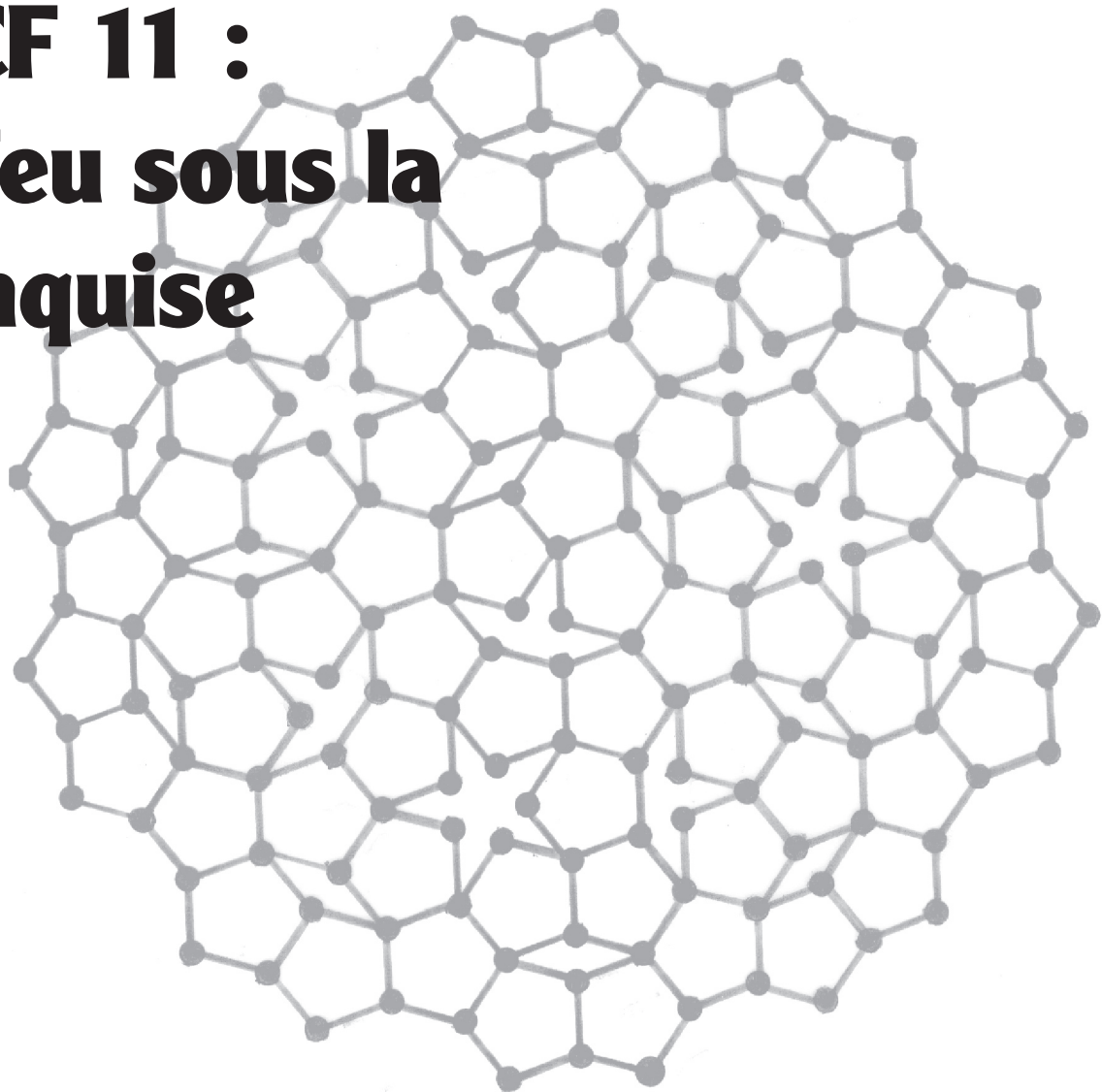


Fusion froide

ICCF 11 : le feu sous la banquise



Participants à la 11^{ème} Conférence Internationale sur la Fusion Froide (ICCF11). Le prix nobel, Brian Josephson est au centre et tient des documents à la main.

FABRICE DAVID

Au 4^{ème} siècle avant JC, vivait à Massalia (Marseille) un jeune astronome que la postérité connaît sous le nom de Pythéas le marin. Ce n'était pas un marin à proprement parler : bien que Polybe le prétende pauvre, il était probablement le fils d'une riche famille d'armateurs de la ville qui était alors une cité grecque. Il reçut une solide formation scientifique et connaissait visiblement l'expérience dite « d'Eratosthène » bien avant que celui-ci ne l'ait décrite. Les grecs en avaient reçu l'enseignement des égyptiens. Parce que celui-ci l'avait consignée dans ses volumes, l'histoire associa le nom du conservateur de la

bibliothèque d'Alexandrie avec cette méthode de mesure du diamètre terrestre. Pythéas fit un long périple dans l'océan atlantique nord et la Baltique à la recherche du minerai d'étain et des gisements d'ambre. Il donna la latitude précise de divers lieux rencontrés au cours de son voyage. De retour à Marseille, il consigna ses observations dans son ouvrage majeur « De l'Océan ». ¹ Ses livres n'ont malheureusement pas traversé les siècles mais de nombreux auteurs grecs et latins les ont cités. On sait en particulier qu'il découvrit la banquise et l'Islande, mais que personne à son retour à Marseille ne voulut croire que la mer pouvait se figer en hiver et fondre au printemps. Il y a 24 siècles, ce fut la première controverse de la « Fusion Froide ».

