

1



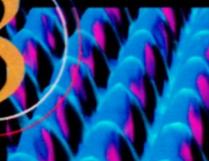
2



Retour sur  
l'affaire de la  
fusion froide

*p. 58*

3



L'alchimie  
nucléaire : un  
défi théorique

*p. 60*

4



De vraies  
promesses  
pour l'avenir ?

*p. 64*

# Alchimie

Les physiciens  
commencent  
à y croire !

Dossier réalisé par  
Cécile Bonneau  
et Hervé Poirier



Transmuter l'hydrogène en hélium, le titane en aluminium, le plomb en or... Malgré le scepticisme officiel de la communauté scientifique, de très sérieuses expériences tentent aujourd'hui d'obtenir de véritables réactions nucléaires à... température ambiante! Un fantastique pari relevé 15 ans après les tentatives avortées de réaliser la "fusion froide". "L'alchimie nucléaire" est-elle la nouvelle science du futur? Enquête.

# 1 Ces transmutations qui défient les lois

Susciter des réactions nucléaires... à température ambiante? De plus en plus d'expériences montrent aujourd'hui que le pari de la fusion froide n'est peut-être pas si fou. Explications.

Est-ce une prouesse d'alchimiste? Un fantôme de savant médiéval? Ou une promesse de physicien abusé? Un peu partout dans le monde, dans des laboratoires italiens, français, américains, japonais ou russes, des chercheurs affirment transmuter la matière à température ambiante. Avec une pincée d'énergie, ils transforment allégrement la nature des éléments chimiques: l'hydrogène devient hélium, le titane mue en aluminium... et le plomb se change en or! Auraient-ils découvert la pierre philosophale, objet d'une fantastique quête ésotérique depuis des millénaires? Qu'on ne se méprenne pas: il n'y a rien d'occulte dans ces recherches. Et si la centaine de chimistes et physiciens qui travaillent sur ce domaine le font souvent en marge de leurs travaux officiels, ce n'est pas

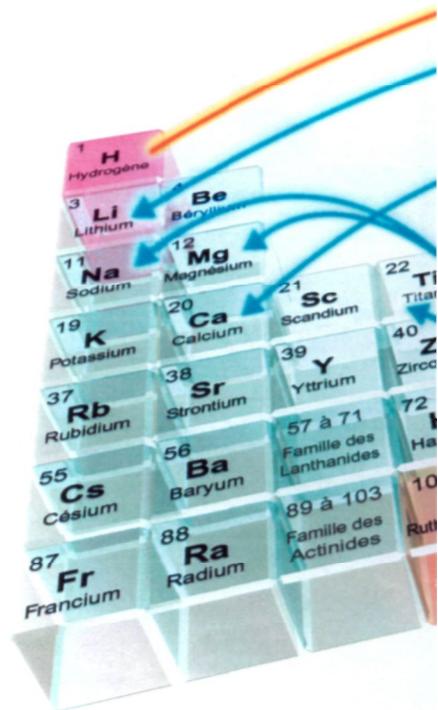
## CONTEXTE

Quinze ans après Pons et Fleischmann, les velléités de réaliser des transmutations nucléaires à basse température ne sont pas mortes. Bien au contraire. Alors que la politique énergétique mondiale est en plein questionnement, que les centrales nucléaires n'ont toujours pas résolu leurs problèmes de déchets radioactifs et que des budgets colossaux sont consacrés au développement de la fusion chaude, des expérimentateurs se démènent pour prouver qu'il existe une autre voie. A tel point que leurs travaux commencent à trouver un écho...

pour s'inscrire dans la grande tradition du secret des alchimistes des temps anciens, mais par nécessité: leurs études ne sont pas facilement publiées dans les revues internationales "officielles", dotées d'un comité de physiciens indépendants aptes à en évaluer la solidité scientifique. Les plus prestigieuses, *Sature* et *Science*, n'acceptant pas une ligne sur la question...

Ces revues ont en effet été échaudées par... la "fusion froide", cette fameuse expérience qui, présentée en 1989 par Stanlev Pons et Martin Fleischmann, a suscité une des plus grandes polémiques scientifiques de la fin du XX<sup>e</sup> siècle ( voir p. 58). Les deux physiciens américain et anglais affirmaient pouvoir transformer de l'hydrogène en hélium dans une éprouvette avec, en prime, un dégagement de chaleur propre à en faire une source d'énergie quasiment inépuisable... Après un engouement mémorable, cette première présentation publique de transmutation à basse énergie fut violemment rejetée par les physiciens. Et pour cause: la transmutation à basse température est une quasi-hérésie pour un physicien nucléaire!

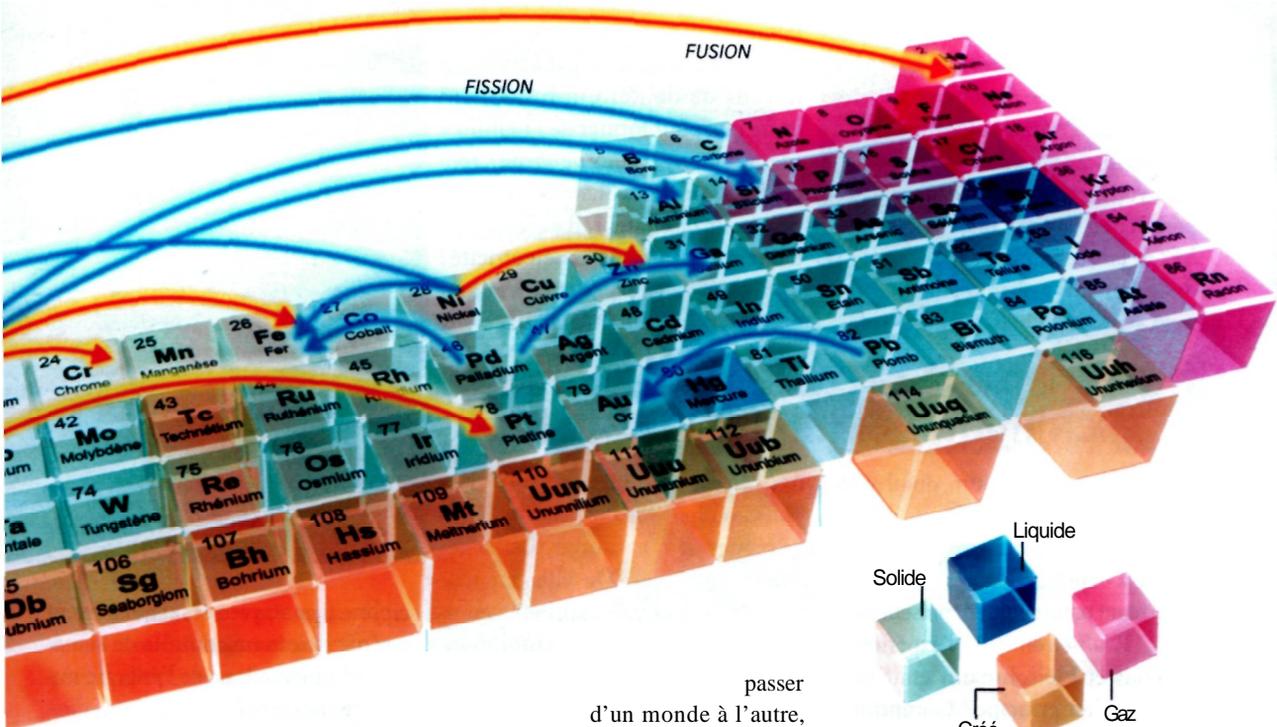
Pour comprendre, il faut se pencher sur la nature des éléments chimiques, soigneusement recensés par le fameux tableau de Mendeleïev établi par le chimiste russe en 1869 et complété depuis. Chaque atome y est classé suivant le nombre de protons que contient son novau, qui définit la nature de



l'élément chimique (par exemple: 1 proton pour l'hydrogène, 2 pour l'hélium, 6 pour le carbone...), le nombre de neutrons définissant, lui, les différents isotopes (comme le deutérium, isotope de l'hydrogène, qui possède un neutron en plus du proton, voir "Jargon"). Ainsi, lorsqu'un noyau atomique gagne (ou perd) un ou plusieurs protons, il change de nature et voyage de case en case à travers le tableau des éléments de Mendeleïev. C'est ce que l'on appelle une transmutation.

## PASSER D'UN MONDE À L'AUTRE

Mais ces réactions nucléaires ne se font pas en réalité aussi simplement que sur le papier. Car si la charge électromagnétique du neutron est nulle, la charge du proton, elle, est positive; deux protons ont donc toujours naturellement tendance à se repousser lorsqu'on les rapproche. Cependant,

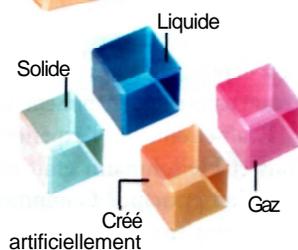


lorsqu'ils sont suffisamment proches, ils ne se repoussent plus : l'attraction liée à la force nucléaire forte (une force fondamentale qui domine à l'échelle du noyau) prend alors le pas sur la répulsion électromagnétique en maintenant les protons fermement collés entre eux - ce qui assure au passage notre confortable cohésion matérielle... Toute la difficulté des transmutations consiste donc à franchir cette barrière énergétique (dite "barrière coulombienne") qui se dresse entre la répulsion électromagnétique et l'attraction nucléaire.

Cette barrière coulombienne forme autour du noyau atomique un véritable cratère dont les flancs escarpés marquent la frontière entre deux mondes. Le monde nucléaire d'une part, à l'intérieur du cratère, tout au fond du puits, où s'agit un magma de protons et de neutrons, et le monde électromagnétique d'autre part, à l'extérieur du cratère, royaume des molécules et des réactions chimiques. Et il faut énormément d'énergie pour

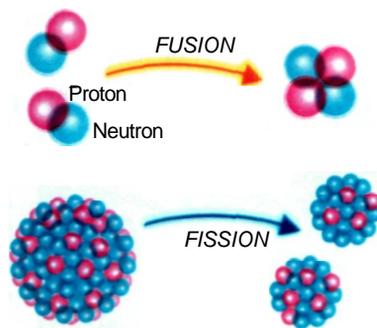
passer d'un monde à l'autre, de même qu'il en faut énormément pour gravir les flancs d'un volcan...

