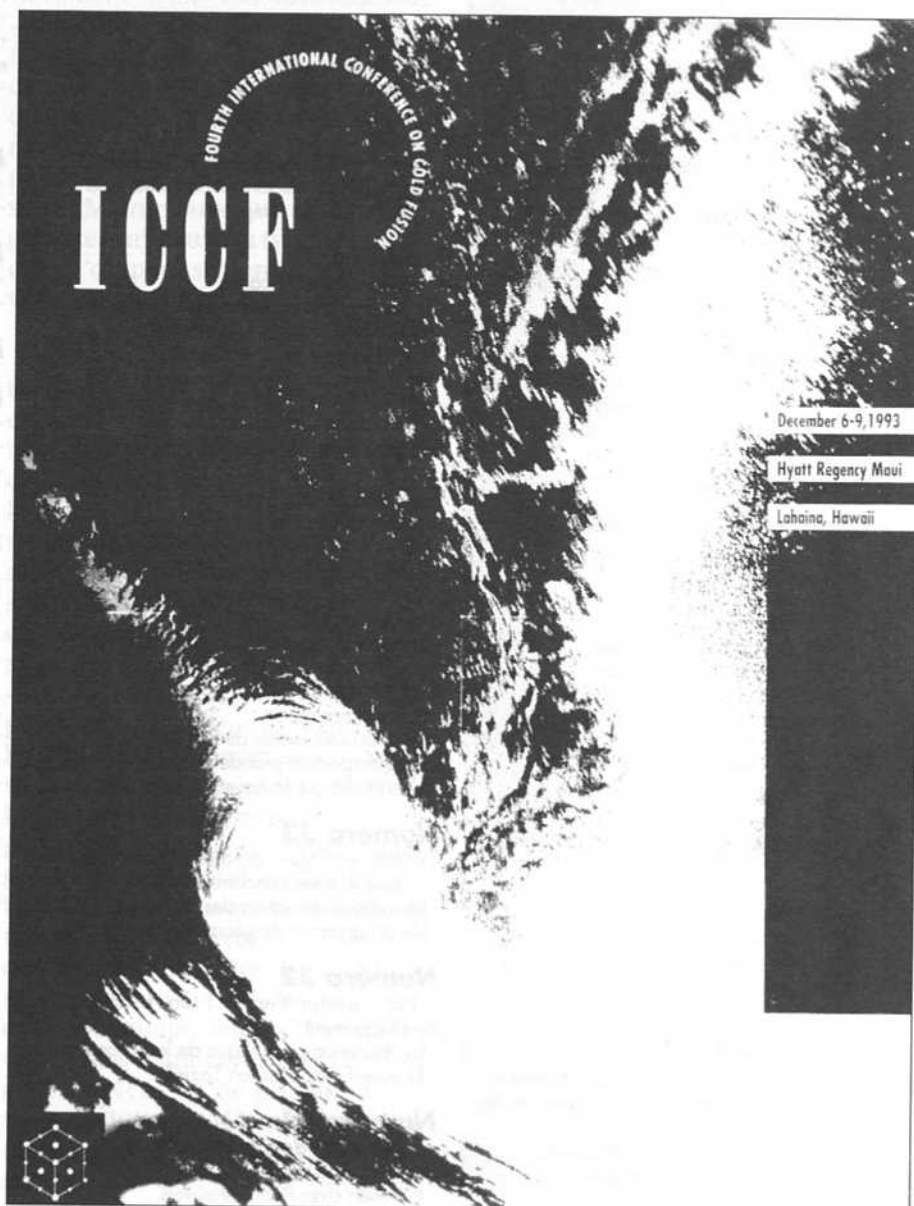


Fusion froide : 5 ans plus tard

Carol White

La quatrième conférence internationale sur la fusion froide, qui s'est tenue à Hawaï, dans la ville de Maui, du 6 au 9 décembre 1993, a montré que de nets progrès avaient été réalisés en un an.

Venus du monde entier, des chercheurs de nombreuses disciplines se sont réunis pour étudier des contributions d'une amplitude et d'une profondeur impressionnantes.



Il n'y a pas eu d'annonces fracassantes lors de cette conférence, mais le travail de recherche sur la chaleur en excès, les produits nucléaires, les études de matériaux et celles sur la théorie, ont été si considérables que trois sessions parallèles furent nécessaires pour caser toutes les contributions : 230 articles et posters furent présentés.

Parmi les 246 participants, on dénombrait 119 Américains, 77 Japonais, 18 Italiens, 6 Russes et un Ukrainien. Outre les chercheurs, on trouvait des représentants de l'industrie sponsorisant les recherches¹.

1989 : un accueil hostile

La fusion froide est née le 23 mars 1989 dans des conditions difficiles. Fleischmann et Pons, les deux électrochimistes à l'origine de cette découverte, furent quasiment expulsés des Etats-Unis et ceux qui continuèrent dans cette voie furent pratiquement menacés de perdre leurs postes universitaires. Après quelques mois, le Département de l'Energie américain avait publié un rapport défavorable et de grands laboratoires, comme le California Institute of Technology ou le Harwell Laboratory en Angleterre, avaient déclaré que la fusion froide n'existait pas.

L'establishment de la physique ajoutait sa voix autoritaire à la fureur générale, en déclarant que la fusion froide ne pouvait pas exister puisqu'elle violait les lois de la physique. Selon cet argument, aucune nouvelle découverte ne peut désormais être tolérée puisque, par définition, cela viole les « lois » de la physique. En France, la même atmosphère de chasse aux sorcières régnait. Les journalistes étaient chargés de régler l'affaire en traitant de « science pathologique » toute recherche sur le sujet. Cinq ans après, la stupidité d'une telle approche apparaît au fur et à mesure que s'accumulent les preuves et les reproductions, avec de nombreuses variantes, de l'expérience de Fleischmann et Pons. Mieux encore, des directions de recherche complè-

tement nouvelles sont nées de cette découverte.

Des questions en suspens

Ce que nous appelons fusion froide (d'autres préfèrent le terme de fusion de la matière condensée) pourrait bien s'avérer être un amas de phénomènes plutôt qu'une simple fusion à température ambiante. Peut-être qu'aucune fusion nucléaire n'a lieu à proprement parler. Il est encore impossible d'identifier les mécanismes mis en jeu. Ce qui est maintenant définitivement établi, c'est la nécessité de maintenir un rapport de charge du deutérium dans le palladium aussi élevé que possible pour promouvoir la réaction dans une cellule électrolytique de type Fleischmann-Pons. Au mieux, ce rapport est de un (un atome de deutérium pour un atome de palladium). Il est également clair qu'il y a une corrélation directe entre l'établissement d'un surpotentiel (dans ce cas, le potentiel négatif de la cathode), le rapport de charge élevé et la production d'un excès de chaleur.

Michael McKubre, du Stanford Research Institute, a été le premier à insister sur le rôle crucial joué par ce rapport. Il a été établi rétrospectivement que les expériences qui ont échoué au cours de la première année n'avaient jamais réussi à maintenir suffisamment de deutérium dans le réseau de palladium. Ce dernier, dans sa forme cristalline, forme un cube avec les atomes se situant aux sommets. Les atomes d'hydrogène ou de deutérium viennent se placer au centre des arêtes de ces cubes. McKubre a démontré qu'avec un rapport de charge de 0,95, il obtient à coup sûr de la chaleur en excès. Cependant, on peut obtenir des excès de chaleur à partir d'un rapport de charge de 0,85.

La façon dont on peut atteindre un rapport de charge élevé à température ambiante et à pression atmosphérique est encore du domaine de l'art. La technique consistant à opérer par cycles de charge et de décharge semble efficace, sans que person-

ne ne puisse vraiment bien l'expliquer. Le succès dépend beaucoup du protocole expérimental, de la façon dont on joue sur la densité de courant, ou des effets des impuretés adhérentes à la surface de la cathode. En dehors de ces facteurs, il y a une énorme variation dans le palladium, entre différents fournisseurs, mais aussi entre différents lots du même fournisseur. La façon dont ceci affecte la capacité du palladium à atteindre et garder le rapport de charge idéal est encore inconnue. Certaines cathodes sont simplement travaillées à froid tandis que d'autres subissent un recuit. Certains expérimentateurs leur font subir des prétraitements qui restent encore du domaine du secret industriel. La liberté de circulation de l'information est encore limitée sur ce point.