Le professeur Jean-Paul Biberian de l'université de Marseille avait choisi le centre de conférence Mercure-Centre qui surplombe les vestiges de l'ancien port grec de Massalia, pour accueillir la 11^{ème} Conférence Internationale sur la Fusion Froide (ICCF 11) Bien entendu, il n'était pas question de la fusion de la banquise lors de ces débats, encore que la question du réchauffement global soit dans tous les esprits. La conférence traitait du problème très actuel de la fusion catalysée des éléments légers, promesse d'un océan inépuisable d'énergie pour l'humanité.

De nombreux scientifiques de premier plan avaient fait le déplacement à Marseille pour cet événement, dont le prix Nobel Brian Josephson, et bien sûr Martin Fleischman lui-même, celui qui découvrit le phénomène de « Fusion Froide ». Le Vice-Président du Sénat Jean-Claude Gaudin a rappelé l'importance de la fusion dans son discours de bienvenue à la mairie de Marseille. Le Sénateur a notamment exhorté l'Europe, la Chine et la Russie à construire à côté de Marseille le réacteur de fusion « ITER ». Il a souligné que la fusion « froide » ne s'opposait pas à la fusion « chaude », bien au contraire, mais que les véritables adversaires étaient ceux qui avaient une vision « tiède » et sans envergure du développement scientifique. Ce discours fut chaleureusement applaudi par l'assistance.

Les Japonais avaient envoyé une importante délégation ainsi que les Russes, les Ukrainiens et les Biélorusses. Les chercheurs de l'Institut Kourchatov étaient notamment venus en

nombre présenter leurs travaux. Des chercheurs venus de différents centres de la Marine américaine et du centre Lawrence Livermore avaient eux aussi traversé l'Atlantique.

Devant un bécher d'un litre contenant 500 ml d'oxyde de deutérium, les pessimistes verraient un verre à moitié vide, et les optimistes un verre à moitié plein. On pourrait en dire autant de cet événement scientifique majeur : pas encore de voiture propulsée par la fusion contrôlée rugissant sur le parking du centre de conférence, mais plus de 1500 publications scientifiques qui s'accumulent, formant un socle d'évidence scientifique incontournable : 15 ans après les premières observations de Stanley Pons et du professeur Martin Fleischman à Salt Lake City ², la réalité de ce phénomène nié par la science officielle ne fait plus aucun doute.

Les dernières avancées de la recherche dans ce domaine viennent conforter le camp des optimistes et des résultats impressionnants ont été présentés, autant dans le domaine théorique que dans le domaine expérimental.

Côté théorie, cette année a vu sans contestation aucune s'imposer l'hypothèse du condensat de Bose-Einstein, présentée aux lecteurs de la revue FUSION dès 1994. ³ De nombreux théoriciens réputés dont des chercheurs américains et chinois, sont venus présenter leur travaux sur les condensations quantiques dans les alliages métalliques deutériés. Dans le rôle de l'outsider, la théorie des isomères de spin tentait-elle aussi d'expliquer le « 1^{er} miracle de Huizenga ».

Le professeur Huizenga est l'opposant à la Fusion Froide le plus connu. Il a écrit plusieurs livres à succès et donne souvent des entretiens télévisés pleins de verve, mais aussi d'une certaine mauvaise foi. Il a cependant posé deux bonnes questions qui, telles des nœuds gordiens, demandent à être tranchées avant que l'on puisse progresser plus avant dans la compréhension du phénomène.

1^{er} « miracle de Huizenga » : « Où passe donc l'énergie dégagée lors des fusions des noyaux de deutérium ? ». L'on sait qu'une réaction de fusion devrait dégager des quantités de radiation colossales et pourtant l'on observe de la chaleur mais pas de rayonnement. Quinze ans après ses

expériences de Salt Lake City qui auraient dû le griller sous les neutrons et les rayons gamma, le professeur Fleischman se porte à merveille et n'a rien perdu de son humour. Où passe donc l'énergie ? Un chercheur russe a suggéré que cette énergie puisse se retrouver stockée dans la rotation de certains noyaux appelés « isomères nucléaires ». D'autres scientifiques expliquent que l'énergie est absorbée par un « Condensat de Bose-Einstein », sorte de phase superfluide des noyaux de deutérium.

Le « deuxième miracle de Huizenga » se trouve résumé par la question : « Quel est le phénomène qui déclenche la fusion froide des noyaux ? » En effet, la condensation quantique ne suffit pas à déclencher la fusion, sinon les atomes d'hélium superfluide fusionneraient en carbone ! D'évidence, on n'observe pas de dépôt de suie dans les cryostats contenant de l'hélium liquide superfluide, pas plus qu'il n'y pousse des cristaux de diamant.

