

Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants

Plusieurs pays coopèrent et mettent en commun ressources et connaissances pour réaliser un réacteur à fusion expérimental

par
T.J. Dolan, D.P.
Jackson, B.A.
Kouvshinnikov
et D.L. Banner

Les océans du globe renferment de l'énergie potentielle pour des millions d'années. Leurs eaux contiennent du deutérium, isotope lourd de l'hydrogène et principal combustible des réacteurs à fusion nucléaire. Après extraction, le deutérium contenu dans un litre d'eau pourrait produire autant d'énergie que 300 litres d'essence.

Il faudra certes des dizaines d'années encore pour concrétiser ce potentiel, mais de grands pas sont déjà faits. Les progrès techniques et scientifiques actuels rapprochent les techniques de fusion nucléaire de la phase de démonstration. Ce sont en grande partie les besoins énergétiques croissants, les préoccupations écologiques et les tendances démographiques qui, au niveau mondial, sont le moteur des progrès de la recherche-développement dans le domaine de la fusion.

Quatre facteurs, en particulier, limitent l'utilisation des combustibles fossiles pour la production d'énergie et d'électricité:

- les effets sur la santé humaine (emphysème, cancer);
- les effets sur l'environnement (pluies acides, effet de serre);
- la nécessité de préserver les hydrocarbures pour disposer de combustibles commodes et de matières premières pour l'industrie chimique;
- les réserves limitées de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel).

Dans son évaluation des ressources énergétiques mondiales, le World Resources Institute (WRI) estime à environ $3,5 \times 10^{22}$ joules (J) les réserves énergétiques totales prouvées de la planète, dont $2,44 \times 10^{22}$ J environ reviennent au charbon, $0,56 \times 10^{22}$ J au pétrole, et $0,50 \times 10^{22}$ J au gaz naturel.

M. Dolan est chef de la Section de la physique, Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA; M. Jackson est directeur du programme canadien de fusion nucléaire et président du CIRF; M. Kouvshinnikov est chargé de l'information au bureau d'ITER de l'AIEA; et M. Banner est l'ancien chef de la Section. Les auteurs remercient les collègues pour leurs renseignements et commentaires.

Il existe d'autres combustibles fossiles, appelés *ressources*. Toutefois, leur récupération est plus difficile et, dès lors, leur prix augmentera sensiblement au cours du passage de l'exploitation des *réserves* à celle des *ressources*.

La consommation mondiale d'énergie primaire était d'environ 11,6 térawatts (TW) en 1994, dont 87 % provenaient de combustibles fossiles. A ce rythme, les réserves mondiales de combustibles fossiles seront épuisées dans 120 ans environ. En dépit de mesures efficaces de conservation, le niveau de consommation énergétique augmente parallèlement à l'amélioration du niveau de vie des nations en développement. Dans l'hypothèse d'un taux de croissance annuel de cette consommation égal à 2 %, la durée de ces réserves n'excéderait pas 61 ans.

De nombreuses centrales électriques devront être construites dans les prochaines décennies en vue d'augmenter la capacité totale nécessaire pour satisfaire la demande d'électricité et de remplacer les centrales vieillissantes et les centrales à combustibles fossiles, pour des motifs liés à l'environnement, à la santé et aux coûts. Dans le plus optimiste des scénarios, les chercheurs prévoient un déficit de plus de 5 TW d'ici à 2030; ce chiffre impressionnant équivaut à la production de 5 000 centrales électriques d'une puissance de 1 000 mégawatts chacune. Dans les 40 prochaines années, il faudra exploiter des sources énergétiques non fossiles importantes capables d'assurer plus de 10 % de la production énergétique mondiale*.

La plupart des sources renouvelables d'énergie — même si elles sont précieuses dans certains cas — ne suffiront pas à produire toute l'énergie électrique requise. Toutefois, trois d'entre elles pourraient satisfaire les besoins mondiaux: l'énergie solaire, la fission et la fusion. Chacune a ses avantages et ses inconvénients.

* Voir «The need for research and development in fusion: Economical energy for a sustainable future with low environmental impact», par B.G. Logan, L.J. Perkins, R.W. Moir et D.D. Ryutuv, dans *Fusion Technology* 28, pages 236-239 (1995).

