

la mise au point des surgénérateurs rapides, c'est-à-dire les réacteurs rapides refroidis par un gaz. Ces réacteurs présentent un grand nombre d'avantages évidents par rapport aux modèles à métal liquide, mais sont encore plus complexes du point de vue technique.

En 1972, l'AIEA a organisé à Minsk (URSS) un Groupe d'étude des réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides refroidis par un gaz. Les conclusions auxquelles les participants sont parvenus au cours de cette réunion ont trouvé un écho favorable dans la presse scientifique.

Reconnaissant que les réacteurs surgénérateurs rapides peuvent contribuer de plus en plus à répondre aux besoins énergétiques mondiaux, l'Agence internationale de l'énergie atomique poursuivra ses efforts en vue d'assurer une coordination internationale dans ce domaine.

**Extraits des allocutions d'ouverture et de clôture prononcées
au Colloque sur les applications des constantes nucléaires
dans la science et la technologie, réuni à Paris en 1973**

Applications des constantes nucléaires

Le développement de la technologie nucléaire au cours des vingt dernières années a accentué le besoin d'un ensemble cohérent et facilement accessible d'informations nucléaires pour la communauté scientifique. Les options de l'industrie nucléo-énergétique, telles que la mise au point de réacteurs nucléaires plus efficaces et l'étude des réacteurs à fusion thermonucléaire, ainsi que l'emploi accru des méthodes et techniques nucléaires dans pratiquement tous les domaines de la science et de la technologie multiplient chaque jour la demande de données nucléaires numériques — on en d'autres termes, de constantes nucléaires — plus précises et plus abondantes.

Au cours de ces dernières années, la compilation et l'utilisation des constantes nucléaires ont pris une extension considérable, tant en volume qu'en diversité et en portée, et l'on prévoit que cette évolution continuera. Telle était l'impression dominante des participants au Colloque international sur les applications des constantes nucléaires dans la science et la technologie, réuni l'année dernière à Paris par l'Agence internationale de l'énergie atomique, qui a permis de confronter les résultats actuels de la compilation des constantes nucléaires avec les besoins de la science et de la technologie dans ce domaine.

Une des conclusions dégagées est que si l'énergie nucléaire continue d'être le stimulant le plus important et le plus sérieux de la compilation des constantes nucléaires, le nombre croissant des applications scientifiques et technologiques des méthodes nucléaires, ainsi que la nécessité toujours plus impérieuse de protéger l'homme des rayonnements ionisants, exigent qu'on élargisse considérablement la diversité et la portée de ces compilations. Des constantes nucléaires, précises et aisément accessibles, deviennent chaque jour plus importantes pour les scientifiques utilisant les rayonnements et les isotopes en radiobiologie, dans

le diagnostic médical et la thérapie, en analyse par activation, en géologie, dans la recherche sur les matériaux et dans d'autres domaines. L'affinement des techniques nucléaires expérimentales, qui a entraîné au cours de ces dernières années une très forte augmentation du volume des constantes nucléaires mesurées, a fait surgir le nouveau problème de la compilation et du traitement de ces constantes et de leur diffusion rapide, sous une forme appropriée, parmi les utilisateurs, tout en soulignant la nécessité d'une justification des options et d'un choix des priorités en matière de compilation.

EXPOSE D'INTRODUCTION

L'exposé d'introduction au Colloque était présenté par M. Alvin N. Weinberg, ancien directeur de l'Oak Ridge National Laboratory (Etats-Unis) actuellement directeur des études et réalisations au U.S. Federal Energy Office.

