

SECURITE DES REACTEURS NUCLEAIRES

Evaluation plus réaliste des risques, sécurité plus grande fondée sur des connaissances accrues, meilleure organisation et techniques perfectionnées: tel est le bilan du Colloque sur la sécurité des réacteurs et les méthodes d'évaluation des risques qui a été organisé, à Vienne, du 14 au 18 mai, par l'Agence internationale de l'énergie atomique.

Depuis bientôt vingt ans qu'ils existent, les réacteurs nucléaires fonctionnent dans des conditions de sécurité remarquables, voire meilleures que celles de toute industrie comparable. Comme l'indiquait un mémoire présenté par M. Henri B. Smets, de l'Agence européenne pour l'énergie nucléaire, on n'a enregistré au cours de cette période que six décès et moins de 30 blessés graves à la suite d'accidents de réacteurs. Trois des décès sont d'ailleurs survenus du fait de l'accident qui a eu lieu aux Etats-Unis le 3 janvier 1961 et qui a détruit le réacteur SL-1.

Ces excellentes conditions de sécurité ont pu être obtenues dans les premières années de l'industrie nucléaire parce qu'on a pris des précautions très minutieuses. En l'absence de connaissances réelles sur la nature exacte du danger, on a dû faire des hypothèses très pessimistes. M. G. Laurence (Canada), évoquant cette première phase de l'industrie nucléaire au cours du colloque, a rappelé qu'au début on se préoccupait du pire accident concevable et que l'on accumulait les dispositifs de sécurité pour assurer la protection nécessaire, ce qui amenait généralement à choisir un site éloigné des lieux d'habitation, à entourer le réacteur d'une ou plusieurs enveloppes d'isolement et à employer une instrumentation si complexe que, de l'avis de M. Laurence, la sécurité n'en était probablement pas réellement accrue. Un autre orateur a comparé ce stade initial aux premiers jours de l'automobile, où la loi anglaise exigeait que toute automobile entrant dans une agglomération soit précédée d'un homme à pied porteur d'un drapeau rouge.

Le stade du "drapeau rouge" de l'industrie nucléaire était sans doute exigé par l'opinion publique, puisque, comme l'a souligné le Directeur général de l'AIEA, M. Sigvard Eklund, dans l'allocution qu'il a prononcée à l'ouverture du colloque, les origines et les possibilités militaires de l'énergie atomique sont profondément ancrées dans les esprits partout dans le monde et ont créé une sensibilité particulière à la pensée des dommages que peuvent provoquer les rayonnements. Mais M. Eklund a ajouté que la complexité des mesures de sécurité avait imposé un lourd handicap économique à l'énergie d'origine nucléaire dans sa lutte pour concurrencer les autres formes d'énergie. Par exemple, M. O. Kellerman (République fédé-

rale d'Allemagne) a estimé que le coût des mesures de sécurité dans les centrales nucléaires peut atteindre 10 à 20 % des dépenses totales de la centrale.

La tâche des spécialistes de la sécurité des réacteurs a donc été de trouver des moyens d'assurer la sécurité demandée par le public qui soient moins prohibitifs et plus accessibles et qui n'annihilent pas les bienfaits que les réacteurs peuvent offrir à la société.

