

# Constantes nucléaires et besoins fondamentaux de la science et de la technologie

*Une vue d'ensemble du Centre international de constantes nucléaires  
de l'AIEA*

par Alex Lorenz et Joseph J. Schmidt

Dans le monde d'aujourd'hui pour communiquer et répandre l'information il faut systématiquement recueillir, classer, stocker, rechercher et diffuser les connaissances en utilisant surtout l'ordinateur.

Pour tirer tout le parti possible de la technique de l'information mise au point au cours des dernières décennies, on doit condenser les connaissances scientifiques en données ou en énoncés concrets. Actuellement le volume de l'information publiée ne permet à personne de maîtriser parfaitement son domaine et moins encore de se tenir au courant de ce qui se passe dans d'autres. C'est pourquoi il est devenu indispensable de compléter cette information publiée sous une forme traditionnelle (ouvrages, revues et rapports) et conservée dans les bibliothèques par une information condensée se prêtant au traitement par ordinateur, rendue facilement accessible aux utilisateurs et d'une manipulation commode.

Cette information condensée prend diverses formes:

- Collections de résumés bibliographiques, tel le Système international de documentation nucléaire (INIS).
- Bulletins et circulaires contenant des informations extraites.
- Index d'informations spéciales, comme le CINDA (index des publications sur les constantes neutroniques microscopiques).
- Collections d'informations numériques concrètes.

## **Demande accrue de données**

Pour les chercheurs et les ingénieurs, les données numériques sont de loin les plus importantes dans tous les problèmes qui se résolvent par le calcul. Dans la technologie nucléaire, la demande d'un ensemble structuré et d'accès facile d'informations numériques n'a cessé de s'amplifier au cours des trente dernières années. L'évolution de la technologie de l'énergie nucléaire — par exemple la mise au point en cours actuellement de réacteurs nucléaires à fission plus performants et plus sûrs, la planification à long terme de réacteurs nucléaires à fusion et l'utilisation plus répandue de méthodes et de techniques nucléaires dans presque tous les domaines de la science et de la technique — exige constamment des informations numériques toujours plus nombreuses et toujours meilleures, appelées communément constantes nucléaires.

Depuis cinq à dix ans, de plus en plus de pays en développement demandent des constantes nucléaires et le nombre et la complexité des demandes d'informations ont fortement augmenté. Jusqu'à présent les scientifiques de plus de 70 Etats Membres ont bénéficié des services de constantes nucléaires de l'AIEA. Au cours des cinq années écoulées, les demandes qu'a reçues la Section des constantes nucléaires annuellement a doublé. Plusieurs pays en développement, membres de l'AIEA, ont commencé à mettre au point des technologies relatives à l'énergie nucléaire et au cycle du combustible. Plus nombreux sont maintenant ceux qui voient l'intérêt qu'ils ont à mettre en œuvre des techniques qui comportent l'utilisation des rayonnements nucléaires et des isotopes dans la science et l'industrie.

L'agriculture est l'une des nombreuses branches d'activité qui ont besoin de constantes nucléaires pour la recherche-développement. La photo montre des chercheurs du laboratoire agronomique de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche). (Photo: Katholitzky)



M. Schmidt est le chef de la Section des constantes nucléaires de l'AIEA et M. Lorenz est un membre de cette section.

De là vient que l'AIEA a été amenée à offrir à des utilisateurs de plus en plus nombreux une très grande quantité de constantes nucléaires récentes et les codes informatiques pour les traiter. Ce faisant, l'AIEA contribue à la mise en place d'une infrastructure nucléaire dans les pays en développement.

L'objet principal du programme de constantes nucléaires de l'AIEA est de fournir les données numériques nécessaires aux collectivités scientifiques de ses Etats Membres. Elle le fait par la mise en œuvre de trois éléments de programme:

- *Evaluation des constantes et coordination des recherches*
- *Traitement et échange de constantes*
- *Services du centre de constantes et transfert de technologie.*

Pour que les tâches soient bien préparées et exécutées, le Programme de constantes nucléaires est orienté par le Comité international des constantes nucléaires, qui est un comité consultatif permanent externe de l'AIEA, composé d'experts de haut niveau nommés par le Directeur général. Ce comité passe périodiquement en revue le programme et en oriente les activités futures en fonction des besoins et des priorités des Etats Membres développés et en développement.

