et je ne pus le rencontrer que plus tard. Il avait mis au point une technologie de dépôt très astucieuse pour fabriquer à la fois des pointes, mais aussi une grille permettant de contrôler la quantité des électrons émis.

À mon retour de Californie, je pris contact avec Jean-Louis Tezner au ministère de la Recherche. Après lui avoir exposé mon projet, il me dit que je tombais bien, car le LETI³⁶, une division du CEA³⁷ de Grenoble, avait pour mission de développer des

34. Il se surnommait Cap, car il était capitaine dans la Navy américaine avant de rejoindre SRI.

35. Stanford Research Institute International, un centre de recherche privé à Palo Alto dans la Silicon Valley. Parmi les inventions de ce centre : la célèbre souris d'ordinateur. C'est dans ce même centre que l'équipe de Michaël McKubre travaille sur la fusion froide depuis 1989.

36. Laboratoire d'électronique et des technologies de l'information.

37. Commissariat à l'énergie atomique.

écrans plats, mais ils n'avaient pas de technologie pour cela. Il appela sur-le-champ le responsable, et je pris rendez-vous.

Quelques semaines plus tard, je me retrouvai à Grenoble devant un groupe d'une demi-douzaine d'ingénieurs. J'en connaissais plusieurs. En effet, dans le cadre de mes travaux de recherche, je m'étais impliqué dans l'étude de la gravure du silicium. Je faisais des expériences de physique fondamentale, en coopération avec des personnes du LETI. Je leur expliquai mon idée. Au départ, tout le monde était sceptique. Ils me posaient des questions, je leur donnais des réponses. Mais enfin, pourquoi les Japonais, les Américains n'y avaient-ils pas pensé avant ? Je leur répondais qu'il fallait bien que quelqu'un y pense en premier, pourquoi pas moi ? Je les quittai, un peu déçu.

À ma grande surprise, trois jours plus tard, le responsable du projet m'appela, et m'annonça qu'ils étaient intéressés par cette idée. Il me disait que d'habitude les universitaires arrivaient soit trop tôt, soit trop tard, mais que cette fois-ci j'arrivais juste au bon moment. Quelques semaines après, deux ingénieurs venaient à Marseille pour discuter de ce projet. À un moment de la conversation, très technique jusque-là, je leur fis part de mon souhait de déposer un brevet. Mais d'après eux, c'était prématuré, il valait mieux attendre et déposer ensuite, ensemble. L'idée me plut et j'acceptai avec plaisir.

Tout s'était déroulé oralement, il n'y avait aucun compte-rendu écrit, ni bien sûr aucun enregistrement de cette suite d'entretiens. Sans doute de par ma culture orientale, j'ai tendance à faire davantage confiance aux personnes qu'aux documents. Ma femme et les amis à qui j'en avais parlé me disaient que j'allais me faire rouler. Mais je ne les écoutais pas. J'étais en pleine création de mon entreprise et j'avais bien d'autres problèmes

à régler. Pendant plus d'une année, nous eûmes des échanges irréguliers, mais quasi aucune séance de travail ensemble.

LA DOUCHE FROIDE

Au début de 1984, je reçus un appel du LETI. Ils avaient avancé, et étaient prêts à déposer un brevet. Comme c'était moi qui leur avais apporté l'idée, ils désiraient m'y associer comme inventeur, à la condition que je renonce à mes droits. Le monde à l'envers. Je ne comprenais pas. Pour eux, tout était connu dans la littérature technique, je n'avais donc rien inventé. Mon ego, ma fierté étaient atteints, cela me poussait à me battre pour faire respecter mes droits. Contraint et forcé, j'acceptai leur offre avec l'idée de déposer moi-même un brevet immédiatement. Une relation, Philippe Tourny, me donna le nom d'un cabinet spécialisé dans les brevets, Rinuy Santarelli, qui avait un bureau à Marseille. Quinze jours après, j'avais rédigé et envoyé ma demande de brevet. Je savais que le CEA prendrait bien plus de temps pour y arriver. Finalement, le mien fut déposé en mars, et le leur en juillet 1984, sans que mon nom apparaisse, contrairement à ce qui avait été convenu.

La bataille, pourtant, était loin d'être gagnée. Une fois mon projet passé à l'examen, quelques mois plus tard, l'Office des brevets m'apprit qu'il n'était pas valable ! En réalité, l'armée américaine avait déjà breveté cette idée en 1967 ! Je n'avais fait que réinventer ce qu'un autre avait déjà imaginé. Cela expliquait sans doute le peu de cas que le CEA faisait de moi. Il fallait trouver une solution. Je ne pouvais pas breveter l'idée de base qui était de faire un écran plat avec des micropointes à émission de champ. Il fallut trouver une amélioration non brevetée. Nous en avons donc cherchée. Celle-ci consista à dire, qu'une fois une pointe activée, il fallait l'éteindre avant d'allumer la suivante. Et cela, évidemment, personne ne l'avait encore ima-

giné. En fait, j'avais breveté l'interrupteur à écran plat ! Cette amélioration fut acceptée sans problème. Cela peut sembler un peu « limite », puisque c'est un petit détail qui semble évident, mais on retrouve souvent ce genre d'invention mineure dans les litiges concernant les brevets.

Nous avons déposé le brevet en France, puis un an plus tard en Europe, aux États-Unis et au Japon. Cela commençait à me coûter très cher, mon amour-propre avait été touché, et je ne pouvais pas laisser cette injustice continuer. Je partais pour le combat du pot de terre contre le pot de fer. Je savais que dans ces cas-là, ce n'est pas toujours le plus fort qui gagne. Comme disait La Fontaine : « Patience et longueur de temps font plus que force ni que rage. »

LA SOCIÉTÉ THOMSON

Deux ans plus tard, j'apprends que la société Thomson a délégué l'un de ses ingénieurs au CEA pour travailler sur les écrans plats. Ils avaient un contrat de collaboration sur cette technologie. J'ai contacté alors Alain Gomez, le président-directeur général de Thomson. Quelque temps après, je suis invité à leur siège de la Défense à Paris, pour rencontrer le vice-président chargé de la propriété industrielle et lui expliquer mon cas. Il affirma ne rien savoir de mon brevet et m'assura que, de toute manière, ils n'en étaient qu'au prototype de laboratoire ; il n'y avait donc pas de contrefaçon.

Le CEA réagit, et peu de temps après attaqua mon brevet européen. Ils essayaient de montrer que celui-ci n'avait pas de valeur, et que tout était déjà connu. Avec mon conseil Luc Santarelli, nous avons travaillé d'arrache-pied pour prouver que le brevet était une vraie invention. J'ai pu alors apprécier la façon dont il travaillait : très pointilleux, faisant attention à

chaque détail. Nous passions des heures ensemble à éplucher chaque phrase, à analyser chaque mot. Finalement, nos efforts furent récompensés, nous gagnâmes le procès. C'était un point important pour nous. Ils attaquèrent également le brevet américain. La procédure était un peu plus compliquée, car il fallait passer par un correspondant local. Mais là-bas aussi nous avons gagné. Mon brevet n'a pas été annulé.

Nous avons dû nous battre pour faire valoir la validité de mon invention. Ce genre de combat est souvent long et coûte très cher. Il faut payer le cabinet dont les tarifs horaires dans ce domaine ne sont pas à la portée de toutes les bourses ! En général, ce sont des entreprises qui font ce type de démarche, pas des particuliers. Tout cela se passait pendant le dépôt de bilan de ma société Luminy-Instruments, et je me suis donc ruiné un peu plus. Ce fut une période assez spéciale, je l'avoue, très intense en tout cas !

Pour pouvoir attaquer le CEA en contrefaçon, il fallait attendre que le produit soit commercialisé, et pendant tout ce temps je devais continuer à payer les frais de maintien des brevets et les différentes attaques dont j'étais l'objet. Ma situation financière était plus que critique.

LA PROPOSITION

En octobre 1993, en rentrant des États-Unis pour enseigner à Luminy, je découvris sur mon répondeur un message de Jean-Luc Grand-Clément, le président-directeur général de la société Pix-tech qui collaborait avec le LETI pour commercialiser les futurs écrans plats. Il souhaitait me rencontrer. Nous avons déjeuné ensemble près de ses bureaux de la région d'Aix-en-Provence. Il me disait qu'il avait fait analyser mon brevet par ses services, ainsi que par un cabinet indépendant, et que mon brevet n'avait

aucune valeur. Néanmoins, Jean-Luc Grand-Clément était gêné dans ses négociations avec des industriels américains comme Texas Instruments ou Motorola. Il souhaitait donc m'acheter mon brevet pour 200 000 francs en actions dans sa société. Il me proposait aussi de me prendre comme ingénieur-conseil. Au sujet de mes honoraires, il m'avait proposé entre 5 000 et 10 000 francs par mois. Je connaissais ce type de personne, si c'était entre 5 000 et 10 000, ce serait 5 000, pas même 7 500.

Après discussions avec Luc Santarelli, j'ai décidé de renoncer à l'offre. À ce stade, j'avais déjà dépensé près de 250 000 francs en dépôts de brevets et autres procédures, sans compter tout le temps passé à m'occuper de cette affaire, et bien d'autres frais. J'aurais eu l'impression d'une solution peu honorable, d'une véritable capitulation. Il s'agissait quand même de onze ans de ma vie, et de beaucoup d'énergie investie dans ce domaine, pour obtenir très peu. Cela n'en valait pas la peine. Nous sommes donc revenus au cœur de la bataille.

LE PROCÈS

Je ne peux pas m'attaquer aux faibles, mais je n'ai pas d'état d'âme en ce qui concerne les forts. Je voulais que justice soit faite. Nous avons d'abord envoyé une lettre au CEA pour demander de négocier un accord de licence, ce qu'ils ont refusé. Il ne nous restait donc plus que le tribunal de grande instance de Paris. Il était temps pour nous de passer à l'action. C'était comme une guerre ! J'ai alors porté plainte pour contrefaçon contre le Commissariat à l'énergie atomique et la société Pixtech.

Au départ, c'est la procédure, nous avons demandé une saisie pour contrefaçon d'un écran au CEA de Grenoble. Un vendredi matin, à huit heures, mon conseil en brevets, un policier, un photographe et un huissier se présentèrent à la porte du CEA

de Grenoble pour une saisie-contrefaçon. Ce fut une surprise totale. Les responsables présents à ce moment-là ne semblaient pas franchement prêts pour ce genre d'opération. Ils n'avaient jamais rien eu de pareil dans un centre dédié à l'énergie nucléaire. Il n'y avait certainement pas de procédure concernant la saisie-contrefaçon au CEA. Ils préférèrent donner les informations immédiatement plutôt que des écrans que nous aurions eu à expertiser à grands frais. C'était parfait. Cela nous faisait économiser le coût d'une expertise et nous permettait d'utiliser les propres termes des ingénieurs du CEA pour attaquer ce dernier. L'ingénieur en charge du projet avait donné tous les renseignements que mon expert lui demandait. En particulier, il avait confirmé par écrit que lorsqu'il allumait une pointe, il bloquait la précédente. Exactement ce que contenait le brevet.

C'était David contre Goliath. Je n'étais après tout qu'un maître de conférences à Marseille, osant me mesurer au géant de l'industrie atomique française ! Il y eut quelques échanges de dossiers entre nous et le CEA par l'intermédiaire du tribunal. Finalement, à bout d'arguments de part et d'autre, nous fûmes convoqués devant le tribunal le 26 septembre 1996. Nous devions préparer la plaidoirie. Ce n'est pas l'expert en brevet qui plaide, mais un avocat. Nous avons choisi un des meilleurs de la place de Paris, M^e Jacques Armengaud.

Tout cela me coûtait de plus en plus cher, et il nous fallait absolument gagner, car sinon j'aurais été ruiné. Nous travaillâmes jour et nuit avec Luc Santarelli afin de préparer un document pédagogique qui expliquerait aux juges le fonctionnement d'un écran plat de télévision à micropointes à émission de champ. Les juges ne sont pas des spécialistes. Il ne fallait surtout pas qu'ils demandent une expertise qui m'aurait coûté encore beaucoup trop de temps et surtout d'argent. Nous produisîmes plusieurs

documents très compréhensibles, avec des dessins en couleur, et le tout imprimé sur une imprimante laser couleur, un luxe à l'époque.

Le jour du procès, j'étais accompagné, en dehors de Luc Santarelli et de Jacques Armengaud, de ma femme et de mon cousin Roger Guzian. Du côté du CEA, ils étaient sept. Les trois juges sont arrivés, un homme et deux femmes. Ils étaient jeunes. Cela m'a tranquilisé, ils semblaient sympathiques. Le pot de terre pouvait-il gagner contre le pot de fer ? J'en étais persuadé. Mon avocat plaida admirablement bien pendant les deux heures quinze minutes qui lui étaient imparties. Nous avions eu auparavant des réunions de préparation, et il maîtrisait parfaitement le sujet. Puis ce fut le tour de la défense. Leur avocat avait une heure et demie de temps de parole, et il le dépassa de quinze minutes, c'était bon pour nous, il ne faut pas abuser du temps des juges. Nous avons présenté cinq documents reliés, ainsi qu'une maquette en bois avec des LED afin de bien comprendre le fonctionnement de mon invention. De leur côté, ils avaient une feuille de papier avec des traits horizontaux et verticaux tracés à la main représentant les lignes et les colonnes d'adressage de chaque point de l'écran. Finalement, le jugement fut mis en délibéré pour deux mois.

L'ÉPILOGUE

C'est en novembre que la nouvelle est arrivée. Nous avons gagné ! Le CEA était contraint de payer une astreinte par écran fabriqué. Nous n'aurions pas pu espérer mieux. Ils auraient pu faire appel, et s'ils l'avaient fait, ils auraient mieux préparé leur défense. Dans ce cas-là, je n'aurais pas eu les moyens de continuer. Malheureusement pour eux, la société Pixtech était cotée à la Bourse de New York, et à cause de ce procès, ils

avaient dû émettre un *warning*³⁸ indiquant qu'ils avaient un procès en cours contre leur procédé en France. Ils venaient de perdre le procès, et cela aurait été du plus mauvais effet pour la cote de l'entreprise. Ils devaient résoudre ce problème au plus tôt par rapport à leurs actionnaires. Ils ne pouvaient donc pas attendre, il fallait qu'ils négocient. L'administrateur général du CEA responsable de l'affaire m'appela très vite pour trouver un arrangement. Je lui dis qu'il devait traiter directement avec mon conseil en brevets. Finalement, après quelques allers-retours du document, un accord fut signé.

Dans cette aventure, j'ai eu beaucoup de chance, mais sans la persévérance qui fut la mienne, je n'aurais pas réussi.

RETOUR À BERKELEY

En 1990, ma fille aînée Mélanie, alors âgée de quinze ans, voulait passer une année aux États-Unis dans le cadre d'un système d'échanges scolaires. Elle fut accueillie dans une famille du Wisconsin. Après y avoir passé une année complète, elle était tellement enthousiaste qu'à son retour son seul souhait était d'y retourner. Elle était prête à faire du *baby-sitting* sur place pour payer son séjour. Nous avons alors décidé de retourner tous ensemble en Californie.

À cette époque, mes finances étaient au plus bas mais, chance extraordinaire, en juin 1992 il y eut à Marseille des pluies torrentielles. Ma Citroën CX se retrouva inondée, et la compagnie d'assurance me la remboursa à un très bon prix. Et c'est avec cet argent que nous avons pu partir au début du mois d'août,

38. Un avertissement.

et rejoindre mon ancien laboratoire au Lawrence Berkeley Laboratory³⁹, où je me sentais comme chez moi.

C'est là-bas, en 1993, que je fis mes premiers pas dans la fusion froide.

LA DANSE CONTEMPORAINE

À mon retour en France en 1995, j'ai commencé à travailler sur la fusion froide à Grenoble, tout en continuant mes allers et retours à Marseille aux fins d'enseignement. Grenoble est une ville fort agréable avec de nombreuses activités culturelles que j'ai beaucoup appréciée. Je m'étais trouvé une chambre chez l'habitant, et plus de trente ans après, cela m'a rappelé le goût de la vie d'étudiant. Pour le réveillon de 1998, j'ai passé deux ou trois jours avec des amis, nous avons beaucoup dansé. En rentrant, je me suis mis à la recherche d'un lieu où je pourrais apprendre la danse, pas celle de salon, mais la contemporaine. C'est ainsi que j'ai fait la connaissance de Patricia Olive⁴⁰, une danseuse chorégraphe. J'ai immédiatement aimé le travail qu'elle proposait. J'ai suivi ses cours et stages, et j'ai même pu participer à des performances publiques dans deux spectacles en 1999 et 2001, dans deux musées de Grenoble. J'ai ainsi découvert le plaisir et la tension de la scène. Depuis, je continue de manière moins régulière la pratique de cette discipline, avec toujours autant de plaisir.

LES CONFÉRENCES DE VULGARISATION

Nous avons tous des dons, mais souvent nous ne voulons pas les reconnaître, probablement à cause de notre éducation qui nous enseigne l'humilité. Nous connaissons bien nos défauts,

39. Maintenant : Lawrence Berkeley National Laboratory.

40. Son site est : www.danseetsens.com.

mais pas nos qualités. Cela dit, je pense avoir un don pour l'oral et la vulgarisation. J'aime bien expliquer la science avec des mots simples. Je l'ai toujours fait auprès de mes étudiants, et depuis quelques années, je le fais pour le grand public. En 2001, j'ai créé le concept des « mardis du savoir », tous les premiers mardis du mois j'organisais en différents lieux des débats sur la science. Le public était très varié, mais le plus souvent d'âge mûr. J'ai souvent observé l'enthousiasme de ces personnes, ces yeux qui brillent en comprenant une notion de physique dont ils avaient entendu parler, sans savoir de quoi cela relevait. Au cours de la plupart de ces réunions, j'ai pu parler de la fusion froide. Il est vrai que ce public est plus ouvert que celui des scientifiques *lambda*.

DANSE ET FUSION FROIDE

À la suite d'une conférence organisée par Magalie Schwendemann sur la fusion froide, à La Faurie, petit village des Hautes-Alpes, j'ai appris qu'elle était danseuse classique et contemporaine. C'est ainsi que nous avons produit ensemble des spectacles de danse et conférence. De la danse, avec comme thème l'eau, suivi d'un exposé-débat sur la fusion froide. Le public est à chaque représentation très surpris et intéressé par la danse et la conférence. Peut-être cette approche sera-t-elle une voie supplémentaire pour faire connaître au grand public à la fois la fusion froide, mais aussi la science en général.

PARTIE 2

LA FUSION FROIDE FAIT-ELLE DU CHAUD ?

MES EXPÉRIENCES DE FUSION FROIDE

CHAPITRE 3

MES TRAVAUX SUR LA FUSION FROIDE

L'INTÉRÊT

Depuis l'annonce de sa découverte, je suivais l'évolution de la fusion froide avec enthousiasme, d'abord dans la presse, puis grâce aux e-mails de Douglas Morrison. Après des débuts fracassants, la presse a rapidement cessé d'en parler. Mon intérêt était toujours vif, mais au cours du temps, les bonnes nouvelles se faisaient rares. J'ai toujours en mémoire le geste de mon directeur de laboratoire, le pouce baissé, m'indiquant que l'affaire était terminée.

La chimie n'a jamais été ma tasse de thé, et encore moins l'électrochimie. Je ne voyais donc pas très bien ce que je pouvais apporter à la fusion froide. Pendant les années qui ont suivi, je me sentais incapable de travailler dans ce domaine excitant. Je rêvais toujours d'aller à Salt Lake City pour rencontrer les deux découvreurs, mais cela ne s'est jamais fait. La fusion froide était présente dans mon esprit, mais je ne pouvais rien apporter.

PREMIÈRES EXPÉRIENCES À BERKELEY

En 1992, j'étais retourné avec ma famille à Berkeley, en Californie, pour travailler dans le laboratoire du professeur Gábor Somorjai. J'y faisais des recherches sur les structures cristallographiques de surface avec mon collègue et ami Michel Van Hove. Je devais faire des allers-retours au moins deux fois par an pour enseigner à Luminy. Lors d'un de mes premiers retours en France au début de 1993, j'ai rencontré par hasard un collègue, Elio Flésia, chercheur au CNRS⁴¹. Au cours de notre conversation, le thème de la fusion froide surgit. Mon ami connaissait un ingénieur du CEA⁴² de Cadarache, Francis Forrat⁴³, qui avait fait des expériences positives avec des solides dans une atmosphère de deutérium gazeux, et non pas dans un milieu liquide. Il avait utilisé des cristaux de lanthanate d'aluminium⁴⁴ comme électrolyte solide. Le lanthanate d'aluminium est un oxyde des deux métaux, le lanthane et l'aluminium. En fait, les expériences avaient été réalisées à Grenoble par Georges Lonchamp, un autre ingénieur du CEA de Grenoble. Il aurait, d'après Francis Forrat, produit une grande quantité de chaleur inhabituelle. Je pris contact avec lui, et il me fit parvenir un cristal de ce matériau « magique » aux États-Unis.

Je savais que mon patron américain n'était pas favorable à ce type de travaux, car depuis le rapport de l'ERAB de novembre 1989, la fusion froide était devenue quasi illégale, et un scientifique « sérieux » ne pouvait pas s'intéresser à ce sujet. Travailler, de près ou de loin, sur ce thème risquait de ruiner une carrière.

41. CNRS : Centre national de la recherche scientifique.

42. Commissariat à l'énergie atomique.

43. Francis Forrat était ingénieur à Cadarache. Il a déposé deux brevets sur la fusion froide à titre personnel en 1989 et en 1990.

44. LaAlO_3 .

D'autant plus qu'il visait le prix Nobel pour l'ensemble de ses travaux sur la science des surfaces. Malheureusement pour lui, ce prix a été attribué en 2007 à un chercheur allemand⁴⁵.

J'entrepris donc de faire une expérience simple avec des moyens de récupération, sans en parler à personne. Je n'avais pas de système d'acquisition de données qui m'aurait permis de faire des mesures en continu en les enregistrant au fur et à mesure dans un ordinateur. J'ai donc demandé à mes deux enfants de noter une à une et à la main les valeurs que je lisais sur les cadrans à aiguilles. Il me semblait d'après mes mesures qu'il y avait un effet clair d'excès de chaleur. Les données réanalysées par Francis Forrat paraissaient encore plus déterminantes. J'aurais donc bien mis en évidence un dégagement anormal de chaleur. C'est ainsi que j'ai fait mes premiers pas dans cette nouvelle aventure.

Après plusieurs mois d'expériences, il m'est apparu utile d'écrire un article sur mes résultats. J'avais en effet montré que lorsque je faisais passer du courant dans un cristal d'aluminate de lanthane en présence de deutérium gazeux, il y avait un dégagement de chaleur important, qui ne se produisait pas dans le vide ou en atmosphère hydrogène. Une fois sa rédaction terminée, j'ai envoyé le document à Jean-Pierre Vigier, éditeur de la revue *Physics Letters A*, un des rares journaux internationaux qui publiait des articles sur la fusion froide.

Comme la règle le veut pour les journaux sérieux, l'éditeur envoya mon article pour acceptation à un ou plusieurs collègues anonymes afin qu'ils en vérifient la qualité. Il savait que Georges Lonchampt avait déjà travaillé sur ce sujet, et tout naturellement il envoya mon texte à ce seul spécialiste. Mais comme nous l'avons

45. Professeur Gerhard Ertl.

vu, Georges Lonchamp n'avait pas la même interprétation que Francis Forrat des expériences qu'il avait faites sous sa direction. Pour lui, il n'y avait jamais rien eu d'anormal. Il a donc souhaité répéter mes travaux pour vérifier par lui-même mes observations. Cette attitude est exceptionnelle dans le secteur de la science où la personne qui revoit un article se contente en général de lire le texte qu'elle a reçu, de poser des questions et de demander des éclaircissements. Georges Lonchamp voulait reprendre les travaux lui-même, c'était une bonne idée.

FRANCIS FORRAT

Francis Forrat avait commencé sa carrière d'ingénieur au sein de la Compagnie générale d'électricité. Dans les années 1960, il y fabriquait des cristaux de pérovskites⁴⁶ pour la création de lasers. Cela avait d'ailleurs permis à la France d'avoir une avance, en particulier sur les États-Unis, dans ce domaine. Lors de l'élaboration de ces cristaux, dans une torche hydrogène-oxygène, il avait observé des anomalies de température. Il avait également remarqué que les cristaux d'aluminate de lanthane qui auraient dû être blancs étaient de couleur rouge. Quand il les chauffait dans une atmosphère d'hydrogène, ils redevenaient blancs. Il en avait conclu qu'il y avait des lacunes de lanthane, et que celles-ci se remplissaient d'hydrogène quand on les chauffait en atmosphère hydrogène.

Au moment de l'annonce de la fusion froide, il travaillait au CEA de Cadarache. Il pensa immédiatement pouvoir reproduire la fusion froide avec ses cristaux : en mettant du deutérium dans les fameuses lacunes, il pourrait se produire une réaction de fusion. Il aurait pu faire ses essais dans son laboratoire, mais on lui demanda de collaborer avec Georges Lonchamp de Grenoble,

46. Les pérovskites sont des composés oxydes contenant deux atomes métalliques.

ce qui aurait plus de poids quant aux résultats obtenus. C'est ainsi qu'ils commencèrent à travailler ensemble. Cependant, alors que Georges Lonchamp pensait que les résultats obtenus étaient négatifs, Francis Forrat avait une opinion différente. Pour lui, l'expérience était concluante.

Un des avantages de la solution utilisant des électrolytes solides en atmosphère gazeuse est qu'elle fonctionnerait à haute température. Or, pour transformer la chaleur en électricité, le rendement est d'autant meilleur que la température de la source de chaleur est élevée.

Depuis mon retour à Marseille, Francis Forrat vient régulièrement me voir au laboratoire, et nous essayons ses nouvelles idées. Il propose des solutions avec des oxydes de composition différentes, d'autres méthodes d'excitation du composé afin d'obtenir des rendements élevés. Il m'écrit souvent avec des modèles simples permettant en principe de réaliser notre rêve : « produire beaucoup de chaleur avec peu d'énergie d'excitation ».

Malheureusement, après plusieurs années de travail, des dizaines de lettres, et des expériences aussi variées les unes que les autres, nous n'avons toujours pas abouti à un résultat concluant.

ROGER STRINGHAM ET RUSS GEORGE

Pendant ce séjour en Californie, j'ai collaboré pendant deux mois avec une équipe extraordinaire composée de Roger Stringham et de Russ George. Le premier était un chimiste qui, au moment de l'annonce de la fusion froide, faisait des expériences de chimie assistée par ultrasons. C'est un procédé utilisant des ultrasons générés dans de l'eau pour produire de minuscules bulles de vapeur. Ces bulles se dilatent et se compriment au rythme de la fréquence du générateur à ultrasons. Lorsque les bulles se compriment, les gaz qui y sont contenus atteignent

des températures très élevées et émettent de la lumière. Roger Stringham utilisait cette propriété pour produire des réactions chimiques inhabituelles. À l'annonce de la découverte de la fusion froide, il eut l'idée d'utiliser cette propriété pour produire de la fusion froide. Au lieu d'utiliser de l'eau ordinaire, il prit de l'eau lourde et plaça dans sa chambre de réaction une feuille de palladium. Effectivement, il constata un excès de chaleur. L'expérience n'était pas facile à réaliser, il fallait pouvoir séparer la puissance d'alimentation du générateur à ultrasons de celle effectivement envoyée dans la cellule.

Russ George avait un parcours atypique et cherchait à s'intégrer dans ce domaine. Il avait rencontré Roger Stringham et ils avaient décidé de faire équipe. Il avait davantage un rôle de relations publiques que de scientifique, malgré un bon bagage scientifique.

Pendant deux mois, j'ai travaillé dans leur laboratoire de Mountain View au cœur de la Silicon Valley. C'était un hangar où la température variait beaucoup dans une même journée, il était donc difficile de faire de la calorimétrie pour laquelle la mesure des températures est cruciale. Néanmoins, j'ai pu apporter ma petite contribution et démontrer de manière claire qu'il se produisait un dégagement inhabituel de chaleur. Roger Stringham était végétarien comme moi, et à midi nous allions manger un *burrito* chez le mexicain du coin. Je crois que j'y ai dégusté les meilleurs *burritos* qui soient.

Roger Stringham pensait que lorsque les bulles se compri-maient à la surface du palladium, un jet énergétique d'atomes de deutérium pénétrait dans la feuille de palladium, produisant un taux de chargement élevé en deutérium. Cela conduisait à une réaction nucléaire. Effectivement, sur la feuille de palladium, on pouvait voir au microscope électronique des zones fondues, des

cratères, indiquant la présence de réactions violentes. Les deux amis cessèrent de travailler ensemble quelques années plus tard. Depuis, Roger Stringham continue en solitaire dans la maison qu'il a bâtie lui-même à Hawaï. Plus de vingt ans après, il est toujours le seul à faire ce type d'expériences.

MIKE MCKUBRE

Au cours de mon séjour en Californie, j'ai aussi pu visiter le laboratoire de Mike McKubre au SRI à Mountain View. C'était un voisin de Cap Spindt qui fabriquait des pointes pour écrans plats. Son laboratoire était extrêmement bien fourni. Avec son équipe, il réalisait des expériences de grande qualité. Mike McKubre était né en Nouvelle-Zélande et avait été élève de Martin Fleischmann. Dès le début de cette affaire, il avait réussi à obtenir d'excellents résultats. Par chance, au moment de l'annonce, il travaillait déjà à l'étude du chargement en hydrogène du palladium, il fut donc facile pour lui de s'engager dans cette filière. Sa relation privilégiée avec Martin Fleischmann et sa connaissance de l'électrochimie l'avaient beaucoup aidé. Nous avons immédiatement sympathisé et avons depuis lors d'excellentes relations.

JEAN-PIERRE VIGIER

Jean-Pierre Vigier⁴⁷ était l'éditeur de *Physics Letters A*. Théoricien, il avait travaillé avec l'un des plus grands scientifiques français, Louis de Broglie, à l'origine de la mécanique quantique. Comme son maître, il était un partisan de la mécanique ondulatoire, et opposé au paradigme de la mécanique quantique dans laquelle il fallait rajouter du hasard pour expliquer les résultats expérimentaux. Dès l'annonce de la découverte de la

47. Jean-Pierre Vigier (1920-2004).

fusion froide, il avait élaboré une théorie en supposant que deux noyaux de deutérium pouvaient tourner autour d'un électron. En somme, c'était un atome à l'envers. J'eus par la suite l'occasion de le rencontrer, c'était un homme charmant, et captivant à écouter.

GEORGES LONCHAMPT

Georges Lonchampt est un électrochimiste qui a fait toute sa carrière au CEA. Il se rendit célèbre pour ses travaux sur une méthode de séparation du lithium-6⁴⁸ à partir du lithium naturel par une méthode électrochimique beaucoup plus efficace que ce qui existait auparavant. Il travailla ensuite pendant vingt ans sur une méthode chimique d'enrichissement de l'uranium⁴⁹. Il mit au point un prototype à Grenoble, mais l'industrialisation fut un échec, et surtout la concurrence potentielle de la méthode par laser fit abandonner cette filière. Au vu de ses compétences en électrochimie, il fut chargé de travailler sur un nouveau type de batterie à base de lithium polymère⁵⁰. Quand la fusion froide fut annoncée, il entreprit immédiatement de reproduire les expériences. Lorsque le haut-commissaire du CEA de l'époque, Jean Teillac⁵¹, apprit que des personnes du CEA faisaient en

48. Le lithium a deux isotopes, les 6 et 7. Le 6 est le plus rare, il est utilisé dans la fabrication de la bombe H.

49. Les centrales nucléaires ont besoin d'uranium enrichi en uranium-235 pour fonctionner. Pour l'instant, la France utilise la méthode de la diffusion gazeuse. Ce procédé fonctionne bien, mais est très gourmand en énergie. La méthode chimique était une alternative en concurrence avec la séparation par laser, qui n'a jamais fonctionné, et la centrifugation qui sera utilisée dans l'avenir en France.

50. Les batteries vendues en ce moment sont des « lithium-ion ». Ce qu'avait découvert un chercheur français du CNRS, Michel Armand, c'est la possibilité de faire des batteries beaucoup plus efficaces avec un polymère conducteur comme électrolyte. Son procédé va probablement révolutionner prochainement les batteries des voitures électriques.

51. Jean Teillac (1920-1994).

perruque, c'est-à-dire sans autorisation, des expériences de ce type, il leur interdit de continuer.

Georges Lonchamp, qui avait fait une partie de ses études à l'ENSEEG, rencontra son directeur Pierre Hicter, qui lui proposa d'héberger ses expériences dans ses locaux. Les résultats n'étaient pas au rendez-vous, mais il eut la chance de rencontrer à plusieurs reprises Stanley Pons et Martin Fleischmann. En effet, les deux découvreurs s'étaient installés à Sophia-Antipolis, près de Nice, dans un laboratoire appartenant au groupe automobile japonais Toyota. La pression à la fois médiatique et scientifique était devenue très forte, et il était devenu de plus en plus difficile pour eux de travailler dans la sérénité. C'est alors que Minora Toyoda, le président de cette société, leur proposa de leur fournir un laboratoire avec tous les moyens financiers nécessaires. Ils avaient le choix entre le Japon ou la France. Sans hésitation, ils choisirent la France, probablement à cause des origines italiennes de la famille Pons et de la proximité de la Grande-Bretagne pour Martin Fleischmann. C'est donc à Sophia-Antipolis que Georges Lonchamp put avoir des échanges avec eux. Pour lui faciliter la tâche, ils lui donnèrent des cellules identiques à celles qu'ils utilisaient eux-mêmes, et lui communiquèrent tous les détails nécessaires pour réussir. Georges Lonchamp est l'un des rares scientifiques qui ait reproduit exactement l'expérience originelle.

SÉJOUR À GRENOBLE

J'avais ramené dans ma valise mon petit réacteur bricolé avec les moyens du bord. Quand Georges Lonchamp prit contact avec moi, je lui apportai mon matériel. Il le trouvait trop rustique, et ensemble nous construisîmes un nouvel appareillage de meilleure qualité. Ma famille était restée aux États-Unis et, par

commodité, je me suis installé à Grenoble, cette fois en faisant la navette avec Marseille pour y enseigner.

Ma situation à Grenoble était ambiguë. Georges Lonchampt passait son temps entre le CEA et l'ENSEEG, et j'étais en procès avec le CEA pour contrefaçon au sujet des écrans plats. D'un côté, j'attaquais le CEA, et de l'autre, je travaillais pour eux sur la fusion froide. La situation était un peu schizophrénique.

LES EXPÉRIENCES À GRENOBLE

Une fois le procès terminé, nous avons pu poursuivre nos travaux. Nous avons travaillé sur les électrolytes solides, mais aussi sur la reproduction exacte de l'expérience de Pons et Fleischmann. Nous nous intéressâmes à une expérience très prometteuse de Bill Patterson. Cet ingénieur américain avait travaillé sur des catalyseurs fabriqués de manière originale. Il avait utilisé de petites billes de polystyrène de moins d'un millimètre de diamètre. Il avait déposé à leur surface par voie électrochimique trois couches successives : du palladium, du nickel et encore du palladium. Il lui en restait un petit stock, et quand la découverte fut annoncée, il eut l'idée de les utiliser pour faire des expériences de fusion froide. Cependant, au lieu d'utiliser de l'eau lourde, il utilisa de l'eau ordinaire et un électrolyte contenant du sulfate de lithium. Sa conception de la cellule était elle aussi différente. Il prit un tube en plastique rempli de ses billes, et mit des électrodes de titane à ses deux extrémités. Il faisait circuler l'électrolyte au travers du tube. Cela simplifiait énormément la mesure de la chaleur. Il avait mis une sonde de température à chaque extrémité et, connaissant le débit d'électrolyte et la différence de température, il pouvait ainsi calculer la chaleur dégagée sans avoir besoin de calibration. En 1995, alors que j'étais toujours aux États-Unis, il fit une démonstration à Los Angeles. Je pus observer par moi-même un dégagement de chaleur de 500 watts, avec une

puissance d'entrée négligeable. La veille, ils avaient obtenu 1 000 watts. La cellule de cette démonstration était différente de celle de départ. Il y avait trois étages successifs, et apparemment, des aimants. L'information étant confidentielle, je n'en appris pas suffisamment pour essayer de la reproduire. Les jours suivants, la puissance produite diminuait régulièrement. Il y avait donc un problème de tenue du matériau, ce qui était relativement compréhensible puisque les dépôts métalliques sur les billes de polystyrène étaient fragiles et pouvaient se décoller quand ils se remplissaient d'hydrogène. Le fait de mettre de l'hydrogène dans un métal change ses dimensions et modifie l'adhésion de celui-ci sur le support.

La société CETI, productrice de ces cellules, proposa à des chercheurs d'en acheter pour faire des essais indépendants. Nous nous mîmes sur les rangs. En 1996, je suis donc retourné aux États-Unis pour apprendre leur façon de procéder. Après des explications détaillées, nous avons reçu un kit complet. Ils ne nous avaient fourni que très peu de billes. Plutôt que de les gaspiller, nous avons décidé d'en fabriquer nous-mêmes. La société Mécaprotec à Toulouse avait un procédé de fabrication similaire. Ils pouvaient en produire de grandes quantités. Nous avons essayé ces billes françaises, mais les résultats ne furent pas assez probants pour être publiés. Nous n'avions obtenu, au mieux, que quelques pour-cent d'énergie en plus. Ce n'était pas assez pour nous convaincre nous-mêmes, encore moins pour convaincre les autres.

RETOUR À MARSEILLE

Après le départ à la retraite de Georges Lonchamp en 2000, je dus rejoindre mon laboratoire de Marseille, et comme personne à Grenoble ne souhaitait persévérer dans cette discipline, je pus ramener l'essentiel du matériel. Cela m'a permis

de continuer dans de bonnes conditions malgré le très faible niveau de moyens financiers dont je dispose depuis. Sur place, j'ai pu obtenir des locaux et poursuivre mes travaux. En plus, je n'avais plus à faire de navettes pour enseigner. Tout était sur place, cela faisait longtemps que je n'avais eu ce confort-là.

RENCONTRE AVEC STANLEY PONS ET MARTIN FLEISCHMANN

Dès que j'ai pu, j'ai pris contact avec Stanley Pons et Martin Fleischmann. Ils m'ont immédiatement invité à visiter leur laboratoire à Sophia-Antipolis. Mon souhait de les rencontrer se réalisait enfin. Ce sont deux personnes charmantes, intelligentes, et le courant est tout de suite passé entre nous.

En 1996, à la conférence ICCF6 au Japon, Stanley Pons fit un exposé sur leur nouvelle expérience ICARUS 9 permettant de fonctionner de manière continue à l'état d'ébullition. Son exposé fut plutôt médiocre, il passa le plus clair de son temps à présenter la calibration de l'appareil, et insista peu sur les résultats, pourtant très intéressants. Ce fut sa dernière apparition en public. Peu de temps après, à la mort de Minora Toyoda, leur équipe fut dissoute.

Martin Fleischmann retourna en Angleterre, tandis que Stanley Pons restait encore quelque temps à l'IMRA. Il était de toute évidence occupé à terminer une série d'expériences de nouvelle génération de type ICARUS déjà en cours. Il travaillait aussi avec ses deux collègues, Jeanne et Thierry Roulette, sur de nouvelles expériences de catalyse en phase gazeuse à haute pression. Comme me l'a dit Stanley Pons : « Ces deux chercheurs ont travaillé avec moi dès le début, et ont participé à la conception et au fonctionnement des expériences les plus importantes. »

Je continue à avoir d'excellents rapports avec les deux découvreurs, surtout avec Stanley Pons qui m'a invité plusieurs fois chez lui. Alors que Martin Fleischmann est à l'aise avec le public, Stanley Pons est beaucoup plus réservé et n'aime pas la foule. Il souhaite vivre dans la tranquillité, loin de tout ce remue-ménage.

Je suis une des rares personnes du milieu de la fusion froide à qui il a donné ses coordonnées. Lorsqu'un journaliste ou quelqu'un d'autre essaie de le joindre, je sers de boîte à lettres, lui transmets les messages. J'ai une très grande amitié pour lui, un homme très humain qui a été gravement atteint par ces événements.

