



COLLOQUE INTERNATIONAL, SAN FRANCISCO,  
17-21 NOVEMBRE 1975

Ce colloque, organisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec la US Energy Research and Development Administration, a réuni 290 scientifiques et spécialistes de 12 pays et de quatre organisations internationales.

# Les transuraniens dans l'environnement

Le développement de l'énergie d'origine nucléaire tel qu'il est prévu jusqu'à l'an 2000 entraînera une augmentation du nombre des réacteurs de puissance, des installations de retraitement du combustible irradié et de diverses autres installations qui interviennent dans le cycle du combustible nucléaire. Pendant cette période, des transuraniens, notamment du plutonium, produits en grandes quantités lors de la fission seront utilisés comme combustible dans des réacteurs de puissance déjà existants ou à venir; ces éléments auront en outre d'autres applications pacifiques. L'intérêt grandissant qu'ils suscitent à l'échelon mondial, joint au désir naturel de protéger l'homme et le milieu dans lequel il vit, ont conduit le public, les scientifiques et les gouvernements à se préoccuper de plus en plus du rejet de ces radionucléides dans l'environnement. Si les rejets de transuraniens des installations nucléaires peuvent être ramenés à des niveaux très faibles, il n'en est pas moins indispensable, vu la longue période et la radiotoxicité relativement élevée qui les caractérisent, de comprendre suffisamment bien ce qu'il advient d'eux afin de pouvoir évaluer les conséquences qui pourraient en résulter pour l'environnement et mettre en œuvre des mesures préventives efficaces.

Depuis, de nombreuses années des études très poussées ont été faites pour savoir comment ces éléments se répartissent et se comportent ainsi que pour préciser les dommages que leur rejet pourrait causer à l'environnement. Plus récemment, des scientifiques ont commencé à établir des projections pour évaluer l'ampleur des mesures qui s'imposeront si ces matières entrent dans la chaîne complexe des activités industrielles qu'implique la production d'énergie d'origine nucléaire.

## Etudes écologiques de l'élimination des transuraniens

De nombreux mémoires ont porté sur des études écologiques de mécanismes — physiques, chimiques ou biologiques — qui ont pour effet de protéger l'homme du contact des transuraniens que se soit par dépôt ou par migration dans le sol, les limons ou les sédiments. Plusieurs mémoires ont été consacrés à la répartition des transuraniens dans l'eau, les biotes et les sédiments marins. Un mémoire a mis en évidence que les biotes et notamment le benthos pouvaient fixer ces éléments. Un autre a montré que le dépôt dans des sédiments d'eau limoneuse était le mode d'élimination le plus courant, les déplacements du limon constituant le vecteur principal qui assure une nouvelle répartition de ces nucléides. Un autre encore a fait observer, à propos de la destination des éléments radioactifs déchargés dans la mer, que les sédiments et l'eau de mer jouent le rôle le plus important et que la part d'activité qui revient aux organismes marins est très faible, bien qu'on y constate une

---

Il est possible de ramener à des niveaux très faibles les rejets de transuraniens des installations nucléaires. Autour de ces installations, on recourt largement à du matériel de surveillance pour déterminer les quantités d'éléments contaminants contenues dans l'air, dans l'eau ou à la surface. La photo montre un prélèvement d'échantillons d'air à Oak Ridge, Etats-Unis. ►

Photo: Union Carbide Corporation.



augmentation appréciable de la concentration. Dans un autre mémoire enfin, l'auteur s'est déclaré convaincu que les mécanismes d'érosion des sédiments et de rétrodiffusion interviennent même en eaux très profondes et qu'il n'est pas impossible que l'américium (Am) et le plutonium (Pu) remontent à la surface des sédiments et en fait jusqu'à la colonne d'eau par ces mécanismes de restitution.

Le problème du comportement et des caractéristiques des transuraniens — généralement du plutonium — dans les sols a également été abordé. En règle générale, le plutonium, l'américium et les autres transuraniens finissent par pénétrer dans le sol par lixiviation, le profil proprement dit dépendant d'un certain nombre de facteurs (topographie et chimie des sols, état physique et chimique des transuraniens, hydrologie locale, etc.) qui ont été précisés. Plusieurs auteurs ont relevé d'autres mécanismes qui interviennent dans le transport de ces éléments, comme l'entraînement par le vent, la fixation par les plantes que consomment les animaux et le dépôt en d'autres lieux des excréments qui en résultent, ainsi que la contamination de la fourrure des petits animaux fouisseurs.