Pour faire une fusion nucléaire, c'est-à-dire fondre deux noyaux en un seul, les physiciens utilisent par exemple des accélérateurs de particules, qui génèrent des chocs très violents entre des noyaux dans le vide ou, plus souvent, recourent à de très hautes températures, l'agitation des noyaux devenant si violente qu'ils arrivent alors à se percuter. C'est ce qui se passe dans le soleil ou dans les réacteurs expérimentaux (comme le futur réacteur international Iter) chauffés à plusieurs centaines de millions de degrés. Pour ce qui est de la fission nucléaire, qui casse un noyau en plusieurs, on utilise rien de moins... qu'une centrale nucléaire : dans son cœur, des noyaux lourds (de l'uranium) sont bombardés de neutrons qui parviennent à briser le noyau. Dans tous les cas, telles des éruptions volcaniques, ces transmutations nécessitent une considérable débauche d'énergie. D'où le problème: comment des réactions chimiques du monde électromagnétique pourraient-elles être assez puis- ...



## Le tableau de Mendeleïev n'est plus aussi figé !

Établi en 1869 par Mendeleïev, le tableau périodique des éléments est aujourd'hui malmené par d'étonnantes expériences. Des physiciens affirment pouvoir réaliser des transmutations à basse température, c'est-à-dire passer sans peine d'un élément à l'autre.



## Des éléments mutants

Il existe deux types de transmutation normalement irréalisables à basse température : la fusion, qui réunit deux noyaux (chacun composé de neutrons et de protons), et la fission, qui en casse un.

... santes pour provoquer des réactions nucléaires? Comment croire qu'il soit possible de jongler avec les protons dans une simple éprouvette à température ambiante? Comment ne pas y voir les conséquences de biais expérimentaux passés inaperçus?

Et de fait, le chimiste allemand Friedrich Paneth, qui annonça en 1930 avoir transformé pour la première fois

comme s'ils se trouvaient trop serrés dans leur enceinte de palladium, les noyaux de deutérium fusionnent entre eux pour former de l'hélium 4 (deux protons et deux neutrons), tout en dégageant de la chaleur. Et même beaucoup de chaleur: davantage que d'énergie dépensée en électricité! Oui, mais cette expérience avait un défaut majeur: elle n'était pas systé-

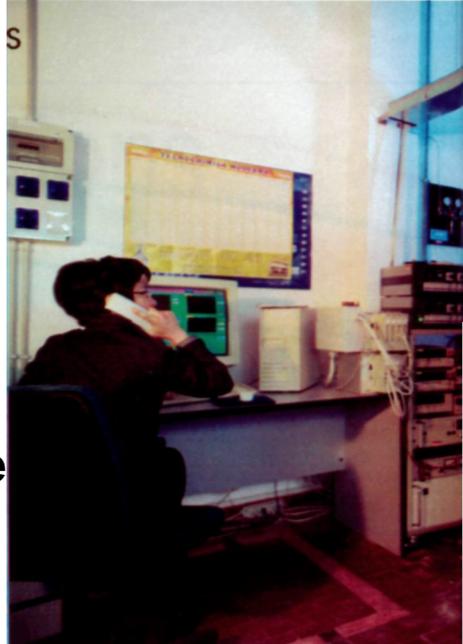
## Un peu partout, la course à l'expérience alchimique indubitable est lancée

de l'hydrogène en hélium, dut-il se rétracter rapidement: la porosité des parois de ses tubes en Pyrex suffisait en réalité à expliquer ses résultats, l'hélium étant naturellement présent dans l'air... Réalisée en 1989, l'expérience de Pons et Fleischmann était plus aboutie. Son principe? Comprimer du deutérium (isotope de l'hydrogène) dans un morceau de métal poreux, le palladium, grâce à une électrolyse (voir "Jargon"): à l'aide d'un courant électrique généré entre une cathode en palladium (chargée négativement) et une anode en titane (chargée positivement), ils obligent une solution contenant du deutérium à se décomposer. Le deutérium s'agglutine alors dans le palladium.

Et, selon Pons et Fleischmann, à partir d'une certaine concentration,

matiquement reproductible. Les équipes chargées de recommencer l'expérience n'obtinrent pas les résultats annoncés. De plus, aucune théorie ne pouvait expliquer comment les noyaux de deutérium franchissaient la barrière coulombienne au sein du palladium. Les tenants de l'orthodoxie nucléaire eurent donc beau jeu de la rejeter en bloc...

Quinze ans plus tard, la donne a changé. Des chercheurs, souvent issus des plus prestigieuses institutions, ont patiemment perfectionné leurs expériences de réactions nucléaires à basse température. Leur but? En produire une indubitable. Mettre au point un dispositif qui démontrerait sans biais possible l'existence de ces transmutations, qui ferait enfin entrer dans le champ scientifique cette dis-



cipline si controversée, et qui offrirait aux physiciens un contrôle de la matière et une maîtrise de l'énergie nucléaire inespérés...

### LA RÉUSSITE ITALIENNE

C'est l'ambition d'Antonella De Ninno, qui travaille à l'Enea (*Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente*), le centre national de recherche nucléaire italien, installé à Frascati, à côté de Rome. "Sous nous sommes intéressés à la fusion froide dès 1989, par curiosité, juste après l'expérience de Pons et Fleischmann", raconte la physicienne italienne. Qui tente dans un premier temps de comprimer du gaz



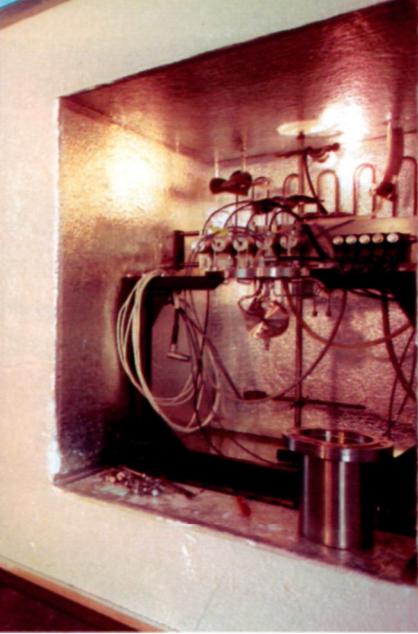
## UNE SCIENCE NAGUERE OCCULTE

Impossible de savoir si l'alchimie, issue des profondeurs des civilisations indienne et chinoise, qui a traversé l'Égypte ancienne, la Grèce antique, la civilisation arabe et le Moyen Âge chrétien a jamais réalisé ses fantasmes. D'obscurs savants ont-ils vraiment fabriqué

**< Les alchimistes n'ont jamais divulgué les résultats de leurs travaux.**

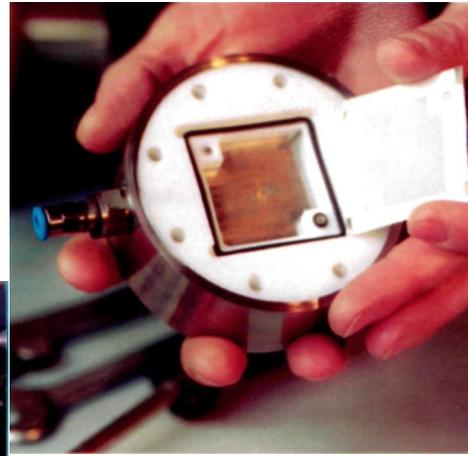
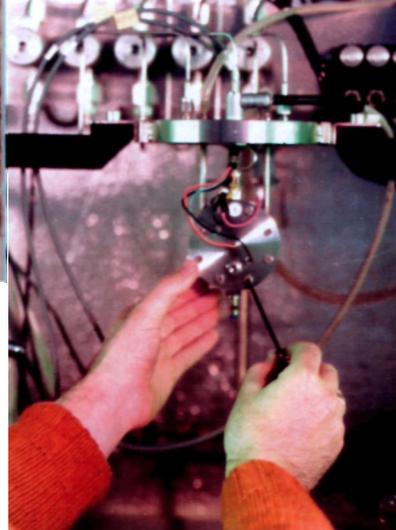
l'élixir de longue vie ou transformé des métaux vils en métaux nobles à l'aide d'une toute puissante "pierre philosophale"? Newton lui-même, qui cherchait par ce moyen à dévoiler une attraction universelle à l'échelle microscopique, n'a jamais publié ses travaux, et la chimie a fini par imposer son approche rationnelle à la fin du

XVII<sup>e</sup> siècle. L'alchimie était par principe une science occulte: les sombres sortilèges dont l'évocation est censée transmuter le plomb en or n'ont jamais eu vocation à être divulgués. Une tradition du secret et de l'esotérisme qui n'est plus de mise pour les transmutations nucléaires modernes à basse énergie.



< Il aura fallu deux ans à Antonella de Ninno pour mettre au point, dans son laboratoire de Frascati, un système capable de détecter de la fusion froide.

v Soumise à une tension électrique, une électrode en palladium parvient à absorber suffisamment de deutérium pour le faire fusionner.



^ Pièce maîtresse du dispositif, la cathode a la particularité d'être quasi unidimensionnelle. Elle court tel un fil sur un mince carré de plastique.

dans du titane pour provoquer la fusion... sans résultats probants. Il n'empêche : elle persuade l'Enea en 1998 de soutenir une expérience sur le palladium, qui s'est terminée fin 2002.