LE MERCURE ROUGE

En septembre 1994, je reçus un appel de Francis Forrat qui m'informa d'un article paru dans le magazine *Science et Vie*. D'après l'auteur, il existait un trafic international sur un produit extraordinaire, le mercure rouge. De l'antimoniote de mercure⁵² qui, une fois irradié dans un réacteur nucléaire, aurait des propriétés extraordinaires. Cet article avait été écrit, disait le magazine, à la suite de révélations faites par le journal russe *Pravda*. D'après ce journal, ce matériau aurait la capacité de réfléchir les neutrons. Cette propriété permettrait de fabriquer des bombes atomiques plus petites en abaissant leur masse critique. On ne savait pas si cette information était vraie ou simplement de l'intox. Un trafic de mercure rouge très lucratif aurait commencé avec certains pays, dont la Libye. Francis Forrat me fit remarquer que la structure de cet oxyde bimétallique ressemblait tout à fait à celle de l'aluminate de lanthane que nous avons utilisé pour nos expériences. D'après lui, les Russes

52. $\text{Hg}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$.

réalisaient probablement une réaction de fusion froide. Il ne s'agirait donc pas d'un réflecteur, mais plutôt d'un générateur de neutrons.

Mais comment se procurer ce produit magique ? J'en parlai à un collègue d'origine russe du laboratoire. Il m'assura que si je payais, il pourrait m'en procurer par l'intermédiaire d'un de ses collègues venant prochainement à Paris. Effectivement, quelques semaines plus tard, son ami vint, mais le tança. Il était très dangereux de parler de mercure rouge en Russie, même par téléphone. Évidemment, il n'avait rien apporté avec lui.

LES RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Un peu plus tard, à l'occasion d'un de mes passages à Marseille, pendant mon séjour à Berkeley, quelle ne fut pas ma surprise d'être interviewé par un journaliste du journal *Le Provençal*. Il avait été informé de mes travaux et souhaitait en savoir plus. On me fit l'honneur d'une photo en première page et d'un long article sur la dernière. Suite à cela, je fus contacté par les Renseignements généraux. Le général Jean Guyaux, un polytechnicien, me reçut. Il connaissait très bien la mécanique quantique. Nous discutâmes longuement de la fusion froide, mais je ne crois pas avoir réussi à le convaincre.

À un moment donné, nous parlâmes du mercure rouge. Il connaissait évidemment très bien le sujet. Il y avait eu une saisie en France de plusieurs kilos et il en avait sur son bureau. D'après lui, le produit avait été analysé par le CEA, et il n'y avait rien d'anormal. Il me proposa de m'en envoyer, et effectivement, quelque temps après, je reçus un petit flacon contenant ce fameux produit. Après l'analyse aux rayons X que j'effectuais, il était certain que ce n'était qu'un mélange d'oxydes d'antimoine et de mercure. Ce n'était pas du mercure rouge. Soit le produit

n'avait jamais existé, soit étant instable, il s'était décomposé pour revenir à ses composantes de départ.

Un an plus tard, à la réunion internationale sur la fusion froide ICCF5 à Monaco, je revis le général Jean Guyaux. Il faisait son travail de surveillance, et était venu incognito sous un nom d'emprunt ! Peut-être lui avais-je mis finalement un doute dans la tête ?

MICHEL RAMBAUT

Michel Rambaut⁵³ était ingénieur de l'École supérieure d'électricité et était employé par le CEA au centre CESTA près de Bordeaux dépendant de la Direction des applications militaires. Au moment de la découverte de la fusion froide, il faisait des expériences de passage de très forts courants dans des conducteurs très fins avec du deutérium. Il m'expliqua qu'il avait observé un dégagement de rayons X inhabituel, et qu'à la suite de cette observation son laboratoire fut fermé et qu'il fut mis à la retraite. C'était un homme fort sympathique et nous nous étions liés d'amitié. En plus de ses qualités expérimentales, il était également théoricien. Il avait développé une théorie fondée sur des amas⁵⁴ d'électrons pour expliquer la fusion froide. Il est malheureusement maintenant décédé.

JACQUES DUFOUR

Jacques Dufour est un ingénieur de l'École des mines de Paris. En 1989, au moment de l'annonce de la découverte de la fusion froide, il était responsable des relations scientifiques pour le groupe Shell. Il avait une expertise dans le domaine

53. Michel Rambaut (1929-2009).

54. Le terme anglais correspondant est *cluster*.

des décharges dans les gaz. Il proposa donc à sa hiérarchie d'étudier des décharges dans du deutérium avec des électrodes en palladium. Après avoir fait un certain nombre d'expériences, il observa des dégagements de chaleur anormaux. La Shell n'était pas un cadre approprié pour ce type de travaux, puisqu'il s'agissait de réactions nucléaires. On lui demanda donc de trouver un laboratoire pouvant faire des analyses adéquates. Après diverses tentatives infructueuses, il finit par rencontrer le professeur Jacques Foos du Conservatoire national des arts et métiers à Paris, ce qui lui permit d'initier une collaboration avec ce laboratoire.

En 1993, il s'installa dans les locaux du CNAM où il y conduisit ses travaux jusqu'en 2011. Après un changement de direction, il dut quitter l'établissement et travaille maintenant dans son laboratoire personnel à Paris.

PIERRE CLAUZON

Pierre Clauzon, polytechnicien, a fait l'essentiel de sa carrière à Framatome⁵⁵. Spécialiste de neutronique, il avait travaillé au développement de réacteurs nucléaires de type surgénérateur⁵⁶, en particulier Superphénix, programme arrêté en 1998 à la suite des accords entre le Parti socialiste et les écologistes. À l'annonce de la naissance de la fusion froide en 1989, il était responsable du service études et expertises. Il rencontra alors les personnes intéressées par cette dernière, en particulier Jean-François Fauvarque, normalien, et professeur au CNAM. Michel Genet de

55. Framatome fait maintenant partie d'Areva.

56. Un surgénérateur est un réacteur de 4^e génération, produisant du plutonium à partir de l'uranium naturel, qui peut être réutilisé comme combustible.

l'IN2P3⁵⁷ ayant reçu la visite de Jacques Dufour, lui demanda un rendez-vous. Une rencontre eut lieu avec Jacques Foos, et une collaboration commença entre la Shell, EDF et le CNAM.

En 1996, il prit sa retraite. C'est à cette époque que son ami Jean-Louis Naudin⁵⁸ lui parla de l'expérience de Tadahiko Mizuno. Celle-ci consistait à faire une électrolyse d'eau légère à haute tension avec une cathode en tungstène. Il se mit alors à reproduire lui-même cette expérience. Elle est décrite plus en détail dans le chapitre sur la production de chaleur. Il obtint des résultats positifs, mais ne disposant pas d'un laboratoire personnel, il a du mal à continuer ses travaux. Nous planifions maintenant une collaboration à Marseille afin de reproduire de manière plus simple ses résultats.

JEAN-LOUIS NAUDIN ET EDF

En France, il y a très peu de chercheurs indépendants, ce qui n'est pas le cas aux États-Unis où il est courant que des amateurs se lancent dans des expériences en tout genre. On connaît les débuts de la micro-informatique, née dans un garage. Dans la fusion froide, la même démarche a eu lieu. Plusieurs équipes travaillent de manière autonome dans des laboratoires privés, subventionnés soit par le chercheur lui-même, soit par un mécène.

Jean-Louis Naudin est l'exception française. C'est un bricoleur de génie avec de très bonnes connaissances en électromagnétisme. Il a refait un grand nombre d'expériences de fusion froide, mais

57. L'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules est un laboratoire du CNRS.

58. Pierre Clauzon et Jean-Louis Naudin avaient une passion commune, les modèles réduits d'avion télécommandés.

aussi des montages électriques. Il est un champion de la vulgarisation, et ses expériences sont illustrées de schémas, photos et vidéos sur son site⁵⁹. En particulier, il reproduisit avec succès l'expérience du Japonais Tadahiko Mizuno. Cela a conduit EDF à l'embaucher pour refaire en interne cette même expérience avec des moyens bien supérieurs. Elles ont effectivement été reproduites avec succès dans l'un de leurs centres, mais après quelques années, et la privatisation partielle d'EDF, qui a conduit à la baisse des financements pour la recherche dans l'entreprise, le programme a été arrêté. Jean-Louis Naudin a récemment repris ses propres travaux dans une structure privée.

LE « CININNATI GROUP »

En 1997, la communauté de la fusion froide apprend que deux personnes habitant la ville de Cincinnati dans l'État de l'Ohio aux États-Unis, connues sous le nom mystérieux de « Cinninnati Group », auraient fait des expériences remarquables. Ce groupe se composait en fait de deux techniciens sans connaissances scientifiques particulières, Don Holloman et Stan Gleeson, mais très attachés à la religion. Leurs expériences étaient conçues à partir de schémas « d'inspiration divine ». Ils ne savaient pas exactement ce qu'ils faisaient, mais le faisaient quand même. Leur cellule expérimentale était très simple. Ils utilisaient une électrode en zirconium placée dans une cellule étanche, et appliquaient directement la tension provenant du secteur. Ils disaient observer des transmutations, avec formation de cuivre. En mettant un sel de thorium (un métal radioactif) comme électrolyte, ils observaient une diminution de la radioactivité.

59. Le site personnel de Jean-Louis Naudin : <http://jlnaudin.free.fr>.

Je les rencontrai en Italie en 1998 à l'occasion d'un atelier de travail à Asti. Don Holloman et Stan Gleeson étaient très sympathiques, et nous sommes convenus qu'ils m'enverraient un échantillon de leur électrolyte pour analyse. Ce qu'ils firent. À ma grande surprise, en faisant une analyse isotopique, je découvris dans le liquide de l'uranium enrichi en uranium 235 à 11 % par rapport à l'uranium 238, alors que dans la nature, la proportion n'est que de 0,7 %. Cette observation était donc totalement inhabituelle. À ce jour, je ne sais toujours pas ce qui s'est passé. Était-ce dû à une transmutation ou à une contamination du zirconium ? Cette dernière hypothèse est difficile à imaginer. Quant à la possibilité de transmutation, ceci est encore moins compréhensible.

Malheureusement, tous les deux sont morts peu après d'un cancer. Y a-t-il une corrélation entre leurs maladies et leurs expériences ? Je ne sais pas. Cependant, peu de temps avant, une expérience similaire avait été réalisée en Italie par l'équipe de Francisco Celani, qui aurait montré la formation de cuivre. Coïncidence ou non, un des membres de cette équipe est aussi décédé d'un cancer. Y aurait-il un rayonnement connu ou inconnu qui se produirait dans certaines conditions ?

HERVÉ BOTTOLLIER-CURTET

J'ai rencontré Hervé Bottollier-Curtet au début des années 2000. Il avait travaillé pour le CEA à la Direction des applications militaires près de Bordeaux. Il s'intéressait à la fusion froide, et nous eûmes de nombreux échanges et collaborations. En particulier, il fit des recherches bibliographiques sur les anomalies isotopiques observées dans la nature, suggérant que celles-ci n'étaient pas explicables par des mécanismes habituels. C'est à son initiative que nous avons analysé des pièces d'argent

supposément alchimiques provenant du musée de Nuremberg. Le détail de ces travaux est décrit dans le chapitre sur l'alchimie.

GEORGES LOCHAK

En 2003, je fus invité par Georges Lochak, que je ne connaissais pas du tout, à venir donner une conférence sur la fusion froide à l'École des mines de Paris. Cette réunion était organisée sous les auspices de la Fondation Louis-de-Broglie, dont Georges Lochak est le président. L'objet de la conférence était de réunir des chercheurs travaillant à la marge de la science officielle. Il avait développé une théorie des monopôles magnétiques légers pouvant expliquer la fusion froide, ainsi que d'autres phénomènes inhabituels. Sa théorie est expliquée dans le chapitre sur les théories de la fusion froide.

C'est à l'occasion de cette réunion que j'ai rencontré pour la première fois le scientifique russe Leonid Urutskoev du célèbre Institut Kourtchatov de Moscou. C'est lui qui a découvert expérimentalement les monopôles magnétiques. Il créait des décharges électriques dans des feuilles de titane, et avait observé des transmutations d'éléments métalliques ainsi que la production d'un rayonnement nouveau. Plus de détails sur ses travaux sont donnés dans le chapitre sur les transmutations en fusion froide.

C'est lors de cette réunion que j'ai rencontré la journaliste de *Science et Vie*, Cécile Bonneau. Par la suite, en 2004, elle écrit un excellent article sur la fusion froide et les transmutations biologiques⁶⁰.

60. *Science et Vie*, n° 1099, mai 2004.

ICCF11 À MARSEILLE

En août 2003 eut lieu la 10^e conférence internationale sur la fusion froide à Boston aux États-Unis, organisée par Peter Hagelstein, physicien théoricien du MIT. Comme à chacune de ces réunions, un comité dont je faisais partie depuis 1995 choisissait la personne qui allait organiser la conférence suivante. Ces conférences internationales sont organisées depuis le début séquentiellement sur trois continents : Amérique, Europe, Asie. En 2004, c'était le tour de l'Europe. Jusque-là, il n'y avait pas eu de réunion de ce type en France, c'était donc une occasion inespérée pour moi de l'organiser à Marseille. Ma proposition fut acceptée à l'unanimité.

Dans ce genre de conférences, l'organisateur est « dieu ». Il a l'entière liberté de la gérer comme il l'entend. Cette manière d'opérer me plaisait beaucoup, car je disposais d'une totale autonomie, avec tous les risques y attendant. C'était la première fois de ma vie que je me lançais dans une telle aventure. Jusque-là, je ne me sentais pas suffisamment concerné pour faire un tel travail. Mais là, c'était différent. Je pensais que je pourrais peut-être apporter un plus au domaine. Je souhaitais mettre à profit cet événement pour présenter la fusion froide à la France par l'intermédiaire de la presse. Il me semblait que c'était aussi l'occasion de la présenter à mes collègues de la faculté des sciences de Luminy.

La première difficulté fut d'ordre organisationnel. Habituellement, dans une situation similaire, les collègues et l'administration locale du laboratoire sont mis à contribution. Dans mon cas, j'étais seul à travailler sur ce thème, et de surcroît, ce sujet

n'était pas reconnu par le CNRS⁶¹. Je n'avais donc aucun soutien possible. J'ai demandé l'aide de ma fille Mélanie pour tout ce qui concernait l'administration, et de mon fils Gabriel pour la gestion des enregistrements et la création d'un café Internet. Ma compagne Rachel a de son côté construit le site Internet⁶². Les conférences, ainsi que l'hébergement des congressistes se firent dans les locaux de l'hôtel Mercure de Marseille, proche du Vieux-Port. Le risque financier était important, je n'avais aucune solution au cas où il y aurait un déficit. C'était ma responsabilité entière, il fallait que je m'en sorte seul quoi qu'il arrive.

Mon souhait était de faire venir la presse locale et nationale. Pour cela, j'avais besoin d'une « tête d'affiche ». Il se trouvait que Mike McKubre de SRI International à Palo Alto, un vétéran de la fusion froide aux États-Unis, connaissait Brian Josephson, un prix Nobel de physique britannique ouvert aux sciences non classiques. Je lui ai envoyé une invitation qu'il a immédiatement acceptée. Il vint avec sa femme en vol *low cost*, ce qui m'a impressionné. Bien que lauréat du prix Nobel, il n'avait pas la « grosse tête » !

La conférence eut lieu du 31 octobre au 5 novembre 2004. Le jour de l'ouverture, la pression était très forte ; il fallait tout gérer, les personnes retardataires, celles qui n'avaient pas de financement, mais qu'il fallait quand même accueillir gratuitement avec le risque d'un déficit, le stress de la première session, et sans oublier de prendre soin de mon troisième enfant, Margot, qui avait à peine cinq mois. En pratique, tout s'est très bien déroulé. Ma fille Mélanie a géré parfaitement l'arrivée des congressistes, et mon fils Gabriel a fait fonctionner le café Internet et a filmé

61. Le CNRS ne reconnaît toujours pas la fusion froide comme un sujet scientifique sérieux, et ne le finance pas.

62. www.iccf11.org.

toutes les séances. J'attendais des journalistes, mais aucun d'entre eux n'est venu, malgré toutes mes tentatives de les intéresser au sujet. La fusion froide n'était pas encore un thème acceptable pour le grand public.

Je voulais aussi faire partager cette science à mes collègues de Marseille. J'avais donc organisé une session d'une journée à la faculté des sciences sur le campus de Luminy. J'avais même prévu une démonstration dans le hall d'entrée. Il était important que les présentations soient les plus intéressantes possibles. Comme à chaque conférence depuis 1989, Martin Fleischmann était présent. Je pensais qu'en lui donnant la parole, les enseignants et les chercheurs de Luminy seraient convaincus de la réalité de la fusion froide. J'espérais qu'il présenterait des résultats significatifs démontrant que leurs propres expériences étaient convaincantes. À ma grande déception, il fit un exposé plus philosophique que pratique, se lançant dans des considérations théoriques que personne ne comprenait. Les autres intervenants firent des exposés plus intéressants et accessibles, mais cela ne suffit pas à faire basculer l'opinion générale du peu de chercheurs présents dans la salle.

La démonstration prévue ne fonctionna pas très bien. C'était une expérience fondée sur une proposition de John Dash de l'université de Portland dans l'Oregon. Il avait mis au point un système très simple de comparaison entre une cellule avec de l'eau lourde et une autre avec de l'eau ordinaire. À la fin de la première journée de conférence, nous avons passé une soirée entière à essayer de la faire fonctionner, mais sans résultat probant. Peu de personnes s'intéressèrent à l'expérience même, pourtant bien en vue dans le hall.

En dépit de toutes ces difficultés d'organisation, de stress et de risques, cette conférence fut un grand succès avec 172 partici-

pants de 20 pays différents. En particulier, une équipe allemande dirigée par le professeur Armin Huke montra des résultats expérimentaux d'interaction de noyaux d'hélium-4 de faible énergie avec des cibles de métaux deutérés. Ces données prouvaient que le taux de réaction ne correspondait pas aux modèles classiques. Il fallait ajouter un effet d'écrantage électronique pour analyser correctement les mesures. Les auteurs, bien que n'appartenant pas au milieu de la fusion froide, pensaient ainsi pouvoir expliquer le phénomène.

NICOLAS ARMANET

En octobre 2004, quelques jours avant la conférence ICCF11 à Marseille, je reçois un appel téléphonique de Nicolas Armanet, un jeune technicien chimiste, travaillant à Lyon. Il avait lu l'article de *Science et Vie* sur la fusion froide, et était enthousiasmé par le sujet. Son souhait était de travailler avec moi dans mon laboratoire. Il n'avait pas pu venir à la conférence de Marseille. Nous nous sommes rencontrés quelques mois plus tard à Sienne en Italie, à l'occasion d'un atelier de travail. Au paradis dans cet univers de scientifiques passionnés, sa détermination s'en trouva décuplée.

Je n'avais quasiment pas de crédits pour mes travaux de recherche, et certainement pas de quoi lui verser un salaire. Mais sa ténacité finit par payer. Il quitta son poste et s'inscrivit comme étudiant en licence à la faculté des sciences de Luminy. Pendant près de deux ans, de septembre 2006 à juin 2008, il travailla avec moi, en participant activement à toutes les expériences. En juin 2007, je me trouvais dans l'impossibilité d'aller à la conférence ICCF13 à Sotchi en Russie, c'est donc lui qui présenta nos résultats. Il y fit un exposé très remarqué, ce qui lui donna une notoriété certaine dans le milieu. À la suite de

cette intervention, il fut recruté par un laboratoire italien en Sicile créé par la Fondation Fulvio Frisone. Il y resta près de deux années.

FULVIO FRISONE

Né en 1966 en Sicile, sa naissance fut particulièrement difficile, avec un accouchement qui avait duré vingt et une heures. Les séquelles furent terribles : il ne pourrait ni marcher ni parler. Sa mère, Lucy, fit tout son possible et même plus, pour que son fils suive une scolarité normale. Elle réussit même à le faire entrer à l'université où, depuis son fauteuil roulant, il fit de brillantes études en physique théorique. Il obtint même un poste de professeur. Aujourd'hui, il est toujours incapable de parler correctement et a besoin en permanence de quelqu'un pour rendre ses paroles intelligibles. En 1989, à l'annonce de la découverte de la fusion froide, il développa, pour soutenir sa thèse de doctorat, une théorie de la fractofusion pour expliquer le phénomène. Malgré son handicap, il participe à presque toutes les conférences sur la fusion froide, y donnant souvent des exposés sur ses derniers travaux.

Ayant acquis une grande célébrité en Sicile et aussi dans toute l'Italie, en 2004 une fondation portant son nom fut créée. C'est dans cette nouvelle unité que Nicolas Armanet a travaillé pendant deux ans.

JACQUES KURKDJIAN ET MICHEL BUXEROLLES

Jacques Kurkdjian et Michel Buxerolles sont tous deux retraités du CEA de Cadarache. Spécialistes de la détection de neutrons, dès l'annonce de la fusion froide, ils décidèrent de faire une expérience d'électrochimie, avec comme objectif de

détecter des neutrons. Ils utilisèrent comme cathode un tube de palladium, fermé à une extrémité, provenant d'un purificateur d'hydrogène. Ils observèrent une production de neutrons qui augmentait de manière continue. Malheureusement, un orage éclata et interrompit l'expérience. Dès que le courant fut rétabli, la quantité de neutrons diminua lentement jusqu'à disparaître. Au cours de cette opération, le détecteur de neutrons était équipé d'une source interne de neutrons afin d'en calibrer exactement le nombre. Ils décidèrent de refaire cette expérience sans cette source interne. Aucun neutron ne fut détecté. Cette contre-expérience montrait que des neutrons avaient peut-être un rôle de déclencheur de la réaction de fusion froide. Comme tous les scientifiques du CEA travaillant sur la fusion froide, ils durent malheureusement arrêter leurs travaux.

Au début des années 2000, Jacques Kurkdjian me contacta pour entamer une collaboration. Grâce à lui et Michel Buxerolles, je pus obtenir des électrodes similaires à celles qu'ils avaient utilisées, et cela me permit de refaire des expériences analogues aux leurs. Malheureusement, n'ayant pas accès à une source de neutrons, je n'ai pas pu reproduire exactement leurs travaux. En revanche, j'ai pu utiliser les tubes de palladium dans d'autres conditions qui ont donné des résultats positifs.

FABRICE DAVID

À l'occasion de la conférence ICCF11 à Marseille en 2004, j'avais rencontré Fabrice David, un chercheur indépendant ayant d'excellentes connaissances en physique nucléaire. Dès 1990, il avait déposé un brevet indiquant la possibilité de produire directement de l'électricité en mettant en contact du palladium avec un semi-conducteur jouant le rôle de diode. Il fabriquait une sorte de cellule solaire dont l'énergie serait fournie non pas

par la lumière, mais par une excitation du réseau créée par la réaction de fusion froide. À l'occasion de la conférence ICCF14 à Washington, il avait présenté avec son collègue anglais John Giles les résultats obtenus avec une cellule produisant directement de l'électricité. Évidemment, fabriquer un générateur produisant directement de l'électricité sans passer par un procédé mécanique serait très intéressant. Il souhaitait améliorer le système et me proposa une collaboration. Finalement, nous avons commencé un travail qui est toujours en cours.

FRÉDÉRIC HENRY-COUANNIER

Dans les années 2000, je reçus plusieurs e-mails de la part de Frédéric Henry-Couannier, un enseignant-chercheur du CPPM de Luminy : il se plaignait de la difficulté qu'il avait à publier ses recherches théoriques sur la gravitation. Je n'étais pas le destinataire unique de ces courriers électroniques, il les envoyait à tous les membres du département de physique dont nous faisions tous les deux partie.

À l'époque je ne prêtai pas attention à ces messages, car la relativité générale n'est pas du tout dans mes domaines de compétences. Néanmoins, petit à petit, nous avons fait connaissance, et il m'expliqua sa théorie de manière simple. Il me parlait des différentes anomalies gravitationnelles observées récemment, et en particulier de « l'effet *Pioneer* ». Les deux sondes spatiales américaines *Pioneer* avaient été lancées dans l'espace il y a plus de trente ans, et une fois leur mission d'observation planétaire achevée, les deux engins spatiaux s'étaient éloignés pour quitter un jour notre système solaire. Ces deux petites sondes ne faisaient plus que des mesures régulières de leur environnement. Cependant, on s'aperçut il y a quelques années qu'aux environs de leur

passage à une distance équivalente à celle qui sépare Saturne de la Terre, les deux sondes avaient subi une décélération anormale.

Il ne s'agissait probablement pas d'un artefact⁶³ (tous les effets systémiques envisagés semblaient avoir été exclus), on ne pouvait pas interpréter cette décélération avec les lois de la gravitation habituelles. Différentes spéculations ont été faites par des théoriciens, mais il n'y a pas encore d'explication universellement acceptée de ce phénomène. Or, la théorie de Frédéric Henry-Couannier pouvait très simplement l'expliquer. Lorsque j'ai finalement compris l'essence de son modèle, nous nous sommes rencontrés régulièrement pour en discuter.

Il se trouve que sa théorie de la gravitation est suffisamment ouverte pour pouvoir éventuellement expliquer la fusion froide. Depuis, Frédéric Henry-Couannier a fait ses propres expériences dans sa cuisine, avec différentes poudres métalliques. Il a maintenant attrapé le « virus » de la fusion froide, et nous avons des échanges fréquents sur tous ces thèmes.

DAG ZEINER-GUNDERSEN

En 2007, au cours de l'atelier de Catania en Sicile, j'ai fait la connaissance de Dag Zeiner-Gundersen, un Norvégien qui avait travaillé toute sa vie dans le domaine pétrolier et venait de se reconvertir dans les turbines marines destinées à produire de l'électricité par les courants marins. Il était intéressé par la fusion froide et souhaitait collaborer avec un laboratoire. Rapidement, nous nous liâmes d'amitié et décidâmes de travailler ensemble. Sur la nappe en papier du restaurant où nous déjeunions, nous jetâmes les premières idées de nos projets communs. Ce fut un

63. D'après de nouvelles analyses, il s'agirait bien d'un artefact.

moment très agréable. Et le point de départ de notre série de réunions de *brainstorming*.

Au cours des années suivantes, il vint à Marseille deux à trois fois par an. Ces jours-là étaient des moments inoubliables. Pendant des longues discussions autour d'un café ou pendant un déjeuner, nous jetions des idées en l'air, les critiquions, revenions dessus. Finalement, nous faisons des expériences avec le matériel dont nous disposions. Au bout de quelques jours de discussions et d'expériences, nous nous séparions, la tête pleine de projets pour l'avenir.

Il décida ensuite de créer son propre laboratoire à Oslo, et c'est moi désormais qui fais des séjours réguliers là-bas pour l'aider à le mettre en place. J'en profite pour initier son fils Sindre à cette nouvelle science.

LES ÉLECTROLYTES SOLIDES

Dès le début, les idées de Francis Forrat m'ont beaucoup intéressé. Utiliser des oxydes métalliques dans une atmosphère gazeuse me plaisait. Potentiellement, l'idée était séduisante. On devrait pouvoir ainsi faire fonctionner le système à des températures élevées. Plus important encore par rapport à mes compétences, il n'y avait plus de liquides, mais des gaz. L'expérimentation devenait plus simple pour moi. J'entrais dans un domaine beaucoup plus familier.

La piste des électrolytes solides, fondée sur les oxydes métalliques, n'était pas la seule possible. Georges Lonchampt eut une idée intéressante. Il connaissait les travaux de Michel Armand sur les batteries lithium-polymères⁶⁴. Ces batteries au lithium sont

64. Les batteries lithium-polymère sont maintenant utilisées dans la « Blue Car » de Bolloré.

très performantes, car elles utilisent le lithium comme les autres batteries au lithium, mais sont très légères grâce à l'utilisation de polymères comme électrolyte. Georges Lonchampt avait travaillé au CEA sur des batteries utilisant cette technologie. Il eut l'idée de modifier l'électrolyte en remplaçant la molécule contenant le lithium par de l'acide phosphorique pour assurer la conduction protonique. Nous avons commencé les premières expériences à Grenoble puis, à mon retour, nous les avons continuées à Marseille. Georges Lonchampt préparait les couches conductrices dans son garage à Grenoble, puis me les envoyait par la poste. Je faisais les expériences de calorimétrie à Marseille. Les données étaient enregistrées sur un ordinateur, et accessibles à distance. Il pouvait donc suivre leur évolution en temps réel. Nous passions de longs moments chaque jour à en discuter par téléphone. Malheureusement, nos résultats n'ont pas été à la hauteur de nos espérances, et finalement nous avons abandonné cette piste de recherche.

LE NOUVEAU CALORIMÈTRE À FLUX MASSIQUE

En général, les expériences que nous, les expérimentateurs, réalisons ne sont pas toujours acceptées à leur juste valeur. Le plus souvent, nous sommes accusés de ne pas mesurer correctement les différentes puissances électriques et thermiques. Pour savoir si un excès d'énergie se produit au cours d'une expérimentation, il faut connaître avec précision la puissance électrique appliquée et la puissance thermique produite. Pour atteindre cet objectif, j'ai développé un calorimètre à flux massique de précision enlevant toute ambiguïté sur ces mesures.

LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE

En ce qui concerne l'électricité, on peut distinguer deux cas de figure. Le premier est celui des expériences avec du courant

variable. Dans ce cas-là, il est bien entendu difficile de déterminer avec précision la puissance électrique injectée dans l'appareil. Elle est le produit de la tension en volts, par le courant en ampères. Lorsque ces deux valeurs varient rapidement, et de manière aléatoire, il est très difficile de déterminer la puissance électrique, les instruments de mesure n'étant pas assez rapides pour enregistrer correctement les signaux. Il faudrait utiliser des wattmètres permettant de la mesurer exactement. Malheureusement, ceux de très haute qualité coûtent très cher. Même en utilisant ces instruments, on peut toujours en critiquer les résultats, en suggérant que des signaux encore plus rapides que ceux détectés par l'instrument seraient ignorés et minimaliseraient la puissance électrique appliquée.

Cette difficulté n'existe pas avec le courant continu, où il suffit de mesurer la tension et le courant et d'en faire le produit pour déterminer la puissance électrique avec une périodicité non critique, car les signaux n'évoluent que très lentement au cours du temps. Le calorimètre à flux massique que j'ai mis au point utilise cette deuxième solution.

LA PUISSANCE THERMIQUE

La réponse simpliste à la question de la mesure de la puissance thermique est d'utiliser un calorimètre. Mais ce n'est pas si simple. Il existe effectivement des calorimètres commerciaux, mais ils ne sont pas nécessairement adaptés aux expériences que nous désirons faire. Pons et Fleischmann avaient développé un calorimètre à flux thermique d'une grande simplicité. La cellule en verre où la réaction se produisait était placée dans un réservoir d'eau à température constante. En mesurant les températures à l'intérieur de la cellule, et celle du réservoir d'eau, ils en déduisaient simplement la puissance thermique dégagée. Bien que cette méthode soit très précise, elle est critiquable.

On peut se demander en particulier si la température mesurée est homogène dans l'ensemble de la cellule. Effectivement, s'il existe des parties de la cellule où la température est plus froide qu'à l'emplacement du point de mesure, la quantité de chaleur dégagée sera exagérée. Cette méthode nécessite également une calibration qui n'est pas forcément constante au cours du temps ou peut varier avec les puissances appliquées.

D'autres calorimètres à flux thermiques ont été développés utilisant des méthodologies différentes, mais ils souffrent tous de problèmes de calibration.

Une solution pour contourner ces difficultés est de développer un calorimètre à flux massique. On fait circuler dans le calorimètre un fluide, en général de l'eau. Connaissant le débit d'eau qui circule, et la différence de température entre l'eau entrante et celle sortante, on peut immédiatement calculer la puissance thermique sortant de la cellule.

LE CALORIMÈTRE À FLUX MASSIQUE EN GAZ

Dès mon retour à Marseille, j'ai mis au point un tel calorimètre. Il est constitué d'une double enveloppe en acier inoxydable permettant au flux d'eau de circuler entre les deux parois. La cellule dans laquelle les réactions se déroulent est placée au centre. L'espace entre la cellule et la double paroi est maintenu sous vide pour minimiser les pertes. On peut ainsi atteindre une température élevée avec une puissance de chauffe très faible⁶⁵. Cela permet d'avoir une grande sensibilité lors d'un dégagement de chaleur anormal.

65. On obtient 700 °C avec 45 watts thermique.

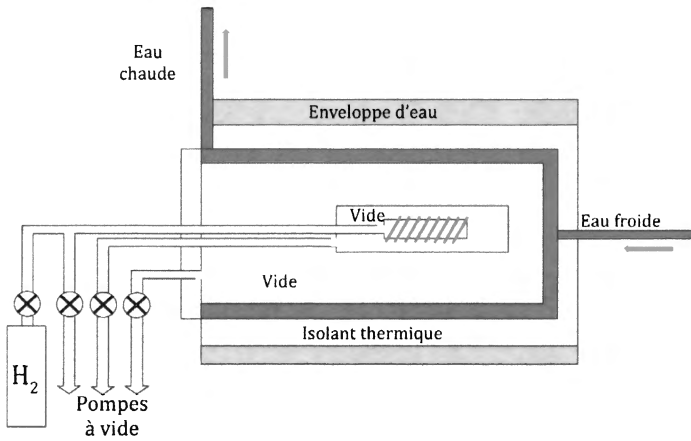


SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU CALORIMÈTRE À FLUX MASSIQUE

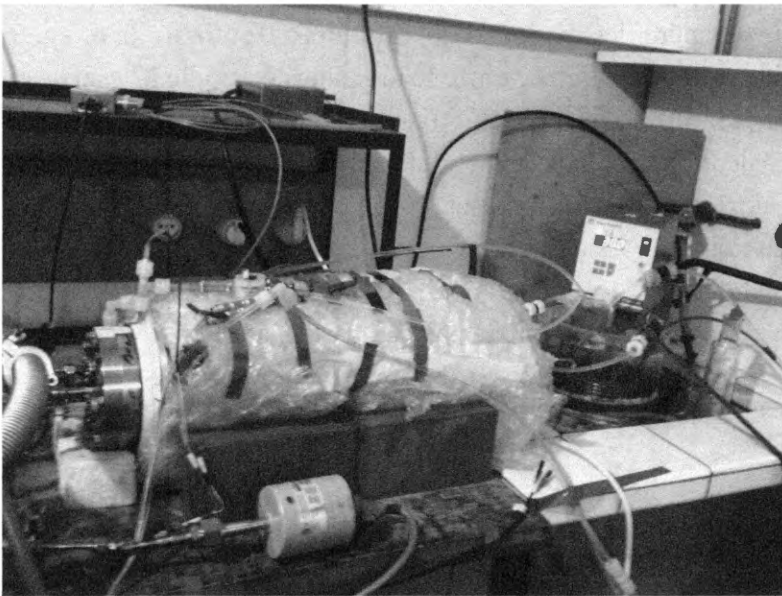


PHOTO DU CALORIMÈTRE À FLUX MASSIQUE

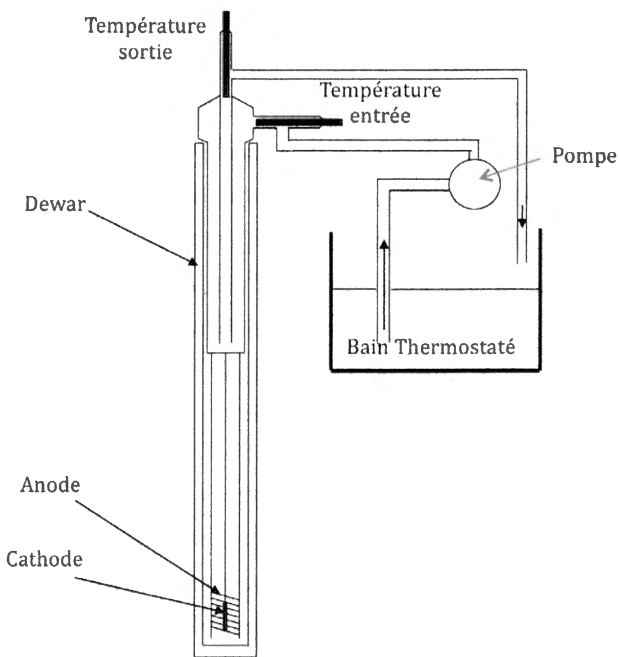
Ce calorimètre permet de travailler uniquement en phase gaz, sous des pressions allant du vide jusqu'à environ 30 atmosphères.

Avec Nicolas Armanet, nous avons pu montrer que lorsque du deutérium diffuse à travers les parois d'un tube de palladium, un dégagement de chaleur anormal d'environ 10 % se produit. D'autres expériences sont toujours en cours avec divers matériaux, en particulier des catalyseurs industriels utilisés dans l'industrie chimique.

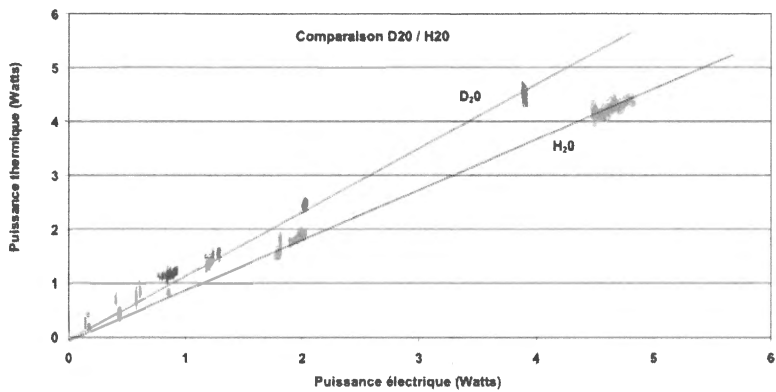
LE CALORIMÈTRE ÉLECTROCHIMIQUE À FLUX MASSIQUE

Pendant mon séjour à Grenoble, avec Georges Lonchamp, nous avons mis au point une cellule électrolytique dont la chaleur produite était mesurée par flux massique. Cela nous permettait de mesurer les puissances avec précision, mais aussi de pouvoir travailler en continu à la température d'ébullition de l'eau. Nous avons installé un système de condenseur permettant de récupérer les vapeurs d'eau produites. Il suffisait de mesurer l'écart de température entre l'eau à l'entrée et celle à la sortie et de la multiplier par le débit d'eau pour en déduire la quantité de chaleur produite. Cette méthode est tout à fait similaire à celle du calorimètre décrit ci-dessus. Notre cellule était similaire à celle de Pons et Fleischmann, sauf que l'ensemble de la cellule était métallisé, ce qui la rendait similaire à un thermos. La chaleur ne pouvant pas s'échapper par les parois latérales, celle-ci était entièrement récupérée par le condenseur.

MES EXPÉRIENCES DE FUSION FROIDE



SCHEMA SIMPLIFIÉ DU CALORIMÈTRE À FLUX MASSIQUE



En arrivant à Marseille en 2000, j'ai repris ces expériences : j'ai réinstallé le matériel et continué les travaux. J'espérais obtenir des gains d'énergie pour que les résultats soient suffisamment probants. Ce calorimètre m'a permis de mesurer des excès de chaleur anormaux au cours de plusieurs expériences. La figure précédente montre une comparaison entre une expérience avec de l'eau lourde, et une autre avec de l'eau ordinaire. On observe que l'expérience à l'eau lourde produit plus de chaleur que celle à l'eau ordinaire. Environ 20 % de plus.

MES TENTATIVES À HAUT RISQUE

Quand un chercheur décide de faire une expérience, il ne fait pas n'importe quoi. Il a une idée derrière la tête. Dans certains cas, il s'agit de vérifier expérimentalement une théorie. Ce fut le cas en 1919 quand Arthur Eddington alla en Afrique pour vérifier la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein. Cet astronome britannique mesura avec précision la position de certaines étoiles au cours d'une éclipse solaire. Il savait exactement ce qu'il cherchait, et ses mesures confirmèrent la théorie. Dans d'autres cas, le chercheur a une idée, mais ne sait pas comment faire pour la mettre en œuvre. Thomas Edison recherchait le matériau le plus adapté pour fabriquer les filaments des lampes à incandescence. Il essaya de nombreux matériaux, et finalement trouva que le carbone était parfaitement adapté.