Evaluation des risques

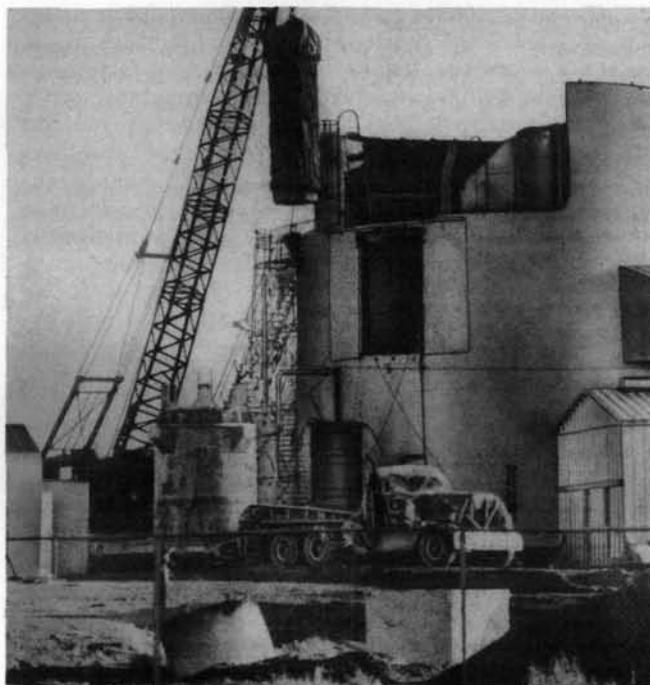
Les mémoires présentés au cours du colloque et les échanges de vues auxquels ils ont donné lieu ont montré que les efforts déployés pour atteindre les objectifs qui viennent d'être indiqués ont déjà porté de nombreux fruits. L'un des domaines dans lesquels de grands progrès ont été réalisés est l'évaluation des risques des divers réacteurs. Très tôt dans l'histoire des réacteurs, le concept du "pire accident concevable", mentionné par M. Laurence, a cédé la place à celui de l'"accident le plus grave prévisible", qui a été défini par M. R. Boulanger (Belgique) comme l'accident le plus grave que l'on puisse envisager sans invoquer des circonstances manifestement impossibles.

L'identification de l'accident le plus grave prévisible et l'analyse de ses conséquences éventuelles sont devenues la base courante, bien que nullement exclusive, pour l'évaluation des risques des réacteurs nucléaires dans la plupart des pays. Le manque d'expérience - dont il faut se féliciter - en matière d'accidents de réacteurs nucléaires n'a pas permis de procéder à des évaluations précises. M. J. DiNunno (Etats-Unis) a souligné que, vu cette absence de données et de connaissances exactes, il faut s'en tenir à des hypothèses pessimistes au sujet des accidents éventuels. De nombreux pays font des recherches poussées, tant expérimentales que théoriques, pour acquérir les connaissances qui manquent encore. MM. DiNunno et A. Foderaro ont présenté des mémoires décrivant les travaux de ce genre en cours aux Etats-Unis, réalisés à l'aide d'une série de réacteurs expérimentaux destinés exclusivement aux recherches sur la sécurité. Au Royaume-Uni, comme l'indiquait un mémoire de M. G. R. Bainbridge, les efforts sur le plan expérimental visent surtout à diminuer l'incertitude qui pèse encore sur les principales données affectant la sécurité des réacteurs du type Calder Hall. Des expériences françaises ont été décrites par M. A. Bourgeois, qui a également exposé des programmes internationaux d'échanges de résultats et de données.

Plusieurs mémoires étaient consacrés aux causes probables et aux effets possibles des accidents les plus graves prévisibles dans divers réacteurs ou types de réacteurs. Un mémoire de M. Kellerman expliquait que pour certains réacteurs, parmi les plus répandus, l'accident le plus grave prévisible se produit généralement à la suite d'une rupture du circuit primaire, qui entraîne une perte du fluide de refroidissement du réacteur. Dans un autre mémoire, M. Boulanger a évalué les conséquences d'une rupture simultanée des circuits primaires et secondaires dans le réacteur de puissance belge BR-3. M. Bourgeois a présenté un mémoire sur la sécurité des réacteurs à uranium naturel, ralentis au graphite et refroidis par un gaz, et il a envisagé un certain nombre d'accidents qui pourraient se produire à la suite du blocage d'un circuit ou d'une défaillance brutale. M. V. Sidorenko (Union soviétique) a montré comment la défaillance de l'alimentation des moteurs qui actionnent les pompes du circuit de refroidissement pourrait entraîner un accident grave dans un réacteur à eau sous pression.