Retour à Nagoya

Il y a cinq ans, la question était : est-ce que la fusion froide existe ? La seconde conférence internationale de Côme (Italie)², en 1991, avait répondu de façon conclusive à cette question. L'an dernier, à la troisième conférence de Nagoya au Japon³, trois expériences principales dominaient la discussion. Fleischmann et Pons annonçaient avoir produit des bouffées de chaleur en excès (4 kW par centimètre cube) dans quatre cellules. Akiro Takahashi avait également produit de fortes chaleurs (jusqu'à 100 W/cm³) dans des cellules de sa propre invention. La caractéristique majeure de son expérience était l'utilisation d'un cycle de chargement passant d'une basse densité de courant à une grande densité. Il découvrit des émissions de neutron et une production de tritium, mais pas en quantité suffisante pour expliquer le dégagement de chaleur.

Cette expérience a été reproduite au laboratoire Los Alamos par Edmund Storms et au Texas A&M par John Bockris. Troisièmement, Eichi Yamaguchi, des laboratoires NTT, rapportait qu'il pouvait obtenir une décharge explosive de chaleur de façon reproductible dans du palladium

chargé à la fois en deutérium et en hydrogène. Des particules alpha étaient détectées pendant le chargement en deutérium. Cette expérience est en cours de reproduction par des chercheurs de Mitsubishi.

L'autre grande nouvelle de Nagoya était l'annonce par certains chercheurs de l'existence de phénomènes de fusion froide dans des électrodes de nickel chargées à l'hydrogène. Robert Bush (California State Polytech) et Reiko Notoyo (Université de Hokkaido) sont les leaders dans ce domaine. Enfin, un groupe emmené

par Alexei Barabouchkine, de l'Académie des sciences de Russie, annonçait qu'il obtenait des émissions de particules et des dégagements de chaleur dans un cristal de bronze de tungstène.

Le chercheur russe Jan Kucherov présentait également à Nagoya une expérience très intéressante au cours de laquelle un gaz de deutérium était transformé en plasma par une étincelle à basse énergie, plasma attiré ensuite par une cathode en palladium. Kucherov obtenait des dégagements de chaleur, mais aussi des preu-

ves de la production de rhodium radioactif et d'isotopes du palladium. Bush rapportait également des transmutations dans ses expériences à eau légère. L'expérience de Kucherov est en cours de reproduction au MIT, avec des résultats encourageants, mais pas encore concluants.

L'électrolyse à l'état solide

Depuis la conférence de Nagoya, plusieurs autres chercheurs travaillent

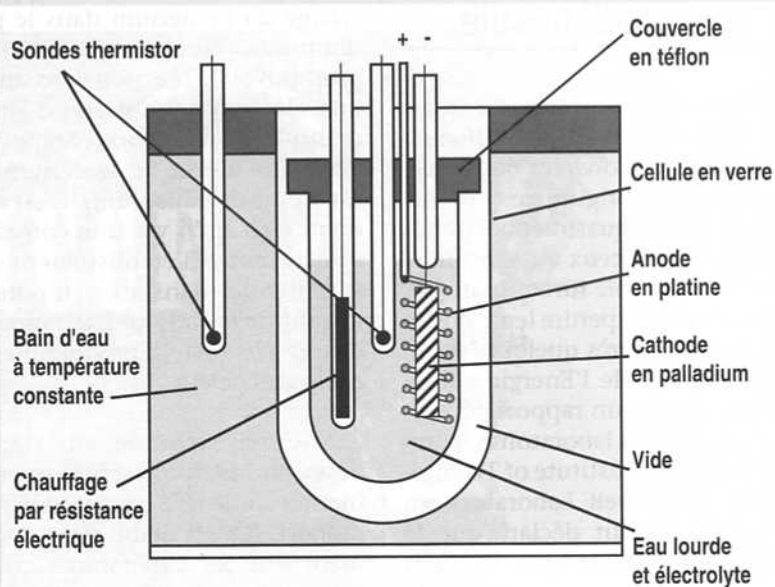
Comment fonctionne une électrolyse

Dans les expériences de fusion froide, l'appareillage expérimental de base est, depuis Fleischmann et Pons, la cellule à électrolyse. La différence avec l'électrolyse de l'eau que l'on étudie dans les lycées est que l'on remplace l'eau normale (H_2O) par un électrolyte constitué pour partie d'eau lourde (D_2O), à laquelle on ajoute de l'hydroxyde de lithium ou du deutéroxyde de lithium. En faisant passer du courant depuis la cathode (électrode négative) en palladium vers l'anode (électrode positive), on attire les ions positifs de deutérium ou d'hydrogène se trouvant dans l'eau vers la cathode. Ceux-ci migrent vers elle et y sont absorbés ; certains s'échappent toutefois sous forme de gaz. Le palladium agissant comme catalyseur, les protons ou les deutérons (noyaux d'hydrogène et de deutérium) auront tendance à reformer des molécules d'hydrogène (H_2) ou de deutérium (D_2). On introduit donc des « poisons » sous forme d'additif à l'électrolyte, pour empêcher ce processus ; en effet, le deutérium ne peut être absorbé dans le palladium que sous forme d'atome ou d'ions, pas sous forme moléculaire. Toute formation de molécule diminuerait donc le taux de chargement, et donc le succès de la réaction (voir texte).

La cellule, assez petite pour être tenue dans une main, est un récipient allongé en verre, dont les deux parois sont séparées par du vide. Elle est plongée dans un bain d'eau et l'on peut utiliser différents dispositifs pour mesurer la température. Plus le courant appliqué aux électrodes est élevé, plus le potentiel négatif de la cathode est élevé et plus les protons ou les deutérons auront tendance à être attirés vers elle. Une fois dans le palladium, ils attirent les électrons de la cathode ou, plus généralement, partagent avec elle ces électrons. La température est un facteur crucial pour l'expérience puisqu'elle joue sur le facteur de charge du palladium.

Dans la fusion chaude, les deutérons (formés d'un proton et d'un neutron) forment soit un triton (noyau plus lourd formé d'un proton et de deux neutrons) soit un nouvel élément, l'hélium-3, qui a deux protons et un seul neutron. Ces deux réactions ont la même probabilité d'occurrence. Dans le cas du tritium, un proton additionnel est également produit ; pour l'hélium-3, il s'agit d'un neutron. En général, on utilise la détection de neutrons pour s'assurer qu'un processus de fusion a eu lieu.

Il est possible également que de l'hélium-4, avec deux protons et deux neutrons, soit produit dans une réaction de fusion, mais cela n'a jamais encore été observé. C'est pourquoi cela serait extrêmement important si l'on constatait la détection d'hélium 4 au cours d'une expérience de fusion froide.





Pour améliorer le rapport de charge, Francesco Celani utilise les radiofréquences

avec des pérovskites⁴ — des céramiques similaires à celles qui sont utilisées dans la supraconductivité à haute température. Ces cellules remplacent l'électrolyte liquide de Fleischmann et Pons par un matériau solide. Après leurs travaux de l'an passé sur les bronzes de tungstène, Barabouchkine et ses collaborateurs sont passés à une céramique composée de césium, strontium et baryum. Un disque de 20 mm de diamètre est connecté sur chaque face à des électrodes de platine ou de palladium. Lorsque le disque est saturé de palladium, on observe une décharge de neutrons durant deux secondes.