Dans le domaine de la fusion froide, la situation est difficile car il n'y a pas, à l'heure actuelle, de théorie à vérifier. C'est l'inverse de ce qui s'est passé avec la relativité générale. Nous sommes plutôt dans la situation de Thomas Edison. Lorsque le bon matériau aura été produit, la théorie suivra. En attendant, chacun cherche avec ses propres idées plus ou moins bien établies.

J'ai peu de moyens financiers et humains. Je travaille quasiment seul, avec un budget plus que limité. Heureusement, j'ai ramené de Grenoble une grande quantité de matériels me permettant de préparer des expériences. Mon laboratoire m'apporte un soutien précieux : je peux demander l'aide de l'atelier de mécanique et des services électronique et informatique. Je peux également y faire des analyses au microscope électronique. Je dois donc faire des choix. De nombreux laboratoires ont fait des expériences montrant la réalité de la fusion froide, grâce à une approche très fine. Ils ont observé une production de chaleur anormale, ou encore d'hélium. Je n'ai pas envie de refaire tout cela, je sais que je ne convaincrai personne avec des résultats trop ténus. Il faut donc que je me dirige vers des solutions simples, faciles à observer pour un chercheur souhaitant vérifier mes dires. C'est la raison pour laquelle je me suis dirigé vers des expériences simples, en espérant que les données seraient facilement interprétables.

UNE BATTERIE NICKEL-MÉTAL HYDRURE

Plusieurs chercheurs ayant annoncé avoir obtenu des excès de chaleur avec le couple nickel-hydrogène, j'ai trouvé cette configuration très intéressante, car le nickel est beaucoup moins cher que le palladium. Et l'hydrogène est quasiment gratuit. Il était donc tentant d'essayer une méthode simple en ayant recours à une batterie nickel-métal hydrure. Dans ces batteries, une des deux électrodes est en nickel, l'autre est composée d'un alliage à base de nickel. Ce dernier composé absorbe énormément d'hydrogène. Il était donc tentant d'essayer de voir si une telle batterie ne produirait pas aussi de la fusion froide. On sait que les batteries chauffent quand on les charge, mais peut-être produisent-elles plus de chaleur que normalement ? C'est ce que j'ai essayé de démontrer. J'ai installé une de ces batteries

dans mon calorimètre, mais malheureusement, malgré toutes mes tentatives de chargement, de déchargement ou même de surchargement, aucun dégagement de chaleur anormal n'a pu être observé.

UNE BATTERIE NICKEL-COBALT

Lors d'une discussion avec Francis Forrat, j'apprends qu'au CEA de Cadarache, une batterie au nickel-cadmium a explosé au cours d'expériences de chargement avec des panneaux solaires. L'explosion a été très forte, et le conteneur dans lequel elle était située s'est brisé. Il en a été conclu que la batterie avait subi une surcharge. Pour Francis Forrat, la force de l'explosion paraissait démesurée par rapport au peu d'énergie que contient une petite batterie. Il était donc tentant de penser qu'un phénomène anormal de type fusion froide avait pu se produire.

J'ai donc mis une batterie de ce type dans le calorimètre pour essayer de trouver une anomalie thermique au cours du chargement. Mais là encore, je n'ai pas réussi à trouver un dégagement de chaleur anormal.

LE CATALYSEUR AU CARBONE

Un ingénieur américain, Les Case eut l'idée de remplacer le palladium par un catalyseur au palladium. Il testa un grand nombre de catalyseurs commerciaux, et trouva que l'un d'eux, au carbone de noix de coco, contenant 5 % de palladium, avait un effet positif. Malgré toutes mes tentatives, je n'ai jamais réussi à reproduire cette expérience. La seule équipe ayant dupliqué ce résultat est celle de Mike McKubre au SRI en Californie. Dans un premier temps, ils n'y arrivèrent pas non plus. Ils demandèrent alors à Les Case lui-même de leur montrer la procédure à suivre, et ils réussirent. En particulier, ils mesurèrent à la fois de la chaleur anormale, mais

aussi de l'hélium. Montrant ainsi qu'il existe une corrélation entre production de chaleur anormale et production d'hélium.

MA COMPRÉHENSION DU PHÉNOMÈNE

Avant de faire une expérience quelle qu'elle soit, il faut avoir une idée de ce qui pourrait se passer, c'est-à-dire visualiser dans sa tête ce qui devrait se produire. Aucun scientifique ne fait une expérience pour rien. Albert Einstein disait :

« Une théorie peut être vérifiée par l'expérience, mais aucun chemin ne mène de l'expérience à la création d'une théorie. »

Dans la majorité des cas, le mot « modèle » peut remplacer le mot « théorie ». Il me faut donc un modèle pour diriger mes choix expérimentaux. La première idée qui m'est venue à l'esprit, comme à celui de beaucoup d'autres, fut qu'il faudrait mettre le plus d'atomes de deutérium possible dans le palladium, en espérant que cela conduise à une situation où ils seraient suffisamment serrés les uns contre les autres pour réagir. Évidemment, cela ne suffirait pas, il faudrait en outre agir d'une manière ou d'une autre pour que ces atomes de deutérium fusionnent. Si un état statique était suffisant, la fusion froide aurait été découverte il y a bien longtemps. Il est donc nécessaire de dynamiser le système. J'ai d'abord pensé faire varier le courant des expériences d'électrolyse, de manière rapide ou par paliers. Dans certains cas, cela a été efficace, mais pas toujours. Une méthode que nous avons utilisée avec Georges Lonchamp, puis que j'ai reprise, a été de placer la cellule à la température de l'ébullition de l'eau comme l'avaient fait Pons et Fleischmann. À quelques occasions, il y eut des anomalies. À l'ébullition, il se produit des bulles de gaz sur la surface de la cathode de palladium. Le courant, ne pouvant plus passer par les zones où se trouvent les bulles, se concentre

entre les bulles. La densité de courant devient alors très forte dans ces zones, et conduit à un chargement local en deutérium supérieur à celui du reste de la cathode. Les bulles n'étant pas stables, les zones surchargées se déplacent au cours du temps. Il y a donc rapidement chargement et déchargement localisé en deutérium. Cela produit la dynamique locale recherchée.

Par ailleurs, il est important de savoir où se produisent les réactions. À l'intérieur du métal, ou à sa surface ? La question a été débattue par les chercheurs de la fusion froide, l'opinion générale étant qu'elles se produisent à la surface du métal ou à l'interface entre deux matériaux. Deux noyaux de deutérium positifs ne peuvent pas se rencontrer car, étant de même charge électrique, ils ont donc tendance à se repousser. Par contre, si on arrive à placer des électrons entre eux, ils seront attirés par les électrons et cela diminuera la force de répulsion. Il est donc peut-être important d'avoir une interface entre d'une part le palladium, et d'autre part un matériau qui apporte des électrons. Le professeur George Miley de l'université de l'Illinois aux États-Unis avait une démarche équivalente. Il avait obtenu des anomalies thermiques avec une cathode formée de couches alternées de palladium et de nickel. Il pensait qu'à l'interface entre ces deux métaux se trouvait une grande concentration d'électrons. De son côté, le professeur Yoshiaki Arata du Japon avait trouvé des dégagements de chaleur anormaux avec des nanoparticules de palladium entourées d'oxyde de zirconium. Je me demandais si cette interface entre un oxyde métallique et le palladium ne serait pas la configuration idéale. Les atomes d'oxygène de l'oxyde métallique sont riches en électrons et pourraient probablement jouer ce rôle. Encore une fois, ce n'est pas suffisant, il faut une dynamique, quelque chose doit bouger.

Le mieux serait probablement de faire bouger les atomes de deutérium eux-mêmes.

L'expérience avec le tube de palladium fermé à une de ses extrémités avec diffusion de deutérium à travers sa paroi a été un succès. Avec Nicolas Armanet, nous avons montré un dégagement de 4 watts pendant plusieurs jours. Il est probable que lorsque les atomes de deutérium atteignent la surface extérieure du palladium avant de se recombinaient pour former une molécule, elles réagissent. Si cette idée est correcte, le taux de réaction serait d'autant plus élevé que la quantité d'atomes de deutérium passant à travers la paroi du tube serait élevée et que le nombre d'atomes de deutérium en surface est élevé. Afin d'accroître le flux de deutérium à travers la paroi, il faut augmenter la température du palladium, mais par contre, la quantité d'atomes de deutérium en surface va diminuer quand on augmente la température. Il faut donc trouver un compromis.

Toutes ces réflexions me font penser que pour réussir, il faut une interface entre deux matériaux ou entre le métal et le vide contenant beaucoup d'atomes de deutérium et simultanément une diffusion des ions deutériums vers l'interface ou la surface.

CHAPITRE 4

LA FUSION FROIDE : DÉGAGEMENT DE CHALEUR

L'EXPÉRIENCE DE PONS ET FLEISCHMANN

L'expérience décrite par Pons et Fleischmann est très simple. Dans un Dewar⁶⁶ en Pyrex⁶⁷, de 25 cm de longueur et de 2,5 cm de diamètre intérieur, ils placèrent une cathode⁶⁸ en palladium, et une anode⁶⁹ en platine. Ces électrodes étaient plongées

66. Un Dewar est formé par une double enveloppe de verre avec le vide entre les deux. C'est très similaire à un Thermos. La différence ici est que le verre n'est pas métallisé, ce qui permet à la chaleur de s'échapper par rayonnement. S'il n'y avait qu'un tube de verre, il faudrait en plus tenir compte de la conduction thermique du verre. Cette astuce simplifie la mesure de chaleur.

67. Le Pyrex est un verre ayant une bonne tenue en température.

68. La cathode est l'électrode qui reçoit le pôle négatif de l'alimentation, elle attire les cations qui sont positifs.

69. L'anode est l'électrode qui reçoit le pôle positif de l'alimentation, elle attire les anions qui sont négatifs.

dans un électrolyte⁷⁰ composé d'eau⁷¹ lourde⁷² et de lithine⁷³. Ils firent passer un courant électrique entre ces deux électrodes et mesurèrent en continu à la fois la tension électrique et le courant. Ils en déduisirent la puissance électrique fournie au système. Il est nécessaire de faire une correction dans ce calcul, car en faisant passer le courant électrique, on dissocie la molécule d'eau : de l'hydrogène se dégage à la cathode en palladium, et de l'oxygène à l'anode en platine. Une partie de la puissance électrique est utilisée pour dissocier la molécule d'eau, il faut donc corriger la valeur de la puissance électrique envoyée dans la cellule. Cette énergie correspond à 1,54 volt⁷⁴. Pour faire le calcul de la puissance électrique fournie, on soustrait donc 1,54 volt à la tension mesurée avant de la multiplier par le courant pour obtenir la puissance électrique reçue effectivement par le système.

Ils mesurèrent la température à l'intérieur de la cellule, et celle du bain à température constante dans lequel elle était plongée. Un modèle très simple permet alors d'en déduire la puissance thermique produite⁷⁵. La figure suivante montre un schéma du

70. L'électrolyte est le milieu liquide ou solide qui permet la circulation des ions, c'est-à-dire les cations ou les anions. Dans une batterie au plomb, on utilise de l'acide sulfurique, ici de l'eau lourde contenant un produit qui la rend conductrice.

71. De manière surprenante, l'eau pure est un excellent isolant. Dans la vie courante, l'eau est toujours contaminée par des sels qui la rendent conductrice.

72. L'eau lourde est chimiquement semblable à l'eau ordinaire, simplement l'hydrogène de la molécule est remplacé par du deutérium. Le noyau d'hydrogène ne se compose que d'un seul proton, alors que le noyau de deutérium possède un proton et un neutron.

73. La formule chimique de la lithine deutérée est : LiOD.

74. Pour l'eau légère, cette valeur est de 1,48 volt. Pour dissocier une molécule d'eau légère il faut 1,23 volt, mais en dissociant la molécule, l'eau se refroidit. Pour tenir compte de ce refroidissement, il faut corriger cette valeur. Cela correspond à 1,48 volt pour l'eau légère et 1,54 volt pour l'eau lourde.

75. Ils ont utilisé la loi d'émission du corps noir indiquant que la puissance rayonnée est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue de ce corps.

système. Généralement, la cathode est un barreau en palladium de 12 mm de long et de 2 mm de diamètre et l'anode un fil de platine de 10 microns de diamètre enroulé autour de la cathode.

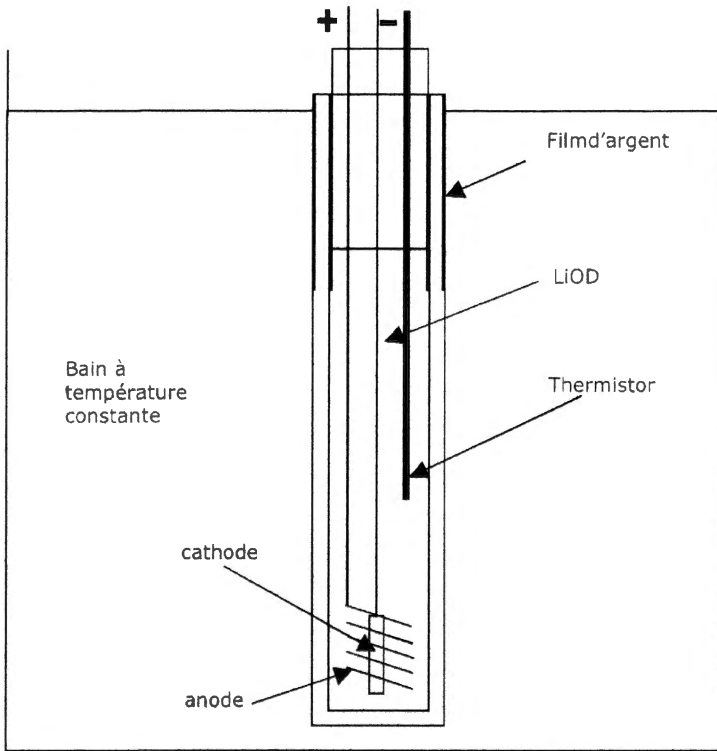


SCHÉMA DE L'EXPÉRIENCE ORIGINELLE DE PONS ET FLEISCHMANN

Les deux découvreurs mesurèrent plus de chaleur produite que d'énergie électrique fournie. Plusieurs erreurs expérimentales pourraient expliquer cette différence :

Une partie du deutérium produit à la cathode et de l'oxygène produit à l'anode pourraient se recombiner en dégageant de l'énergie. Cette hypothèse a été rejetée. Pons et Fleischmann avaient mesuré avec précision la quantité d'eau qu'ils avaient

dû rajouter au cours de l'expérience, et celle-ci correspondait exactement à ce qui était prévu. Il n'y avait donc pas un excès d'eau dû à la recombinaison deutérium-oxygène.

La température de la cellule aurait pu ne pas être uniforme, ce qui donnerait des erreurs de mesure. Ils avaient procédé à des expériences avec plusieurs points de mesure à différentes hauteurs, et avaient pu vérifier que la température de la cellule était uniforme. La cathode et l'anode étant placées en bas de la cellule, le dégagement de gaz produit par l'électrolyse créait un mouvement de convection de l'électrolyte dont la température s'uniformisait. La photo suivante montre ce dégagement de bulles.

On ne pouvait honnêtement donc rien reprocher aux deux inventeurs. Ils avaient pris toutes les précautions possibles. Néanmoins, il existe l'arme absolue pour discréditer une nouvelle découverte : l'arme théorique. Que leur reprochait-on ?

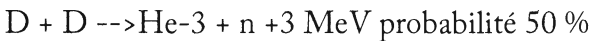


PHOTO D'UNE EXPÉRIENCE FAITE PAR GEORGES LONCHAMPT,
SIMILAIRE À CELLE DE PONS ET FLEISCHMANN

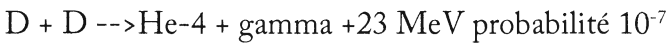
Si comme ils le pensaient une réaction nucléaire se produisait, il fallait alors expliquer trois miracles⁷⁶ qui découlent de ce que l'on connaît avec précision en physique nucléaire. Les expériences de réaction entre deux noyaux de deutérium montrent qu'ils fusionnent de trois manières différentes :



Production de tritium et de proton.



Production d'hélium-3 et de neutron.



Production d'hélium - 4 et de rayon gamma.

Le premier miracle est celui de la barrière de Coulomb. Les deux noyaux de deutérium possédant chacun une charge positive ont tendance à se repousser. Dans le soleil, la bombe H ou ITER, cette barrière est franchie grâce à une température élevée. À plusieurs centaines de millions de degrés, les noyaux de deutérium atteignent une énergie telle, qu'ils arrivent à s'approcher suffisamment l'un de l'autre pour que les forces nucléaires prennent le relais, et les deux noyaux peuvent fusionner par effet tunnel. Dans les expériences de fusion froide, les réactions se produisent à basse température, et il faut donc un miracle pour que les noyaux fusionnent.

Les deux premières réactions se produisent une fois sur deux, tandis que la troisième est très peu probable, et ne se réalise qu'une

76. John Huizenga avait critiqué la fusion froide et expliqué qu'il fallait ces trois miracles pour qu'elle soit possible.

77. MeV signifie méga électron volt, une unité d'énergie très utilisée en physique nucléaire. Pour comparaison, les réactions chimiques produisent des énergie de l'ordre de 1 eV, soit un million de fois moins.

fois tous les 10 millions. On devrait donc observer une grande production de tritium et de neutrons. Eu égard aux quantités de chaleur observées par Pons et Fleischmann, le flux de neutrons devrait être tel que tous les deux auraient dû en mourir ! Comme ils ne sont pas morts, la réaction générant les neutrons ne se réalise pas. Il faut donc supposer que c'est la troisième réaction, la moins probable, qui se produit. C'est le deuxième miracle.

Si c'est de l'hélium-4 qui est produit, il faut aussi qu'il y ait dégagement de rayons gamma énergétiques, ces rayons sont aussi dangereux que les neutrons, et auraient dû avoir le même effet. Si cette réaction s'était produite, les deux chercheurs auraient également dû mourir. Il faut donc que l'énergie produite par cette réaction soit dissipée d'une autre façon qu'avec la production de rayons gamma. C'est le troisième miracle.

Mais les faits ont la vie dure, et depuis ce fameux 23 mars 1989, de nombreux laboratoires de par le monde ont reproduit cette expérience, soit de manière identique, soit avec des méthodes différentes. Nous allons découvrir dans ce qui suit certaines contributions importantes d'autres chercheurs. Nous aurons aussi un aperçu des grandes lignes de théories expliquant comment résoudre l'énigme des trois miracles.

LA REPRODUCTION DES EXPÉRIENCES DE PONS ET FLEISCHMANN

Deux équipes ont reproduit exactement l'expérience originelle. D'une part, Melvin Miles du laboratoire de la Navy à China Lake en Californie puis au Japon au NHE⁷⁸, et d'autre part Georges Lonchamp de Grenoble. Ces deux équipes ont montré que la méthode utilisée par Pons et Fleischmann était

78. New Hydrogen Energy.

très performante. Ils ont confirmé au moins partiellement les résultats des deux découvreurs. Peu de chercheurs ont essayé de reproduire exactement les travaux initiaux. Cela se comprend dans la mesure où les scientifiques veulent avoir une perspective qui leur est propre. Ils essaient de trouver des moyens différents pour améliorer éventuellement les premiers résultats, et aussi apporter leur touche personnelle.

LES EXPÉRIENCES DE MIZUNO

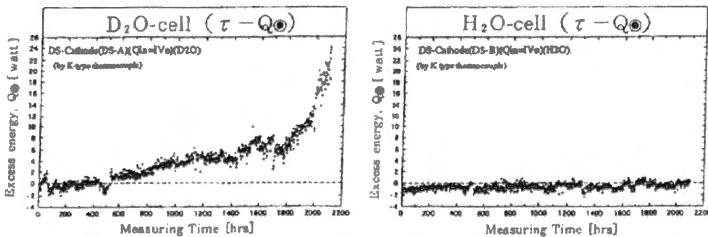
Tadahiko Mizuno est un chercheur de l'université de Hokkaido au Japon, dynamique et très créatif. Après de premières expériences avec des électrolytes solides détaillées ci-dessous, il développa une nouvelle technique. Il fit une électrolyse avec des courants forts et des hautes tensions. La puissance injectée fut très élevée, ce qui mit l'électrolyte en ébullition. La cathode était alors entourée de vapeur d'eau et une décharge électrique se produisait sous la forme d'un plasma. Son électrolyse était réalisée avec de l'eau légère contenant du carbonate de potassium et une cathode en tungstène. Les mesures étaient difficiles à analyser, car le courant variait très rapidement, et il devenait difficile de mesurer la puissance électrique d'entrée. Néanmoins, Mizuno a pu montrer qu'il y avait un dégagement anormal de chaleur. Plusieurs autres laboratoires ont reproduit avec succès cette expérience, en particulier Pierre Clauzon au CNAM à Paris, et Jean-Louis Naudin à EDF.

LA DOUBLE CATHODE D'ARATA

Un des chercheurs les plus importants dans le domaine de la fusion froide est certainement Yoshiaki Arata. Ce professeur de l'université d'Osaka est très célèbre au Japon, et a reçu la médaille

d'or de l'empereur du Japon pour l'ensemble de ses travaux. Dès le début, il eut une idée intéressante, celle de créer une cathode en palladium creuse et remplie de poudre de palladium. En 1998, il publia les résultats d'une expérience de longue durée réalisée avec deux cellules identiques, l'une à l'eau lourde, et l'autre à l'eau légère. L'expérience dura au total 2 200 heures, soit trois mois. La figure montre l'excès de chaleur mesuré en fonction du temps. On constate sur le graphique de gauche correspondant à la cellule contenant de l'eau lourde une augmentation continue d'excès de chaleur. À la fin de l'expérimentation, la puissance anormale générée avait atteint 24 watts. Le graphique de droite montre que la deuxième cellule fonctionnant à l'eau légère ne générait aucun excès de chaleur. L'expérience s'interrompt à la suite de l'explosion de la cathode. Cela se comprend, car au fur et à mesure que le deutérium entre dans la cathode creuse, la pression augmente, et atteint finalement une valeur tellement élevée que la cathode se fend et le deutérium fuit.

Cette expérience a été refaite par l'équipe de Mike McKubre à SRI en Californie. Les chercheurs confirmèrent les données fournies par Arata.



*EXPÉRIENCE D'ARATA : COMPARAISON ENTRE UNE CELLULE
FONCTIONNANT À L'EAU LOURDE (À GAUCHE)
ET UNE À L'EAU LÉGÈRE (À DROITE).*

LES ÉLECTROLYTES SOLIDES

Certains oxydes métalliques sont des conducteurs protoniques. Ils conduisent le courant non pas grâce aux électrons comme dans les métaux, mais par l'intermédiaire de protons, c'est-à-dire des noyaux d'hydrogène. Ces matériaux ne fonctionnent qu'à plusieurs centaines de degrés. Si on remplace l'hydrogène par du deutérium, le conducteur sera chargé en deutérons⁷⁹ et conduira de la même manière le courant électrique.

MIZUNO

À la conférence ICCF4 à Hawaï en 1993, Tadahiko Mizuno avait présenté des expériences montrant des excès de chaleur très importants. Il utilisait des électrolytes solides contenant : strontium, cérium, yttrium et niobium. Il les soumettait à des potentiels électriques de l'ordre de 45 volts, à des températures allant de 450 à 700 °C. Dans ces conditions, il observait une très grande augmentation de température. Malheureusement, les matériaux qu'il utilisait dans ces expériences n'étaient pas reproductibles, et il dut abandonner cette piste de recherche.

FORRAT

Mizuno avait fait des expériences similaires à celles proposées par Francis Forrat, mais n'avait pas de théorie détaillée sur ce choix d'expérience, alors que Francis Forrat en avait une idée précise. Il proposait d'utiliser la pérovskite de formule LaAlO_3 , lacunaire en lanthane. D'après lui, des atomes de deutérium remplaceraient le lanthane manquant des lacunes. Comme les lanthanes du réseau possèdent trois charges positives, on pourrait mettre trois noyaux de deutérium à leur place. L'aluminate de lanthane stœchiométrique, c'est-à-dire sans lacunes, est de cou-

79. Le noyau de l'atome de deutérium est composé d'un proton et d'un neutron.

leur blanche. Quand il y a des lacunes, il devient rouge. Quand on met ce cristal rouge dans une atmosphère de deutérium ou d'hydrogène à quelques centaines de degrés, il devient blanc, cela indique que les lacunes de lanthane ont été remplies par du deutérium ou de l'hydrogène. En appliquant un champ électrique de part et d'autre du cristal, les ions deutérium se dirigent vers la cathode négative, et cette partie du cristal devient bleue, alors que la partie du cristal côté positif redevient rouge, comme indiqué sur le schéma ci-dessous.



*LANTHANATE D'ALUMINIUM LACUNAIRE, CHARGÉ EN DEUTÉRIUM,
ET SOUMIS À UN CHAMP ÉLECTRIQUE*

Dans la zone bleue, il pourrait y avoir plus de trois noyaux de deutérium qui fusionnent et dégagent de la chaleur. C'est cette expérience qui, en 1993, m'avait permis de mettre un pied dans la fusion froide.

LES EXPÉRIENCES EN GAZ

Dans la perspective d'applications industrielles, les expériences en phase liquide ne sont pas intéressantes, car à la pression atmosphérique ordinaire, l'eau bout à 100 °C. Or, pour transformer la chaleur en énergie mécanique ou électricité, et afin d'obtenir un rendement élevé, il faut qu'elle soit à la température la plus élevée possible. C'est la raison pour laquelle des travaux ont rapidement commencé avec des expériences en phase gaz. Dans ce contexte, il devient possible de travailler avec des températures beaucoup plus hautes.

ARATA

Avec la double cathode d'Arata, la réaction se produisait à l'intérieur du tube de palladium. L'électrolyse de l'eau produisait du deutérium ou de l'hydrogène qui pénétrait dans l'intérieur du tube. Arata eut donc l'idée de travailler directement en phase gaz. Il introduisit du deutérium sous haute pression dans un tube rempli de poudre de palladium, et observa un excès d'énergie. Il améliora encore le procédé en fabricant des nanoparticules de palladium enfermées dans une coquille en oxyde de zirconium. Il soumit cette poudre à une pression de 100 bars de deutérium à température ambiante, et observa un dégagement anormal de chaleur.

LI

En Chine, le professeur Xing-Zhong Li de l'université Tsinghua à Pékin était un spécialiste de la fusion thermonucléaire. En 1989, quand la fusion froide fut découverte, il s'intéressa immédiatement au sujet. À la fois expérimentateur et théoricien, il élaborait ses expériences en fonction de ses modèles théoriques. Rapidement, lui et son équipe choisirent la piste des réactions en phase gazeuse. Ils ont travaillé avec des fils et des tubes de palladium ainsi que des multicouches de palladium et de nickel en atmosphère de deutérium. Au cours de leurs expériences, ils ont eux aussi montré des dégagements anormaux de chaleur.

PIANTELLI

Depuis de nombreuses années, Francesco Piantelli, professeur à l'université de Sienne en Italie, et son équipe ont travaillé sur le système nickel-hydrogène. Ils ont utilisé des barreaux de nickel traités en surface et chargés d'hydrogène. Ils ont démontré une

production de chaleur, mais aussi de rayons gamma en petite quantité.

ROSSI

Le 14 janvier 2011 eut lieu une démonstration publique à Bologne en Italie par deux scientifiques italiens : Andrea Rossi et Sergio Focardi. Ils présentèrent leur invention, un réacteur produisant 12 000 watts de puissance thermique en injectant seulement 400 watts de puissance électrique ! Qui plus est, leur système était très simple : ils utilisaient une poudre de nickel, un catalyseur et de l'hydrogène. Une option beaucoup plus économique que celle du couple palladium et deutérium. Si les résultats se confirment, leur système est idéal.

Sergio Focardi est professeur à l'université de Bologne, bien connu dans le monde de la fusion froide. Il a travaillé avec Francesco Piantelli de nombreuses années sur un système similaire avec du nickel et de l'hydrogène. En revanche, Rossi était un inconnu dans ce milieu. Il y a quelques années, l'ingénieur Rossi avait contacté Focardi, afin de poursuivre dans cette voie, avec de la poudre de nickel. À la suite de nombreux essais avec différents types de catalyseurs, ils en avaient trouvé un qui donnait des résultats positifs.

Rossi est un ingénieur, il est plus intéressé par les applications que par la science. Son objectif est de fabriquer un réacteur produisant un mégawatt en associant une centaine d'unités de 10 kilowatts en série et parallèles. Depuis sa démonstration du mois de janvier 2011, il a organisé d'autres démonstrations auprès de journalistes et de scientifiques. Plusieurs laboratoires ont évalué le réacteur de Rossi, dont celui de la NASA. Malheureusement, à ce jour, aucune vérification indépendante n'a

pu être faite, bien que les démonstrations publiques ou privées qu'il a pu faire aillent dans le sens d'une réussite.

DEFKALION

Rossi avait un contrat de développement avec la société grecque Defkalion qui devait fabriquer le matériel en série. Peu de temps après, il décida de rompre le contrat pour s'associer avec des Américains. Defkalion, connaissant le procédé, a continué le développement de ses produits indépendamment de Rossi. Apparemment, ce procédé est différent de celui de Rossi, et produit également beaucoup de chaleur anormale et des rayons gamma, preuve de l'existence d'une réaction nucléaire.

CHAPITRE 5

LA FUSION FROIDE : LES TRANSMUTATIONS NUCLÉAIRES

La transmutation nucléaire est le changement d'un atome en un autre. Les alchimistes rêvaient de changer le plomb en or. Malheureusement, depuis Lavoisier et sa célèbre formule : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », on sait qu'on ne peut pas transformer un atome en un autre, c'est-à-dire faire des réactions de transmutation nucléaire. Cette loi de Lavoisier a été invalidée au début du xx^e siècle, lorsque la radioactivité naturelle a été mise en évidence par Henri Becquerel⁸⁰ et Pierre et Marie Curie. C'était la première démonstration qu'un élément pouvait se transformer en un autre par radioactivité. Par la suite, de nombreuses autres transmutations ont été réalisées à partir d'accélérateurs de particules, dans lesquels des cibles d'un matériau donné sont bombardées par des faisceaux de particules.

Est-il possible de réaliser des transmutations en dehors de la science nucléaire habituelle ? L'histoire des transmutations

80. Henri Becquerel a reçu le prix Nobel de physique en même temps que Pierre et Marie Curie en 1903.

nucléaires à faible énergie a débuté avant la découverte de la fusion froide. Les techniques utilisées sont variées. Certaines sont très rustiques et sujettes à caution. D'autres sont beaucoup plus sophistiquées et ont une base scientifique beaucoup plus solide. Dans la suite de ce chapitre, nous verrons les différents types de transmutations en commençant par les plus anciens.

GEORGES OSHAWA

En 1965, au Japon, Georges Oshawa⁸¹, en provoquant des décharges électriques dans de l'eau à l'aide d'électrodes en carbone, observa la présence de nouveaux métaux qui n'y étaient pas au départ. Cette expérience a été refaite de nombreuses fois, avec des résultats comparables : formation de fer, nickel ou cobalt.

JOHN BOCKRIS

Le scientifique contemporain de renommée internationale ayant fait le plus de travaux dans ce domaine est certainement le professeur John Bockris⁸², maintenant à la retraite. Ce fut le premier qui démontra, dès 1989, la production de tritium au cours d'expériences d'électrolyse d'eau lourde avec une cathode en palladium. Il travaillait alors à l'université Texas A&M aux États-Unis et souhaitait reproduire les expériences de Pons et Fleischmann. Il a été très critiqué pour ses résultats qui étaient de la plus haute importance comme preuve de l'existence d'un phénomène nucléaire. Un journaliste, Gary Taubs⁸³, écrivit un article dans la revue américaine *Science*, suggérant sans le prouver

81. Georges Oshawa (1883-1966) ; il a créé la macrobiotique.

82. John Bockris est l'auteur de nombreux livres sur ce sujet.

83. Gary Taubs a écrit un livre très critique sur la fusion froide : *Bad Science : The Short Life and Weird Times of Cold Fusion*.

qu'un étudiant aurait pu ajouter de l'eau contenant du tritium au cours de l'expérience. Cette suspicion jetée sur ses travaux et son honnêteté a porté un grave préjudice à John Bockris à la fin de sa carrière, alors qu'il est probablement l'un des meilleurs électrochimistes de notre époque. John Bockris a été aussi l'un des premiers à démontrer la production d'hélium-4 dans les cellules qu'il étudiait. Les mesures de tritium et d'hélium prouvent l'origine nucléaire des excès de chaleur.

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES

Les expériences de transmutation les plus convaincantes ont été obtenues par Yasuhiro Iwamura et ses collaborateurs de la société japonaise Mitsubishi Heavy Industries. Leur expérience est intéressante, car c'est la seule qui fait la démonstration d'une diminution d'un élément simultanément à l'apparition d'un autre. Alors que dans les expériences avec de l'eau lourde il a été démontré la formation d'hélium, il n'a pas été mesuré une baisse équivalente de deutérium. Ceci est quasiment impossible à faire, car les quantités d'hélium formées sont très faibles, alors qu'il y a beaucoup de deutérium.

L'expérience d'Iwamura et de ses collaborateurs était la suivante : ils prirent une feuille de palladium de 0,2 mm d'épaisseur sur laquelle ils déposèrent 5 couches alternées de palladium et d'oxyde de calcium⁸⁴ de quelques dizaines de nanomètres chacune. Sur la dernière couche, ils déposèrent une couche atomique de césium. Cet ensemble fut ensuite placé dans un système, de manière à ce que le côté de l'empilement des couches soit en contact avec du deutérium à la pression atmosphérique, alors que l'autre côté était sous vide poussé. Le deutérium gazeux diffusait,

84. L'oxyde de calcium, CaO est en fait de la chaux vive.

à température ambiante, à travers la feuille de palladium. Côté deutérium, un équipement d'analyse de surface par spectroscopie de photoélectrons⁸⁵ était installé, permettant de mesurer la quantité de matière présente à la surface. Les expérimentateurs observèrent au cours du temps une diminution de la quantité de césium, et l'apparition d'un nouvel élément, le praséodyme. Pour passer du césium au praséodyme, il fallait que le noyau de l'atome de césium absorbe 4 noyaux de deutérium.

Lorsqu'ils remplacèrent le césium par du strontium, il y eut formation de molybdène, là aussi avec absorption de 4 noyaux de deutérium. Le point crucial pour savoir si ce phénomène est vraiment dû à une transmutation est de regarder la distribution isotopique du molybdène. Or, une analyse faite par spectrométrie de masse⁸⁶ montra que le molybdène produit ne ressemblait pas du tout à du molybdène naturel. Il y avait donc bien eu transmutation. D'autres expériences du même type faites par eux et par d'autres expérimentateurs confirmèrent ces résultats. Par contre, une équipe du Naval Research Laboratory à Washington essaya sans succès de reproduire l'expérience de transmutation du césium en praséodyme. Elle en conclut que l'expérience de l'équipe japonaise avait été l'objet d'une contamination. Ce résultat est en contradiction avec les observations d'autres laboratoires japonais qui confirmèrent les travaux d'Iwamura.

UBALDO MASTROMATTEO

Ubaldo Mastromatteo travaille dans la société italo-française STMicroelectronics, spécialisée dans la fabrication de circuits électroniques. Ubaldo Mastromatteo déposa du palladium sur

85. XPS (X-Ray Photoelectron Spectroscopy).

86. SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy).

du silicium dopé au bore. Il mit l'ensemble dans une atmosphère de deutérium, puis dirigea sur cette surface un rayon laser rouge utilisé comme pointeur, donc de très faible puissance. Au bout de deux semaines, il analysa l'échantillon, et trouva de nouveaux éléments à l'endroit du spot du laser.

LEONID URUTSKOEV-GEORGES LOCHAK

L'histoire a commencé après la catastrophe de Tchernobyl⁸⁷. Afin d'essayer de comprendre ce qui s'était passé, trois équipes de scientifiques furent envoyées par le gouvernement de l'Union soviétique pour analyser la situation. L'une d'entre elles était dirigée par Leonid Urutskoev de l'Institut Kurtchatov. Plusieurs constatations furent faites :

La structure de la cavité du réacteur était intacte et il ne restait plus beaucoup de combustible.

Deux détonations avaient eu lieu à une ou deux secondes d'intervalle.

Une lumière bleue, d'un brillant inhabituel, s'était élevée au-dessus du réacteur après l'explosion.

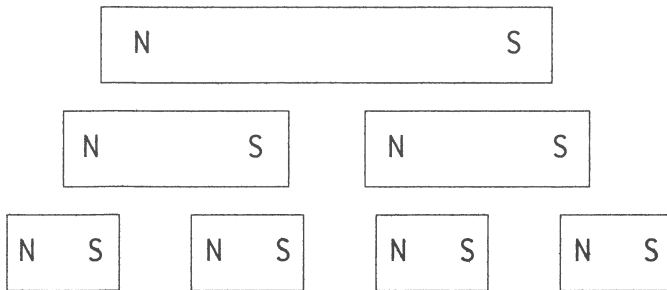
Une anomalie isotopique fut observée, en particulier sur l'uranium-235.

Des câbles électriques avaient été attirés par les tuyaux de vapeur.

Ces faits n'étant pas en accord avec la version officielle, il pensa qu'un autre phénomène s'était produit. Il entendit parler des monopôles magnétiques du chercheur français Georges Lochak, d'origine russe. D'après ce dernier, dans certaines circonstances,

87. Explosion de la tranche 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl en Ukraine le 26 avril 1986.

des décharges électriques produisent des monopôles magnétiques. Ce serait des aimants n'ayant qu'un pôle nord ou sud. Cette hypothèse est contre-intuitive, car un aimant a toujours deux pôles opposés, un nord et un sud. Quand on le coupe en deux, il y a encore deux pôles sur chacun des morceaux, et ainsi de suite. On ne retrouve jamais un pôle unique quel que soit le nombre de fois où le barreau est divisé, comme le montre le schéma ci-dessous.



CHAQUE FOIS QUE L'ON COUPE UN AIMANT EN DEUX,
LES PÔLES NORD ET SUD SE DÉDOUBLENT SANS JAMAIS
PRODUIRE UN PÔLE ISOLÉ

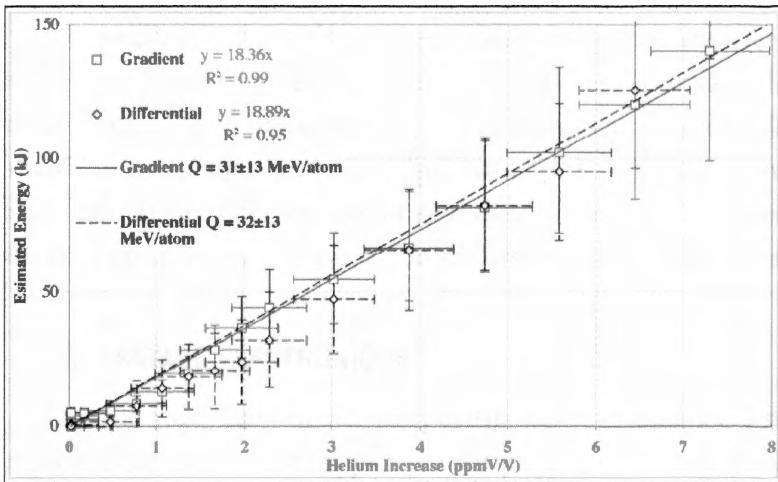
Urutskoev pensa que la première explosion dans l'un des systèmes électriques produisit des monopôles magnétiques qui furent transportés jusqu'au cœur du réacteur. Là, ces charges magnétiques très puissantes auraient modifié les noyaux d'uranium-238, qui ne participent pas normalement au fonctionnement du réacteur, et les auraient rendus fissiles. Ce serait l'origine de l'explosion du réacteur.