Plusieurs orateurs, dont M. A. Veselkin (Union soviétique), ont fait observer que la période la plus dangereuse pour un réacteur est celle où il est à l'arrêt mais en état de fonctionner. M. Veselkin a insisté sur la nécessité de prendre des précautions

L'enquête approfondie sur l'accident qui a détruit le réacteur SL-1 de la Station d'essais des réacteurs de la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis dans l'Idaho a permis de mieux comprendre les principes de sécurité des réacteurs. On retire ici le coeur du réacteur pour le transporter jusqu'à une cellule «chaude», à 70 km de là, où il sera démonté et examiné



particulières pendant ces temps morts. M. Laurence, qui a étudié cette question de manière très approfondie, a signalé que parmi les rares accidents graves qui se sont produits dans le monde, deux sont survenus lorsque le réacteur ne fonctionnait pas et les autres au moment où il démarrait à nouveau après un arrêt normal. C'est ainsi que l'accident le plus grave et le plus meurtrier dû à un réacteur, celui qui a détruit le réacteur SL-1 en janvier 1961, s'est produit alors que le réacteur allait être remis en marche après un arrêt aux fins d'entretien et de modifications. Cet accident et l'enquête qui a suivi - qui n'est d'ailleurs pas terminée - ont été décrits en détail par M. A. N. Tardiff (Etats-Unis).

Les accidents de réacteurs se manifestent par deux effets principaux : le premier est le souffle ; le deuxième, la libération massive de produits de fission à travers les murs du bâtiment ou par la cheminée du réacteur. De ces deux effets, la libération des produits de fission est de loin le plus dangereux. Les effets de souffle, a déclaré M. Foderaro, ont une portée relativement faible et ne présentent donc que relativement peu de risques. En outre, les effets de souffle peuvent être et sont en fait atténués en prévoyant une zone contrôlée, de dimensions assez faibles, autour du site du réacteur.

En revanche, la libération d'un nuage radioactif risque d'avoir de lourdes conséquences. C'est pourquoi un élément fondamental de l'analyse de la sécurité est l'estimation de la teneur du nuage radioactif que produiraient les accidents possibles pour chaque réacteur ainsi que le calcul de sa dispersion et de ses effets éventuels sur la population environnante. Des travaux considérables ont été entrepris à ce sujet et plusieurs des mémoires présentés au colloque s'y rapportaient. Un fonctionnaire de l'Agence, M. Suzuki, a présenté un calcul des doses résultant d'une exposition externe aux nuages radioactifs et de l'inhalation d'aérosols radioactifs, en se fondant sur diverses hypothèses concernant les caractéristiques des aérosols, les conditions d'exposition et les facteurs biologiques. Il a fait ressortir qu'il fallait s'attendre à une grande variété dans les doses accumulées dans les différentes parties du corps.

Facteurs de sécurité dans les études de réacteurs

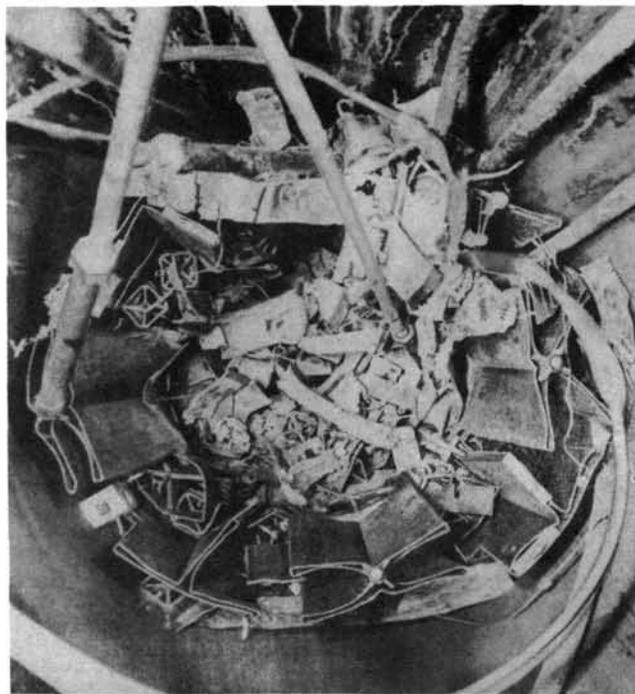
Bien que l'absence de certitude oblige toujours à faire des hypothèses pessimistes en ce qui concerne les possibilités d'accidents, les mémoires présentés au colloque ne laissent aucun doute quant aux progrès dans la lutte contre les risques d'accidents. M. Foderaro a déclaré : "Les connaissances actuelles sont suffisantes pour que l'on puisse choisir les paramètres des réacteurs et les dispositifs de contrôle de manière à obtenir une très grande sécurité intrinsèque des réacteurs". Comme l'indique cette assertion, M. Foderaro a

classé les caractéristiques de sécurité des réacteurs en deux catégories : "les mécanismes inhérents au coeur du réacteur et les mécanismes inhérents au système de contrôle".