Son principe est d'utiliser une cathode en palladium dotée d'une géométrie bien particulière, quasi unidimensionnelle, c'est-à-dire réduite à un très fin fil. D'après les estimations théoriques du physicien Giuliano Preparata, de l'université de Milan, cette cathode, soumise à une tension électrique appropriée, permet au deutérium de s'y concentrer plus facilement. "Il nous a fallu deux années pour mettre au point un tel système particulièrement complexe, avoue Antonella de Ninno, mais depuis, nos résultats sont incontestables." L'équipe de chercheurs a en effet montré très soigneusement qu'à partir d'une certaine concentration de deutérium dans le palladium, on observe un excès de chaleur et une production d'hélium vingt fois supérieure au "bruit de fond" lié aux contaminations extérieures (voir infographie)... Et pourtant, malgré la précision de ces résultats, les revues scientifiques sollicitées ont encore une fois refusé toute publication. "On met aujourd'hui en doute la qualité de mes me-

ures de chaleur, alors que mes précédentes études avaient été refusées faute de mesure de l'hélium 4, se décourage la chercheuse, qui s'oriente désormais vers des sujets plus conventionnels. *J'ai l'impression d'avoir fait tout ce que j'ai pu, sans être écoutée...*" Au Conservatoire national des arts et métiers (Cnam), à Paris, Jacques Dufour tente lui aussi de mettre au point l'indubitable expérience. Ancien directeur des relations scientifiques de la compagnie pétrolière anglo-hollandaise Shell (qui a participé au financement de ses recherches), cet ingénieur a été accueilli dans le laboratoire des sciences nucléaires du Cnam pour se consacrer à des décharges électriques dans une tige de palladium baignant dans un gaz d'hydrogène. Et lui aussi obtient des excès de chaleur et des transmutations: il observe de l'hélium, mais aussi des éléments probablement issus de la fission du palladium, comme le ...

## JARGON

**Electrolyse** : procédé par lequel on applique une tension entre deux électrodes - la cathode (négative) et l'anode (positive) - plongées dans une solution liquide que l'on veut décomposer. Le passage du courant électrique dans le liquide sépare les molécules en ions positifs, qui vont migrer vers l'anode, et en ions négatifs, qui se dirigent vers la cathode.

**Isotope** : les isotopes d'un élément contiennent le même nombre de protons positifs (6 protons pour le carbone), mais un nombre de neutrons différents. Ainsi, le carbone possède 3 isotopes principaux: le carbone 12 (6 neutrons), le plus répandu, mais aussi le carbone 13 (7 neutrons) et le carbone 14 (8 neutrons).

... fer ou le nickel. Mais la détection de ces éléments restant délicate et facilement sujette à caution, Jacques Dufour veut encore améliorer ses mesures calorimétriques. Pour mettre à jour un phénomène dont l'ampleur suffirait enfin à balayer les scepticismes. *"Je suis intimement convaincu qu'il y a quelque chose, mais je comprends que ce soit difficile à accepter, que ce soit trop tôt, tempère-t-il. J'espère obtenir dans les deux ans la preuve irréfutable qui convaincra tous !"*

## DES TRANSMUTATIONS EN SÉRIE

Ces deux exemples ne sont pas isolés : un peu partout dans le monde se multiplient de telles expériences dont les paramètres sont de mieux en mieux contrôlés. Le professeur Violante, qui travaille à quelques pas du laboratoire d'Antonella de Ninno, à l'Enea, a par exemple étudié les problèmes de reproductibilité de l'expérience de Pons et Fleischmann. *"Nous avons compris que la nature métallurgique du palladium modifie sa capacité d'absorption, explique-t-il. Nos premières manipulations avaient bien fonctionné, mais quand nous avons dû racheter du palladium pour continuer, plus rien ne se passait... Nous avons donc étudié la diffusion du deutérium dans le métal."* Le physicien italien a également réalisé l'électrolyse d'un film de nickel contenant des traces de cuivre... pour constater que le rapport isotopique du cuivre s'en trouve modifié. Selon ses mesures, le cuivre 63 (qui contient 29 protons et 34 neutrons), se transforme en partie, lors du processus, en cuivre 65 (qui contient 36 neutrons), et la transformation est quasi totale quand on l'accompagne d'une excitation laser... Des expériences sur le palladium sont aussi réalisées par Yoshiaki Arrata, à l'université d'Osaka, au Japon, ou par une équipe de la Royal Navy, basée à San Diego, aux Etats-Unis.

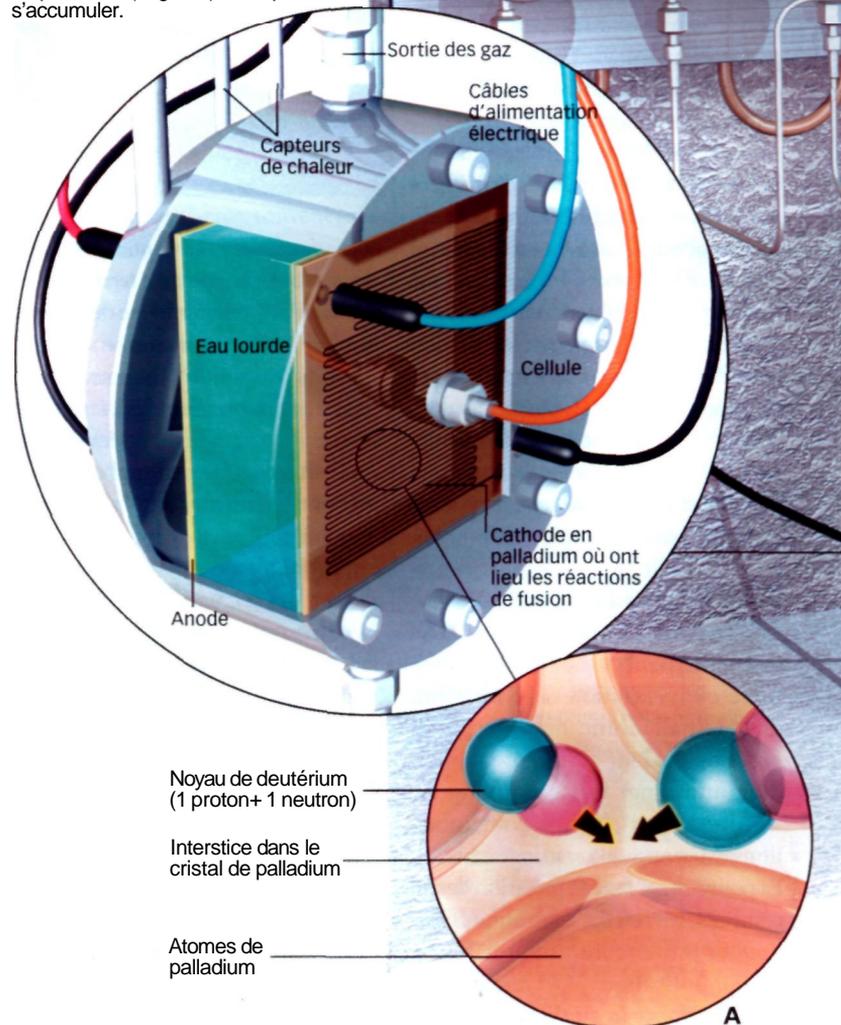
En Russie, Leonid Ouroutsokoïev, de l'institut Kourchatov à Moscou ...

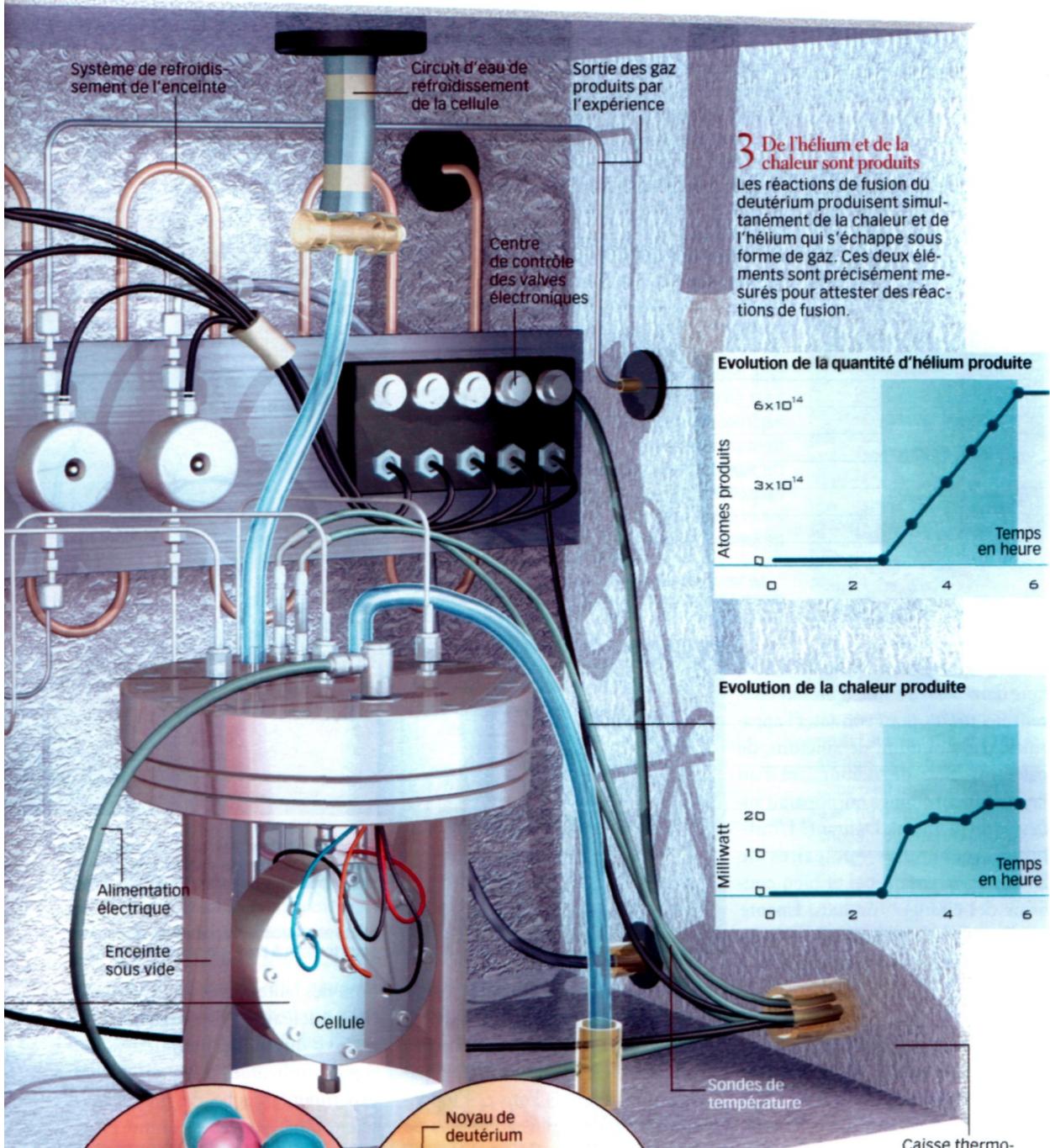
# La fusion en éprouvette

Les réactions de fusion froide s'obtiennent par un simple passage de courant dans une solution d'eau lourde (électrolyse). Mais la mesure de ce phénomène est complexe : le très faible dégagement gazeux qui se produit doit être isolé des contaminations extérieures. Le dispositif est donc placé dans une enceinte sous vide, elle-même maintenue à température constante par un caisson isotherme.

