

## Actualité

### **La fusion nucléaire et Georges Charpak.**

La décision de l'Europe de financer massivement un projet mondial destiné à la préparation d'un dispositif devant déboucher sur la construction de centrales nucléaires basées sur le phénomène de fusion nucléaire fait aujourd'hui l'objet d'un large débat.

Après Gilles de Gennes (1932-2007), prix Nobel de physique en 1991, voici que Georges Charpak, prix Nobel de physique lui aussi (en 1992), s'interroge sur l'opportunité de poursuivre actuellement les recherches dans ce domaine. Ces deux brillantes personnalités n'ont pas caché leur scepticisme sur la pertinence de l'installation du prototype ITER sur le sol français : à Cadarache.

Malgré les avantages de la fusion face au nucléaire classique, le projet ITER ne fait pas l'unanimité. Ses détracteurs lui reprochent d'être un gouffre financier, ne croient pas à sa faisabilité technique et dénoncent un risque environnemental. Si les écologistes sont les premiers à monter au créneau, certains scientifiques de renommée ont également fait part de leurs doutes, voire de leur opposition. Pierre-Gilles de Gennes déclarait en 1996 : « Je n'y crois malheureusement plus, même si j'ai connu les débuts enthousiastes de la fusion. » À l'Académie des Sciences, Claude Allègre s'est montré virulent : « ITER est encore un de ces projets de prestige qui ont, dans le passé, épuisé les finances de notre recherche ». Il est indiscutable que les défis d'ITER sont de taille. Le maintien du plasma demandera de mieux comprendre la physique de cet état mal maîtrisé. Par ailleurs, il faudra développer de « nouvelles couvertures » pour protéger les

matériaux de l'enceinte. Pour l'heure, celles des réacteurs expérimentaux se contentent de résister quelques secondes

À l'occasion d'une exposition qui se tiendra prochainement à Bruxelles, nous présentons, dans la suite de cette chronique, une brève introduction de cette technologie et la réaction que Georges Charpak publia dans la presse un peu plus d'un mois avant son décès, survenu à Paris ce 29 septembre.

La description des travaux de cet homme remarquable (publiée en 1998 dans le « Dictionnaire Encyclopédique des Prix Nobel de Physique ») est reprise ici ainsi que l'annonce de son décès par l'agence française de presse qui commente les dernières activités de cet homme de science.

### **Le réacteur expérimental pour la fusion nucléaire - ITER**

Mercredi 28 juillet à Cadarache (France), sur le site d'ITER, la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom), la Chine, l'Inde, le Japon, la Corée du Sud, la Russie et les États-Unis ont validé le « scénario de référence » devant servir de feuille de route au projet ITER, dont les travaux commenceront cet été, et l'Europe a annoncé qu'elle contribuerait pour 6,6 milliards d'euros au financement, soit 45 % de l'investissement global estimé à ce jour.

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) ou en français : « réacteur expérimental thermonucléaire international » est un prototype de réacteur nucléaire à fusion actuellement en construction à proximité de Cadarache (France). Ce prototype est destiné à vérifier la « faisabilité scientifique et technique de la fusion nucléaire comme nouvelle source d'énergie ».

Le prototype ITER ne produira pas d'électricité, mais de la chaleur : il aura selon ses concepteurs une puissance thermique de 500 MW. Il est basé sur les technologies déjà utilisées dans les tokamaks qui ne produisent pas non plus d'électricité. Mais ITER doit tester les technologies nécessaires à la fabrication du réacteur expérimental DEMO (d'une puissance prévisionnelle de 1 500 MW électrique), dont l'objectif sera de démontrer la faisabilité industrielle de la production d'électricité par la fusion nucléaire.

Selon le Ministère français des Affaires étrangères, « la France s'est engagée très fortement dans ce projet depuis plusieurs années, ce dont témoigne

notamment la mise à disposition du site scientifique de Cadarache, dont les terrains ont été transférés au projet le 28 juillet.

