

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 104 (1978)
Heft: 4

Artikel: Etat actuel des tendances et de la technique concernant l'élimination des déchets radioactifs
Autor: Buclin, Jean-Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73514>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Etat actuel des tendances de la technique concernant l'élimination des déchets radioactifs (suite et fin)¹

par JEAN-PAUL BUCLIN, Lausanne

Les déchets produits sur le lieu même de la centrale nucléaire : les déchets faiblement et moyennement actifs

En cours d'exploitation, dans l'enceinte où se trouve le réacteur, est produite une grande variété de déchets, soit un faible volume de déchets moyennement actifs (boues et résines provenant des installations de purification de l'eau du circuit primaire) et un plus grand volume de déchets faiblement actifs (chiffons, habits de travail, filtres de ventilation, outillage et pièces d'équipement contaminés par des poussières, etc.).

Ces déchets, qui ne représentent qu'une partie négligeable de l'activité totale engendrée et ne comportent pratiquement pas d'émetteurs alpha, sont conditionnés sur place ou dans une installation centrale, de manière à ne plus présenter un danger de contamination : les boues et les résines sont enrobées dans du béton ou du bitume, à l'intérieur de fûts de 220 litres ; les chiffons, habits de travail, etc. sont incinérés, et les cendres traitées comme les boues ci-dessus ; les filtres et autres pièces non incinérables sont débités en petits morceaux, puis compactés et enrobés. Des améliorations sont encore souhaitables pour un meilleur conditionnement des résines.

Le volume de tous ces déchets reste cependant extrêmement faible, comparé à celui des déchets issus de l'industrie et des ménages (14). Bien que variant selon le type de réacteur et la qualité du combustible, le volume en question se chiffre à environ 250 m³ de déchets par année. Chaque centrale nucléaire est équipée pour le stockage sur place de tous ses déchets pour une durée de 10 ans au moins, de sorte à pouvoir faire face à toute éventualité.

L'installation d'un incinérateur de déchets radioactifs de taille industrielle n'a pas été jugée pressante, pour l'ensemble de la Suisse, bien que la recherche, la médecine et l'industrie produisent depuis bientôt vingt ans, aussi dans notre pays, des quantités appréciables de déchets radioactifs incinérables. Il a suffi de quelques mois d'exploitation de l'incinérateur expérimental de l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs, à Würenlingen, pour incinérer la totalité des déchets incinérables accumulés en Suisse jusqu'en 1975. Ce faisant, leur encombrement fut réduit d'un facteur 70 environ.

Le facteur final de réduction de poids est naturellement plus faible, car les cendres, et à intervalles aussi les filtres de l'incinérateur, doivent être conditionnés dans du béton. Le gain total est d'environ un facteur 40, mais le gain principal, pour l'environnement, réside dans le conditionnement de cette sorte de déchets.

Finalement, ces déchets faiblement et moyennement actifs conditionnés dans des fûts seront évacués à l'extérieur du cycle biologique, dans des formations géologiques qui en garantissent l'isolement pour la durée nécessaire. Il semble bon de rappeler ici que le délai requis pour une décroissance au millionième (15) de l'activité initiale n'est que de quelques dizaines d'années pour la presque totalité des quelque 300 produits d'activation et de fission catalogués ; seul un très petit nombre de ces produits possède une plus longue durée de vie (4). Il s'agit principalement

de Cs 137 (environ 6 g) et de Sr 90 (environ 1 g). Ceux-là peuvent être considérés comme inoffensifs après une attente de quatre siècles au plus. Toutes ces durées sont très courtes, comparées à l'échelle géologique des temps (voir fig. 2).

Les faibles quantités de gaz et les eaux rejetées, après traitement et contrôles dans la centrale, sont fortement diluées dans de très grandes quantités de ces fluides, de façon que leur effet sur le groupe de population le plus exposé ne dépasse pas quelques pour-cent de celui qui a été admis comme sans danger dans les normes internationales de l'ICRP.

Ces considérations permettent d'affirmer que l'élimination des déchets moyennement et surtout faiblement radioactifs est résolue, le risque potentiel de ces déchets, convenablement conditionnés et isolés de la biosphère, étant négligeable. Des opposants parmi les plus qualifiés pour s'exprimer à ce sujet l'ont admis au cours d'interrogatoires (hearings) menés par des commissions parlementaires de divers pays. L'effet local des effluents radioactifs des centrales nucléaires a été lui aussi reconnu comme insignifiant, et les allégations portant sur une élévation du nombre de malformations génétiques ou de maladies cancéreuses ont été reconnues comme dénuées de tout fondement.

