

Pour la science et la technologie: centres de constantes nucléaires au service du développement

Le centre de constantes nucléaires de l'AIEA, ses services et la contribution des pays en développement au réseau mondial

par
Hans Lemmel

L'analyse de matières minérales par activation neutronique est une application typique de la physique nucléaire moderne. L'échantillon à étudier est exposé à un rayonnement neutronique et l'on analyse le spectre gamma qui en résulte pour en déterminer les intensités et les énergies afin de connaître la composition minérale de l'échantillon. Cette méthode couramment utilisée dans les pays industriels et de plus en plus fréquemment dans les pays en développement exige des séries complètes de constantes nucléaires: sections efficaces d'activation neutronique pour les éléments présents dans l'échantillon, période radioactive et constantes de désintégration pour les nucléides activés.

La radiothérapie est un autre exemple de l'importance des applications des constantes nucléaires. Dans certaines conditions, le cancer peut être traité par divers types de rayonnements: ions lourds, particules chargées ionisantes, électrons, photons ou neutrons. Pour choisir le rayonnement qui convient le mieux et juger de son impact sur la tumeur et de ses effets nocifs sur les tissus voisins, l'ordinateur doit disposer de diverses bases de données comprenant des sections efficaces d'ionisation et de diffusion.

Ces données sont mises à la disposition des scientifiques de tous les Etats Membres par le service des constantes nucléaires de l'AIEA. Elles sont disponibles sur bande magnétique et sur disquette, avec indication de leur format et de leur origine. Depuis peu, les principales collections mondiales de données sont accessibles grâce au système de documentation sur les constantes nucléaires, par l'intermédiaire d'Internet ou du World Wide Web. Il existe plusieurs recueils de constantes toujours utiles aux usagers en plus des services informatiques en plein essor.

La Section des constantes nucléaires de l'AIEA gère un centre qui possède le répertoire mondial le

plus complet des collections de constantes nucléaires et atomiques nécessaires aux applications technologiques des rayonnements dans les Etats Membres. Nous passerons en revue ces différents services, sans oublier le rôle important des pays en développement dans ce réseau mondial de documentation.

Applications à l'énergie et à d'autres domaines

Ces constantes nucléaires deviennent indispensables dans tous les domaines de la technologie nucléaire, mais c'est pour la recherche et le développement dans le secteur de l'énergie d'origine nucléaire qu'elles ont été de loin le plus utiles (*voir l'encadré, page suivante*). Comme bon nombre d'entre elles servent à des applications dans d'autres domaines, les collections de données fondamentales sont à «usage général» et ne visent pas des applications spécifiques (*voir l'encadré, page 36*). Elles sont plutôt volumineuses, chacune étant de l'ordre de 100 mégamultiplés, et se présentent sous des formats internationalement agréés pour lesquels il existe divers codes informatiques de traitement.

Plusieurs collections «spéciales» ont été constituées aux fins d'applications spécifiques. Citons celles qui se spécialisent en données de référence pour la normalisation des mesures nucléaires, l'étalonnage des détecteurs, la dosimétrie des neutrons et maintes autres opérations. Elles sont de format plus réduit, donc d'un emploi plus facile sur ordinateur individuel. Des manuels de constantes nucléaires contiennent non seulement des tableaux et des courbes de constantes, mais aussi des instructions détaillées sur les méthodes de mesure pour des applications déterminées (*voir l'encadré, page 36*).

Outre leurs applications en nucléo-énergétique, les constantes nucléaires servent à diverses fins: enseignement universitaire, recherche en physique nucléaire, centres ou établissements nationaux, recherche et développement, analyse par activation

M. Lemmel est cadre de la Section des constantes nucléaires, Division des sciences physiques et chimiques, AIEA.

neutronique, procédés industriels, dosimétrie, étalonnage de détecteurs, production de radio-isotopes médicaux et applications en radiothérapie.