Jean-Paul Bibérian, un physicien marseillais travaillant sur une idée de M. Forat, ancien chercheur du CEA, ainsi que Tadahiko Mizuno, de l'Université d'Hokkaido, ont également suivi ce chemin. Mizuno a obtenu des excursions de chaleur très importantes qui ont même fondu son appareillage. A Maui, il a rapporté avoir obtenu des taux de chaleur en excès atteignant 100% avec des échantillons constitués de strontium, carbone, oxygène, yttrium et niobium (SrCO_3 , Y_2O_3 et NbO_5), réduits en poudre et réchauffés en deux fois. Il couvre ses échantillons d'un film de platine poreux et les introduit ensuite dans un environnement de deutérium gazeux.

Makoto Okamoto, qui a remplacé Hideo Ikegami comme coordinateur

du programme de fusion froide des universités japonaises, a fait beaucoup d'expériences en utilisant la méthode de Takahashi. Il a trouvé des flux de neutrons significatifs ainsi que, plus récemment, de la chaleur en excès. Okamoto observe que le dépôt de lithium à haute concentration près de la surface est nécessaire pour le succès de ses expériences ; dans le cas où le lithium diffuse progressivement jusqu'au centre, ses cellules sont inactives.

Endothermique ou exothermique ?

La question la plus débattue est : quel est le changement intervenant au sein du palladium qui permet la survenue du phénomène de fusion froide ? En fait, même le débat initial, opposant les électrochimistes John Bockris et Martin Fleischmann, pour savoir s'il s'agissait ou non d'un phénomène de surface, n'est pas terminé. On sait que le réseau de palladium se transforme au fur et à mesure que l'hydrogène ou le deutérium viennent se charger à l'intérieur. Dans des conditions normales, ce processus est exothermique (il y a un dégagement de chaleur pendant la charge). Une augmentation de température tend à faire sortir le gaz du réseau, de même qu'une diminution de la pression.

Ceci pose un problème inhérent au développement de technologies basées sur la fusion froide. Lorsque la cellule bout, on s'attendrait donc à ce qu'elle se décharge et que la réaction cesse. Fleischmann et Pons estiment que l'obtention de chaleur en excès sur des cellules ayant atteint la température d'ébullition dépend de leur capacité à induire une transition dans le réseau cristallin du palladium, vers une troisième phase, dite gamma. On ne sait pas encore très bien comment accéder à cette phase : cela impliquerait un couplage énergétique direct au réseau, sans élévation de température. Le physicien théoricien italien, Giuliano Preparata, qui a longtemps soutenu l'existence d'une phase gamma, a cosigné un article avec Fleischmann et Pons dans lequel ils



McKubre a confirmé de manière inattendue certaines possibilités avancées par Fleischmann.

écrivent que l'ébullition de leurs cellules et le fait qu'elles restent chaudes pendant environ 20 heures prouve que cette phase existe et qu'elle est de plus endothermique.

Fleischmann et Pons chauffent délibérément leurs cellules et estiment favoriser ainsi la réaction. D'autres utilisent les radiofréquences, comme Francesco Celani à Frascati pour améliorer le rapport de charge, ou comme John Bockris et Dennis Letts à Texas A&M, pour déclencher la réaction. Les expériences utilisant les étincelles pour améliorer la charge (Jan Kucherov, Jacques Dufour au CNAM, Thomas Claytor ou Dale Tuggle) pourraient bien impliquer un mécanisme similaire. Beaucoup d'expériences vont être menées cette année pour tenter de coupler directement de l'énergie au réseau afin de créer de nouvelles configurations électroniques pouvant favoriser la réaction.

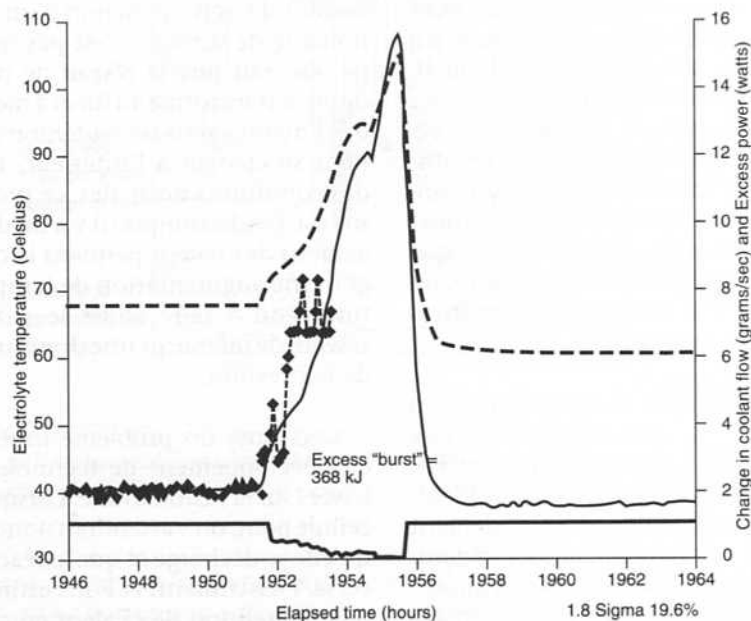
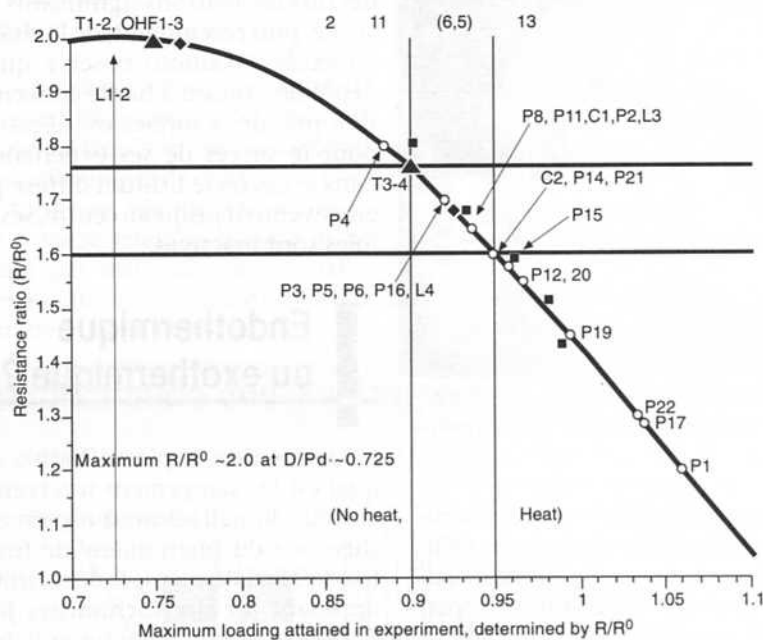
McKubre, du Stanford Research Institute, a rapporté une expérience venant confirmer de façon inattendue la possibilité avancée par Fleischmann de produire de la chaleur en excès à partir d'une cellule en ébullition. Dans son expérience, McKubre mesure la chaleur en faisant circuler de l'eau dans sa cellule close et en observant l'élévation de température de cette eau. La cellule est donc maintenue à une température constante relativement basse. Du fait d'un ma-

tériel accidentellement oublié dans la cellule, le flux d'eau a un jour été temporairement bloqué. Le refroidissement cessa et la température monta rapidement ; la cellule atteignit le point d'ébullition et y resta pendant plusieurs heures. La cellule étant fermée, il ne pouvait en effet y avoir évaporation.

Bien que McKubre n'ait pu utiliser sa méthode habituelle pour mesurer la température et pour calibrer la quantité de chaleur produite dans la cellule, il tenta de l'estimer par le calcul. Il considère désormais avoir vérifié un certain nombre des affirmations de Fleischmann. Sa cathode n'a pas déchargé pendant les heures durant lesquelles elle était portée à la température d'ébullition. Plus intéressant encore, il estime qu'une grosse poussée de chaleur en excès a été déclenchée par la montée de température. C'est le principal argument de Fleischmann et Pons : après une transition de phase dans le deutériure de palladium, tout accroissement de température favorise la réaction.

