

LES FULLERENES



# FUSION

*La science, passionnément!*

n°44

JANVIER - FEVRIER 1992

27 Fr

## ASTROPHYSIQUE

**Les objets  
impossibles**

## EDUCATION

**L'apprentissage  
de la liberté**

## HISTOIRE

**Le courant réaliste  
de la physique  
française**



**Les résultats de  
Pons et  
Fleischmann  
confirmés par  
les japonais**

**FUSION FROIDE**  
**LA PERCEE**  
**JAPONAISE**

L 4792 - 44 - 27,00 F - RD



fusion

# FUSION



## La percée japonaise

# FROIDE



*La troisième conférence internationale sur la fusion froide (ICCF-3) qui s'est tenue à Nagoya, au Japon, du 21 au 25 octobre, a marqué un point d'inflexion dans cet extraordinaire nouveau champ de recherche. Trois ans après que Stanley Pons et Martin Fleischmann aient fait les gros titres de la presse mondiale en annonçant qu'ils pouvaient produire la fusion dans un tube à essai, à température ambiante, il existedésormais un ensemble de résultats expérimentaux qui confirment leur affirmation.*

*Un dossier de notre envoyée spéciale à ICCF-3, Carol White.*

## fusion

**L**un des moments clés de la conférence a été la présentation d'une vidéo produite par Stanley Pons, présentant quatre expériences différentes dans lesquelles la fusion froide a lieu. Ces cellules sont passées d'une température de 40° C à l'ébullition et cette ébullition a vidé le contenu — 2,5 moles d'eau lourde — en 11 minutes environ. Une estimation grossière permet d'établir qu'il faudrait au minimum 40 minutes pour parvenir à ce résultat par une électrolyse normale, sans que des réactions nucléaires se produisent (et ce chiffre ne tient pas compte des pertes de chaleur dues au rayonnement).

Cette expérience d'ébullition nécessite environ 100.000 joules, ce qui correspond à peu près à 144,5 watts. Or, la puissance d'entrée est de 37,5 watts, dont 11 watts perdus par rayonnement de la cellule. Il y avait donc un gain en énergie de plus de 400%. Stanley Pons estime avoir atteint, dans ces expériences, une densité de puissance de 2,7 kilowatts par centimètre cube.

### Le contrôle de l'expérience

Les scientifiques japonais ont confirmé l'excès de chaleur dans de nombreux laboratoires, mais seul Akito Takahashi s'est approché de ces hauts niveaux de chaleur. Les chercheurs japonais et le Stanford Research Institute de Palo Alto obtiennent désormais une bonne reproductibilité de leurs expériences, mais à un niveau de puissance inférieur en moyenne. La caractéristique qui affecte la reproductibilité d'une expérience est la qualité variable des différents lots de palladium utilisés. Ainsi, un chercheur expérimenté utilisant un « bon » lot de palladium peut espérer obtenir au moins 30% d'excès de chaleur, alors qu'il n'obtiendra rien avec un « mauvais » lot. Des problèmes importants de métallurgie restent donc à résoudre.

Au cours des dernières années, les expérimentateurs ont pu déterminer la plupart des conditions nécessaires au succès de l'expérience, mais cela

n'est pas encore suffisant. Par exemple, même s'il est crucial de s'approcher aussi près que possible d'un rapport du nombre de deutérons au nombre d'atomes de palladium égal à un, on ne sait pas encore si cette condition est suffisante pour permettre à la réaction d'avoir lieu. Un facteur critique est la présence de poisons chimiques dans l'électrolyte, qui favorisent le chargement du deutérium dans la cathode : alors que les silicates — qui sont lessivés à partir du verre Pyrex après une électrolyse suffisamment longue — favorisent en général le chargement, le dioxyde

*« la fusion froide est-elle réelle ou est-ce vraiment de la science pathologique ? »*

de silicium agit comme un isolant. Dans la conception classique de Fleischmann-Pons, l'anode, qui est enroulée symétriquement autour de la cathode, est faite de platine, ce qui conduit à une déposition de ce métal sur la cathode pendant l'électrolyse, et peut affecter le chargement du deutérium dans le palladium. Selon le chercheur du SRI Michael McKubre, si les silicates améliorent bien le rapport de charge, l'aluminium ajouté dans la cellule en traces est plus efficace encore pour obtenir la chaleur en excès.

Une autre variable longuement discutée est le changement de courant de basse à haute intensité au cours du chargement : il existe désormais des variantes aux procédures lentes de chargement recommandées par Pons, comme le chargement par rampes de courant pratiqué par Akiro Takahashi. La façon dont le traitement et la composition du métal affectent la structure cristalline, et tout spécialement la formation de fissures qui sont absolument critiques dans le chargement de la cathode, représente un autre terrain de recherche très

important. Il y a par ailleurs toute une série de problèmes en science des matériaux que l'on doit encore résoudre, parmi lesquels la question de la structure cristalline du palladium hybride, lorsque le rapport de charge en deutérons approche, ou même dépasse, le chiffre 1 — la phase appelée gamma. On se demande encore si le chargement a lieu dans les sites octaédriques ou tétraédriques.

Pendant ces trois années d'expériences, beaucoup de ces questions ont été abordées, mais la plus grande partie de l'effort de la communauté scientifique a été consacrée à établir la reproductibilité du phénomène. En d'autres termes, à répondre à la question : « la fusion froide est-elle réelle ou est-ce vraiment de la science pathologique ? » Maintenant que le rapport de Fleischmann et Pons a été confirmé pour l'essentiel, bien que pas dans tous ses détails, les chercheurs peuvent aller de l'avant.

Dans la session finale de la conférence, Martin Fleischmann a souligné à nouveau le rôle des « poisons » pour améliorer le rapport de charge : « *Nous utilisons des récipients en verre et Mike met de l'aluminium dans la solution* » dit-il. Dans les deux cas, des oxydes vont se déposer sur la cathode avec le temps.

Fleischmann a aussi discuté le rôle de la chaleur, qu'il estime très important, pour provoquer la réaction une fois que le rapport de charge a dépassé 0,6. On se trouve alors dans la phase bêta. Dans la phase précédente, dite phase alpha, le réseau dégage de la chaleur lorsqu'on le charge, alors que le chargement de la phase bêta est endothermique. Et Fleischmann commente : « (...) *le truc est de charger le deutérium dans le réseau, de faire passer le réseau en régime endothermique, et de faire monter alors la température.* »

L'autre nouveauté de cette ICCF-3 a été l'apparition d'un ensemble de résultats en utilisant de l'eau légère, dans lesquels on utilisait du nickel au lieu du palladium, et au cours desquels des excès de chaleur auraient été observés. Beaucoup de chercheurs ont soulevé la possibilité de réactions

chimiques dues à la présence de carbone dans l'électrolyte, mais il y eut un accord général sur la nécessité d'explorer ce nouveau champ de recherches. Le Pr Jean-Pierre Vigier, un éditeur de *Physic Review Letters A*, a exprimé ce point de vue dans ses remarques au cours de la session finale :

« La question clef est que nous savons maintenant que nous avons un excès de chaleur. (...) Mais du point de vue de l'interprétation de ces nouveaux faits, (...) il existe des nouveaux effets dans la matière condensée et nous devons comprendre ce qui intervient. (...) Il y a quelque chose de nouveau. Tout dépend maintenant des expériences à eau légère. »

## Collaboration internationale

L'élargissement de la coopération internationale fut un autre grand thème de la conférence. Dans la session finale, Michael McKubre, qui dirige la principale équipe de recherche américaine sur le sujet, basée au Stanford Research Institute, a souligné que le champ est beaucoup trop large pour ce qu'il a appelé un « monopole horizontal ou vertical de talents ». Alors que le SRI fut connu dans le passé pour sa manie du secret sur ses protocoles d'expérience, McKubre s'est montré très ouvert dans la discussion de son travail avec des chercheurs du monde entier et a proposé des projets d'expérience communs.