Mesures des constantes nucléaires

S'il est vrai que les premiers réacteurs ont démarré alors que l'on n'avait qu'une connaissance élémentaire des constantes nucléaires, on s'est vite aperçu que leur rendement, leur économie et leur sûreté exigent non seulement une connaissance précise et détaillée de toutes les constantes en jeu, mais aussi une analyse fine des incertitudes et de leurs conséquences. Des constantes laissant prévoir le comportement du réacteur dans des conditions d'exploitation anormales et permettant de préciser les sections efficaces d'endommagement sous rayonnement, et donc de prédire plus exactement la durée utile de la cuve, améliorent la sûreté et l'économie d'exploitation du réacteur. Il s'ensuit qu'une métrologie des constantes nucléaires juste un peu plus précise peut se traduire par des millions de dollars d'économies d'exploitation des réacteurs dans le monde entier.

C'est pourquoi un programme global de mesure des constantes nucléaires a été entrepris dans les années 50, notamment aux Etats-Unis, en Europe occidentale, dans l'ex-Union soviétique et au Japon; il a culminé dans les années 70 et au début des années 80, et continue, bien que moins activement. Plusieurs mesures ont été faites par des pays en développement parmi les plus avancés.

Evaluation des constantes nucléaires

Les premières mesures souffraient d'une assez grande imprécision et plusieurs mesures d'une même constante différaient souvent entre elles. Un gros effort a été entrepris pour y remédier: perfectionnement des méthodes, de l'instrumentation, des détecteurs de rayonnement, des analyseurs électroniques, et préparation d'étalons isotopiques purs, jusqu'à ce que l'on obtienne les constantes de haute précision nécessaires aux applications des techniques nucléaires.

Une science est née: l'évaluation des constantes nucléaires. Les spécialistes partent des données expérimentales existantes, les complètent par des estimations théoriques dans les domaines d'énergie et pour les types de données qui n'ont pas fait l'objet d'expériences, et classent les valeurs obtenues, et recommandées, dans les formats nécessaires aux codes informatiques pour des applications spécifiques.

Les banques de constantes nucléaires ainsi constituées sont d'un intérêt considérable et leur libre échange entre pays industrialisés et en développement est l'indice d'un utile transfert de la technologie.

Diverses catégories de constantes nucléaires

Constantes de structure et de désintégration nucléaires

- Masses isotopiques; niveaux nucléaires et leurs propriétés;
- Périodes des radionucléides et des isomères;
- Energies et intensités des rayons gamma et des particules émises.

Constantes de réactions nucléaires

- Sections efficaces des réactions nucléaires induites par neutrons, photons, protons et autres particules chargées, y compris les ions lourds;
- Réactions provoquant l'activation, les dommages radio-induits, la production de radio-isotopes, la fission, la spallation, la transmutation, etc.;
- Densités et énergies des rayons gamma et des particules secondaires;
- Fission nucléaire: densité de neutrons et de produits de fission, énergie libérée, etc.

Constantes atomiques

- Interactions avec les électrons;
- Interactions de fusion dans le plasma;
- Processus atomiques en radiothérapie.

Apport des pays en développement

Quel rôle ont joué les pays en développement dans l'évaluation des constantes nucléaires? Entre 1970 et 1990, environ 44 000 mesures de constantes neutroniques ont été faites dans le monde entier, dont 4 000 (soit 9 %) dans 32 pays en développement. Pour faciliter dans ce domaine un transfert de la technologie qui puisse renforcer les moyens dont disposent ces derniers pour utiliser les maintes applications des techniques nucléaires, l'AIEA a mis en œuvre, dans les années 80, un projet de coopération technique interrégional sur les techniques et instruments de mesure des constantes nucléaires. Par la suite, ces pays ont participé au programme de recherche coordonnée de l'Agence visant la création ou l'amélioration de bases de constantes nucléaires pour applications spécifiques (sections efficaces d'activation par les neutrons de 14 MeV, constantes pour les applications médicales, constantes des actinides dans les réacteurs à fission, et constantes nucléaires et atomiques pour l'étude des réacteurs à fusion).