Principes de gestion des déchets

Comme il a pu être constaté dans ce qui précède, la gestion des déchets radioactifs se conforme à de rigoureux principes :

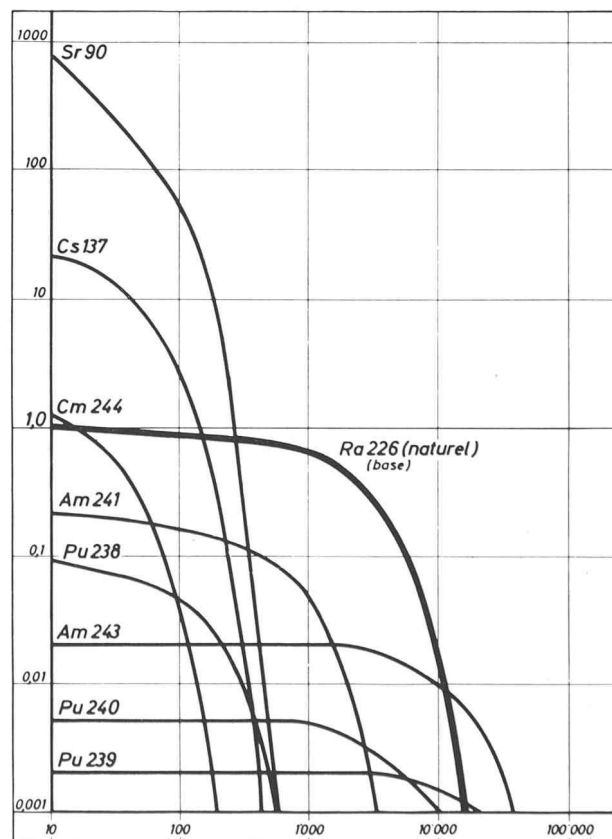


Fig. 2. — Effets contaminant des principaux isotopes à longue durée de vie.

¹ Voir *Bulletin technique de la Suisse romande*, N°s 2, du 19 janvier, et 3, du 2 février 1978.

ou bien

- 1) ne relâcher dans la biosphère, sous la forme la plus diluée possible, que le minimum raisonnablement praticable d'effluents (16), sous réserve qu'il s'agisse de substances dont on connaît les effets sur l'environnement (chaînes alimentaires) et, dans ce cas, uniquement sous contrôle sévère de l'inventaire relâché et de son cheminement ultérieur ;

ou bien

- 2) concentrer et conditionner les autres déchets, les stocker temporairement en marge du cycle biologique, puis, si encore justifié, les évacuer en dehors du cycle biologique pour une durée supérieure à celle qui est nécessaire pour que leur activité décroisse en dessous de la limite d'exemption, respectivement du niveau qui peut en être dérivé, compte tenu des possibilités de réapparition de ces substances dans la biosphère.

L'élimination des déchets solides par l'immersion dans les océans

Les campagnes, à caractère plutôt scientifique et expérimental, qui consistent à immerger dans des fosses profondes des océans certains déchets solides de faible ou de moyenne activité, particulièrement bien triés et conditionnés (17), furent certes très utiles, aussi dans le but d'apprendre à mieux connaître ces zones éloignées de la biosphère. Exécutées sous haute surveillance internationale de la NEA, elles n'ont présenté qu'un moindre risque, par comparaison à celui qui découle de la nature et des essais militaires. En effet, plusieurs isotopes naturels radioactifs présents dans les mers et à la surface des terres produisent, par leurs chaînes de décroissance et aussi par fission spontanée, une grande quantité de produits radioactifs, dont des produits de fission, auxquels viennent s'ajouter les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Les campagnes d'immersion n'ont ajouté aucune activité, détectable à l'aide des appareils les plus sensibles, à l'activité naturelle de ce milieu, en particulier pas à celle des organismes marins connus pour leur faculté de concentrer certaines substances chimiques.

Des fûts immergés il y a plus de dix ans à des profondeurs de plus de 3000 m ont été repêchés et inspectés, dans le but et avec le résultat de confirmer le bien-fondé des estimations très prudentes faites en son temps, et qui avaient permis d'expérimenter cette solution. Ces campagnes d'immersion pourraient donc se répéter.