Afin de vérifier cette théorie, Leonid Urutskoev réalisa des expériences de décharges électriques très puissantes à travers des feuilles de titane dans de l'eau. Il analysa ensuite les débris métalliques. Il s'aperçut que le titane n'avait plus la composition isotopique naturelle et que d'autres éléments métalliques étaient apparus.

LA PRODUCTION D'HÉLIUM

Plusieurs expériences ont démontré que la fusion entre deux noyaux de deutérium produit de l'hélium-4. Une des plus spectaculaires est celle réalisée par l'équipe de Mike McKubre du SRI. Elle a reproduit l'expérience de Les Case qui utilisait un catalyseur en palladium sur support de carbone, et a montré une corrélation entre production de chaleur et production d'hélium-4. Le graphique ci-dessous illustre ce résultat. On constate que la relation est linéaire aux erreurs expérimentales près, et que cette production d'énergie correspond à une réaction de 31 MeV par atome d'hélium, proche des 23 MeV prévus pour une réaction $D+D \rightarrow He-4$.

Très peu d'équipes se sont attelées à la mesure de l'hélium produit en raison de la difficulté de la mesure. Il faut tout d'abord des systèmes étanches, mais aussi un spectromètre de masse de haute résolution, car la masse de l'atome d'hélium-4 est très proche de celle de la molécule de deutérium. Seuls quelques laboratoires sont équipés de tels instruments.



CORRÉLATION ENTRE LES QUANTITÉS D'ÉNERGIE ET D'HÉLIUM PRODUITS

CHAPITRE 6

LES THÉORIES DE LA FUSION FROIDE

À ce jour, il n'existe pas de théorie satisfaisante de la fusion froide. Une théorie valable devrait pouvoir expliquer l'ensemble des phénomènes observés, et en prédire d'autres. En particulier, elle devrait permettre de mieux déterminer les conditions de réalisation de ces réactions. Elle doit aussi expliquer les trois miracles mentionnés plus haut, ou permettre de les contourner.

On peut classer ces théories en plusieurs catégories. Certaines supposent que la réaction principale est la fusion de deux noyaux de deutérium, et d'autres imaginent que c'est le matériau métallique lui-même qui est actif. Les jeux ne sont donc pas encore faits, et l'avenir seul dira laquelle des théories décrites ci-après ou une autre non encore trouvée est la bonne.

L'ÉCRANTAGE ÉLECTRONIQUE

Dans le vide, deux deutérons positifs auront tendance à se repousser, et donc ne se rapprocheront pas suffisamment pour fusionner. Dans le modèle de l'écrantage électronique, on suppose que les électrons du réseau métallique hôte vont faciliter le

rapprochement des noyaux de deutérium. En effet, si on place une charge négative entre deux positives, les charges positives vont être attirées par la négative. Les deux charges positives vont alors pouvoir se rapprocher l'une de l'autre. Évidemment, la situation n'est pas aussi simple, mais cette vision est une piste de recherche.

LES ATOMES ÉCRASÉS

En simplifiant, la mécanique quantique explique la structure des atomes en supposant que les électrons sont en orbite à des distances plus ou moins grandes du noyau. Ces différents niveaux sont discrets, avec des valeurs précises. Le niveau le plus bas est le niveau fondamental, une sorte de rez-de-chaussée, c'est le niveau 1. Quand l'atome est excité d'une manière ou d'une autre, il monte à un niveau supérieur : 2, 3, 4... et sa taille augmente un peu. La mécanique quantique classique interdit de descendre en dessous du niveau fondamental. Néanmoins, plusieurs scientifiques ont émis l'hypothèse qu'au moins pour l'atome d'hydrogène, il existe des niveaux en dessous du niveau fondamental. C'est probablement Randell Mills⁸⁸ qui a émis le premier cette hypothèse. Il a développé une théorie de l'atome d'hydrogène et montré expérimentalement qu'il existait des niveaux d'énergie fractionnaires c'est-à-dire $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... Si cette hypothèse est juste, chaque fois que l'électron descend dans les niveaux inférieurs, un peu comme les sous-sols d'un immeuble, il y a dégagement d'énergie, alors que l'atome devient plus petit. Mills a appelé ce nouvel état de l'atome d'hydrogène : hydrino.

88. Voir son site : www.blacklightpower.com.

En 1989, Mills avait fait des expériences de fusion froide avec du nickel et de l'eau légère plutôt qu'avec du palladium et de l'eau lourde. Il avait observé des dégagements anormaux de chaleur alors qu'il utilisait du carbonate de potassium⁸⁹ comme électrolyte. D'après son modèle, lorsque l'atome d'hydrogène en présence de potassium passe du niveau fondamental au niveau $\frac{1}{2}$, l'énergie dégagée est récupérée par le potassium. L'atome de potassium se désexcite ensuite en produisant de la lumière ultra-violette. Cette dernière est absorbée par le métal en produisant de la chaleur. La théorie de Mills n'est pas nucléaire, il pense avoir découvert une nouvelle chimie, intermédiaire entre la chimie et le nucléaire. Mills ne franchit pas l'étape suivante. L'hydrino ou le deutérino, dans le cas du deutérium, étant de petite taille et neutre, va se comporter comme un neutron. Il pourra traverser le nuage électronique d'un autre atome de deutérium et former de l'hélium ou un atome métallique, et produire une transmutation.

LA CONDENSATION DE BOSE-EINSTEIN

Dans certaines conditions, des atomes peuvent se comporter de manière étrange. Au lieu d'avoir des comportements individuels, les atomes se réunissent comme un seul objet. Cela ne se produit qu'à très basse température et dans des conditions particulières. De la même manière, les atomes de deutérium dans le réseau cristallographique du palladium pourraient se trouver dans la situation d'une condensation de Bose-Einstein. Si cela se produisait, les atomes se déplaceraient de manière cohérente et non pas dispersée, l'énergie de cet ensemble d'atomes serait alors beaucoup plus grande que celle dégagée par chaque atome

89. K_2CO_3 .

(pris individuellement), un peu comme la lumière d'un laser par rapport à celle d'une lampe. Cette grande énergie permettrait aux noyaux de deutérium de franchir la barrière de Coulomb. Le professeur Yeong Kim de l'université Purdue dans l'Indiana soutient ce modèle.

LES POLY-NEUTRONS

Les noyaux atomiques sont composés de protons et de neutrons. Le nombre de neutrons est supérieur ou égal à celui des protons⁹⁰. Plus les noyaux sont lourds, plus le rapport neutron/proton augmente. Par exemple, parmi les noyaux lourds, l'uranium-238 possède 92 protons et 146 neutrons. John Fisher a développé une théorie basée sur la supposition qu'il existe des groupements de neutrons stables⁹¹. Ils joueraient un rôle de catalyseur de réactions par transfert de neutrons.

LA THÉORIE DE WIDOM-LARSEN

Allan Widom et Lewis Larsen ont développé une théorie dans laquelle ils supposent que sous l'effet d'un champ électrique très élevé, les électrons se retrouvent avec une masse effective beaucoup plus grande que la masse réelle des électrons. Dans ces conditions, les électrons s'associent à un proton pour produire un neutron. Celui-ci peut alors interagir avec d'autres noyaux en générant des réactions de fusion ou de transmutation. D'après leurs calculs, la réaction de fusion ne produit que des photons de faible énergie, et pas de rayons gamma.

90. Ceci est vrai pour tous les noyaux stables, sauf pour le noyau d'hydrogène qui n'est constitué que d'un proton et d'aucun neutron, et l'hélium-3 qui possède deux protons et un seul neutron.

91. Les modèles nucléaires actuels interdisent ce genre de groupement de neutrons.

LES MONOPÔLES MAGNÉTIQUES

La physique aime la symétrie. Il existe des charges électriques positives et négatives indépendantes. Par contre, en magnétisme on observe qu'un aimant a toujours un pôle nord et un pôle sud associés. Si on prend un aimant en forme de bâtonnet, et qu'on le coupe en deux, on retrouve les deux pôles sur chacun des morceaux. On peut recouper encore et encore, avec le même résultat. On exprime cela en disant qu'un aimant est un dipôle, c'est-à-dire qu'il a toujours deux pôles. Pourquoi pas des monopôles magnétiques ? Une théorie a été développée par le Français Georges Lochak⁹², celle du monopôle magnétique léger. Ce serait un état excité du neutrino. Il n'aurait donc pas de charge électrique et aurait une masse quasi nulle.

Ces monopôles magnétiques créeraient un champ magnétique extrêmement intense autour d'eux. S'ils s'approchaient d'un noyau lourd, ce champ modifierait la forme du noyau et conduirait à sa fission. Dans le cas des atomes légers, comme l'hydrogène, le champ magnétique pourrait les déformer. Leur forme sphérique prendrait alors l'allure de cigares étroits. Cela leur permettrait de se rapprocher énormément, et la fusion pourrait éventuellement se produire par effet tunnel.

LA PICO CHIMIE

Jacques Dufour a développé plusieurs théories pour soutenir ses expériences, toutes dans la direction d'une possibilité de pico chimie. Dans cette approche, des états intermédiaires de l'atome existeraient, un peu comme dans le cas de l'hydrino de Mills. Il a proposé que pendant un temps très court, un électron puisse recevoir de l'énergie du vide. Plus cette énergie est élevée, plus

92. Président de la Fondation Louis-de-Broglie.

le temps pendant lequel elle est disponible est court. On déduit cette valeur de la relation d'incertitude de Heisenberg. Donc, pendant un temps très court l'électron pourrait avoir une masse plus élevée que la normale, et donc modifier sa position dans l'atome. Plus récemment, il a émis l'hypothèse qu'un dipôle proton électron pourrait être piégé à l'intérieur du nuage électronique du palladium ou du nickel, en dégageant de l'énergie.

LA FRACTOFUSION

Fulvio Frisone a proposé une théorie s'appuyant sur des expériences de fractofusion. Quand on écrase brutalement certains matériaux, ils émettent des neutrons. Une explication possible étant qu'au cours de la rupture brutale, des charges électriques s'accumulent entre des joints de grain créés par le choc. Ces charges produisent un champ électrique très important pouvant perturber les noyaux atomiques, et ainsi faciliteraient la fusion de noyaux.

LES CLUSTERS D'ÉLECTRONS

Le Français Michel Rambaut et l'Américain Ken Shoulders⁹³ sont deux des inventeurs de la théorie des clusters d'électrons. Des amas importants et stables d'électrons se produiraient par effet de pointe sur des matériaux. Ces amas auraient un effet d'écrantage des charges positives des noyaux de deutérium, facilitant ainsi leur fusion. Des expériences ont montré l'impact de ces amas sur des cibles.

93. Ken Shoulders avait travaillé dix ans à SRI sur les micropointes à émission de champ, puis a développé ses recherches dans un laboratoire indépendant en Californie.

LES TÉTRAÈDRES DE DEUTÉRIUM

Le professeur Akito Takahashi, de l'université d'Osaka au Japon, a développé un modèle dans lequel quatre ions deutérium seraient placés aux quatre extrémités d'un tétraèdre, c'est-à-dire une pyramide à base triangulaire que l'on trouve dans la structure du palladium. Quatre électrons seraient également positionnés symétriquement aux ions. Dans certaines conditions, il pourrait se produire un écrasement simultané de ces huit entités qui, en fusionnant, donneraient deux atomes d'hélium. Ce modèle expliquerait les observations de transmutation d'Iwamura⁹⁴ où pour transmuter un atome de césium en un atome de praséodyme, il faut ajouter quatre noyaux de deutérium.

LES PHONONS DE RÉSEAU

La théorie qui me semble la plus plausible est celle de Peter Hagelstein du MIT. Avant d'y être nommé professeur, il avait travaillé au Lawrence Livermore National Laboratory et avait contribué au développement des lasers à rayons X. Peter Hagelstein est probablement le meilleur théoricien de la fusion froide. Il a réussi à démontrer le rôle des vibrations de réseau dans le transfert de l'énergie produite par la réaction nucléaire. Dans un métal, les vibrations ne créent ou n'absorbent que peu de chaleur, il faut des millions de ces atomes pour récupérer l'énergie nucléaire produite. Peter Hagelstein a calculé ce transfert d'énergie en utilisant soit une molécule de deutérium dans une lacune du palladium, soit de nickel dans les expériences avec de

94. Yasuhiro Iwamura du Mitsubishi's Advanced Technology Research Center a démontré qu'en faisant circuler du deutérium à travers une paroi de palladium, il transmutait le césium en praséodyme, et le strontium en molybdène. Pour que cette réaction soit possible, il faut que le palladium et le strontium absorbent quatre noyaux de deutérium.

l'hydrogène. Sa théorie permet de déterminer les matériaux les mieux adaptés, mais aussi de définir le traitement à appliquer pour se trouver dans les bonnes conditions.

PARTIE 3

QUEL AVENIR POUR LA FUSION FROIDE ?

CHAPITRE 7

ITER

On ne peut pas traiter de la fusion froide sans mentionner ITER⁹⁵, ce nouveau réacteur en cours de construction à Cadarache. Il est censé permettre la production d'énergie électrique de manière quasi illimitée d'ici la fin du ^{xxi}^e siècle. Cette nouvelle génération de réacteurs de fusion thermonucléaire devrait résoudre nos problèmes d'approvisionnement énergétique à l'échelle planétaire pour l'éternité ou presque !

Bien que n'étant pas impliqué dans ITER, il se trouve qu'à deux occasions j'ai travaillé pour cette filière. Dans les années 1985-1986, Tore Supra, un de ses prédécesseurs était en construction, également à Cadarache. C'était un tokamak de construction française ayant comme particularité d'utiliser déjà des bobines magnétiques supraconductrices. À cette époque, ma société Luminy-Instruments avait fourni deux spectromètres optiques qui y sont toujours installés. Ces appareils étaient destinés à suivre les impuretés dans le plasma afin de détecter les dégâts causés par l'interaction du plasma avec les parois de l'enceinte à vide.

95. International Torus Experimental Reactor.

Un peu plus tôt, au début des années 1980, dans le cadre académique, j'avais fait des recherches fondamentales sur l'interaction entre un plasma de deutérium et des cibles en carbone. Cela est devenu le sujet de la thèse d'un de mes étudiants.

Je suis donc d'une manière indirecte un peu impliqué dans ce projet, et j'en connais quelques aspects techniques. Ce projet soulève de grands espoirs et beaucoup de critiques. Les partisans et les opposants à ce projet s'affrontent régulièrement.

Pour ceux qui soutiennent ITER, c'est l'avenir du monde qui est en jeu. La possibilité de créer une source d'énergie inépuisable. Ils promettent que dans cinquante ans, on pourra reproduire ce qui se passe dans le soleil : la fusion d'atomes d'hydrogène qui produiront de l'énergie et de l'hélium, avec très peu de déchets radioactifs.

Pour ses opposants, il s'agit d'un gigantesque gaspillage de finances publiques sans aucune chance d'aboutir, même dans cinquante ans. Bien que le financement soit international, l'essentiel vient de l'Europe, notamment de la France et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Pour eux, les risques nucléaires sont importants. De plus, ITER n'étant pas une machine propre, des produits radioactifs vont être générés.

COMMENT DOIT FONCTIONNER ITER

Le but d'ITER est de réaliser des réactions de fusion nucléaire de noyaux d'hydrogène. Jusqu'à présent, la seule réalisation de cette réaction a été dans la bombe H, ou bombe à hydrogène, dans laquelle une première bombe atomique classique comprime de l'hydrogène à très haute température et très grande pression, produisant la fusion des atomes d'hydrogène. Cela se produit

naturellement au centre du soleil, mais on ne peut pas refaire le soleil sur terre. La pression y est très élevée, et la température atteint des centaines de millions de degrés.

Depuis plus de soixante ans, des recherches ont été menées dans plusieurs pays dont la France pour trouver une solution. Il en existe plusieurs ayant le potentiel de réussir. Le concept choisi pour ITER, le tokamak, est d'origine soviétique. C'est un tore, c'est-à-dire une sorte de chambre à air en acier inoxydable dans lequel on injecte de l'hydrogène. Ce gaz passe sous la forme de plasma⁹⁶ et est chauffé par une bobine magnétique. Puisqu'il faut atteindre des centaines de millions de degrés pour que la fusion se fasse, il est impossible d'utiliser des aciers suffisamment solides pouvant contenir ce plasma. La solution adoptée a été celle du confinement magnétique. Le plasma est conducteur, car les électrons des atomes d'hydrogène sont séparés du noyau. Il peut donc être contrôlé par un champ magnétique. La principale difficulté sur le plan de la physique est de le maintenir le plus longtemps possible en équilibre dans le tore avec une densité de plasma très élevée. Ce défi n'a pas encore été relevé, car un plasma est très instable et a tendance à se défaire.

ITER, UN ÉCHEC PROGRAMMÉ ?

Les difficultés de réalisation d'ITER, puis de l'éventuelle utilisation de ses successeurs comme réacteurs industriels sont innombrables et quasi insolubles. Elles sont liées à la physique, à l'ingénierie, aux risques et enfin aux coûts économiques.

96. Le plasma est le quatrième état de la matière, après les états : solide, liquide et gazeux. Dans un plasma, un ou plusieurs électrons se détachent des atomes. Le plasma le plus connu est le feu.

LA PHYSIQUE

Le maintien de la stabilité du plasma est la première difficulté à résoudre. Il faut qu'il soit parfaitement contrôlé pour l'empêcher de toucher les parois du tore. Car, dès que le plasma touche la paroi du tokamak, il éjecte des particules de son revêtement, tuant ainsi le plasma. Or, un plasma est un état de la matière très difficile à maîtriser. Sa modélisation nécessite l'utilisation à la fois des lois des gaz, mais aussi celles de l'électricité, puisque les particules sont chargées. On se retrouve avec des systèmes d'équations quasi insolubles. Cependant, de manière intuitive comme expérimentale, les scientifiques se sont aperçus que plus la machine est grande, plus il est facile de stabiliser le plasma et d'éviter ainsi son interaction avec les parois. C'est pourquoi les tokamaks sont devenus de plus en plus grands. Dans ce sens, ITER n'est qu'un outil de recherche, une étape de plus. Ses dimensions ne sont pas suffisantes pour une production d'énergie de manière continue. ITER devrait être suivi de DEMO, deux fois plus grand que lui.

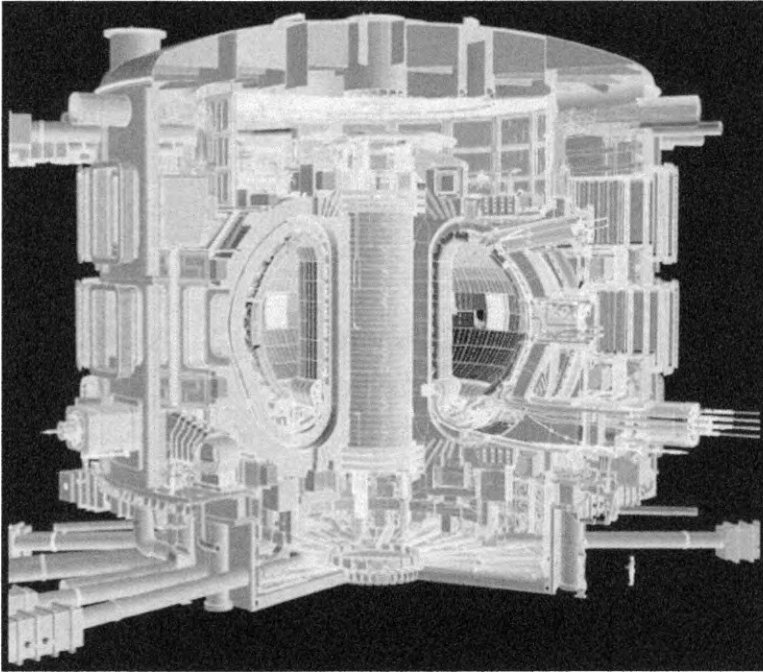


SCHÉMA EN COUPE DE CE QUE SERA ITER. À DROITE, EN BAS, LA SILHOUETTE D'UN HOMME MONTRE LA DIMENSION DE LA MACHINE.

LA RADIOACTIVITÉ

ITER ne va pas utiliser de l'hydrogène ordinaire pour son fonctionnement, comme cela se passe dans le soleil. La réaction entre deux noyaux d'atomes d'hydrogène ordinaires est difficile à réaliser. Mais il existe une solution plus simple, celle utilisant du deutérium et du tritium. Le deutérium est un isotope de l'hydrogène dont le noyau est composé d'un proton et d'un neutron. Le tritium possède un noyau composé d'un proton et de deux neutrons. Alors que le deutérium se trouve naturellement dans l'eau de mer, et est tout à fait stable, le tritium n'existe pas dans la nature ; il est radioactif. Il a une demi-vie

d'environ douze ans, ce qui fait qu'après cette période, la moitié des atomes de tritium a disparu⁹⁷. ITER va utiliser un mélange de deutérium et de tritium en quantités égales. Quand un noyau de deutérium fusionne avec un noyau de tritium, il se produit de l'hélium-4, un gaz inoffensif utilisé pour faire voler les ballons d'enfants, mais aussi un neutron très énergétique⁹⁸.

L'INGÉNIERIE

Les problèmes techniques à résoudre pour faire fonctionner ITER sont de plusieurs ordres, avec des solutions plus ou moins connues à l'heure actuelle. En premier lieu, ITER est une immense enceinte à vide très poussé⁹⁹. On sait obtenir sans problème des vides de cette valeur en laboratoire, et même pour de grandes unités comme les accélérateurs de particules. La difficulté ici provient du fait que l'enceinte à vide va être soumise à des bombardements gigantesques de neutrons provenant de la réaction de fusion. Il faut donc trouver des matériaux résistants aux flux énormes de neutrons énergétiques. À ce jour, il n'existe aucun matériau de ce type. Des recherches sont prévues au Japon, mais rien ne dit que l'on trouvera le produit idéal.

L'intense bombardement des parois par les neutrons rend l'ensemble du réacteur radioactif. Toute intervention humaine devient alors impossible à l'intérieur de la machine. Il faudra en cas de réparations utiliser des robots. Cela rend l'entretien du réacteur très délicat.

97. Le tritium se transforme en hélium-3 en dégageant un positron, c'est-à-dire un anti-électron.

98. L'énergie du neutron éjecté est de 14 MeV.

99. La pression dans ITER sera d'environ 10^{-12} atmosphère, soit mille milliards de fois moins que la pression atmosphérique normale.

Les courants électriques que nécessitent les bobines qui peuvent créer des champs magnétiques gigantesques sont très puissants. Si les fils qui les conduisaient étaient en cuivre, ils chaufferaient trop et fondraient. Il faut plutôt utiliser des matériaux supraconducteurs refroidis à une température proche du zéro absolu, soit $- 273^{\circ}\text{C}$. Ceux-là laissent passer le courant sans échauffement aucun. On se retrouve donc avec le contraste de centaines de millions de degrés au centre du plasma, et quasiment le zéro absolu dans les bobines entourant le tokamak !

L'énergie accumulée dans ITER pendant son fonctionnement est énorme. Si pour une raison ou une autre, le plasma venait brusquement à décrocher, toute cette énergie pourrait se retrouver sur la paroi, et la détériorer, avec un risque de fuite de tritium radioactif et un coût de réparation très élevé.

Le tritium n'existant pas à l'état naturel, il sera nécessaire de le fabriquer sur place. L'idée étant d'utiliser du lithium-6 qui, en recevant un neutron, se fracture en hélium-4 et en tritium. Il devrait donc y avoir, non pas dans ITER, mais dans son successeur DEMO, une enveloppe de lithium liquide placée à l'intérieur de l'enceinte pour produire du tritium. Il faudra ensuite, à l'extérieur, extraire le tritium du lithium.

L'ÉCONOMIE

Les coûts de construction et d'exploitation d'un réacteur à fusion thermonucléaire ne sont pas établis, mais il est probable qu'ils seront très élevés à cause de la complexité de la machine. Par ailleurs, on peut se demander si cette technologie pourra être utilisée partout dans le monde, à cause des raisons invoquées précédemment, mais aussi de sa complexité de fonctionnement qui limitera son utilisation à des pays ayant une très grande maîtrise technologique.

CONCLUSION

Tous ces obstacles sont peut-être surmontables, mais même si technologiquement on arrive à résoudre l'ensemble de toutes ces difficultés, il n'en reste pas moins que le réacteur final sera au sens propre du terme une usine à gaz. Ce réacteur n'aura rien à voir avec ce que nous connaissons aujourd'hui des centrales nucléaires classiques, la différence serait comparable à celle qui existe entre une 2CV et une Formule 1. On ne peut pas faire fonctionner une Formule 1 aussi simplement qu'une 2CV. Cela nécessite une formation poussée, et une équipe de soutien importante. Croire que des réacteurs comme ITER seront disponibles un peu partout dans le monde pour résoudre les problèmes énergétiques de la planète est illusoire. Seuls quelques pays auraient éventuellement les compétences pour les construire et les faire fonctionner.

Une autre conséquence négative de la présence d'ITER en France est l'impact que ce projet a sur le budget de la recherche, et le nombre de chercheurs qu'il mobilise pour l'étude des plasmas. De gros crédits sont alloués pour la fabrication de cette machine, qui ne sont pas disponibles pour d'autres travaux beaucoup moins coûteux, et qui pourraient avoir des retombées bien plus importantes. Dans une période où les jeunes se désintéressent de la science, il est plus que probable que de nombreux jeunes scientifiques vont se diriger vers l'étude des plasmas, avec la possibilité d'y faire carrière à vie.

Le seul point positif étant que quoi qu'il arrive, il y aura des retombées scientifiques à la fois dans l'étude des plasmas, mais aussi au niveau des nouveaux matériaux qui devront être développés.

CHAPITRE 8

LES TRANSMUTATIONS BIOLOGIQUES

Pendant mon premier séjour en Californie en 1976, je suis tombé par hasard sur un livre en anglais qui mentionnait les travaux d'un Français, Louis Kervran¹⁰⁰. Dans les années 1960, ce chercheur a démontré que des transmutations nucléaires se produisaient dans la matière vivante. N'étant pas chimiste, et ne sachant pas comment faire des mesures de chimie quantitative, cette information était restée coincée quelque part dans mon cerveau pendant des années, jusqu'en 1989 avec l'annonce de la découverte de la fusion froide. Je me souviens d'en avoir parlé à Stanley Pons et Martin Fleischmann dès notre première rencontre à Sophia-Antipolis¹⁰¹, le raisonnement étant que si on peut faire des réactions nucléaires par électrochimie, la nature peut très bien en faire aussi en biologie. Mes interlocuteurs étaient d'accord.

Je n'ai jamais aimé la chimie, avec ses tubes à essais et ses dosages précis, telle qu'on l'enseigne à l'école et à l'université.

100. Corentin Louis Kervran (1901-1983).

101. Pons et Fleischmann étaient installés dans un laboratoire de l'IMRA, une filiale de la société japonaise Toyota.

Je n'ai donc pas pu à cette époque me lancer dans des travaux permettant de vérifier les transmutations biologiques. Quand j'ai commencé ma collaboration avec Georges Lonchampt à Grenoble en 1996, j'ai découvert des méthodes d'analyse par voie physique beaucoup plus précises et plus simples à utiliser que je croyais. À partir de là, j'ai reproduit avec succès une partie des expériences de Kervran.

En réalité, les travaux sur les transmutations biologiques ont commencé à la fin du XVIII^e siècle. Tout au long des XIX^e et XX^e siècles, des recherches ont eu lieu. Certaines d'entre elles ont apporté une contribution importante au domaine. Il me semble intéressant de mettre en exergue les étapes importantes de ces démarches.

LES DÉBUTS

JOHANN CHRISTIAN CARL SCHRADER

De 1795 à 1797, l'Académie des sciences de Berlin lança un concours dont l'objet était de montrer d'où venaient les éléments que l'on retrouvait dans les plantes. En 1799, le scientifique allemand Johann Christian Carl Schrader gagna la compétition grâce à ses travaux sur la formation des minéraux dans les plantes. Après des analyses fines montrant qu'il ne pouvait pas y avoir de contamination, il en déduisit que des minéraux avaient été en fait créés.

LOUIS-NICOLAS VAUQUELIN

C'est cependant grâce aux travaux du grand chimiste français Louis-Nicolas Vauquelin¹⁰², l'un des pionniers de la chimie

102. Louis-Nicolas Vauquelin (1763-1829). Il a découvert entre autres les éléments chrome et béryllium. Une rue porte son nom à Paris.

moderne, que le sujet des transmutations biologiques prit de l'ampleur. En 1799, il publia un article dans *Les Comptes Rendus* de l'Académie des sciences¹⁰³ dans lequel il relatait une expérience sur la mesure du calcium ingurgité par les poules, et celui mesuré dans leurs excréments et les œufs. Il constata que les poules produisaient 4 à 5 fois plus de calcium qu'elles n'en mangeaient. Il constata aussi une baisse de la quantité de silicium. Il concluait son article en disant que ces observations étaient intéressantes, tout en suggérant à d'autres de reproduire ses expériences.

ANTOINE LAURENT DE LAVOISIER

Cela se passait parallèlement aux observations d'un autre grand chimiste français, Antoine Laurent de Lavoisier¹⁰⁴ qui affirmait : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », autrement dit on ne peut pas transformer un élément chimique en un autre. Le calcium étant un élément simple, comme l'hydrogène, l'oxygène ou le carbone, il ne peut pas être produit par l'association chimique d'autres éléments. À l'inverse des éléments simples, la molécule d'eau, par exemple, est composée d'atomes d'hydrogène et d'oxygène. Si du calcium apparaît, qui n'était pas présent à l'origine, c'est qu'il s'en est créé de manière nucléaire à partir d'autres éléments, peut-être du silicium !

À la suite du travail de Vauquelin, de nombreuses expériences ont révélé des anomalies dans la composition de plantes, d'algues ou de bactéries au cours de leur croissance. Mais ce domaine de la recherche est resté en dehors des sentiers battus ; les résultats obtenus par les différents chercheurs n'ont pas pu être publiés dans les revues scientifiques. Récemment, j'ai publié dans le

103. Annales de chimie, vol. 29, 30 nivôse an VII (19 janvier 1799), pages 3-26.

104. Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), mort guillotiné.

Journal of Condensed Matter Nuclear Science une revue exhaustive des travaux dans ce domaine. Le lecteur la trouvera en annexe de cet ouvrage. Dans ce qui suit, j'ai rassemblé les travaux les plus explicites sur ce thème.

HENRI BRACONNOT

En 1807, le chercheur français Henri Braconnot reproduisit les expériences de Schrader. Il fit pousser des plantes sur un milieu artificiel, et en conclut qu'il y avait formation de minéraux, en particulier de potassium.

ALBRECHT VON HERZEELE

En 1876, Albrecht von Herzelee, un pharmacien allemand, publia une série de livres dans lesquels il prouvait que les plantes créaient continuellement de la matière. De 1875 à 1883, à Berlin, il fit 500 analyses avec différents types de graines. Il travailla avec le trèfle, la pourpre, la vesce, le colza, l'orge, le cresson, les haricots, les navets, le seigle. Il démontra en particulier que l'addition de carbonate de potassium pendant la croissance de la vesce augmentait la production de calcium.

PIERRE BARANGER

Pierre Baranger¹⁰⁵ était professeur de chimie organique à l'École polytechnique à Paris, et chef du laboratoire de Biologie chimique. De 1950 à 1970, il travailla dans son laboratoire pour démontrer la réalité des transmutations biologiques découvertes par von Herzelee. Il réalisa des milliers d'analyses afin d'éliminer les erreurs statistiques. Il travailla avec des graines de vesce et observa une augmentation de 4,2 % du taux de calcium, de 8,3 % de celui du fer et une baisse de 1,9 % du taux de phosphore

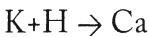
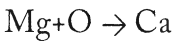
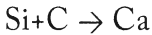
105. Pierre Baranger (1900-1970).

et de 1,1 % de celui du potassium. En ajoutant du chlorure de manganèse, il observa une augmentation du taux de fer. Il obtint des résultats probants, mais malgré toutes ses tentatives, il ne réussit pas à publier ses travaux dans les revues scientifiques. Après sa mort, afin de faire connaître ses travaux, sa famille les édita à compte d'auteur¹⁰⁶ en 1980.

Il ne proposa aucune théorie expliquant ses résultats expérimentaux.

LOUIS KERVVRAN

Corentin Louis Kervran fit de nombreux travaux démontrant que des transmutations se produisaient dans la matière vivante. En particulier, il fit des séries d'expériences mettant en évidence la diminution du silicium, du magnésium ou du potassium et l'augmentation du calcium au cours de la germination de graines d'avoine. Dans son modèle explicatif de la production de calcium, il supposait les trois réactions suivantes :



Faire fusionner des noyaux lourds comme ceux du silicium, du magnésium ou du potassium avec du carbone, de l'oxygène ou de l'hydrogène est totalement exclu par les modèles théoriques actuels.

Il publia les résultats de ses recherches dans plusieurs livres, aujourd'hui difficiles à trouver. Il est la référence la plus connue dans le domaine des transmutations biologiques.

106. P. Baranger, J.-M. Gatheron, *Les plantes opèrent-elles des transmutations ? Les travaux de Pierre Baranger* (Édité par M. Baranger, 1980).

DE NOS JOURS

VLADIMIR VYSOTSKII

Aujourd'hui, il y a trop de doigts dans une main pour compter les chercheurs travaillant sérieusement sur les transmutations biologiques. Vladimir Vysotskii est un scientifique ukrainien très prolifique. Il est à la fois un excellent expérimentateur, mais aussi un très bon théoricien. Il est bien connu dans le monde de la fusion froide, et c'est la raison pour laquelle je l'ai rencontré. Il a apporté une importante contribution aux transmutations biologiques. Il a tout d'abord démontré expérimentalement, par une technique extrêmement sensible¹⁰⁷ à l'isotope 57 du fer, la transformation du manganèse en fer en utilisant des bactéries. Il a aussi fait des mesures de décroissance de la radioactivité obtenue avec des bactérie.

Après avoir découvert les méthodes physiques d'analyse chimique¹⁰⁸ pendant mon séjour à Grenoble, dès que j'en ai eu la possibilité je me suis lancé dans une série d'expériences. Tout d'abord avec des graines de blé, puis d'avoine, et enfin, en collaboration avec des collègues¹⁰⁹, avec des bactéries. J'ai été surpris d'observer de manière systématique qu'au cours de la germination des graines et de la multiplication des bactéries, il y avait augmentation du calcium, et baisse du silicium. J'ai fait une autre observation intéressante au cours de la croissance de

107. La technique Mössbauer a une très grande sensibilité à l'isotope 57 du fer, ce qui rend cette mesure très spécifique.

108. ICP-AES (Ion Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy) et ICP-MS (Ion Coupled Plasma-Mass Spectroscopy) sont des techniques d'analyse où la matière à analyser, mise à l'état liquide, par exemple après destruction par de l'acide, est injectée dans un plasma d'argon à très haute température. Les composantes atomiques sont alors détectées par un système optique ou un spectromètre de masse.

109. Pascal Gos, Pascal Albini, Arthur Gohin, Cédric Manu, Valérie Michotey, Philippe Vallée, Jean-Jacques Allégraud.

graines de blé : une diminution de certains métaux lourds, en particulier du mercure.

J'ai toujours beaucoup de difficultés à continuer dans cette discipline à cause du coût des analyses. Mon laboratoire ne disposant pas des appareils d'analyse nécessaires, j'ai été obligé de payer les analyses dans des laboratoires commerciaux ou, exceptionnellement, de les faire grâce à des collègues bienveillants.

Dans les années 1980, un scientifique hollandais, Leendert Willem Jacob Holleman, avait observé des anomalies de concentration de certains minéraux en faisant pousser des algues. Malheureusement, il mourut avant d'avoir pu retrouver ses premiers résultats. Sa fille Sophia créa une fondation dont l'objectif était de reproduire les travaux de son père. J'ai eu l'occasion de la rencontrer en Suisse où elle réside, et sa fondation m'a aidé financièrement pour quelques-unes de mes expériences.

LES CONSÉQUENCES DES TRANSMUTATIONS BIOLOGIQUES

Si comme cela a été démontré par de nombreuses expériences, les transmutations biologiques sont réelles, de nombreux domaines seront profondément affectés. En premier lieu, la science nucléaire sera remise en question. Les conséquences pour la biologie seront également importantes, il faudra repenser certains mécanismes biologiques tenant compte des transmutations dans le fonctionnement des cellules. Du point de vue de la diététique, cela sera également capital. Il faudra repenser les mécanismes d'absorption de certains minéraux. En rêvant un peu, on pourrait imaginer modifier des bactéries pour les rendre plus efficaces et leur permettre de produire de grandes quantités d'éléments rares, ou encore de détruire sélectivement certains métaux lourds ou radioactifs.

CHAPITRE 9

L'ALCHIMIE

L' alchimie m'a toujours fasciné. Pouvoir transformer le plomb ou le mercure en or ! Je me demande pourquoi tant de personnes auraient travaillé si longtemps sur quelque chose d'imaginaire... On parle d'une alchimie spirituelle. La transmutation ne serait pas physique, mais intérieure. Mais alors pourquoi tant de travaux expérimentaux ? Le plus surprenant dans cette quête est qu'on sait maintenant que l'or et le mercure sont voisins dans le tableau périodique des éléments. L'or a 79 protons et électrons, et le mercure en a 80. Il suffirait de changer un proton du mercure en neutron, ou de lui enlever un proton pour transformer le mercure en or. À la grande époque des alchimistes, ceux-ci ne le savaient pas. Pourquoi avaient-ils choisi le mercure, un métal liquide à la température ambiante, pour essayer de le transformer en or, métal qui fond à 1064 °C ? Le plomb possède 82 protons et électrons, il est aussi très proche de l'or, pourtant, encore une fois, les alchimistes ne le savaient pas. En revanche, on sait depuis longtemps que leurs densités sont très éloignées. Celle de l'or est de 19,3, celle du mercure 13,5 et celle du plomb 11,3. Il y a une grande différence entre

l'or d'une part, le mercure et le plomb d'autre part. Pourquoi ces choix ? Quand la fusion froide a été découverte, il m'a semblé que si l'on pouvait faire des réactions nucléaires par voie chimique, alors peut-être que les alchimistes avaient pu réaliser des transmutations.

UN ALCHEMISTE CÉLÈBRE

Isaac Newton est le plus grand, sinon l'un des plus grands savants que la terre ait jamais connu. Il a en particulier développé toute la mécanique classique. Il a montré que les lois sont les mêmes sur la terre et dans l'espace. Il a trouvé la relation d'attraction universelle permettant de calculer l'orbite des planètes autour du soleil, des satellites autour de la terre et de la chute des corps. Il a également travaillé pendant des années en secret sur l'alchimie. Pourquoi une personnalité aussi informée aurait-elle passé tant de temps sur un sujet fumeux ?

Il existe d'ailleurs un édit de Richelieu interdisant le commerce de l'or alchimique. À l'évidence, à l'époque, on y croyait.

ALBERT CAU

En 1998, je reçois un e-mail d'Albert Cau, alchimiste connu en France. Il prétendait pouvoir faire des transmutations. Après plusieurs échanges, rendez-vous fut pris en 2002 pour faire une expérience à Marseille. Il me disait qu'il fallait fabriquer un four avec des briques réfractaires, et le chauffer avec du charbon de bois. Il était nécessaire aussi d'installer une soufflerie électrique pour activer le feu. Je ne pouvais pas faire cette expérience dans mon laboratoire. Je ne pouvais pas non plus la faire en plein air sur le campus. N'ayant pas de maison avec jardin où j'aurais pu la réaliser, j'optais donc pour celle de mon oncle Roland Tilki.

Ce frère de ma mère m'a toujours soutenu, et n'a pas peur de s'impliquer dans des activités non orthodoxes. Nous nous installâmes dans l'arrière-cour. Nous essayâmes différents mélanges avec du cuivre, et d'autres métaux dont je ne me souviens plus. Rien ne marcha, nous ne réussîmes pas à fabriquer de l'or.

Une autre solution serait paraît-il possible : faire tomber de l'argent fondu dans de la chaux. Le choc thermique devrait produire la transmutation. J'ai fait quelques expériences de ce type, mais là également sans succès. Peut-être que la quantité d'argent que j'utilisais était insuffisante, ou que je n'arrivais pas à faire tomber l'argent fondu d'un seul coup.