La situation est variable. Un certain nombre de pays en développement — Argentine, Bangladesh, Brésil, Egypte, Israël, Maroc, Pakistan, Thaïlande, Turquie, Viet Nam et plusieurs pays d'Europe orientale, entre autres — ont entrepris des programmes de mesure de constantes nucléaires qui durent encore. L'Algérie, l'Arabie saoudite, la Malaisie,

Banques de constantes nucléaires

(sigle, origine, contenu)

Principales banques générales

- EXPOR; réseau international de centres de constantes nucléaires; constantes de réactions nucléaires expérimentales;
- ENSDF; United States and International Network; constantes de structure nucléaire et constantes de rayonnement des radionucléides;
- *Banques de constantes de réactions nucléaires évaluées, en format «ENDF» uniforme*: ENDF/B-6, Etats-Unis; JEF-2, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire; JENDL-3.2, Japon; BROND-2, Fédération de Russie; CENDL-2, Chine;
- FENDL; réseau AIEA et international; constantes nucléaires pour l'étude des réacteurs à fusion et autres applications.

Banques spéciales

- N.D. Standards; comité international des constantes nucléaires de l'AIEA; normes pour les mesures nucléaires;
- XG Standards; programme de recherche coordonnée de l'AIEA; étalonnage des détecteurs de rayons gamma et de rayons X;
- IRDF; AIEA en collaboration avec d'autres centres; constantes internationales pour la dosimétrie des réacteurs, dosimétrie des neutrons par activation de feuilles;
- IDGAM; Japon-Brésil; identification des radionucléides par leur rayonnement gamma;
- ALADDIN; réseau de l'AIEA et des centres de constantes; constantes de collision atomique et moléculaire pour la fusion nucléaire;
- SGNucDat; Section des constantes nucléaires de l'AIEA; constantes nucléaires pour les garanties;
- GANAAS; Section de physique de l'AIEA; analyse par activation neutronique;
- CENPL; Chine; divers paramètres nucléaires évalués;
- MENDL-2; Fédération de Russie; transmutation nucléaire.

Réseau de centres de constantes nucléaires

- Centre national de constantes nucléaires, Brookhaven, Etats-Unis; dessert les Etats-Unis et le Canada;
- Banque de données de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris, France; dessert les pays européens de l'OCDE et le Japon;
- Section des constantes nucléaires de l'AIEA, Vienne, Autriche; dessert essentiellement les pays en développement et coordonne le réseau mondial;
- Centres russes de constantes nucléaires, Obninsk et Moscou, Fédération de Russie; dessert les Etats issus de l'ex-URSS.

Le réseau comprend aussi des centres nationaux de Chine, de Hongrie et du Japon. D'autres pays y collaborent officieusement.

Manuels et recueils

Atomic and Molecular Data for Radiotherapy and Radiation Research (IAEA-TECDOC-799, 1995)

The Index to the Literature and Computer Files on Microscopic Neutron Data (CINDA, publication annuelle)

International Bulletin on Atomic and Molecular Data for Fusion (IBAMD-49, publication semestrielle)

Handbook on Nuclear Activation Data (AIEA, Collection Rapports techniques n° 273, 1987, réimprimé en 1995)

Decay Data of the Transactinium Nuclides (AIEA, Collection Rapports techniques n° 261, 1986, réimprimé en 1995)

X-ray and Gamma-Ray Standards for Detector Calibration (IAEA-TECDOC-619, 1991, réimprimé en 1994)