RUSSIE : LE RETOUR DES MONOPOLES

La deuxième surprise de ce congrès nous vient de l'Est : dans leur quête de l'énergie de fusion les chercheurs de l'Institut Kourchatov ont découvert un phénomène tout à fait extraordinaire : dans certaines conditions, les particules insaisissables que sont les neutrinos seraient promues dans un état énergétique excité et deviendraient des « monopoles magnétiques ». Cette transformation, prévue par le théoricien français Georges Lochak, ne pourrait intervenir que dans des conditions bien particulières de variation rapide des champs magnétiques dans l'espace et le temps, ce qui explique que le phénomène n'ait pas été mis en évidence plus tôt.

Les lecteurs de FUSION avaient découvert ces résultats de l'équipe du professeur Urutskoiev en avant-première dans le numéro de décembre 2002 de notre revue. ⁴ Lors de l'explosion de feuilles métalliques minces sous l'effet d'un courant intense, des instabilités magnétohydrodynamiques confinent les lignes de forces du champ magnétique et augmentent la densité énergétique jusqu'à des

valeurs extraordinaires. C'est alors qu'aurait lieu la « transformation de Lochak ». Autant les neutrinos sont des particules évanescentes, autant les monopoles sont des particules difficiles à ignorer : elles traversent la matière comme un éléphant dans un magasin de porcelaine ! Selon Henri Lehn, de la Fondation Louis de Broglie, le passage de ces particules dans des cristaux de molécules polaires instables comme le nitrate d'ammonium entraînerait la décomposition de ceux-ci. Cette décomposition pourrait être la cause de l'accident de l'usine AZF de Toulouse. (figure 1, figure 2) ⁵

Il s'agit manifestement d'une découverte de toute première importance. Si l'action sur les explosifs se confirme, l'on imagine facilement les applications d'un émetteur de monopoles, par exemple pour protéger un avion de ligne contre un missile en ascension. En tout cas les monopoles errants provoqueraient aussi des fusions catalysées, et pourraient expliquer le « deuxième miracle de Huizenga », complétant de façon bienvenue l'hypothèse des condensats de Bose-Einstein qui explique correctement le « 1^{er} miracle. » Petit à petit toutes les pièces du puzzle scientifique de la fusion froide se mettent en place sous nos yeux.

Selon des chercheurs russes, le passage de monopoles dans un réacteur nucléaire pourrait influencer sur l'émission de neutrons retardés, ce qui modifierait la marche du réacteur dans le sens d'un état moins stable. Il semblerait que l'incident de Tchernobyl ne soit pas dû à une erreur de conception des réacteurs RBMK, comme les milieux écologistes l'ont un peu vite affirmé, mais ai été causé au contraire par le passage d'un faisceau de monopoles à travers le cœur. Ce faisceau aurait eu pour origine un arc électrique ayant jailli dans la cuve d'un transformateur quelques instants avant l'accélération intempestive de la réaction en chaîne. Il faut rapprocher cette observation des mystérieuses augmentations transitoires de puissance relevées dans les réacteurs rapides, et qui étaient traditionnellement attribuées au passage de bulles d'argon dans le cœur. Si ces théories audacieuses étaient confirmées, on pourrait imaginer qu'une flotte de navires de combat équipée d'un puissant