M. Weinberg a terminé son exposé en insérant ces problèmes dans la perspective de l'importance croissante que prennent la science et la technologie nucléaires dans la vie de chacun :

« Nous prévoyons qu'à la fin du siècle 500 réacteurs seront exploités rien qu'aux Etats-Unis. Le reste du monde suivra de près. Les radionucléides auront cessé d'être une curiosité scientifique pour devenir une réalité permanent de la vie quotidienne. Dans les domaines d'activités les plus diverses, tous devront en tenir compte: ingénieurs chimistes, géologues, géochimistes, météorologues, océanographes, paléographes, écologistes, anthropologues, vétérinaires, agronomes, pédologues, économistes et politicologues. Chaque spécialité exigera des renseignements sous une forme facile à utiliser, à transmettre et à retenir. Ce sera la tâche des compilateurs de répondre aux besoins des nombreux secteurs de notre société et de fournir les constantes nucléaires sous des formes adaptées aux besoins des divers secteurs.

Nous sommes donc en présence d'un besoin pressant et croissant d'une compilation nucléaire motivée de l'extérieur. Il est peu probable que les utilisateurs éventuels s'adressent de leur propre chef aux compilateurs et demandent des compilations particulières à leur usage. C'est au compilateur de rechercher constamment et activement les utilisateurs possibles. Plusieurs mécanismes pourraient rendre cette tâche un peu moins ardue.

1) *Des conférences comme la présente où l'utilisateur et le compilateur peuvent se rencontrer pour échanger des vues sur des problèmes importants et définir ensemble les mesures qui s'imposent.*

2) *Il est possible d'insérer les centres de constantes nucléaires dans de grandes organisations pluridisciplinaires. C'est actuellement le cas des laboratoires nucléaires de nombreux pays; cette pratique établit des voies de communication suffisamment bonnes entre les compilateurs et les utilisateurs qui ont affaire au domaine nucléo-énergétique.*

3) *Les organismes que nous avons mentionnés précédemment, tels que le U.S. Nuclear Data Committee, peuvent être d'un grand secours pour établir les priorités de compilation des constantes nucléaires. L'utilité des divers comités consultatifs sur les sections efficaces neutroniques a été indiscutable, pour la mesure comme pour l'évaluation des constantes nécessaires à l'étude des réacteurs. Néanmoins, les domaines plus généraux des sciences et applications nucléaires n'ont pas le même commun dénominateur, ni d'ailleurs la structure administrative centralisée, dont bénéficient les concepteurs et constructeurs de réacteurs. Ils s'ensuit que les comités auront plus de mal à définir exactement les besoins de cette grande communauté. En outre, les comités sont peu maniables: peut être risquent-ils de retarder encore le transfert de l'information de l'expérimentateur à l'utilisateur – alors que nous essayons au contraire de l'accélérer.*

4) Enfin, l'élément le plus important est l'intelligence, l'énergie et la perspicacité du compilateur ou de l'organisme de compilation. Une question importante se pose à cet égard: comment rendre les centres traditionnellement automotivés, voués à la science nucléaire fondamentale, plus utiles à la science appliquée? Une solution évidente, et fort simple, est de presser les compilateurs de constantes nucléaires d'accorder plus d'attention aux besoins des utilisateurs. Après tout, lorsqu'un compilateur définit une priorité conformément à la logique interne de la science nucléaire, il doit se familiariser avec cette logique — décider ce qu'il faut faire pour consolider l'édifice de la science nucléaire. Est-ce utopique de demander aux compilateurs de constantes nucléaires de s'ouvrir davantage aux contingences de la science appliquée et de s'inspirer des besoins de ses travailleurs en établissant leurs priorités, sans pour autant trahir la science — leur objectif principal — ni renier leurs critères principaux de sélection, qui restent internes? En pratique, cela signifie qu'au moins quelques compilateurs de chacun des groupes de compilation fondamentale acquerraient les connaissances nécessaires et du flair pour les sciences appliquées.

Etablir des priorités en matière de compilation nucléaire n'est guère plus facile que définir les options de la science nucléaire elle-même. En fait, plutôt que de proposer des priorités précises, nous avons évoqué des moyens d'établissement des priorités — en particulier les comités d'orientation et le compilateur informé, notamment celui qui travaille dans un large cadre interdisciplinaire. Il va de soi que les deux mécanismes ne sont pas incompatibles. Notre seul espoir est que la tendance actuelle à centraliser les décisions dans les sciences en créant des comités centraux n'aboutisse pas à réduire la responsabilité propre du compilateur, qui est de se familiariser, en s'y sensibilisant, avec les besoins des travailleurs des sciences fondamentales et appliquées qui utilisent ses compilations. »

SYNTHESE

La synthèse du colloque fut faite par M.W. Bennet Lewis, Canada, ancien Premier Vice-Président (Sciences) de l'Energie atomique du Canada.