### Activités du Centre de constantes nucléaires

Le Centre de constantes nucléaires a les activités suivantes:

- En tant que centre de coordination des recherches, il évalue les besoins de constantes nucléaires dans divers domaines de la science et de la technique. A cette fin, il est en relation, par des réunions et des visites de laboratoires, avec plus de 200 laboratoires de recherche de 60 Etats Membres (dont 55 laboratoires de 33 pays en développement) qui mesurent ou traitent des données nucléaires. Pour faire progresser la production et l'amélioration des constantes nucléaires et atomiques qui sont nécessaires, il a en cours plusieurs programmes de recherches coordonnées portant sur quelque 50 groupes dans des instituts de recherche. Grâce à ces programmes, le Centre peut produire des compilations de constantes nucléaires types de référence et créer des fichiers spécialisés pour d'importants domaines de la technologie, dont la sûreté nucléaire, les garanties appliquées aux matières nucléaires et la fusion nucléaire.

- En tant que centre de compilation, de validation et d'échange de constantes, il coordonne les réseaux mondiaux de plus de 30 centres et groupes nationaux et régionaux en vue de la collecte, de l'évaluation et de la diffusion systématiques de constantes nucléaires et atomiques. La facette la plus importante de cette activité est la compilation de toutes les constantes nucléaires créées dans le monde par un réseau de quatre centres. Ce réseau groupe les Etats-Unis, l'Union soviétique, l'AIEA et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE). Le réseau exploite une base commune de données appelée EXFOR. Depuis 1970, les données en sont systématiquement échangées à raison d'environ 40 bandes magnétiques par an. Les données de l'EXFOR (soit au total environ 300 millions d'octets de données numériques) sont celles de 51 pays, dont

35% des Etats-Unis, 11% de l'Union soviétique, 43% des Etats membres de l'OCDE (hormis les Etats-Unis) et 11% des autres Etats Membres de l'AIEA, dont 29 pays en développement. Outre la base de données générales EXFOR, le Centre de constantes nucléaires possède 80 bibliothèques de constantes nucléaires spécialisées (contenant 600 millions d'octets de données numériques et bibliographiques). Il est accordé une très grande importance à l'analyse, à la vérification et à la validation des constantes pour que l'exactitude et la fiabilité en soient assurées.

- En tant que centre international de données, il offre de nombreux services surtout aux Etats Membres en développement. Il fournit avec les constantes nucléaires les codes-machine et la documentation qui y correspondent. De plus, il appuie et coordonne le transfert et l'échange Est-Ouest et Nord-Sud d'informations sur les constantes nucléaires. En 1985, il a reçu 881 demandes émanant de 73 Etats Membres (53 pays en développement et 20 pays industrialisés), dont 269 demandes de constantes nucléaires numériques, 13 demandes de programmes machine et 591 demandes de rapports techniques. En réponse, la Section des constantes nucléaires a envoyé cette même année quelque 1900 documents et plus de 45 000 ensembles de constantes nucléaires d'un total d'environ 1600 millions d'octets. Parallèlement, il a largement aidé des scientifiques des pays en développement dans l'utilisation et le traitement de ces données par ordinateur.

- En tant que centre international principal de production et de diffusion de publications relatives aux constantes nucléaires, il publie périodiquement pour la vente deux importants index de données bibliographiques (CINDA pour les constantes nucléaires et CIAMDA pour les constantes atomiques), qu'il adresse à plus de 1200 bibliothèques, groupes de recherche et particuliers. Le Centre publie périodiquement aussi une liste mondiale de demandes WRENDA qui contient plus de 1000 demandes de mesures de constantes nucléaires. Cette liste est envoyée à quelque 800 chercheurs et directeurs de programmes qu'elle guide dans leurs travaux de recherche. Chaque année le Centre établit en moyenne 20 rapports sur des constantes nucléaires, diffuse environ 40 rapports sur des constantes nucléaires établis dans des Etats Membres et en traduit une dizaine de russe en anglais. De 300 à 500 scientifiques en moyenne reçoivent des rapports.