La cellule de McKubre produisait de la chaleur en excès, mais à un taux faible. Après la montée en température due à la panne du système de refroidissement, cette chaleur en excès a fortement augmenté, jusqu'à un maximum de 16 W (soit 180 W/cm³). La puissance d'entrée étant de 60 W, McKubre estime avoir 27% d'énergie. C'est une estimation grossière puisqu'il utilise un calorimètre à flux ; en tout, la cellule aurait produit 168 kJ d'excès de chaleur avant la réparation du système de refroidissement. Une fois que celui-ci a recommencé à fonctionner, la production de chaleur en excès retomba à sa valeur antérieure et le palladium ne sembla pas se comporter différemment d'avant l'excursion de chaleur. Avec une seule exception : de très petites variations de températures ont été observées dans la cathode pendant des jours après la fin de l'expérience et la coupure du courant. Ce n'est en rien comparable à la « heat-after-death » (« chaleur après la mort ») rapportée par Fleischmann et Pons mais c'est néanmoins une observation intrigante et peut-être significative.

Les résultats de Michael McKubre



Michael McKubre dirige le projet fusion froide au Stanford Research Institute de Californie. C'est dans son laboratoire que s'était produit en 1992 une explosion qui tua l'un de ses collaborateurs. En haut : Avec l'augmentation du rapport de charge (en abscisse), le rapport de résistance R/R_0 (en ordonnée) décroît ; R_0 est la résistance de la cathode mesurée avant le début de l'expérience. On mesure un excès de chaleur pour des taux de charge supérieurs à 0,95.

En bas : Les cellules que McKubre appelle « boil-on » produisent de forts excès de chaleur : dans cette cellule, 368 kJ en quatre heures. Ce graphique figure l'évolution avec le temps de la température (pointillés). La ligne du bas montre la perte de liquide réfrigérant, à laquelle correspond le « burst » de chaleur en excès. Les valeurs mesurées de celui-ci figurent avec des diamants. La ligne pleine est une estimation de la puissance générée, à partir de la température.

Le discours de Fleischmann

Bien que le titre de son intervention fut « Calorimétrie du système palladium-deutérium », Fleischmann ne s'est pas limité à des détails techniques sur la façon dont il a pu améliorer la précision de ses mesures. Il a également parlé des origines de ses expériences. Fasciné par une série d'expériences menées en 1928 sur la diffusion de l'hydrogène dans le palladium, par le chimiste allemand Alfred Coehn, il s'était posé la question : « Pourquoi pas avec du deutérium ? Avec un taux de charge suffisamment élevé, une réaction de fusion à l'état solide pourrait-elle avoir lieu ? »



Fleischmann, lors de la 4^{ème} conférence internationale sur la fusion froide, à Maui.

C'est ce genre d'idées que Pons et lui rumaient en 1983 en discutant d'expériences originales à réaliser. Ils pensaient déjà à l'époque que la clef était le taux de chargement, qui devait être aussi proche de 1 que possible. Ce qu'ils n'avaient pas anticipé, c'est qu'une réaction de « fusion froide » puisse être aussi différente de la fusion chaude. Ils décidèrent de tester l'expérience avec une simple cellule d'électrolyse, beaucoup plus simple que l'appareillage de Coehn. Ce n'est que l'année dernière qu'ils ont commencé à répliquer le dispositif de Coehn, qui requiert un pré-chargement de la cellule.

Dans l'article cité ci-dessus et cosigné par Preparata, les deux chercheurs décrivent une propagation de type soliton, à travers le palladium, au fur et à mesure que l'état gamma arrive au cœur de la cathode. Cette hypothèse a été très contestée. Scott Chub par exemple, du US Naval Research Laboratory, a soutenu que leurs données sur le taux de diffusion ne permettent pas d'expliquer la transition de phase gamma. Il estime que la théorie conventionnelle de l'état solide permet bien d'expliquer cette diffusion. De plus, il avance l'idée que l'effet Coehn est plus compliqué qu'une simple migration de protons.

« Heat-after-death »

Stanley Pons a présenté de nouvelles données comparant le refroidissement de cathodes « heat-after-death » avec celui d'autres matériaux. « Heat-after-death » est le terme qu'il a trouvé avec Fleischmann pour décrire une situation dans laquelle, une cellule ayant complètement évaporé son électrolyte (et étant donc privée de courant), sa cathode en palladium reste anormalement chaude pendant plus de vingt heures.

Il a comparé une courbe normale de refroidissement (exponentielle) à la courbe réelle observée sur ces cathodes, dans lesquelles il pense que des réactions ont encore lieu. Dans un cas, décrit dans les actes de la conférence de Nagoya, une cathode a maintenu une température supérieure à 100°C pendant plus de trois heures. Pendant les premières 10.800 secondes après l'évaporation totale de l'électrolyte, et donc l'arrêt de l'électrolyse, la cathode ne s'est pas refroidie. On estime que ce comportement anormal correspond à une production de puissance de 9W dans la cathode. Pendant les heures suivantes, le refroidissement a suivi une courbe normale. Environ 20.000 secondes après l'évaporation, la cellule a atteint la température de 30°C. Après ce stade, la cellule a de nouveau un comportement anormal, avec même des points de réchauffement. A 40.000 secondes, la température est encore

de 21°C. Fleischmann et Pons ont analysé plusieurs autres cellules présentant un comportement anormal à la coupure du courant.

Du tritium à Los Alamos

La production de tritium est importante pour deux raisons. D'une part, le fait que l'on détecte un million de fois plus de tritium que de neutrons dans les cellules de fusion froide est en contradiction avec les modèles établis de « fusion chaude » ; mais d'autre part, l'occurrence de la production de tritium (s'il ne s'agit pas de contamination) est une preuve du fait qu'une réaction nucléaire a bien eu lieu. Enfin, la capacité de produire du tritium à un coût relativement bas a une signification importante pour les machines à fusion chaude. La conception pratique de réacteurs à fusion dans lesquels on produit en même temps du tritium rencontre en effet quelques problèmes. Ce serait une jolie ironie de l'histoire...

Thomas Claytor et Dale Tuggle se sont concentrés à Los Alamos sur la production de tritium depuis des années. Si leurs résultats n'atteignent pas ceux obtenus par Mahadevi Srinivasan en Inde ou par John Bockris à Texas A&M en termes quantitatifs, ils ont déjà établi un dossier très impressionnant. A Maui, ils ont présenté une expérience à plasma qu'ils viennent de commencer et qui semble très prometteuse. En utilisant une plaque de palladium comme anode et un fil de palladium comme cathode, avec du deutérium gazeux comme combustible, ils ont produit de façon répétée 0,1 nanocuries de tritium sur 600 à 700 heures⁵. L'expérience s'arrête quand la plaque commence à crépiter. Le tritium se retrouve dans et derrière l'anode.

S'ils arrivaient à accroître leur résultat d'un simple ordre de grandeur, jusqu'à 5 ou 50 nanocuries par heure, ils seraient compétitifs pour produire du tritium utilisable dans les réacteurs. Malheureusement, ils n'ont obtenu ce chiffre de 5 nanocuries par

heure que dans un seul cas, pendant seulement une heure et demie, avec un dispositif expérimental différent, utilisant de la poudre de palladium compressée entre deux couches de poudre de silicium.

On applique une rampe de courant, qui démarre à quelques centai-

nes de milliampères pour aller jusqu'à 6 ampères, le voltage variant de 1500 à 2000 V. Les chercheurs ont obtenu un chauffage rapide de leur échantillon en appliquant des champs électriques pulsés de haute intensité. Ceci leur a permis d'effectuer des charges et décharges du palladium loin de l'équilibre.

Ces expériences n'ont qu'une reproductibilité assez faible. Dans 60% des cas, il y a une probabilité de 100% d'obtenir plus de 5 nanocuries de tritium au cours d'un cycle de 100 heures. En d'autres termes, ils produisent du tritium à un taux moyen de 0,05 nanocuries par heure. Il y a une probabilité de 20% que le taux de

Les perspectives pour l'avenir selon Hideo Ikegami



Hideo Ikegami a dirigé jusqu'au début de cette année le programme universitaire japonais de fusion froide. Il était l'organisateur de la 3ème conférence internationale sur le sujet, à Nagoya. Le 25 février 1994, dans son nouveau laboratoire d'Hokkaido, il rapportait les progrès réalisés à Maui (Hawaï) au cours d'une conférence organisée par le MITI. Nous présentons ici une version réduite de son discours.