Le président de la conférence, Hideo Ikegami, a conclu la conférence sur une note très optimiste, en déclarant que Martin Fleischmann et Stanley Pons avaient ouvert à l'humanité une nouvelle voie de recherches scientifiques, grâce à leur découverte de la possibilité de fusion à l'état solide, et non plus seulement dans un plasma gazeux. « Ce qui est en train d'être créé, c'est un domaine de recherches complètement nouveau dans la science nucléaire classique » a-t-il conclu. « Nous pouvons désormais nommer ce que nous appelions la fusion froide : il s'agit de « fusion à l'état soli-

de. » C'est un sujet très important pour la science ; un sujet sur lequel nous avons travaillé patiemment, avec courage et dévouement, pour nos générations futures, pour ceux qui vivront le XXIème siècle. »

Pour illustrer son discours, il cita l'exemple du chercheur de NTT, Eiichi Yamaguchi, qui a découvert de l'hélium 4 dans une plaque de palladium chargée en deutérium par la méthode gazeuse, et celui du Pr Akito Takahashi, qui a rapporté de nombreux exemples d'excès de chaleur au cours de l'année écoulée.

Le Pr Edmund Storms, du laboratoire américain Los Alamos, ainsi que le Pr Francesco Cellani, du laboratoire italien de Frascati, ont tous deux rapporté leurs résultats positifs lorsqu'ils ont tenté de reproduire l'expérience de Takahashi. En fait, le plus grand événement de cette année 1992 aura été le lancement d'un effort de collaboration internationale autour de cette expérience japonaise.

## L'engagement du Japon

Des plus de 300 chercheurs, représentants de l'industrie et journalistes qui assistèrent à ICCF-3, la plus forte délégation était bien sûr celle du Japon, avec 200 personnes. La recherche a réellement décollé dans ce pays, et le fameux MITI (ministère de l'industrie et du commerce international) a proposé un budget de 25 millions de dollars sur 4 ans pour financer la recherche. Cet effort débutera dès la prochaine année fiscale. Les contributions de l'industrie à cet effort devraient au moins doubler.

En fait, de gros efforts ont été consentis dès cette année, comme par exemple la construction d'un nouvel ensemble immobilier consacré à la recherche, ensemble qui abrite maintenant le centre de recherches sur la fusion froide de l'IMRA, ou encore l'extension des activités du centre scientifique en France du même IMRA, avec un centre à Sophia-Antipolis. En visitant ce labora-

toire, on peut estimer que le coût du bâtiment (qui n'est que partiellement occupé par les laboratoires de l'IMRA) et de l'équipement est de l'ordre de 20 millions de dollars. Le laboratoire IMRA est financé par la société Aisin Seki dont le président honoraire est Minoru Toyoda, un éminent membre de la famille qui produit les automobiles Toyota (voir son discours p.14). IMRA est un acronyme provenant de son nom — Institute of Minoru Research Advancement — et il a été fondé avec le but initial de promouvoir la collaboration scientifique entre le Japon et la France.

Les Japonais ont offert à Stanley Pons et Martin Fleischmann des installations de recherche à l'IMRA France, après que leur situation fut devenue intolérable aux Etats-Unis, où ils étaient accusés non seulement d'avoir commis des erreurs, mais d'avoir délibérément truqué leurs résultats. Sans les Japonais, il est très probable que le travail sur la fusion froide aurait été retardé de longues années. Le but des « establishments » scientifiques des Etats-Unis et de la Grande-Bretagne était sans conteste de faire tomber dans l'oubli le travail des deux pionniers de la fusion froide. Non seulement la société japonaise Technova a-t-elle offert du soutien financier et logistique aux deux expérimentateurs (qui habitent désormais près de Cannes) mais ils se sont eux-mêmes embarqués dans un programme ambitieux au Japon.

## Une anomalie

Comment une réaction nucléaire peut-elle être induite dans une cathode de palladium (une électrode négative) qui a été chargée avec des deutérons (des noyaux d'hydrogène lourd, le deutérium, qui contient un neutron en plus du proton), par une simple électrolyse et à température ambiante ? Est-ce une nouvelle forme de réaction de fusion ? Est-ce plutôt, ou par ailleurs, une autre réaction nucléaire ? Est-ce qu'il s'agit d'une forme de chimie entièrement nouvelle ? Qu'arrive-t-il exactement à la surface du réseau de palladium ou à

## fusion

l'intérieur ? La découverte d'une production d'hélium 4 par Yamaguchi ne répond à aucune de ces questions mais elle établit bien qu'un processus de fusion a lieu dans le réseau de palladium, au moins dans les conditions de chargement gazeux de son expérience.

La probabilité qu'une réaction de fusion froide puisse survenir à température ambiante dans un réseau

métallique est de l'ordre d'une chance sur  $10^{45}$ . L'émission de neutrons et la production de tritium, en tant que sous-produits de la production de chaleur en excès, est un indicateur reconnu de la présence d'une réaction de fusion dans les systèmes à haute énergie ; cependant, les nombres de neutrons et les quantités de tritium mesurés dans les expériences de fusion froide sont beaucoup trop bas — de 9 ordres de grandeur pour

les neutrons — pour rendre compte de la chaleur en excès produite.

Jusqu'ici, on acceptait généralement l'idée que les énergies chimiques sont beaucoup trop faibles, de plusieurs ordres de grandeur, pour opérer un quelconque processus nucléaire, a fortiori pour opérer la fusion de noyaux. Bien que la production d'hélium 4 ne soit pas typique de la fusion chaude, c'est un chemin

### L'optimisme scientifique existe encore... au Japon !

Principaux extraits du discours de M. Minoru Toyoda

*Je suis ravi que la troisième conférence internationale sur la fusion froide se tiende sur une si grande échelle dans la ville de Nagoya, ici au Japon. Je suis heureux d'accueillir des chercheurs éminents de la fusion froide venus du monde entier. Depuis longtemps, je crois fermement que seul le développement harmonieux de la science et de la technologie, à travers la coopération internationale, pourra assurer une croissance équitable de l'économie mondiale.*

*Pour faire de cette belle idée une réalité, j'ai fondé Technova à Tokyo en mai 1978, comme organisation ayant une totale liberté pour participer à des forums de recherche internationaux. Pendant les 14 ans écoulés depuis, nous avons fait des progrès continus, grâce à quelques uns des plus grands esprits de ce monde, malgré les circonstances internationales changeantes que nous avons connues. Technova a été très active dans le développement et l'application des technologies avancées, et dans leur adaptation à des usages pratiques. Nous avons promu également l'échange international de technologies et d'idées. La direction et les conseillers de Technova ont fait de grands progrès, se faisant connaître nationalement et internationalement.*

*Je me souviens qu'en juin 1982, lors du huitième sommet annuel des pays avancés, à Paris, le président français Mitterrand a souligné la nécessité d'une coopération entre la science et la technologie. J'ai examiné alors les tendances de l'avenir et estimé qu'il y aurait un besoin toujours croissant de progrès basé sur la promotion de la science et de la technologie. Avec la coopération de nombreux amis étrangers, j'ai fondé en juillet 1985 IMRA Europe, un laboratoire international de recherche et développement situé à Sophia-Antipolis. Le laboratoire a commencé ses activités en juin 1988 et il est activement impliqué dans la recherche de pointe, particulièrement dans le domaine de l'énergie.*

*Lorsque j'ai fondé IMRA Europe, j'avais une vision mondiale, la mise en place d'une structure globale destinée à développer les technologies de l'avenir. J'ai intitulé ce projet le « plan IMRA ». Ses bases de recherche seraient établies au Japon, en Europe, aux Etats-Unis et dans le reste de l'Asie. Son but était de mettre ces quatre régions en réseau pour faire un usage plus efficace des ressources humaines en*

*échangeant du personnel et des idées, tout en gagnant la confiance du monde pour atteindre nos buts. Ce plan a progressé régulièrement et, alors qu'IMRA Japon, IMRA Europe et IMRA Etats-Unis ont déjà commencé leur travail, nous planifions la fondation d'IMRA Asie.*