Les alchimistes faisaient des distillations successives de purification, ils répétaient et répétaient des expériences pendant des années. Et si la fusion froide, grâce à l'électrochimie, pouvait rapidement faire ce que les alchimistes de l'époque réalisaient lentement dans leurs cornues ? Peut-être avaient-ils trouvé le moyen de transformer le plomb ou le mercure en or. Si c'était le cas, il leur aura fallu une grande sagesse pour garder ce secret qui aurait mis à mal toute l'économie d'alors fondée sur l'or. À l'époque, si on avait pu produire de l'or en grande quantité, sa valeur se serait écroulée et l'économie avec elle. Aujourd'hui, l'or n'a plus qu'une valeur secondaire, c'est quasiment un métal comme un autre. Les monnaies n'y sont plus rattachées. La production de grandes quantités d'or ne ferait qu'écrouler son cours, sans grande influence sur l'économie réelle.

MES TRAVAUX

Une manière de déterminer l'origine d'un élément est d'analyser sa distribution isotopique. Par exemple, le service des fraudes est capable de détecter la vanille synthétique en mesurant ses

isotopes de carbone. On pourrait imaginer faire la même chose avec l'or. Malheureusement, cela n'est pas possible, car l'or ne possède qu'un seul isotope. À supposer que les alchimistes aient réussi, on ne pourrait donc pas analyser la distribution isotopique de l'or alchimique et la comparer à celle de l'or naturel pour prouver qu'il n'est pas naturel.

À en croire la légende, les alchimistes auraient aussi fabriqué de l'argent. Ce dernier possède deux isotopes. On pourrait distinguer l'argent naturel de celui produit par alchimie en comparant les rapports des deux isotopes. Avec deux collègues du Commissariat à l'énergie atomique de Cadarache, nous avons eu l'idée d'analyser des pièces alchimiques conservées dans des musées. Il est possible d'employer des techniques non destructives d'analyse chimique et isotopique. Par microscopie électronique, on peut déterminer avec précision la composition chimique de quasiment tous les matériaux en analysant le spectre des rayons X produits par le faisceau d'électrons. Afin de mesurer la distribution isotopique, il existe une technique¹¹⁰ qui consiste à éjecter, à l'aide d'un faisceau d'ions de gallium, quelques atomes de la surface des matériaux que l'on analyse par spectrométrie de masse. Cette technique ne détruit quasiment pas la surface, car elle n'affecte que quelques couches atomiques, et l'impact du faisceau est absolument invisible à l'œil nu, et même au microscope.

Après consultation de plusieurs musées, nous découvrîmes que celui de Nuremberg en Allemagne avait une collection de pièces en or et en argent d'origine alchimique, c'est du moins ce que leurs documents historiques attestaient. Pour la petite histoire, le musée du Louvre nous a déclaré ne pas avoir de pièces

110. SIMS : Secondary Ion Mass Spectroscopy.

alchimiques, puisque l'alchimie n'existe pas ! Après quelques tractations et signatures de documents certifiant que nous ne détruirions pas les fameuses pièces, nous avons eu l'accord du musée. Il avait fallu auparavant prouver que nos techniques d'analyse n'allaient pas endommager les pièces. Nous avons analysé, par les deux techniques décrites ci-dessus, des pièces françaises modernes en argent et que nous leur avons envoyées pour qu'ils puissent constater qu'elles n'étaient pas endommagées. Les analyses chimiques par microscopie électronique ont été effectuées dans mon laboratoire de Marseille, mais c'est chez un collègue de Sophia-Antipolis que nous avons réalisé les analyses isotopiques.

Nous étions impatients de recevoir les pièces, c'était probablement la première fois que ce type d'analyse allait être fait. Nous avons le privilège de nous voir confier des pièces d'un musée, et cela nécessitait que l'expédition des six pièces en argent soit entourée de précautions particulières. Je suis allé les récupérer dans une aire de stockage spécifique de l'aéroport de Marseille-Provence. Rapidement, nous avons fait les analyses chimiques. Nous avons pu constater la présence majoritaire d'argent, de cuivre et dans deux cas, de mercure. Cela nous a évidemment paru très intéressant, surtout la présence de mercure. Malheureusement, les analyses isotopiques ont prouvé ensuite que le rapport des deux isotopes d'argent des masses 108 et 110 de toutes les pièces correspondait à celui de l'argent naturel. On peut donc en conclure que les pièces n'étaient pas alchimiques, ou que l'alchimie produit le même rapport d'isotopes que la nature, ce qui est peu probable.

J'ai rapporté moi-même les pièces au musée de Nuremberg après les travaux. Elles sont particulièrement belles, et les photos montrent qu'elles sont couvertes de symboles. L'ensemble des

travaux que nous avons effectués sur elles a été publié dans le *Journal of Condensed Matter Nuclear Science*¹¹¹.



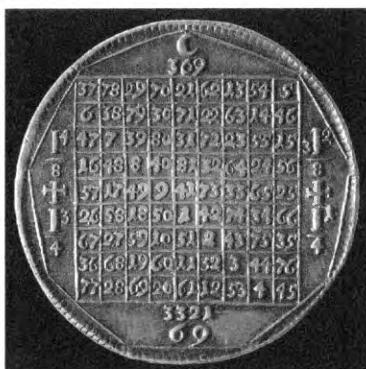
REF : 8882, KROHNEMANN



REF : 5941, KROHNEMANN

111. « Search for isotopic anomalies in alchemical silver coins from the Germanischen National Museum in Nuremberg ». H. Bottollier-Curtet, O. Köberl, R. Combarieu, J.-P. Biberian, J. Condensed Mat. Nucl. Sci. 1(2007)148-154.

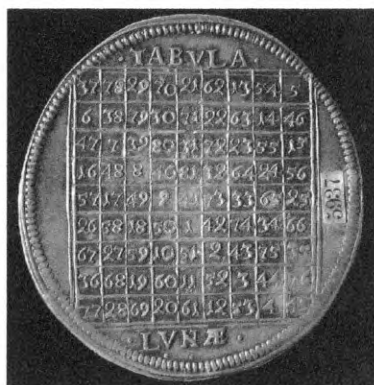
QUEL AVENIR POUR LA FUSION FROIDE ?



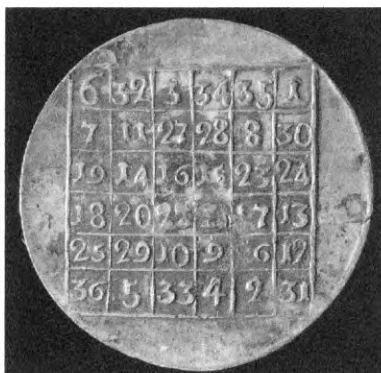
REF : 6010 : *UNBEKANNT/INCONNU*



REF : 5948, ROSENKREUZER



REF : 5937, LUNA



REF 6215 : SOLIS

CHAPITRE 10

LA FUSION FROIDE SELON LES PAYS

Dans les pays où la fusion froide est étudiée, le degré d'activité peut énormément varier. Les données qui suivent ne sont qu'un instantané, car la situation évolue rapidement.

EUROPE

ITALIE

En Europe, c'est l'Italie qui dès les débuts s'est engagée dans cette voie. Les résultats obtenus par Francesco Scaramuzzi¹¹² de détection de neutrons dans du titane chargé en deutérium ont été repris par la presse nationale et internationale. Cela a donné de la crédibilité à la fusion froide. Le professeur Giuliano Preparata¹¹³ avait travaillé au CERN¹¹⁴ à Genève et contribué au développement de la théorie de l'électrodynamique quantique. Dès la découverte de la fusion froide, il développa une

112. Il travaillait à ce moment là à l'ENEA à Frascati près de Rome. L'équivalent du CEA en France.

113. Giuliano Preparata (1942-2002).

114. Conseil européen pour la recherche nucléaire.

théorie fondée elle aussi sur cette théorie. Il était un scientifique théoricien de très grande valeur, un personnage haut en couleur qui animait les débats au cours des différentes conférences. L'équipe de Danièle Gozzi de l'université de Rome fut l'une des premières à mesurer la production d'hélium-4 dans une cellule électrolytique. Deux autres équipes sont toujours très actives, d'une part celle de Vittorio Violante de l'ENEA¹¹⁵ à Frascati près de Rome, et d'autre part celle de Francisco Celani de l'INFN¹¹⁶.

En dehors de ces recherches sur le couple palladium-deutérium, il est important de citer le travail remarquable de Francesco Piantelli et de son équipe de l'université de Sienne. Ils ont travaillé sur le système nickel-hydrogène en atmosphère gazeuse, avec d'excellents résultats. À la suite de ces recherches, Andrea Rossi a développé son réacteur de 1 MW, à ce jour la réalisation la plus prometteuse.

L'Italie est le pays européen ayant le plus d'activités dans ce domaine, et qui plus est dans des organisations gouvernementales. Carlo Rubia¹¹⁷, ancien directeur du CERN, a été directeur de l'ENEA et soutient la fusion froide.

RUSSIE

La situation en Russie est très intéressante, bien que mal connue à l'extérieur. Chaque année s'y tient une conférence sur « la foudre en boule et la fusion froide ». Les Russes ont une grande expérience dans les mesures de rayonnements, neutrons, rayons gamma, particules alpha et rayons X. Par contre,

115. ENEA : Agence nationale pour les nouvelles technologies, l'énergie et l'environnement.

116. INFN : Institut national de physique nucléaire.

117. Carlo Rubia, prix Nobel de physique en 1984.

ils n'ont que peu d'activités en calorimétrie. Plusieurs équipes sont impliquées, bien qu'avec très peu de moyens financiers. Ils ont de plus en plus de difficultés à sortir de leur pays, et même à communiquer sur leurs travaux. Le plus connu, et très qualifié, était Andrei Lipson qui est malheureusement décédé en 2010. Il avait travaillé en Russie, mais aussi aux États-Unis et au Japon.

À l'occasion de l'organisation d'ICCF11 à Marseille en 2004, j'avais invité Leonid Urutskoev, chercheur à l'institut Kurtchatov, à présenter ses résultats impliquant les monopoles magnétiques dans les transmutations. Cela a permis de faire le lien entre les chercheurs de la fusion froide, plutôt intéressés par les dégagements de chaleur et les spécialistes des monopôles magnétiques.

Une trentaine de groupes travaillent avec de plus en plus de difficultés sur la fusion froide. Ils ont très peu de moyens gouvernementaux, et doivent compter sur des financements privés.

ALLEMAGNE

Aucune activité de fusion froide n'a eu lieu dans ce pays, à part peut-être au tout début. Curieusement, c'est une équipe dirigée par Armin Huke, spécialiste des réactions nucléaires à hautes énergies, qui est intervenue. Ils travaillaient sur les interactions de noyaux de deutérium avec des cibles métalliques chargées elles aussi en deutérium. Ils avaient observé à basse énergie de graves anomalies. La réaction se produisait avec un taux beaucoup plus élevé que prévu par les modèles habituels. S'étant aperçus que cela pouvait expliquer la fusion froide, ils vinrent exposer leurs résultats pour la première fois à Marseille en 2004.

UKRAINE

La seule équipe travaillant dans le domaine est celle de Vladimir Vysotskii. Lui et son équipe de Kiev ont travaillé sur la fusion froide depuis le début, mais aussi sur les transmutations biologiques. Ils travaillent dans un laboratoire privé, Proton-21, disposant de nombreux équipements.

GRANDE-BRETAGNE

Paradoxalement, bien que Martin Fleischmann soit anglais, il n'y a quasiment aucune activité relative à la fusion froide dans ce pays. Deux exceptions, d'une part Peter Moberley, un industriel maintenant à la retraite qui a participé à quasiment toutes les conférences sur la fusion froide. Depuis qu'il a pris sa retraite, il s'est lancé activement dans l'expérimentation. Une autre équipe est en train de se constituer, dirigée par un industriel de l'éolien. D'autre part, à l'occasion de l'ICCF11 à Marseille, j'avais invité Brian Josephson, prix Nobel de physique, à venir s'exprimer. Il l'a fait, et depuis lors, il s'intéresse activement au sujet et contribue à sa diffusion dans notre forum de discussion sur Internet.

IRLANDE

Depuis la conférence ICCF16 en Inde en 2011, une équipe s'est créée à partir d'une initiative privée, en collaboration avec l'université de Dublin.

FRANCE

La situation est malheureusement très mauvaise en France. N'ayant pas de soutien officiel, les quelques chercheurs impliqués le sont de manière limitée. Je suis le seul à avoir une position officielle à l'université. Les autres acteurs étant Jacques Dufour dans son laboratoire privé, tandis que Pierre Clauzon, Fabrice David et Jean-Louis Naudin à Paris y travaillent de manière intermittente, faute de moyens. Depuis son retour en France

après son master sur la fusion froide aux Etats-Unis chez le professeur John Dash de l'université de Portland, Mathieu Valat a commencé des recherches en France.

GRÈCE

À ma connaissance il n'y a pas eu de travaux sur la fusion froide en Grèce jusqu'en 2011, lorsque la société Defkalion a produit un générateur de chaleur à base de nickel et d'hydrogène.

ASIE

JAPON

Dès l'annonce de 1989, plusieurs laboratoires commencèrent des recherches dans ce domaine. D'ailleurs, la troisième conférence internationale se déroula au Japon à Nagoya. Aujourd'hui, les travaux se déroulent aussi bien dans des institutions officielles telles que l'université de Tokyo que dans des entreprises privées comme Mitsubishi Heavy Industries.

En 1993, fut créé un programme de recherche de quatre ans sur la fusion froide : New Hydrogen Energy, qui fut prolongé d'une année supplémentaire. Des laboratoires publics et privés furent impliqués. À l'occasion de la conférence ICCF6 à Hokkaido, j'ai pu visiter ce laboratoire. Il était entièrement neuf avec de nombreux équipements de pointe. Après cinq ans de travaux, le projet fut arrêté avec des résultats mitigés. La société Mitsubishi récupéra l'essentiel du savoir-faire. Les laboratoires associés continuent leurs travaux indépendamment.

CHINE

Dès le début, des chercheurs, tels que le professeur Xiang-Zhong Li de l'université Tsinghua de Pékin, ont travaillé dans ce domaine. Ils ont obtenu d'excellents résultats avec peu de

moyens. En 2002, c'est dans cette même université qu'a été organisée ICCF9. À l'heure actuelle, plus de vingt laboratoires travaillent dans cette direction, mais peu de chercheurs chinois publient dans les revues occidentales.

INDE

Chino Srinivasan du Bhabha Atomic Research Centre à Mumbai (Bombay) a réalisé à partir de 1989 de nombreuses expériences en phase gaz ou liquide montrant la réalité de la fusion froide. Le centre de recherche dans lequel il travaillait est celui qui s'occupe de toutes les activités nucléaires en Inde. Il a pu montrer la production de rayonnements au cours de certains travaux. Malheureusement, deux ans plus tard, les recherches ont été arrêtées comme un peu partout ailleurs dans le monde. À l'occasion de la conférence ICCF16 qu'il a organisée en février 2011 à Chennai (Madras), plusieurs réunions ont eu lieu avec des universitaires de cette ville, et le processus est maintenant en route pour reprendre les travaux.

CORÉE

Des initiatives avaient été prises en Corée en 1989, mais elles furent rapidement arrêtées. À la conférence de Chennai en 2011, une délégation de six scientifiques de haut niveau est venue pour réévaluer la situation. Ils vont maintenant reprendre les activités, et organisent la conférence sur la fusion froide d'août 2012.

AMÉRIQUES

COLOMBIE

En 1995, j'ai été invité en Colombie à donner des conférences sur la fusion froide dans plusieurs universités. J'en ai donné six

en cinq jours. L'accueil a été chaleureux, mais rien de pratique ne s'est réalisé. Seul un théoricien, V.D. Dougar Jabon, s'est penché pendant quelque temps sur le sujet.

ÉTATS-UNIS

Alors que l'on s'attendrait à un arrêt total de la recherche sur la fusion froide aux États-Unis, à cause en particulier du rapport de l'ERAB, c'est probablement le pays le plus actif dans ce domaine, aussi bien au niveau théorique qu'expérimental. Les chercheurs impliqués travaillent dans des structures officielles : universités, laboratoires de recherche gouvernementaux, mais aussi dans des laboratoires privés financés par des particuliers sur leurs fonds propres ou soutenus par du capital-risque. Les centres les plus actifs sont : SRI International à Palo Alto en Californie avec l'équipe de Mike McKubre, le laboratoire privé de Edmund Storms dans le Nouveau-Mexique, George Miley à l'université du Michigan, l'équipe de Pamela Boss dans le laboratoire de la Navy à San Diego en Californie et, depuis quelques années, une équipe du laboratoire de la Navy à Washington. Plusieurs autres équipes sont également engagées dans la recherche sur la fusion froide, mais en général avec moins de moyens. Il est intéressant de noter que le ministère de l'Énergie (Department of Energy) ne soutient pas la fusion froide, ce qui n'est pas le cas de celui de la Défense (Department of Defense) qui finance ses propres laboratoires ainsi que le SRI.

CHAPITRE 11

LA VÉRITÉ SCIENTIFIQUE EN QUESTION

QUI DÉCIDE ?

Dans certaines religions, comme dans le catholicisme, le pape décide de ce qui est vrai et de ce qui est faux, de ce qu'il faut croire et ne pas croire. Pour rester catholique, il faut suivre les dogmes de l'Église sous peine d'en être exclu. Certains enfreignent ces lois et créent un schisme. En science, il n'y a pas de pape. Alors, qui décide que telle ou telle théorie est vraie ou fausse, que telle expérience est valide ou non, qui dit que tel scientifique fait partie du sérail ou en est exclu ?

Tout d'abord, on ne peut pas dire qu'une théorie est vraie. On peut prouver qu'une théorie est fausse à partir d'expériences incompatibles avec la théorie. Une seule expérience contredisant une théorie invalide la théorie. Toute théorie est à la merci d'une expérience qui sera un jour en contradiction avec elle. Dans quelle mesure une nouvelle théorie est-elle meilleure que celle qui existe déjà ? Qui décide que cette nouvelle théorie est la bonne ? La situation est complexe, et différents acteurs entrent en jeu.

LES REVUES SCIENTIFIQUES

Dans la quasi-totalité des cas, les scientifiques publient leurs travaux dans des revues spécialisées. Il en existe des milliers qui couvrent l'ensemble des domaines de la science. On peut les classer en trois catégories.

Au bas de l'échelle, ce sont des articles très spécialisés qui ne s'adressent qu'aux microcosmes des personnes travaillant dans des domaines spécialisés. Ces revues ne sont pas lues par les autres chercheurs, car trop techniques. Elles nécessitent la connaissance du jargon de ces milieux. Publier dans cette catégorie est relativement facile. Les éditeurs sont prêts à accepter des travaux relativement mineurs.

Au niveau intermédiaire, des journaux représentent un domaine complet de la science, par exemple la physique. L'un d'eux est le *Physical Review Letters*¹¹⁸. Ces journaux sont très sélectifs et ont un plus grand lectorat. Pour l'évaluation des chercheurs, un article publié dans ces journaux a beaucoup plus de poids que ceux parus dans des journaux techniques.

Au-dessus de ces deux catégories se trouvent deux revues internationales de très grand renom, qui traitent de tous les thèmes de la science. Il s'agit de *Science*¹¹⁹ et de *Nature*¹²⁰. Ce sont ces dernières qui donnent le *la* de la science. Quand une découverte très importante pouvant changer le cours de la science est faite, elle est généralement mentionnée dans l'une de ces revues. Pour un chercheur, c'est le Graal que d'être publié par l'une d'entre elles.

118. C'est une revue de l'American Physical Society.

119. Revue américaine.

120. Revue anglaise.

Ces journaux jouent un rôle capital dans la diffusion d'une science. C'est ainsi qu'elle se fait connaître auprès de l'ensemble des scientifiques. Leur poids est d'autant plus important qu'ils ne publient leurs articles qu'après vérification par des *referees*¹²¹ inconnus des auteurs. C'est ce qu'on appelle « l'évaluation par ses pairs ».

LES LIVRES

N'importe qui peut publier un livre, ceci est à la fois un avantage et un inconvénient. Un avantage puisqu'il n'y a pas de filtre, un inconvénient puisque chacun peut écrire ce qu'il veut, un produit d'excellente qualité ou médiocre. C'est la raison pour laquelle les livres n'ont pas le poids des revues. Ils jouent cependant un rôle important. Alors que les articles ont une longueur limitée, les livres donnent tout l'espace nécessaire pour développer une idée, un concept, une théorie. Des scientifiques de renom tels qu'Albert Einstein, et bien d'autres, ont écrit des ouvrages développant en détail leurs travaux. Aux débuts de la science contemporaine, les savants communiquaient principalement par la publication de leurs livres, ce fut le cas de Galileo Galilée, d'Isaac Newton, et de bien d'autres. De nos jours, la priorité est donnée aux revues scientifiques, mais les livres sont toujours présents pour donner une vue complète d'une recherche.

LES SOCIÉTÉS SAVANTES

Les chercheurs des différents domaines se regroupent en sociétés savantes. Leur but est de promouvoir leurs particularités, de faire connaître leurs travaux. En France, la Société française de physique ou la Société chimique de France promeuvent la

121. Arbitres.

physique ou la chimie au sens large du terme. Elles organisent des réunions annuelles et publient leur propre revue. Elles jouent un rôle de référence dans leur pays. Ces sociétés existent dans chaque pays ayant une activité scientifique significative.

LES CONGRÈS

Ces sociétés savantes organisent régulièrement des congrès pouvant durer plusieurs jours, au cours desquels les derniers travaux sont présentés, soit sous la forme d'exposés oraux, soit par l'intermédiaire de posters. Leur rôle est important, c'est au cours de ces grandes messes que les derniers résultats sont annoncés. Ils sont organisés à l'échelle nationale, régionale ou internationale. Un point fort de ces congrès est la possibilité de poser des questions, de discuter avec les intervenants, et de se retrouver entre soi.

LES ACADEMIES DES SCIENCES

Pratiquement tous les pays développés ont leur Académie des sciences. Ce sont des organismes dont les membres sont élus par leurs pairs. Ils peuvent être de la nationalité du pays ou membres étrangers. Les académiciens ont un grand prestige, et leurs opinions sont considérées avec intérêt par les gouvernants.

LES PRIX SCIENTIFIQUES

Ils jouent un rôle très important dans la mesure où, suivant leur niveau de prestige, ils atteignent le grand public. Le plus important de tous est le prix Nobel qui chaque année donne son blanc-seing à des découvertes plus ou moins récentes. Pendant quelques jours, après la remise des prix, la presse généraliste décrit la découverte ayant valu à son auteur d'être ainsi couronné.

Aux yeux de la communauté scientifique, les prix accordent de la crédibilité à la recherche concernée.

LES CAS HISTORIQUES DE NON-RECONNAISSANCE

En décembre 1901, Guglielmo Marconi¹²² réalisa la première retransmission d'un signal radio à travers l'Atlantique. Le célèbre Thomas Edison¹²³ n'y croyait pas. En effet, c'était théoriquement impossible, car les ondes électromagnétiques¹²⁴ se déplacent en ligne droite. À cause de la courbure de la terre, elles auraient dû se perdre dans l'espace, et ne pas atteindre l'autre côté de l'Atlantique. Or, par chance, il existe autour de la terre, dans la très haute atmosphère, une couche de gaz ionisés, l'ionosphère, qui a la propriété de réfléchir les ondes radios. Les scientifiques de l'époque ne la connaissaient pas et, pour eux, on ne pouvait donc pas communiquer directement par ondes radios d'un côté à l'autre de l'Atlantique. À cette époque-là, Marconi ne connaissait pas l'existence de l'ionosphère, mais a essayé quand même, et il a réussi.

Un autre cas intéressant est celui de la dérive des continents. Très tôt, on s'est aperçu que les différents continents pouvaient s'imbriquer les uns dans les autres. Ceci est particulièrement visible entre l'Afrique et l'Amérique du Sud qui s'emboîtent parfaitement. En 1912, Alfred Wegener¹²⁵ publia un article dans lequel il décrit la dérive des continents. Il constata des correspondances géologiques entre l'Afrique et l'Amérique du Sud. Sa théorie, bien que reposant sur des bases scientifiques, fut rejetée par les scientifiques pendant un demi-siècle, à cause

122. Guglielmo Marconi (1874-1937), inventeur italien, prix Nobel de physique en 1909.

123. Thomas Edison (1847-1931), inventeur américain.

124. Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques.

125. Alfred Wegener (1880-1930), astronome et météorologue allemand.

de calculs montrant que la dérive serait beaucoup trop lente pour se réaliser dans les temps géologiques. Il a fallu attendre une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement du magma terrestre pour que finalement la communauté scientifique accepte cette théorie.

L'épisode de Galileo Galilée¹²⁶ est bien connu, et ne nécessite pas d'être développé ici. Ses observations étaient tout simplement en contradiction avec les théories tirées de la Bible. On pourrait citer d'autres exemples comme celui d'un membre de l'Académie des sciences américaine démontrant qu'il était impossible de faire voler un objet plus lourd que l'air, alors que depuis plusieurs années déjà les frères Wright¹²⁷ faisaient voler leur avion.

Ce qui se passe en ce moment pour la fusion froide n'a rien d'unique, c'est en pratique presque toujours la règle. Lorsqu'une nouvelle expérience contredit les connaissances du moment, le système essaie de l'éliminer. Quelquefois, une reconnaissance officielle nécessite de nombreuses années, mais la vérité finit toujours par triompher.

COMMENT SE FONT LES DÉCOUVERTES SCIENTIFIQUES ?

On a l'impression que la grande majorité des découvertes est due au hasard. Ce n'est pas le cas. Si certaines résultent d'une erreur de manipulation, d'autres sont le fruit d'un raisonnement.

Quand Christophe Colomb est parti pour les Indes par la route de l'Ouest, son épopée était vouée à l'échec. On savait depuis longtemps que la terre faisait environ 40 000 kilomètres de circonférence. Celle-ci avait été déterminée avec une très

126. Galileo Galilée (1564-1642), savant italien.

127. Orville Wright (1871-1948) et Wilbur Wright (1867-1912).

grande précision par le savant grec Ératosthène 200 ans environ avant notre ère. Il était donc impossible avec les navires de l'époque de parcourir de si grandes distances. Si l'Amérique n'avait pas existé, il n'aurait pas pu traverser les océans Atlantique et Pacifique. Afin de se lancer dans l'aventure, Christophe Colomb prétendit que cette mesure était fausse et qu'en réalité la terre était beaucoup plus petite. Sa découverte de l'Amérique est donc due à un pur hasard. Il pensait vraiment avoir atteint les Indes.

La découverte de la supraconductivité est intéressante, car elle a deux aspects. Tout d'abord, en 1911, Gilles Holst, étudiant du professeur Kamerlingh Onnes, découvrit de manière totalement fortuite la supraconductivité. Ce n'était pas du tout ce qu'ils cherchaient. Ils avaient démontré par hasard qu'à très basse température le mercure perdait toute résistance au passage du courant électrique. Plus tard, les théoriciens trouvèrent un modèle expliquant cet effet et montrèrent que la supraconductivité ne pouvait pas exister à des températures élevées. Par ailleurs, bien qu'ils savaient cela, en 1986, Alex Müller et Georg Bednorz découvrirent ce même effet à haute température, mais cette fois en le cherchant.

En ce qui concerne la fusion froide, Stanley Pons et Martin Fleischmann souhaitaient faire fusionner deux atomes de deutérium dans un milieu solide. Ils choisirent le palladium à cause de sa grande capacité à absorber l'hydrogène, et l'électrochimie parce que c'est un moyen simple et facile de remplir le palladium avec de l'hydrogène. Ils n'obtinrent pas la réaction prévue, c'est-à-dire celle conduisant à la production de neutrons et de tritium. Mais ils trouvèrent autre chose, et ouvrirent la voie à de nouvelles recherches dans le domaine des matériaux chargés en hydrogène ou deutérium.

LE RÔLE DES NOUVEAUX INSTRUMENTS

C'est parce que la lunette venait d'être inventée par des Hollandais que Galilée put observer les satellites de Jupiter, les anneaux de Saturne et les phases de Vénus. C'était la preuve que le système héliocentrique était le bon. De même, c'est grâce à la mise au point de microscopes de qualité au XIX^e siècle que les microbes ont pu être observés. C'est aussi avec le développement de télescopes puissants qu'on a pu découvrir de nouvelles galaxies en dehors de notre Voie lactée.

Plus récemment en 1981, deux chercheurs¹²⁸ de la société IBM à Zurich en Suisse ont fabriqué un nouveau type de microscope à effet tunnel. Cette invention a permis de « voir » les atomes, ce qui était très difficile auparavant. Cette découverte est à l'origine des nanotechnologies qui sont en train de bouleverser la science des matériaux. Grâce à ces deux inventeurs, on peut maintenant manipuler les atomes un à un.

La liste est encore longue des découvertes ayant fait avancer la science grâce à de nouveaux instruments, et dans certains cas ayant apporté une réponse à des questions jusqu'alors insolubles.

DES CAS ENCORE LITIGIEUX

LA MÉMOIRE DE L'EAU

En juin 1988, la revue britannique *Nature* publia un article de Jacques Benveniste¹²⁹ démontrant la réalité de l'homéopathie grâce à des expériences montrant que l'eau avait une sorte de mémoire. Les dilutions étaient telles qu'il n'y avait plus une

128. Gerd Binnig et Heinrich Rohrer, ils obtinrent le prix Nobel de physique en 1986.

129. Jacques Benveniste (1935-2004).

seule molécule active dans la solution. Cela allait contre toutes les connaissances du moment. Le rédacteur en chef de la revue, John Maddox¹³⁰, accepta l'article à condition de pouvoir effectuer des vérifications sur place, avec l'aide d'un magicien et d'un spécialiste des erreurs scientifiques. La publication avait été acceptée à cause du renom de Jacques Benveniste lui-même. Le fait qu'il était directeur de recherche à l'INSERM¹³¹ à Paris donnait du poids à son travail. Néanmoins, il était clair que John Maddox ne croyait pas à ces résultats, et il l'écrivit dans son éditorial tout en demandant une expertise.

J'avais rencontré Jacques Benveniste à plusieurs reprises lors de conférences. J'ai aussi visité son laboratoire à Clamart près de Paris. C'était un homme très agréable. Il vint même me chercher au métro et me conduisit dans son laboratoire. J'ai pu discuter avec lui, mais aussi avec les ingénieurs de son équipe. J'ai été tout à fait convaincu par les descriptions de leurs travaux qu'ils m'ont données.

En 2001, une équipe européenne provenant de quatre pays – France, Italie, Belgique et Pays-Bas – refit les expériences de Jacques Benveniste en espérant prouver que ce dernier s'était trompé. Leurs expériences ont été effectuées en double aveugle, c'est-à-dire que la personne faisant les mesures ne connaissait pas quelle solution était activée ou non. Le résultat de ces travaux a surpris leurs auteurs : il y avait bien de l'activité biologique dans des solutions tellement diluées qu'elles ne contenaient plus la moindre molécule active. Le quotidien britannique *The Guardian* présenta ces résultats validant les travaux de Benveniste. Étonnamment, cela n'a eu aucune conséquence quant à la reconnaissance de la valeur des expériences de Jacques Benveniste.

130. John Maddox (1925-2009).

131. INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale.

D'autres laboratoires ont reproduit ces expériences avec succès, mais par peur de perdre leur crédibilité, ils n'ont pas publié leurs résultats. Le professeur Luc Montagnier, célèbre pour sa découverte du virus du sida, a reproduit ces mêmes expériences, dans un silence médiatique et scientifique étourdissant.

On voit bien que dans certains cas précis, il est difficile de faire changer le paradigme ambiant et de faire accepter une nouvelle vision de la structure de l'eau et de la biologie. Cette question n'est toujours pas réglée, et nul ne sait combien de temps sera nécessaire avant qu'une confirmation « officielle » soit apportée. En plus des considérations scientifiques, il ne faut pas oublier les conséquences industrielles et financières que génère la mise en cause du fonctionnement des médicaments. La validation de la mémoire de l'eau pourrait révolutionner la médecine et la pharmacie, et ainsi bouleverser toute une industrie. La science joue là un rôle mineur, les enjeux sont ailleurs.

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

S'il est maintenant assez évident qu'un certain changement climatique est en cours, la cause de celui-ci est encore sujette à caution. La version officielle soutenue par le GIEC¹³² stipule que le changement actuel est dû à l'activité humaine, et plus précisément à la production de gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone. Cette version est plausible mais pas certaine, même si un grand nombre de chercheurs soutiennent cette thèse. Il existe en effet d'autres possibilités. Certains ont proposé des causes astronomiques telles que l'influence de la trajectoire de notre système solaire dans la galaxie ou des variations d'activité solaire. Une autre hypothèse est celle de la variation rapide du champ magnétique terrestre. On sait que de manière irrégulière

132. GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

l'orientation du champ magnétique terrestre bascule du pôle Nord au pôle Sud. Ce n'est pas une modification instantanée. Le champ magnétique diminue jusqu'à s'annuler, puis s'accroît dans le sens opposé. Le champ magnétique joue un rôle très important, car il nous protège des rayonnements solaires. L'absence de cette protection change la quantité de rayonnements reçus et en conséquence le climat.

Il est intéressant de noter qu'à la demande de la ministre de la Recherche et de l'Enseignement supérieur, l'Académie des sciences a promulgué un rapport sur ce sujet le 28 octobre 2010 allant dans le sens de l'origine anthropique du réchauffement climatique. Le gouvernement avait besoin d'une réponse officielle, et seule l'Académie des sciences pouvait donner une telle réponse¹³³. En réalité, l'Académie des sciences n'a aucune autorité sur la science, car la vérité scientifique ne peut pas être votée¹³⁴.

Dans ce cas particulier, la solution viendra prochainement. Dans quelques décennies nous saurons avec certitude ce qui se sera passé, et nous pourrons vérifier l'exactitude des modèles climatiques actuels.

ALORS QUI DÉCIDE ?

Un scientifique se doit d'être ouvert, à l'écoute, mais de manière critique. Je ne sais pas si les transmutations biologiques existent vraiment, si le réchauffement climatique est d'origine anthropique, si la mémoire de l'eau est réelle, si les alchimistes

133. « Plusieurs indicateurs indépendants montrent une augmentation du réchauffement climatique de 1975 à 2003. Cette augmentation est principalement due à l'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère. L'augmentation de CO₂ et, à un moindre degré, des autres gaz à effet de serre, est incontestablement due à l'activité humaine. »

134. C'est malheureusement ce que font les comités d'experts.

ont produit de l'or, mais je me dois d'utiliser dans la mesure du possible mon esprit critique, tout en essayant de savoir si cela est vrai ou non. La meilleure preuve est l'expérience elle-même, mais il n'est pas toujours possible de la réaliser. Quant aux non-scientifiques, ils se doivent d'écouter les avis contradictoires afin de se faire une idée plus précise du sujet.

En fait, personne ne décide, c'est un mouvement subtil qui lentement infuse dans le milieu de la science. Comme disait Max Planck :

« Une théorie nouvelle ne triomphe jamais. Ce sont ses adversaires qui finissent par mourir. »

CHAPITRE 12

LA FUSION FROIDE, AUJOURD'HUI... ET DEMAIN ?

L'initulé « fusion froide » a été choisi au moment de sa découverte, mais n'est pas forcément juste d'un point de vue fondamental. Les premiers résultats d'excès de chaleur par Pons et Fleischmann avaient montré la formation de chaleur et d'hélium. Il était donc justifié à cette époque de supposer que la réaction de base était bien une fusion de deux noyaux de deutérium pour donner de l'hélium-4. Au cours des années qui ont suivi, de nombreux nouveaux résultats ont été obtenus. En particulier la découverte de transmutations. C'est pour cette raison qu'il a été préférable de renommer le domaine « réactions nucléaires à faible énergie¹³⁵ ». Une société savante a été créée, la Condensed Matter Nuclear Science Society¹³⁶, et une revue qui en est l'émanation, le *Journal of Condensed Matter Nuclear Science*¹³⁷.

135. En anglais : Low Energy Nuclear Reactions (LENR).

136. Société de science nucléaire dans la matière condensée.

137. Le *Journal de science nucléaire dans la matière condensée*.

POURQUOI LA FUSION FROIDE EST-ELLE REJETÉE ?

La fusion froide a été vérifiée des centaines de fois par des dizaines de chercheurs dans le monde entier avec des techniques différentes. Malgré cela, elle n'est toujours pas acceptée, ni par la communauté scientifique, ni par les industriels, ni par les politiques. Qui plus est, la fusion froide n'apparaît pas dans les médias.

LE POINT DE VUE SCIENTIFIQUE

En ce qui concerne les scientifiques, il est un fait indéniable : la science est conservatrice. L'histoire a montré que chaque fois qu'un nouveau paradigme¹³⁸ est apparu, la communauté scientifique a mis un temps plutôt long pour l'accepter. Une des raisons avancées régulièrement est que la nouvelle expérience est en contradiction avec les théories existantes. Plusieurs cas récents ont montré ce type de comportement. Quand Pierre et Marie Curie ont découvert la radioactivité naturelle, cela allait contre l'idée de l'époque des atomes stables. Lord Kelvin, un éminent scientifique britannique, disait que les mesures étaient mauvaises, et qu'en réalité c'était bien une réaction chimique.

Il est très difficile pour les scientifiques d'expliquer un phénomène nouveau avec des modèles théoriques dépassés. Un contre-exemple intéressant est sans doute celui de la supraconductivité haute température. En 1986, Alex Müller et Georg Bednorz¹³⁹

138. Un paradigme est un ensemble de références de base définissant la théorie scientifique. Par exemple le paradigme de la relativité d'Einstein a remplacé celui de la gravitation universelle de Newton. L'équivalent du paradigme en science est le dogme dans les religions.

139. Ils travaillaient chez IBM à Zurich en Suisse, et ont obtenu le prix Nobel de physique l'année suivante, en 1987. Quand on parle de hautes températures, c'est très relatif, car il s'agit de températures encore relativement basses. L'avantage de ces nouveaux matériaux est qu'ils peuvent fonctionner à la température de l'azote

montrèrent qu'une céramique isolante à température ambiante pouvait devenir supraconductrice. Leur expérience put être rapidement reproduite partout dans le monde et acceptée, alors qu'aucune théorie n'est jusqu'à présent capable de l'expliquer. Pire, la théorie BCS¹⁴⁰ en vigueur exclut la possibilité d'avoir de la supraconductivité à haute température.

Dans le cas de la fusion froide, nous nous trouvons face à deux difficultés, d'une part celle de réaliser des expériences reproductibles, et d'autre part que celles-ci donnent des résultats de grande ampleur. Produire quelques milliwatts ou même quelques watts pendant une courte durée ne suffit pas. Le but est la production de beaucoup d'énergie pendant une longue durée. C'est peut-être ce qu'Andrea Rossi en Italie, et la société Defkalion en Grèce ont réussi à faire.

LE POINT DE VUE INDUSTRIEL

On pourrait penser que l'idée d'une nouvelle source d'énergie propre quasi inépuisable intéresserait bon nombre d'entreprises. Nous avons l'impression de vivre une période de manque d'énergie, et qu'une solution telle que la fusion froide serait attractive. Il n'en est rien. En fait, il y a pléthore d'énergie bon marché, surtout dans nos pays développés. Contrairement aux prévisions alarmistes, il y a toujours énormément de pétrole, de gaz et de charbon pour des centaines d'années. Le nucléaire avec les surgénérateurs peut apporter de l'électricité pour des milliers d'années. Les énergies renouvelables : éolien, solaire, géothermique, biomasse ne sont pas encore vraiment développées et pourraient apporter des ressources permanentes

liquide, soit 77 K (- 196 °C) au lieu des 4 K (- 269 °C) de la température de l'hélium liquide pour les supraconducteurs métalliques traditionnels.