« Presque cinq ans ont passé depuis la première annonce de la fusion froide en mars 1989. Depuis cette période, il y a eu régulièrement de nombreux rapports sur d'autres observations de chaleur en excès. Parmi ces rapports, c'est l'effort systématique mené par le groupe du Stanford Research Institute (SRI) qui a produit les données les plus sûres, données qui viennent soutenir les affirmations de Fleischmann et Pons. L'une des découvertes les plus importantes faites par le SRI est certainement la détermination d'une valeur seuil moyenne pour la génération de chaleur en excès.

« La question de la fusion, qui a donné son nom aux phénomènes associés à la « fusion froide », reste très controversée. Aussi longtemps que la reproductibilité reste si faible, il sera impossible de résoudre ces questions et la controverse ne s'éteindra pas.

« Depuis les tout débuts de la fusion froide, les chercheurs ont généralement reconnu que la chaleur en excès avancée ne peut pas simplement être le résultat de la réaction de fusion bien connue deutérium-deutérium. Les émissions de neutrons sont extrêmement faibles et sporadiques, ce qui rend la corrélation entre chaleur en excès et réactions de fusion presque impossible.

« L'autre aspect particulier des réactions nucléaires associées à la fusion froide tient au fait que la génération de tritium est dix millions de fois plus grande que celle des neutrons et n'est pas non plus reliée de façon claire à la génération de chaleur. De plus, certains avancent que celle-ci peut être corrélée à la production d'hélium 4, qui serait une cendre nucléaire. Ces données ont mis en avant des modèles théoriques exotiques pour expliquer les mécanismes de la fusion froide.

« Quoiqu'il en soit, il est certain que la quantité de chaleur en excès, qui peut atteindre plusieurs mégajoules par centimètre cube de palladium, ne peut en aucune façon être expliquée par des réactions chimiques telles que l'oxydation ou la recombinaison, par des transitions de phase dans le palladium ou par tout autre processus chimique. Certaines réactions nucléaires sont donc considérées comme nécessaires pour expliquer les phénomènes associés à la fusion froide. Ceci a mené certains chercheurs à étudier délibérément la possibilité de génération d'hélium liée à la production d'excès de chaleur, clef selon eux pour comprendre le mécanisme de la fusion froide.

« Nous avons donc affaire à une science qui en est encore au stade phénoménologique, et nous devons promouvoir à l'avenir notre recherche sur la fusion froide dans les domaines de la science des matériaux et de la physique de l'état solide. C'est après tout dans la science des matériaux que se trouve la relation entre la production d'excès de chaleur et le seuil du rapport de charge du deutérium dans le tritium. Ensuite, il y a des indications prometteuses de l'existence de fusion froide dans les pérovskites. De même, il semble que des phénomènes importants, liés à la fusion froide, se fassent jour dans des expériences d'électrolyse de l'eau légère. Si nous repensons à ces derniers phénomènes, et que nous les lions à ceux qui apparaissent dans la supraconductivité à haute température, nous sommes amenés à penser qu'il existe des indices nouveaux et inattendus pour comprendre le mécanisme de la fusion froide, indices qui nous emmènent au-delà de la découverte originale de Fleischmann et Pons vers des domaines scientifiques complètement nouveaux. »

génération de tritium soit compris entre 30 et 40 nanocuries par cycle de 100 heures. En 1992, lors de la conférence de Nagoya, Claytor et Tuggle avaient rapporté une production de tritium comprise entre 0,02 et 0,2 nanocuries par heure pour des densités de courant inférieures d'un ordre de grandeur. Ils mesurent le tritium avec un compteur basé sur une électrode chargée tout près du point de décharge. Lorsqu'un atome de tritium se désintègre, il émet un électron qui vient décharger l'électrode.

Pas de neutrons

Du fait qu'ils n'avaient pas l'équipement de détection de neutrons dans leur laboratoire, Claytor et Tuggle ont emmené leurs huit cellules les plus productives dans celui de Steven Jones, à Brigham Young University dans l'Utah. Avec un équipement très sensible, on n'a détecté qu'un nombre insignifiant de neutrons : un toutes les 30 heures. Jones, qui ne croit pas qu'il y ait des différences entre les réactions de fusion froide et de fusion chaude, estime que ce résultat jette un doute sur leurs mesures de tritium. Celles-ci, revues par nombre d'autres chercheurs, apparaissent pourtant avérées.

Claytor et Tuggle ont maintenant l'intention d'utiliser un détecteur à particules chargées pour déterminer l'énergie des tritons qui sont émis. Ils s'attendent à ce que celle-ci soit anormalement basse (un MeV ou moins). Cela confirmerait alors qu'un mécanisme nucléaire spécifique de la fusion froide est en jeu. Cela pourrait également aider à expliquer pourquoi l'on n'observe pas de réactions secondaires de tritons. Les deux chercheurs continuent par ailleurs à rechercher la possibilité d'une erreur systématique dans leur méthode de mesure. Ils vérifient par exemple s'il n'y aurait pas des quantités importantes d'hélium-3 dans leurs échantillons, car cela indiquerait une contamination par le tritium (la demi-vie du tritium, qui se transforme en hélium-3, est de 12 ans). A chaque fois, la quantité d'hélium-3 est de

plusieurs ordres de grandeur inférieure à la quantité de tritium qui est détectée, ce qui signifie que le palladium n'était pas contaminé au départ par le tritium.

Jones se dédit

Steve Jones a toujours affirmé être l'un des co-découvreurs de la fusion froide. Depuis 1982, il travaillait sur la façon dont les très hautes pressions pouvaient favoriser la fusion d'isotopes d'hydrogène. Paul Palmer, géophysicien à Brigham Young, attira son attention sur la quantité anormalement importante d'hélium-3 que l'on rencontre à proximité des volcans. Ils élaborèrent alors l'hypothèse que cela pouvait s'expliquer par la présence dans l'eau ordinaire de deutérium qui subissait une réaction de fusion froide dans les profondeurs géologiques internes de la Terre. Cherchant à reproduire ces hautes pressions, ils arrivèrent rapidement au système palladium-deutérium et commencèrent dès 1986 à détecter quelques neutrons. Avec un détecteur amélioré, ils étaient convaincus, en 1988, d'avoir obtenu la preuve définitive de la production de neutrons. C'est à ce moment que Jones prit connaissance des travaux de Fleischmann et Pons, ceux-ci ayant déposé une demande de subvention au Département de l'Energie qui lui avait été soumise pour examen. La suite, rocambolesque, des rapports entre les deux équipes de chercheurs appartient à l'histoire de la fusion froide (fort bien décrite dans le livre de Collins et Pinch, *Tout ce que vous devriez savoir sur la science*, voir compte-rendu page 63).

A Maui, Jones s'est présenté comme un sceptique sur la fusion froide, et en particulier sur les excès de chaleur. Il a même remis en doute ses propres observations de neutrons en excès. Les cinq neutrons par heure rapportés dans le passé sont d'après lui faux : il a prouvé qu'ils étaient causés par des artefacts électroniques probablement liés à la présence d'humidité dans l'appareillage de détection. Jones a donc été conduit à dé-

clarer qu'il ne voyait « pas de preuves évidentes d'aucun effet nucléaire dans ce qu'on appelle la fusion froide ».

Son collaborateur Howard Menlove n'est pas d'accord. C'est lui qui avait emmené les expériences de Jones à Kamiokande, au Japon. C'est dans ce laboratoire souterrain que l'on trouve les leaders mondiaux en matière de détection des neutrinos, avec le bruit de fond de neutrons le plus bas du monde. Les résultats font apparaître des taux d'émission de neutrons très bas, 10^{-4} par heure, mais avec des anomalies importantes ne pouvant être expliquées ni par une contamination par l'uranium ni par le bruit de fond du rayonnement cosmique.