## 1 L'électricité dissocie les molécules

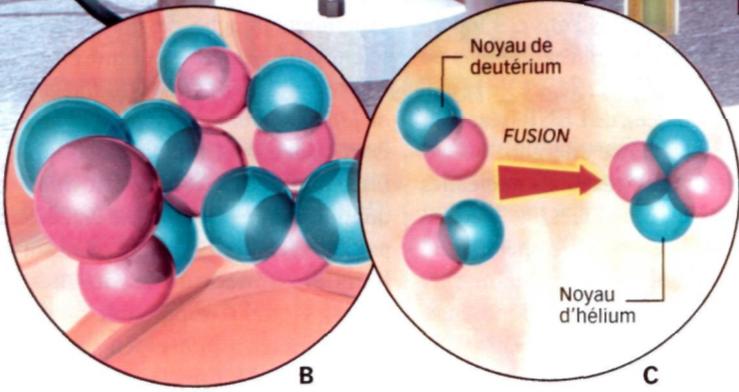
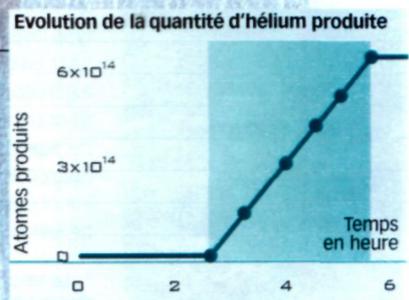
Dans la cellule, le courant électrique casse les molécules d'eau lourde (D<sub>2</sub>O). Les noyaux de deutérium (positifs) sont alors attirés par la cathode en palladium (négative) où ils partent s'accumuler.





### 3 De l'hélium et de la chaleur sont produits

Les réactions de fusion du deutérium produisent simultanément de la chaleur et de l'hélium qui s'échappe sous forme de gaz. Ces deux éléments sont précisément mesurés pour attester des réactions de fusion.



2 Le deutérium fusionne  
 Les noyaux de deutérium pénètrent dans les interstices du cristal de palladium (A), où ils s'accumulent (B) et finissent par fusionner entre eux pour donner un noyau d'hélium (C).

# A HAUTE ENERGIE AUSSI.

Les physiciens nucléaires sont aussi des alchimistes ! Même si leurs fioles et cornues revêtent des formes hautement technologiques, ils produisent couramment des réactions de transmutation. Les

réacteurs à fission des centrales nucléaires transforment l'uranium en noyaux plus petits comme le strontium, le césium, l'iode 129; les réacteurs à fission thermonucléaires expérimentaux transmutent du deutérium et du tritium en hélium et les faisceaux laser du type laser mégajoule (LMJ, en construction à Bordeaux), concentrent sur une petite capsule de matière assez d'énergie pour initier des réactions de fusion d'hydrogène

en hélium. Le but ? Produire de l'énergie, fabriquer des bombes, explorer la nature intime de la matière... ou encore éradiquer les déchets nucléaires radioactifs. Une équipe germano-britannique a récemment obtenu des résultats en transformant, à l'aide de rayons gamma issus d'un dispositif laser, de l'iode 129 radioactif, qui vit en moyenne 15,7 millions d'années, en iode 128 qui se désintègre en quelque 25 minutes!



< Le laser mégajoule en construction à Bordeaux pourra transmuter l'hydrogène en hélium



^ Jacques Dufour, du Cnam, cherche à améliorer ses mesures de chaleur pour réaliser une expérience de fusion froide indubitable.

... fait, lui. exploser des feuilles de titane dans l'eau à l'aide d'un fort courant électrique, pour constater l'apparition d'aluminium, de silicium, de calcium, de fer, de sodium... et d'un rayonnement étrange qui apparaît au-dessus du récipient. Délirant? L'institut de recherches nucléaires de Douvna a pourtant bel et bien confirmé ces étranges résultats. Encore plus fascinant : le même institut Kourchatov aurait tout simplement réussi à transmuter du plomb en or...

## MAIS QUI A DIT ALCHEMIE ?

Bien que mythique, cette dernière prouesse n'a pas été approfondie ni publiée. D'abord parce qu'elle est sans intérêt économique, le coût de cette transmutation se révélant en définitive bien supérieur au prix du précieux métal. Et surtout pour ne pas décrédibiliser des recherches en quête de respectabilité en provoquant la confusion avec les travaux sulfureux d'un Nicolas Flamel ou d'un Joseph Balsamo tout à coup ressuscités (voir p. 52)... Ces chercheurs font d'ailleurs



preuve d'une grande inventivité lexicale pour décrire leurs travaux: le terme d'"alchimie" étant clairement à proscrire et celui de "fusion froide" par trop suspect depuis Pons et Fleischmann, ils parlent plus volontiers de CMNS (science nucléaire de la matière condensée), de LENR (réactions nucléaires à basse énergie), ou encore de CANR (réactions nucléaires chimiquement assistées).

Une lente quête de respectabilité qui commence à payer. Même si la majeure partie de la communauté scientifique continue de penser que ces physiciens prennent des vessies

pour des lanternes et voient des réactions nucléaires à basse énergie là où il n'y a que des phénomènes classiques explicables par quelque biais expérimental caché, des publications scientifiques sérieuses comme *Physical Review Letters*, *Fusion Technology* ou *Japanese Journal of Applied Physics Letters* acceptent aujourd'hui de publier quelques résultats. En introduction à un rapport publié en 2002 par l'US Navy qui faisait le point sur leurs dix années de recherches, Franck Gordon, responsable du département navigation et sciences appliquées, écrivait même: "Nous sa-

**Jacques Foos**

DIRECTEUR DU LABORATOIRE DES SCIENCES NUCLÉAIRES AU CNAM



**“Je suis aujourd’hui convaincu que le phénomène existe!”**

J’ai accepté de soutenir des recherches sur la fusion froide au Cnam sans y croire vraiment, mais en pensant démasquer l’artefact. Aujourd’hui, je suis convaincu que le phénomène existe même si ce n’est pas de la fusion classique. Ce n’est pas avéré, car on ne détecte qu’un faible effet, qui persiste toujours très près du “bruit du fond”, c’est-à-dire du domaine d’incertitude. Mais on est systématiquement au-dessus du bruit de fond, jamais en dessous. C’est bien qu’il se passe quelque chose... J’aimerais pouvoir consacrer plus de moyens à ces recherches : avec seulement 1 ou 2 millions d’euros, on pourrait régler l’affaire en trois ou quatre ans ! il suffirait d’adjoindre à Jacques Dufour, qui est très créatif, une équipe dédiée aux mesures de chaleur et une autre à la détection d’éléments transmutés, pour systématiquement valider et reproduire ses expériences. Avec une rigueur extrême, indispensable dans un domaine aussi controversé. Mais il est impossible de trouver des budgets décents pour ces recherches. Les scientifiques sont devenus frileux : ils n’osent plus rien de peur de se tromper ! C’est vraiment dommage.

sujet reste tabou. Le Commissariat à l’énergie atomique (CEA), qui serait le plus à même de travailler sur la fusion froide, y est allergique. “C’est contraire aux lois physiques”, affirment en cœur les spécialistes de la fusion thermonucléaire.

**DES RÉTICENCES... OFFICIELLES**

Sauf que, d’après nos informations, quelques experts du Haut-Commissariat à l’énergie s’intéressent tout de même de très près aux expériences en cours à l’étranger. Le discours officiel n’en reste pas moins écrasant : “Personne ne conduit de telles recherches et personne n’a d’avis à exprimer sur le domaine.” Même silence chez EDF : comme s’il s’agissait d’une question politique brûlante, on nous répond “nous souhaitons garder le silence sur cette question”... alors qu’un expert est envoyé à toutes les conférences !

Jean-Paul Bibérian, professeur de physique à l’université de Marseille, qui, depuis de nombreuses années, fabrique toutes sortes d’expériences avec enthousiasme, organisera, en novembre, à Marseille, la prochaine conférence internationale sur la fusion froide où se rencontreront pour exposer leurs derniers travaux une centaine de chercheurs : Américains, Italiens, Japonais, Russes. Chinois... et quelques Français. L’occasion pour la communauté scientifique d’évaluer objectivement le domaine ? Il serait temps ! Car si le phénomène existe bel et bien, ses implications se-

vons que le phénomène de fusion froide existe, à travers des observations répétées de scientifiques du monde entier. Il est temps que ce phénomène soit étudié pour que nous puissions retirer quelque bénéfice que ce soit de cette nouvelle donnée scientifique.” Encore plus marquant : le 20 mars dernier, l’hebdomadaire britannique *New Scien-*

## “C’est contraire aux lois physiques”, persistent des spécialistes français

tist révélait qu’un rapport sur la fusion froide venait d’être commandé par le département de l’Energie (DOE) des Etats-Unis. Cet inventaire des recherches menées ces quinze dernières années pourrait être bouclé en janvier 2005, et déboucher sur des crédits... En France, en revanche, le

raient énormes (voir p. 64). Et y a-t-il plus beau défi que de saisir un phénomène qui se joue de la nature des éléments chimiques, qui permet de pénétrer dans le volcan nucléaire avec de simples éprouvettes et qui réalise à peu de frais le fantasme ancestral de milliers de savants ?