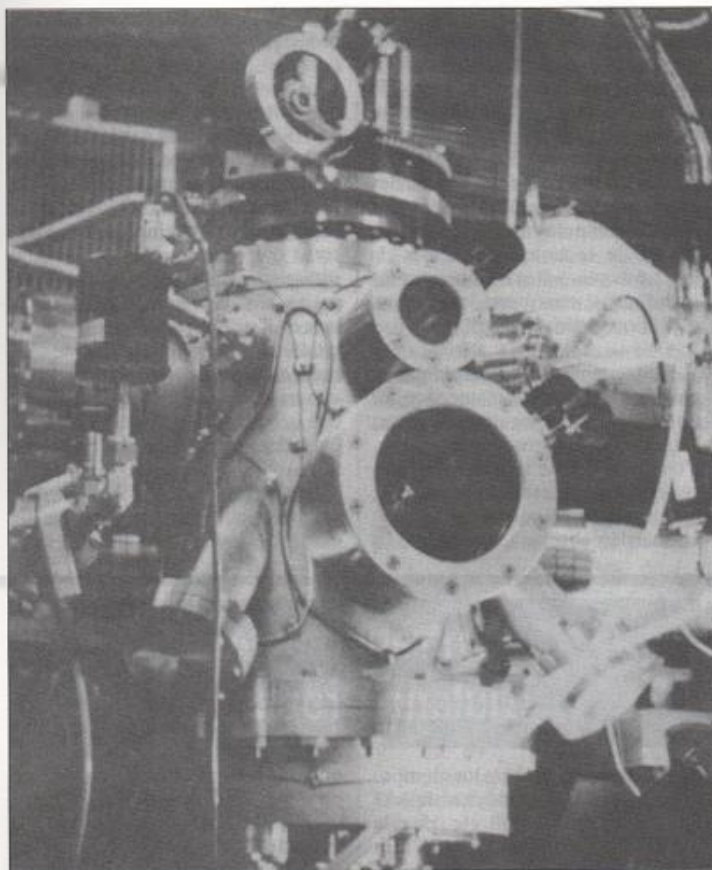
*Ainsi, j'ai toujours promu le développement des technologies du futur avec un cœur enthousiaste. En même temps, j'ai toujours pensé avec anxiété au problème de l'énergie. Le besoin angoissant de remplacer les ressources pétrolières épuisées est une menace sombre sur le XXI<sup>ème</sup> siècle.*

*J'ai été donc fortement interpellé en mars 1989, à l'annonce des résultats de Pons et Fleischmann. Par chance, le Dr Kunimatsu [président d'IMRA Japon], qui est un ami commun des deux professeurs, travaillait dans ma société ; grâce à cette connexion, j'ai pu inviter les deux professeurs au Japon et nous sommes devenus bons amis. Après de nombreuses conversations, j'ai été convaincu de l'importance de la fusion froide.*

*Plus tard, lorsque Technova reçut une proposition de projet commun de recherches de la part de Pons et Fleischmann, j'étais déterminé à faire tout ce qui était en mon pouvoir pour leur offrir l'opportunité de travailler dans les meilleures conditions possibles, et leur permettre de consacrer l'essentiel de leur temps à la recherche. J'ai pensé qu'IMRA Europe, installé près de Nice, leur offrirait l'environnement idéal.*

*Par ailleurs, en juillet de cette année, et dans le but de faire avancer la recherche sur la fusion froide, nous avons ouvert IMRA Japon dans le parc technologique de New Sappora, à Hokkaido. (...) La raison pour laquelle nous soutenons cette activité de recherche est que, en tant qu'entreprise, nous ressentons le devoir de contribuer davantage à la science.*

*De plus, la fusion froide n'est pas un domaine qui peut être abordé par une seule entreprise ou une seule nation. J'ai l'espérance qu'elle deviendra un atout précieux pour toute l'humanité et sera la forme idéale d'énergie, partagée entre toutes les nations de la terre.*



*C'est dans cette chambre à vide d'un accélérateur de particules qui allait prendre sa retraite que Yamaguchi a réalisé ses expériences. Au lieu du dispositif électrolytique, il a préféré le chargement du palladium par un gaz de deutérium.*

compréhensible pour expliquer une réaction.

L'hydrogène est le premier élément du tableau de Mendeleïev et il est essentiellement composé d'un proton, dans son noyau, et d'un électron orbitant autour de ce noyau. Le deutérium est un atome d'hydrogène auquel est venu s'ajouter un neutron au noyau. Le tritium a dans son noyau un proton et deux neutrons (l'origine étymologique du deutérium et du tritium vient de ce qu'ils ont respectivement deux et trois nucléons). L'addition de neutrons au noyau de l'hydrogène contribue à l'instabilité potentielle qui favorise les possibilités de fusion.

La capacité d'une réaction chimique à déclencher une réaction nucléaire ouvre la voie à la possibilité de réaliser la fusion nucléaire dans des conditions extraordinairement favorables, mais aussi de nouvelles frontières scientifiques. L'ironie de ces trois dernières années de recherches, c'est que l'on n'a pas trouvé dans les expériences de fusion froide les neutrons et le tritium dans le rapport un-à-un habituel en fusion chaude et que les nombres de neutrons et les quantités de tritium produites sont beaucoup trop faibles pour rendre compte de la génération de chaleur par un processus de fusion traditionnel. La fusion froide est donc bien une anomalie, une anomalie

qui risque de créer un véritable boom technologique, puisqu'elle permet de générer des réactions nucléaires relativement aneutroniques et sans radioactivité.

Cependant, l'annonce par le Dr Eiichi Yamaguchi, chercheur à la Société Nippon Telegraph and Telephone (NTT), selon laquelle il avait trouvé de l'hélium 4 au cours d'une expérience de fusion froide, fut accueillie avec enthousiasme à la conférence. Elle représente un grand pas en avant dans la compréhension du phénomène.

### L'expérience de Yamaguchi

Le docteur Eiichi Yamaguchi n'a qu'un trentaine d'années mais est reconnu au niveau international comme une autorité en physique de l'état solide. Il est chercheur au Laboratoire de recherche en Sciences physique de NTT (Nippon Telegraph and Telephone). Pendant la plus grande part de la période de trois ans écoulée depuis que Fleischmann et Pons ont fait l'annonce de leurs travaux, il a travaillé en collaboration avec le Dr. Takashi Nishioka, chercheur associé à NTT.

Le Dr Yamaguchi fut l'un des premiers physiciens à débiter des recherches sur la fusion froide. Il a reçu un petit soutien de la part de NTT, bien que ses recherches sur le sujet fussent absolument subordonnées à ses travaux sur la physique des solides. Son travail est relativement ambigu, puisqu'il obtient la même quantité de chaleur en excès, que sa plaque de palladium soit chargée par de l'hydrogène ou du deutérium. Cependant, le deutérium provoque au départ une extraordinaire bouffée de chaleur.

Bien avant que n'éclate la bombe lancée par Fleischmann et Pons, Yamaguchi étudiait des propriétés curieuses de l'hydrogène. Lorsqu'il entendit parler de la fusion froide, il était assez sceptique sur la possibilité d'une réaction de fusion froide. Regardant en arrière cette période trépi-

## fusion

dante d'il y a trois ans, Yamaguchi dit :

*« Je pensais, d'une certaine manière, que ce qu'ils avaient à dire était ridicule. Cependant il y a certains phénomènes physiques cachés dans l'hydrogène, et l'hydrogène dans les solides a beaucoup de caractéristiques anormales d'un point de vue théorique. »*

Bien qu'intéressé par la reproduction de l'expérience de Fleischmann et Pons, Yamaguchi approche le problème comme un physicien plutôt que comme un chimiste. Il est convaincu qu'il est impossible d'étudier sérieusement le phénomène qu'on appelle aujourd'hui fusion froide s'il est produit par électrolyse ; en conséquence, il a conçu une expérience de chargement en gaz. Yamaguchi souligne la difficulté de capturer des

produits de fusion dans un électrolyte, par rapport à la relative facilité à le faire dans le vide. Qui plus est, il soutient que la plus grande pureté de l'environnement à vide élimine les questions soulevées par une possible contamination des électrolytes pouvant expliquer les phénomènes anormaux. Cela relève également plus, de son point de vue, de l'application de techniques diverses de spectroscopie. « Nous n'avons pas besoin d'eau, si nous avons le palladium enrichi en deutérium » explique-t-il.