Il convient de relever que l'immersion a été utilisée autant au profit d'un grand nombre de petits utilisateurs d'isotopes (médecine, laboratoires de recherche, agriculture, etc.) que de quelques grands centres nucléaires civils.

L'élimination des déchets solides dans les formations géologiques

L'évacuation définitive des déchets radioactifs dans des couches géologiques appropriées représente la solution que la science et la technique jugent la meilleure. Récemment, la Suède a choisi le granite comme roche réceptive. Le Canada hésite encore entre le granite et les mines (dômes) de sel (à ne pas confondre avec les salines !). Ces mines de sel ont été retenues par la République fédérale allemande et par les Etats-Unis. En Suisse, un intérêt particulier s'est porté sur les gisements d'anhydrite, l'un des récepteurs préconisés par les experts de la CEDRA.

La présence d'un gisement important et étendu de sel ou d'anhydrite prouve que l'endroit a été préservé durant

des millions d'années d'un contact avec l'eau. Ceci laisse présager qu'il en serait de même pour un avenir assez lointain, sous réserve que l'homme n'intervienne pas de façon irréfléchie dans ces zones. Si de petites fissures apparaissaient dans ces minéraux, elles se colmatent d'elles-mêmes (18). La conductibilité thermique de ces roches est grande, c'est-à-dire favorable à l'évacuation de la chaleur encore libérée par les déchets de forte activité, chaleur qui peut être appréciable, si ces derniers n'ont pas été entreposés temporairement auparavant. Les galeries et chambres excavées supportent facilement les charges importantes que représentent les déchets conditionnés dans des fûts bétonnés. Il existe de nombreux gisements de l'une ou l'autre roche pour résoudre le problème de l'évacuation définitive des déchets radioactifs de faible et moyenne activité (19), et vraisemblablement aussi, dans un cas géologiquement très favorable, pour éliminer certains déchets de forte activité.

Le krypton et le tritium

Quels sont alors les problèmes plus difficiles à résoudre ? Ces problèmes étaient déjà amplement reconnus il y a vingt ans, avant la commercialisation de l'énergie nucléaire. La dilution dans l'atmosphère de l'isotope Kr 85, et dans l'eau ou l'autre roches pour résoudre le problème de l'évacuation définitive des déchets radioactifs de faible et moyenne activité (19), et vraisemblablement aussi, dans un cas géologiquement très favorable, pour éliminer certains déchets de forte activité.

Le relâchement dans l'atmosphère de la totalité du Kr 85 qui s'échapperait, lors de la dissolution chimique des combustibles dans les usines de retraitement, entraînerait une élévation lente de sa concentration, laquelle s'approcherait dans plus de cent ans du seuil tolérable (2) pour la population générale.

Des moyens de séparation et de concentration (21) de ce gaz rare existent, qui permettront en temps voulu et dès que raisonnablement nécessaire d'éviter que la dose reçue par la population, du fait de cet isotope, dépasse quelques pour-cent de celle provenant des radiations naturelles.

Si l'on a évoqué la possibilité, et elle serait économiquement défendable pour l'ensemble des déchets radioactifs, d'expédier ceux-ci à bord de fusées dans le système solaire, cette possibilité s'appliquerait avant tout à l'élimination du gaz krypton 85, plutôt qu'aux déchets solides (22).

Bien que des moyens de séparation du tritium (H 3) existent et sont appliqués à certains cas dans la pratique, on ne pense pas, à vues humaines, devoir y recourir pour l'élimination de ce déchet radioactif. La masse d'eau des océans est immense, comparée à la très faible masse de tritium qui s'y ajouterait, produite par les réacteurs nucléaires. Par contre, les essais d'armes thermonucléaires dans l'atmosphère ont libéré des quantités de tritium beaucoup plus importantes, et comparables aux quantités de tritium formées *naturellement* par les rayons cosmiques dans les hautes couches de l'atmosphère.