### Voies de contamination de l'homme

Une série de mémoires présentés à ce sujet a donné lieu à de nombreuses discussions, en ce qui concerne les voies de contamination, et les modèles pour simuler le transport du plutonium et estimer les doses. Les quatre mémoires étaient consacrés chacun à une voie de contamination différente. Le premier auteur a souligné le comportement 'colloïdal' du plutonium et émis l'idée que la floculation et la filtration seraient les facteurs les plus importants d'extraction du plutonium dans les installations où l'on traite l'eau pour la rendre propre à la consommation. Un autre mémoire sur la contamination de l'organisme humain par la chaîne nourriture-poulet-homme a montré que des poulets ingérant du plutonium <sup>238</sup> sous forme de bioxyde relativement insoluble absorbaient un pourcentage de plutonium très faible, dont la présence dans les oeufs ou dans la viande de poulet semble comporter peu de dangers pour l'homme. Le troisième mémoire a fait état de mesures du plutonium remis en suspension et de la dose qui en a résulté au cours de travaux agricoles faits dans un ancien champ qui contenait du plutonium provenant à la fois des effluents d'une installation de traitement du combustible nucléaire et des retombées atmosphériques. D'après les calculs, la dose engagée reçue par le chauffeur du tracteur a été inférieure à 1% de la dose provenant du milieu naturel. Un autre mémoire sur la chaîne alimentaire lichen-renne-homme en Suède a précisé que les Lapons ne semblent pas présenter une dose engagée de plutonium supérieure à celle des autres catégories de population et que les denrées alimentaires autres que la viande de renne, ainsi que peut-être l'inhalation, sont des sources plus importantes d'absorption du plutonium chez les Lapons.

A l'heure actuelle, un des principaux soucis est de déterminer les effets de l'exposition aux éléments transuraniens sur la santé, de calculer les dangers qui pourraient en résulter et d'en déduire les normes et les recommandations de sûreté pertinentes. Après analyse statistique des données que l'on possède sur l'homme, on est parvenu à la conclusion que rien ne permet de penser que la toxicité du plutonium dans le poumon augmente sensiblement par un effet de "particule chaude"; en outre, certaines des estimations publiées relatives au "risque par particule" semblent exagérées d'au moins 1000 fois. Les renseignements relatifs à l'exposition totale obtenus à partir des données disponibles relatives à l'homme ne sont pas encore suffisamment nombreux pour établir le bien fondé statistique de la valeur de 0,016  $\mu$ Ci comme dose maximale admissible au poumon, mais en tant qu' "estimation la meilleure", cette valeur ne devrait pas être surestimée de plus de 15 fois à la réalité ou de 40 fois si l'on retient un niveau de certitude maximum de 95%. Un mémoire sur un sujet voisin faisait état d'incertitudes analogues en ce qui concerne les données relatives aux animaux pour l'inhalation de transuraniens ainsi que les données relatives au cancer du

poumon chez l'homme dans le cas de personnes qui ont été exposées à des sources de rayonnement autres que les transuraniens. Les données relatives aux animaux donnent à penser que le risque résultant d'une exposition des poumons aux transuraniens de 15 rems par an pendant une vie de travail pourrait être cinq fois supérieur au risque encouru avec une exposition de 5 rems par an pour la totalité de l'organisme, alors que les données relatives à l'homme permettent de supposer un risque moindre. On a fait observer que les estimations de risque calculées directement à partir d'expériences comportant l'inhalation de particules transuraniennes omettent la question des "particules chaudes". Un autre mémoire consacré à la répartition des doses engagées à l'intérieur du corps que peut entraîner le dépôt de Pu, Am et Cm dans les poumons a montré que, d'après les calculs, la fixation par inhalation, pour des particules de tailles diverses, présentait un risque de cancer équivalant à celui de l'irradiation reçue par la totalité de l'organisme.

Un autre domaine qui a suscité un vif intérêt est celui qui a trait au risque admissible que  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et  $^{244}\text{Cm}$  peuvent présenter pour la santé par rapport aux normes relatives aux rayonnements pénétrants pour l'exposition en cours d'emploi. A partir d'un modèle de prévision du risque absolu faisant intervenir certains facteurs de répartition et de risque pour les divers organes, on a estimé que l'augmentation de la mortalité par cancer pour ces éléments transuraniens — en prenant pour hypothèse des charges corporelles maximales aux limites que la deuxième commission de la CIPR a fixées pour les organes critiques — serait de 1 à 4 fois supérieure à celle qui résulte de la dose reçue aux limites normales pendant l'emploi par exposition externe de la totalité de l'organisme aux rayonnements pénétrants. Toutefois, par rapport à l'augmentation de la mortalité due au Ra 226 dans des circonstances comparables, l'augmentation de la mortalité due à ces éléments transuraniens serait de 8 à 20 fois plus élevée. Les auteurs, faisant observer que jusqu'à présent les études n'ont porté que sur les organes exposés les plus importants, ont insisté sur le fait que, étant donné les estimations relatives à l'augmentation de la mortalité par cancer, il faudrait sans plus tarder revoir le problème des doses corporelles admissibles pour les transuraniens.