M. Foderaro a décrit des mécanismes nucléaires inhérents à divers types de réacteurs, par lesquels ces derniers tendent à s'arrêter d'eux-mêmes ou tout au moins à revenir à un niveau d'énergie acceptable à la suite d'une saute de puissance. Ainsi, un réacteur refroidi à l'eau, connu sous le nom de SPERT-I et utilisé aux Etats-Unis pour des recherches sur la sécurité, répond aux sautes de puissance par la formation de vapeur qui augmente la probabilité de fuite des neutrons et par une expansion du métal qui chasse le fluide ralentisseur et change la géométrie du coeur. Dans des réacteurs homogènes où la matière fissile est intimement mélangée à un ralentisseur solide, on a constaté que les sautes de puissance ont pour effet d'échauffer le ralentisseur, ce qui provoque une augmentation de la fuite des neutrons hors du coeur.

M. H. Karwat (République fédérale d'Allemagne) a souligné que le gainage des cartouches de combustible est une première protection contre la libération des produits de fission. Il est donc important de prévoir, dans tout coeur de réacteur, des cartouches de combustible et un gainage qui ne soient pas altérés dans des conditions dangereuses. Le mémoire de M. Karwat traitait de certains problèmes qui se posent dans l'étude de cartouches de combustible et de gainage répondant à ce besoin. Dans son mémoire, M. Martin (France) a expliqué que l'analyse d'un accident survenu au réacteur français G.1 en 1956 avait permis de déterminer les températures exactes et autres conditions auxquelles la combustion de certains types de cartouches de combustible peut se produire.

Une autre série de mécanismes permettant de prévenir les accidents de réacteurs comprend les mécanismes de divers systèmes de contrôle, en dehors du coeur du réacteur. En général, leur but est de détecter toute situation anormale et d'y répondre en actionnant, soit un signal destiné à un opérateur, soit un système d'arrêt du réacteur. Certaines tendances récentes dans la mise au point de ces systèmes de contrôle ont été décrites dans les mémoires présentés par MM. P. R. Tunnicliffe et H. J. Collins (Canada), qui avaient trait essentiellement aux perfectionnements apportés au contrôle du réacteur NRX de Chalk River. M. Collins a souligné que l'accident le plus grave survenu à NRX, en 1952, avait clairement montré qu'on ne pouvait pas se fier au dispositif d'arrêt primaire, car plusieurs des 18 barres de contrôle n'avaient pas pénétré entièrement dans le coeur du réacteur. A la suite de cet accident, les barres ont été remplacées par six barres à commande électrique et d'un fonctionnement plus sûr. En outre, on a installé - comme deuxième mécanisme d'arrêt - un dispositif automatique d'évacuation de l'eau lourde servant de ralentisseur, en considérant que "si un



Vue des dégâts subis par le centre du coeur du SL-1 (ces deux photographies du SL-1 sont extraites d'un mémoire présenté par M. A.N. Tardiff (Etats-Unis) au colloque sur la sécurité des réacteurs)

mécanisme ne fonctionne pas, l'autre suffira pour arrêter le réacteur".