- En tant que centre chargé de transférer la technologie des constantes aux Etats Membres en développement, il est un pôle pour le transfert des méthodes et des techniques nucléaires. Plus de 20 pays en développement et 10 pays industrialisés participent à un projet inter-régional de coopération technique sur les techniques et les instruments concernant les constantes nucléaires. Ce projet permet au Centre de fournir une assistance technique sous forme d'équipement, de bourses, de missions d'experts et de contrats de recherche. Le but est de former des scientifiques et des techniciens du nucléaire de pays en développement à l'utilisation des méthodes et des techniques nucléaires. Conjointement avec le Centre international de physique nucléaire de Trieste, il organise des activités, notamment des cours biennaux de calcul de constantes nucléaires aux fins de la technologie nucléaire, auxquels prennent part de 70 à 90 scienti-

fiques venant de quelque 30 pays en développement, ainsi que des cours annuels de formation à la coopération technique interrégionale auxquels assistent normalement 20 scientifiques de 20 pays en développement.

### Tendances agissant sur le développement

Il ressort d'un tableau annexé que les constantes nucléaires ont de très nombreuses applications dans des domaines d'activité qui ne cessent de s'étendre et de se développer. C'est pourquoi il se crée un besoin de constantes nucléaires meilleures ou nouvelles. De plus, les progrès de la science et de la technologie nucléaires dans les pays en développement rendent nécessaire un programme permanent de transfert de la technologie de l'information nucléaire aux scientifiques de ces pays. Plusieurs phénomènes expliquent l'évolution de la situation:

- L'amélioration des fichiers, surtout de l'exactitude et de la fiabilité de leurs données.
- La création de compilations détaillées de constantes nucléaires et atomiques sous forme de manuels qui complètent des fichiers informatisés de données pour des applications spéciales (sûreté nucléaire, garanties, fusion nucléaire, géophysique nucléaire et radiothérapie, par exemple).
- La gestion d'un vaste programme d'assistance et de formation techniques à l'intention des pays en développement.

### Diversité des besoins de constantes nucléaires

Les constantes nucléaires et atomiques sont un élément fondamental d'information pour la conception, l'application et l'interprétation des méthodes et des techniques nucléaires dans lesquelles interviennent des considérations qui vont bien au-delà de l'énergie nucléaire proprement dite (*voir dans l'encadré l'exposé sur les constantes nucléaires et la sûreté nucléaire*). On trouvera ci-après des exemples de l'évolution des besoins de constantes nucléaires dans d'autres domaines:

● **Radiothérapie.** Les innovations dans la radiothérapie par les neutrons et les protons de haute énergie ont créé des besoins nouveaux en constantes nucléaires et atomiques relatives aux gammes d'énergie et en nucléides. Pour bien comprendre les mécanismes de la radiobiologie on procède à des calculs exacts de la propagation des rayonnements pour simuler l'interaction de divers champs de rayonnements de haute énergie (par exemple neutrons, protons, électrons, rayons X et rayons gamma) avec les tissus cellulaires. A noter aussi qu'en raison des progrès de la thérapie par les neutrons et les protons de haute énergie, il faut des données pour concevoir les dispositifs nécessaires de protection et de conformation du faisceau et pour comprendre les effets de l'interaction des rayonnements avec le tissu vivant. Le Centre de constantes nucléaires prépare une série de réunions pour évaluer les données existantes aux fins de ces applications et pour stimuler les travaux expérimentaux et théoriques en vue de combler les lacunes.

● **Fusion.** Le développement de l'énergie de fusion et de sa technologie repose pour beaucoup sur des calculs très poussés. Dans ces calculs il faut des constantes atomiques décrivant les procédés utilisés pour obtenir le plasma de fusion et aussi des constantes neutroniques