# 2 “ Les physiciens ne savent

# pas tout”

L'expérience historique de 1989, c'est lui ! Avec son collègue Stanley Pons, l'électrochimiste britannique Martin Fleischmann avait lancé les recherches sur la fusion froide, suscitant le scepticisme de la communauté scientifique. Il revient aujourd'hui

sur cette controverse.

## RETOUR SUR IMAGE

**L'ANGLAIS MARTIN FLEISCHMANN ET L'AMÉRICAIN STANLEY PONS**, électrochimistes, collaboraient, en 1989, à l'université d'Utah, sur des expériences d'électrolyse. En utilisant des électrodes de platine et de palladium plongées dans une solution contenant de l'eau lourde, ils obtinrent un dégagement de chaleur prouvant, selon eux, que ce simple procédé pouvait générer à froid des fusions nucléaires.

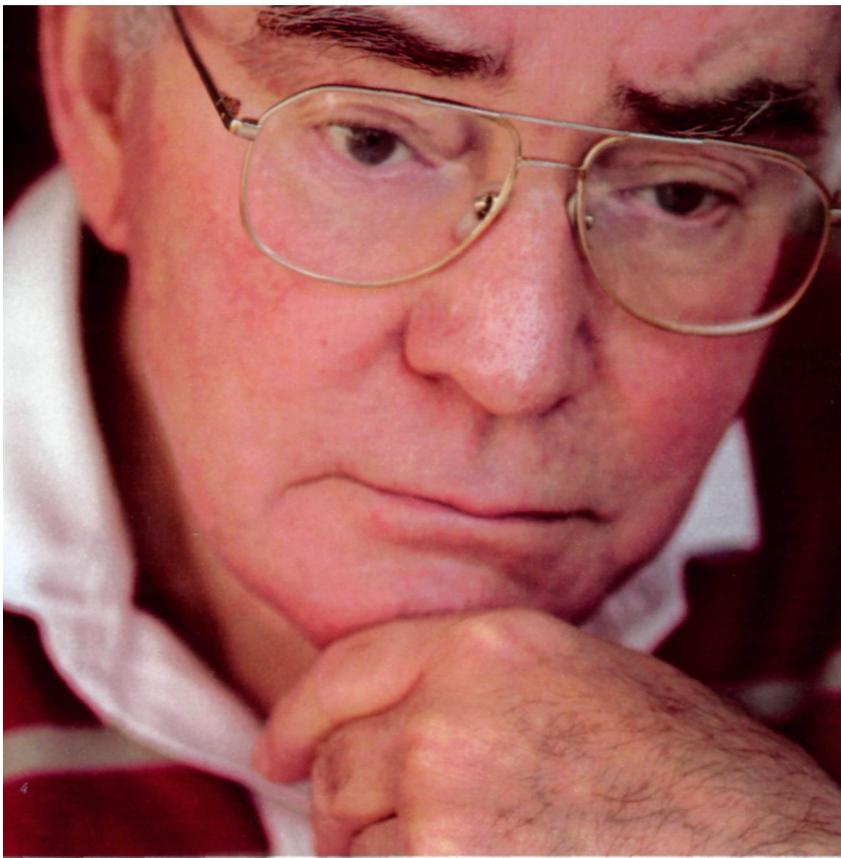
Le 23 mars 1989, Martin Fleischmann, du laboratoire d'électrochimie de l'université de Southampton, en Grande-Bretagne, et Stanley Pons, de l'université d'Utah, aux Etats-Unis, annoncent, lors d'une conférence de presse, avoir observé un phénomène inédit et stupéfiant. C'est la très fameuse expérience de la “fusion froide”, qui fait soudain entrevoir la possibilité d'une nouvelle et inépuisable source d'énergie. A l'époque, les deux scientifiques décident de précipiter leur annonce, inquiets de se faire devancer. S'ensuivent deux mois de frénésie. De nombreux laboratoires se lancent sur le sujet, la compétition fait rage pour déposer des brevets, des crédits sont débloqués dans de nombreux laboratoires de recherche, le cours du palladium flambe... Certains laboratoires confirment, d'autres ne parviennent pas à reproduire l'expérience et crient à la supercherie. Le 6 juillet 1989, alors que la polémique remplit de nombreuses pages dans les publications scientifiques les plus prestigieuses, les recherches sont finalement enterrées par John Maddox lui-même, le patron de la toute-puissante revue *Nature* dont les avis ont valeur d'arrêt. Convaincu qu'il s'agit d'une erreur scientifique, il écrit alors : “*Il semble que le temps est venu de renvoyer la fusion froide au rang d'illusion de ces quatre derniers mois*”. Quinze ans plus tard, Martin Fleischmann revient avec nous sur “l'affaire”.

**Science et Vie : Comment expliquez-vous que votre expérience ait été si mal accueillie ?**

**Martin Fleischmann :** D'une part, je pense qu'il était beaucoup trop tôt, en mars 1989, pour communiquer sur le sujet. Nos travaux devaient se poursuivre jusqu'en septembre 1990. Annoncer nos résultats à l'issue de ces dix-huit mois supplémentaires nous aurait permis de mieux contrôler la fusion froide, donc de l'exposer plus précisément, et de mieux explorer sa reproductibilité. D'autre part, les esprits étaient prédisposés à rejeter ce phénomène. Les physiciens ont une idée très fixe de ce qui est requis pour initier une réaction nucléaire. Pour eux, cela ne peut se faire qu'à de très hautes énergies. Ils ont donc tout simplement rejeté une possibilité qu'ils n'avaient pas envisagée. C'est une attitude contraire à la démarche scientifique, qui doit rester ouverte aux imprévus ! Il faut dire qu'accepter cette idée nécessite une bonne connais-



^ Pons et Fleischmann, en 1989, devant leur expérience.



sées chaque année. Mais il est difficile de faire ces recherches officiellement, alors que ce sont des expériences délicates, que l'on ne peut pas faire dans sa cuisine... Il faut un laboratoire suffisamment équipé !

**S&V : Qu'est ce que cette condamnation sans appel signifie pour vous ?**

**MF. :** J'ai le sentiment que la science traverse une crise. Que la science en général est malade. Les gens considèrent que toute la vérité scientifique est déjà révélée, ce qui est absurde. On n'a pas encore d'idée précise de la cosmologie, on ne comprend pas vraiment la chimie, on ne comprend pas la biologie, on n'a pas encore intégrée la mécanique quantique. Mais on fait pourtant comme si on savait déjà tout, comme si on avait perdu l'envie de comprendre...

**S&V : Comment voyez-vous l'avenir de la fusion froide ?**

**MF. :** Les expériences que les chercheurs ont réalisées jusqu'à présent, sont très bonnes, elles sont de plus en plus convaincantes. Mais ce qu'il faudrait aujourd'hui pour remporter l'adhésion, c'est une expérience technologique, une expérience de grande échelle. Je n'ai jamais douté de la validité de ces résultats, et je suis persuadé qu'un jour la preuve irréfutable du phénomène sera mise au jour, accompagnée d'une bonne explication théorique. Sûrement dirait-on que nous avons eu une bonne intuition, mais que nous ne savions pas vraiment ce que nous faisons...

**S&V : Et votre avenir personnel ?**

**MF. :** J'ai été soutenu et suivi, par une poignée de scientifiques, dès le début. Mais j'ai 77 ans aujourd'hui, et même si je continue à conseiller certains laboratoires, comme celui de l'US Navy, je prends de moins en moins part aux recherches. J'estime avoir fait tout ce que j'ai pu ! I

sance de la théorie quantique des champs, c'est-à-dire la mécanique quantique appliquée aux champs (notamment au champ électromagnétique), une discipline complexe qui est très mal comprise des physiciens, surtout quand elle s'applique à la matière solide. Ils sont persuadés que la physique quantique ne s'applique qu'aux particules isolées, alors que c'est bien plus général !

**S&V : Etiez-vous guidés dans vos expériences par une idée théorique ?**

**MF. :** Bien sur ! Ce n'était pas un hasard, nous n'avancions pas dans le vide. Nous n'avions pas exposé d'idée théorique parce qu'elle n'était pas mûre, mais nous pensions qu'il était possible que des réactions nucléaires se produisent dans la matière condensée, par le biais de phénomènes quantiques. Nous comptions sur un tel effet, même si nous n'étions pas convaincus que nous aurions des résultats aussi vite.

**S&V : Que s'est-il passé une fois que Nature a rejeté votre expérience ?**

**MF. :** La polémique a été telle que toutes les publications ont été rejetées, les miennes comme nombre d'autres. Encore actuellement, le "boycott" continue : le remarquable travail d'Antonella De Ninno à l'Enea de Frascati (voir p. 48) a été refusé sans aucune raison valable. C'est un rejet de principe, incompréhensible de la part de scientifiques. Et c'est aussi le meilleur moyen de condamner un domaine de recherche. Sans publication, personne ne peut avoir connaissance des travaux, ni pour les confirmer ni pour les infirmer, et l'échange avec le reste de la communauté scientifique ne fonctionne pas.

Heureusement, il y a beaucoup de chercheurs dans le monde qui continuent de travailler sur le sujet comme ils le peuvent, et qui ont créé leurs propres moyens d'échanger les informations, à travers, notamment, des conférences internationales organi-

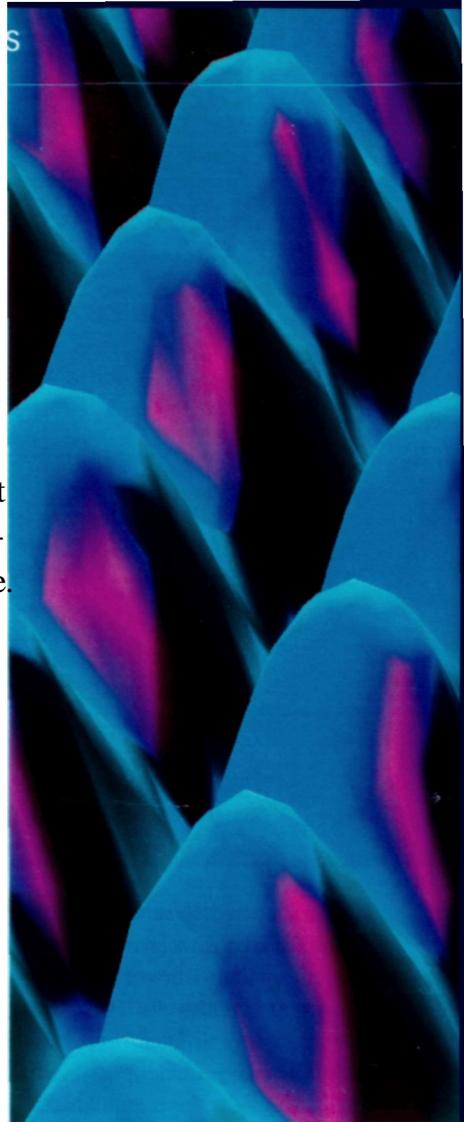
# 3 vers un début d'explication théorique?