Elle s'est aussi mobilisée pour l'obtention d'un accord financier permettant de consolider la participation de l'Europe jusqu'à une somme plafond de 6,6 milliard d'euros. Cet engagement a été décisif pour consolider l'accord intervenu avec l'ensemble des partenaires internationaux de l'UE (États-Unis, Chine, Inde, Japon, Corée du Sud, Russie) et permettre d'entrer ainsi dans la phase décisive de concrétisation de ce grand projet.»

La réalisation de ces travaux s'étalera sur deux ans. Les travaux préparatoires (installation du chantier, terrassement et ferrailage...) ont débuté au cours de l'été. La réalisation des fondations et des infrastructures est prévue à partir du 1<sup>er</sup> septembre pour une durée de six mois environ. Suivront alors les travaux de gros œuvre de la superstructure (planchers, poteaux, murs...). L'aménagement des façades et des menuiseries extérieures débutera en février-mars 2011 et sera suivi par les corps d'états secondaires (habillages des sols, plafonds et murs, serrureries...). Les équipements techniques et les aménagements intérieurs sont organisés en différentes étapes : l'électricité commencera en octobre-novembre 2010, la climatisation et la ventilation en février-mars 2011, le montage des ascenseurs en août-septembre 2011. Les aménagements de voirie, de parkings ou encore de réseaux électriques extérieurs seront réalisés en parallèle des travaux de construction des bâtiments.

ITER fut de nouveau au rendez-vous de la foire internationale de Marseille du 24 septembre au 4 octobre 2010. De nombreuses animations sont prévues cette année permettant de découvrir toutes les facettes du projet. Au sein du hall 1 dédié aux éco-énergies et services, le stand était aménagé sur une soixantaine de m<sup>2</sup> autour de plusieurs thèmes : l'univers extraordinaire de la fusion, la construction d'ITER, l'interculturalité, l'école internationale et la biodiversité du site. Pour le public, c'est une occasion privilégiée de rencontrer des ingénieurs et des chercheurs venus du monde entier et de plonger dans un univers fait de défis humains, scientifiques et techniques.

Visiter le chantier ITER, c'est possible, en téléphonant à l'Agence ITER France au 04 42 25 32 10. Plus de 2 700 nouveaux visiteurs ont été accueillis au cours des mois de mai et juin : de nombreux riverains (plus de 30 % des visiteurs), des enfants des écoles des communes environnantes (Vinon-sur-Verdon, Saint Paul-lez-Durance, école internationale de Manosque notamment)

mais également des délégations étrangères comme des représentants du ministère coréen de la Recherche et des Technologies ou encore des journalistes espagnols venus de Barcelone. Plus de 22 900 visiteurs ont ainsi été accueillis depuis 2007. Visites du chantier ITER du lundi au vendredi, de 9h à 17h30.

CEA - AGENCE ITER FRANCE

## Exposition ITER à BRUXELLES

Fusion Expo, traitant de la fusion nucléaire qui sera peut-être l'énergie de demain, ouvrira ses portes du 25 octobre au 15 novembre au Palais des Académies de Bruxelles. L'exposition décrira notamment le rôle du projet ITER, un réacteur expérimental de fusion en construction, a-t-on appris vendredi 24 septembre lors d'une séance académique sur la fusion nucléaire.

Le projet ITER est soutenu par l'Union Européenne, les États-Unis, la Russie, l'Inde, le Japon, la Chine et la Corée du Sud. Il est considéré comme «le projet le plus ambitieux jamais entrepris par l'homme», tant au niveau de la population totale des pays participants que du défi technologique. Le réacteur, dont la construction a débuté début 2007 devrait produire son premier plasma d'ici 2016.

La fusion nucléaire<sup>1</sup>, à ne pas confondre avec la fission, est un «procédé visant à produire de l'électricité de manière sûre et respectueuse de l'environnement». Comme combustible, elle utilise le deutérium et le tritium, dont les réserves sont largement disponibles.

En outre, la quantité de combustible nécessaire est largement inférieure à d'autres sources d'énergie connues. Par exemple, il faut 2,7 millions de tonnes de charbon pour produire continuellement 1.000 mégawatts pendant un an. Une centrale nucléaire classique utilise 32 tonnes d'uranium, alors qu'une centrale à fusion utiliserait à peine 250 kilos de combustible. Elle produit aussi moins de déchets, dont la radio-toxicité est inférieure à celle des cendres rejetées par une centrale au charbon de même capacité pendant 25 ans.