L'énergie solaire est diffuse, intermittente, ne convient pas sous certains climats et coûte généralement cher. Les surgénérateurs à fission prolongeraient la durée des réserves mondiales de combustibles fissiles, mais ils ne sont pas universellement acceptés par l'opinion publique. Les réacteurs à fusion présenteraient de nombreuses caractéristiques souhaitables, mais des efforts considérables restent à faire pour les amener à maturité. Si leur développement était couronné de succès — et nombreux sont ceux qui le croient — ils pourraient améliorer sensiblement les perspectives énergétiques mondiales (voir l'encadré).

Il est également possible de construire un réacteur hybride fusion/fission en introduisant de l'uranium dans le manteau d'un réacteur à fusion, de manière à augmenter la puissance de sortie et à produire du combustible fissile. Ce type de réacteur présenterait des avantages économiques, mais les autorisations nécessaires seraient plus difficiles à obtenir pour des raisons de sûreté, d'environnement et de protection.

Il faut que le monde s'attache résolument à développer l'électricité nucléaire, à faciliter la mise en place de réacteurs à fission avancés, puis de réacteurs à fusion, avant que la pénurie de combustibles fossiles n'entraîne une escalade des prix des combustibles. De plus, les options nucléaires joueront un rôle essentiel en éloignant la menace de changement climatique mondial, conséquence chaque jour plus évidente du recours aux combustibles fossiles. D'ores et déjà, la fission nucléaire remplace en partie certains combustibles carbonés et, demain, la fusion nucléaire pourrait être plus attirante encore. Aussi quelque 40 Etats Membres de l'AIEA font-ils des travaux de recherche-développement sur la fusion, notamment des études de sûreté afin de concrétiser les avantages potentiels de la fusion nucléaire sur ce plan et sur celui de l'environnement.

Pour maintes raisons, la recherche-développement dans le domaine de la fusion est marquée par la coopération au niveau mondial, passant du domaine des expériences à échelle réduite à celui de la conception d'un réacteur thermonucléaire de grande taille. Nous donnerons ici un aperçu de ces efforts de coopération et de l'état actuel des travaux.

Historique de la coopération internationale

La coopération mondiale dans la recherche sur la fusion a été particulièrement utile pour plusieurs raisons, notamment la nécessité de mettre en commun les connaissances spécialisées et de partager le coût des grands projets; le souci de hâter les progrès en échangeant les connaissances dans le domaine de la théorie du plasma, des résultats expérimentaux, des codes informatiques, des propriétés des matériaux et de l'évolution des techniques; et le souhait d'aider les pays en développement à former des spécialistes en physique et en technique de la fusion.

Caractéristiques potentiellement favorables de la fusion nucléaire

La fusion nucléaire présente un certain nombre de caractéristiques séduisantes à maints égards du point de vue énergétique et écologique.

Approvisionnement en combustible: Extraction du deutérium de l'eau sans sous-produits nocifs; disponibilité à faible coût pour tous les pays; réserves suffisantes dans les océans pour des millions d'années.

Extraction minière: Extraction limitée de lithium, servant à produire le tritium pour les réacteurs à fusion (l'eau de mer contient également 0,17 mg/l de lithium).

Ecologie: La fusion ne présente pas de risque pour l'environnement.

Prolifération des armes nucléaires: Absence de plutonium ou d'uranium.

Sûreté: La quantité de combustible dans le plasma est si faible que même une combustion complète n'entraînerait pas d'explosion. Le caloportage ne présente pas de difficulté, vu le faible niveau de la chaleur de décroissance répartie sur un volume important. La quantité de tritium peut être réduite au minimum par une conception soignée. La dose d'irradiation potentielle hors site en cas d'accident serait si faible qu'elle ne nécessiterait pas de plans d'évacuation.

Sous-produits radioactifs: La production de radioactivité de longue période peut être réduite au minimum en choisissant les matériaux avec soin. L'alliage au vanadium, le fluide de refroidissement au lithium et le deutérium-tritium non brûlé pourraient être recyclés.

Dans les années 50, les expériences de fusion nucléaire étaient d'échelle réduite, réalisées par de petites équipes et d'un coût de l'ordre de un million de dollars des Etats-Unis. Aujourd'hui, certaines expériences sont à très grande échelle, font appel à des centaines de personnes hautement qualifiées (qui ne sont pas toutes d'un même pays) et peuvent coûter des milliards de dollars. Nombreuses sont aussi les expériences à petite et moyenne échelle dont la contribution à l'effort mondial est précieuse.