L'extrait ci-après contient les points principaux de son allocution:

L'objectif essentiel de ce colloque était d'établir comment les utilisateurs de constantes nucléaires peuvent être le mieux servis par les mesureurs et compilateurs de ces données. Il s'avère que les utilisateurs comprennent presque tous les producteurs et pionniers de la recherche du monde. Les problèmes mondiaux sont posés par une population énorme, rapidement croissante, qui — grâce aux communications modernes — a pris conscience de ce que la vie humaine peut vraiment être.

L'âge moyen de la population du globe est probablement inférieur à vingt ans et, pour le plus grand nombre, la vie n'a fait que commencer. Pour que cette population puisse agir, et qu'elle soit à même de mener à bien ses entreprises, les constantes nucléaires jouent un rôle bien plus grand que la plupart des gens ne se l'imaginent. La contribution des constantes nucléaires va de la satisfaction des besoins quotidiens pour se maintenir en vie, se nourrir, se chauffer et se soigner, aux activités les plus extraordinaires, telles que le projet d'envoyer huit hommes sur Mars.

De nouveaux problèmes de choix se posent constamment, car la mesure et la compilation des constantes nucléaires ne fournissent pas automatiquement à celui qui mesure ou compile tout ce qu'il cherche dans la vie. Avec la division du travail qui a été instaurée dans le monde et qui semble nécessaire pour faire vivre une population aussi nombreuse, il revient à d'autres d'assurer l'alimentation et l'entretien des serviteurs qui ne seraient pas très productifs se on les traitait comme des esclaves.

Dans son exposé d'introduction, M. Weinberg postule que la première étape a été franchie et que les scientifiques existent et ont terniné leur formation de base, de sorte que leur

problème est de choisir une activité qui soit de la science bien comprise, c'est-à-dire qui consiste à résoudre ce qui peut l'être. Il faut cependant veiller avant tout à ce que les voies choisies mènent à des résultats tangibles dans un temps acceptable — qui semble actuellement être quelque peu inférieur à la durée d'une carrière scientifique, mais qui pourrait être beaucoup plus long si les hommes politiques du monde, qui orientent et fondent la division du travail, se montraient assez clairvoyants.

Examinons maintenant certaines des options pratiques, en admettant que leur objet soit d'aider les mesureurs et compilateurs à faire de leur mieux.

Utilisation des constantes nucléaires

Considérons d'abord les utilisateurs médicaux. Tout bien considéré, il semblerait qu'ils ont principalement besoin d'une science radiobiologique digne de ce nom. Nous avons vu à quel point les concepts d'efficacité biologique relative (EBR) et les idées élémentaires de microdosimétrie et de structure des traces sont insuffisants pour expliquer l'action biologique intense que peut avoir une faible quantité de rayonnements ionisants. Envisageons une dose de rayonnements de 500 rads, à l'organisme entier de l'homme. Bien que ne correspondant qu'à une densité d'énergie très faible — 50 000 ergs par gramme, qui n'augmenterait la température que de 0,00125°C à peine — elle risque d'entraîner la mort d'un être humain. Cependant, des doses similaires utilisées en thérapie peuvent avoir des effets biologiques bénéfiques.

En médecine, les radioisotopes servent au diagnostic comme à la thérapie. Un certain nombre d'isotopes — faciles à se procurer et de périodes commodes — figurent dans les pharmacopées, mais il y a de la place pour d'autres. Cela signifie que de nouvelles constantes nucléaires, ainsi que leur évaluation et compilation, sont nécessaires. Un autre effet très marquant en thérapie relève des concepts développés de EBR et de transfert linéique d'énergie (TLE), qui rendent intéressant l'emploi de protons de haute énergie, de particules alpha, et aussi de particules artificielles insolites, tels les mésons π , comme agents spécifiques contre les tumeurs localisées. Le domaine entier des mésons produits par les accélérateurs de particules d'énergie intermédiaire ouvrent aux mesureurs et compilateurs de constantes nucléaires un nouveau domaine, pratiquement vierge encore, de leur science.