Un développement éventuel de l'énergie de fusion, en remplacement de l'énergie de fission, sous réserve que cette autre source d'énergie parvienne un jour à maturité technique et économique, accentuerait les problèmes liés au tritium. Il est cependant très probable qu'à ce moment des méthodes permettant de stocker le tritium, tout comme le krypton, sous une forme non gazeuse (4), seront disponibles. Alors que la concentration et le conditionnement des déchets solides ne suscitent pas de craintes quant à un relâchement fortuit d'activité, une accumulation de produits volatils ou solubles, tels le Kr 85 ou le H 3, présenterait en effet un potentiel de risque. Par rapport

aux précautions prises pour le stockage d'autres matières toxiques ou dangereuses, solubles ou volatiles — produit pharmaceutiques, chimiques ou même techniques les plus courants, tels le pétrole, le gaz naturel, le chlore, dont la dissémination pourrait mettre en danger des milliers ou des millions de personnes — on prend, dans le domaine nucléaire, des précautions plus sérieuses. Leur but est non seulement d'éviter des atteintes à la santé des travailleurs de l'industrie nucléaire (étant les plus exposés, ils sont en même temps les mieux informés), mais déjà d'épargner à la population générale d'être soumise à une irradiation ne correspondant qu'à une faible fraction de l'irradiation naturelle.

Complément

14. Réf. *Schweizerische Bauzeitung* n° 6, du 8 février 1973, p. 188 : Production annuelle suisse de déchets :

a) à densité faible d'environ 1 t/m³ :

déchets ménagers	}	350 000 m ³ , soit environ 350 000 t/an
déchets de construction		
dégrilleurs, etc.		

b) à densité plus élevée, d'environ 1,5 t/m³ :

déchets de l'industrie	}	730 000 m ³ , soit environ 1 000 000 t/an
résidus d'épuration des eaux		
résidus d'incinération des ordures		

L'industrie chimique suisse enterre chaque année quelques milliers de mètres cubes de déchets biologiquement non dégradables, déposés dans des tranchées bétonnées et recouvertes ensuite d'une couche étanche à la pluie. L'infiltration d'eau doit être surveillée ensuite à très long terme, et, bien qu'il ne s'agisse pas de substances très fortement toxiques, l'eau récoltée ne pourrait pas être traitée dans une station d'épuration ordinaire : elle doit être transportée dans une usine spécialisée. La durée de vie de ces déchets est infinie.

15. La demi-vie est la période d'attente nécessaire pour que l'activité baisse d'un facteur 2. Ainsi, après 10 telles périodes, l'activité ne sera plus que d'un millièème, respectivement après 20 périodes, d'un millionième de l'activité initiale.

Ainsi pour le Ce 144, l'un des produits de fission les plus abondants, à durée de vie moyenne (demi-vie de 285 jours), la décroissance atteindra un facteur 1000 en moins de huit ans, respectivement un facteur 1 000 000 en moins de 15 ans.

16. Il s'agit de la philosophie ALARA : As Low As Reasonably Achievable. La limite du raisonnable est le plus souvent déterminée par l'équilibre entre le coût social d'une mesure et le bénéfice qu'elle peut procurer à la communauté.

17. Ces déchets ne doivent pas contenir des émetteurs alpha (2) au-delà d'une faible limite encore tolérée, ni des substances plus légères que l'eau, qui pourraient remonter à la surface (par exemple polyéthylène, bois, etc.). Les feuilles, bouteilles ou autres pièces en PVC doivent être hachées, et le tout enrobé dans du béton ou du bitume. Aucun crédit n'est donné à l'emballage métallique des fûts et un crédit très restreint est alloué au pouvoir de rétention de l'enrobage.

18. Colmatage par plasticité, surtout pour le sel gemme, complété par une transformation en gypse et un gonflement sous contact avec de l'humidité, dans le cas de l'anhydrite. Ce dernier cas est encore étudié à l'heure actuelle. Les sondages et explorations prévus devraient servir à confirmer ou infirmer la théorie.

19. Pour les pays nucléaires qui possèdent des mines et en extraient du sel, le volume de sel extrait par année est plusieurs centaines de fois supérieur au volume des déchets radioactifs issus de leur programme nucléaire. L'anhydrite est une roche très largement répandue et souvent présente en gisements compacts et étendus dans les trois dimensions.

20. Concentration qui correspondrait à une irradiation supplémentaire de quelques mrem/an, soit à un faible pourcentage de l'irradiation naturelle. Quelques heures de vol en jet, quelques jours de vacances à la montagne, le déménagement d'une localité à une autre, ou d'un genre d'habitation à une autre, ont un effet similaire et comparable.

21. Liquéfaction à très basse température, ou adsorption sur du charbon actif maintenu à basse température.

22. Le poids du gaz comprimé ou liquéfié est infime. En cas d'incident au départ, il n'y aurait aucune retombée locale et concentrée de produits solides, mais dilution dans l'hémisphère concernée. Vu que les envois seraient certainement fractionnés, l'impact sur l'environnement serait négligeable.