Yamaguchi utilise une plaque de palladium couverte sur une face par une très fine couche d'oxyde et sur l'autre d'une épaisse couche d'or. L'oxyde empêche la sortie d'hydrogène ou de deutérium de la cathode, tandis que la couche d'or agit comme une barrière absolue à sa diffusion. La

technique de chargement gazeux utilisée est assez usuelle ; dans ce cas, l'oxyde utilisé était de l'oxyde de manganèse. Au moment où il commençait ses expériences, il disposait d'un accélérateur de particules vieux de 15 ans, qui allait interrompre ses activités. Pendant plusieurs mois, il a pu utiliser sa chambre à vide pour ses expériences. La chambre à vide est le cœur d'un accélérateur. Celle qu'il utilisait avait à peu près la taille d'une petite salle à manger d'hôtel. L'avantage de l'utilisation de cette chambre est d'être facilement capable de calibrer les émissions de neutrons. On sait en effet que le palladium « deutéré », bombardé par des deutérons, émet des neutrons de haute énergie.

Après avoir placé le palladium, déjà recouvert sur une face d'oxyde de manganèse, dans la chambre à vide,



**Fusion : M. Preparata, vous êtes en France à l'occasion du Congrès de l'association Science Innovante. Vous vous intéressez à la fois à la fusion froide et aux hautes dilutions. Pouvez-vous nous parler de votre modèle d'électrodynamique cohérente.**

**Giuliano Preparata :** L'électrodynamique cohérente (que certains appellent superradiance) n'est pas vraiment un modèle. C'est une théorie qui est tout simplement issue des lois de l'électrodynamique quanti-

## Entretien avec Giuliano Preparata

que, connues depuis très longtemps : Maxwell pour l'électrodynamique et Heisenberg, Born, Pauli, etc., pour la mécanique quantique. Ces lois font partie du patrimoine de la connaissance humaine depuis au moins 80 ans. Il ne s'agit donc pas d'un modèle mais d'une théorie s'attachant à comprendre l'interaction entre systèmes élémentaires à travers l'interaction électrodynamique. Je suis un théoricien de la physique des hautes énergies et je me suis aperçu que, dans la théorie de la matière condensée, le domaine de l'émission et de la réception d'ondes électromagnétiques, et l'interaction entre systèmes élémentaires qui en découle, étaient complètement négligés : le paradigme de la théorie de la matière de la condensée est un paradigme « à crochets ». Je veux dire par là que, étant donnée que la matière est globalement neutre, cela signifie que toute interaction est conçue comme interaction électrostatique à courte portée. Elle est donc négligée aujourd'hui. Je me suis posé deux questions : pourquoi la négliger et

que se passe-t-il si on ne la néglige pas ?

**Fusion : Quel a été le résultat de cette démarche ?**

**Giuliano Preparata :** Très surprenant : nous avons d'abord découvert que toutes les raisons données pour négliger cette interaction étaient fausses parce que basées sur une conception inadéquate de l'application de la théorie du laser. Les approximations de celles-ci, tout à fait justifiées dans le domaine du laser, ne le sont plus du tout dans le domaine de la matière condensée. Si l'on se passe de ces approximations, l'on découvre alors d'autres solutions.

**Fusion : Qu'entendez-vous exactement par matière condensée ?**

**Giuliano Preparata :** J'utilise ce terme pour caractériser ce qui n'est pas un gaz, donc la matière liquide ou solide. Les systèmes lasers, au sein de la matière condensée, sont assez



Yamaguchi chauffe celle-ci de 300 à 400°C : il détrempe le palladium pour forcer l'hydrogène à sortir du réseau métallique. Il introduit alors le deutérium sous forme gazeuse et réduit graduellement la température. Ce faisant, le gaz deutérium pénètre la surface du palladium, encore non couverte par l'or.

Après que le palladium soit chargé à environ 60% par des deutérons (le taux maximum atteignable en-dehors des méthodes électrolytiques), on le recouvre d'or et on évacue la chambre. La période s'écoulant entre le chargement gazeux et la couverture d'or est de deux jours. Une fois que l'or est en place, le deutérium ne peut plus s'échapper que par la face recouverte d'oxyde, une couche très fine de 200 Å environ. Même si cette couche n'est pas imperméable aux

protons ou aux deutérons, elle les ralentit avant qu'ils ne puissent sortir de la plaque et crée ainsi une couche d'accumulation près de la surface.

Cette phase d'amoncellement provoque une transformation de la structure en réseau du palladium de la phase alpha (la géométrie typique du réseau quand le taux de chargement en gaz est inférieur à 60%) vers la phase bêta, qui continue jusqu'à ce que le chargement atteigne une région au-delà. Dans la phase bêta, la constante du réseau est 5% plus grande que dans la phase alpha, où elle est fondamentalement identique au palladium pur.

Certains chercheurs pensent qu'une phase gamma ultérieure apparaît dans le réseau au-dessus d'un

taux de chargement de 85%, mais Yamaguchi utilise ici une description conventionnelle à deux phases de la géométrie du réseau. L'hypothèse est que dans la couche d'accumulation de surface le ratio de chargement en deutérons par rapport aux atomes de palladium serait de l'ordre de 1 pour 1.

La plaque utilisée avait une surface de 56 cm<sup>2</sup>. Lorsqu'elle passe du froid à la température ambiante, elle se courbe à chaque extrémité et la concentration de deutérium s'accroît ainsi dans la région du centre. L'échantillon se courbe du côté opposé à la couche d'oxyde. Yamaguchi compare l'émission de deutérons et de protons qui intervient alors à ce qui se passe lorsque l'on presse une éponge.

« dilués ». Les atomes émettant la lumière laser sont hautement dilués. Alors que dans la matière condensée, ce sont tous les atomes, tous les systèmes élémentaires qui participent au processus d'émission et de réception. On ne peut alors plus négliger le fait que les champs électromagnétiques varient très brutalement. L'hypothèse de la « slowly varying envelop approximation » (approximation des champs lentement variables) n'est plus valable car les équations font apparaître d'autres termes. Ces termes sont absolument nécessaires pour expliquer un comportement cohérent du système sans l'apport d'éléments « artificiels » que sont le mécanisme de pompage et le confinement de la radiation dans une cavité.

**Fusion : Comment s'établit le rapport avec la fusion froide et les hautes dilutions de Benveniste ?**

**Giuliano Preparata :** Je travaillais sur le sujet de l'eau depuis longtemps lorsque ces deux sujets sont apparus. J'avais alors un outil d'analyse de ces problèmes à proposer. Dans les deux cas, le comportement cohérent au niveau électrodynamique était en mesure de donner une base conceptuelle pour comprendre ces phénomènes. Très vite

(mai 89) nous avons publié une théorie de la fusion froide, qui reste aujourd'hui, à mon sens, la seule réaliste. Fleischmann et Pons d'une part, comme Lyndon LaRouche de l'autre, sont de ce côté.

**Fusion : Que pensez-vous de l'idée de fusion capillaire de Vliet ?**

**Giuliano Preparata :** Cela n'explique pas grand chose. Ce qui me frappe, c'est que beaucoup de gens lancent des idées générales et qualitatives sans jamais avancer de calculs pour justifier ces idées, sans jamais voir si les chiffres trouvés correspondent à peu près à ceux que l'on observe.

**Fusion : Avez-vous fait des prédictions ?**

**Giuliano Preparata :** Nous en avons fait deux : d'abord, le fait que les produits finaux de la réaction devaient être le noyau de l'hélium 4; ensuite le fait qu'il y avait un seuil à ce phénomène, autrement dit que le rapport de charge microscopique entre le deutérium et le palladium devait être supérieur à 1. Ces deux prédictions se sont avérées.