Etant donné l'importance potentielle future de la fusion nucléaire, les pays ont besoin, eux aussi, de programmes nationaux fortement structurés, afin de pouvoir appliquer les résultats scientifiques et technologiques de la collaboration internationale. La recherche sur la fusion se trouve certes à un stade pré-concurrentiel mais, dans certains domaines techniques, la protection de la propriété intellectuelle des pays participants est nécessaire, et il faut en tenir compte lors de la conclusion d'accords de coopération. Par ailleurs, l'échange de techniques qui pourraient connaître des applications militaires, notamment la fusion rapide, suscite quelques préoccupations.

Au début des années 50, la recherche sur la fusion nucléaire, protégée par le secret militaire, a débuté de manière autonome dans plusieurs pays. Les études ont porté sur les rhéostations, les miroirs magnétiques et les systèmes toroïdaux, et certains neutrons ont fait l'objet d'observations. On prévoyait avec optimisme que la «fusion nucléaire serait une réalité dans 20 ans». L'optimisme initial fut tempéré lorsqu'on se rendit compte que les neutrons ne provenaient pas de réactions thermonucléaires et que des instabilités du plasma portaient atteinte à son confi-

nement. Il était nécessaire de mieux comprendre le comportement du plasma, ce que pouvait faciliter l'échange des résultats avec d'autres pays.

En 1956, l'Union soviétique a montré la voie en partageant avec les pays occidentaux les résultats de sa recherche. La première grande manifestation de coopération internationale fut la Conférence de Genève de 1958 sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. Cette même année, l'AIEA a entamé ses activités. Sa première conférence sur la physique des plasmas et la recherche sur la fusion thermonucléaire contrôlée s'est tenue à Salzbourg en 1961; désormais intitulée «Conférence de l'AIEA sur l'énergie de fusion», elle a lieu tous les deux ans. En 1972, l'AIEA a institué un organe consultatif, le Conseil international de la recherche sur la fusion nucléaire (CIRF).

Au fil des ans, nombre d'accords bi- et multilatéraux de collaboration entre pays sont apparus, parallèlement aux activités de l'Agence. Ils étaient souvent la première étape de l'intégration d'acteurs nouveaux dans les activités internationales de recherche sur la fusion. Ils se sont avérés particulièrement utiles par ailleurs lorsqu'une collaboration réciproque de haut niveau était envisagée dans des domaines d'activité spécifiques. La participation du Japon aux projets «Tritium Systems Test Assembly» et «Doublet III» des Etats-Unis et celle du Canada à ITER (Réacteur thermonucléaire expérimental international) par le biais d'accords avec l'Union européenne en sont autant d'exemples.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE), qui fait partie de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), a été créée dans les années 70 par les pays industrialisés en réponse à la crise du pétrole de 1973. Elle traite de tous les domaines de la recherche-développement en matière d'énergie, y compris la fusion, tandis que sa jumelle, l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN), s'occupe de la fission.

La collaboration de l'AIE s'articule autour d'accords de mise en œuvre, assortis d'annexes qui renvoient à des domaines spécifiques de travail. Tout Etat membre de l'AIE peut, en principe, adhérer à n'importe lequel de ces accords en contribuant, en tant que partie contractante, aux frais qu'il entraîne. Actuellement, les pays non membres peuvent également y adhérer au titre de partie contractante associée, comme l'a fait la Russie pour un certain nombre d'entre eux. Des accords de mise en œuvre sont en vigueur pour les tokamaks de grande taille; TEXTOR; la mise à niveau d'ASDEX; les stellarators; les strictions à champ inverse; les matériaux; les techniques de fusion nucléaire; et les aspects de l'énergie de fusion qui touchent à l'environnement, à la sûreté et à l'économie.

Ces activités sont placées sous le contrôle du Comité de coordination sur la fusion nucléaire, l'équivalent, au sein de l'AIE, du CIRF, les deux comités comptant un grand nombre de membres

communs. Ces dernières années, des efforts croissants ont été déployés en vue de coordonner, par le biais de ces comités de contrôle, les activités de l'AEN et de l'AIE liées à la fusion, afin d'éviter chevauchements et doubles emplois.