De l'acceptabilité de l'élimination géologique des déchets à longue durée de vie

Dans le passé, il n'était pas envisagé de renvoyer les déchets radioactifs solidifiés aux pays producteurs, mais de les éliminer dans un nombre restreint de dépôts placés à proximité des usines de retraitement, elles-mêmes construites dans des régions géologiquement adéquates. Les contrats conclus avec les usines de retraitement (23) stipulaient clairement que ces usines se réservaient la propriété de tous les déchets. Il est aujourd'hui probable que les contrats de retraitement qui seront signés pour la période de 1980 à 1990 contiendront une réserve stipulant le retour éventuel des déchets solidifiés à la nation productrice. Si l'on tient compte des délais techniques, du goulot d'étranglement prévisible pour le retraitement dans les années 1985, et de l'avantage à laisser la désactivation progresser suffisamment avant l'élimination définitive des déchets, ce temps permet à chacun de rechercher les meilleures solutions, tant sur le plan technique que politique.

Lorsqu'un réacteur et son combustible ont été adjugés, puis le retraitement de ce combustible confié à un pays voisin, l'on pourrait s'attendre à ce que des concessions soient faites également pour la prise en charge des déchets solidifiés, surtout si le pays voisin en question dispose déjà d'installations nationales adéquates. C'est dans ce sens que les ministres de l'énergie de France et de Suisse se sont exprimés lors de l'inauguration récente de l'ouvrage commun d'Emosson : « Le danger des déchets radioactifs n'est pas très important. Ensemble, nous en assumerons les risques. »

La Suisse doit cependant se préparer à l'élimination géologique des déchets solidifiés dans le but de parer à toute éventualité, même de nature temporaire. Si ce n'est pas dans des gisements d'anhydrite particulièrement favorables, c'est dans d'autres formations géologiques, étanches ou très profondes, qu'il faudra éliminer le très faible volume des déchets à longue durée de vie, en garantissant qu'il soit écarté de la biosphère pour une durée qui devrait atteindre, à première vue, quelques centaines de milliers d'années. Une telle exigence pourrait sembler pour le moins inhabituelle, voire difficilement acceptable par le public, qui n'est pas familiarisé avec l'échelle des temps géologiques.

Le raisonnement suivant devrait permettre d'apprécier le risque encouru, et de juger s'il est acceptable ou pas (voir fig. 1) :

— pour obtenir la recharge annuelle d'un réacteur d'environ 1000 MWe, laquelle correspond à environ 30 t d'uranium enrichi à 3,3 %, il faudrait extraire un volume de minerai correspondant à une galerie de 12 m de diamètre et 500 m de longueur (24) et en séparer 200 t d'uranium naturel. Cet uranium se trouve toujours en équilibre avec ses produits de filiation naturels, dont en particulier le radium 226, qu'on trouverait dans ce cas à raison de 60 Ci, soit 60 g. Alors que ce radium, soluble dans l'eau, n'était en majeure partie pas transportable par contact avec l'eau avant le traitement du minerai, car inclus dans une matrice rocheuse, il devient capable, après la pulvérisation du minerai, de contaminer une importante masse

d'eau à lui seul. Avec les autres produits de filiation naturels (plomb, polonium, etc.) ce serait une masse d'eau totale supérieure de 33 % à la précédente qui pourrait être contaminée par ces produits *naturels*. Par mesure de simplification, nous n'utiliserons que le Ra 226 pour comparaison.

Considérons maintenant le cas où l'on mélangerait, quelques années plus tard, après irradiation de l'uranium durant trois ou quatre années dans le réacteur, la totalité des déchets, soit les produits de fission (dont environ 30 kg de Cs 137 et 15 kg de Sr 90), les plutoniums non récupérés (environ 2 kg) et les autres transuraniens (américiums environ 5 kg, curiums environ 0,6 kg), avec les résidus d'extraction du minerai d'origine. Par comparaison avec le principal produit radioactif naturel contenu dans ces résidus, soit le Ra 226, le potentiel de contamination ajouté serait alors celui de la figure 2.

Nous avons pris le pouvoir contaminant du Ra 226 au moment de l'extraction de l'uranium comme base de notre comparaison relative.

Quelque dix ans plus tard, soit au moment où les déchets solidifiés seraient disponibles afin d'être enfouis à leur lieu de dépôt définitif, les produits de fission (dont principalement Sr 90 et Cs 137) sont fortement majoritaires et représentent pratiquement la totalité (99,7 %) du potentiel de contamination. Les résidus naturels et les actinides (dont le Pu non récupéré) se partagent le reste à parts égales.