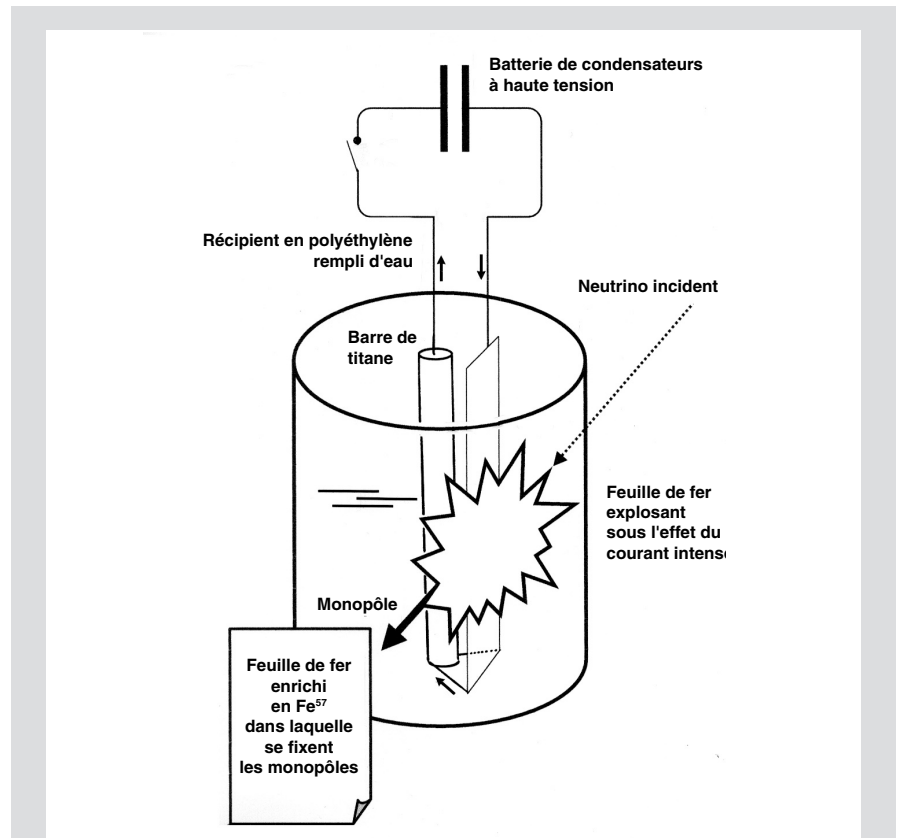


Figure 1. DISPOSITIF DE PRODUCTION DE MONOPÔLES UTILISÉ PAR L'ÉQUIPE D'URUTSKOIEV

émetteur de monopôles puisse se protéger contre un sous-marin nucléaire d'attaque hostile en mettant à distance ses machines en avarie.

Dans un domaine moins spéculatif, la détection des neutrinos est un problème stratégique fondamental, puisqu'elle permettrait de localiser précisément tous les réacteurs nucléaires situés sur terre ou bien dans la proche banlieue terrestre. On pourrait aussi détecter et mesurer à distance les concentrations de matériaux radioactifs. Ceci pourrait permettre un développement de l'énergie nucléaire beaucoup plus considérable qu'à l'heure actuelle, en éliminant ses usages clandestins. Dans ce domaine, il faut relever les contributions novatrices de Benjamin Filimonov, de l'Académie des Sciences de Biélorussie : Il serait possible de réaliser de l'imagerie des neutrinos à l'aide de certaines réactions nucléaires. Un chercheur de la société japonaise Tungaloy Corporation a présenté une hypothèse menant à des conclusions intéressantes : des cristaux de calcite ou de magnésie compressés dans des enclumes de diamants, particulièrement sous

une forme maclée, pourraient agir comme détecteurs de neutrinos directionnels, en utilisant la réaction $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{14}\text{N}_2$. On attend cependant une démonstration expérimentale.

A la conférence de Marseille, l'industrie japonaise tenait le haut du pavé dans le domaine expérimental avec les contributions impressionnantes d'équipes de chercheurs appuyés par des moyens lourds : accélérateurs de particules dédiés à l'étude de la fusion et spectromètres de masse géants. Toutes ces installations étaient mises en œuvre dans des laboratoires richement dotés. D'évidence, on a quitté l'époque héroïque de Fleischman et Pons avec leur petite électrode dans un verre d'eau lourde.

On notera particulièrement les travaux de l'équipe de la société Mitsubishi Heavy Industries qui a présenté des résultats de transmutation et d'enrichissement isotopiques. Ils utilisent la filtration du deutérium à travers une membrane de palladium. Dans ce domaine, il faut se garder des erreurs expérimentales, et en particulier des contaminations dues aux composés métalliques

Vibreux électrique: un électro-aimant fait osciller un cristal de cobalt 57 de 20 millicuries. Grâce à l'effet Mössbauer, la largeur de la raie gamma est minimale. La longueur d'onde des rayons gamma varie périodiquement à cause de l'effet Doppler-Fizeau.

Cristal de Co 57 radioactif

Filtre d'aluminium

Blindage de plomb

Blindage d'aluminium

Fenêtre de Béryllium

Chambre d'ionisation proportionnelle

Anode de la chambre d'ionisation (la cathode est constituée par la masse)

Feuille de fer enrichie en isotope 57 irradiée par le faisceau de monopôles: les rayons émis par le cristal de cobalt sont absorbés par la feuille et provoquent l'émission d'électrons de conversion et d'électrons Auger.