Si, pour la plupart des physiciens, les transmutations relèvent du “miracle”, plusieurs hypothèses rivalisent pourtant aujourd’hui pour les expliquer scientifiquement. Une étape cruciale.

Concocter en laboratoire des transmutations nucléaires à basses énergies ? Si le pari semble tenter de plus en plus de scientifiques malgré l’affreuse réputation qui s’attache à ce genre de recherches, une chose est sûre : les “nouveaux alchimistes” vont bien devoir expliquer un jour par quelle “magie” ces réactions se produisent. Même si leurs résultats sont de plus en plus probants (voir article 1), il leur faudra, par exemple, détailler comment de l’hydrogène inséré dans un cristal de palladium peut

se transformer en hélium à température ambiante. Une question cruciale pour donner une légitimité scientifique à des phénomènes qui laissent encore largement perplexes. Mais est-il seulement possible d’intégrer dans le corpus théorique ce que la plupart des physiciens, sceptiques, ne se privent pas d’appeler des “miracles” ?

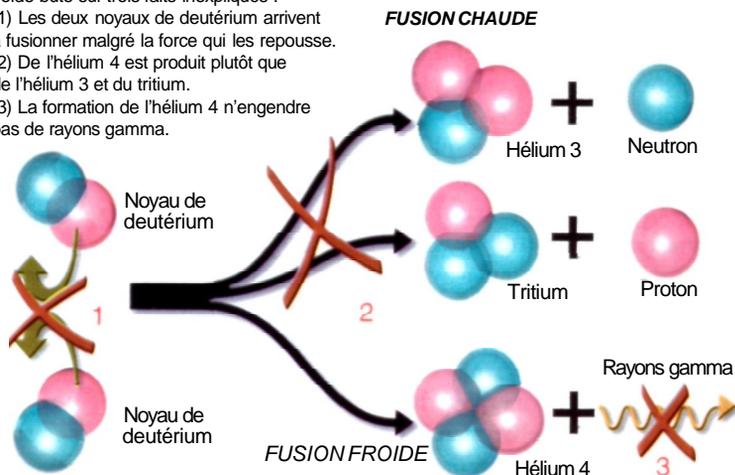
Trois miracles, même, si l’on reprend l’expérience de fusion froide “à la Pons et Fleischmann” du deutérium, un élément apparenté à l’hydrogène dont le noyau comprend un



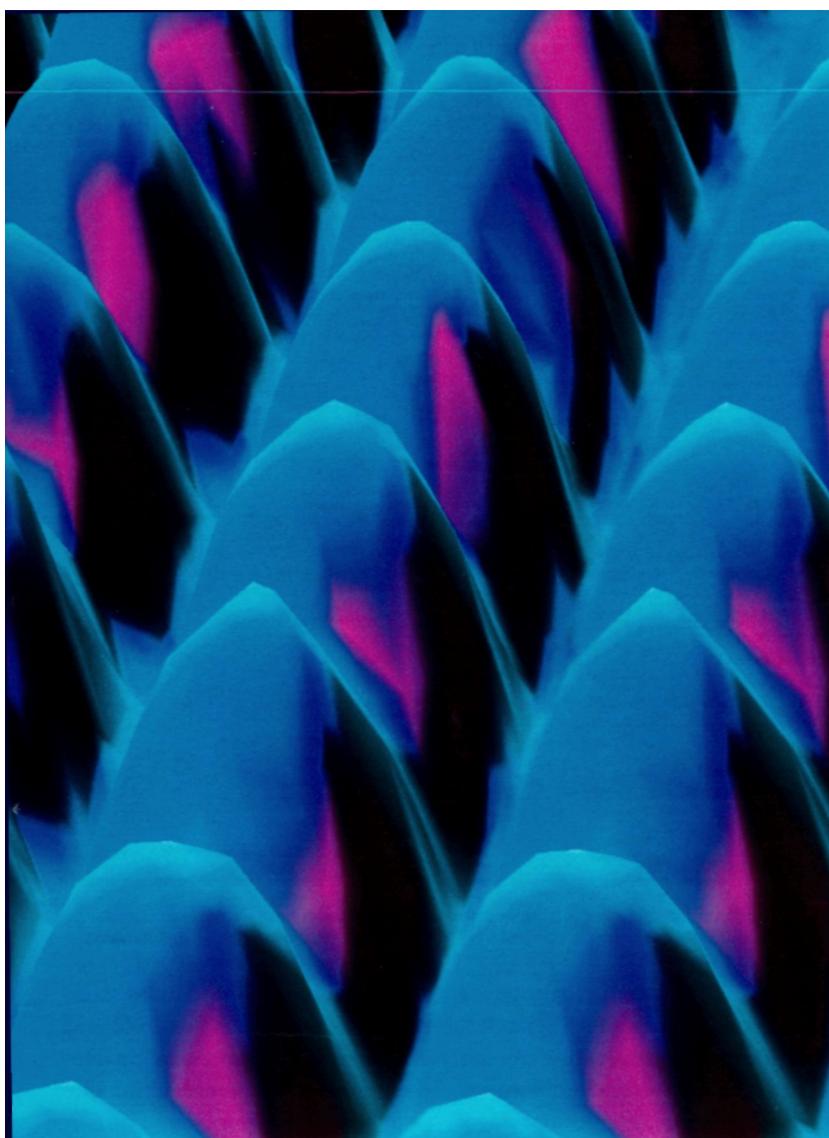
## Les trois “miracles” de la fusion froide du deutérium

Contrairement à la fusion chaude, la fusion froide bute sur trois faits inexplicables :

- (1) Les deux noyaux de deutérium arrivent à fusionner malgré la force qui les repousse.
- (2) De l’hélium 4 est produit plutôt que de l’hélium 3 et du tritium.
- (3) La formation de l’hélium 4 n’engendre pas de rayons gamma.



proton et un neutron (voir infographie ci-contre). Le premier miracle ? Les deux noyaux qui fusionnent passent allègrement la terrible “barrière coulombienne” qui devrait normalement les repousser loin l’un de l’autre, les deux étant de charge positive. Deuxième miracle : cette fusion produit toujours un nouveau unique d’hélium 4, constitué de deux protons et deux neutrons, alors qu’à haute énergie, elle laisse presque toujours un proton ou un neutron libre. Troisième miracle : quand de l’hélium 4 est produit malgré tout en fusion chaude (une fois sur cent mille), il s’accompagne de rayons gamma d’une énergie bien déterminée



^ L'agencement atomique régulier d'un cristal (ici, de nickel) pourrait abriter des phénomènes quantiques qui expliqueraient les transmutations à basse énergie.

(23,8 mégaélectronvolts), que l'on ne détecte pas en fusion froide. En leur temps, Pons et Fleischmann ne purent expliquer ces mystères.

#### LA SUPRACONDUCTIVITÉ À BASSE TEMPÉRATURE EN EXEMPLE

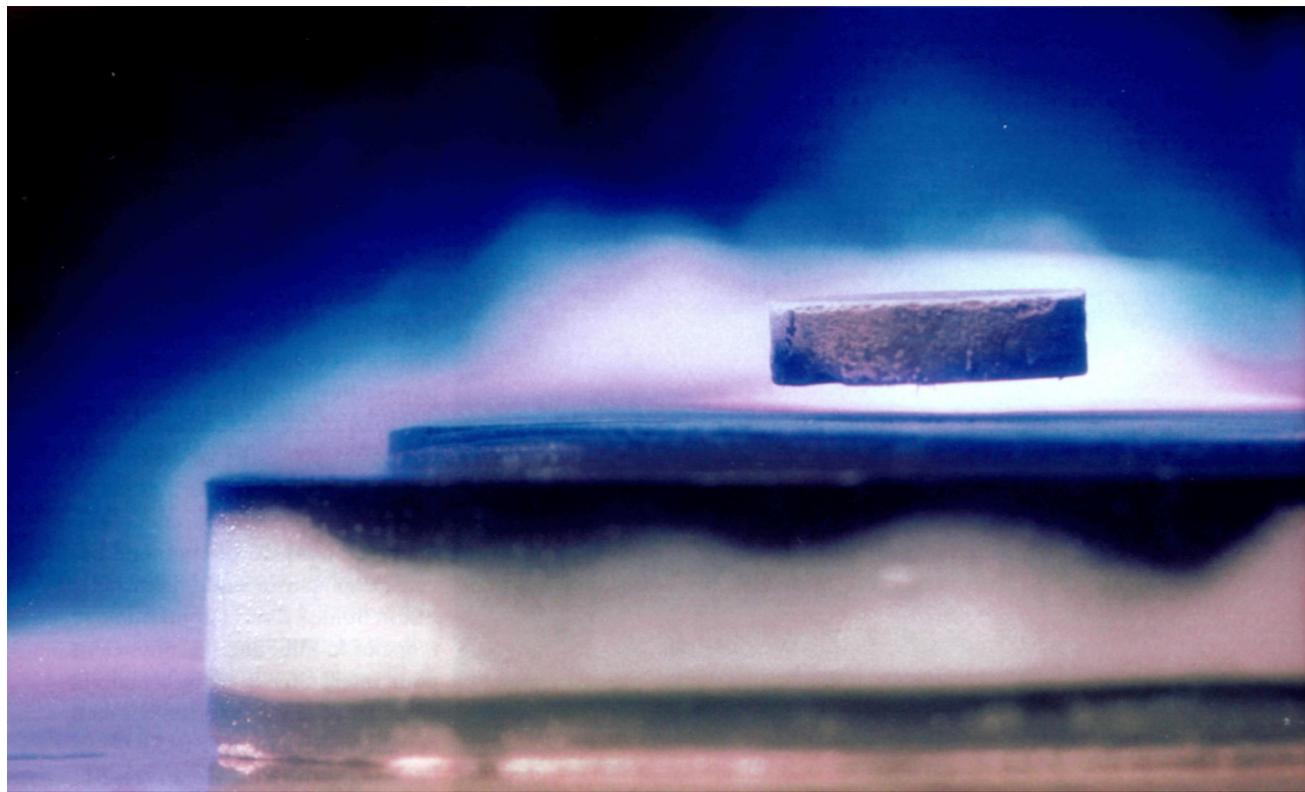
On leur a même reproché de ne pas être morts pendant leur expérience d'un bombardement de neutrons, ce qui aurait, pour le coup, convaincu les physiciens de l'existence de réactions nucléaires... La plupart de ces derniers considèrent donc que les transmutations ne sont que des illusions, dues à des erreurs expéri-