Après 500 ans, la part des produits de fission est déjà très faible ; elle ne représente plus que le 1 % de la contamination due au Ra 226. Ce Ra 226 est devenu fortement majoritaire, et représente à lui seul le 88 % du pouvoir de contamination. Parmi les actinides, le Cm 244 a déjà disparu ; le Am 241 est prépondérant, mais il est 10 fois moins nocif que le Ra 226 naturel l'était à l'origine.

Après environ 1500 ans, le Am 241, qui disparaît le plus vite, arrive à égalité avec Am 243. Ces deux isotopes représentent ensemble 4 % du risque initial dû au Ra 226 naturel. Les deux derniers isotopes, Pu 239 et Pu 240, ne contribuent ensemble que pour 0,6 % du risque initial. Le Ra 226 naturel est toujours très fortement prépondérant. On peut dire qu'à partir de ce moment-là tout danger, même hypothétique, dû aux déchets du réacteur est écarté.

Les calculs ont été prolongés au-delà afin de se représenter l'évolution finale. Après 10 000 ans, Am 241 a disparu. Après 30 000 ans, c'est le radium issu de l'extraction de l'uranium consommé aujourd'hui qui a disparu à son tour, ce qui ne veut pas dire que tout danger d'origine naturelle aurait disparu ! En effet, les masses de radium produites par filiation de l'uranium naturel non exploité entourent toujours le lieu d'extraction du minerai.

Cela ne veut pas dire que certaines précautions prises pour l'élimination ou pour le stockage à très long terme de déchets radioactifs à longue durée de vie soient inutiles. Vu qu'il est envisageable d'éloigner ces substances de façon sûre à vue humaine, et moyennant des efforts raisonnables, à l'extérieur de la biosphère, faisons-le. Force est de constater que le risque encouru est faible et tout à fait acceptable, par comparaison à d'autres risques encourus depuis longtemps par l'humanité, du fait de ses activités minières.

Le phénomène d'Oklo est là pour nous rappeler que la vie s'est développée sur notre planète à une époque très lointaine, alors que la radioactivité naturelle était de beaucoup supérieure à ce qu'elle est actuellement (peut-être même l'évolution des espèces n'a pu avoir lieu *que* grâce à ces circonstances ?), et que la géologie est une

science qui s'exprime dans l'unité de temps « millions d'années ». Un cataclysme géologique n'est donc pas pour demain. A cette échelle, les glaciations sont des phénomènes fréquents, et il convient alors d'en tenir compte pour nos régions. Mais ici, les effets sont mieux connus, et ils peuvent être estimés avec la prudence requise. Les séismes entreraient dans cette même catégorie et devront être estimés, pour ce qui est de leur probabilité et de leurs conséquences, de façon analogue.

Une tâche importante et intéressante s'offre dès lors aux physiciens et aux géologues, qui a été quelque peu négligée jusqu'ici, et qui doit être résolue en commun. Il appartient au physicien d'établir un inventaire beaucoup plus détaillé des isotopes à longue durée de vie (incl. C 14, J 129, Zr 93, Tc 99, Mo 93, etc.), des équilibres et transitoires des produits de filiation des actinides, et ceci en fonction du pouvoir de rétention sélectif des couches géologiques, que le géologue devra estimer pour sa part.

Cette tâche commune doit et sera certainement résolue si l'effort consenti est important au cours des années prochaines, soit avant la fin de cette décennie. La confirmation pratique devra être apportée au début des années 1980.

L'élimination des déchets issus de l'extraction minière

Le développement qui précède laisse entendre que les véritables problèmes liés aux déchets radioactifs ne résident pas dans la queue, mais plutôt dans la tête du cycle du combustible, c'est-à-dire à l'extraction du minerai. Une fois de plus, l'on se serait trompé de cible ! (25)

Il serait cependant téméraire de prétendre que, puisque l'extraction du minerai représente un risque très supérieur à son utilisation, et en particulier quelque 300 fois supérieur à l'élimination des déchets radioactifs, il faille alors arrêter d'extraire de l'uranium.