**Fusion : Quelles sont les con-**

**cepts fondamentaux de votre explication de la fusion froide ?**

**Giuliano Preparata :** Lorsque les atomes de deutérium entrent dans le réseau de palladium, ils se placent de façon préférentielle sur des positions particulières. Sur celles-ci, ils rencontrent un « écran » qui masque la barrière de Coulomb [On désigne ainsi la répulsion entre les deux charges positives que sont les noyaux, NDLR]. Cette barrière est affaiblie de façon considérable par des plasmas d'électrons, également prévus par la théorie. Mais cela ne suffit pas. Nous avons aussi découvert que le deutérium, dans cette position particulière, dite tétraédrique, oscille de façon cohérente et forme un plasma froid qui amplifie beaucoup les possibilités de fusion. Ce plasma est très froid et très ordonné. Lorsqu'un deutéron en excès entre dans le réseau, il rencontre ce milieu et a donc une possibilité de fusionner. Pour que cette possibilité existe, il faut une taille minimale du plasma et donc une taille minimale d'un réseau parfaitement ordonné du palladium, de l'ordre de 2 à 4 microns de rayon. Si cette région est plus petite, cela ne fonctionne pas, ce qui explique les nombreux échecs enregistrés par ceux qui ont tenté de reproduire les expériences de Fleischmann et Pons. ■

Le 4 juillet 1989, le Dr Yamaguchi a observé un phénomène extraordinaire. A ce moment, il travaillait avec trois échantillons à la fois, et il décrit ce qui se s'est produit en ces mots :

*« Je préparais trois échantillons dans la chambre à vide. J'évacuais la chambre, et, trois heures après l'évacuation, mon compteur de neutron enregistra une émission de  $10^6$  neutrons. Comme j'utilisais un compteur de neutron très paresseux pour détecter la présence d'hélium-3, j'ai reçu un choc. »* (Par paresseux, il voulait dire un compteur/détecteur d'hélium-3, qui avait l'avantage d'être plus calme qu'un détecteur BF-3 habituel.)

Pour Yamaguchi, il était évident que quelque chose d'extraordinaire se produisait : *« L'aiguille du détecteur a bougé, et la valve qui tenait la chambre à vide verrouillée pour empêcher le gaz de s'échapper est entrée en action. »* La libération du gaz fut si explosive que non seulement la valve fut activée, mais que la pompe fut brisée. Yamaguchi estime que l'ensemble du gaz chargé dans la plaque de palladium a été relâché en une seconde. Il portait des gants de nylon, mais il s'est néanmoins brûlé lorsqu'il tenta de toucher la plaque. Autre indication de la présence d'un événement de fusion, l'état de la plaque :

## Fauvarque : très sceptique mais...

*Jean-François Fauvarque est l'un des plus grands électrochimistes français, qui travaille au CNAM. Après avoir été rendre visite à Fleischmann et Pons dans leur laboratoire de Sophia Antipolis, il reste très sceptique. Pour lui, si le phénomène n'est « pas inconcevable de façon théorique », il n'est « ni répétable à volonté, ni quantifiable » et n'est donc « pas un objet de science. » Par ailleurs, il pense qu'il reste des artefacts possibles dans le dispositif expérimental de Fleischmann et Pons.*

*Cependant, M. Fauvarque estime que l'on doit rester ouvert face à ces expériences. Peu convaincu par le fait que le MITI japonais les finances, il soulève l'idée que ce pourrait être une fausse piste lancée par les Nippons pour égarer les Européens.* EG

*« Normalement, la surface oxydée de la plaque ne doit pas être colorée, mais là, c'est de la face dorée que la couleur avait disparu. Cela signifie que l'or a formé un alliage avec le palladium. Or, pour que cela se produise, il faut que la température atteigne  $800^{\circ}\text{C}$ . J'ai moi-même évalué la température à laquelle on peut former un alliage, en recuisant du palladium plaqué d'or dans le four. Il a fallu porter la température de l'échantillon à  $800^{\circ}\text{C}$ . De plus, l'échantillon était uniformément incurvé. La surface oxydée s'était dilatée, alors que la face dorée avait rétréci. La surface dorée était 10 fois plus épaisse que la surface oxydée ( $2000\text{\AA}$ ). »*

## Un phénomène nucléaire

La simultanéité des quatre événements a convaincu Yamaguchi qu'il avait observé un phénomène nucléaire plutôt que chimique. Devenu certain de la réalité de la fusion froide, il entreprit alors de répéter vingt fois l'expérience, mais il n'observa jamais plus le même résultat. C'est alors qu'il dut abandonner l'accélérateur qu'il utilisait et qu'il construisit son propre dispositif, qu'il termina en avril 1990.

Il commença alors une nouvelle série d'expériences qui révélèrent des résultats reproductibles à 100% en ce qui concerne l'échappement gazeux explosif, l'excès de chaleur et la courbure de la plaque. Cependant, la quantité de chaleur fut de trois ordres de grandeur inférieure à celle qu'il avait mesurée le 4 juillet 1989. Encore plus déroutant : l'expérience marcha aussi bien lorsque l'on chargeait le palladium avec de l'hydrogène plutôt qu'avec du deutérium. Cela posait à nouveau la question : s'agissait-il bien d'un phénomène nucléaire ou d'un artefact chimique ?

Il changea alors la conception de l'expérience en injectant un courant électrique à la surface de la plaque, du côté de

l'oxyde. L'injection de courant s'effectuait après le chargement gazeux et la couverture d'or. Dans ces expériences, il observa aucune bouffée de neutrons. Il estime avoir obtenu un excès de chaleur d'environ un Watt pour  $0,9\text{ cm}^3$ , alors que, dans ses premiers résultats, il pensait avoir atteint une densité de puissance d'environ  $500\text{ Watts/cm}^3$ . Bien sûr, dans ce genre d'expériences, la calorimétrie est difficile et ne peut être qu'approximative. L'excursion de puissance eut lieu deux heures après l'injection de courant. Yamaguchi rapporta ces résultats à la première conférence internationale sur la fusion froide, qui s'est tenue en octobre 1990 à Provo, dans l'Utah. Il concluait alors que *« cet événement est probablement dû à une réaction chimique, avec des réactions de fusion en marge du processus »*.

Dans cette nouvelle série d'expériences, Yamaguchi avait introduit un courant électrique qui créait une différence de potentiel entre les deux côtés de la plaque de palladium, et le transfert électronique a pu avoir un grand effet sur les phénomènes observés. Ceux-ci ne l'ont été que lorsque la couche d'or fut chargée positivement. Lorsque l'on changeait la direction du courant, il n'y avait ni expansion de la couche d'oxyde, ni évolution vers un excès de chaleur. Vu la nature explosive de l'émission de gaz qui suit les bouffées de chaleur, il semblait que le courant électrique agissait en chauffant le palladium, créant ainsi un gradient de température perpendiculaire à la surface, plutôt qu'en provoquant une électromigration.

Dans cette série d'expériences, Yamaguchi a utilisé de nouveaux détecteurs :

*« Dans les dernières expériences, j'ai utilisé un détecteur de neutrons plus sensible que celui que j'avais au début. J'ai ajouté un détecteur très sensible de particules chargées, plutôt que d'en rester à la seule détection des neutrons. (Il s'agit d'un dispositif à diode de silicium qui dispose d'un préamplificateur, d'un amplificateur et d'un analyseur multicanal, afin de détecter le spectre énergétique.) »*

*Je n'ai détecté des particules chargées qu'une seule fois. Elles avaient une énergie maximale de 3 MeV. Ce résultat ne s'est produit qu'une fois sur 64 expériences. Toutefois, à cette occasion, il y a eu trois émissions fortement corrélées avec la production d'excès de chaleur. Cela semblait suggérer la présence de tritium, mais la quantité de tritium était trop basse pour que je puisse la mesurer directement. Cela s'est produit avec une plaque de palladium chargée de deutérium. »*

## De nouveaux résultats

Les nouveaux résultats furent obtenus après que Yamaguchi eut acheté un spectromètre de masse à haute résolution, qui lui permit de mesurer l'hélium 4 in situ. L'émission de ce gaz était fortement corrélée dans le temps avec l'émission de chaleur et avec l'augmentation du rapport de charge ; cette émission d'hélium n'est intervenue que lorsque l'on chargeait en deutérium. Cependant, la quantité d'hélium détectée était supérieure à ce que l'on pouvait déduire de la quantité de chaleur, ce qui suggère la présence de rayonnement. L'équipe a pu ainsi mesurer la production de tritium. Les particules alpha qui ont été émises (c'est-à-dire des noyaux d'hélium 4) avaient une énergie de 4,6 MeV et on a détecté également des protons à 3 MeV (l'émission de protons indique la présence de tritium). Mais la quantité de ces derniers était faible par rapport à l'émission d'hélium 4.