### Application des constantes nucléaires dans les domaines du programme de l'AIEA

Energie d'origine nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conception physique des réacteurs de fission et de fusion (calculs du cœur, transport des plasmas)</li> <li>● Conception mécanique des réacteurs de fission et de fusion (intégrité structurale, dommages radio-induits, protections)</li> </ul>
Cycle du combustible nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gestion du combustible à l'intérieur et à l'extérieur du réacteur</li> <li>● Retraitement chimique</li> <li>● Manipulation, traitement et stockage des déchets</li> </ul>
Sûreté nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sûreté radiologique (manipulation et surveillance des rayonnements, effets des rayonnements et calculs des doses)</li> <li>● Evaluation des accidents nucléaires (sûreté nucléaire et calculs de criticité)</li> </ul>
Garanties	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Etudes d'instruments, de méthodes et de techniques (analyse non destructive et méthodes de calcul, par exemple)</li> </ul>
Sciences physiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Physique nucléaire (conception et utilisation des accélérateurs, réacteurs de recherche et détecteurs de rayonnements, application et analyse des techniques nucléaires)</li> <li>● Physique des plasmas et recherches sur la fusion contrôlée</li> </ul>
Industrie et chimie	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Analyse des matières (techniques nucléaires de la prospection minière, application des techniques d'analyse)</li> <li>● Production de sources de rayonnement et de radioisotopes pour des applications médicales et pharmaceutiques</li> </ul>
Hydrologie isotopique	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Application des techniques nucléaires avec utilisation d'isotopes de l'environnement, d'indicateurs isotopiques artificiels et de sources radioactives scellées</li> </ul>
Sciences marines	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Evaluation des effets des rejets de radionucléides dans l'environnement marin</li> <li>● Evaluation de l'immersion des déchets dans les océans et pollution marine</li> </ul>
Sciences biologiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Applications médicales (utilisation des radioisotopes et des rayonnements en médecine clinique, traitement par les particules nucléaires)</li> <li>● Dosimétrie des rayonnements (interaction des rayonnements et de la matière)</li> <li>● Recherche environnementale (analyse par activation, analyse des traces, effet des rayonnements faibles)</li> </ul>
Alimentation et agriculture	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Production animale et végétale (utilisation des indicateurs radioisotopiques)</li> <li>● Irradiation des aliments</li> </ul>

pour simuler le transport des neutrons et leur absorption dans les couches génératrices de tritium et dans les écrans protecteurs. Dans les deux cas, les données sont à peine suffisantes pour les besoins. Le Centre s'occupe spécialement des constantes atomiques destinées aux atomiciens et aux spécialistes du plasma pour la réalisation de la fusion nucléaire. Cette activité s'ajoute à celles qui portent sur l'évaluation des constantes nucléaires nécessaires à l'étude de réacteurs de fusion et sur l'éta-

blissement d'un fichier de ces constantes pour les calculs relatifs à ces réacteurs.

● **Géophysique nucléaire.** La géophysique nucléaire a recours à des techniques conçues pour déterminer la nature et mesurer la composition des minéraux et des fluides des formations souterraines par spectroscopie gamma dans les puits et les trous de forage. Il faut une analyse quantitative exacte des données mesurées, qui doivent servir à déterminer les concentrations des éléments traces et des principaux composés minéraux. C'est là un impératif qui impose de sévères contraintes de qualité aux mesures spectroscopiques et, par conséquent, exige une grande exactitude des constantes relatives à la spectroscopie gamma et à la réaction nucléaire qui servent à simuler par le calcul du transport des rayonnements l'état des matières géologiques en vrac et à analyser et interpréter les mesures géophysiques. Les constantes nucléaires qui ont été évaluées pour des applications en technologie des réacteurs ne conviennent pas bien à cette fin, car elles ne s'étendent pas à tout le champ des nucléides présents dans les matières géologiques et n'englobent pas le type de sections efficaces de réaction nucléaire et de production de rayons gamma qui interviennent dans les mesures géophysiques. Actuellement, on s'occupe beaucoup de déterminer quelles sont

les données nécessaires et si on peut les obtenir. Dans les prochaines années, le Centre projette d'établir un manuel détaillé, avec fichier informatique associé, donnant les constantes nucléaires pour les applications en géophysique nucléaire.

● **Garanties.** Un objectif important du programme de l'AIEA pour les garanties est le contrôle du flux des matières nucléaires fissiles et fertiles. La comptabilité de ces matières s'appuie sur des informations venant des exploitants des installations et sur des vérifications que font les inspecteurs des garanties de l'AIEA. Les analyses de vérification font appel à des techniques destructives et non destructives basées sur la mesure des énergies et des intensités des rayonnements émis par les matières analysées. Pour comprendre et interpréter les résultats des mesures il faut disposer de constantes nucléaires d'une grande exactitude. Des constantes nucléaires sont nécessaires aussi pour les calculs qui étayent ces mesures et pour perfectionner les techniques analytiques et l'instrumentation. Le Centre travaille actuellement avec le Département des garanties à la compilation des constantes requises et il a en préparation un manuel de constantes nucléaires pour les applications des garanties. L'intention est de compléter le manuel par un fichier directement exploitable par l'ordinateur.