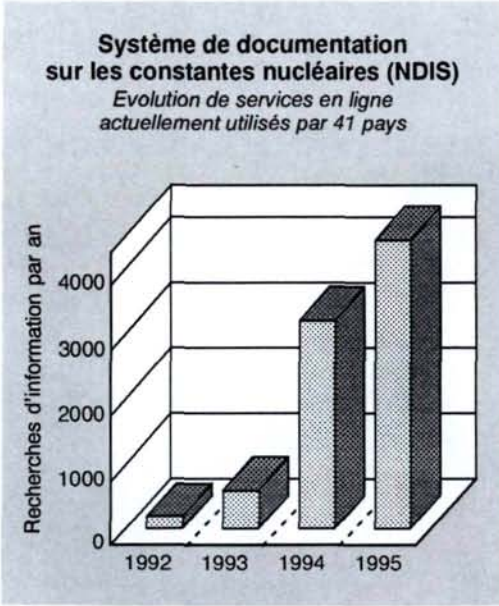
Handbook on Nuclear Data for Borehole Logging and Mineral Analysis (AIEA, Collection Rapports techniques n° 357, 1993)

le Mexique, Myanmar et divers autres pays ont communiqué occasionnellement des mesures de constantes nucléaires. L'Inde et la Chine ont lancé chacune un programme très actif, dans les années 70 et vers 1980, respectivement. Tandis que la première l'a sensiblement réduit, la seconde continue de le soutenir vigoureusement.

La République de Corée est un cas intéressant: elle exécute un programme nucléo-énergétique, mais n'a pratiquement pas mesuré de constantes nucléaires dans le passé; toutefois, elle a compris qu'un pays qui utilise largement les techniques

nucléaires en énergétique et dans l'industrie doit nécessairement disposer d'une bonne infrastructure en physique nucléaire, notamment de mesures de constantes nucléaires. Aussi prévoit-on qu'elle fera prochainement un gros effort dans ce domaine.

Pour les applications en énergétique nucléaire, il faut, en particulier, transposer les collections de constantes dans les formats spéciaux («constantes multigroupes») adaptés aux codes informatiques. Parmi les pays en développement, ce sont surtout l'Algérie, la Corée (République de), l'Inde, l'Indonésie et la Slovénie qui se livrent à ce travail



Services de constantes nucléaires en 1990-1995 par région

Région	Par courrier		En connecté	
	Nombre de pays	Demandes (%)	Nombre de pays	Demandes (%)
Pays de l'OCDE	22	24	17	36
Pays de l'ex-URSS	6	7	2	17
Europe orientale	9	18	8	40
Asie, Australie	15	24	6	1
Afrique et Proche-Orient	26	13	2	3
Amérique latine	15	14	6	3
Total	93	100	41	100

par ailleurs coordonné par l'AIEA et secondé par des cours de formation.

Un autre projet coopératif concerne la tenue à jour de la base de données internationales pour les constantes de structure et de décroissance nucléaires. La Chine, la Fédération de Russie et le Koweït se sont joints à sept pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) dans le cadre de ce projet guidé par l'AIEA et par le Centre national des constantes nucléaires des Etats-Unis.

Besoins des pays industriels en constantes nucléaires

En cette matière, les pays industriels sont dans une phase de transition. Les constantes nucléaires nécessaires pour les réacteurs thermiques et les réacteurs rapides étant acquises pour l'essentiel, de nombreux laboratoires de mesure ont été fermés. Dans le même temps, nombre de physiciens expérimentés ont pris leur retraite et l'on réalise subitement qu'il peut y avoir pénurie de jeunes physiciens nucléaires et que l'exploitation de l'énergie nucléaire peut être gravement compromise si l'on ne préserve pas le savoir-faire technique qu'exige la mesure des constantes nucléaires. Cette préoccupation a trouvé son expression dans plusieurs études spécialisées faites aux Etats-Unis, en Fédération de Russie, en France et au Japon, ainsi qu'au sein de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE). Un groupe d'experts chevronnés réuni par l'AIEA en 1995 a conclu que le programme de constantes nucléaires de l'Agence demeure valable et prioritaire pour tous les Etats Membres.

A l'heure actuelle, les pays industriels concentrent leurs efforts sur les constantes nucléaires pour les réacteurs à fusion et sur celles des hautes énergies

nécessaires pour étudier la transmutation des actinides inutiles produits par les réacteurs. Ces travaux exigent des installations onéreuses qui n'existent pas dans les pays en développement.