Ceci indique que dans la matière condensée — le réseau de palladium

### Credit Photos :

Caltech/Carnegie Institution : p.29, p.34 ;  
ESA/NASA : p.32, p.35 ;  
Stuart Lewis : p.16 ;  
Lockheed Missiles & Space Company : p.30-31, p.33 ;  
Gil Rivière-Welstein : p.2 ;  
Université de Utah : couverture, p.10-11.

— la fusion interviendrait par un chemin inhabituel, en produisant de très faibles quantités de tritium et d'hélium 3, mais en produisant aussi de l'hélium 4. Une telle réaction aurait une probabilité négligeable dans une réaction de fusion à haute énergie typique. L'absence probable de rayonnement gamma à haute énergie est également une anomalie du point de vue de la fusion froide, mais elle est expliquée par Fleischmann et Pons par le modèle de « superradiance » du théoricien italien Giuliano Preparata, qui met en jeu un phénomène cohérent permettant l'interaction des deutérons en fusion avec le réseau de palladium.

## Les chaises musicales

Quand on lui demande s'il a une théorie à proposer sur la manière dont fonctionne la fusion froide, Yamaguchi parle de son modèle des « chaises musicales ». Son idée est que, pour expliquer qu'une fusion puisse se produire dans le réseau du palladium, on doit considérer le fait que le réseau devient désorganisé lorsque le palladium est chargé en hydrogène ou en deutérium, ce qui fait vibrer les atomes de palladium.

Il pense — comme le physicien italien Giuliano Preparata et le chercheur japonais sur la fusion froide Akito Takahashi — que le chargement doit se produire aussi bien sur les sites tétraédriques qu'octaédriques du palladium, mais il ne croit pas que la fusion puisse se produire à l'une ou l'autre de ces endroits, car il s'agira de sites locaux statiques d'énergie minimum. Il décrit sa propre vision du chargement en gaz comme suit :

*« Nous observons systématiquement une phase transitoire rapide, qui provoque un défaut, avec production d'une déformation plastique très rapide. Dans ces conditions, les atomes du voisinage vont se rapprocher du défaut. Le défaut va devenir un site d'énergie minimum, et cela amènera l'hydrogène ou le deutérium à se précipiter vers le défaut, où ils pourront rencontrer un ou plusieurs deutérons également en accélération rapide.*

*Dans de telles circonstances, la fusion de plusieurs corps pourrait très bien avoir lieu. »*

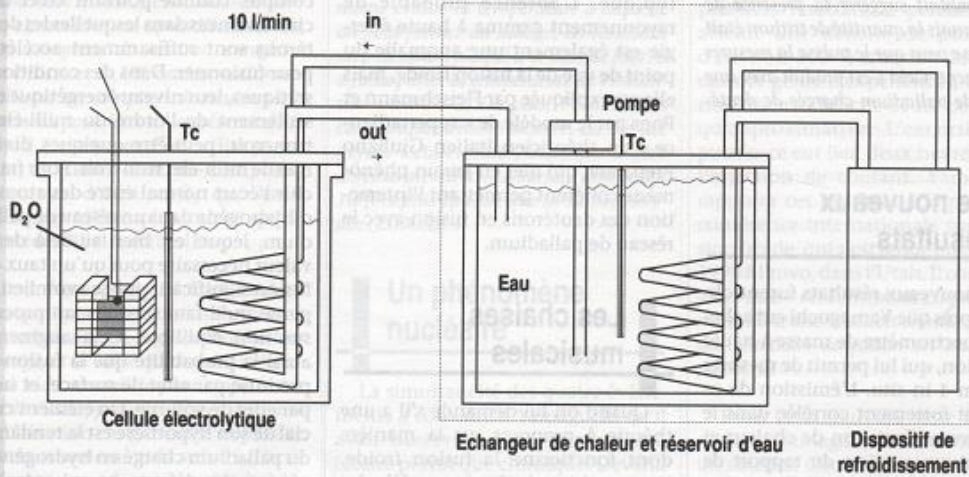
Selon l'hypothèse de Yamaguchi, le mouvement des atomes de palladium doit lui-même être pris en compte, comme pouvant créer des circonstances dans lesquelles les deutérons sont suffisamment accélérés pour fusionner. Dans des conditions statiques, leur niveau énergétique est seulement de l'ordre du milli-électron-volt, peut-être quelques dixièmes de milli-électron-volt. Pour franchir l'écart normal entre des atomes d'hydrogène dans un réseau de palladium, lequel est bien au-delà de la valeur nécessaire pour qu'un taux de fusion significatif puisse avoir lieu, il pense qu'il faut postuler un processus non équilibré. Cela augmente aussi la probabilité que la fusion se produise par effet de surface, et non par effet de volume. Un élément crucial de son hypothèse est la tendance du palladium chargé en hydrogène à générer des défauts, ce qui entraîne des vibrations du réseau, et augmente le niveau énergétique des deutérons qui sont entassés dans le réseau du palladium. Dans le modèle de Yamaguchi, la fusion devrait se produire dans les sites de déformations.

D'autres modèles, comme celui de Julina Schwinger ou celui de Peter Hagedorn, soulignent aussi l'importance de phénomènes cohérents. Akito Takahashi a également présenté un modèle de fusion à plusieurs noyaux, mais ce modèle ne permet pas d'expliquer les résultats de Yamaguchi. On ne peut toutefois pas exclure, bien sûr, que le processus nucléaire chez ce dernier soit différent de celui des cellules électrolytiques, vu les différences entre les conditions d'expérience.

## Takahashi

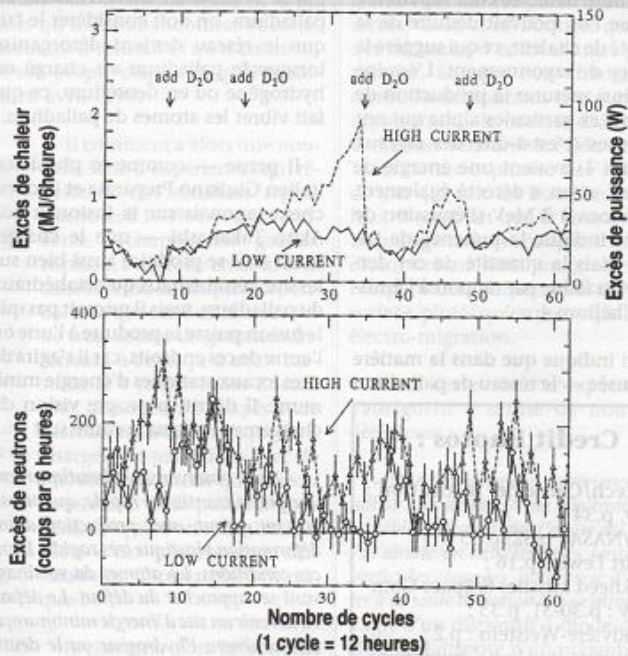
Il reste que les expériences de l'hiver dernier réalisées par Takahashi, au cours desquelles il utilisa une électrode de palladium en plaque, au lieu de la configuration en aiguille de Fleischmann et Pons, sont à ce jour la

L'expérience de Takahashi



En haut, le dispositif réalisé par A. Takahashi pour étudier le phénomène découvert par Fleischmann et Pons. Son électrode est de forme plane, contrairement à celle en pointe qu'utilisent ces derniers. Un réservoir d'eau et un échangeur de chaleur complètent le dispositif.