#### Constantes nucléaires et sûreté nucléaire

De tous les domaines d'application des constantes nucléaires, la sûreté nucléaire est l'un de ceux qui depuis quelques années retiennent le plus l'attention dans le monde. On peut penser que c'est là la principale raison de l'amélioration de l'exactitude et de la fiabilité de ces données.

La sûreté nucléaire a diverses facettes et concerne aussi bien le réacteur (dommages causés par les rayonnements nucléaires aux matériaux de structure du réacteur, la production d'actinides et de produits de fission et la maîtrise de la criticité) que la protection de l'environnement contre les rayonnements provenant des réacteurs, du transport et du traitement du combustible nucléaire épuisé, et des déchets radioactifs.

L'évaluation quantitative des problèmes et le calcul des doses de radioexposition tolérables par l'homme suppose une connaissance détaillée des propriétés des rayonnements émis et des processus nucléaires à l'origine de ces rayonnements. L'exactitude et la fiabilité des données sont de la plus haute importance: elles influent directement sur celles des calculs relatifs à la sûreté.

On en donnera comme exemple le besoin de constantes nucléaires et atomiques pour déterminer les dommages radioinduits dans les matériaux de structure des réacteurs à fission et à fusion. Les dommages causés aux composants par les rayonnements neutroniques ou les particules chargées ont une incidence directe sur la sûreté, le rendement et la conception des réacteurs nucléaires (les dommages que subissent les composants sont dus aux champs de rayonnement intenses qui existent à l'intérieur des réacteurs). Pour comprendre les mécanismes de dégradation, il faut corrélérer le type et la gravité du dommage à la nature et à l'intensité de l'environnement radioactif. Les constantes tant nucléaires qu'atomiques sont nécessaires pour interpréter et comprendre cette corrélation. Or, la base de données permettant de comprendre et de prévoir sous tous leurs aspects les dommages causés par les rayonnements manque encore.

Parmi les données requises figurent les sections efficaces qui expriment quantitativement l'interaction des neutrons rapides avec les matériaux de structure des réacteurs à fission et à fusion. Ces constantes sont indispensables pour évaluer la sûreté nucléaire et les dommages causés par les rayonnements, et

aussi pour calculer l'économie des neutrons et les protections. Pour les nucléides composant les matériaux de structure (à savoir le fer, le nickel et le chrome — les trois principaux constituants de l'acier inoxydable), les constantes de réaction utilisées dans les calculs de neutronique de la fission et de la fusion sont très anciennes et en général ne correspondent plus à l'état actuel des connaissances. Ces dernières années de nombreuses constantes de réaction induite par les neutrons ont été mesurées pour les matériaux de structure. Il y a eu de notables améliorations des modèles nucléaires et des codes-machine qui prévoient et interprètent les réactions neutrons rapides - noyau. Le Centre de constantes nucléaires de l'AIEA coordonne les travaux internationaux d'amélioration des constantes nucléaires évaluées qui existent, compte tenu des données expérimentales et des descriptions de modèles nucléaires plus récentes.

Une autre question d'importance pour la sûreté nucléaire est la formation pendant le fonctionnement du réacteur d'actinides et de produits de fission radioactifs. Les deux résultent des processus de capture des neutrons et de fission dans le combustible du réacteur. Ils importent beaucoup pour la sûreté du réacteur, le cycle du combustible, la gestion du combustible irradié et les garanties appliquées aux matières nucléaires. Dans le cas des actinides, il faut un examen constant et une normalisation internationale pour que soient assurées l'exactitude et la disponibilité d'une large gamme de constantes nucléaires (qui comprennent les sections efficaces de fission induite par les neutrons et de capture, les paramètres de résonance, le nombre moyen de neutrons instantanés libérés par la fission et les propriétés de la désintégration radioactive de certains nucléides transuraniens produits dans le combustible irradié).

Récemment, l'AIEA a publié une liste des constantes de désintégration des nucléides transactinides, qui est l'aboutissement de sept années d'activité auxquelles ont pris part les grands laboratoires. Pour les produits de fission souvent les rendements de fission et les périodes radioactives ne sont pas encore connues avec suffisamment d'exactitude et il est également prévu de mettre à jour la base de données. Le Centre projette d'organiser, dans les années à venir, des réunions et des recherches coordonnées pour combler les lacunes et améliorer l'exactitude des constantes requises.