M. Tunnicliffe a indiqué que la coutume au Canada est de confier aux instruments une bonne part de la responsabilité de la sécurité d'un réacteur, parce qu'on est convaincu que le fait d'essayer d'assurer la sécurité presque exclusivement au moyen de mécanismes nucléaires handicape du point de vue économique le développement de l'énergie d'origine nucléaire. L'une des caractéristiques fondamentales du système de contrôle du NRX, tel qu'il est maintenant utilisé, est d'avoir trois circuits indépendants pour déceler et annoncer toute situation dangereuse. Si deux des trois circuits sont actionnés pour une cause quelconque, les mécanismes d'arrêt du réacteur sont mis en marche automatiquement. Mais, si un danger est enregistré uniquement pour un circuit, seul un signal d'alarme sera déclenché. Ce système présente trois grands avantages. Premièrement, aucune situation dangereuse ne peut passer inaperçue par suite d'une défaillance d'un circuit enregistreur. Deuxièmement, on évite les arrêts intempestifs provoqués par un circuit d'enregistrement défectueux, alors que le réacteur lui-même fonctionne normalement. A ce propos, M. Collins a fait observer qu'il y eut une époque où le NRX a été arrêté 275 fois dans l'année, le plus souvent du fait de défaillances des instruments. Enfin, le triple dispositif permet de procéder sur un circuit à des opérations d'entretien ou à des réparations, sans pour autant entraîner l'arrêt du réacteur.

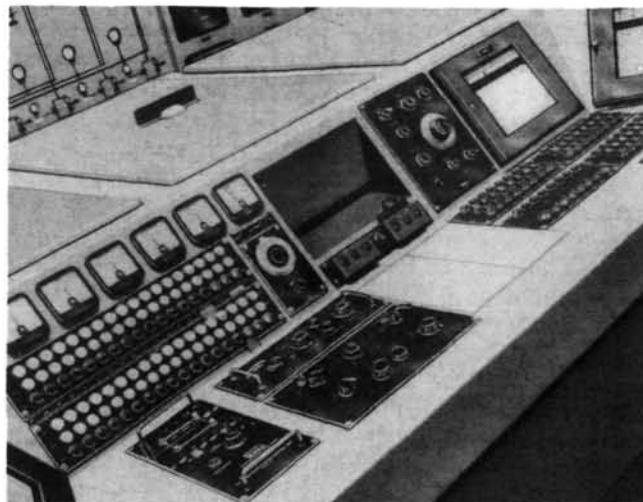
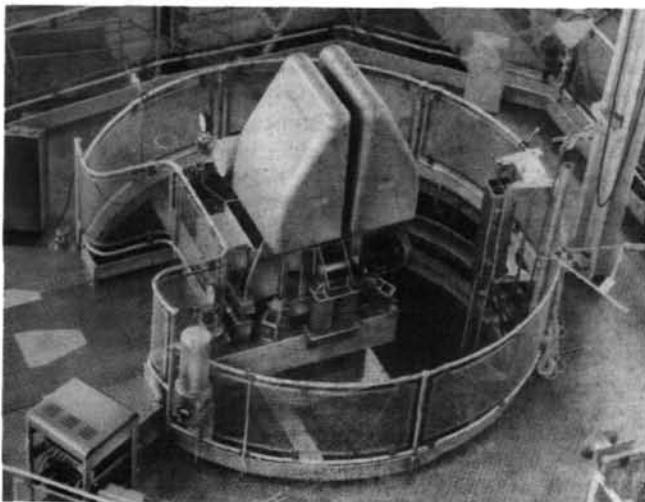
MM. V. S. Rao (Inde) et K. Becker (Allemagne) ont indiqué dans leurs mémoires que le réacteur CANDU de Trombay et le réacteur FR-2 de Karlsruhe utilisaient tous deux des dispositifs de contrôle triples, très semblables à ceux de Chalk River.

Le facteur humain dans la sécurité

Un des traits caractéristiques du colloque a été l'importance que de nombreux orateurs ont accordée au facteur humain dans la sécurité des réacteurs. Ainsi, M. Laurence a déclaré que la plupart des accidents auraient pu être évités si les opérateurs avaient pris plus de précautions. M. T. N. Marsham (Royaume-Uni) a dit qu'un opérateur vigilant est souvent préférable aux dispositifs les plus perfectionnés, car il peut prévoir et partant prévenir une situation dangereuse, tandis que le rôle de l'instrument peut se réduire à neutraliser le danger une fois qu'il est créé. M. Marsham a ajouté : "Il a été démontré que l'opérateur joue un rôle important en matière de sécurité, même si le dispositif de protection automatique fonctionne de façon satisfaisante. Lorsque des situations anormales sont survenues (à Calder Hall), les opérateurs ont pris les mesures voulues avec une rapidité surprenante; on estime que la sécurité se trouve considérablement renforcée si l'opérateur est régulièrement tenu au courant de l'état de l'installation et s'il a un rôle important à jouer, quel que soit le nombre des dispositifs automatiques."