Je voudrais m'attarder sur cette métaphore des terres vierges et du jardin, qui paraît s'appliquer si pertinemment aux options qui s'offrent aux scientifiques nucléaires. Fort heureusement, ceux-ci sont nombreux et nombreuses aussi leurs préférences. Certains trouveront plus de satisfaction à poursuivre leurs travaux dans des jardins bien ordonnés, aux plates-bandes abondamment garnies de constantes nucléaires, ordonnées en grandes compilations et riches en programmes permettant à l'utilisateur, d'accéder aux données, toutes évaluées et enregistrées sur bandes magnétiques. D'autres préféreront se lancer à la découverte sur un terrain vierge et expérimenter avec les protons de 800 MeV et les mésons, neutrons et produits de spallation qu'ils produisent. La région des neutrons de 14 MeV issus de la réaction D,T est à la limite du jardin bien ordonné et de la friche; ici, une discipline rigoureuse s'impose pour exécuter les mesures et évaluations les plus significatives.

Abordons maintenant ce grand domaine de l'utilisateur, la production d'énergie nucléaire. L'exposé d'introduction nous a rappelé qu'un problème de grande importance, ayant fait l'année dernière l'objet d'environ 22 000 pages de témoignages, est le besoin de meilleures données expérimentales sur l'énergie libérée par les produits de fission de courte période immédiatement après l'arrêt d'un réacteur de puissance. L'application des constantes nucléaires à la production d'énergie nucléaire est généralement très poussée et assez satisfaisante pour les réacteurs des filières éprouvées; aussi en a-t-il été très peu question au colloque. En ce qui concerne les réacteurs surgénérateurs rapides, par contre, personne ne

semble satisfait, et de nombreux mémoires font état des divergences criantes entre les calculs fondés sur les constantes nucléaires microscopiques évaluées et les résultats des expériences intégrales sur assemblages réacteurs. L'accord entre constantes microscopiques et données d'expériences intégrales sur réacteurs rapides laisse peu de latitude quant aux modèles et aux méthodes de calcul, ce qui appelle des progrès en matière de constantes nucléaires microscopiques.

Ce n'est probablement pas avant longtemps que l'exploitation massive de l'énergie de la fission nucléaire sera complétée par la fusion nucléaire. Il se pourrait bien que l'aide viennoise moins comme un apport énergétique que comme une contribution aux cycles généraux des neutrons et du combustible. On a montré que des réacteurs hybride fission-fusion et des chaînes de fusion sub-thermonucléaires sont encore des domaines largement inexplorés méritant peut-être quelque prospection.

Nombreux sont les utilisateurs de constantes nucléaires qui n'ont été mentionnés qu'en passant. Les applications des radioindicateurs à l'étude des possibilités d'améliorer les cultures et d'optimiser l'alimentation du bétail sont bien connues, mais les progrès de la technologie nucléaire permettent d'obtenir des isotopes encore plus commodes et mieux adaptés. Leur choix, en fonction de la production, de la transmission et de l'utilisation, fait appel à bien des compilations de constantes nucléaires. Par ailleurs, un autre grand domaine technologique utilisant des isotopes stables comme indicateurs était étudié sous le couvert de la chimie. Les isotopes stables peuvent être identifiés et mesurés par diverses méthodes d'activation nucléaire utilisant des sources de neutrons comme le californium 252, ou des réacteurs nucléaires expérimentaux, des accélérateurs de particules bombardant l'échantillon, des accélérateurs compacts produisant des neutrons de 14 MeV ou autres accélérateurs de haute énergie comme les microtrons et les bétatrons.