Origines du projet ITER

En 1978, l'AIEA a organisé l'atelier INTOR (International Tokamak Reactor) en vue de définir le prochain grand tokamak expérimental, comme l'a recommandé le CIRF. Ce travail a permis de rassembler des informations sur le comportement du plasma, les sections efficaces et les propriétés des matériaux, ainsi que de produire un schéma de réacteur de référence et de définir les problèmes clés qu'il convient de résoudre. Les résultats ont été consignés dans une série de rapports de l'AIEA publiés entre 1982 et 1988.

La démonstration par INTOR de la faisabilité d'une collaboration technique suivie et les réunions du G-7 («Sommet économique des pays occidentaux») qui avaient identifié la fusion comme un des domaines présentant des potentialités de renforcement de la croissance économique par la coopération réciproque furent des facteurs favorables à l'adoption du projet ITER (*voir page suivante*). Ces derniers parmi d'autres ont fourni un terrain fertile à l'élan politique immédiat en faveur du projet ITER, proposé par M. Gorbatchev, secrétaire général (Union soviétique), au président Mitterrand (France), puis au président Reagan (Etats-Unis) lors du Sommet de Genève de 1985.

L'Activité d'étude conceptuelle (AEC) d'ITER fut finalement lancée en 1988 par quatre parties — la Communauté européenne, les Etats-Unis, le Japon et l'Union soviétique — qui, toutes, ont d'importants programmes de recherche sur la fusion. A l'issue de l'AEC, les quatre parties sont convenues de passer à l'Activité d'étude technique (AET) prévue de 1992 à 1998.

L'AIEA a joué un rôle déterminant dans le lancement d'ITER; elle patronne aujourd'hui la collaboration quadripartite et assure certains services, notamment l'administration des fonds communs d'ITER et la coordination avec le travail technique pertinent accompli par la Section des constantes nucléaires.

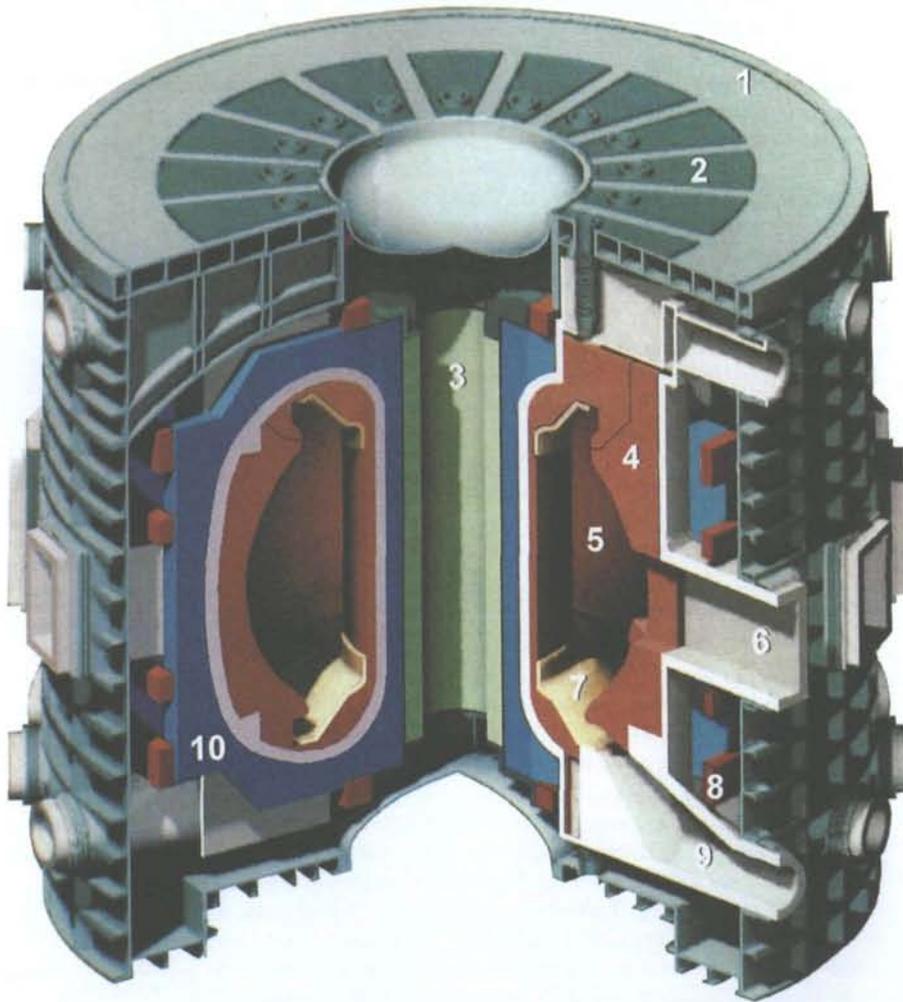
Activités de l'AIEA liées à la fusion nucléaire

L'AIEA mène une série d'activités en faveur du développement de la collaboration internationale dans la recherche sur la fusion nucléaire (*voir l'encadré page 21*). Elle est, par définition, le point de rencontre pour ce type de collaboration.