140. Du nom des trois théoriciens John Bardeen, Leon Neil Cooper et John Robert Schrieffer. Ils obtinrent le prix Nobel de physique en 1972.

pour toujours. La concurrence est déjà féroce entre toutes ces ressources énergétiques. À ce stade, personne n'a intérêt à voir un nouveau venu bousculer les situations établies. L'industrie nucléaire utilise comme argument le fait qu'elle ne produit pas de gaz à effet de serre. Celles du pétrole, du gaz et du charbon, le fait qu'elles peuvent devenir de plus en plus propres et que, dans de nombreux cas, il n'y a pas d'alternative¹⁴¹.

On voit donc que chaque source d'énergie a ses avantages et ses inconvénients. La fusion froide, le jour où elle deviendra réalité, pourra rapidement prendre une place prépondérante. C'est certainement la raison pour laquelle personne n'en veut.

LE POINT DE VUE POLITIQUE

A priori, on pourrait penser que les écologistes seraient intéressés par cette nouvelle source d'énergie non polluante, ne créant pas de gaz à effet de serre, pas de déchet radioactif, et disponible pratiquement pour tous. J'ai eu l'occasion d'en parler à deux écologistes de premier rang, l'un aux États-Unis, et l'autre en France. Dans les deux cas, la réponse a été la même. Si on a une source d'énergie illimitée, nous allons épuiser la terre. Cet argument ne tient évidemment pas. Il n'y a rien de gratuit, il faudra toujours développer des équipements, les mettre en place et les entretenir. La seule grande différence étant que cette nouvelle énergie pourra être délocalisée et universelle.

À la suite de la conférence en Inde, j'ai écrit au président Nicolas Sarkozy pour l'informer de la situation de la fusion froide dans le monde, et du manque de recherches sur ce thème en France. Peu de temps après, j'ai reçu une lettre du ministère

141. Les transports seront tributaires du pétrole encore longtemps, car il n'y a pas encore de batterie qui donne une autonomie suffisante aux voitures, et qui puisse être rechargée rapidement.

du Développement durable, m'informant de leur veille technologique sur ce sujet. La fusion froide semble bien intéresser les politiques et les gouvernants, mais pas au point d'en financer des recherches fondamentales.

LES CONFÉRENCES

Un an après l'annonce du 23 mars 1989 eut lieu la première conférence internationale sur la fusion froide (International Conference on Cold Fusion). Elle se tint à Salt Lake City dans l'Utah. Depuis, ces conférences ont lieu à une fréquence comprise entre une et deux années avec une alternance Amérique, Europe, Asie¹⁴². J'ai eu le privilège d'organiser la 11^e conférence à Marseille. À cette occasion, bien que nous ayons gardé l'acronyme ICCF, l'intitulé a été changé en International Conference on Condensed Matter Nuclear Science.

D'autres réunions ont été organisées, en particulier à Asti, en Italie, où un prix a été créé : « le prix de la truffe ». Ce nom a été choisi à cause de la difficulté à la trouver, comme c'est le cas pour la fusion froide ! Après la mort du théoricien italien Giuliano Preparata en 2004, le prix s'est appelé la « médaille Preparata ». Elle récompense un chercheur ayant contribué significativement à l'avancement de la fusion froide. Les Russes ont chaque année une conférence sur la « fusion froide » et la « foudre en boule ». Les Japonais ont aussi une réunion annuelle. Aux États-Unis, à chacune de ses conférences annuelles depuis

142. 1990, ICCF1, Salt Lake City, États-Unis 1991, ICCF2, Cuomo, Italie 1992, ICCF3, Nagoya, Japon 1993, ICCF4, Hawaï, États-Unis 1995, ICCF5, Monte Carlo, Monaco 1996, ICCF6, Hokkaido, Japon 1998, ICCF7, Vancouver, Canada 2000, ICCF8, Lérice, Italie 2002, ICCF9, Pékin, Chine 2003, ICCF10, Cambridge, États-Unis 2004, ICCF11, Marseille, France 2005, ICCF12, Yokohama, Japon 2007, ICCF13, Sochi, Russie 2008, ICCF14, Washington, États-Unis 2009, ICCF15, Rome, Italie 2010, ICCF16, Chennai, Inde 2012, ICCF17, Daejeon, Corée.

quatre ans, l'American Chemical Society organise une session spéciale sur la fusion froide.

LA SOCIÉTÉ SAVANTE

D'une manière générale, les scientifiques travaillant dans un domaine donné se regroupent en sociétés savantes afin de coordonner et d'échanger leurs travaux. Les chercheurs en fusion froide n'avaient rien de tel. Pendant douze années, les seuls liens qui les réunissaient étaient d'une part les conférences internationales de la série des ICCF, et d'autre part un site Internet¹⁴³ qui avait été mis en place par Jed Rothwell et Edmund Storms. Ils mettaient en ligne de nombreux articles sur le sujet. En 2003, à la réunion ICCF10 qui eut lieu aux États-Unis, il fut décidé de créer une société savante spécialisée en fusion froide. Cette initiative a été prise en charge principalement par William Collis qui fit un travail remarquable pour en créer les statuts et les enregistrer en Grande-Bretagne afin de bénéficier des avantages fiscaux d'une *Charity*, c'est-à-dire d'une déduction d'impôts.

LA REVUE SPÉCIALISÉE

À cause des difficultés rencontrées pour publier nos résultats dans les revues scientifiques, il nous a semblé nécessaire de créer notre propre journal. Nous avons donc créé le *Journal of Condensed Matter Nuclear Science*, dont je suis le rédacteur en chef depuis 2006, avec une équipe de six autres rédacteurs régionaux¹⁴⁴. À ce jour, huit volumes ont été publiés. Ils sont

143. www.lenr.org.

144. Peter Hagelstein, du Massachusetts Institute of Technology, États-Unis. Xing-Zhong Li, de l'université Tsinghua à Pékin, Chine. Edmund Storms, retraité du centre de Los Alamos, États-Unis. George Miley, université d'Illinois,

disponibles gratuitement sur le site de l'International Society for Condensed Matter Nuclear Science¹⁴⁵. Au démarrage de cette initiative, Peter Hagelstein du MIT en était le rédacteur en chef. Il souhaitait une revue de haut niveau. Malheureusement, il n'y avait que très peu de propositions d'articles de ce calibre. Les personnes ayant des résultats importants préférant les faire paraître dans des journaux déjà connus, ce qui leur donnerait plus de visibilité. Après deux années infructueuses, Peter Hagelstein me transmet la direction. Il m'était apparu que ce journal devait être moins ambitieux, et être simplement le moyen de communication de la communauté. Cette nouvelle approche permettait de prendre plus de risques éditoriaux. Nous étions ainsi ouverts à des données moins bien établies. Nous n'essayions plus de démontrer dans chaque article la réalité de la fusion froide, puisque tout le lectorat en était déjà convaincu ; cela nous a permis de produire des articles jouissant d'une crédibilité pas forcément absolue, mais qui apportaient à chaque fois une contribution au domaine. Dans un journal à visée publique plus large, il aurait fallu à chaque fois démontrer que le phénomène existe vraiment.

En ce qui concerne les articles théoriques, j'ai pensé que juger de la validité d'une théorie est très difficile, j'ai donc pris le risque, en tant que rédacteur en chef et ne sachant pas de quoi l'avenir sera fait, d'être ouvert aux nouveautés. Il valait mieux être un peu laxiste avec une probabilité de trouver une théorie juste, plutôt que d'être trop strict et de la manquer, car sortant trop des sentiers battus. Seul l'avenir dira quelle théorie est correcte. En attendant, nous devons être ouverts à de nombreuses options.

États-Unis. Michael McKubre, SRI International, États-Unis. Akito Takahashi, université d'Osaka, Japon.

145. www.iscmns.org.

LE RÔLE D'INTERNET

La fusion froide est apparue au moment de la naissance d'Internet, et ce nouveau moyen de communication a joué un rôle important dès le début, mais surtout par la suite. Les chercheurs impliqués résident dans différents pays et ne se connaîtraient certainement pas s'il n'y avait pas eu ce moyen de communication. Internet a permis aux chercheurs de se regrouper, de travailler ensemble, d'échanger des nouvelles, des idées, des critiques. Sans ce nouveau médium, il est probable que la fusion froide aurait disparu pour de nombreuses années. Cela s'est déjà produit à d'autres époques, où une première découverte est passée inaperçue, pour réapparaître longtemps après.

La fusion froide est née avec l'aide d'un système d'information en réseau, et elle permettra probablement dans l'avenir de fournir des sources d'énergie également en réseau.

QUEL AVENIR POUR LA FUSION FROIDE ?

Depuis 1989, d'immenses progrès ont été accomplis dans le domaine de la fusion froide. On commence à mieux comprendre quels sont les ingrédients importants, les conditions nécessaires pour que le système fonctionne. Non seulement l'expérience de départ des deux découvreurs a été reproduite, mais de nouvelles expériences ont montré d'autres manières d'obtenir des résultats similaires. Nous avons également vu que le phénomène était beaucoup plus général que ce que l'on pensait au début de ces recherches et que des couples autres que palladium-deutérium étaient possibles. Peut-être que l'un des points importants est la compréhension que le couple nickel-hydrogène était une solution d'avenir.

Les résultats obtenus par l'équipe d'Andrea Rossi en Italie et ceux de la société Defkalion en Grèce sont extrêmement encourageants, et montrent que les recherches pourraient aboutir très prochainement à des applications.

UNE SOCIÉTÉ DE LA FUSION FROIDE ? RÊVONS UN PEU...

Et si un jour pas si lointain la fusion froide devenait une source d'énergie pratique, qu'est-ce que cela changerait ? Probablement beaucoup de choses, surtout si le système utilise comme ingrédients le nickel et l'hydrogène. On peut en effet imaginer une société dans laquelle l'énergie serait délocalisée. Chaque maison, immeuble ou usine pourrait avoir son propre générateur fournissant à la fois l'électricité, le chauffage, l'eau chaude et la climatisation. Afin de permettre une harmonisation des puissances entre les différents utilisateurs, tous les utilisateurs pourraient se mettre en réseau. Au niveau des véhicules, la fusion froide serait la solution au problème de l'autonomie des voitures électriques. Un générateur fonctionnant à la fusion froide pourrait recharger en permanence ses batteries, cela rendrait l'autonomie des véhicules quasi illimitée.

Du point de vue géopolitique, le changement serait immense. Les ressources énergétiques sont actuellement réparties de manière inhomogène sur la planète. La fusion froide mettrait toutes les nations au même niveau. On peut même rêver un peu plus, et imaginer que d'autres matériaux, encore plus courants que le nickel, soient utilisables. Si par exemple on pouvait utiliser du fer ou du silicium, les ressources seraient encore plus facilement accessibles à tous.

Évidemment, nous n'en sommes pas encore là, et beaucoup de travail nous attend entre la validation scientifique et les

applications à grande échelle. L'histoire nous a appris que des progrès immenses peuvent se faire en quelques dizaines d'années. Il y a un siècle, probablement personne ne pensait qu'un jour on puisse mettre 800 personnes dans un même avion, alors que les premiers vols pouvaient à peine transporter une personne sur de très courtes distances. Lorsque Alexandre Graham Bell inventa le téléphone, il ne pensait sûrement pas qu'un peu plus d'un siècle plus tard, chacun pourrait se promener quasiment n'importe où sur terre avec un combiné à la main. Il en est ainsi de nombreuses découvertes, alors pourquoi pas la fusion froide ?

La science évolue, elle l'a toujours fait. Il est illusoire de croire qu'aujourd'hui nous avons tout compris. À chaque époque cette perception existe. Nous pensons que nous comprenons à peu près tout sauf un petit domaine que nous n'arrivons pas encore à expliquer avec les modèles du moment, en espérant que l'on pourra le résoudre rapidement dans le cadre de la science du moment. De manière régulière, ces petites anomalies s'avèrent être la pierre d'achoppement qui relance toute la science, et la bouleverse de fond en comble.

À la fin du XIX^e siècle, la science avait fait d'énormes progrès avec la compréhension de l'électromagnétisme, de la thermodynamique, de la mécanique newtonienne. Il ne restait plus qu'à trouver une théorie qui unifie la mécanique et l'électromagnétisme afin d'apporter la dernière pierre à l'édifice de la science. En 1894, Albert Michelson, pourtant prix Nobel de physique, déclara :

« Bien qu'on ne puisse pas dire avec certitude que dans l'avenir, la science physique ne nous révélera pas des merveilles encore plus surprenantes que celles du passé, il semble probable que la plupart de ses principes fondamentaux ont été fermement établis, et que des avancées nouvelles doivent être recherchées principalement dans l'application rigoureuse de ces principes à tous les phénomènes que nous allons remarquer. »

On sait ce qu'il advint. Dès le début du xx^e siècle, on découvrit deux pans complets de la science jusque-là complètement inconnus : la mécanique quantique et la relativité. Le bouleversement a été total.

Où en sommes-nous aujourd'hui ? La majorité des scientifiques pense que nos connaissances actuelles sont définitives. Cependant, de nombreuses anomalies existent encore. Dans cet ouvrage, nous avons pointé du doigt une science nouvelle, celle des matériaux contenant de grandes quantités d'hydrogène ou de deutérium. Dans certaines conditions encore inconnues, des réactions se produisent, pouvant produire une énergie incompatible avec la chimie. Quels sont les mécanismes en jeu ? Personne ne le sait encore. Nous devons continuer à travailler dans cette voie afin de mettre au point des technologies utiles pour l'ensemble de l'humanité.

Au cours de l'histoire, le développement des sociétés s'est accompagné d'une augmentation des besoins énergétiques. Si nous voulons continuer à croître, nous aurons besoin de plus d'énergie. Les options actuelles sont insuffisantes, il nous faut trouver de nouvelles filières. Nous connaissons les limites des combustibles fossiles, la difficulté de généraliser le nucléaire à l'ensemble de la planète, avec tous les risques de prolifération nucléaire, de stockage des déchets, et d'attentats ou d'accidents toujours possibles. Les énergies renouvelables sont certainement une partie de la solution, mais elles ne peuvent pas tout résoudre. La fusion froide est peut-être l'élément manquant dans ce puzzle énergétique.

Martin Fleischmann est maintenant âgé et malade. Il a participé à quasiment toutes les conférences internationales. Sa dernière apparition publique a été à Rome à l'occasion de la réunion ICCF15 en 2009. Après la fermeture du laboratoire

de Sophia-Antipolis, il a continué à collaborer avec l'équipe italienne de Giuliano Preparata, puis a été moins actif jusqu'à quasiment arrêter toute activité.

De son côté, Stanley Pons, bien que plus jeune, a arrêté la recherche à la fermeture du centre de Sophia-Antipolis. Il réside maintenant dans le sud de la France et se consacre à d'autres activités. Sa dernière apparition publique remonte à 1996, lors de la conférence ICCF6 qui eut lieu à Hokkaido au Japon.

Quels sont les obstacles au développement de la fusion froide ? On peut en citer plusieurs. En premier lieu, l'inertie de la science rend difficile les changements de paradigme. Les chercheurs ont besoin d'une certaine stabilité pour avancer dans leur carrière. Il est dangereux pour eux de se lancer dans ce qui est nouveau. Cela rend plus difficile les publications dans les revues de prestige. Or, en science, la règle d'or est « publiez ou périssez ». Il est donc évident que le risque est grand de se lancer dans des voies totalement nouvelles. Une autre raison empêchant le développement d'une nouvelle source d'énergie est celle de la concurrence avec les autres énergies : pétrole, gaz, nucléaire, renouvelables. Personne n'a envie de partager le gâteau de l'énergie, et c'est bien compréhensible. Le Minitel a fait de la résistance vis-à-vis d'Internet, car France Télécom avait une rente de situation. Finalement, au bout de quelques années, le Minitel a quasiment disparu. Il en sera de même pour la fusion froide. Après une période de résistance, c'est le public qui donnera son verdict.

2013, l'année de la renaissance de la fusion froide ?

BIBLIOGRAPHIE

LIVRES

Fire from Ice, Eugene F. Mallove, Wiley Science Editions, 1991, en anglais.

The Science of Low Energy Nuclear Reaction, Edmund Storms, World Scientific, en anglais.

Toward the Establishment of Solid Fusion as a Perpetual Energy for Mankind, Yoshiaki Arata, en anglais.

Nuclear Transmutation of Stable and Radioactive Isotopes in Biological Systems, V.I. Vysotskii et A.A. Kornilova, Pentagon Press, en anglais.

Nuclear Fusion and Transmutation of Isotopes in Biological Systems, V.I. Vysotskii et A.A. Kornilova, 2003, en russe et en anglais.

Preuves en géologie et physique de transmutations à faible énergie, Louis Kervran, éd. Maloine, 1973, en français.

Transmutations biologiques et physique moderne, Louis Kervran, éd. Maloine, 1982, en français.

Les plantes opèrent-elles des transmutations ?, Pierre Baranger, éd. Famille Baranger, en français.

SITES INTERNET :

International Society for Condensed Matter Nuclear Science :
www.iscmns.org
<http://fusion-froide.com>
<http://fusion-froide.fr>
www.lenr.org
www.cfescience.com
www.coldfusionenergyscience.com
<http://newenergytimes.com>
www.blacklightpower.com
<http://pages.csam.montclair.edu/~kowalski/cf>
www.marwan-chemie.de
www.theworld.com/~mica/cft.html
www.infinite-energy.com
www.haikolietz.de
www.dieterbritz.dk
blog.coldfusionnow.org
<http://www.lenrforum.eu>

INDEX

TERMES TECHNIQUES

- calorimétrie, 26, 31, 70, 94, 165
Caltech, 27
CERN, 25, 163-164
CESTA, 79
Chaix, 49
chimie, 5, 16, 26-27, 33-34, 43,
46-47, 65, 69, 131, 133, 147-150,
174, 193
CNAM, 80-81, 113
CNRS, 35, 46, 66, 72, 81, 86
Defkalion, 4, 119, 167, 185, 191
DEMO, 142, 145
deutérium, 5, 25-26, 32, 66-68, 70,
72, 79-80, 98, 103-105, 108-111,
114-118, 123-125, 127, 129-132,
134-135, 140, 143-144, 163-165,
177, 183, 190, 193, 198
eau lourde, 26, 37, 70, 74, 87, 99,
108, 114, 122-123, 131
E-cat, 19
EDF, 4, 81-82, 113
électrochimie, 24, 33, 35, 65, 71-
72, 89, 147, 157, 177
électron, 36, 51, 72, 111, 130, 133-
134, 144
ENEA, 163-164
énergie, 16-17, 29-30, 36-37, 52,
57-58, 66, 69, 72, 75, 88, 90, 94,
99, 102, 108-109, 111-112, 116-
117, 122, 127, 130-135, 139-140,
142, 144-145, 158, 164-165, 169,
183, 185-186, 190-191, 193-195
ENSEEG, 35, 73-74
ENSEM, 43
ERAB, 3, 30-31, 66, 169
Financial Times, 29
fusion froide, 1, 3-7, 9-10, 14-17,
19, 23, 25, 28-37, 52, 61-63, 65-
70, 72, 74, 77-92, 100-103, 107,
111, 113, 116-118, 121-122, 129,
131, 135, 137, 139, 147, 152, 156-
157, 163-169, 176-177, 183-194,
198, A
GIEC, 180
Harwell, 27
hydrogène, 19, 25-26, 32, 36, 67-
68, 71, 75, 90, 101, 108, 115-118,
130-133, 136, 140-141, 143, 149,
151, 164, 167, 177, 190-191, 193
IBM, 178, 184
ICARUS, 76
IMRA, 7-8, 11-12, 76, 147
INSERM, 179
ITER, 5, 10, 16, 25, 111, 139-146
LETI, 52-54, 56
lithine, 26, 108
Luminy-Instruments, 50, 56, 139
mégawatt, 19, 118
MIT, 85, 135, 189
Mitsubishi Heavy Industries, 5,
123, 167
NASA, 118

neutron, 90, 108, 111, 115, 131-132, 143-145, 155
 New Hydrogen Energy, 112, 167
 nucléaire, 9, 23, 25, 27-28, 30, 35, 44-45, 58, 70, 77, 81, 90, 111, 119, 121-123, 125, 131, 135, 140, 149, 153, 163-164, 183, 185-186, 193-194
 palladium, 26, 29-30, 36-37, 70-71, 74, 80, 90, 98, 101-105, 107-109, 114, 117-118, 122-124, 127, 131, 134-135, 164, 177, 190, 198
 Pioneer, 91
 Pixtech, 56-57, 59
 Plasma, 152
 platine, 26, 107-109
 proton, 108, 111, 115, 132, 134, 143, 155, 166
 puissance, 4, 70, 75, 94-96, 108, 113-114, 118, 125
 rayons gamma, 112, 118-119, 132, 164
 rayons X, 27, 78-79, 135, 158, 164
 Science et Vie, 77, 84, 88
 Shell, 79-81
 SRI International, 86, 169, 189
 STMicroelectronics, 124
 Superphénix, 80
 Thomson, 3, 55
 Toyota, 73, 147

PERSONNALITÉS

Yoshiaki Arata, 4, 104, 113-114, 117, 195
 Michel Armand, 93
 Nicolas Armanet, 88-89, 98, 104
 Jacques Armengaud, 58-59
 Bernard Aufray, 46
 Georg Bednorz, 177, 184
 Pierre Baranger, 5, 150, 195
 Henri Becquerel, 121
 Alexandre Bell Graham, 192
 Jacques Benveniste, 178-179
 Michel Bienfait, 45, 48
 Gert Binnig, 178
 René Blondlot, 34
 John Bockris, 122-123
 Hervé Bottollier-Curtet, 83
 Cécile Bonneau, 84
 Henri Braconnot, 5, 150
 Louis Broglie de, 71, 84
 Buxerolles, 89-90
 Les Case, 102, 127
 Albert Cau, 156
 Francisco Celani, 83, 164
 Barney Clark, 28
 Pierre Clauzon, 80, 113, 166
 William Collis, 188
 Christophe Colomb, 176-177
 Alain Connes, 43
 Leon Neil Cooper,
 Marie Cousinou-Claude, 35
 Marie Curie, 121, 184
 Pierre Curie, 121
 John Dash, 87
 Fabrice David, 58, 90, 167
 Derjaguin, 37
 Jacques Dufour, 4, 79, 81, 133, 166

- Robert Durand, 35
 Bénédicte Ealet, 46
 Arthur Eddington, 100
 Thomas Edison, 100, 175
 Albert Einstein, 10, 14, 100, 102, 131, 173
 Ératosthène, 177
 Gerhart Ertl, 67
 René Faure, 35
 Jean Fauvarque-François, 80
 Richard Feynman, 32
 Ivan Filimonenko Stepanovich, 37
 John Fisher, 132
 Martin Fleischmann, 17, 23-28, 30, 33, 36-37, 71, 73-74, 76-77, 87, 95, 98, 103, 107, 109-110, 112, 122, 147, 166, 177, 183, 193
 Elio Flésia, 66
 Philippe Fontaine, 49, 55
 Sergio Focardi, 19, 118
 Jacques Foos, 80-81
 Francis Forrat, 66-69, 77, 93, 101-102, 115
 Fulvio Frisone, 89, 134
 Galileo Galilée, 173, 176, 178
 Michel Genet, 80
 Russ George, 69-70
 John Giles, 91
 Stan Gleeson, 82-83
 Alain Gomez, 55
 Danièle Gozzi, 164
 Jean-Luc Grand-Clément, 56-57
 Jean Guyaux, 78
 Peter Hagelstein, 85, 135, 189
 Henry-Frédéric Couannier, 91-92
 Pierre Hicter, 73
 Leendert Holleman Willem Jacob, 153
 Don Holloman, 82-83
 Gilles Holst, 177
 John Huizenga, 31
 Armin Huke, 88, 165
 Yasuhiro Iwamura, 123-124, 135
 Dougair Jabon, 169
 Haik Jamgotchian, 46
 Steven Jones, 28-29
 Brian Josephson, 86, 166
 Kelvin, 184
 Louis Kervran, 147-148, 151, 195
 Yeong Kim, 132
 Jacques Kurkdjian, 89-90
 Irving Langmuir, 34
 Antoine Laurent Lavoisier, 121, 149
 Lewis Larsen, 132
 Nathan Lewis, 27-28
 Xing Li-Zhong, 117, 167
 Andrei Lipson, 165
 Georges Lochak, 84, 125, 133
 Georges Lonchampt, 66-69, 72-75, 93-94, 98, 110, 112, 148
 John Maddox, 179
 Guglielmo Marconi, 175
 Ubaldo Mastromatteo, 124
 Jean Matouk, 48-50
 Mohamed Mebkhou, 49
 Mike Mckubre, 71, 86, 102, 114, 127, 169
 Albert Michelson, 192
 Melvin Miles, 112
 George Miley, 104, 169

- Randell Mills, 130-131, 133
 Tadahiko Mizuno, 81-82, 113, 115
 Peter Moberley, 166
 Luc Montagnier, 180
 Douglas Morrison, 25, 65
 Alex Müller, 177, 184
 Jean-Louis Naudin, 81, 82, 113, 167
 Isaac Newton, 51, 156, 173
 Patricia Olive, 61
 Kamerlingh Onnes, 177
 Georges Oshawa, 5, 122
 Friedrich Paneth, 36
 Bill Patterson, 74
 Kurt Peters, 36
 Francesco Piantelli, 19, 117-118, 164
 Max Planck, 182
 Stanley Pons, 3, 7, 11, 17, 23-28, 30, 33, 36-37, 73-74, 76-77, 95, 98, 103, 107, 109-110, 112, 122, 147, 177, 183, 194
 Giuliano Preparata, 163, 187, 194
 Michel Rambaut, 79, 134
 Norman Ramsey, 32
 Eugène-André Rey,
 Gordon Rhead, 46
 Heinrich Rohrer, 178
 Andrea Rossi, 19, 118-119, 164, 185, 191
 Jed Rothwell, 188
 Carlo Rubia, 164
 Andreï Sakharov, 36
 Luc Santarelli, 54-55, 57-59
 Nicolas Sarkozy, 186
 Francesco Scaramuzzi, 163
 Carl Christian Johann Schrader, 148, 150
 John Robert Schrieffer, 185
 Magalie Schwendemann, 62
 Julian Schwinger, 32
 Ken Shoulders, 134
 Gabor Somorjai, 8, 12, 47, 66
 Cap Spindt, 52, 71
 Chino Srinivasan, 168
 Edmund Storms, 169, 188, 195
 Roger Stringham, 69-71
 Akito Takahashi, 135
 John Tandberg, 37
 Gary Taubs, 122
 Jean Teillac, 72
 Jean-Louis Tezner, 52
 Philippe Tourny, 54
 Minora Toyoda, 73, 76
 Leonid Urutskoev, 84, 125-126, 165
 Michel Van Hove, 47, 66
 Albrecht von Herzelee, 150
 Louis Vauquelin-Nicolas, 148-149
 Jean Vigier-Pierre, 67, 71
 Vittorio Violante, 164
 Vladimir Vysotskii, 5, 152, 166, 195
 Alfred Wegener, 175
 Allan Widom, 132
 Orville Wright, 176
 Wilbur Wright, 176
 Gundersen Zeiner-Dag, 92

ANNEXES

Sélection d'articles scientifiques parus dans diverses revues à comité de lecture, en langue anglaise.

1 - Article de revue sur les transmutations biologiques

Biological Transmutations: Historical Perspective p. 207

2 - Article sur une expérience réussie de fusion froide avec du palladium et du deutérium

Excess heat during diffusion of deuterium through palladium p 223

3 - Article sur le silicène

Growth of silicene layers on Ag(111): unexpected effect of the substrate temperature p. 233



Review Article

Biological Transmutations: Historical Perspective

Jean-Paul Biberian *

Aix-Marseille University, 13288 Marseille, France

Abstract

In this review paper, it is shown that in biological systems, chemical elements can be transmuted into other elements. These facts have been established since the early 19th century, but they have been ignored by established science ever since. The purpose of this work is to show how during the past two centuries, a number of experimentalists have questioned the mass conservation law established by Antoine Lavoisier [1] for chemical reactions. They have proved experimentally in plants, bacteria and other living organisms, some elements are transmuted into other elements.

© 2012 ISCMNS. All rights reserved. ISSN 2227-3123

Keywords: Biological transmutations, Cold fusion, History, LENR

1. Introduction

The discovery of Cold Fusion in 1989 by Stan Pons and Martin Fleischmann [2] has triggered new attention in the field of biological transmutations. Even though experiments have shown that transmutations of elements occur in living cells, this field has been totally ignored by the scientific community. The situation is not different now, but recently new experiments, in particular, by Vysotskii and Kornilova [3] have brought new results using modern analytical techniques.

It is interesting to recall the situation of chemistry before Lavoisier, which was the time of alchemy, when the modern scientific method had not yet been developed. Also the nature of the elements had not been clearly identified.

Most of the works come directly from Herzelee's experiments. They triggered the experiments made by Baranger, Kervran, Goldfein, Holleman and then Vysotskii. Many experimental results described in this paper are not of a good quality because they have been performed in the 19th century or in the early 20th century, and the full data are not easily available. Some are coming from a secondary source, and therefore are less reliable. However, if we consider the totality of these data, including the most modern ones, there is compelling evidence that biological transmutations are a real scientific fact.

Very few theoreticians have tried to understand the possible mechanisms involved in these kinds of reactions, and it is more likely to take a long time before a reliable theory can be developed. One of the reasons is the lack of useful data where all elements before and after are well known to the scientists.

In this review, I also recall some of the works that I have performed myself [4] with germinating seeds and bacteria.

*E-mail: jpbiberian@yahoo.fr

2. Before Lavoisier

2.1. Jan Baptist von Helmont (1579–1644)

The work by von Helmont [5] in the 17th century is probably the first experiment that tried to study the workings of plants. He wanted to prove that the alchemical theory of the four elements was incorrect. He grew a willow tree in a clay vessel with 90 kg of dried soil. He covered the vessel with an iron cover having small holes. In his report, he explained that he did not take into account either falling leaves or dust. For 5 years, he watered the plant with filtered rainwater or if necessary with distilled water. He observed that the tree had gained 76 kg, whereas after drying the soil had only lost 57 g. He concluded: “Water alone had, therefore, been sufficient to produce 76 kg of wood, bark and roots”. Von Helmont proved that the elements of water and earth were not elementary, since water had changed into wood, bark and roots. This experiment proved that the elements of water could change into elements of soil.

3. Antoine Lavoisier (1743–1794)

In 1789, the famous French scientist Antoine Lavoisier [1] performed very accurate experiments showing conservation of mass during chemical reactions. He wrote:

“ We can state as an indisputable axiom that under all conditions, artificial or natural, nothing is created; an equal quantity of matter exists before and after the experiment and nothing occurs outside the changes and modifications in the combinations of the elements ”.

Unfortunately, for him and science, he was beheaded because of his function as “fermier général”, i.e. an unpopular tax collector of the old regime. It is also interesting to note his inventions of an accurate ice calorimeter to measure the heat of respiration of a guinea pig, proving that breathing is actually a combustion process.

Landolt [6] has confirmed the mass conservation during chemical reactions with better accuracy in 1908 with an accuracy of one part in 10^6 , and later in 1913 by Manly [7] with one part in 10^8 .

4. During the 19th Century

4.1. Johann Christian Carl Schrader (1762–1826)

From 1795 to 1797, the Berlin Academy of Science announced a competition with the following aim:

“ Of which types of the earthly materials, which are encountered by means of chemical analysis, of native grain species? Do they either come into the grains as they are found or come into being by means of the life force and brought into growth by the workings of the plant? ”

In 1799, the German scientist Schrader [8] won the competition for his experiments on the formation of minerals in grains. He used the seeds of wheat, barley and rye, amongst others, to germinate in an artificial medium of flowers of sulphur (amorphous sulfur in fine powder) (that was shown to be completely ash free) and watered with distilled water. The dust contamination was prevented during the experiments. From the analyses of the developed seedlings, he compared with the seeds which are planted, he concluded that the mineral matter had indeed been created.

4.2. Henri Braconnot (1780–1855)

In 1807, the highly reputable French scientist Henri Braconnot [9] reproduced Schrader's experiments. He allowed plants from seed to grow on different artificial media (flowers of sulphur, red lead oxide, granulated lead, pure river sand and even an organic product; decomposed wood that was extracted using hot water). He concluded that considerable formation of the mineral components, especially potassium in experiments with mustard seed and radish, had taken place.

4.3. Louis Nicolas Vauquelin (1763–1814)

In 1799, the French chemist Louis Vauquelin [10] became intrigued by the quantity of lime which hens excrete every day. He isolated a hen and feed it a pound of oats, which were analyzed for lime (CaO). Vauquelin analyzed the eggs and faeces and found that five times more calcium was excreted than was consumed. He observed, not only the increase of calcium but also a subsequent decrease of silicon. He is certainly the first scientist to have demonstrated the biological transmutation of silicon into calcium.

In his conclusion he remarked that a loss of only 1.274 g of silica cannot account for an increase of 14.118 g of limestone. He concluded that lime had been formed, but could not figure out how it happened. Further more, he encouraged other scientists to replicate his experiment.

4.4. Albrecht Thaer (1752–1828)

In the 18th century organic reactions are attributed to a "life force". Thaer [11] showed that under some circumstances, calcium transforms into silicon. According to him, silicon could come from potassium. Under certain circumstances calcium in the plant became changed into silicon, whilst this substance may itself be formed from potassium

4.5. William Prout (1785–1850)

In 1822, the English physiologist, Prout [12] studied chicken eggs in incubation. He found that hatched chicks had more lime (calcium) in their bodies than originally present in the egg, and it was not contributed from the shell.

4.6. Wilhelm Augustus Lampadius (1772–1842)

In 1832, Lampadius [13] thought that plants themselves create silicon in plants.

4.7. Vogel

In 1844, a German researcher named Vogel planted watercress seeds (*Lepidium sativum*) in a bell jar in crushed glass in a controlled air environment. They were fed nothing but distilled water, yet when grown they contained more sulphur than had been in the seeds originally. J.J. Berzelius reported the experiment in his book [14]. Vogel's answer was that sulphur was not a simple element or that sulphur was introduced from sources unknown.

4.8. Choubard

In 1831, Choubard [15] germinated watercress seeds in clean glass vessels and showed that the sprouts contained minerals, which did not previously exist in the seeds.

4.9. John Bennet Lawes (1814–1900) and Joseph Henry Gilbert (1817–1901)

In 1856–1873, two British researchers, Lawes and Gilbert observed an inexplicable variation in the amount of magnesium in the ashes of plants. They could “extract” more elements from the soil than the soil actually contained in the first place, in particular the formation of magnesium in grass.

4.10. Albrecht Von Herzeele(1821–?)

In 1876 Herzeele [16], a German pharmacist published a series of books in which he showed research proving that plants continuously create material elements. From 1875 to 1883, in Berlin, he conducted 500 analyses with different types of seeds. He worked with: clover, crimson, vetch, rapeseed, barley, watercress, bean, white beans, kidney beans, turnips, rye, peas lupine, coltsfoot and angelica. A typical experiment showed the variation of calcium, potassium and phosphorus in *Vicia sativa* during germination with or without addition of mineral salts in distilled water. Also he showed that the addition of various calcium salts to the medium increased the formation of potassium. The addition of K_2CO_3 , increased the formation of calcium.

He concluded that “Plants are capable of affecting the transmutation of elements”. His publications outraged so much the scientific community of the time that they were removed from libraries. His writings were lost for more than 50 years until about ca.1930 when a collection was found by accident in Berlin by Dr. Hauschka, who subsequently published Von Herzeele’s findings (the philosopher W.H. Preuss had dedicated an article to him; Preuss defended the idea that inorganic nature was a product of the organic; Herzeele was in agreement, apparently inspired by Goethe).

5. During the 20th Century

5.1. Freudler

Freudler was a Professor at the famous French University, La Sorbonne. In 1928, he published a book based on his 10 years of research on the production of iodine by algae. He noticed a connection between tin and granite in which the algae produced and iodine in the plants.

5.2. Earle Augustus Spessard

In 1940, Spessard [17] performed an experiment in which an organic process was studied in a hermetically sealed container. The bottles were weighed after some years. At the end, living protozoa were still seen through the glass walls. Presumably plant assimilation and animal respiration followed each other more or less in balance. There was a weight *increase* of a few tenths of a milligram (with a balance accuracy of 0.02 mg). Sources of errors, so far as they were known, were carefully eliminated. The predicted continuation of this work did not appear. The increase in weight that was found was far too big to be considered as a “materialization” of the received light rays.

5.3. Rudolph Steiner (1861–1925)

Rudolph Steiner [18] in 1924 gave a series of lectures giving indications for the development of a new approach to agriculture that later became known as biodynamics. In the 5th series of his lectures, he referred to composting, he stated “even according to the purely external standards of analytical chemistry, this ought to betray the fact that there is a kinship between the way in which oxygen and nitrogen are connected in the air and that in which lime and hydrogen are connected in organic processes. Under the influence of hydrogen, lime and potash are constantly being changed into nitrogenous matter, and finally into actual nitrogen. And the nitrogen, which has come into being in this way, has a

tremendous value for plant growth. Silicic acid, as we know, contains silicon and this in turn undergoes transmutation in the living organism. It is changed into a substance which is of exceptional importance but which is not reckoned by present-day science to be among the elements.”

5.4. Henri Spindler

In 1946–1947, the French Scientist and Director of the Laboratoire Maritime de Dinard, Spindler [19] discovered Herzelee’s work on the decrease of phosphorus and increase of calcium. In 1959, he measured an increase of iodine by 30% in algae, *Laminaria flexicaulis* and 80–100% in *Laminaria saccharina*.

5.5. Rudolf Hauschka (1891–1969)

An Austrian chemist, Hauschka [20] during the years 1934–1940, in sealed glass containers, weighed cress seeds, and found an increase in weight of 0.54% during the full moon, and a decrease of 0.58% during the new moon. He published several books in which he re-evaluated Herzelee’s work, which he included as appendix in his books, *Substanzlehre* (though it has not been included in the English translation, *The Nature of Substances*).

5.6. Perrault

French scientist Perrault [21], from the Paris University, found that the hormone aldosterone provoked a transmutation of Na to K, which could be fatal to a patient.

5.7. Julien

Julien [22] was a French Scientist, from the Besançon University. In 1959, he proved that if tench are put in water containing 14% NaCl, their production of KCl increased by 36% within 4 h.

5.8. George Oshawa (1893–1966)

Oshawa [23] was a Japanese scientist, and an inventor of macrobiotics. He collaborated with Louis Kervran. His opinion was that transmutation occurs during mastication.

5.9. Pierre Baranger (1900–1970)

Pierre Baranger was a French Scientist, a professor of organic chemistry at the famous Ecole Polytechnique, and head of the Laboratory of Chemical Biology. He became intrigued with Herzelee’s experiments, but he thought that the number of trials had been too limited and the precautions against error were insufficient. Baranger decided to repeat the experiments with all possible precautions and a very large number of cases, which would allow a statistical study. His research project from 1950 to 1970 involved thousands of analyses. Baranger verified the content of phosphorus, potassium, calcium and iron of vetch seeds before and after germination in twice-distilled water to which pure calcium chloride was not added. Hundreds of samples of 7–10 g each were selected, weighed to 1/100th milligram, and graded, then germinated in a controlled environment.

Baranger found an increase of 4.2% in calcium, and 8.3% of iron, and subsequently a decrease in phosphorus of 1.9%, and of potassium of 1.1%. Interestingly, an addition of MnCl_2 increases the amount of iron produced.

None of the specialists who examined Baranger’s work were able to find any experimental errors. Baranger concluded:

“These results, obtained by taking all possible precautions, confirm the general conclusions proposed by Von Herzelee and lead one to think that under certain conditions the plants are capable of forming elements, which did not exist before in the external environment”.

In May 1959, he submitted an article for publication in the French Academy of Sciences, but was not accepted. Later in 1972, his family tried another submission without success. He had difficulties in publishing his findings, and died without being able to do so. Later, in 1977, his family asked Jean Marie Gatheron, a close friend of Baranger to publish Baranger's work [24]. In 1976, his family submitted the final report of Baranger to the Academic Commission of the French Academy of Agriculture. It was decided that the work would be presented to the full assembly in a secret meeting. The proposal of publication in a public meeting was rejected without any reason.

Baranger failed to provide relevant theory to explain his findings.