« L'inverse d'Eurêka ! »

Jones a décrit ses expériences comme « l'inverse d'Eurêka ! », ce qui a été repris par tous les *non-croyants* qui fréquentent les conférences sur la fusion froide. Le prototype en est Douglas Morrison, un physicien des particules dont le comportement clownesque le rend plus semblable à un agitateur politique qu'à un scientifique sérieux. A l'inverse, Jones, même s'il travaille maintenant contre son idée initiale, fait une contribution importante à l'effort de recherche. Il a en effet considérablement amélioré sa capacité de détection neutronique, utilisant maintenant des « séquençages » temporels. Les chercheurs italiens Francesco Scaramuzzi, Tullio Bressani et Danielle Gozzi rejoignent Jones sur le point de l'émission de neutrons ; selon eux, celle-ci, si elle a lieu, n'intervient pas en « bursts » (émissions de courte durée).

Jones reconnaît qu'il n'a pas encore assez de données pour apporter une preuve définitive de la non-existence totale de l'émission de neutrons. Mais il déclare maintenant que son approche devient : « Où nous sommes-nous trompés ? » Lorsqu'on lui demande s'il est prêt à mettre fin à la querelle de priorité qui l'a opposé à Fleischmann et Pons, querelle qui

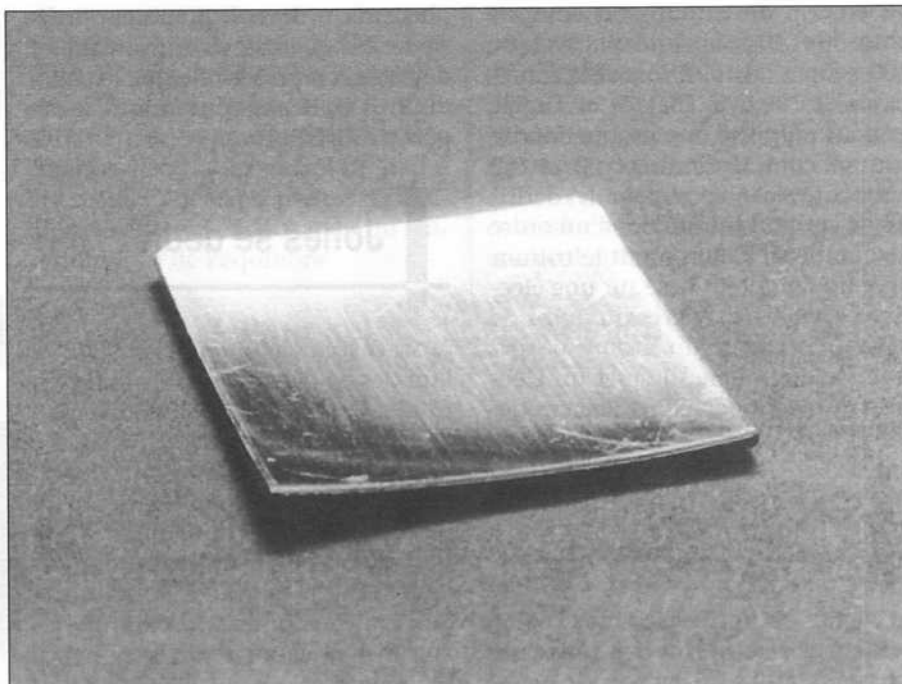
avait mené à la malheureuse conférence de presse et à tout ce qui avait suivi, Jones répond : « *C'est une querelle de priorité pour savoir qui a volé les faux diamants. Il n'est donc pas intéressant d'en discuter.* »

Les expériences de Yamaguchi

L'annonce de la détection d'hélium-4 par le Pr Eichi Yamaguchi fut certainement l'un des événements les plus importants de la conférence de Nagoya. Malheureusement, Yamaguchi n'a pas poursuivi ses expériences en 1993, sinon pour établir que sa détection était bien réelle et n'était pas due à une contamination, comme l'avait affirmé Douglas Morrison. Depuis quelques mois, Yamaguchi travaille en France, avec Fleischmann et Pons, et a remis en place son dispositif expérimental avec un équipement neuf. Mais pendant ce temps, ses expériences étaient poursuivies dans les laboratoires de Mitsubishi, sous la direction du Pr Yasuhiro Iwamura.

Depuis avril 1993, le Centre de recherche sur les technologies avancées du conglomerat géant de l'industrie et de la finance japonaises mène un projet visant à reproduire les expériences de Yamaguchi. Cent expériences ont été menées, les cinquante premières étant des tests préliminaires menés séparément sur les détecteurs de neutrons et de tritium. Les cinquante suivantes mettaient en jeu simultanément trois systèmes de détection : des détecteurs de neutron, un compteur à scintillation à iodure de sodium pour rechercher des rayons gamma et enfin un spectromètre de masse quadripolaire à haute résolution pour l'analyse des gaz.

Dans 4 expériences sur 50, l'équipe de chercheurs a détecté simultanément des décharges de deutérium, des jets de neutrons et la production de tritium. Mais pour l'instant, elle n'a pas réussi à détecter de rayons gamma ou d'autres preuves de production d'hélium-4, dans les dix expériences où elle a tenté de le faire. Son échantillon était similaire à celui



Iwamura a observé à plusieurs reprises le gauchissement de la feuille de palladium, ce qui indiquerait un échauffement.

de Yamaguchi, bien qu'un peu plus petit en surface. Alors que Mitsubishi utilise une mince feuille de palladium de 25 x 25 x 1 mm, Yamaguchi utilisait une feuille carrée de 9 cm de côté et de 1 à 2 mm d'épaisseur. La différence la plus significative était que le groupe d'Iwamura n'a pas recouvert un côté avec du magnésium ou de l'alumine, comme le faisait Yamaguchi, mais a utilisé de l'or sur les deux côtés. L'or, cependant, à l'état atomique, n'est pas une barrière absolue, comme le démontre l'expérience de Mitsubishi.

Iwamura a également observé à plusieurs reprises le gauchissement de la feuille de palladium, ce qui indiquerait un échauffement. Mais il n'a pas de dispositif de mesure de la chaleur en excès et ne peut donc pas mettre en relation émissions de particules et chaleur. Cinq expériences à blanc avec de l'hydrogène ont été réalisées, sans que l'on observe d'émissions.

De l'hélium-4 ?

L'hélium-4 est-il la cendre nucléaire pouvant rendre compte de la cha-

leur en excès ? Il est insaisissable, soluble dans le verre, et très répandu dans l'atmosphère. Cependant, s'il est produit au cours d'une réaction de fusion, comme cela semble de plus en plus certainement être le cas, alors on pourrait bien être sur le chemin de déterminer une réaction nucléaire permettant d'expliquer l'excès de chaleur.

Cette production d'hélium-4 est en effet cruciale pour valider les théories de Giuliano Preparata ou de Scott Chubb. D'un autre point de vue, le Nobel de physique Julian Schwinger a mis en avant la possibilité que l'hélium-4 que l'on observe soit un produit intermédiaire dans une réaction deutérium-deutérium (D-D), le lithium-5 résultant lui d'une réaction deutérium-tritium (D-T). Jirohta Kasagi et Akito Takahashi, qui suggèrent qu'une fusion multinucléaire a lieu, avancent des hypothèses similaires.