La revue mensuelle *Nuclear Fusion* paraît depuis septembre 1960. En règle générale, la conférence biennale de l'Agence, qui traite d'un vaste éventail

La position du Conseil d'ITER

En 1992, après trois décennies de progrès constants en matière de conception et d'expériences, les quatre principaux participants de la recherche mondiale sur la fusion nucléaire ont convenu des objectifs et des exigences de la phase optimale suivante du développement de la fusion comme source énergétique. ITER a été conçu en tant que projet destiné à la réalisation de ces objectifs, par l'association des quatre parties sur pied d'égalité. L'étendue et la complexité de la physique expérimentale, de la technologie, du savoir-faire et de la recherche nécessaires pour appuyer ITER, ainsi que le coût du projet plaident en faveur de la réalisation de cette phase dans le cadre d'une coopération internationale. Arrivé à mi-parcours de l'AET, le Conseil d'ITER réaffirme unanimement qu'il s'agit d'une étape utile; que les objectifs d'ITER demeurent réalisables et ne doivent pas être modifiés; que la conception permet d'atteindre les objectifs; que la coopération entre les quatre parties s'est avérée constituer un cadre efficace; et que le moment est opportun pour passer à cette phase. C'est de celle-ci que dépend le succès, à l'échelle mondiale, de la fusion, et ITER doit continuer à bénéficier de l'entière coopération internationale, de manière à ce que la physique de la fusion et le savoir-faire technologique puissent être orientés et consolidés dans le sens du soutien d'ITER en utilisant de manière optimale des ressources importantes mais limitées.



Modèle virtuel du Réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER); sa hauteur approximative en taille réelle atteindrait 30 mètres. 1) chambre à vide du cryostat; 2) trou de visite vertical; 3) solénoïde central; 4) manteau/blindage; 5) chambre à plasma; 6) accès à la chambre à plasma; 7) écorceur; 8) inducteur poloidal; 9) conduit d'extraction de la pompe à vide; 10) inducteur toroidal.

de sujets relevant de la recherche sur la fusion nucléaire, compte quelque 500 participants. La Section des constantes nucléaires met à jour les bibliothèques de données, diffuse l'information parmi les chercheurs du monde entier et planifie la recherche en vue de combler les lacunes. Les données relatives aux interactions atomes-molécules et plasma-matériaux, rassemblées et évaluées par l'AIEA, sont particulièrement utiles au projet ITER.

Le CIRF assure la liaison avec les Etats Membres et les experts des diverses spécialités de la recherche sur la fusion, et oriente la planification des activités de recherche de l'AIEA. Ses membres sont nommés par le Directeur général de l'AIEA.

Certaines réunions de comités techniques sont organisées annuellement, notamment en ce qui concerne la recherche utilisant les petits tokamaks. D'autres ont lieu à intervalles de deux ou trois ans, comme celles consacrées à la conception des réacteurs à fusion et à la sûreté de la fusion. Quelques réunions de comités techniques ou de groupes consultatifs sont moins fréquentes, notamment celles sur la physique des particules alpha et sur la physique en mode H.

Les programmes de recherche coordonnée (PRC), dont la durée peut aller de deux à cinq ans, donnent lieu à des rapports scientifiques qui résument l'état de la recherche dans un domaine particulier. Généralement, plusieurs de ces PRC sont en cours et comptent chacun de cinq à 10 participants d'Etats Membres tant avancés qu'en développement. Le programme de coopération technique de l'Agence comprend aussi des bourses permettant à des scientifiques de pays en développement de travailler dans de grands laboratoires. Les Etats Membres sont incités à présenter un plus grand nombre de demandes, de manière à mieux exploiter ce programme dans le domaine de la recherche sur la fusion.