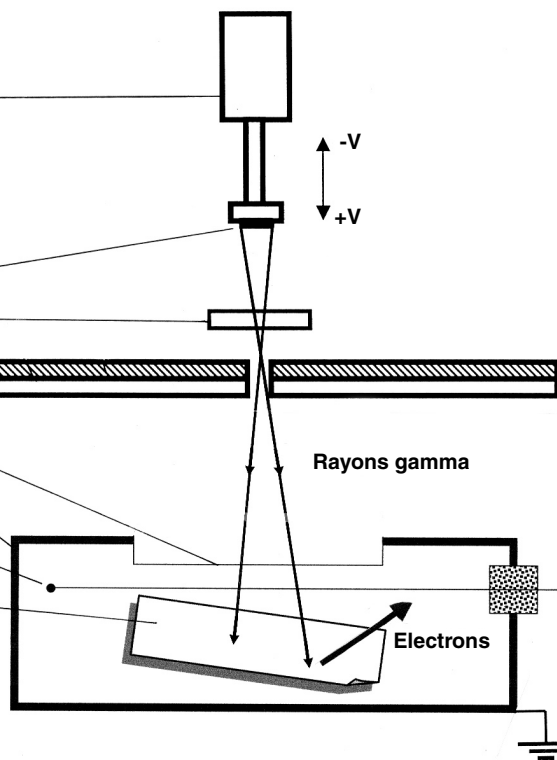


Figure 2. DISPOSITIF DE SPECTROMÉTRIE MÖSSBAUER UTILISÉ PAR L'ÉQUIPE D'URUTSKOIEV POUR L'ÉTUDE DES MONOPÔLES

volatils (métaux carbonyles, complexes métalliques avec des composés aromatiques comme le ferrocène, chlorure de titane, etc...). Devant des observations paradoxales d'enrichissement isotopique dans des dispositifs mettant en jeu l'électrolyse, il faut aussi vérifier si ce n'est pas une conséquence de l'effet Chemla. L'intérêt d'un congrès comme celui de Marseille est de permettre les échanges entre des physiciens nucléaires, des chimistes, mais aussi des biochimistes habitués à travailler dans des conditions irréprochables de non-contamination. Nous savons que dans ce domaine particulièrement délicat de la physique, l'erreur expérimentale nous guette dans chaque coin du laboratoire et que l'élimination de ces erreurs doit être la préoccupation principale du chercheur.

ARDET NEC CONSUMITUR

Une association internationale destinée à promouvoir cette source d'énergie s'est constituée et une médaille en argent éditée, à l'effigie

de Giulano Preparata, le promoteur de la fusion froide en Italie. Ce pays est leader à l'heure actuelle en Europe ; plus de 200 chercheurs travaillent officiellement à plein temps dans le domaine et environ le triple travaillent de manière officieuse. Frappée de la devise Ardet Nec Consumitur (je brûle, mais ne me consume pas), la médaille Preparata couronnera chaque année les avancées de la science nucléaire les plus décisives.

Les statuts de l'association font largement référence au concept de « développement durable », mais l'ensemble des intervenants a insisté sur le fait que les éoliennes et les énergies renouvelables telles qu'elles sont conçues à l'heure actuelle ne sont aucunement la solution qu'attend le monde. Les conférenciers ont salué la mémoire d'Eugène Mallove, le dynamique éditeur du journal « Infinite Energy » assassiné aux USA au mois de mai 2004. On a aussi honoré feu le professeur Julian Swinger (prix Nobel), ardent promoteur de la fusion froide, dont l'histoire a inspiré le film « Poursuite » avec Keanu Reeves. Le professeur Jean-Pierre Vigier qui fut le principal collaborateur de Louis de

Brogie nous a lui aussi quitté en 2004 et l'ombre tutéaire de ce grand savant planait sur le congrès de Marseille.

Le Département de l'Energie des USA (DoE) est en train de statuer pour décider de l'ampleur des financements à accorder dans le domaine de la fusion froide et tout le monde s'attend à des investissements massifs dans ce secteur. On sait que les Américains n'aiment pas voir se creuser un retard entre eux et le reste du monde, particulièrement dans les secteurs stratégiques. On prévoit que le nouveau président décide de mobiliser les ressources de la nation, tel Kennedy lors de son discours présentant le programme Apollo. L'Amérique n'est-elle pas le pays qui a vu naître la fusion froide ?

Le prix Nobel Brian Josephson, dans son allocution de clôture, a fait un hommage appuyé des travaux de Jacques Benveniste, le découvreur de la « mémoire de l'eau » que les lecteurs de FUSION connaissaient bien.⁶ Jacques Benveniste est décédé le 3 octobre dernier, mais le découvreur du célèbre « effet Josephson » a encouragé les jeunes chercheurs à suivre son exemple et à défricher des

voies nouvelles avec ardeur.

Plusieurs équipes de chercheurs Français ont décidé de relever le défi car il serait dramatique de laisser le pays de Marie Curie et de Joliot-Curie à la traîne. L'équipe marseillaise du professeur Jean-Paul Biberian a présenté des résultats très encourageants; ils sont en particuliers les premiers à présenter non pas un excès de chaleur, mais bien une production de chaleur en l'absence de toute arrivée de courant électrique dans leur dispositif. Ils utilisent un conducteur protonique au lieu d'utiliser de l'eau lourde. Encore très modéré (de l'ordre du milliwatt), ce dégagement d'énergie se maintient très longtemps et ne peut en aucun cas être la conséquence d'une erreur expérimentale. N'oublions pas que la première pile atomique de Fermi, à Chicago, ne dégageait que quelques watts pour un poids de plusieurs centaines de tonnes. Avec quelques milliwatts dégagés dans quelques grammes de mélange d'acide phosphorique et de polyoxyéthylène, la densité énergétique obtenue sur le campus de Luminy est déjà supérieure.

On peut encore relever les efforts de chercheurs de la Fondation Louis de Broglie qui vont affiner les mesures du flux de neutrons, des Laboratoires JLN qui reproduisent de nombreuses expériences de façon brillante et très pédagogique, et surtout de l'équipe de Jacques Dufour au CNAM. Jacques Dufour est le spécialiste mondial de la calorimétrie des réactions nucléaires dans la matière condensée, et il a relevé dans son exposé les défauts des procédés calorimétriques habituellement utilisés par les chercheurs. Avec son équipe, ils ont perfectionné une idée de Lavoisier et de Bunsen, et ils ont ainsi obtenu un calorimètre d'une très grande précision (**figure 3**).