Yamaguchi, Benjamin Bush du SRI, Danielle Gozzi et ses collaborateurs, Takahashi et Kasagi, tous ces chercheurs ont rapporté la production d'un nombre significatif de particules alpha (noyaux d'hélium-4). Cette année, Roger Stringham, indépendamment des précédents, a égale-

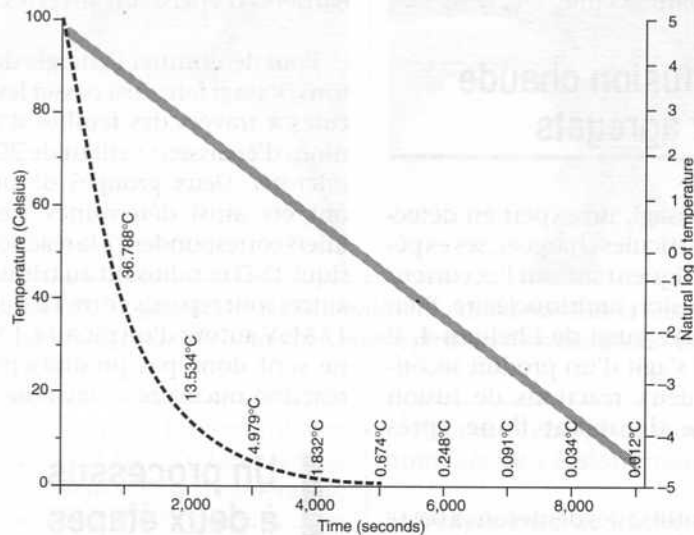
ment rapporté l'observation de particules alpha avec un type d'expérience très différent. Il utilise une onde acoustique pour charger le deutérium dans son morceau de palladium.

A Maui, Melvin Miles, du Naval Weapons Center, et Benjamin Bush, qui travaille désormais au SRI, ont annoncé qu'ils pouvaient à nouveau tenter d'établir une corrélation entre production de chaleur en excès et présence d'hélium-4. A Côme, en 1991, ils avaient annoncé avoir trouvé de l'hélium-4 en quantité suffisante pour expliquer la chaleur en excès qu'ils observaient. Mais pendant toute l'année suivante, ils furent incapables de générer à nouveau de la chaleur en excès dans leurs cellules. Aujourd'hui, ils obtiennent des résultats montrant une bonne corrélation entre la quantité de chaleur observée et la production d'hélium-4, en se basant sur l'hypothèse d'une réaction D-D produisant un atome d'hélium-4 avec un dégagement d'énergie de 23,8 MeV. Cette corrélation n'a été observée que sur trois cellules, pour lesquelles le taux d'atomes d'hélium-4 produits à la seconde était cohérent avec la valeur théorique — la moyenne étant $3 \pm 1,7 \cdot 10^{11}$ atomes d'hélium par seconde et par watt. La probabilité pour que ces résultats soient obtenus par une erreur aléatoire a été calculée : 1/134.217.730.

La fusion froide par agrégats

Il y a eu des développements particulièrement intéressants dans le domaine de la fusion par agrégats. L'équipe de Takahashi a continué ses expériences par irradiation et assure avec confiance que le spectre énergétique qu'ils observent — des particules chargées de 8 à 9 MeV — est celui de l'hélium-4. Selon les prédictions du modèle de fusion trinucléaire de Takahashi, les particules devraient avoir une énergie de 7,9 MeV. Malheureusement, le système de détection ne peut pas dire simultanément si le deutéron à 15,9 MeV, qui devrait théoriquement être produit aussi par la réaction, est aussi présent.

L'identification de la chaleur en excès à partir des courbes théoriques du refroidissement



Si la chaleur était évacuée de la cellule par la seule convection, la courbe de refroidissement suivrait la courbe expérimentale indiquée ici. Cependant, une fois que la température tombe en dessous de 10°C sur cette courbe, il devient très difficile de dire ce qui se passe.

Fleischmann et Pons ont obtenu des mesures de température qui sont constantes localement à 0,003°C (0,001°C dans l'ensemble du réservoir thermostaté), ce qui leur permet de faire des jugements utiles sur ce qui arrive. On peut le faire en « rectifiant » les points de telle manière que les déviations sont perçues comme des déviations par rapport à une ligne droite.

Sur cet exemple hypothétique, la courbe exponentielle représentée est : $T = 100e^{-t/1000}$ où t est le temps mesuré en secondes (on estime que la constante de temps du refroidissement est de 1000 secondes). On rectifie la courbe en utilisant des coordonnées logarithmiques pour la température (figurées ici sur les ordonnées de droite). Ceci permet de voir beaucoup plus en détail le comportement de la cellule.

Toshiyuki Iida a présenté à Maui un résumé du travail expérimental qu'il a effectué avec Takahashi. Ils ont bombardé une feuille de titane de 5 microns d'épaisseur avec des deutérons à 243 keV. Iida rapporte un pic étroit vers 7 MeV et un autre pic à 2,7 MeV qu'il croit être dû à la contamination de la cible par du carbone-12. Ce pic pourrait en effet être expliqué par une réaction classique de fusion chaude entre un deutéron et le carbone-12, produisant un carbone 13 et l'émission d'un proton à 2,7 MeV.

Il est quasiment certain que dans les expériences à irradiation ou bombardement, nous avons affaire à des réactions de fusion chaude, avec ou non des réactions de fusion froide. C'est en tout cas l'affirmation de Jiro-

hita Kasagi, de l'Université de Tohoku, dont les travaux sont similaires à ceux du groupe de Takahashi. L'évaluation des signaux des particules chargées est une opération assez sophistiquée, comme l'a souligné Iida lors de son discours à la conférence. A l'avenir, il a l'intention d'élaborer une mesure du temps de vol et de la détermination angulaire des particules chargées émises simultanément, de façon à essayer de déterminer leur distribution de mouvements.

Dans les expériences d'Iida, on utilise aussi bien des feuilles de titane que de palladium. Elles sont bombardées dans une chambre à vide par un accélérateur de deutéron à 300 MeV. Le détecteur était un semi-conducteur au silicium. Le rayon était pulsé à 3 nanosecondes avec une énergie

de 2 à 10 microampères et une fréquence de 2 MHz. Pour déterminer l'énergie de la particule, les chercheurs ont parfois utilisé une feuille additionnelle en titane ou en aluminium, placée devant la cible.

La fusion chaude par agrégats

Selon Kasagi, un expert en détection des particules chargées, ses expériences indiquent surtout l'occurrence d'une fusion multinucléaire. Bien qu'il observe aussi de l'hélium-4, il croit qu'il s'agit d'un produit secondaire de deux réactions de fusion chaude se déroulant l'une après l'autre.

Kasagi utilise des deutérons à basse énergie (150 keV) pour bombarder une cible de titane qu'il a préalablement chargé en deutérons. Le rapport de charge de la cible doit être supérieur à 1,3 pour que l'on détecte une émission de protons ; il peut aller jusqu'à 1,9.

Kasagi avait présenté cet aspect de son travail à Nagoya. Pour des rapports de charge inférieurs, on ne détectait que des protons d'une énergie inférieure à ceux correspondant à une réaction D-D normale ($D + D = T + p$). Lorsque le rapport de charge dépassait 1,2, les protons émis étaient très énergétiques, ce que Kasagi considère comme une indication que des réactions complexes ont lieu.

Le chargement gazeux du titane se fait selon les méthodes standard. La cible est placée dans une enceinte à vide et chauffée à 800°C pendant au moins 20 heures pour la dégazer. L'enceinte est alors remplie avec du deutérium gazeux sous une pression de 3 atmosphères. L'ensemble de l'opération prend une journée complète, au cours de laquelle on recharge l'enceinte en deutérium par trois fois avant que le titane ne soit saturé.

Kasagi utilise un accélérateur Cockroft-Walton avec une source radiofréquence pour bombarder la cible de titane par des ions de deutérium (deutérons). On détecte les

émissions de protons avec un détecteur au silicium. On compte les particules et on détermine leur espèce en calculant leur charge et leur masse à partir de leur capacité à traverser des barrières d'épaisseurs diverses.

Pour déterminer l'énergie des protons, Kasagi fait ainsi passer les particules à travers des feuilles d'aluminium d'épaisseur variant de 20 à 200 microns. Deux groupes de protons ont été ainsi déterminés. Les premiers correspondent à la réaction classique D-D conduisant au tritium. Les autres sont répartis entre 12,5 et 16,5/17 MeV autour d'un pic à 14,1 MeV et ne sont donc pas produits par une réaction nucléaire « classique ».