Etat d'avancement des études techniques d'ITER

Le travail ainsi que l'Equipe commune centrale (ECC) d'ITER se répartissent sur trois sites communs reliés électroniquement: Garching, en Allemagne (Union européenne) (composants intérieurs); San Diego, en Californie (Etats-Unis) (intégration des études, environnement, sûreté et santé); Naka, dans la préfecture d'Ibaraki (Japon) (composants extérieurs). Le siège officiel du Conseil de contrôle d'ITER est à Moscou (Fédération de Russie).

Chacune des quatre parties a une équipe nationale qui contribue à l'étude et assume les tâches associées de recherche-développement. Le Conseil d'ITER, composé de deux représentants de chacune des parties, dirige le projet et désigne le directeur d'ITER. Un comité consultatif technique, constitué de quatre scientifiques et techniciens éminents de chacune des parties, désignés par le Conseil d'ITER, donne des avis au Conseil, sur sa demande, concernant toutes les questions techniques. Un Comité

consultatif de gestion, formé de trois représentants désignés par chacune des parties, rend des avis au Conseil sur les questions de gestion et d'administration. Le système fonctionne bien, quoique complexe et dispersé à travers le monde.

L'AET d'ITER, prévue pour six ans, comprend un travail de *conception*, qui représente au total 1 340 années de professionnels, plus un travail de recherche-développement en technologie fondamentale et appliquée pour un total de 750 millions de dollars (de 1989). Le document *Rapport intérimaire sur la conception d'ITER — étude de coûts et analyse de sûreté* a été élaboré par l'ECC et accepté par le Conseil d'ITER en juillet 1995 pour examen par les parties. Il s'appuie sur une documentation technique détaillée: le *Rapport intérimaire de conception* et les *Documents descriptifs d'étude*, totalisant quelque 4 350 pages et 1 400 dessins.

L'AIEA publiera séparément au début du printemps de 1996 le *Rapport intérimaire de conception* dans la Série documentaire d'ITER. La plupart des questions techniques sont en bonne voie de solution.

On estime que la construction d'ITER s'étendra sur dix années environ, entre la décision de construire et le premier plasma.

Perspectives de collaboration future

D'importants travaux de recherche seront menés essentiellement par une seule partie, mais feront quand même appel à des experts d'autres pays. Les chercheurs de par le monde ont appris à respecter leurs compétences respectives et à apprécier la valeur de l'échange de points de vue. Le projet ITER a permis d'accomplir des progrès considérables dans le domaine de la collaboration internationale et de démontrer qu'il était possible de surmonter les problèmes résultant des intérêts et de l'orgueil nationaux, de la dispersion géographique des équipes de recherche et des différences culturelles. L'expérience d'ITER en matière de gestion d'un grand projet multinational pourrait aussi être utile à de futures entreprises.

D'autres systèmes à fusion possibles, notamment une source à neutrons de 14 MeV pour les essais de matériaux et un réacteur tokamak de démonstration, seront très coûteux et il est donc probable que l'on recherchera, pour ces projets également, un financement conjoint par plusieurs parties. Le partage des coûts des grands projets de recherche sur la fusion est à encourager, vu les pressions politiques qui, partout dans le monde, vont dans le sens des restrictions budgétaires.

Les possibilités de participation accrue, aux grands projets, de scientifiques novateurs des pays en développement constituent un autre aspect positif de la collaboration internationale. Amener ces scientifiques à prendre part aux activités d'un laboratoire contribue à accélérer les progrès de la recherche sur la fusion, tout en aidant les pays en développement.

Activités de l'AIEA concernant la collaboration internationale en matière de recherche sur la fusion

Publication de la revue scientifique mensuelle *Nuclear Fusion* et de ses suppléments, notamment le *World Status of Activities in Controlled Fusion Research* (périodique) et *Atomic and Plasma-Material Interaction Data for Fusion* (annuel).

Publication de l'*International Bulletin on Atomic and Molecular Data for Fusion* (semestriel), distribué à plus de 800 institutions et chercheurs des Etats Membres de l'Agence.

Organisation de la Conférence biennale de l'AIEA sur l'énergie de fusion et publication des actes de la Conférence.

Constitution de bibliothèques de données (telles que la Bibliothèque de constantes neutroniques sur l'énergie de fusion), de constantes atomiques et moléculaires, et de données sur l'interaction plasma-matériaux qui présentent un intérêt pour la recherche sur la fusion. L'utilisation de ces données dans le cadre de la recherche sur la fusion et de la conception des réacteurs a été recommandée au niveau international. Les données sont réunies dans le Système de documentation de l'Agence sur les constantes nucléaires (NDIS) et dans le Système de documentation sur les constantes atomiques et moléculaires (AMDIS), et sont accessibles en ligne par l'intermédiaire d'Internet. Le Système international de documentation nucléaire (INIS) dispose également d'un spécialiste de la fusion.