Ci-contre, les résultats obtenus exprimés, dans le graphique du haut, en termes d'excès de chaleur et dans celui du bas, en émission de neutrons. L'addition d'eau lourde ( $D_2O$ ) à la cellule est signalée par des flèches. Les deux modes de chargement en courant (basse intensité et haute intensité) sont comparés.



confirmation la plus importante des résultats de ces derniers. Takahashi a pu produire 70% de chaleur en plus de ce que l'on pouvait rendre compte par la chimie, sur une période continue de deux mois. Dans des expériences ultérieures, Takahashi a changé certaines conditions de l'expérience, en particulier la forme des courants appliqués, et il a obtenu des excès de puissance inférieurs, de l'ordre de 20 à 30%, ce qui reste encore un résultat très notable.

La configuration expérimentale de Takahashi a été confirmée expérimentalement par le Pr Edmund Storms, du Lawrence Livermore Laboratory, qui a obtenu un excès de puissance de 20% dans une expérience en cellule fermée extrêmement soigneusement réalisée. Storms a également déterminé des caractéristiques cruciales du palladium qui paramétraient le succès ou l'échec d'une expérience : il a pu en effet comparer les résultats obtenus en travaillant avec deux lots de palladium différents, provenant tous deux de la société Tanaka Metals. Le premier lot fonctionnait, alors que le second ne fonctionnait pas du tout.

Cette variabilité des lots de palladium et le fait que le succès de l'expérience soit tellement dépendant est l'un des plus gros problèmes pratiques à résoudre dans l'immédiat. On ne sait pas encore clairement déterminer quelles sont les conditions métallurgiques de la préparation de l'électrode qui mènent à la réussite ou à l'échec de l'expérience.

Les chercheurs en sont encore réduits à avancer à tâton, de façon empirique, sans comprendre tout ce qu'ils font. Mais c'est aussi comme cela qu'ont débuté les recherches nucléaires des années trente ou les premières constructions d'aéronefs. La marche aux frontières de la science est toujours plus hésitante : réclamer des pratiques opératoires et déterminées aux chercheurs de la fusion froide, c'est penser à court terme et se comporter comme le *New York Times* de 1903 qui, au vu des déboires des frères Wright, affirmait que le vol aérien « n'a aucun avenir et restera une curiosité ».

## Entretien avec Jean-Pierre Vigier

*Jean-Pierre Vigier a été l'assistant de Joliot-Curie lors de la fondation du CEA, jusqu'au moment où tous deux ont été expulsés de cet organisme, après avoir refusé de participer à la construction de la bombe atomique française. Il a alors quitté à la fois l'armée et le CEA et est devenu l'assistant de Louis de Broglie jusqu'à la retraite de ce dernier. Il est aujourd'hui directeur de recherches au CNRS, dans le laboratoire de physique théorique. C'était l'un des rares Français à participer à la conférence de Nagoya et c'est à ce titre que nous lui donnons la parole. Il livre ici des idées qui restent générales et qualitatives ; il n'a pas encore fait de calculs pour les étayer. Son enthousiasme le mène à se projeter loin dans l'avenir, impressionnant en ce qui concerne les données russes, mais qui demandera à être confirmé par les faits. Notons cependant que les laboratoires russes qu'ils citent se sont déclarés prêts à accueillir tout visiteur.*

**Fusion : Comment en êtes-vous venu à vous intéresser à la fusion froide ?**

**Jean-Pierre Vigier :** Je suis éditeur de *Physics Letters A*, la deuxième revue mondiale de lettres de physique, après la *Physical Review Letters*, où je suis en charge de la physique générale et de la mécanique quantique. J'ai reçu à ce titre une série d'articles américains du professeur Graneau (MIT) établissant par diverses expériences l'existence de forces électromagnétiques longitudinales dans les conducteurs, non prévues par la théorie classique. Ces forces avaient été découvertes et prédites par Ampère en 1823. A l'époque, j'avais été assez tourmenté par ces articles car il me semblait que cela venait en contradiction avec la théorie de la relativité. Mais j'ai découvert depuis que ce n'est pas le cas.

**Fusion : En quoi cette force « exotique » est-elle intéressante ?**

**Jean-Pierre Vigier :** L'une des conséquences remarquables de cette

force est que, lorsque l'on envoie une décharge électrique intense dans un conducteur liquide, par exemple du mercure, ce conducteur se saucissonne en tranches, par l'établissement d'ondes longitudinales. Le conducteur se transforme en une série de gouttelettes séparées avant de devenir un plasma ; le courant augmente, puis décroît.

J'ai discuté de ces questions avec le professeur Helmut Rauch, directeur de l'Institut de physique nucléaire à Vienne, et en particulier de l'éventualité d'utiliser des conducteurs contenant de la matière fusible. Il m'a alors révélé que des expériences de ce type avaient été tentées au CEA en France et à Kiel en Allemagne. On avait alors observé des neutrons lorsque l'on mettait de l'eau lourde dans le conducteur liquide. L'explication sautait aux yeux : nous avions affaire à un phénomène de fusion capillaire. Se rajoutaient aux forces de pincement des tokamaks des forces de compression longitudinales, un système d'ondes stationnaires. D'énormes concentrations d'électrons se créaient pendant un temps

## fusion

très court et cela suffisait pour abaisser la barrière de Coulomb et permettre ainsi la fusion des ions de deutérium.

**Fusion : C'est là que l'on rejoint les expériences de Pons et Fleischman ?**

**Jean-Pierre Vigier :** Au début, comme tout le monde, j'ai regardé les expériences de Fleischman et Pons d'un œil critique. D'abord, les expériences n'étaient pas reproductibles, ce qui est redoutable pour un physicien. Ensuite, on n'observait pas à l'époque les déchets de fusion, en tout cas pas de façon incontestable. Troisièmement, cela apparaissait comme une impossibilité théorique. Le peu de neutrons observés ne permettait pas d'expliquer la chaleur produite. On a maintenant pour ce dernier problème une explication théorique : les paires d'ions se combinent avec des électrons pour donner de la chaleur. De plus, au cours des derniers mois, des équipes de plus en plus nombreuses dans le monde ont reproduit les expériences et ont atteint le « breakeven » : Takahashi au Japon, Storms à Los Alamos National Laboratory, les deux expériences russes et enfin l'équipe de Frascati en Italie. Je me suis donc à nouveau intéressé à ces phénomènes et l'idée de les rapprocher de la fusion capillaire est venue alors très vite.

On a avec la fusion capillaire une explication possible suivante : le palladium comporte une série de capillaires perpendiculaires à sa surface, si elle est convenablement préparée ; l'eau lourde est absorbée dans ces capillaires et au passage du courant électrique, la fusion capillaire peut se produire. Les Russes viennent de réaliser exactement cette manipulation sur du palladium imprégné de deutérium. Ils obtiennent des neutrons et des rayons gamma. Cette explication a l'avantage de permettre de comprendre pourquoi les expériences étaient difficilement reproductibles, au début : lorsque le palladium n'était pas convenablement préparé, les capillaires — dont la longueur minimale semble être de 5 à 10 microns — n'apparaissaient pas et la fusion non plus. On sait aussi

qu'il faut soigneusement laver le palladium, le traiter : avec de l'acide sulfurique, cela marche alors qu'avec de l'acide chlorhydrique non, sans que l'on sache pourquoi. Les Russes (l'équipe de Kucherov) ont fait également des expériences acoustiques et enregistrent, simultanément au jet de neutrons, des microexplosions.