---

1. Signalons toutefois que le tritium est un produit synthétique qu'il faudra produire au sein même du réacteur.

## Arrêtons ITER, ce réacteur hors de prix et inutilisable

Par GEORGES CHARPAK Prix Nobel de physique, JACQUES TREINER Professeur émérite à l'université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, SÉBASTIEN BALIBAR Directeur de recherche au CNRS, École normale supérieure, Paris

Ce que nous craignons est donc en train de se produire : le coût prévisionnel de construction d'ITER venant de passer de 5 à 15 milliards d'euros, il est question d'en faire subir les conséquences aux budgets de financement de la recherche scientifique européenne. C'est exactement la catastrophe que nous redoutions. Il est grand temps d'y renoncer.

ITER est le réacteur expérimental que sept pays ont décidé de construire à Cadarache (en Provence) afin de tester la possibilité de produire de l'électricité à partir de la fusion nucléaire. Ces pays sont les États-Unis, l'Europe, la Russie, la Corée du Sud, le Japon, la Chine et l'Inde. La revue Nature du 1<sup>er</sup> juillet 2010 nous apprenait que la contribution européenne devait passer de 2,7 à 7,2 milliards d'euros, dont 1,4 milliard à trouver en 2012-2013 sur le budget du septième plan de la recherche européenne. L'Europe s'est en fait engagée pour 6,5 milliards d'euros fin juillet. Pour la France, la dépense représentera plus que l'ensemble des crédits (hors salaires) dont disposent tous les laboratoires de physique et de biologie pendant vingt ans ! De nombreuses recherches autrement plus importantes, y compris pour l'avenir énergétique de notre planète, sont ainsi menacées. Pourquoi plus importantes ?

Contrôler la fusion pour produire de l'électricité est un rêve ancien. Mais, contrairement à la fission qui permet rapidement de construire nos centrales nucléaires actuelles, la fusion pose des problèmes que, depuis plus de 50 ans, on ne sait pas résoudre. Résumons : la méthode consiste à chauffer un mélange d'hydrogène lourd (un plasma de deutérium et de tritium) jusqu'à 100 millions de degrés en l'accélégrant dans une enceinte en forme d'anneau. À une telle température, ces noyaux fusionnent, en dégageant une énergie colossale. C'est l'énergie libérée par les bombes H, mais ITER n'est pas dangereux car les quantités d'hydrogène sont très petites.

Pour contrôler cette production d'énergie, trois difficultés majeures doivent être surmontées: maintenir le plasma à l'intérieur de l'enceinte (il est instable), produire le tritium en quantités industrielles et inventer des matériaux pour enfermer ce plasma sous ultravide dans une enceinte de quelques milliers

de mètres cubes. C'est seulement à partir de 2019 qu'ITER doit commencer à étudier la première de ces difficultés. Or il nous semble que la plus redoutable en est la troisième: violemment irradiés par les neutrons très énergétiques (14 MeV) émis par la fusion du plasma, les matériaux de l'enceinte perdent leur tenue mécanique. On a beau nous dire qu'on pourra imaginer des matériaux qui résisteront à l'irradiation parce qu'ils seront à la fois étanches et poreux, nous sommes pour le moins sceptiques : étanches et poreux, n'est-ce pas contradictoire ? Personne, à ce jour, n'a réussi à prouver le contraire. Autant dire qu'on est loin de la mise au point d'un prototype de centrale électrique, puis d'une tête de série commerciale, enfin de l'avènement d'une nouvelle filière de production d'énergie. Ponctionner d'autres projets de recherche au prétexte qu'il y aurait là une source quasi infinie d'énergie n'est donc aucunement justifié. La physique des plasmas doit être financée au même titre que les autres grands domaines de recherche fondamentale, pas au-delà.