mentales. Mais pourquoi ne pas imaginer qu'un phénomène physique encore inconnu émerge au sein du cristal de palladium, démystifie les trois miracles et autorise vraiment la fusion froide ? Car si fusion il y a, il est logique de penser qu'elle est fort différente de celles qui se passent à l'intérieur des réacteurs nucléaires dans lesquels un plasma est chauffé à plusieurs centaines de millions de degrés. Et ce, d'autant plus que le comportement collectif de ces protons et neutrons au sein du cristal de palladium reste encore aujourd'hui largement mystérieux...

Certes, grâce à la mécanique quantique, les physiciens ont de très bons modèles de l'atome, de l'interaction électromagnétique entre ses électrons et son noyau, des forces nucléaires qui agitent protons et neutrons à l'intérieur du noyau et même des règles qui régissent les quarks, constituants élémentaires de ces protons et neutrons. Mais ils ont plus de mal à modéliser les échelles supérieures, en particulier lorsque des milliards d'atomes s'organisent en réseau cristallin pour former des solides. N'y a-t-il donc pas la place dans cette pratique de la "matière condensée" encore mal maîtrisée pour un phénomène encore inexpliqué sur lequel reposerait la fusion froide ? Il suffit pourtant de se rappeler la difficulté des physiciens pour interpréter la perte brutale et complète de résistance électrique dans certains matériaux ultra-froids observée expérimentalement dès 1911. S'ils durent attendre 1950 pour expliquer cette "supraconductivité à basse température" à partir des équations quantiques et comprendre comment ce phénomène collectif émerge dans certains solides, ils cherchent en- ...

#### ENJEUX

Pour faire admettre la validité de leurs travaux, les chercheurs en réactions nucléaires à basse énergie doivent aujourd'hui relever un sérieux défi : les expliquer théoriquement. Car si les "preuves expérimentales" sont déterminantes pour faire accepter un phénomène, il est tout autant nécessaire d'en trouver une explication dans le corpus des lois physiques. Quitte à les modifier. C'est le propre d'une discipline scientifique en pleine gestation : il est indispensable que l'expérience et la théorie se nourrissent l'une de l'autre. Ce n'est qu'alors que pourront être envisagées des applications concrètes.



... core l'interprétation théorique de la "supraconductivité à haute température" mise en évidence en 1986...

En tous les cas, ce ne sont pas les idées qui manquent pour justifier la fusion froide. Même si aucune ne s'est, pour l'instant, imposée, de nombreuses pistes ont été explorées. Une des plus réputées est celle de Giuliano Preparata, un physicien italien de l'université de Milan, qui a travaillé sur la question jusqu'à sa mort en 2000, avec Antonella De Ninno de l'Enea (voir article 1). Selon cette thèse, que soutient aujourd'hui aussi

**^ Les transmutations peinent à trouver une explication théorique... comme la supraconductivité, dont personne ne conteste pourtant qu'elle peut faire léviter des aimants.**

tions quantiques qui régissent les atomes de palladium du cristal pourraient en effet laisser émerger un étrange comportement : tous les électrons des atomes de ce cristal pourraient se mettre à vibrer à l'unisson, jusqu'à ne plus former qu'une seule et même onde de matière. Les noyaux de deutérium qui s'accumulent dans les interstices du cristal ne se comporteraient alors plus comme des individus isolés, mais vibreraient eux aussi en cohérence pour ne former à

négatifs pourrait ici suffisamment diminuer la répulsion entre les noyaux (et donc la hauteur de la barrière coulombienne du premier miracle) pour autoriser la fusion.

#### **UNE BIEN ÉTRANGE PARTICULE...**

De plus, le processus se passant plus lentement que dans un plasma, les noyaux de deutérium auraient le temps de mettre en commun tous leurs protons et neutrons au lieu de se scinder violemment. D'où la production "miraculeuse" d'hélium 4. Enfin, dans ces milieux condensés, l'énergie de la fusion serait dépensée dans la matière sous forme de vibration du cristal (et donc de chaleur) plutôt que par l'émission de rayons gamma...

Cependant, si certains proposent des versions proches de celle de Preparata, liée à des phénomènes de cohérence, comme Peter Hagelstein, physicien au Massachusetts Institute

## **Le nombre de théories n'indique-t-il pas qu'une science est en train de naître?**

Martin Fleischmann, il faut en passer par la très complexe théorie quantique des champs, qui conçoit les interactions elles-mêmes en termes de particules. Sous certaines conditions (en présence d'un champ électromagnétique notamment), les équations

leur tour qu'une seule onde. Une théorie qui doit encore être développée pour englober les transmutations des autres éléments chimiques, plus complexes, mais qui semble d'ores et déjà capable d'expliquer les trois miracles. De fait, le bain d'électrons

## DES MUONS POUR LA FUSION

Depuis les prédictions de deux grands physiciens russes, Andreï Sakharov et Iliia Frank, dans les années 40, on sait que la fusion nucléaire est bel et bien possible à température ambiante... Mais dans un contexte très particulier : quand les électrons des atomes sont remplacés par des muons, des particules élémentaires négatives possédant exactement les mêmes caractéristiques que l'électron, mais pesant 200 fois plus lourd. Du fait de cette masse, le muon gravite beaucoup plus près du noyau que l'électron, ce qui rend ce noyau moins répulsif : la charge négative du muon compense celle, positive, du noyau jusqu'à une petite distance d'approche. Vu de loin, l'atome ressemble donc à un neutron et la fusion avec un autre atome peut alors se faire facilement. Un procédé inexploitable en pratique car la production de muons demeure très complexe et coûteuse. D'autant que ces particules ne vivent pas plus de  $10^{-6}$  seconde...

chercheurs du Cnam pensent que la présence de ces hydrex au sein du cristal déclenche les réactions nucléaires et résout les trois miracles.

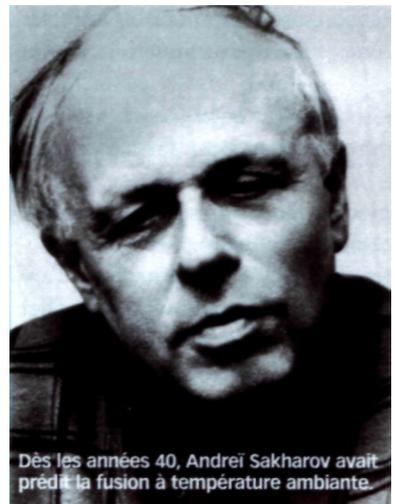
Dans un tout autre registre, le physicien français Georges Lochak, ancien collaborateur du prix Nobel Louis de Broglie, croit, lui, en sa théorie des "monopôles magnétiques légers", une théorie née au début des années 80 à partir de l'étude de l'équation de Dirac, l'équation quantique de base pour décrire l'électron.

### OBSERVATIONS CONFIRMÉES

Selon Georges Lochak, cette équation laisse en effet entrevoir l'existence d'une nouvelle particule, qui serait au magnétisme ce qu'est l'électron pour l'électricité, une étrange particule magnétique à un seul pôle, un pôle nord unique ou un pôle sud unique. " *Un monopôle magnétique qui pénètre dans un novau pourrait le déséquilibrer et le faire transmuter*", avance-t-il...

Si cette idée n'a guère trouvé d'écho en France, elle intéresse en revanche fortement le physicien Leonid Ouroutskoïev, qui travaille sur les transmutations à basse énergie à l'Institut Kourtchatov de Moscou. En faisant exploser des feuilles de titane dans l'eau pour les transmuter, il a décelé des traces étranges sur les émulsions photographiques qui pourraient correspondre à ces fameux monopôles ! Des observations qui semblent confirmées lors de toutes récentes expériences réalisées à l'université de Kazan, en Russie, au début du mois de mars dernier...

Reste que de nombreuses autres interprétations existent, si diverses qu'il est impossible de les recenser de façon exhaustive. Bien sûr, la plupart se révéleront inévitablement stériles. Mais cette disparité de théories n'est-elle pas l'indice d'une science en genèse ? Au bout du compte, l'expérience tranchera.



Dès les années 40, Andreï Sakharov avait prédit la fusion à température ambiante.

of Technology (MIT), d'autres s'en écartent complètement. Une piste très différente propose, par exemple, que les électrons restent attachés à leur noyau lors du processus de fusion, et y participent même activement, comme ce que l'on observe en "fusion muonique" (voir encadré ci-contre). C'est l'idée de Jacques Dufour et Jacques Foos, du Cnam. Selon eux, à l'intérieur d'un solide et en présence d'un champ électromagnétique intense, l'électron, qui est normalement en orbite à 0,05 nanomètre autour du noyau d'hydrogène, se rapproche considérablement de celui-ci, formant ce qu'ils appellent un "hydrex", un atome d'hydrogène "rétréci". Pour une particule un peu lointaine, cette promiscuité entre le noyau positif et l'électron négatif fait ressembler l'hydrex à un neutron, ce qui diminuerait largement la barrière coulombienne... Sans spéculer sur ce qui se passe précisément à petite échelle, les

# 4 La poule aux œufs d'or?

Dans la nature, certains phénomènes inexplicables pourraient en fait impliquer des réactions nucléaires à basse énergie. Une hypothèse qui ouvre de belles perspectives... à condition d'être vérifiée!