Un processus à deux étapes

Kasagi pense que la présence de ces protons indique que le processus se déroule en deux étapes. La première réaction serait de type « fusion froide » entre deux deutérons, donnant naissance à de l'hélium-3 et à un neutron. Cette première réaction a lieu, selon lui, pendant la première phase de chargement. La seconde réaction, de fusion chaude, aurait alors lieu extrêmement peu fréquemment, de façon hautement localisée. Un deutéron du rayon interagit avec un atome d'hélium-3 présent dans la cible pour donner de l'hélium-4 et un proton additionnel.

Ainsi, pour Kasagi, la détection d'hélium-4 est le marqueur d'une réaction de fusion froide antérieure plutôt que le produit direct d'une telle réaction. Ceci diffère donc largement du modèle proposé par Akito Takahashi. Celui-ci suppose que l'hélium-4 est le résultat d'une réaction de fusion froide entre trois deutérons, donnant de l'hélium-4 et un deutéron à 15,9 MeV. Alors que le groupe de Takahashi estime avoir détecté directement la particule alpha, Kasagi infère l'existence de l'hélium-4 du spectre énergétique des protons qu'il observe. D'octobre 1991 à juillet 1993, Kasagi n'a observé que quatre fois un pic de protons à 14,1 MeV. Il est néanmoins certain que ce

n'est pas dû à la présence d'impuretés dans ses échantillons, qui furent soigneusement vérifiés avant et après l'expérience.

L'équipe de Kasagi, en reconsidérant ses résultats, a conclu que le spectre large à haute énergie qu'ils détectent est dû à deux processus différents, l'un étant très reproductible, l'autre très peu fréquent. L'endroit du spectre où l'on observe des énergies de proton anormales à 17 MeV fait apparaître, selon eux, la signature d'un processus de fusion chaude à trois noyaux. Il est clair que ce modèle de fusion multinucléaire, comme celui de Takahashi, exige de nouveaux mécanismes pour renforcer les probabilités. Selon les modèles généralement acceptés de réaction de fusion, la probabilité d'une fusion entre trois noyaux est extrêmement faible. Pour que le modèle de Kasagi puisse fonctionner, il faudrait un facteur de renforcement de probabilité de 10^{12} , un million de millions, ce qui n'est pas un petit problème !

De ce point de vue, Takahashi a soumis son modèle à une revue critique, en partant des considérations qui découlent d'un traitement plus à fond de la physique quantique impliquée. Il suggère qu'il peut y avoir des points communs avec les processus opérant dans la supraconductivité. Il a également proposé une autre possibilité de fusion dans laquelle le lithium-6 pourrait être produit par une fusion 3D et le béryllium-8 par une fusion 4D.

Les ondes radio et acoustiques

Parmi les nouveautés présentées à la conférence de Maui, l'utilisation par Roger Stringham d'ondes acoustiques pour créer une irradiation de deutérons dans une cible de palladium était très intéressante. Stringham est un ingénieur retraité qui a travaillé pendant vingt ans sur les effets de cavitation dans la sonochimie. Dans son expérience, il utilise un générateur acoustique de 20 kHz pour créer des bulles transitoires à la surface d'une feuille de palladium

très fine. Les bulles d'eau lourdes sont alors dirigées vers la cible.

Stringham affirme pouvoir lancer et stopper la réaction à volonté en jouant sur les paramètres. En utilisant une courbe de refroidissement et de réchauffement semblable à celle utilisée par Fleischmann et Pons dans leurs expériences d'évaporation, Stringham estime qu'il produit 100 W de puissance en excès dans une cible de 0,2 cm³. Il prétend donc obtenir une densité de puissance de plus de 1000 W/cm³.

La puissance d'entrée pour cette densité est d'environ 350 W, ce qui correspond donc à un taux de génération de chaleur en excès d'environ 30%. Les circonstances de cette expérience sont très différentes de celles d'une expérience à électrolyse, à irradiation, ou à chargement gazeux, et la calorimétrie n'est donc pas véritablement comparable. Dans les expériences usuelles à électrolyse, la calorimétrie est faite par comparaison avec une expérience utilisant de l'eau légère. Cependant, dès lors que l'on traite avec un phénomène acoustique, la calorimétrie devient très complexe et toute génération de chaleur en excès doit être soigneusement vérifiée et revue. En de nombreuses occasions, Stringham a vu la feuille fondre, ce qui implique des hautes températures.

Stringham a emprunté des spectromètres de masse au Bureau des Mines d'Amarillo, au Texas, ainsi qu'au SRI, et il a détecté avec ceux-ci une production d'hélium-4 d'environ 60 à 65 ppm sur une période de 24 heures, à comparer avec un bruit de fond de 5,7 ppm. Ceci rendrait compte d'environ 20% de l'excès de chaleur. Bokris a par ailleurs évalué les expériences menées par Dennis Letts, un chercheur indépendant financé par ENECO. L'aspect intéressant de ces recherches, c'est que Letts déclenche la production de chaleur en excès avec une onde radiofréquence. Dix minutes après le lancement de l'onde, la chaleur commence à monter (dans un système à deutérium, pas avec l'hydrogène). Cet échauffement n'a lieu que pour les fréquences 553,588 MHz et 81,924 MHz.



Peter Hagelstein (à gauche) et Louis Smullin (à droite) travaillent ensemble, au Massachusetts Institute of Technology, pour reproduire les résultats de l'expérience de Kucherov.

L'aspect le plus intéressant des expériences de Letts, c'est que le taux d'accroissement de la température est proportionnel à la puissance des ondes radio. Le taux de génération de chaleur en excès est très élevé : 2 W émis pour une entrée de 0,1 mW. L'expérience a été menée dans une cellule ouverte sans thermostat. Une amélioration de la calorimétrie est donc nécessaire.

Francesco Celani, qui travaille à l'Institut National de Physique de Frascati, utilise aussi une technique de charge à pulsation électromagnétique qui permet des rapports de charge D/Pd extrêmement élevés (jusqu'à 1) et un excès de chaleur de 15%, qui dépend des qualités du métal, encore inconnues.

Transmutations

S'il n'y a pas eu de nouveaux résultats fracassants de l'expérience de Jan Kucherov, un gros effort est en cours au Massachusetts Institute of Technology pour la reproduire. Les physiciens Peter Hagelstein et Louis Smullin y travaillent. Le premier a rapporté à Maui que, bien qu'il considère ses résultats expérimentaux comme encore préliminaires, il a élaboré une théorie du « transfert virtuel de neutron » permettant de rendre compte de certains effets de transmutations. Pour lui, un nouveau type de processus atomique, qui n'est ni la fusion ni

la fission, prend place dans les phénomènes de « fusion froide ».

L'expérience de Kucherov a bien sûr une grande importance scientifique et technologique ; mais il sera également très intéressant d'observer les ondes de choc politiques en cas de succès de Hagelstein et Smullin à la reproduire au MIT. Le MIT fut en effet l'un des centres les plus viciés de la chasse aux sorcières lancée en 1989 contre Fleischmann et Pons. A cette époque, Ronald Parker, chef du laboratoire de physique des plasmas et de fusion, avait accusé les deux chercheurs d'avoir délibérément monté une fraude scientifique. ■

Notes

1. L'EPRI américain, l'IMRA et le MITI japonais, ainsi que l'ENECO, une société de l'Utah qui détient désormais les droits du brevet déposé par Fleischmann et Pons. (ENECO soutient les travaux de Yan Kucherov, en Russie et au MIT, ainsi que ceux de Barabouchkine à Sverdlosk (Ekaterinebourg)).
2. Voir à ce sujet *Fusion* N°38, septembre 1991.
3. Voir à ce sujet *Fusion* N°44, janvier 1993.
4. Pérovskites : familles d'oxydes de titane.
5. On mesure le tritium par son taux de transformation en hélium-3. Une curie est équivalente à $3,7 \cdot 10^{10}$ événements par seconde. Une nanocurie est donc équivalente à $2 \cdot 10^{10}$ tritons.