Or notre problème d'énergie est urgent. C'est immédiatement qu'il faut économiser l'énergie, et remplacer les combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon), responsables du réchauffement climatique, par de l'énergie propre. La seule source massive d'énergie ne dégageant pas de gaz carbonique est la fission à l'œuvre dans nos centrales nucléaires actuelles. On sait qu'elle deviendra durable lorsqu'on passera à la 4<sup>e</sup> génération de centrales (G-IV), laquelle transformera les déchets actuels en combustible et fournira ainsi de l'énergie propre pour au moins cinq mille ans. Superphénix en était un prototype. Après quelques problèmes techniques inévitables pour un prototype, et malgré de très nombreux problèmes administratifs puis politiques, Superphénix a remarquablement fonctionné pendant un an. Sa fermeture en 1998 résulta d'une exigence des Verts de Dominique Voynet, pour participer au gouvernement Jospin.

Au lieu d'investir dans ITER, la communauté internationale et surtout l'Europe feraient mieux de reconstruire une centrale de type G-IV afin d'améliorer ce que Superphénix nous a déjà appris. On pourrait aussi accélérer la recherche sur d'autres centrales G-IV, dites «à sels fondus». Elles utiliseront du thorium, un élément abondant et dont l'utilisation pose moins de problèmes de prolifération que l'uranium et le plutonium de la filière actuelle. Aujourd'hui, malheureusement, Euratom n'est clairement missionné que sur la fusion. À l'échelle mondiale, bien qu'il soit difficile d'obtenir des chiffres précis, les crédits de recherche concernant G-IV sont environ dix fois moins

importants que ceux alloués à ITER. Les seuls pays qui construisent des centrales de ce type sont les Russes, les Japonais et les Indiens. En cette période de crise économique où la recherche de solutions propres et durables au réchauffement climatique est urgente, il est indispensable d'orienter les fonds publics disponibles vers les vraies priorités. On nous dit qu'ITER étant engagé, cela coûterait très cher de l'arrêter. Cet argument n'est pas satisfaisant. La construction n'est pas commencée, seul le terrain est aménagé.

Si l'on continue, tous les secteurs de la recherche vont souffrir. Cette situation rappelle la construction de la station spatiale internationale, l'ISS. Autre projet pharaonique, l'ISS a coûté 100 milliards de dollars et nos collègues astrophysiciens se souviennent encore des coupes budgétaires que sa construction a entraînées. Or, à quoi a servi l'ISS ? Pratiquement à rien. Pour observer la Terre ou l'Univers, il vaut mieux envoyer en orbite des robots qui sont plus stables et moins chers. En fait, les astronautes s'ennuient là-haut. Ils passent donc leur temps à étudier leur propre santé ! ITER risque d'être comparable : si elle est construite, cette grosse machine ne servira qu'à étudier la stabilité du plasma d'ITER. 15 milliards d'euros pour cela, n'est-ce pas un peu cher ? D'autant que, d'ici 2019, ce coût risque d'être réévalué...

Alors, plutôt que de masquer une mauvaise décision initiale par une escalade plus mauvaise encore, mieux vaudrait admettre enfin que le gigantisme du projet est disproportionné par rapport aux espérances, que sa gestion apparaît déficiente, que nos budgets ne nous permettent pas de le poursuivre, et transférer cet argent vers de la recherche utile.

AFP – 10 AOÛT 2010

### **Georges Charpak, prix Nobel de Physique en 1992, est décédé le 29-09-2010.**

**A**NCIEN RÉSISTANT, sa carrière s'était développée d'abord dans le domaine de la physique nucléaire, puis dans celui de la physique des particules de haute énergie. Il avait obtenu le Prix Nobel en 1992 pour une de ses inventions, les chambres proportionnelles utilisées en physique des particules.

Georges Charpak militait pour le désarmement nucléaire et voulait diffuser plus largement les sciences grâce à une approche basée sur l'expérience

concrète. «On n'a pas le droit de faire des études sans avoir été confronté aux sciences» : telle était la devise de ce passionné, né dans un ghetto juif de l'est de la Pologne et arrivé en France à l'âge de sept ans. Il avait été naturalisé Français en 1946.

Militant antifasciste à 15 ans, il refuse avec toute sa famille de porter l'étoile jaune en 1941, se procure de faux papiers au nom de Charpentier. Il rejoint la Résistance, avant d'être arrêté et envoyé à Dachau.