Le Conservatoire des Arts et Métiers est un lieu mythique pour tout ce qui touche à la calorimétrie et à la physique du palladium. N'était-ce pas dans cette cathédrale des sciences et techniques que travaillait au XIXème siècle le professeur Jules Violle, un des premiers scientifiques à avoir projeté de ramener sur terre le Feu du Soleil en transmutant les éléments chimiques? N'avait-il pas travaillé sur la « foudre en boule » et sur les explosions de fils électriques dans des expériences qui préfigurent celles d'Uruskoiev?

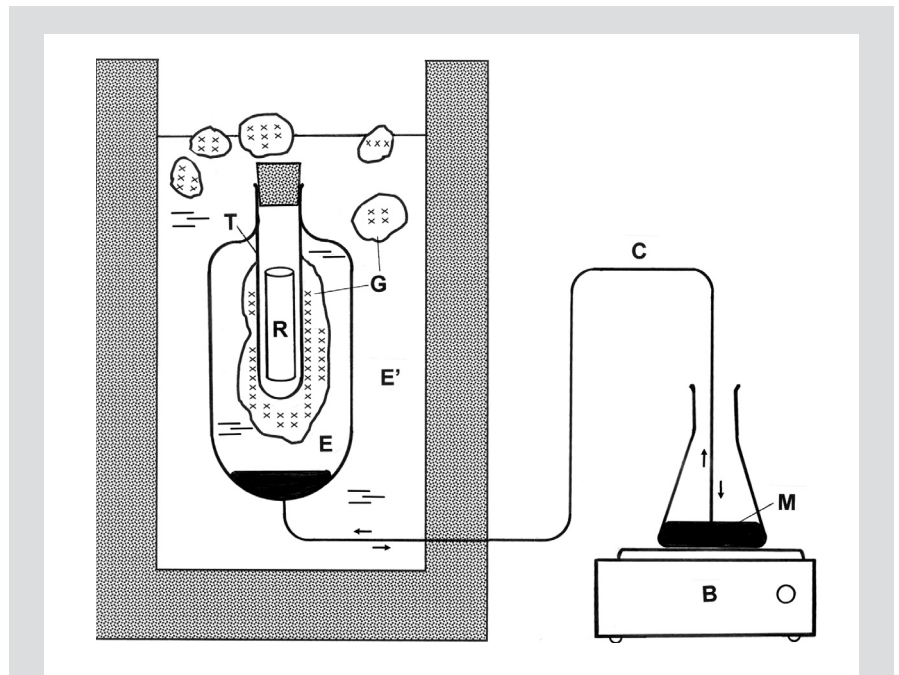


Figure 3. CALORIMÈTRE DE BUNSEN MODIFIÉ PAR L'ÉQUIPE DE DUFOUR

Un serpentin refroidi par du fréon est introduit dans un tube T contenu dans un bain d'eau distillée E. Au bout d'un certain temps, ce tube se recouvre d'un manchon de glace G. On enlève le serpentin de fréon et on le remplace par le réacteur à fusion R dont on veut mesurer le dégagement d'énergie. La chaleur dégagée provoque la fusion d'une certaine quantité de glace. L'eau produite par cette fusion occupant moins de volume que la glace, une certaine quantité de mercure M est aspirée dans le récipient E par le capillaire C. La poids du mercure déplacé vers le récipient est mesuré par une balance B. Un ordinateur convertit automatiquement cette mesure en calories.

Le récipient d'eau distillée est lui-même contenu dans un réservoir d'eau distillée E' contenant de la glace fondante. On voit que les calories provoquant la fusion du manchon de glace ne peuvent provenir que du réacteur de fusion.

Même si plusieurs rues de villes de France portent son nom, le souvenir de ce grand savant est bien oublié et il faudra un jour lui rendre l'hommage qu'il mérite en rendant public l'ensemble de ses travaux y compris les moins orthodoxes.

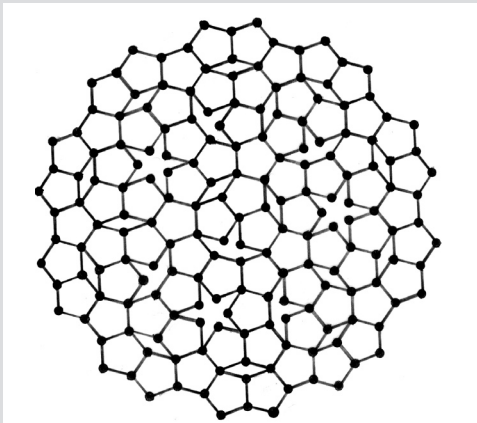
Dans la compétition mondiale pour l'énergie du futur, On peut regretter l'absence des grands organismes de recherche publics français. Officiellement, il ne s'y déroule pas de recherche dans ce domaine. Pour appuyer l'équipe de la faculté de Marseille et faire progresser la Fusion Froide dans l'hexagone, il faudra donc compter sur la seule initiative privée de quelques chercheurs français. Leur ingéniosité leur permettra-t-elle de rivaliser avec les équipes Japonaises ou Américaines? Réponse lors de la prochaine conférence qui se déroulera au Japon. ■