### Table ronde

Continuant sur ce thème général, une table ronde a étudié les effets du plutonium sur l'homme et l'environnement. A propos de la toxicité du plutonium, un participant a estimé qu'il était raisonnable d'extrapoler à l'homme des données relatives à la toxicité des transuraniens présents dans les os des animaux et que les limites d'exposition actuellement admissibles pour le plutonium dans les os sembleraient être 5 à 10 fois supérieures à la limite qui a été fixée pour le radium. La limite pour le poumon pourrait même être encore plus élevée. En ce qui concerne l'extrapolation des prévisions relatives aux risques résultants d'expositions allant du dixième de rad au millirad ou au microrad, même si les extrapolations linéaires sont très prudentes, les effets à cette dose très faible pourraient être pratiquement nuls; de toute façon, ces effets, à supposer qu'ils se produisent, ne seraient jamais uniquement imputables aux transuraniens, indépendamment des autres carcinogènes polluants. Un autre participant, parlant du problème des "particules chaudes", s'est déclaré convaincu que la majorité des chercheurs et autres spécialistes responsables qui se sont penchés sur ce problème estiment que le plutonium à l'état de particules n'est pas plus dangereux que la même quantité de plutonium répartie uniformément dans les poumons; en fait, les résultats obtenus donnent à penser que le risque potentiel augmente à mesure que les particules se répartissent uniformément dans le poumon. D'autres participants ont exposé les opinions diverses qui existent au Royaume-Uni, en France et aux Etats-Unis d'Amérique en ce qui concerne les normes relatives au plutonium. Tous ont été d'avis qu'il fallait examiner avec soin s'il convenait ou non de revoir les normes actuelles et ont

insisté sur la nécessité de suivre de très près les expériences d'exposition et de réévaluer les bases qui ont servi à établir les limites actuelles.

### **Evaluation des mesures faites dans l'environnement**

La dernière séance du colloque a été consacrée à l'évaluation des mesures faites dans l'environnement. Dans une communication sur les incidences radiologiques des transuraniens susceptibles d'être libérés dans l'environnement par les installations du cycle du combustible d'un réacteur surgénérateur rapide à métal liquide, l'auteur a estimé que les conséquences qui pourraient résulter pour la santé des générations actuelles et futures seraient très faibles en comparaison des risques que comporte la production d'énergie à partir de combustibles fossiles. Il a néanmoins fait observer que cette estimation est entachée de nombreuses incertitudes dues à une insuffisance des connaissances et que certaines de ces incertitudes ne disparaîtront qu'une fois que les installations seront au point et commenceront à fonctionner. Dans un mémoire sur un sujet analogue, les auteurs ont présenté un modèle pour la simulation de l'environnement, englobant l'homme, conçu pour étudier les évaluations de risques que présentent les rejets radioactifs provenant d'installations du cycle du combustible nucléaire et orienté, dès l'origine, vers l'étude des rejets de transuraniens produits pendant le cycle du combustible des réacteurs surgénérateurs à métal liquide. En général, le rejet normal prévu de 0,36 mCi de transuraniens émetteurs alpha par an, pour un réacteur de 1000 MWe, n'aurait pas d'incidence détectable sur la santé de la population exposée aux Etats-Unis.

### **Conclusions**

Le colloque a montré clairement que les normes actuelles de sûreté et les pratiques appliquées aux transuraniens sont toujours considérées comme satisfaisantes et que les chiffres correspondant à ces normes sont sans doute à peu près corrects dans les limites d'un ordre de grandeur. En outre, il est apparu que les études écologiques des dernières décennies n'ont permis de dégager que les grandes lignes des systèmes écologiques compliqués et complexes par lesquels les transuraniens présents dans l'environnement atteignent plus ou moins l'homme pendant leur longue période radioactive. Pour ce qui est de l'évaluation des risques que présentent les transuraniens pour l'homme, il est probable que les données relatives aux animaux continueront à constituer le principal moyen d'évaluation, étant donné que les données relatives à l'homme sont rares et le demeureront vraisemblablement. Les participants au colloque ont insisté sur la nécessité d'entreprendre des études plus nombreuses et plus poussées sur l'évaluation des systèmes écologiques et d'analyser de manière plus précise et plus exacte les données relatives à l'homme et aux animaux en vue de parvenir à une meilleure compréhension du rapport entre la dose et les effets des transuraniens chez l'homme et dans l'environnement.