Après la guerre, avec une formation d'ingénieur à l'école des Mines, Georges Charpak se destine à la recherche scientifique en France et à l'organisation européenne de la recherche nucléaire (CERN) à Genève. Il acquiert une formation théorique du plus haut niveau et met au point des machines de plus en plus complexes pour traquer la structure fondamentale de la matière.

En 1992, l'Académie des sciences de Suède le récompense pour «son invention et le développement de détecteurs de particules, en particulier la chambre proportionnelle multi-fils» réalisée en 1968. «Quand j'ai reçu le prix Nobel, on m'a proposé de faire partie du jury de Miss France. J'avais dit non parce que je suis un petit bourgeois», déclarait-il en octobre 2008 à l'AFP avec un large sourire, les yeux bleus pétillants, dans son appartement de la rue Pierre et Marie Curie à Paris.

Ce père de trois enfants à la carrure athlétique se demandait s'il n'avait pas « raté sa vie d'homme parce qu'il était un fanatique de la science et consacrait tout son temps à ça ».

La passion pour la recherche ne l'a jamais quitté. À 84 ans, il travaillait encore à la mise au point d'un appareil de radiologie permettant de réaliser des clichés avec 10 à 50 fois moins de rayons X, pour les enfants qui ont des problèmes de rachis.

Inspiré par son collègue Leon Lederman du Fermilab de Chicago, il lance en 1996 l'opération «La main à la pâte», pour rénover l'enseignement des sciences en le fondant sur le questionnement, en transformant les enfants en expérimentateurs. « C'est ça ma vraie profession, et j'ai réussi. On a démarré à l'Académie des Sciences avec 23 enfants de l'ambassade de France à Bogota et maintenant la Colombie va être couverte d'écoles de notre type », se réjouissait-il. En France, où il a publié huit livres entre 1993 et 2008, ses efforts ont été moins bien récompensés, car « il y a les rois des cons dans les ministères

qui n'ont pas compris que ça avait un intérêt ».

Le désarmement nucléaire était l'autre engagement de sa vie. La guerre froide, « c'était vraiment un jeu de fadas, mais on a eu du pot, il n'y a pas eu l'hiver nucléaire. Aujourd'hui, tout a changé. Il y a des armes qui font la taille d'un pamplemousse, faciles à transporter. La connaissance est disséminée un peu partout par le Pakistan ».

Pour lui, il faut placer tous les armements nucléaires du monde sous contrôle international pour que des États comme l'Iran acceptent de jouer le jeu. De plus, quand « les États ont des têtes nucléaires en réserve, ils sont obligés d'en fabriquer tout le temps, parce que la vie moyenne du tritium est de 12 ans ». Si ces mesures ne sont pas prises, les terroristes auront bientôt « tout ce qu'il faut pour faire un très beau coup et faire chanter les grandes puissances ».

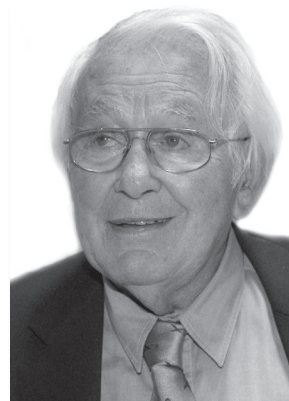
L'usage civil du nucléaire paraissait en revanche « incontournable » à Georges Charpak, face aux besoins d'énergie de l'humanité.

AFP (30 SEPTEMBRE 2010)

## Charpak, Georges

**(Dabrovia, Pologne, 1<sup>er</sup> août 1924 – Paris 29 septembre 2010).**

Prix Nobel de physique en 1992. Expérimentateur obstiné, membre permanent du CERN dans la quête des informations furtives que peuvent laisser des constituants sub-nucléaires dans les matériaux, Georges Charpak est l'inventeur d'un nouveau type de détecteur de particules : la chambre proportionnelle à fils qu'il créa en 1968. Ces détecteurs ultra rapides permettent de visualiser, en trois dimensions, les trajectoires que laissent des particules émises dans les interactions de très haute énergie. Ils ont donné à de nombreuses équipes d'expérimentateurs, répartis à travers le monde, les moyens de comprendre le comportement de la matière à une échelle de  $10^{-17}$  m et par voie de conséquence à la « forme » de cette matière telle qu'elle existait peu de temps après le