Parallèlement à cette recherche de pointe, on continue d'améliorer les constantes nucléaires pour les réacteurs à fission. Sous les auspices du Comité international de constantes nucléaires, les centres ont dressé la liste des constantes qui demandent à être précisées en vue d'applications spécifiques aux réacteurs et aux matières nucléaires relevant des garanties; y figurent 290 demandes prioritaires et 430 autres de moindre urgence. Cette liste devrait faciliter la tâche des scientifiques et des administrateurs qui planifient les programmes de recherche nucléaire. Une liste de mesures prioritaires vient d'être établie par l'AEN. Au sein du réseau de centres de constantes nucléaires, l'AEN est l'animateur de la coopération en matière d'évaluation des constantes.

Coordination internationale

Dès les années 50, la mesure de constantes nucléaires se généralisait à tel point qu'un centre national a été créé au laboratoire national de Brookhaven, aux Etats-Unis. En 1964, trois autres centres ont été créés à l'AEN, à l'AIEA et à Obninsk (Fédération de Russie), respectivement. Ces quatre centres sont les piliers du réseau de centres de constantes nucléaires coordonné par l'AIEA (voir l'encadré, page 36). Ils assurent la liaison essentielle entre les producteurs et les utilisateurs des données. L'acquisition, la compilation, l'évaluation d'une multitude de données et leur diffusion dans les formats demandés par les utilisateurs doivent être assurées par un dispositif international bien coordonné afin d'évi-

Les constantes nucléaires sont nécessaires dans de nombreux domaines, y compris la médecine.

(Photo: H.F. Meyer/AIEA)



ter le double emploi et de rentabiliser au maximum le travail des experts des centres et pays coopérants.

Les prouesses de ce réseau sont remarquables. Grâce à l'échange systématique qui s'opère entre les centres, un scientifique de n'importe quel Etat Membre peut accéder à l'information concernant les constantes nucléaires de toute origine. Les données (tout au moins les catégories principales) sont présentées dans des formats normalisés pour l'ensemble du monde, de sorte que les mêmes codes informatiques servent au traitement des constantes évaluées provenant de Chine, des Etats-Unis, d'Europe, de la Fédération de Russie ou du Japon.

Au sein du réseau, la Section des constantes nucléaires de l'AIEA dessert essentiellement les pays en développement, tandis que les pays industriels sont surtout servis par leurs centres nationaux ou par la banque de données de l'AEN. Aux bases de données communiquées par les centres coopérants pour distribution gratuite à tous les Etats Membres viennent s'ajouter les produits du centre de constantes nucléaires de l'AIEA, dont la plupart sont le fruit des programmes de recherche coordonnée et d'activités coopératives officieuses. Les priorités du programme de constantes nucléaires et atomiques de l'AIEA destinées aux applications sont fixées par le comité international, organe consultatif permanent où siègent le Brésil, la Chine, la Fédération de Russie, la Hongrie, l'Inde et les pays de l'OCDE.

Les demandes de services

Ces dernières années, le centre des constantes nucléaires de l'Agence a reçu 800 demandes par an

émanant de scientifiques de 93 Etats Membres. Chaque année sont expédiés 300 fichiers de constantes sur bande magnétique et sur disquette, 100 codes informatiques correspondants et 2 000 exemplaires de textes imprimés. En plus de ces services classiques, plus de 4 000 recherches ont été faites en 1995, via Internet, par l'intermédiaire du système connecté de documentation sur les constantes nucléaires (voir le graphique et le tableau de la page précédente).

On s'attend, pour l'avenir, à une croissance rapide de la demande de services en ligne, que la Section des constantes nucléaires s'efforcera d'étoffer et d'améliorer. D'après le nombre des demandes, il est évident que ce sont surtout les scientifiques des pays d'Europe qui utilisent actuellement ces services en connecté. Cet accès informatisé viendra compléter les envois par la poste qui, pour la plupart des pays en développement, sont encore pratiquement le seul moyen de recevoir la documentation dont ils ont besoin pour leur développement dans le domaine de la science et de la technologie nucléaires.