Conseil international de la recherche sur la fusion nucléaire (CIRF)

Réunions de comités techniques sur divers sujets, notamment:

- La recherche au moyen de petits tokamaks
- Les progrès dans la modélisation informatique des plasmas de fusion
- La physique des particules alpha
- Le régime stabilisé des tokamaks
- La physique en mode H
- La sûreté de la fusion
- La conception des réacteurs à fusion

Réunions de groupes consultatifs

- Recherche sur les plasmas dans le tiers monde
- Fusion à confinement inertiel

- Aspects techniques du traitement des constantes atomiques et moléculaires

Programmes de recherche coordonnés (PRC), notamment:

- Elaboration de logiciels pour la modélisation numérique et le traitement des données
- Systèmes de chauffage et de diagnostic des plasmas dans les pays en développement
- Prédiction de la durée de vie de la première enceinte d'un réacteur à fusion
- Erosion des matériaux des réacteurs à fusion due aux interactions avec le plasma
- Vitesses de refroidissement radiatif des impuretés du plasma de fusion
- Données de référence sur les propriétés thermomécaniques des matériaux en contact avec le plasma dans les réacteurs à fusion
- Rétention et dégagement de tritium par les composants en contact avec le plasma dans les réacteurs à fusion
- Données d'interactions atomiques et d'interaction plasma-paroi pour la modélisation des écorceurs des réacteurs à fusion

Coordination de l'activité d'un réseau international de centres de constantes atomiques et moléculaires, comprenant 15 centres nationaux.

Ouvrage intitulé *Energy from Inertial Fusion* (1995)

Rapport d'activité sur la fusion thermonucléaire contrôlée, résumé élaboré par le CIRF en vue de décrire l'état actuel de la recherche dans le monde, numéro anniversaire de *Nuclear Fusion*, vol. 30, n° 9 (1990)

Projets de coopération technique avec les pays en développement, notamment des bourses

Patronage de l'Activité d'étude technique (AET) du Réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER)

Dans le monde entier, des applications industrielles des plasmas sont en voie de commercialisation: pistolets à plasma, traitement des surfaces, synthèse de matériaux nouveaux, activation des réactions chimiques et traitement des contaminants chimiques. L'AIEA lance actuellement un PRC visant à promouvoir la collaboration dans ce domaine.

Le programme de recherche sur la fusion implique notamment l'achèvement du projet ITER; une expérience de fusion à confinement inertiel; des recherches sur des concepts nouveaux en matière de fusion; la mise au point de matériaux pour les réacteurs à fusion (les tests d'irradiation supposent une source puissante de neutrons); une théorie solide des plasmas et un programme de simulation; et le soutien à la recherche universitaire et à la formation des étudiants du deuxième cycle à la science des plasmas et aux techniques de fusion. La collaboration internationale peut contribuer à satisfaire la plupart de ces besoins avec plus d'efficacité que ne pourraient le faire les pays pris séparément.

En résumé, le monde a besoin de la recherche sur la fusion nucléaire en tant que source énergétique

complémentaire de l'énergie solaire et des réacteurs à fission nucléaire. La collaboration internationale permet de mettre en commun les connaissances spécialisées et de partager le coût des grands projets; d'accélérer les progrès par l'échange des connaissances; et d'aider les pays en développement à créer leur infrastructure en science des plasmas et technologie de la fusion.

L'AIEA, l'AIE et divers accords bilatéraux favorisent cette collaboration. Actuellement, l'AIEA déploie un large éventail d'activités, notamment la publication de sa revue mensuelle; la conférence biennale; la coordination des données concernant les interactions atomes-molécules et plasma-matériaux; les réunions de comités techniques; et les PRC.

Au cours des 50 dernières années, le programme mondial de recherche sur la fusion nucléaire — de la première initiative soviétique à l'AET d'ITER en passant par les activités de l'AIEA — est devenu un parfait exemple de coopération scientifique. Il devrait être profitable à tous, si des centrales à fusion nucléaire sont créées en vue de satisfaire les besoins mondiaux en énergie et en électricité.