Notes

1. Hugues Journes, Yvon Georgelin et Jean Marie Gassend. *Pythéas*. Les Editions de la Nerthe.
2. Fleischman and S. Pons. *J. Electroanal. Chem.*, (261) :301, 1989
3. « Fusion froide : 5 ans plus tard » in *FUSION* N° 51 mai-juin 1994, par Carol White
4. « Détection expérimentale d'un rayonnement étrange et de transmutations d'éléments chimiques » L.I. Uruskoïev et al. in *FUSION* n° 93, nov.-dec. 2002
5. « AZF Toulouse : l'hypothèse des monopôles », E. Grenier in *FUSION* n°100 mars-avril 2004
6. Dossier scientifique de la mémoire de l'eau, Interview de Michel Schiff dans *FUSION* , n° 56, mai-juin 1995

Le refroidissement anharmonique, clef de la condensation quantique

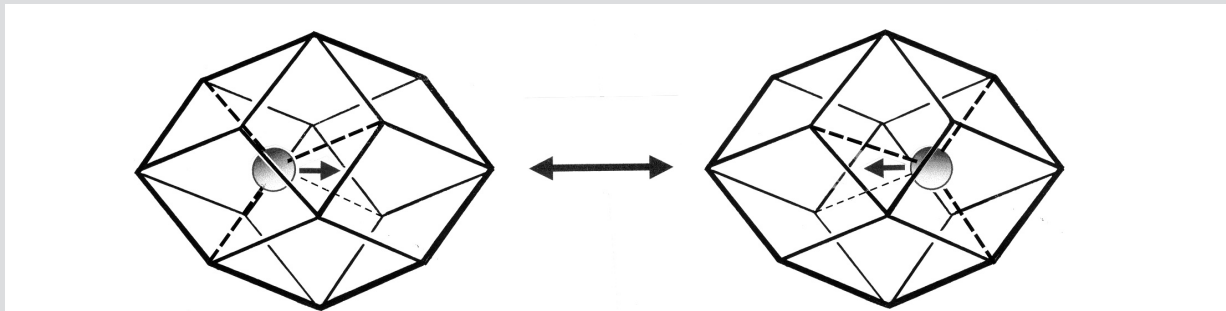
De nombreux chercheurs sur la fusion froide pensent que les noyaux de deutérium insérés dans le réseau cristallin du palladium se rassemblent dans le niveau d'énergie fondamental et s'unissent de façon quantique pour former une phase nouvelle appelée Condensat de Bose-Einstein. De tels condensats apparaissent habituellement à des températures très basses ; c'est le cas pour la phase super fluide de l'hélium. L'hélium 4 condense vers 2K et l'hélium 3 condense au voisinage du zéro absolu. Les électrons peuvent se lier deux par deux et ces « paires de Cooper » condensent dans les matériaux supraconducteurs. On connaît des condensats à la température de l'azote liquide mais comment un condensat de Bose-Einstein peut-il apparaître à température ambiante ?



LE PAVAGE DE PENROSE DU PLAN
Le mathématicien Penrose a imaginé un pavage du plan apériodique, à l'aide de pentagones.

Comme souvent en physique, la clef de l'énigme est fournie par la géométrie. Dans des cristaux quasi-périodiques appelés quasicristaux, l'on s'aperçoit que certains atomes présentent une température apparente supérieure au reste du cristal (effet Coddens). Ainsi les ions cuivre dans les quasicristaux AlFeCu effectuent-ils des sauts entre sites cristallins voisins. Par marquage isotopique, l'on démontre que le cuivre diffuse à travers le cristal comme s'il s'agissait d'un liquide ! Ces sauts, appelés « phason hopping » ne devraient avoir lieu qu'à des températures beaucoup plus élevées. Tout se passe comme si les ions cuivres étaient à 600°C et le reste du cristal à température ambiante. On voit tout de suite que si l'on veut préserver le principe de Carnot, une partie du cristal doit être à une température inférieure pour que l'ensemble du matériau soit à la température ambiante. C'est ce qui explique que l'on peut prendre de tels quasicristaux dans la main sans se brûler !

Un autre exemple est donné par la biologie moléculaire ; les deux hélices de l'ADN sont maintenues entre elles par des liaisons hydrogène. A haute température, ces liaisons hydrogène se brisent et les deux brins de l'ADN se séparent. C'est ce que l'on appelle la dénaturation de l'ADN. Le problème est que toutes les simulations informatiques destinées à modéliser cette dénaturation conduisent à une température supérieure à 100°C. Pourtant, l'ouverture des deux brins de