5.10. Leendert Willem Jacob Holleman (1906–1994)

From 1975 to 1989 Holleman [25], a Dutch scientist, performed experiments with alga *Chlorella*. He observed a decrease, then subsequent increase, of potassium. However, in spite of several attempts, he could not reproduce his own first positive experiments.

5.11. Correntin Louis Kervran (1901–1983)

Kervran is certainly the most well-known scientist having worked in the field of biological transmutations. He had a broad knowledge of plants, geology and nuclear science. His findings have been published in French in ten books [26], some of them have been translated into English [27]. He was also nominated for the Nobel Prize.

Observations

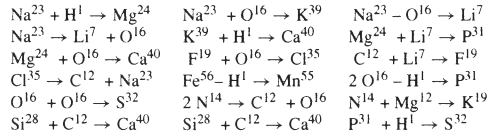
From 1935 Kervran [28] collected facts and performed experiments, which showed that transmutations of chemical elements do indeed occur in living organisms. It started when he investigated fatal accidents from carbon monoxide poisoning when none was detectable in the air. Next he analysed why Sahara oilfield workers excreted a daily average of 320 mg more calcium than they ingested without decalcification occurring.

Kervran pointed out that the ground in Brittany contained no calcium; however, every day a hen would lay a perfectly normal egg, with a perfectly normal shell containing calcium. The hens eagerly pecked mica from the soil, and mica contains potassium. It appears that the hens may transmute some of the potassium into calcium.

Experiments with seeds

From 1960 to 1980, Kervran reported the astounding results of his research showing that living plants were able to accomplish limited transmutation of elements. Then Kervran was the Conferences Director of the University of Paris, and his first paper was published in *La Revue Générale Des Sciences*, July 1960.

Kervran found that in nuclide-biological reactions, oxygen is always in the form of O, never O₂; reactions with nitrogen occur only with N₂, insofar as is known. The following reactions have been proposed:



In 1980, Kervran [29] performed an experiment with oat seeds analysed using mass spectroscopy. They looked at phosphorus and calcium variations. They observed the following:

	Phosphorus (mg)	Calcium (mg)
Seeds	485	76
Plants	310	115.5
Difference (mg)	-175	+39.5

It is clear that the calcium increased with germination, whereas phosphorus decreased. There are certainly other elements that played a role, but they were not analysed in this experiment.

The French Society of Agriculture

In 1971, the laboratory of the French Society of Agriculture sprouted rye seeds under controlled conditions.

	Seeds	Sprouts	Difference (mg)	Difference (%)
Mg (mg)	13.34	3.20	-10.14	-335%
K (mg)	7.36	16.67	+9.31	+133%

These results are in good agreement with Kervran's previous findings.

Kervran was very active in promoting his work through books, conferences and mass medias. However, the Academy of Agriculture strongly opposed his efforts. In October 7, 1970, Stéphane Henin on one side and Léon Guéguen and Allez on the other side sent reports to the Academy by criticizing Kervran's results [30].

5.12. J.E. Zündel

Zündel [31] was a Swiss scientist, head of a paper company, and a chemical engineer at the Polytechnic School of Zurich (ETH Zurich) in Switzerland. Following Kervran's observations from 1970, he studied germinating seeds and observed a 54–616% increase of calcium. In another experiment, he grew 150 oats seeds (fläminkrone) in a controlled environment for 6 weeks. 1243 sprouts were analysed using atomic absorption spectroscopy for the presence of magnesium and calcium. The potassium decreased by 0.033%, the calcium increased by 0.032%, and magnesium decreased by 0.007%. The variation of magnesium was not significant, but the decrease in potassium balanced the increase of calcium. In 1972 with oat seeds, he observed an increase of calcium of 118%, a decrease of magnesium of 23%, and potassium 29%.

In 1971, he gave a lecture at the French Academy of Agriculture (Bull No. 4, 1972). In his lecture, he announced the following variations between seeds and sprouts:

	SiO ₂	Ca	Mg	K
Seeds	111 mg	28 mg	27 mg	108 mg
Sprouts	123 mg	116 mg	27 mg	70 mg
	+10%	+314%	0%	–35%

In spite of the excellent quality of his works, the audience criticized him, including S. Henin, the head of the Department of Agronomy.

Later in 1979, Zündel, using a mass spectrometer at the the Microanalysis Laboratory of the French National Scientific Research Center, and neutron activation analysis at the Swiss Institute for Nuclear Research in Villigen (Aargau), confirmed the increase of calcium by 61%. There was also an increase of 29% in phosphorus and 36% in sulphur) [32].

However, the French Atomic Energy Commission has analysed Zündel’s experiments in 1975 by neutron activation analysis of oat seeds. They found no change in calcium, sodium and manganese, but only a small decrease of potassium, also no isotopic variation in Ca⁴⁸ and K⁴¹.

5.13. Hisatoki Komaki

Following Kervran’s work in 1970–1980, Komaki [33] from the Biological and Agricultural Research Institute studied the development of bacteria, mould and yeast. Among those: *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus nigricans*, *Mucor rouxii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulopsis utilis*, *Saccharomyces ellipsoideus* and *Hansenula anomala*. Komaki reported that eight strains of microorganisms grown in potassium deficient culture media increased the total of potassium by transmutation of calcium to potassium. He also showed that phosphorus can be formed by the fusion of nitrogen and oxygen: $N + O \rightarrow P$. He even marketed a brewer’s yeast product that, when applied to composts, increases their potassium content.

6. Present Times

6.1. Panos T. Pappas

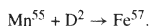
In 1998, Pappas [34] published an article suggesting that biological transmutation occurs as a form of cold fusion in the cellular membrane sodium–potassium pump. According to Pappas, the ions are not pumped back and forth through the membrane, but instead transmute back and forth between Na and K.

6.2. Jean-Paul Biberian

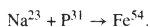
Experiments were performed with seeds: wheat and oats as well as bacteria: Marine bacteria (Marinobacter sp strain CAB) and Lactobacillus [4]. In most of the experiments, variations in the concentration of minerals have been observed. In particular, it is interesting to note that when the seeds grew, heavy metals decrease in large amounts. Even though these results are only preliminary, they confirm the observations made by others, in particular Kervran.

6.3. Vladimir Vysotskii

Vysotskii is a scientist from Ukraine. He started working on biological transmutations in the 1990s. He is well known for using modern analytical techniques. In particular, he used Mossbauer spectroscopy, very sensitive to Fe^{57} , to measure its production. In natural iron, Fe^{57} represents only 2.2% of the total. The main isotope of iron is Fe^{56} , which represents 91.7%. Measuring Fe^{57} is also very easy by mass spectroscopy, since there is no possible interference with another element. The proposed transmutation is

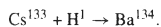


The experiments conducted by Vysotskii and Kornilova [3] were performed with bacteria capable of developing in heavy water. They chose *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* and *Deinococcus radiodurans*, as well as a yeast culture *Saccharomyces cerevisiae*. When manganese was introduced with MnSO_4 , a clear spectrum was measured, indicating that manganese had been transmuted into iron. The authors analysed the material by time-of-flight mass spectroscopy showing that the mass 57 peak was as large as that of mass 56. This is another confirmation of the production of Fe^{57} . Vysotskii and Kornilova have also analysed another reaction

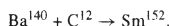


In natural iron, Fe^{54} represents only 5.8%. The bacteria developed in a medium without iron, and after development they measured Fe^{54} as large as Fe^{56} .

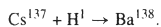
In similar experiments they observed the following reaction



In experiments destined to reducing radioactivity, they conducted experiments with synthetic microbiological cultures, which were up to 20 times more effective than the standard microbiological cultures. It was shown that Ba^{140} , which is radioactive with a half-life of 12 days, transforms into Sm^{152} , which is stable with the possible following reaction:



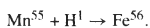
Interestingly, Cs^{137} , which is radioactive with a half-lifetime of 30 years, transmutes into Ba^{138} , which has a much shorter lifetime of 310 days.



This work is certainly the best proof of biological transmutations.

6.4. Edwin Engel, Rudolf Gruber

In 2006, Engel and Gruber [35] from Germany wished to confirm Kervran and Baranger's works. They showed that during germination, manganese transmutes into iron. They used mung beans sprouted in MnCl_2 . They showed an increase of iron. They assumed the following reaction



7. Negative Experiments

Even though many positive experiments have been performed by indicating the reality of the phenomenon of biological transmutations, several experiments contradict these findings.

7.1. Nicolas Théodore de Saussure (1767–1845)

In 1804, de Saussure published his work: “Recherches chimiques sur la végétation”, Nyon, Paris (Chemical Researches on Végétation). As a follower of Lavoisier, Saussure stood strongly with the standpoint of the conservation of matter and referred all transmutations and creation to the realm of fables. He puts special emphasis on the necessity of this field to be absolutely certain, with experiments, that the so-called created matter was not already present in the environment. So he demonstrated, for example, that the presence of silicates in plants, which were attributed to the life-force by Lampadius, was in reality determined by the amount of silicon present in the soil.

7.2. Jean-Louis Lassaigne (1800–1859)

Lassaigne initially worked in the laboratory of Louis-Nicolas Vauquelin. He was a professeur at Ecole Vétérinaire d'Alfort. His works were published in 1821 with the germination of grains supported the findings of de Saussure. His later works on the development of chicks contradicted the results of Vauquelin.

7.3. P.E. Jablonski

In 1836, Jablonski found no increase in the amount of ashes in the plants above the one in the seed. Therefore, criticizing Schrader and Braconnot.

7.4. Arend Joachim Friedrich Wiegmann (1770–1853) and A.L. Polstorff

Wiegmann and Polstorff made the following experiment: They followed the techniques of their predecessors, but with a soil that consisted of the most inert material known to them at that time. They let 28 seeds of garden cress (*Lepidium sativum*) germinate in distilled water in a platinum crucible that was filled with fine platinum wires. The crucible was placed under a glass bell jar through which circulated a mixture of 1% carbon dioxide. The seeds germinated and grew into small plants until, after 26 days, they began to die. After drying the crucible and its contents, ashing and weighing obtained 0.0025 g of ash. The weight of the ash obtained from 28 seeds was likewise 0.0025 g. Therefore, there was neither weight change nor new elements formed. However, this conclusion does not contradict previous experiments, since only the weights were compared. No attempt was made to check for the transmutation of one element into another.

7.5. M. Emile Rink

In 1947, Rink checked Hauschka's work and found only 0.02% weight change.

7.6. Léon Guéguin

In 1970, Guéguin from the INRA (The French Institut of Agronomical Research) has shown that there was no transmutation in Kervran's type experiments.

7.7. D.B. Long

Long was a British scientist, from the Michaelis Nutricional Research laboratory, Harpenden, UK. In 1971, he published a report [36] indicating that he did not observe differences in K, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn and Cu when looking at rye and oat seeds germinated. The table shown below shows his experimental results.

Elements	Seeds		Plants		Change (%)
	Average value	Standard deviation	Average value	Standard deviation	
Potassium (mg)	1.582	0.009	1.506	0.016	-4.8
Magnesium (mg)	1.270	0.006	1.273	0.006	+0.2
Calcium (μ g)	2.122	0.016	2.157	0.019	+1.6
Manganese (μ g)	28.8	0.1	24.9	0.2	-13.5
Iron (μ g)	49.7	0.2	48.6	0.5	-2.2
Zinc (μ g)	20.9	0.2	21.7	0.05	+3.8
Copper (μ g)	6.22	0.2	6.57	0.1	+5.6

7.8. L. Soubiès and R. Gadet

Following Baranger's work, and his attempts to get his findings accepted by the scientific community, Soubiès and Gadet performed similar experiments with the Baranger's protocol and a more rigorous one. They presented their results in 1972 in the bulletin of the French Chamber of Agriculture. They demonstrated that using their better protocol no transmutation is detected, whereas with the original one there is less sodium produced. They proposed that the anomalies were due to diffusion of minerals from the glass used in the experiments.

7.9. Horber

In 1976, Horber, a Swiss scientist from Zurich, looked at calcium variations by neutron activation analysis. He found a 2% variation, but with a precision of $\pm 5\%$.

7.10. J.A. Jungerman and Murphy

In February 1977, Professor Jungerman and Murphy from the University of California, Davis reported the results of an experiment: the growth of oat seeds under carefully controlled conditions. Analysis was made by atomic absorption and X-ray fluorescence for Ca and K. They found no evidence of transmutation.

7.11. Carolyn E. Damon

In 1978, Damon from the U.S. Customs Technical Service Division conducted tests for biological transmutation with *Aspergillus terreus* and *Rhizopus nigricans*, he obtained negative results.

7.12. Bernd Franke

In 1978, Franke defended his thesis for States Exam at the Botanical Institute of the University of Heidelberg in Germany, the title of which was: "Critical examination of tests on the transformation of biological elements". He analysed calcium, magnesium and potassium during the growth of oats seeds (*Avena sativa*) and yeast (*Sacharomycus cervisiae*). He did not find any significant changes in the composition of the seeds and yeast during their analyses.

7.13. Enrico Di Vito, Carla Candian, Luigi Garlaschelli and Antonio Triassi

In 2002, these scientists from Italy failed to replicate Kervran's work. They looked at the growth of oat seeds (cultivar *Nave*). They analysed their products using ICP emission, but found no variation in Ca, Mg and K in sprouting oat seeds.

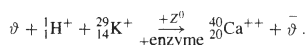
8. Theory

8.1. Kervran

Kervran thought that the nuclear reactions that occur in biology were connected to the structure of the nucleus. He developed a unique model of the nucleus with a design that explains the potential transmutations.

8.2. Costa de Beauregard(1911–2007)

Costa de Beauregard [37] was the Research Director at the Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, and Professor of Theoretical Physics at the Institut de Physique Théorique Henri Poincaré. He studied Kervran's works in 1962 and began to correspond and met with him. He suggested that such transmutations neither take place through strong interactions nor through electromagnetic forces, but through the weak interaction. This takes place through the neutral current of the intermediate vector boson, the so-called Z^0 particle. Kervran's reaction for a biological transmutation from potassium to calcium in germinating oats is thus explained as being initiated by neutrino capture (from cosmic rays) and the weak interaction follows mediated by the Z^0 neutral current.



In 2006, I called Costa de Beauregard at his home in Paris, and asked him if he continued his research. He replied that he did not.

8.3. Goldfein

In 1978, an officially funded effort from the U.S. Army Mobility Equipment Research and Development Command, Fort Belvoir, Virginia positively confirmed that mechanisms for elemental transmutations could occur in biological systems. The work was performed under the direction of Emil J. York, Chief of the Material Technology Laboratory. Solomon Goldfein was the principal investigator for the effort. Robert C. McMillan, Chief of the Radiation Research Group of the laboratory, provided guidance on matters of physics and nuclear physics. The abstract of the final report [38] reads as follows:

"The purpose of the study was to determine whether recent disclosures of elemental transmutations occurring in biological entities have revealed new possible sources of energy. The works of Kervran, Komaki and others were surveyed, and it was concluded that, granted the existence of such transmutations (Na to Mg, K to Ca and Mn to Fe), a net surplus of energy was also produced. The proposed mechanism was described in which Mg adenosine triphosphate, located in the mitochondrion of the cell, played a double role as an energy producer. In addition to the widely accepted biochemical role of Mg-ATP in which it produces energy as it disintegrates part by part, Mg-ATP can also be considered to be a cyclotron on a molecular scale. The Mg-ATP when placed in layers one atop the other has all the attributes of a cyclotron in accordance with the requirements set forth by E.O. Lawrence, inventor of the cyclotron." "It was concluded that elemental transmutations were indeed occurring in life organisms [sic] and were probably accompanied by a net energy gain."

Goldfein postulated a conformational structure of a stack of Mg-ATP molecules forming a helical chain. The Mg-ATP chelate produces oscillating electrical currents, which act as a micromini-cyclotron that accelerates hydrogen ions to relativistic speeds with sufficient potential to transmute an element to the next higher number. It was concluded that the elemental transmutations occurring in living organisms are accompanied by losses in mass representing conversion to thermal energy and that such energy probably is a net gain when compared to the amount required to effect the transmutation.

8.4. Conclusion

Lavoisier has established a mass conservation law which is valid in chemistry. Now we know that it is not true when nuclear reactions are involved. The review of more than two centuries of research demonstrates that this is not true in biology. It appears that all living organisms can under some circumstances produce nuclear reactions. However, there is an important need of finding an adequate theory to explain these results. It is highly probable that such a theory should also be capable of explaining Cold Fusion, or more generally, nuclear reactions in condensed matter. Another point is the irreproducibility of some experiments. Probably, in order to produce significant transmutation of an element, it is necessary that another element be missing. It seems that nature has a tendency to find ways to transmute an element into another to provide the necessary ingredients for the healthy growth of the four kingdoms of bacteria, fungi, plants and animals, including human beings.

Historically, the sequence of discoveries in biological transmutation is the following: Vauquelin was the initiator in 1799. Later Herzelee in 1876–1883 did a lot of research, but his work was removed. Later Hauschka rediscovered Von Herzelee's work. Baranger and Kervran discovered this work. As a consequence of their contribution to the field Zündel continued the work as well as Goldfein. Finally Vysotskii knowing the work of Kervran brought an important contribution.

This review shows that biological transmutations deserve a lot of attention from the scientific community. The consequences of this are important for science, medicine, agriculture and diet. The cost of research in this field is so low compare with other fields that it is unacceptable not to do it.

Studies of the process called cold fusion or Low Energy Nuclear Reactions (LENR) over the past 22 years show that nuclear reactions of various kinds can be initiated in inorganic solid materials under conditions similar to those present during the claimed biological transmutations. These reactions all have the basic characteristic of producing energy as would be required of a spontaneous reaction. In contrast, many of the proposed nuclear reactions in biological systems cannot result in energy production because mass is not lost in the process. Instead, the mass gain would require the concentration of significant energy from the environment. This violates the basic laws of thermodynamics and makes the suggested reactions impossible. In addition, the elements involved in the proposed nuclear reaction must have a way to find each other in the same biological structure and experience a reduction in their Coulomb barrier before interaction can occur. These several limitations severely limit possible explanations. However, these limitations do not make the nuclear reactions impossible, just more of a challenge to explain. The basic question to be answered is do such reactions actually occur in Nature? The evidence strongly indicates that some of the observed reactions actually occur, requiring an explanation to be found.

Acknowledgements

I wish to thank various people who have helped me in the realization of the biological transmutation experiments: The Holleman Stichting, David Cuthbertson, Valérie Michotey, Jean-Jacques Allegraud and Pascal Gos.

References

- [1] A.L. Lavoisier, *Traité élémentaire de Chimie*, Paris: Cuchet, 1789 (in French).
- [2] M. Fleischmann, S. Pons and M. Hawkins, *J. Electroanal. Chem.* **261** (1989) 301.
- [3] V.I. Vysotskii and A.A. Kornilova, *Nuclear Transmutation of Stable And Radioactive Isotopes In Biological Systems*, Pentagon Press, New Delhi, 2010.
- [4] J.-P. Biberian, *J. Cond. Mat. Nucl. Sci.* (to be published).
- [5] J.B. van Helmont, *Ortus Medicinæ* (Amsterdam, 1648). Cited in, Wikipedia, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Helmont>
- [6] H. Landolt, *Untersuchungen über die fraglichen Änderungen des Gesamtgewichtes chemisch sich umsetzender Körper*, *Zeitschrift für Physikalische Chemie* **64** (1908) 581.

- Cited in, http://www.scientificexploration.org/journal/jse_08_2_volkamer.pdf
- [7] J.J. Manley, On the apparent change in weight during chemical reaction, *Trans. Roy. Soc. London (A)* **212** (1913) 227–260. Cited in, http://www.scientificexploration.org/journal/jse_08_2_volkamer.pdf
 - [8] C. Schrader, Zwei Preisschriften über die Beschaffenheit und Erzeugung der erdigen Bestandtheile von Getreidearten (Berlin, 1800). Cited in, C.A. Browne, *A Source Book of Agricultural Chemistry* (1944), p. 221, http://books.google.com/books?id=B8wJAop_EBUC&pg=PA221. J. H. Muirhead, *Contemporary British Philosophy: Personal Statements*, Volume 12 (2005), pp. 289–291, <http://books.google.com/books?id=nFvkrC-ADT0C&pg=PA289>.
 - [9] H. Braconnot, Sur la force assimilatrice dans les végétaux, *Annales de Chimie* **61** (1807) 187–246. C.A. Browne, *A Source Book of Agricultural Chemistry* (1944), p. 221, http://books.google.com/books?id=B8wJAop_EBUC&pg=PA221.
 - [10] L.N. Vauquelin, Expériences sur les excréments des poules, comparés à la nourriture qu'elles prennent, et Réflexions sur la formation de la coquille d'œuf, *Annales de Chimie* **29** (30 Nivose VII, 19) (1799) 3–26.
 - [11] A. Thaer, *Grundsätze der rationellen Landwirtschaft [Principles of rational agriculture]*, Volume 2 (Berlin, 1809–1812), pp. 49–50, 56, 107–108, 268. Cited in C.A. Browne, *A Source Book of Agricultural Chemistry* (1944), pp. 179–181.
 - [12] W. Prout, *Phil. Trans.* (1822) 377. Cited in, Needham, Joseph (1931), *Chemical Embryology*, Volume 3, C.U.P., pp. 1260–1262.
 - [13] W.A. Lampadius, Erdmann's *J. für technische und ökonomische Chemie* **15** (1832) 289–318. Cited in, L.W.J. Holleman, The Biological Transmutation of Chemical Elements: 2.1 Vitalism at the Beginning of the 19th Century.
 - [14] J.J. Berzelius, Treatise on Mineral, Plant and Animal Chemistry (Paris, 1849). Cited in, R.A. Nelson, *Adept Alchemy*, Part II, Chapter 8, *Biological Transmutations*.
 - [15] R.A. Nelson, *Adept Alchemy*, Part II, Chapter 8, *Biological Transmutations*.
 - [16] A. Von Herzeele, *Über die Entstehung der anorganischen Stoffe* (About The Origin of Inorganic Substances) 1873. A. Von Herzeele, Entstehung der unorganischen Stoffe (Berlin, 1876). A. Von Herzeele, Die vegetabilische Entstehung des Phosphors und des Schwefels (Berlin, 1880). A. Von Herzeele, Die vegetabilische Entstehung des Kalkes und der Magnesia (Berlin, 1881). A. Von Herzeele, Weitere Beweise für die vegetabilische Entstehung der Magnesia und des Kalis (Berlin, 1883). A. Von Herzeele is reprinted in, R. Hauschka, Substanzlehre (Klostermann, Frankfurt am Main, 1942), in German.
 - [17] E.A. Spessard, *Light-mass absorption during photosynthesis*, *Plant Physiology* **15** (1940) 109–120.
 - [18] R. Steiner, Agriculture Course (1924), <http://www.garudabd.org/Node/23/>. Oregon Biodynamics Group, *Introduction to Biodynamics* (2009), http://www.oregonbd.org/Class/class_menu2.htm
 - [19] H. Spindler, Etude sur l'iode, *Bull. Lab. Maritime de Dinard* **28** (Dec. 1946). H. Spindler, Recherches sur le potassium de Laminaria flexicaulis, *Bull. Lab. Maritime de Dinard* **31** (June 1948).
 - [20] R. Hauschka, *Substanzlehre* (Klostermann, 1st edition, 1942. 12th edition, 2007).
 - [21] R.A. Nelson, *Adept Alchemy*, Part II, Chapter 8, *Biological Transmutations*.
 - [22] Julien, *Annales Scientifiques de l'Université de Besançon*, Series 2 (1959), cited in, R.A. Nelson, *Adept Alchemy*, Part II, Chapter 8, *Biological Transmutations*
 - [23] L. Kervran and G. Oshawa, Biological Transmutation. Natural Alchemy (George Oshawa Macrobiotic Foundation, Oroville, California, USA 1971. reprinted 1975).
 - [24] P. Baranger and J.M. Gatheron, *Les Plantes opèrent-elles des transmutations? Les travaux de Pierre Baranger*, M. Baranger (Ed.), 1980.
 - [25] <http://www.holleman.ch/holleman.html>.
 - [26] C.L. Kervran, *Transmutations Biologiques: Métabolismes Aberrants de l'Azote, le Potassium et le Magnésium* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1962, 2nd edition 1963, 3rd edition 1965), in French.
C.L. Kervran, *Transmutations naturelles non radioactives; une propriété nouvelle de la matière* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1963), in French.
C.L. Kervran, *Transmutations à faible énergie: synthèse et développements* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1964), in French.
C.L. Kervran, *A la découverte des transmutations biologiques: une explication des phénomènes biologiques aberrants* (Le Courrier du livre, Paris, 1966), in French.
C.L. Kervran, *Preuves Relatives à l'Existence des Transmutations Biologiques* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1968), in French.
C.L. Kervran, *Transmutations biologiques en agronomie* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1970), in French.
C.L. Kervran, *Preuves en géologie et physique de transmutations à faible énergie* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1973), in French.

- C.L. Kervran, *Preuves en biologie de transmutations à faible énergie* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1975, 2nd edition, 1995), in French.
- C.L. Kervran, *Transmutations Biologique et Physique Moderne* (Librairie Maloine S.A., Paris, 1982), in French.
- C.L. Kervran and G. Oshawa, "Biological Transmutation: Natural Alchemy" (Georges Oshawa Macrobiotic Foundation, Oroville, California, USA, 1971, reprinted 1975, 1976).
- [27] C.L. Kervran, *Biological Transmutations* (translation and adaptation by Michel Abehsra, Swan House Publishing Co., New York, USA, 1972, reprinted, Happiness Press, 1989), extract of three of Kervran's books.
- C.L. Kervran, *Biological transmutations* (revised and edited by H. Rosenauer and E. Rosenauer, Crosby Lockwood, London 1972, reprinted by Beekman, New York, 1980, 1998).
- [28] C.L. Kervran, cited in, Herbert Rosenauer, What are Biological Transmutations, <http://ibriansphere.info/2011/bt-what-are/>.
- [29] C.L. Kervran, *Biological Transmutations and Modern Physics*", unpublished manuscript, <http://www.rexresearch.com/kervran/kervran.htm>
- [30] See, for example, Léon Guéguen (Paris, le 25 November 2005), <http://www.inra.fr/anchorailes/112-1-Leon-Gueguen.pdf> (in French).
- [31] Zündel J. E., cited in, C. L. Kervran, "Biological Transmutations and Modern Physics"
- [32] Zündel J. E., "Transmutation of the Elements in Oats, in The Planetary Association for Clean Energy Newsletter, Volumes 2 and 3, July/August 1980.
- [33] H. Komaki, Production de proteines par 29 souches de microorganismes, et augmentation du potassium en milieu de culture, sodique, sans potassium, *Revue de Pathologie Comparee* **67** (1967) 213–216.
- H. Komaki, Formation de proteines et variations minérales par des microorganismes en milieu de culture, avec ou sans potassium, avec ou sans phosphore, *Revue de Pathologie Comparee* **69** (1969) 83–88.
- H. Komaki, Observations on the Biological Cold Fusion or the Biological Transmutation of Elements, in, *Frontiers of Cold Fusion, Proceedings of the Third International Conference on Cold Fusion* (Universal Academy Press, 1993), pp. 555–558.
- H. Komaki, Observations on the biological cold fusion or the biological transformation of elements", *Third International Conference on Cold Fusion*, Frontiers of Cold Fusion, Nagoya, Japan (1992), pp. 555–558.
- H. Komaki, An Approach to the Probable Mechanism of the Non-Radioactive Biological Cold Fusion or So-Called Kervran Effect (Part 2), *Fourth International Conference on Cold Fusion*, Lahaina, Maui, 44-1 to 44-12 (1993).
- [34] P.T. Pappas, *Seventh International Conference on Cold Fusion*, 1998, pp. 460–465.
- [35] E. Engel and R. Gruber, Transmutation $^{55}\text{Mn} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{56}\text{Fe}$? Oder Eine Anregung, wie man es nicht machen sollte (2006), <http://www.kervran-info.de/engrub.htm>.
- [36] D.B. Long et al., Laboratory report on biological transmutations in germinating plants, the Henry Doubleday Research Association, Braintree, Essex, 1971.
- [37] O. Costa de Beauregard, *Proc. 3rd Intl Cong. Psych.* (Tokyo), 1967, p. 158.
- [38] S. Goldfein, Report 2247, Energy Development from Elemental Transmutations in Biological Systems, U S Army Mobility Equipment Research and Development Command, May 1978. DDC No. AD AO56906.

EXCESS HEAT DURING DIFFUSION OF DEUTERIUM THROUGH PALLADIUM

Jean-Paul Biberian and Nicolas Armanet

Département de Physique, Faculté des Sciences de Luminy, Université d'Aix-Marseille II,
163 Avenue de Luminy, 13288 Marseille cedex 9, France.

Email: jpbiberian@yahoo.fr, armanetnicolas@hotmail.com

Abstract:

We have developed a mass flow calorimeter enabling us to measure accurately excess heat production during deuterium diffusion through the walls of palladium tubes. The experiment consists usually of a palladium tube 10 cm long, 2mm outer diameter with 200 μm thick walls, and closed at one end. Deuterium gas is introduced in the tube at various pressures, and temperatures and diffuses out through the walls of the tube. The tube, heated by a resistor, is positioned inside a reactor cell which is a small vacuum chamber. The reactor cell is positioned inside a second vacuum chamber. The outer walls of the vacuum chamber are water cooled. Thermal energy is determined by measuring inlet and outlet temperatures and water mass flow. The energy yield of this calorimeter is 95-98 % depending on input power.

We study the influence of deuterium pressure, tube temperature, various metal powders placed inside the tube, and metal deposited on the external surface of the tube. Our best result so far is an excess heat of 3 Watts with an input power of 47 Watts using an oxidized palladium tube filled with palladium powder. We propose a model involving reactions between D^+ and D to explain our experimental results.

1- Introduction

Since the announcement of the discovery of Cold Fusion by Stan Pons and Martin Fleischmann (1) in 1989, researchers have tried all kinds of ways to reproduce and improve the experiment. Most work has been done by electrochemical means with solid electrodes in order to reproduce the original results. There are at least two major limitations to electrolysis in view of obtaining high energy outputs with little input power. On one hand electrochemistry in aqueous solutions and atmospheric pressure limits the cell temperature to 100 $^{\circ}\text{C}$, and on the other hand lot of input energy is spent to dissociate water. There are certainly solutions to avoid these limitations, for example electrolysis with molten salts, or water at high pressure. However these technologies are difficult to implement in an ordinary laboratory.

More and more people are trying alternative solutions. One of them is the use of deuterium gas instead of heavy water. There are several advantages to that choice; one of the most important one is the fact that operations are feasible at much higher temperatures, and it is very likely that nuclear reactions in solids increase with increasing temperatures.

Most researchers have chosen solid metal electrodes as Pons and Fleischmann (1). However several experiments have been realized with either thin films or metal powders. Certainly the most interesting work has been produced by Arata and Zhang (2) with their DS cathode where a hollow palladium cathode is filled with palladium nano powder. They show large excess heat production when using heavy water and no excess heat with ordinary water. They have also measured production of helium-4 during these runs (3). Recently the same

authors have developed an alternative technique to obtain similar results applying high pressures of deuterium gas on the outside of a palladium tube filled with palladium nano powder. With this new design there is no energy spent to dissociate water and temperature can be larger than with an electrolytic design.

Another interesting result has been obtained by Li et al. (4). They observed excess heat when deuterium gas flows through a palladium foil. Interestingly, back in 1989, Fralick et al. (5) reported a similar experiment when they loaded an hydrogen gas purifier with deuterium, and then pumped it out. They observed a temperature rise with deuterium versus no temperature variation with hydrogen.

All these results indicate that diffusion of deuterium through palladium produces excess heat.

A weak point of Arata (2), Li (4) and Fralick (5) experiments is the lack of accurate calorimetry. In all three cases temperatures are measured, that clearly indicate excess heat, but no absolute value of the heat produced is given. Therefore we decided to build a calorimeter capable of doing experiments similar to the above, whilst keeping its capacity of good calorimetry.

This paper gives preliminary results of diffusion of deuterium through palladium. They show interesting features that need confirmation.

2 - Experimental setup

The main idea behind our calorimeter design is the use of a mass flow calorimetric method so that no calibration is necessary. Its design has been improved over time and it can be described in two different designs described below.

2.1 - First design

Figure 1 shows a view of the first system. The vacuum chamber is a stainless steel cylinder 7 cm in diameter and 50 cm long. It is surrounded by a second stainless steel envelope where 30°C water circulates at a constant flow rate of 180 ml/min. In and out temperatures of water are measured with two calibrated thermistors. A palladium tube closed at one end usually 10 cm long and 2 mm in outer diameter is welded on a 6 mm diameter stainless steel rod which is attached to a 6 mm diameter stainless steel tube with a Swagelok® fitting (figure 2). A thermocouple is inserted inside the stainless steel tube up to the center of the palladium tube when it is empty, and to its edge when it is filled with palladium powder from Goodfellow 80-180 nm. Therefore for a given heating power the measured temperatures differ according to the position of the thermocouple. The first value is closer to reality than the second one. Also because of the heat losses by conduction and non uniform heating, the temperature of the palladium tube is not uniform along the tube.

The palladium tube is heated by radiation with a Thermocoax resistor wrapped around it using DC current. Four stainless steel concentric reflectors are positioned around the resistor in order to minimize heat losses by radiation. Input heat applied to the resistor is dissipated mainly by radiation and is collected by the water cooled envelope. However part of the heat is lost by conduction through the 6 mm stainless steel tube attached to the palladium tube and also through the metal flange which holds the electric feedthroughs and the various pumping tubes.

ANNEXES

A major flaw of this design is the fact that when deuterium gas diffuses out of the palladium tube, pressure inside the vacuum chamber increases. This also occurs when we purposely close the valve of the vacuum chamber towards the pumping system and let the pressure rise inside the vacuum chamber. Under these circumstances heat is transferred from the heater not only by radiation, but also by conduction and convection. This has been solved in the second design of the equipment described in the next section.

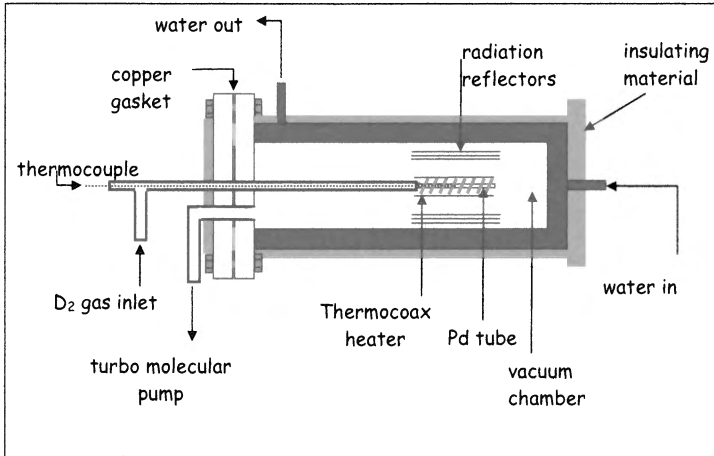


Figure 1
First design of the mass flow calorimeter

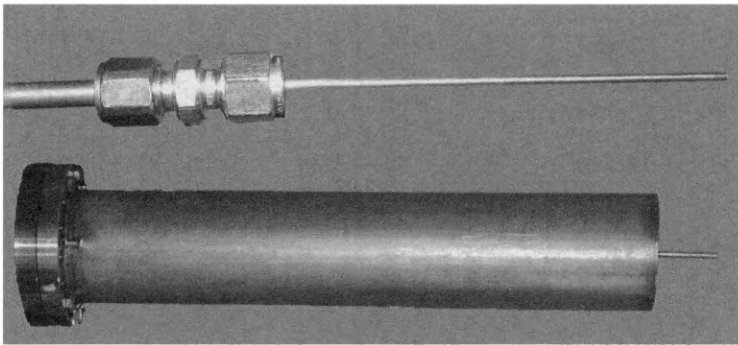


Figure 2
Top: photograph of the palladium tube attached to the stainless steel tube with a Swagelok® fitting. Bottom: photograph of the vacuum chamber

2.2 - Second design

In order to improve the calorimeter we have added a stainless steel reaction cell around the palladium tube, with a separate pumping system, so that there is no pressure rise in the vacuum chamber when deuterium diffuses through the palladium tube. Therefore heat is transferred from the reaction cell to the walls of the vacuum chamber by radiation only, independently of the amount of deuterium gas in the reaction cell. Figure 3 shows the new design. Figure 4 shows the palladium tube surrounded by the heater and a first radiation screen, as well as the reaction cell attached to the flange of the vacuum chamber

Also to improve stability versus room temperature we have added a water jacket around the whole chamber where water flows at the same temperature as in the cooling system.

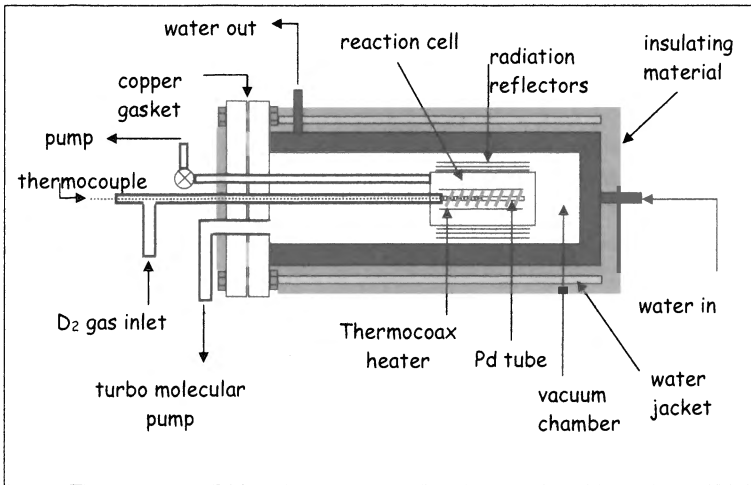


Figure 3

Schematic of the second design where a reaction chamber as been added as well as a constant temperature water jacket

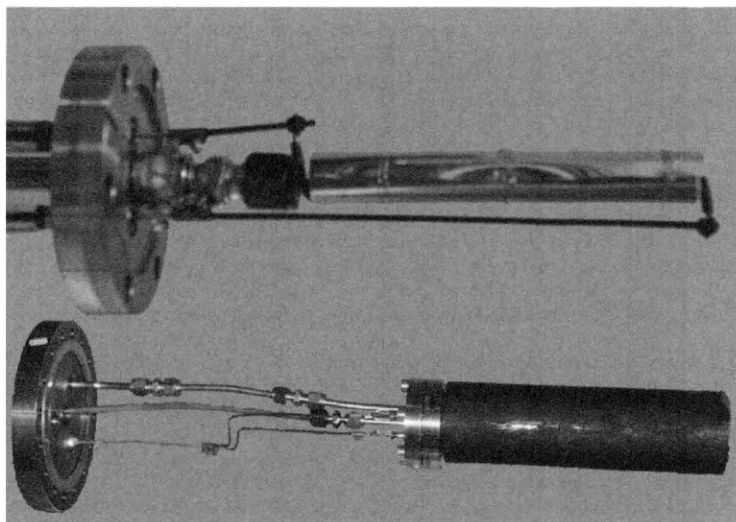


Figure 4

Top view: palladium tube surrounded by the heater and a first radiation screen.

Bottom view: the reaction cell attached to the flange of the vacuum chamber

2.3 – Calibration

Input power is measured accurately since the heater is driven by a DC power supply. Output power is measured via the temperature difference given by two thermistors, one at the inlet, and the other one at the outlet with a precision of ± 0.01 K. De-ionized water mass flow rate is measured with accuracy better than 1%. As mentioned above, most heat is recovered by the water flow, and therefore taken into account in determining P_{out} . However some heat is lost through the large flange of the vacuum chamber which is not cooled by the water flow. In order to have an accurate value of the losses we have performed a blank run without the palladium tube. We replaced it with an open stainless tube. Our calibration shows that a correction of 5 to 2 % of the input power must be added to the output power to take into account the heat loss. This value varies with input power: the larger the input power the less correction is needed in percentage.

However in order to avoid having to perform this correction, it is even better to compare the output powers without deuterium and with deuterium. Therefore no correction is needed; we simply compare the two situations.