Entre 1910 et 1940, alors que le radium naturel était recherché pour ses diverses applications, dont celles de la médecine, ce sont environ 7 kg de Ra 226 qui ont été extraits de la croûte terrestre. Simultanément, une quantité équivalente à environ 25 000 t d'uranium naturel a été « remuée », même si les besoins de l'époque en ce métal se limitaient à quelques centaines de tonnes, utilisées dans les industries du verre et de la céramique, en guise de colorant. Dans les années 1955 à 1965, au maximum de la prolifération des armes nucléaires (Hongrie, Suez en 1956, Berlin en 1961, Cuba en 1962), ce sont plus de 100 kg de Ra 226 qui étaient extraits *chaque année*, non plus pour être séparés et récupérés, mais comme déchet accompagnant l'extraction de l'uranium naturel (26), matière de base pour la fabrication du plutonium militaire.

Or, les résidus du traitement de ces minerais ne sont pas systématiquement considérés comme déchets radioactifs, ni toujours refoulés dans les galeries abandonnées, mais bien souvent traités en plein air, exposés à la pluie et au vent. L'industrie minière est certes parmi les plus meurtrières, en premier lieu par les risques intrinsèques qu'elle comporte, indépendamment des risques particuliers aux substances extraites. Il serait étonnant qu'un taux de mortalité plus élevé, imputable à l'extraction parallèle de produits radiotoxiques, n'ait pas été reconnu, et que des mesures appropriées n'aient pas été prises, dans le cas de l'extraction de l'uranium, alors que l'extraction du radium avait déjà causé des sinistres dans les années 30. Une ventilation adéquate de ces mines est nécessaire pour évacuer les gaz radioactifs libérés (radon, etc.), et elle a été reconnue comme telle depuis longtemps.

Pour ce qui concerne les déchets solides, il serait illusoire de ne s'occuper que des résidus des seules mines d'uranium, car la plupart des exploitations minières, en particulier celles des mines de phosphates, mettent à jour *d'importantes quantités* de produits radioactifs naturels.

La teneur moyenne de la croûte terrestre en uranium naturel étant d'environ 4 g par tonne, et l'ensemble des activités minières humaines plusieurs milliers de fois plus important que l'extraction de l'uranium, cette dernière ne participe que pour une faible part à la libération de produits radioactifs naturels. Bien plus, la teneur moyenne de la croûte terrestre en thorium naturel est environ 7 fois supérieure à sa teneur en uranium. Or le thorium naturel est lui-même 5 fois plus contaminant pour l'eau que le plutonium Pu 239, et sa demi-vie est de 14 milliards d'années ! Tout comme pour l'uranium naturel, il est toujours accompagné de l'ensemble de ses produits de filiation.

Dès lors, il conviendrait d'analyser avant tout l'impact sur l'environnement des activités minières, en général et en particulier. Peut-être sera-t-il reconnu nécessaire, ou souhaitable, dans certains cas, d'isoler certaines substances nocives, même si ces substances ne sont pas recherchées, ni utilisables pour l'instant. Là de nouveau, la science et la technique nucléaire semblent avoir mis le doigt pour la première fois sur un problème général et d'importance, qui n'est en fait pas directement lié à l'utilisation plus particulière de l'énergie nucléaire.

Une étude écologique du cycle du combustible nucléaire faite par le Dr Bernard L. Cohen, de l'Université de Pittsburgh, USA, est annoncée pour publication dans *Review of Modern Physics*, de janvier 1977. D'un résumé présenté dans *Nuclear Engineering International*, octobre 1976, il est possible de soustraire le raisonnement suivant : tout uranium extrait du sol et fissionné dans un réacteur ne produira plus, au cours des millions d'années à venir, des produits de filiation, dont le Ra 226 et le radon. Dans les réacteurs, cet uranium sera détruit et transformé en produits de fission et en actinides, qui sont finalement beaucoup moins contaminants que les produits de filiation. *A longue échéance, l'utilisation de l'uranium pour la production d'énergie nucléaire purifie la croûte terrestre de sa radioactivité.*

Conclusion

Par comparaison avec la libération inévitable et généralisée de produits radioactifs naturels au cours de l'ensemble des activités humaines qui touchent à notre géosphère, il est possible d'affirmer que l'élimination, garantie pour une durée de 1500 ans, des déchets radioactifs issus du cycle du combustible nucléaire, peut être considérée comme suffisante. Bien qu'une tenue à l'écart de la biosphère pour une durée beaucoup plus longue soit recherchée, et pratiquement garantie, elle ne serait pas requise.