Et pourtant elles pondent ! C'était le constat étonné d'un tout jeune observateur, jouant les Galilée de basse-cour au début du XX<sup>e</sup> siècle : malgré l'absence de calcaire dans le sol granitique de sa ferme bretonne natale, les poules que nourrissait sa mère poussaient des œufs dotés de coquilles normales, constituées à partir de calcium. Tourmenté par cette épineuse question dès son plus jeune âge, Louis Kervran devint biologiste et fit un tabac dans les années 60 avec ses livres sur les transmutations bio-

paillottes brillantes de silicate que l'on trouve dans le sable sont composées principalement de silicium. Or, les poules se jettent dessus (*"avec une volupté certaine"*, précise-t-il) et se remettent à pondre des œufs normaux dès le lendemain. Preuve, selon lui, que les volailles arrivent à transmuter le silicium en calcium.

## Tout est parti de l'idée que les poules transmuteraient le silicium en calcium

giques. Selon lui, la poule bretonne serait en réalité un... véritable réacteur nucléaire ! Expériences à l'appui, Louis Kervran prétend en effet que, une fois enfermées dans un poulailler au sol battu d'argile et privé de calcium pendant quelques jours, ces gallinacés pondent des œufs à coquille molle... jusqu'à ce qu'on leur donne du mica à picorer. Ces petites

Kervran est aujourd'hui cité en exemple par des chercheurs convaincus que les réactions nucléaires à basse énergie sont à même d'expliquer certains mystères de la nature : *"Si, comme on le voit en fusion froide, des phénomènes nucléaires peuvent survenir à basse énergie, pourquoi des transmutations ne se produiraient-elles pas au sein des organismes vivants ?"*, s'interrogent-ils.

Reste que, dans le cas de la poule, les spécialistes modernes de la question sont pour le moins sceptiques. Voire franchement amusés. Car son métabolisme calcique ne fait aujourd'hui plus guère de mystère. Il a donné lieu à de nombreuses études, étant donné l'intérêt économique certain à bien maîtriser la solidité de la coque des quelque 850 milliards d'œufs produits chaque année.

### EXIT LES DÉCHETS RADIOACTIFS?

En fait, la volaille stocke pendant la journée le calcium issu de son alimentation dans ses os, pour puiser ensuite dans cette réserve transitoire pendant la nuit et fabriquer la co-





^ Lors de fouilles archéologiques, les datations au carbone 14 donnent parfois lieu à des aberrations... que des transmutations naturelles pourraient élucider !

< Les coquilles d'œuf procèdent-elles d'une "alchimie nucléaire"? Louis Kervran le pensait...

quille. Des stocks suffisants pour pallier des carences de plusieurs jours, voire de plusieurs semaines... Bref, la poule a beau produire chaque année l'équivalent de son propre poids en coquilles, il n'y aurait là aucune "alchimie nucléaire". N'en déplaise aux aficionados de Louis Kervran...

Mais, selon Jean-Paul Bibérian, maître de conférences à l'université de Marseille, il existe aujourd'hui des expériences de transmutations à l'intérieur du vivant beaucoup plus probantes. Le physicien a ainsi cultivé des bactéries marines et soutient que celles-ci produisent jusqu'à 18 nou-

veaux éléments (chrome, fer, cobalt, nickel, cuivre, zinc, argent, plomb, etc.) aux dépens du potassium, du calcium, du magnésium, du sodium et du soufre présents dans leur milieu de culture d'origine... Il a par ailleurs observé, au cours d'autres expériences, que la teneur en mercure du blé décroît de moitié pendant sa germination. Et ce n'est rien à côté de celle de l'avoine qui diminue d'un facteur 20 !

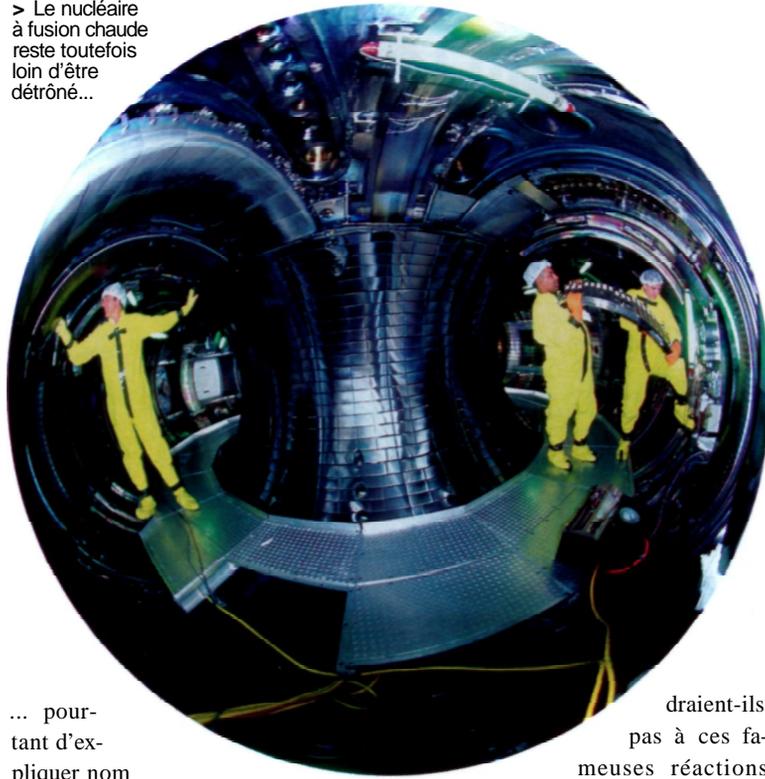


< La composition isotopique anormale des météorites suscite des interrogations.

Pour Vladimir Vysotskii, physicien à l'université de Kiev, en Ukraine, la transmutation naturelle est même une piste technologique sérieuse pour la décontamination nucléaire : il prétend avoir démontré la possibilité d'utiliser les transmutations dans les cultures microbiologiques pour éliminer les déchets nucléaires hautement radioactifs ! Le problème, c'est qu'il est difficile de se faire une idée objective sur la validité de ces expériences. Et cela le restera tant que le sujet ne sera pas sérieusement étudié par la communauté scientifique.

Cette alchimie naturelle permettrait ...

> Le nucléaire à fusion chaude reste toutefois loin d'être détrôné...



... pourtant d'expliquer nombre de mystères, plus profonds que celui de l'œuf et de la poule. L'existence de transmutations dans l'atmosphère justifierait, par exemple, la distribution anormale des isotopes de l'oxygène (atomes d'oxygène comportant un nombre différent de neutrons dans leurs noyaux) observée dans la couche d'ozone. Cela éclairerait aussi certaines données de cosmochimie encore obscures, comme les différences entre les compositions isotopiques

draient-ils pas à ces fameuses réactions nucléaires à basse énergie? Autre exemple de question sans réponse : la datation au carbone 14, qui utilise la composition isotopique du carbone, donne lieu à des polémiques, comme lors de l'évaluation de l'âge des peintures rupestres de la grotte Chauvet. Encore un coup des transmutations naturelles qui perturberaient le nombre d'atomes de carbone 14 ?

La majorité des physiciens - même à l'intérieur de la petite communauté

## Au bout de la fusion froide, il y a peut-être une fantastique source d'énergie !

relevées sur des météorites et celles relevées sur Terre : ces morceaux de matières venus de l'espace produisent des données qui ne correspondent pas aux connaissances actuelles sur la nucléosynthèse, la science de la formation des nouveaux atomes dans l'Univers. Les physiciens parlent même à ce propos de FUN pour *Fractionation and unknown nuclear effects*. Ces "effets nucléaires inconnus" ne correspon-

pratiquant les réactions nucléaires à basse énergie -, ne croient pas en ces recherches. "*Les transmutations à basse énergie nécessitent des conditions très particulières, qu'on ne trouve pas spontanément dans la nature*", souligne Jacques Foos, physicien au Conservatoire national des arts et métiers. *Notamment des champs électromagnétiques suffisamment puissants.* " Mais, vu son pouvoir explicatif, le sujet ne

mérite-t-il pas d'être étudié plus profondément? D'autant que tous les spécialistes de la fusion froide tombent d'accord sur une chose : la possibilité d'en faire une source d'énergie.

A l'heure où de nombreux pays s'allient pour construire le plus gros réacteur expérimental à fusion chaude, baptisé Iter, énorme machine dont la construction, évaluée à près de 5 milliards d'euros, devrait durer dix ans, les spécialistes de la fusion froide entendent faire valoir leur droit à étudier ce phénomène au grand jour. Des brevets sont régulièrement déposés par des laboratoires de recherche ou par des physiciens indépendants en quête de l'invention qui pourrait révolutionner la politique énergétique mondiale ! Car la possibilité de récupérer sous forme de chaleur l'énorme énergie nucléaire qui assure la cohésion des noyaux, à peu de frais et sans déchets polluants, serait sans conteste la véritable poule aux œufs d'or...

### EN SAVOIR PLUS

<http://www.lenr-canr.org>

Le site web en anglais recensant toutes les recherches sur les transmutations nucléaires à basse énergie.

<http://www.spawar.navy.mil/sti/publications/pubs/tr/1862/tr1862-vol1.pdf>

Le rapport de l'US Navy sur plus de dix années de recherches consacrées à la fusion froide.

**xi<sup>e</sup> conférence internationale** sur la science nucléaire dans la matière condensée, du 31 octobre au 5 novembre 2004 à Marseille. Site web en anglais : [www.iccf11.org](http://www.iccf11.org)

**"A la découverte de transmutations biologiques"**, de Louis Kervran, aux éditions Le Courrier du livre.