L'importance d'instructions détaillées à l'intention des opérateurs a été soulignée par de nombreux orateurs. M. R. Charlesworth a déclaré qu'au Royaume-Uni l'octroi d'une licence d'exploitation était conditionné par l'existence de telles instructions. M. Collins a affirmé qu'il existait plus de 1 000 manuels sur les divers aspects de l'exploitation du réacteur NRU de Chalk River. M. Rao a dit que quelque 800 manuels régissaient

Vue de la partie supérieure d'un réacteur de recherche, montrant le carter du dispositif de commande des barres de contrôle (photo UKAEA)



Pupitre de commande du réacteur NRU de Chalk River, Canada (photo extraite d'un mémoire présenté au colloque par M. J.H. Collins, Canada)

l'exploitation des trois réacteurs de recherche de Trombay.

Plusieurs orateurs ont insisté sur la nécessité de tenir un journal détaillé de tous les incidents qui se produisent pendant le fonctionnement d'un réacteur. Selon M. A. Johnson (Etats-Unis), il conviendrait d'établir des rapports détaillés sur tout défaut de fonctionnement, erreur d'exploitation, défaillance ou incident.

Plusieurs discussions ont porté sur l'organisation administrative d'un centre de réacteur. M. R. Vestegaard (Suède) a insisté sur l'importance d'un comité de sécurité permanent et actif, composé de membres importants des cadres scientifiques, "afin de maintenir la sécurité une fois qu'elle est établie".

Choix du site et isolement

Une autre tendance intéressante, confirmée par les mémoires présentés au colloque, est la diminution de l'importance accordée au site des réacteurs loin des centres de population, comme condition de la protection du milieu. Ceci semble s'expliquer en partie par le coût des lignes de transport qu'il faut installer lorsque les centrales nucléaires sont situées loin des consommateurs de l'énergie et en partie par les difficultés que pose l'accroissement démographique. Ainsi, M. W. E. Johnson (Etats-Unis) a fait remarquer que "les mouvements démographiques aux Etats-Unis, qui se traduisent notamment par le développement des agglomérations suburbaines, sont tels qu'un site qui se trouve actuellement isolé peut très bien ne plus l'être dans quelques années". M. T. Yamada a formulé une observation identique en ce qui concerne le Japon où, du fait de la réglementation actuelle, il est très difficile de limiter l'augmentation de la population à proximité d'un site de réacteur.

La diminution de l'importance accordée à l'isolement paraît également être due, dans une très grande mesure, à un revirement de l'opinion publique dans différents pays. D'une part, il semble que la proximité d'une centrale nucléaire ne soit plus considérée comme dangereuse. D'autre part, on a tendance à moins réclamer une sécurité absolue, afin de ne pas empêcher certains pays de profiter des avantages sociaux que peut donner l'exploitation de réacteurs. Ainsi, le mémoire de M. Yamada montrait que même un pays aussi sensible que le Japon aux risques nucléaires admettait qu'on ne peut pas demander aux réacteurs, pas plus qu'aux autres entreprises, de présenter une sécurité absolue. En conséquence, au Japon, l'octroi de licences d'exploitation est fonction de l'analyse des avantages sociaux et des risques éventuels des réacteurs. Dans le même ordre d'idée, M. V. Serment (Mexique) a indiqué que son pays avait décidé de prendre certains risques dans le choix du site des réacteurs de recherche, de façon à réduire le prix de revient et à tirer plus facilement profit de l'énergie atomique. Un mémoire de M. J. Tadmor (Israël) sur les critères dont il faut tenir compte dans le choix du site des réacteurs recommandait d'accorder une importance considérable aux avantages que l'on escomptait tirer de l'installation.