3 – Experimental results

So far, we have realized 23 experiments. The first 11 ones were with the first design and the following 12 with the second design. We have used mostly closed palladium tubes from Goodfellow, 10 cm long, 2 mm outer diameter and 200 μm thick walls. As we had a

limited number of such tubes, we had to use open ended tubes from Goodfellow that were brazed at one end. We also tried a Pd-Ag tube from Goodfellow, and in a couple of cases a stainless steel tubes filled with palladium powder, with a palladium carbon catalyst given by Case (6), and by beads similar to those of CETI (7). Our initial goal was to fill the palladium tube with palladium nano powder as Arata (2). However it turned out that the method they used Yamaura et al. (8), i.e. arc melting of a palladium zirconium alloy, then spin melting in order to produce an amorphous alloy followed by oxidation at low temperature was not available in our laboratory. Therefore we could not follow our initial goal of reproducing Arata's (2) work in its integrity. Instead we focused in other directions. We tried various alternatives: deposition of various metals such as gold, titanium or zirconium on the external surface of the tube, and letting deuterium gas diffuse out at various temperatures. We filled the palladium tube with palladium powder from Goodfellow without success. We tried to reproduce Case experiment using a palladium catalyst on carbon without success either.

For our last experiment with the first experimental design, run 11 we oxidized the palladium tube in air at 500°C for two hours, and filled it with palladium powder from Goodfellow. We did not observe any excess heat using our usual methodology: that is introduction of deuterium in the palladium tube at pressures up to 9 atmospheres, and simultaneously pumping out the vacuum chamber. For almost three weeks we tried operating at temperatures from room temperature up to 350 °C without success. At this point under three occasions as indicated on figure 5 we stopped pumping out the vacuum chamber and let deuterium pressure rise. This is when excess heat appeared as shown on figure 5.

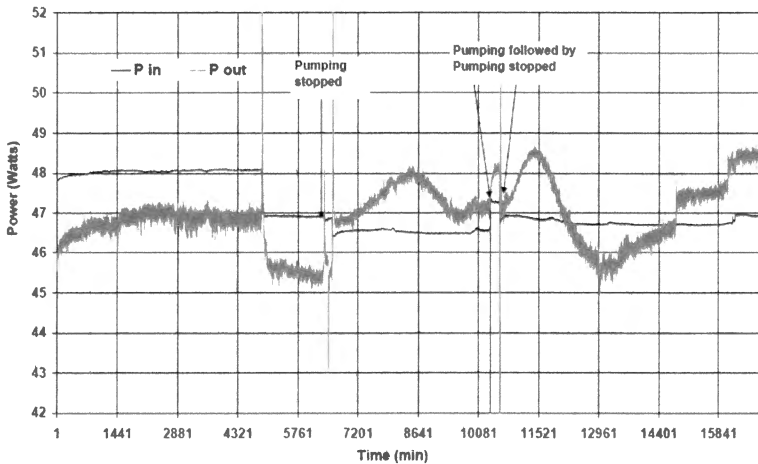


Figure 5
Powers in and out during the final phase of the experiment showing an uncorrected excess heat of 1.7 Watts

Before stopping pumping, P_{out} was about 1.2 Watt less than P_{in} . Therefore the actual excess heat observed should be increased by 1.2 Watt in order to obtain the correct excess

heat. When pumping was stopped we observed every time an increase of Pout followed by a decrease but Pout remained above Pin.

The immediate Pout increase appearing when the vacuum chamber valve is closed is due to the fact that heat accumulated on the palladium tube and on the heating device is evacuated by radiation only when the vacuum chamber is under vacuum. However when deuterium fills the vacuum chamber there is also conduction and convection that evacuate heat. Interestingly the last part of the experiment shows an increase of Pout after rise and fall that lasted three days. When the experiment was stopped the excess heat was 1.8 Watt without correction and 3.0 Watts when corrected for the losses in the calorimeter as explained above.

Temperature at the base of the palladium tube was 85°C before excess heat developed and gradually rose to 87 °C when excess heat appeared. This is a good indication that the effect is genuine.

Figure 6 shows SEM photographs of the original tube (left) and after oxidation (right).

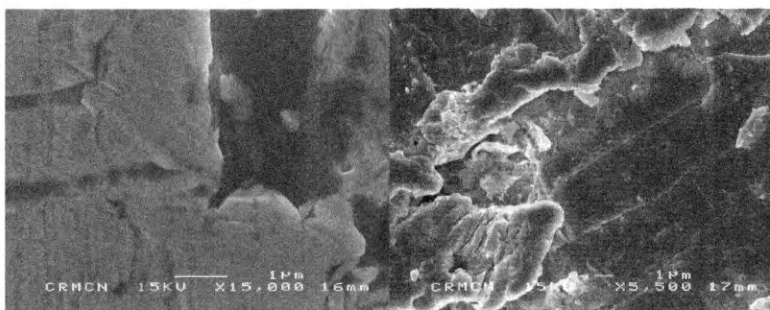


Figure 6
SEM images of the virgin palladium tube (left),
after oxidation in air for two hours at 500°C (right).

After the successful run 11, SEM images of the tube show interesting features (figure 7). It seems that some areas of the metal have melted and recrystallised. Palladium melts at 1553°C, and the highest temperature reached by the tube was 350 °C! X-ray fluorescence shows the presence of palladium only. No trace of other metal is visible. This is not surprising since X-ray fluorescence analyses a depth of one micrometer, whereas the amount of transmuted materials if any would be probably much less.

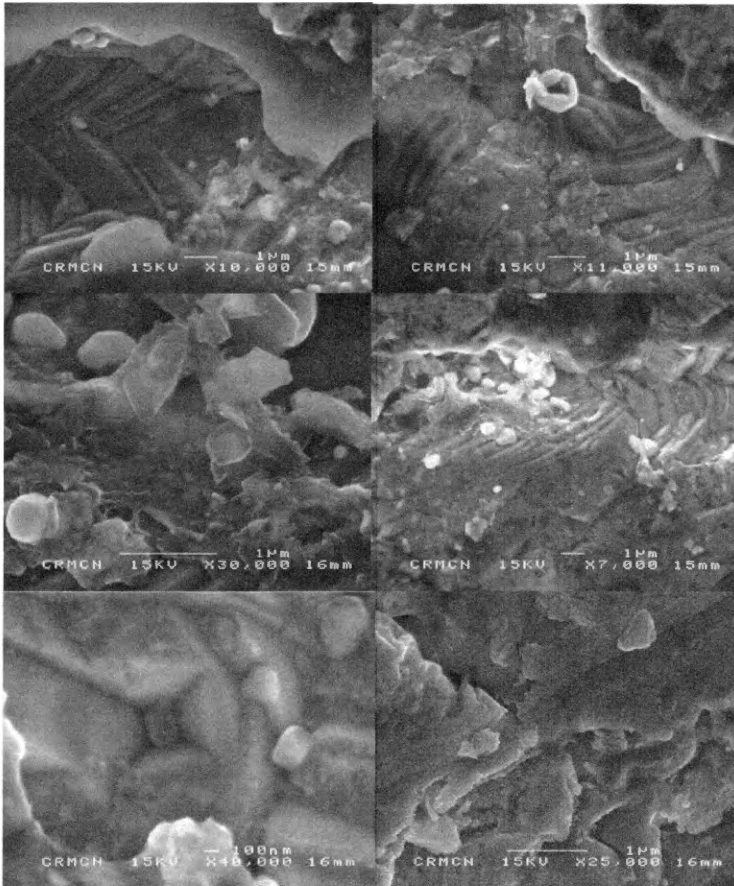


Figure 7
SEM images of the palladium tube run 11 that produced excess heat

In order to compare SEM images of run 11 that produced excess heat, it is interesting to compare them to those of a similar experiment that did not produce excess heat. Figure 8 shows SEM images of a palladium tube from run 20. The main difference between run 11 and 20 is the fact that the tube of run 11 was heated in air for two hours whereas the tube of run 20 was not. We do not observe the melted zone visible on figure 7.

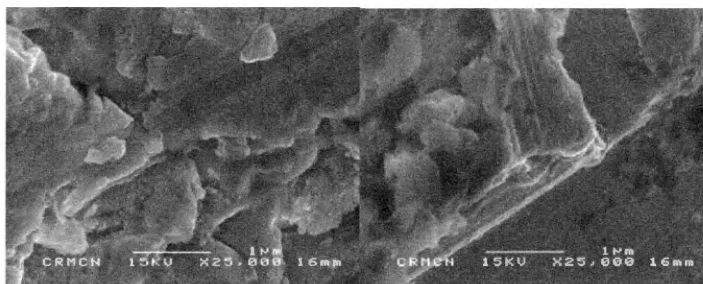


Figure 8
SEM images of the palladium tube of run 20 that did not produce excess heat.

4 - Discussion

We have shown that diffusion of deuterium through palladium produces excess heat. The best result was obtained when the tube was oxidized in air prior to starting the experiment, and filled with palladium powder. We measured an excess heat of 3 Watts with an input power of 47 Watts, i.e. a yield of 6% that lasted three days. However, it seems that the powder did not play a role in this experiment. In the future, experiments similar to run 11 will be performed without the palladium powder in the tube to verify this assumption.

It seems that in order to get excess heat we need the following conditions:

- A flux of deuterium through the walls of the palladium tube.
- The palladium tube should be oxidized by heating in air at 500°C.
- The outer surface of the tube should be in a deuterium gas environment.

Our understanding of the mechanism that can explain our experimental results is as follows: deuterium molecules dissociate at the inner surface of the tube. Inside the palladium deuterium atoms ionize and D^+ ions move towards the outer surface of the tube due to the pressure difference between the inside and the outside of the tube. When a D^+ reaches the outer surface two options are possible:

- In the first scenario, a D^+ recombine with an electron to produced an adsorbed D atom at the surface of the metal, then this D atom meets another D and as soon as a D_2 molecule forms, it leaves the surface.
- In the second case, lot more rare, a D^+ ion would encounter an adsorbed D and would react with it to produce a Helium-4 atom. This is why the reaction is dependant on D^+ flux through the palladium, and D coverage of the outer surface. The greater the flux, the more chances a D^+ would interact with an adsorbed D. The reason why the palladium should be oxidized is probably due to the fact that either oxidation modifies the surface metallurgy, or oxygen atoms bring extra electrons that play a screening role.

An interesting question is how D^+ can react with D. Our understanding is that electrons are not confined to a Bohr type orbit. Instead there is a non null probability that an electron orbiting a deuteron gets sometimes very close to the nucleus. Therefore for a short period of time the D atom is analogous to a shrinked atom. The incoming D^+ can therefore get very close to the nucleus of the adsorbed atom. By tunneling a non null probability of reaction exists between the two deuterium nuclei. This reaction is happening at low speed, and it is

very likely that the two nuclei will configure themselves to react and produce maximum energy i.e. form a He-4 nucleus. Occasionally the other reactions producing neutrons and tritium might also happen. It is also possible that neutrons interact with the host metal and produces transmutations.

More work is necessary to confirm both our experimental results and also our model. We need to produce more excess heat in order to verify the formation of He-4. Our experimental set up is ready for such a work.

5 – Conclusion

We have developed a mass flow calorimeter that allows us to perform experiments in gas phase with deuterium or hydrogen. We have shown that with a palladium tube oxidized in air at 500°C, filled with palladium powder we could observe an excess heat of 3 Watts when deuterium gas flows through the walls of the palladium tube. We have developed a simple model that explains our experimental results.

Acknowledgments

We would like to acknowledge Gilles Arthaud who built our experimental set up, Jacques Kurdjian, Michel Buxerolles and Jean-Louis Rechatain for giving us the palladium tubes.

References:

- (1) M. Fleischmann., S. Pons, *Electroanal. Chem.* 261, **1989**, p 301.
- (2) Y. Arata, and Y. C.Zhang, *Proc. ICCF12, Yokohama*, edited by A. Takahashi, Y. Iwamura, and K. Ota, *World Scientific* **2006** p44-54
- (3) Y. Arata, and Y. C. Zhang, *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2* 38 (7A), L774, **1999**.
- (4) X. Z. Li, B. Liu, N. Cai, Q. Wei, J. Tian, and D.X.Cao, in *Tenth International Conference on Cold Fusion*, editors Hagelstein, P. L. and Chubb, S. R. *World Scientific Publishing Co.*, Cambridge, MA, **2003**, p. 113.
- (5) G. C. Fralick, A. J. Decker, and J. W. Blue, *NASA Technical Memorandum* 102430, **1989**
- (6) L. C. Case, *The Seventh International Conference on Cold Fusion*, Jaeger, F. *ENECO, Inc.*, Salt Lake City, UT, Vancouver, Canada, **1998**, pp. 48.
- (7) J.A. Patterson, *US Patent #5,494,559*, **1996**, System for electrolysis.
- J.A. Patterson, *US Patent # 5,318,675*, **1994**, Method for electrolysis of water to form metal hydride.
- G. Lonchampt, J. P.Biberian, L. Bonnetain, and J. Delepine, *The Seventh International Conference on Cold Fusion*, Jaeger, F. *ENECO, Inc.*, Salt Lake City, UT, Vancouver, Canada, **1998**, pp. 202.
- (8) S. Yamaura, K. Sasamori, H. Kimura, A. Inoue, Y.C. Zhang and Y. Arata, *J. Mater. Res.* 17, **2002**, 1929

FAST TRACK COMMUNICATION

Growth of silicene layers on Ag(111): unexpected effect of the substrate temperature

H Jamgotchian^{1,2}, Y Colignon^{1,2}, N Hamzaoui³, B Ealet^{1,2},
J Y Hoarau^{1,2}, B Aufray^{1,2} and J P Bibérian^{1,2}

¹ CNRS, UMR7325, F-13288 Marseille, France

² Aix-Marseille University, CINAM, F-13288 Marseille, France

³ Laboratoire LSCM, Université d'Oran es-sénia, DZ-31000 Oran, Algeria

E-mail: haik@cinam.univ-mrs.fr and aufray@cinam.univ-mrs.fr

Received 19 March 2012, in final form 22 March 2012

Published 10 April 2012

Online at stacks.iop.org/JPhysCM/24/17/2001

Abstract

The deposition of one silicon monolayer on the silver (111) substrate in the temperature range 150–300 °C gives rise to a mix of (4×4) , $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ and $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ superstructures which strongly depend on the substrate temperature. We deduced from a detailed analysis of the LEED patterns and the STM images that all these superstructures are given by a quasi-identical silicon single layer with a honeycomb structure (i.e. a silicene-like layer) with different rotations relative to the silver substrate. The morphologies of the STM images are explained from the position of the silicon atoms relative to the silver atoms. A complete analysis of all possible rotations of the silicene layer predicts also a $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$ superstructure which has not been observed so far.

(Some figures may appear in colour only in the online journal)

1. Introduction

Silicene, the equivalent of graphene for silicon, i.e. a flat single atomic layer of silicon with a honeycomb structure, in the last few years has attracted strong theoretical and experimental attention owing to its potential applications in the field of nanoelectronics [1]. Indeed, if synthesized, it would also offer, as graphene, new physical properties, for example, its charge carriers should be massless Dirac fermions. From a theoretical point of view, intrinsic stability has been demonstrated by *ab initio* calculations using the density functional theory (DFT) for single-wall nanotubes [2, 3] as well as for stand-alone silicene layers [4–6].

From an experimental point of view the formation of silicon single-wall nanotubes can be considered as the first observation of a silicon single layer, with a honeycomb structure [7–9]. Soon after, silicon deposition in ultra-high

vacuum conditions onto a Ag(110) surface revealed the formation of silicon nanoribbons, all of them being parallel to the same [110] direction of silver and with the same width (1.6 nm) [10–12]. Their honeycomb atomic structure was deduced from high-resolution STM images [13] and further confirmed by *ab initio* calculations based on the DFT [14].

More recently a flat single layer of silicon with a honeycomb structure, i.e. a true silicene sheet, has been synthesized by silicon deposition onto Ag(111) substrate maintained during the growth at 250 °C [15]. A flat ball model is deduced from atomically resolved STM images obtained before and after silicon deposition and from the $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructure observed by LEED. This ball model consists of a flat silicon layer rotated 10.9° relative to the silver substrate. It was mentioned in this paper [15] that the substrate temperature and the growth rate are both crucial parameters. Therefore it was then tempting to study

systematically the role played by these two parameters on the growth of the silicon layers. Using AES–LEED and STM we report a set of new results in the present paper obtained at different substrate temperatures in the monolayer range. Indeed, depending on the substrate temperature we observed a (4×4) , a $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ and a $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructure. From a detailed analysis of the LEED patterns and of the atomically resolved STM images, we demonstrate that all these structures correspond to the same flat silicon layer (silicene-like) which differ only by the rotation relative to the silver substrate. For the $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructure we confirm the ball model given by Lalmi *et al* [15].

2. Experimental set-up

The experiments were performed in an ultra-high vacuum (UHV) system equipped with: low energy electron diffraction (LEED), Auger electron spectroscopy (AES) and scanning tunneling microscopy (STM) working at room temperature (Omicron RT STM 1). The Ag(111) sample is cleaned by several cycles of sputtering (600 eV Ar⁺ ions, 5×10^{-5} Torr) followed by annealing at 480 °C for a few hours until a sharp LEED $p(1 \times 1)$ pattern is obtained. Silicon is evaporated by direct current heating of a pure silicon chip onto the Ag(111) maintained at constant temperature during the growth. The silver substrate temperature is controlled by a thermocouple located close to the sample. The amount of silicon after deposition is measured by AES. The monolayer (ML) coverage is determined using the Auger intensity ratio I_{Si}/I_{Ag} as determined by Leandri *et al* [16] (one monolayer corresponding to an attenuation of the silver Auger signal (352 eV) of about 40%). After silicon deposition the sample surface structure is characterized by LEED and then transferred for STM observations. During the deposition, the substrate being heated by the silicon wafer radiation, the lowest constant temperature that we have been able to maintain is 150 °C.

3. Experimental results

Using the procedure described above we have performed the deposition of about one silicon ML from 150 to 350 °C in steps of 30 °C. At each temperature, the evolution of the superstructures was analyzed by LEED and STM. The evaporation rate was kept constant (0.05 ML min^{-1}) except in the range 150–200 °C, where the evaporation rate had to be decreased to 0.01 ML min^{-1} in order to get the LEED superstructures. At higher deposition rates, no superstructure was observed.

3.1. LEED characterization

The results obtained by LEED can be summarized as follows.

For temperatures above 330 °C no superstructure is observed by LEED. Only the silver diffraction pattern is visible with an increase of the background. Below this temperature a continuous evolution is observed from a

quasi-pure (4×4) superstructure (as shown in figure 1(a)) to a quasi-pure $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructure around 300 °C (figure 1(d)). In between these two temperatures, a mixture of these two superstructures is obtained plus a $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ as shown in figures 1(b) and (c).

3.2. STM characterization

Figure 2(a) shows a typical filled-states STM image of the surface after the deposition of about 1 ML of silicon forming a (4×4) superstructure corresponding to the LEED pattern of figure 1(a). In this STM image, we observe a regular hexagonal structure composed of six equivalent triangles. The unit cell (4×4) of this structure is highlighted on the image. The directions of this superstructure are in perfect agreement with the directions of the dense rows of Ag(111) as is shown in the filled-states STM images of the bare silver surface shown in the inset of figure 2(a). The distance between two black holes is about 1.14 nm, as shown on the line profile given in figure 2(b), which corresponds to four times the distance between two neighboring silver atoms (1.156 nm).

Figure 3(a) shows an empty-states STM image of the $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructure obtained after the deposition of about 1 ML of silicon at 300 °C. A honeycomb hexagonal structure is seen in the image with some structural defects. The number of these structural defects increases with growth temperature and with time at room temperature. The line profile p2, in the $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ direction of the Ag(111) (figure 3(c)), shows the distance between two hexagons $\sim 1 \text{ nm}$, close to the expected distance $(2\sqrt{3} \times d_{Ag-Ag} = 1.00 \text{ nm})$. The line profile p1, shown in figure 3(b), gives the distance between two protrusions of the honeycomb $\sim 0.6 \text{ nm}$.

In between these two temperatures the coexistence of different superstructures on the surface makes the identification of each superstructure more difficult in the STM images. Furthermore, all the STM images that we obtained in this temperature range show small domains with many structural defects. In order to identify in the STM images the corresponding superstructures, we used the angle expected from the superstructures relative to the silver surface orientation (i.e. 0° , 13.9° and 30°) and the expected periodicity (1.16 nm, 1.04 nm and 1.00 nm) for the (4×4) , $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ and $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ respectively. A typical example is shown in figure 4(a) showing the coexistence of the three superstructures: (4×4) , $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ and $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$, with their corresponding angles. The $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ superstructure appears atomically more disordered even though the line profile of figure 4(b) shows a periodicity (1.08 nm) in good agreement with the expected $(\sqrt{13} \times d_{Ag-Ag} = 1.04 \text{ nm})$ distance. More surprising, we also observed in some locations another kind of STM image made of periodic protrusions with a hexagonal arrangement as shown in figure 5(a). From the protrusions' orientation relative to the silver substrate and the distance between protrusions (see the line profile in figure 5(b)) we deduced that these STM images correspond also to the $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ superstructure. For the sake of simplification we will name the $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ 'type I' shown in figure 4 and 'type II' the one shown in figure 5.

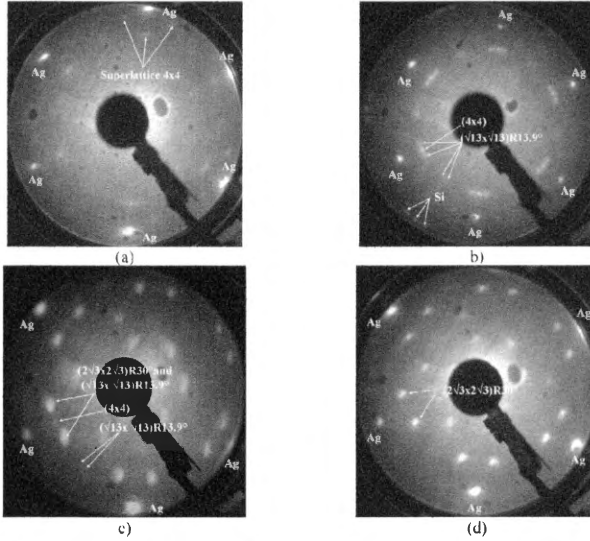


Figure 1. LEED diagrams obtained after the deposition of about one silicon monolayer on Ag(111) maintained at different temperatures: (a) a quasi-pure (4×4) at 150°C ; a mixture of (4×4) , $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ and $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructures, respectively, at (b) 210°C and (c) 270°C , and (d) a quasi-pure $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ at 300°C .

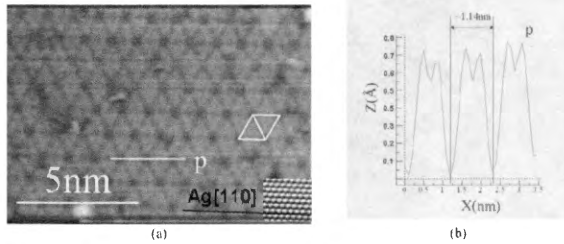


Figure 2. (a) Filled-states atomically resolved STM image after deposition of one silicon monolayer at 150°C showing a (4×4) superstructure ($I = 1.0\text{ nA}$, $U = 1.4\text{ V}$). Inserted in the right corner is a filled-states atomically resolved STM image of the clean Ag(111) surface at the same scale and recorded before the silicon deposition. (b) Line profile showing the distance between two black neighboring holes giving the periodicity.

3.3. Ball models of the three superstructures

From STM images, which only reflect a map of the surface density of states, it is generally difficult to deduce an atomic model. Nevertheless, the observation of regular hexagons on these superstructures on the one hand and the previous results obtained on the Ag(110) face showing silicene nanoribbons on the other hand, let us assume that the same structure

can exist on silver (111), i.e. a silicene layer with a honeycomb structure grown on top of the Ag(111) surface. This assumption is strongly supported by the intrinsic perfect match between four nearest-neighbor Ag distances (1.156 nm) and three unit cells of the (111) surface of silicon (1.152 nm) forming a natural (4×4) superstructure (see the model of figure 6(a) [17]). In the unit cell of this ball model, many silicon atoms are situated in threefold sites or in bridge

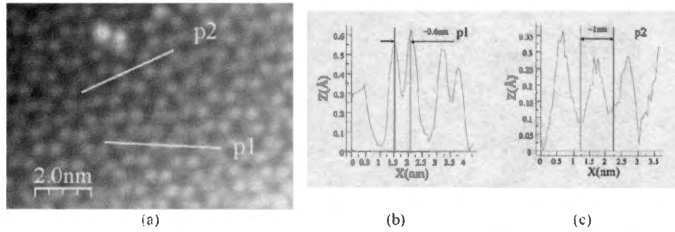


Figure 3. (a) Empty-states STM image ($I = 1.1$ nA, $U = -1.7$ V) corresponding to the surface superstructure ($2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$)R30° after the deposition of one silicon monolayer at 300 °C. (b) Line profile showing the distance between two protrusions. (c) Line profile showing the distance between two hexagons.

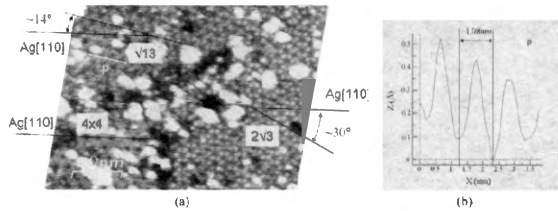


Figure 4. (a) STM image (26×19 nm², $I = 1.2$ nA, $V = -1.1$ V) showing the coexistence of different superstructures after the deposition of one silicon monolayer deposited on Ag(111): the (4×4), the ($2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$)R30° and the ($\sqrt{13} \times \sqrt{13}$)R13.9° 'type I'. (b) Line profile showing the periodicity of the superstructure (~ 1.08 nm).

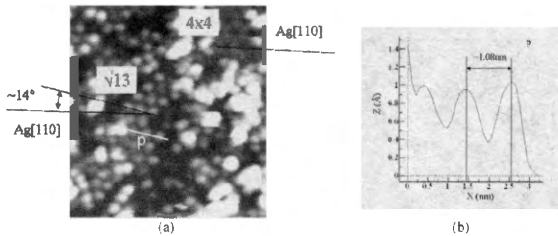


Figure 5. (a) Empty-states STM image (15×16 nm², $I = 0.8$ nA, $V = -3.0$ V) showing the coexistence of the ($\sqrt{13} \times \sqrt{13}$)R13.9° 'type II' superstructure and the (4×4) superstructure. (b) Line profile showing the distance between two protrusions.

positions. Six silicon atoms are situated on top of a silver atom (highlighted in yellow with a black circle). These six atoms should appear higher than the others and then form the triangular shapes seen in the STM images. This silicon layer structure has also been observed recently by STM and this model was confirmed by DFT calculations [18].

For the ($2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$)R30° superstructure which appears at higher temperatures, there is also a perfect match by a rotation of the same silicon layer by 10.9° relative to its initial position in the (4×4) superstructure (figure 6(b)). Note that this perfect match needs only a 2% dilatation of the silicon

layer. Here again, in the unit cell, most silicon atoms are in threefold or bridge sites of the silver surface. Only two silicon atoms (highlighted in yellow with a black circle) are situated on top of silver atoms. These two silicon atoms, which should appear higher than the others, might form the large honeycomb structure seen in the STM images. The line profile of figure 3(b) shows a distance of ~ 0.6 nm between two protrusions, in very good agreement with this model. Due to the rotation of the silicon layer (10.9°) with respect to the substrate a second domain is expected ($\sim 10.9^\circ$) but both

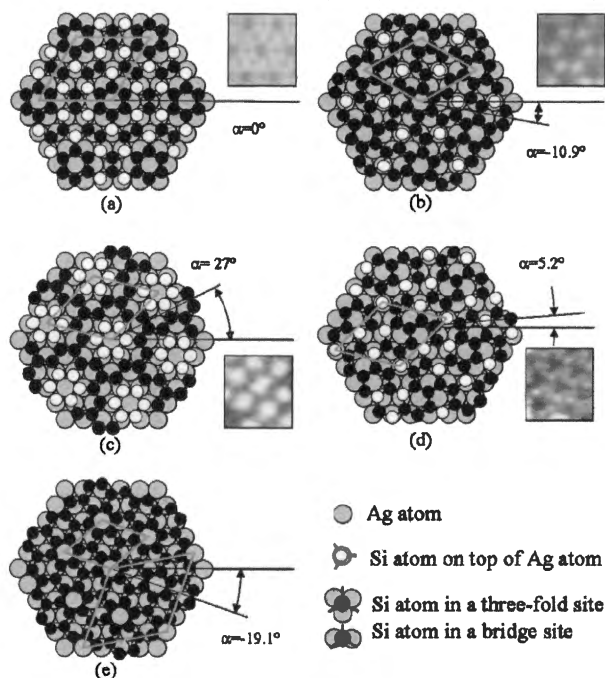


Figure 6. Ball models of one silicon monolayer on top of a Ag(111) surface (inserted are the STM images obtained at different temperatures). α is the angle of rotation of the silicon layer relative to silver. (a) (4×4) superstructure; (b) $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructure; (c) $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ superstructure type I; (d) $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ superstructure type II and (e) $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$ and the $(\sqrt{21} \times \sqrt{21})R19.1^\circ$ superstructures (not observed).

domains should appear very similar by STM since it is the mirror image of this structure.

Concerning the $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ superstructure we have observed two kinds of STM images very different from each other (figures 4 and 5). Here again, a perfect match can be found by a rotation of the silicon layer (27°) but in this case with a 2% contraction of the silicon layer. The corresponding ball model of figure 6(c) clearly shows that all the six silicon atoms around the silver atom are situated on top of the six neighboring silver atoms and then could be at the origin of the high and large protrusions observed by STM as shown in figure 5. The line profile in figure 5(b) is also in good agreement with this model. Because this superstructure is not on a silver axis of symmetry, we expect two domains rotated $+13.9^\circ$ and -13.9° with respect to the Ag[110] direction. Similarly, for each of these domains there are also two mirror structures with respect to the Si[110] direction. In other words, there are four domains which are observed by STM: two with

large protrusions (one example is shown in figure 5(a)) and two with black holes and small protrusions in the middle of the unit cell (an example is given in figure 4(a)). The two domains with the large protrusions always appear very well ordered, whereas the two other domains have always been observed with many defects within the unit cell. In figure 6(d), we propose a position of the silicon layer which could explain the details of the STM image. Note that in this ball model there is no hexagon of silicon around a silver atom like in the other structures. The silicon layer has been shifted in order to get a maximum number of silicon atoms in threefold or bridge sites. The silicon atoms which are situated on top of (or close to) a silver atom can explain the protrusions observed locally in the STM image inserted in figure 6(d).

We have shown that all the superstructures observed are obtained by a rotation of a silicon layer with respect to the silver substrate. It is tempting to find other rotations that could also give a good match between the silicon layer and the silver

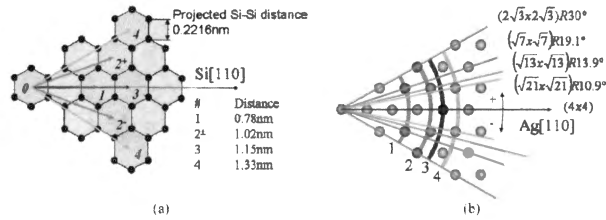


Figure 7. Schematic diagram showing geometrically all the possible superstructures which can exist between a flat silicon monolayer and a silver (111) surface: (a) silicon hexagons which can be in epitaxy with silver. In the inset are given the distances between hexagon #0 and hexagons #1 (the shortest) to #4 (the longest). (b) Silver (111) substrate with all the possible superstructures. The different arcs of circles show geometrically all the possible matches between the flat silicon layer with honeycomb structure and the silver (111) surface.

Table 1. Geometrical values of superstructures.

Superstructure ^a	Si hexagon number ^b	Distance between Si hexagons ^c (nm)	Distance between Ag atoms ^d (nm)	Match ^e	Coverage ^f
(4×4)	#3	1.152	1.156	0.997	1.125
$(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$	#2	1.02	1.00	1.02	1.17
$(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$	#2	1.02	1.04	0.98	1.08
$(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$	#1	0.78	0.76	1.01	1.14
$(\sqrt{21} \times \sqrt{21})R10.9^\circ$	#4	1.33	1.32	1.01	1.14

^a Expected superstructure coming from the match between the silicon layer and the silver surface.

^b Identification number of the implicated silicon hexagons with the corresponding superstructure (figure 7(a)).

^c Distance between the silicon hexagons shown in figure 7(a).

^d Distance between silver atoms given by the corresponding superstructure of figure 7(b).

^e Geometrical match between the silicon and the silver distances.

^f Coverage of silicon atoms per silver surface atom.

substrate. In figure 7(a) is shown the schematic silicon (111) layer and the distances between the centers of the hexagon of silicon. Figure 7(b) shows, at the same scale, the silver substrate and the different arc of circles with radii equal to the various distances of figure 7(a).

Table 1 summarizes all the geometrical values of figure 7. It appears that, from a geometrical point of view, the (4×4) , $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$, $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$, $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$ and $(\sqrt{21} \times \sqrt{21})R10.9^\circ$ superstructures are almost equivalent. However, in the LEED patterns as well as in the STM images we never observed the $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$ structure with a parameter of 0.76 nm nor the $(\sqrt{21} \times \sqrt{21})R10.9^\circ$ structure with a parameter of 1.32 nm. The ball model proposed for the $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$ is shown in figure 6(e). It has been obtained with a rotation of the silicon layer by 19.1° with almost a quasi-perfect match. In this model all the silicon atoms are in, or close to, a threefold site. The silicon layer should therefore be flatter than the other structures. The model proposed for the $(\sqrt{21} \times \sqrt{21})R10.9^\circ$ superstructure (figure 6f) shows that it is an over-period of the $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$ structure. Not seeing these superstructures does not necessarily mean that they could not exist. First, because we might not have used the appropriate growth conditions (substrate temperature and deposition rate) and, second, in the present experiments, the lack of LEED patterns could be due to too small size domains, and for STM we might simply have missed it.

4. Discussion

The role played by temperature on the existence of all these superstructures is very important, but difficult to understand. For example, we have checked that the (4×4) superstructure is not transformed into a $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ then a $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ by post-annealing. It appears that all these structures are not in equilibrium. Their sequence of formation depends mainly on the substrate temperature and on the deposition rate, not on the substrate temperature and the coverage.

The fact that all the superstructures can be explained by a quasi-identical silicon layer with different orientations supports the existence of a silicon layer similar to a true silicene sheet equivalent to graphene. In contrast, the localized and high buckling of the silicon layer (~ 0.05 nm) is not in favor of the existence of a silicene layer for which we would expect a soft Moiré pattern. Indeed, a true silicene layer, the equivalent of graphene, would imply a strong in-plane Si-Si binding with a very weak buckling (due to the sp^2 hybridization), i.e. weak interactions with the substrate giving rise to a soft Moiré pattern as is observed for graphene on metal surfaces [19]. The localized buckling reveals that the interaction of silicon with the silver substrate remains locally strong and could be at the origin of the silicon layer stability. This buckling was not observed in the $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ superstructure by Lalmi *et al* [15] where all the

silicon atoms are imaged. The difference with the present work, where only some silicon atoms are imaged, could be due to the imaging conditions or to the growth parameters (temperature, deposition rate).

5. Conclusion

We have shown that, depending on the Ag(111) substrate temperature during the silicon growth, all the superstructures (4×4), $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})R13.9^\circ$ and $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ observed by STM and LEED are generated by the same single layer of silicon with a honeycomb structure with different rotation angles relative to the silver substrate. All these superstructures can be explained by the very good match between the Si(111) layer and the Ag(111) surface. From a simple geometrical approach we predict the possibility of a fourth superstructure: $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R19.1^\circ$. *Ab initio* calculations are in progress to compare energetically all these superstructures and try to understand the role of the growth temperature as well as the deposition rate.

Acknowledgments

We wish to thank Dr Guy Tréglia and Professor Hamid Oughaddou for fruitful discussions.

References

- [1] Kara A, Enriquez H, Seitsonen A P, Lew Yan Voon L C, Vizzini S, Aufray B and Oughaddou H 2012 *Surf. Sci. Rep.* **67** 1
- [2] Fagan S B, Baierle R J, Mota R, da Silva Z J R and Fazzio A 2000 *Phys. Rev. B* **61** 9994
- [3] Yang X and Ni J 2005 *Phys. Rev. B* **72** 195426
- [4] Guzmán-Verri G G and Lew Yan Voon L C 2007 *Phys. Rev. B* **76** 075131
- [5] Lebègue S and Eriksson O 2009 *Phys. Rev. B* **79** 115409
- [6] Cahangirov S, Topsakal M, Aktürk E, Sahin H and Ciraci S 2009 *Phys. Rev. Lett.* **102** 236804
- [7] Tang Y H, Pei L Z, Chen Y W and Guo C 2005 *Phys. Rev. Lett.* **95** 116102
- [8] Crescenzi M D, Castrucci P, Scarselli M, Diociaiuti M, Chaudhri P S, Balasubramanian C, Bhawe T M and Bhoraskar S V 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 231901
- [9] Yamada S and Fujiki H 2006 *Japan. J. Appl. Phys.* **45** 1837
- [10] Léandri C, Le Lay G, Aufray B, Girardeaux C, Avila J, Davila M E, Asensio M C, Ottaviani C and Cricenti A 2005 *Surf. Sci.* **574** 19
- [11] De Padova P, Léandri C, Vizzini S, Quaresima C, Perfetti P, Olivieri B, Oughaddou H, Aufray B and Le Lay G 2008 *Nano Lett.* **8** 2299
- [12] Sahaf H, Masson L, Léandri C, Aufray B, Le Lay G and Ronci F 2007 *Appl. Phys. Lett.* **90** 263110
- [13] Aufray B, Kara A, Vizzini S, Oughaddou H, Léandri C, Ealet B and Le Lay G 2010 *Appl. Phys. Lett.* **96** 183102
- [14] Kara A, Léandri C, Dávila M E, De Padova P, Ealet B, Oughaddou H, Aufray B and Le Lay G 2009 *J. Supercond. Nov. Magn.* **22** 259
- [15] Lalmi B, Oughaddou H, Enriquez H, Kara A, Vizzini S, Ealet B and Aufray B 2010 *Appl. Phys. Lett.* **97** 223109
- [16] Leandri C, Saifi H, Guillemet O and Aufray B 2001 *Appl. Surf. Sci.* **177** 303
- [17] Kara A, Enriquez H B, Vizzini S, Ealet B, Aufray B and Oughaddou H 2011 *Glob. J. Phys. Chem.* **2** 145
- [18] Vogt P, De Padova P, Quaresima C, Avila J, Frantzeskakis E, Asensio M C, Resta A, Ealet B and Le Lay G 2012 *Phys. Rev. Lett.* at press
- [19] Wintterlin J and Bocquet M L 2009 *Surf. Sci.* **603** 184

Fusion froide, ITER, Alchimie, Transmutations biologiques...

À l'annonce de la découverte de la fusion froide, en 1989, l'ensemble du monde scientifique entre en ébullition. Il serait donc possible de produire de l'énergie illimitée à moindres frais ? Dans de nombreux laboratoires, connus ou inconnus, réputés ou non, chacun tente de reproduire l'expérience dont tout le monde parle. J'ai fait partie de ces pionniers, de cette aventure prometteuse extraordinaire. Mais la fusion froide ne s'est pas faite en un jour.

Laissez-moi vous raconter la petite et la grande histoire, humaine et scientifique, alchimique et biologique, de la fusion froide. Une histoire qui me passionne et qui se poursuit aujourd'hui...

Ingénieur, physicien, Maître de conférences à la faculté des Sciences de Luminy, le **Dr Jean-Paul Bibérian** explore tous les horizons possibles. Inventeur d'un procédé d'écrans plats, candidat astronaute, ce spécialiste de la physique des surfaces est tombé dans la fusion froide au cours des années 1990. Rédacteur en chef de la seule revue scientifique consacrée à la fusion froide, il est l'un des rares experts français en ce domaine.

978-2-8132-0533-9 18 €



www.editions-tredaniel.com