Big Bang. Le détecteur de Charpak est constitué de milliers de fils tendus dans un très grand volume rempli de gaz. Ces fils, de 100  $\mu\text{m}$  de diamètre, distants l'un de l'autre d'environ 1 mm forment un plan. Ils sont reliés à un potentiel positif (anode). Parallèlement à ce plan de fils on trouve, de part et d'autre, deux plaques planes (cathodes) qui lui font face. Dans l'espace entre les deux cathodes, les régions proches des fils sont le siège d'un champ électrique intense. Par contre, les régions éloignées des fils sont le siège d'un champ électrique faible. Une particule entrant dans ce détecteur induit des paires électron-ion. Les électrons (légers) attirés par l'anode produisent, dans le voisinage de celle-ci une multiplication des paires (électron-ion) avec pour effet de conduire à une avalanche. Celle-ci conduit ainsi à une amplification locale du signal, limitée à la seule région voisine du fil d'anode concerné. Chaque anode peut donc être considérée comme un site individuel de détection. Le détecteur global, constitué d'une multitude de ces sites individuels, permet de suivre, simultanément, le mouvement de tous les débris induits dans une collision avec un des atomes du détecteur et donc d'identifier chacun de ces débris. De multiples variantes de ce dispositif de base sont actuellement installés auprès des grands accélérateurs. On trouvera la description d'autres détecteurs dans les biographies de Charles Wilson, Donald Glaser, Walter Bothe, Luis Alvarez et Pavel Cherenkov. Des assemblages de plusieurs types constituent le parc technologique des physiciens des particules et des astrophysiciens. Burton Richter et Samuel Ting pour leur découverte du  $J/\psi$  ainsi que Carlo Rubbia et Simon Van der Meer pour leur découverte des bosons  $W^+$ ,  $W^-$  et  $Z^0$  ont fait appel à la technologie mise au point par Charpak qui développa d'autres détecteurs pour la biologie, la médecine, l'astrophysique. En médecine, la performance des détecteurs construits par Charpak permet de diminuer d'un facteur 100 le temps d'exposition pour les examens aux rayons X. L'hôpital St. Vincent de Paul de Paris est le premier acquéreur du système. Un modèle simplifié avait déjà été installé, à l'hôpital de Novossibirsk, en 1987, par un collaborateur de Charpak, Lev Schektmann. D'origine polonaise, Charpak arriva à Paris en 1931. Après des études à Montpellier, il obtint un diplôme d'ingénieur à l'Ecole des Mines à Paris en 1946, année où il fut naturalisé français. Engagé dans la résistance, il avait été, avant la fin de ses études, arrêté par les autorités de Vichy en 1943 et déporté à Dachau jusqu'en 1945. C'est au Collège de France qu'il défendit sa thèse de doctorat en 1955 dans le laboratoire de Frédéric Joliot (prix Nobel de chimie en 1935). Détaché par le CNRS au laboratoire du synchroclotron du CERN (Genève)

en 1959, il devint physicien permanent du CERN en 1963. Depuis 1984 il est aussi titulaire de la chaire Joliot-Curie à l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de Paris, dirigée par Pierre-Gilles de Gennes. Auteur de deux livres récents écrits pour le grand public (voir bibliographie), il est très populaire dans les médias, très apprécié pour son regard lucide sur l'utilisation de l'énergie nucléaire et de la radioactivité en général et pour le combat qu'il a lancé, avec Richard Garwin, contre le surarmement des grandes puissances. Passionné d'archéologie, il rêve de pouvoir saisir le chant fossile qu'un potier aurait laissé dans le pot qu'il aurait tourné.

EXTRAIT DU « DICTIONNAIRE ENCYCLOPÉDIQUE  
DES PRIX NOBEL DE PHYSIQUE » - 1998

GUY DEMORTIER