LES QUASI CRISTAUX , UN PAVAGE APERIODIQUE DE L'ESPACE

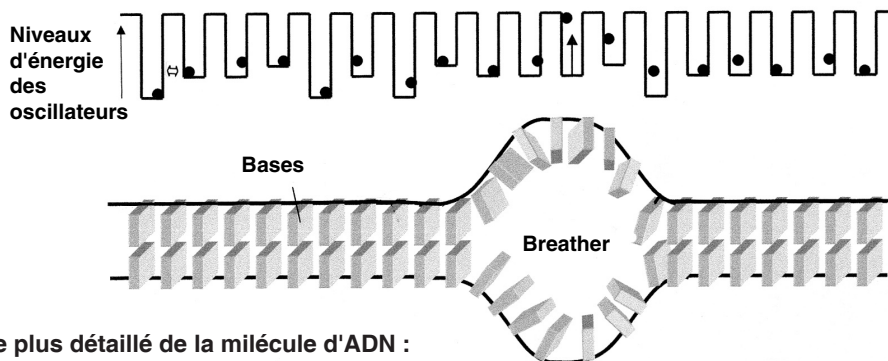
Pendant le années 80, on a observé un certain nombre de matériaux qui donnaient des figures de diffraction des rayons X « interdites » par la cristallographie classique. Ces matériaux ont été appelés « quasicristaux ». Il présentent des symétries inhabituelles, par exemple des symétries pentagonales ou dodécaédriques.

l'ADN s'effectue à chaque seconde dans chaque cellule de notre corps, puisque c'est la base de la transcription (traduction de l'ADN en protéines) et aussi de la réplication de l'ADN.

Remarquons que ces réactions ont aussi lieu dans des organismes vivant à basse température, comme les poissons des mers arctiques, ou bien les algues vertes vivant à la surface des glaciers. Bien sûr, il existe dans la cellule des cofacteurs protéiques qui aident les bases de l'ADN à s'écarter (hélicases, topoisomérases, déroulases), mais il a été démontré dans des systèmes acellulaires que l'ouverture des bases de l'ADN avait lieu spontanément à basse température.

La raison de cette observation paradoxale est encore une fois topologique. L'ADN est formé d'une chaîne d'oscillateurs couplés, les nucléotides, mais ces nucléotides sont de masse différentes ; ils vibrent donc à des fréquences

Modèle très idéalisé de la molécule d'ADN : une chaîne d'oscillateurs anharmoniques couplés. L'énergie de vibration thermique se concentre à certains endroits appelés Breathers.



Modèle plus détaillé de la molécule d'ADN : les liaisons hydrogène entre paires de bases se rompent préférentiellement au niveau Breathers.

LA DOUBLE HELICE D'ADN : UNE CHAÎNE D'OSCILLATEURS ANHARMONIQUES

Les nucléotides de l'ADN forment une chaîne d'oscillateurs dont la fréquence n'est pas constante, puisque la séquence des bases est elle-même variable et que les propriétés physiques de ces bases (masse, charge, liaison à des contre-ions) varient elles aussi.

Si l'un des oscillateurs oscille avec une amplitude suffisamment grande, avec la fréquence ω , il cessera d'être résonnant avec ses voisins qui restent quasi-immobiles, dont la fréquence de résonance est proche de ω_0 . Cette solution dynamique spatialement localisée avec une grande amplitude s'appelle « Breather ». C'est au niveau des « Breathers » que s'amorce la dénaturation (ouverture) de la chaîne d'ADN.

légèrement différentes. Comme dans le cas des quasicristaux, nous sommes en présence d'une chaîne d'oscillateurs anharmoniques. L'énergie thermique se propage le long de la chaîne d'ADN sous forme de vibrations quantifiées, les phonons. Du fait du caractère aléatoire (au sens cristallographique) de la chaîne d'ADN, le problème est non-intégrable. C'est le cas d'un grand nombre d'objets mathématiques engendrées par des phénomènes physiques, comme la chaînette et la cycloïde.

Pour autant, ces phénomènes sont pleinement accessibles à l'étude scientifique, et seront une puissante incitation à développer de nouveaux outils mathématiques et à choisir une nouvelle façon de voir le monde.

Toujours est-il que l'énergie thermique se concentre localement dans certaines parties de la molécule d'ADN, appelés « Breathers ». C'est dans ces zones que la double hélice commence à s'ouvrir. Dans ce cas, il faut aussi admettre que certaines parties de la molécule d'ADN se trouvent à une température plus basse que le reste de la molécule, toujours pour respecter le principe de Carnot.

Il est évident que les quatre milliards d'années d'évolution biologique sur notre planète ont tiré parti de ce phénomène. Les segments dits « initiateurs » de la réplication ou de la transcription sont situés en coïncidence avec de tels « Breathers ».

Dans le cas de l'alliage palladium/deutérium, nous avons aussi un système d'oscillateurs anharmoniques couplés, non plus linéaire, comme dans le cas de l'ADN, mais tridimensionnel, comme dans le cas des quasicristaux.

Les atomes de deutérium se glissent au hasard dans le réseau de palladium en le déformant légèrement, et en introduisant localement un léger excès de masse. Les conditions de propagation des phonons sont donc altérées et on peut avoir excès d'énergie thermique localisé sur certains atomes de palladium, et corrélativement un déficit d'énergie thermique sur certains noyaux de deutérium, toujours pour respecter le principe de Carnot. En raison de la grande différence de masse entre le palladium et le deutérium, le « delta T » peut atteindre 300K : un certain nombre de noyaux de deutérium pourraient se retrouver dans l'état fondamental et subir la condensation de Bose-Einstein.