Dans les problèmes liés aux déchets radioactifs, qui préoccupent sérieusement les personnes qui se sentent concernées de plus près, la qualité de penser importe plus que la rapidité de décision. De multiples solutions ont été reconnues de longue date, étudiées et évaluées, et le sont encore. Dans ce domaine plus particulièrement, le coût d'un retard sera moindre que le coût futur d'une erreur éventuelle.

Une démonstration *immédiate* de l'une ou de l'autre solution pourrait être souhaitée pour tranquilliser l'opinion publique. De ce qui précède, il découle que cette action devrait bien rester une démonstration, et non pas une

retraite désordonnée. Et pour permettre cette démonstration, encore faudrait-il, pour commencer, que les activités exploratoires préliminaires ne soient pas empêchées systématiquement. Bien fou serait celui qui commanderait : « Instruis-toi, mais je t'interdis de lire ! »

La plus grande erreur que l'humanité puisse commettre consisterait à se laisser surprendre par l'épuisement des ressources facilement exploitables en matières premières, sans avoir développé auparavant des moyens permettant d'économiser, de remplacer ou d'augmenter ces ressources, ou de s'en passer. Quand ces problèmes-là seront actuels, celui de l'élimination des déchets radioactifs aura perdu l'acuité qu'on veut bien lui prêter actuellement.

Complément

23. Tels ceux qui ont été conclus par les exploitants des centrales nucléaires de Beznau et de Mühleberg, qui sont valides jusqu'en 1979, respectivement 1978.

24. A raison d'une concentration d'environ 1500 g par tonne, correspondant à la limite inférieure des dépôts exploités actuellement. L'image d'une galerie nous est plus proche en Suisse, et a été retenue pour l'illustration, même si l'exploitation minière n'a pas toujours lieu sous cette forme.

25. Tout au début, la crainte qu'un réacteur « explose » comme une bombe a mobilisé les esprits, et un effort d'information important fut nécessaire pour tâcher d'expliquer par des images compréhensibles pourquoi ceci n'était pas possible. Une prochaine « vague » fut déclenchée par les allégations, non confirmées, d'un effet direct sur la santé des populations voisines des centrales nucléaires. Elles furent combattues par deux professeurs, eux-mêmes sceptiques envers le nucléaire, qui craignaient à juste titre que de tels procédés malhonnêtes nuisent à l'opposition. Leurs propres objections furent considérées en détail, entre autres dans le rapport BEIR de 1972 : « Effects on Population of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation », universellement accepté. La prochaine controverse était centrée sur les circuits de refroidissement de secours et sur les effets d'un accident de réacteur. Le volumineux rapport Rasmussen « Reactor Safety Study » d'environ 3000 pages, dont le projet fut présenté à la critique mondiale en août 1974, et l'édition définitive a été publiée en octobre 1975, est considéré comme l'étude la plus complète dans ce domaine, et la plus valable malgré les critiques dont elle fut l'objet. Cette controverse fut en partie très constructive, dans le sens de mettre le doigt sur certaines faiblesses de conception, et surtout d'exécution de ces circuits, mais confirma finalement que les risques d'exploitation des centrales nucléaires étaient acceptables, étant de 100 à 10 000 fois inférieurs à d'autres risques acceptés par l'humanité. Actuellement, le problème des déchets radioactifs se révèle être le plus préoccupant. Souhaitons qu'ici aussi, la controverse soit constructive dans le sens d'accélérer les recherches scientifiques et les programmes d'expérimentation qui sont encore nécessaires, de faire connaître au public la vraie nature du problème, les efforts très poussés qui ont déjà été entrepris de longue date, et les progrès à réaliser dans les années à venir.

26. L'uranium appauvri, résidu de l'enrichissement de l'uranium naturel extrait jusqu'à ce jour, et stocké pour usage futur dans les surgénérateurs, est disponible actuellement en des quantités suffisantes pour couvrir, avec ce type de réacteur, les besoins totaux en énergie de l'humanité pour une très longue période. En adoptant le surgénérateur, il devient alors possible d'arrêter pratiquement aujourd'hui l'extraction d'uranium frais.

Les réserves d'uranium raisonnablement assurées (RRA) sont estimées à environ deux millions de tonnes, et les ressources supplémentaires estimées à environ 1,5 million de tonnes.

Ce n'est donc pas le manque de ressources qui arrêterait la production d'énergie nucléaire.

Adresse de l'auteur :

Jean-Paul Buclin, ing. dipl. EPFZ
Avenue Rambert 1
1005 Lausanne.