Des utilisateurs spéciaux se présentent aussi dans les domaines de l'écologie, de l'océanographie, de l'extraction minière et beaucoup d'autres secteurs de l'industrie et de la science appliquée.

Certain progrès technologiques étaient annoncés et rendus réalisables par des sous-produits de l'expansion massive de l'énergie nucléaire. Ainsi, le plutonium 238, isotope dont la période est de 90 ans, sera commercialisé et pourra être utilisé non seulement pour les petites sources d'énergie alimentant les stimulateurs cardiaques, mais probablement aussi comme matière fissile augmentant son rendement énergétique par fission dans un mini-réacteur.

Les expériences de fusion nucléaire contrôlée ont mené à envisager la régénération ou la production du tritium, ce qui nécessite l'élargissement des connaissances non seulement dans le domaine des neutrons énergétiques, mais aussi dans celui des réactions particulières produisant du tritium. Par ailleurs, la rétention et la récupération du tritium exigent une nouvelle technologie, se prêtant à un contrôle par des techniques nucléaires.

La structure des pellicules protectrices, de grande importance dans l'industrie, fait l'objet d'études très approfondies. Parmi les techniques utilisées on compte la rétrodiffusion nucléaire et les études des réactions nucléaires dans les cibles épaisses.

Il ne faut pas non plus oublier la chimie des atomes chauds, qui a besoin d'un certain nombre de constantes nucléaires compilées, ni la science des plasma et des lasers, qui présente plus d'un point commun avec la science nucléaire.

Compilations des constantes nucléaires

Il est apparu au cours du colloque que non seulement les utilisateurs extérieurs, mais aussi les scientifiques nucléaires, qui constituaient la grande majorité des participants, ignoraient

tant l'existence que les mérites particuliers d'un très grand nombre de compilations de constantes nucléaires pourtant disponibles.

Les océanographes nucléaires estiment que les compilations sur bandes magnétiques, pouvant être amendées, complétées et constamment mises à jour par ordinateur, répondent le mieux à leurs besoins. D'autres utilisateurs penchent pour l'extrême contraire — une tabulation compacte ne présentant que les données dont ils ont besoin. Mais les uns et les autres seraient d'accord sur la nécessité d'une information précise. L'évaluation de la précision des constantes nucléaires est un gros travail, nécessitant tous les moyens acquis par les compilateurs des grandes classifications fondamentales. Il est indispensable de conserver une excellente corrélation entre les compilations fondamentales et la multitude des compilations spécialisées. Il peut être très gênant pour l'utilisateur de trouver différentes valeurs pour une même constante nucléaire selon les tables qu'il consulte, sans que rien vienne guider son choix.

Le mesureur peut faire beaucoup pour faciliter la tâche ardue de ceux qui s'occupent de l'évaluation. En règle générale, il faut fournir beaucoup plus de détails sur l'évaluation des erreurs en ce qui concerne les méthodes, les erreurs systématiques possibles et les points de référence où les mesures sont relatives. A part quelques exceptions notables, l'expérience générale de l'évaluation montre que les différentes mesures ne cadrent pas avec la marge d'erreur postulée. On pourrait émettre le vœu qu'en cas de doute le mesureur soit consulté et que de son côté il considère son travail comme provisoire, jusqu'à la concordance avec l'évaluateur.

Les caractéristiques des constantes nucléaires dont on demande la compilation s'élargissent continuellement. L'adoption en 1963 de spectromètre γ de haute résolution à détecteur en germanium a souligné le besoin de spectres γ détaillés. Par ailleurs, à mesure que l'analyse par activation s'étend aux particules chargées, aux photons γ et aux neutrons de haute énergie, l'éventail des niveaux nucléaires et des états isomériques de différentes périodes doit s'élargir aussi. Les utilisateurs réitèrent les demandes de données sur les intensités absolues des rayons γ . En outre, les interférences restent importantes en dépit de la haute résolution et devraient être clairement indiquées dans les tabulations. Les techniques d'analyse se multiplient constamment et font appel aux coïncidences non seulement entre rayons γ , mais aussi entre rayons X et électrons Auger.