La plupart des premières centrales nucléaires ont été entourées d'importantes enveloppes de sécurité destinées à protéger le milieu en cas d'accident. Selon M. Vestegaard, une connaissance plus approfondie des causes réelles des accidents de réacteurs permettra de constater que l'on avait surestimé l'importance de l'isolement. Entre-temps, toutefois, de meilleures méthodes d'isolement sont mises au point. Le mémoire présenté par M. Johnson décrivait plusieurs systèmes d'isolement à l'étude aux Etats-Unis, notamment un dispositif qui empêcherait toute libération fortuite de matières radioactives dans l'atmosphère. M. R. Mattera a comparé, du point de vue de la sécurité et du prix de revient, deux types d'isolement qui ont été essayés en France : l'un en acier et l'autre en béton précontraint; tous deux sont conçus pour résister à la pression maximale en cas d'accident sans le secours d'un système de détente. M. P. Verstraete a décrit une méthode suisse d'isolement qui consiste à choisir pour le réacteur des emplacements souterrains.

Travaux à entreprendre

Si le colloque a montré que de grands progrès ont été accomplis en matière de sécurité des réacteurs, on a cependant reconnu à plusieurs reprises et avec beaucoup de franchise qu'il restait encore beaucoup à faire. Certaines mesures à prendre ont été mentionnées par les participants à un débat de

synthèse au cours de la séance de clôture. M. F. Farmer (Royaume-Uni) a souligné toute la complexité des problèmes que pose la sécurité des réacteurs; cette complexité est due à la grande diversité des types de réacteurs, combustibles, gaines et autres éléments actuellement utilisés. Certains aspects de cette question ne sont pas encore très bien compris et il faut se garder de toute simplification excessive. M. Farmer a suggéré que l'on fasse un effort pour classifier d'une manière systématique tout ce que l'on sait sur les divers aspects de la sécurité des réacteurs, par exemple les conséquences de la libération accidentelle de différents radioisotopes et le comportement de différents matériaux sous irradiation.

Auparavant, M. G. Page (Australie) avait déploré l'absence d'un manuel indiquant les principes et les critères de base relatifs aux questions les plus importantes en matière de sécurité, à l'intention de ceux qui ne sont pas familiers avec ce sujet. Parmi les questions qu'un tel manuel devrait traiter, M. Page a mentionné "les principes de sécurité à adopter dans l'étude et l'exploitation d'un réacteur, notamment l'importance relative de dispositifs d'arrêt mécaniques et électriques, le contrôle administratif et l'étendue du contrôle exercé par le haut-personnel".

Ces observations concordent avec les remarques faites par M. Pierre Balligand, Directeur général adjoint, chargé des opérations techniques de l'AIEA, à la séance d'ouverture du colloque. M. Balligand a déclaré qu'une des raisons d'être de ce colloque était d'aider l'Agence dans son programme à long terme visant à établir des normes de sécurité minimums applicables à la construction des réacteurs.

A la séance d'ouverture, le Directeur général, M. Eklund, s'est référé à une autre mesure à prendre pour l'avenir. Remarquant que dans l'industrie des réacteurs, on s'est plaint de ce qu'il existe deux poids et deux mesures en matière de sécurité et que les entreprises nucléaires doivent fonctionner dans de meilleures conditions de sécurité que toutes les autres, ce qui constitue un handicap du point de vue économique, M. Eklund a dit que l'industrie ne peut pas fixer le prix que la société est prête à payer pour le progrès industriel et il ne lui appartient pas de le faire. Il est néanmoins important, a poursuivi M. Eklund, que l'industrie nucléaire fournisse des renseignements corrects sur l'importance réelle des dangers dus aux réacteurs afin que l'on puisse établir les comparaisons nécessaires avec d'autres risques existant dans une société moderne. Le Directeur général a conclu que les ingénieurs du génie nucléaire devraient chercher à construire des réacteurs parfaitement sûrs qui soient également bon marché, mais qu'en attendant ils devraient être en mesure à tout moment d'indiquer à la société quel degré de sécurité peut être obtenu et à quel prix.