**Fusion : Cela va à l'encontre des tentatives d'explication théorique avancées jusqu'à maintenant...**

**Jean-Pierre Vigier :** Oui. Cela montre absolument que nous n'avons pas affaire à une propriété chimique du palladium. J'ai une expérience en cours à Belgrade, qui fonctionne très bien : il s'agit d'un morceau de quartz percé au laser et présentant ainsi des capillaires que nous avons remplis d'eau lourde. En opérant une décharge électrique, nous obtenons tous les

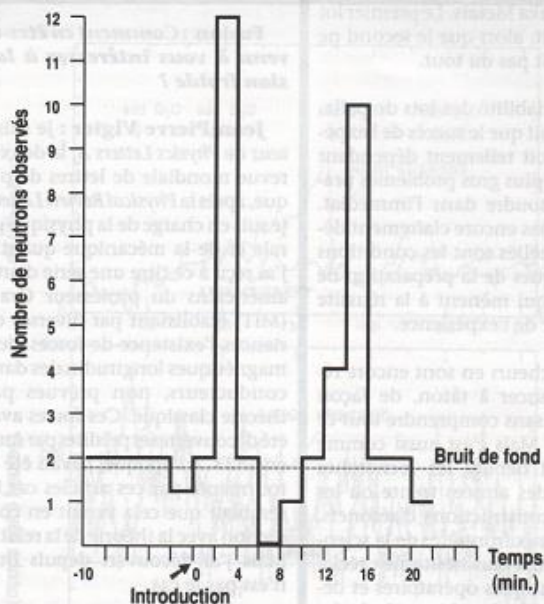
produits de la fusion : neutrons, gammas, tritium, hélium 3 et 4. Il ne s'agit donc pas d'une propriété « mystérieuse » du palladium mais d'une compression locale pendant un temps suffisamment long pour qu'une micro-explosion thermonucléaire se produise.

**Fusion : Donc, il n'y aurait pas violation des lois de la physique nucléaire classique ?**

**Jean-Pierre Vigier :** Absolument pas. Nous avons affaire à des réactions thermonucléaires dans des conditions particulières. C'est ce que l'on appelle des réactions pycnonucléaires, des réactions nucléaires dans un milieu très dense.

**Fusion : Avez-vous une hypothèse pour expliquer l'observation d'un effet de chaleur en excès avec de l'eau légère ?**

### Expérience de Sverdlosk



L'une des observations enregistrées par l'équipe de Sverdlosk (aujourd'hui Ekaterineburg), dirigée par A.N. Baraboshkine. L'on voit une très bonne corrélation entre l'introduction de deutérium et l'émission de neutrons. Il y a aussi élévation de température dans le cas où l'on introduit de l'hydrogène, mais moins forte. Cette expérience fonctionnait avec un bronze d'oxyde de tungstène au lieu de palladium.

**Jean-Pierre Vigier** : Il existe en mécanique quantique une seule solution, aboutissant à une énergie chimique d'un type nouveau, et permettant d'expliquer la chaleur produite par l'hydrogène et le deutérium. Dans une réaction chimique habituelle, deux noyaux partagent un électron : nous avons  $H_2^+$  et  $D_2^+$ . Il y a une autre chimie possible, élaborée par Born, Gryzinski et Barut. Dans cette conception, l'électron, relativement immobile, se trouve au centre et ce sont les deux noyaux qui gravitent autour. La formation de cet ensemble est exothermique, mais à un niveau nettement supérieur à ce que l'on trouve habituellement en chimie. Les calculs nous donnent un puits de potentiel de 50 keV. A ma connaissance, c'est la seule explication qui permet de rendre compte de l'ensemble des expériences.

**Fusion : Quelles sont vos idées d'expérience à réaliser ?**

**Jean-Pierre Vigier** : Il a fallu confirmer l'excès de chaleur et ceci est maintenant réalisé sans conteste, tant par les Russes que par les Japonais ou les Américains. Je penserais aussi à faire des expériences avec des proportions variables d'eau lourde et d'eau légère. Si l'on veut penser à des grands réacteurs, il me semble que de toute façon, il faudra passer à des dispositifs utilisant non pas de l'eau mais de l'ammoniac lourd et du lithium.

**Fusion : Une fois convaincu de la réalité du phénomène, avez-vous cherché vous-même à le reproduire ?**

**Jean-Pierre Vigier** : J'ai soumis des propositions d'expériences au CEA. Certaines ont été entreprises au CESTA, à Bordeaux, où j'ai été entendu. Lorsque l'on s'est aperçu qu'elles étaient positives, le ministre de la Défense nationale, Pierre Joxe, a donné l'ordre de les interrompre, ce printemps dernier. Ces expériences montraient très clairement, sur toutes sortes de conducteurs, l'apparition des forces longitudinales.

**Fusion : Pensez-vous que des applications industrielles puis-**

**sent apparaître dans un proche avenir ?**

**Jean-Pierre Vigier** : Je reviens d'un voyage à Sverdlosk, en Russie, où l'équipe de Baraboschkine construit un réacteur expérimental ; ils sont prêts à le montrer à toute personne voulant le voir. J'estime qu'un petit réacteur démontrant la fiabilité du concept pourrait être construit pour 100.000 dollars en un an. On sait qu'il y a « breakeven », le reste n'est qu'une question d'ingénierie. Si l'on y consacrait une faible partie des sommes gaspillées dans les tokamaks, on arriverait très vite à un résultat probant. Je sais que ce nouveau procédé menace toutes sortes d'intérêts bien établis. Ce serait la solution au problème d'énergie du tiers monde. Le fait que l'on assisterait plutôt à une multiplication de petites centrales qu'à une hypercentralisation comme c'est le cas aujourd'hui permettrait de supprimer les problèmes de transport d'énergie (lignes à très haute tension, etc).

La fusion froide va également être une source d'hélium, jusqu'ici relativement cher et va donc ouvrir de nouvelles possibilités ; je pense par exemple au transport de matières pondéreuses par dirigeables gonflés à l'hélium. Enfin, au niveau scientifique, ce serait aussi une remarquable source de neutrons qui nous permettrait de faire de grands progrès dans la physique du neutron. La possibilité d'avoir une source de neutrons « monocinétique », c'est-à-dire avec des neutrons qui ont tous la même énergie, ouvre également la voie de la réalisation des « hologrammes à neutrons ». Je considère que le « breakeven » établi avec la fusion froide est aussi important pour l'histoire de l'humanité que la découverte de la machine à vapeur : c'est un bond qualitatif fantastique. Vous rendez-vous compte ce que signifie une source d'énergie bon marché ? Evidemment, il y a loin de la coupe aux lèvres, mais l'événement du « breakeven » nous permet désormais de rêver.

**Fusion : Votre collaboration avec l'Institut de physique de Belgrade continue-t-elle ?**

**Jean-Pierre Vigier** : A titre privé. Nous cherchons maintenant à mettre en place un bon bilan calorimétrique pour établir à notre tour le « breakeven », sans palladium. Nous avons aussi fait des prédictions sur l'efficacité de la réaction en fonction du diamètre du capillaire et nous allons essayer de tester ces prédictions.

**Fusion : Comment expliquez-vous la fermeture du monde des physiciens à cette découverte révolutionnaire ?**

**Jean-Pierre Vigier** : Tout d'abord, je crois que le monde des physiciens est aujourd'hui lié à toute une série de pouvoirs financier, militaire, administratif. Il faut savoir que les expériences qui ont réussi ont été faites « en perruque » : l'Académie des sciences de Russie vient seulement de changer d'avis sur la question. Ensuite, cette découverte remet en cause énormément de choses. A la fois en physique (c'est la disparition du programme tokamak qui mobilise beaucoup de monde et d'argent) et en économie (lobbies pétroliers). On touche à l'équilibre énergétique mondial et donc à la grande stratégie ! La « marmite à fusion froide » de Sverdlosk, c'est la ruine du monopole des grandes puissances sur l'énergie ! N'importe quel pays pouvant avoir accès à l'eau lourde peut se doter de cette technologie.

**Fusion : N'y a-t-il pas également un comportement « idéologique » de refus d'un nouveau paradigme ? Le comportement de l'American Physical Society, votant à main levée pour condamner les expériences, est à cet égard stupéfiant !**

**Jean-Pierre Vigier** : Oui, il existe aussi une réticence chez les physiciens à accepter l'idée d'une révision de ce que l'on sait sur les phénomènes nucléaires. On peut citer également dans ce sens le refus de la *Physical Review Letters* de publier un article sur la fusion froide du prix Nobel Julian Schwinger, l'un des pères de l'électrodynamique quantique. Schwinger a d'ailleurs démissionné de cette American Physical Society que vous mentionnez. ■