La gamme de noyaux importants n'inclut plus uniquement les produits de fission directs, mais aussi les nucléides issus du bombardement des produits de fission par les neutrons.

L'application fructueuse des relations théoriques à l'élargissement des constantes nucléaires a été mentionnée dans plusieurs cas, dont les résonances d'activation non résolues, et notamment les résonances neutroniques dans les composants de réacteurs et les fonctions d'excitation des réactions nucléaires de particules chargées.

On remarque une collaboration croissante entre les centres régionaux de constantes nucléaires. Celle-ci semble le plus active dans le domaine des constantes neutroniques pour réacteurs. Une collaboration analogue est recherchée dans d'autres domaines, spécialement dans l'analyse par activation, qui devient très complexe.

La tendance actuelle de l'enseignement universitaire aux activités interdisciplinaires est bien illustrée par le domaine de l'analyse par activation. Elle familiarise les étudiants avec les limitations et les difficultés de la compilation, de sorte qu'ils vont en connaissance de cause grossir les rangs des compilateurs.

Les spécialistes de l'évaluation et de la compilation ont émis le souhait qu'on réalise des modèles de présentation et des constantes de référence types internationalement normalisés, tels que le rendement neutronique de la fission du californium 252. Ils voudraient aussi

préciser le sens attribué à l'expression «constantes évaluées» et à d'autres expressions vagues utilisées par les compilateurs. Par ailleurs, leur travail serait facilité par une utilisation plus large de mots clés dans les périodiques scientifiques. L'attention cependant a été appelée sur le fait que les mots clés ne peuvent pas déceler toutes les constantes apparentées, mais dissimulées.

Le colloque a bénéficié non seulement de la participation d'un très grand nombre de scientifiques qui ont présenté leurs évaluations et compilations de constantes nucléaires, mais aussi de la présence d'utilisateurs des horizons les plus divers. Le résultat en est une prise de conscience générale quant à l'importance, à la complexité et au volume croissant du travail que représente l'analyse de constantes aux si nombreuses utilisations.

Le dessalement et le fonctionnement d'installations nucléaires à double fin au Royaume-Uni

par Owen Pugh, Directeur des programmes de dessalement, UKAEA

Inaugurant en 1968 le Colloque sur le dessalement nucléaire organisé par l'AIEA à Madrid, Monsieur H. Kronberger, disparu depuis, a présenté un mémoire portant un titre très analogue à celui du présent article [1]. Il commençait en ces termes «Le Royaume-Uni n'attache pas de valeur particulière au dessalement nucléaire, car les deux technologies ont fait leurs preuves et il est possible de passer commande de grandes installations industrielles fondées sur l'une et l'autre». M. Kronberger présentait un certain nombre des raisons pour lesquelles des usines de dessalement nucléaire n'avaient pas encore été construites à l'époque; il citait notamment la taille de l'ouvrage proposé et les contraintes sur le quotient capacité de dessalement/puissance, qui sont imposées par les systèmes de dessalement disponibles et par le cycle énergétique du réacteur. Trop souvent les études sur le dessalement nucléaire ne paraissent viables qu'avec l'adjonction d'une industrie manufacturière ou chimique et on tient rarement compte des problèmes posés par l'intégration dans les réseaux de distribution d'eau et d'électricité.

Le dessalement nucléaire est un cas particulier d'utilisation d'installations à double fin et la majorité des usines de dessalement installées dans le monde fonctionnent de cette manière. Il faut qu'une installation nucléaire à double fin soit très vaste si l'on utilise les modèles de réacteurs qui sont à présent rentables, par exemple 1000 MW(e)/800 000 m³ par jour. C'est pour des questions de taille qu'il n'a pas été possible d'appliquer cette formule jusqu'à présent. Les installations à double fin alimentées en combustible fossile sont actuellement – généralement en raison du faible coût de combustible – dans une situation économique telle que les insuffisances de rendement dues à ce que le quotient est