

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 104 (1978)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Etat actuel des tendances et de la technique concernant l'élimination des déchets radioactifs  
**Autor:** Buclin, Jean-Paul / Rédaction  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73508>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.03.2025

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

# Etat actuel des tendances et de la technique concernant l'élimination des déchets radioactifs

par JEAN-PAUL BUCLIN, Lausanne

*Parmi les arguments utilisés le plus souvent par les adversaires de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, le problème des déchets radioactifs figure en bonne place. Il est toutefois difficile au profane de se former une opinion sur le danger qu'ils représentent réellement, faute d'une information intelligible pour d'autres personnes que les spécialistes.*

*L'article ci-dessous est destiné à combler cette lacune. Il est évident qu'il ne saurait convaincre les adversaires viscéraux de l'énergie nucléaire. Nous sommes en revanche persuadés qu'il permettra au lecteur intéressé et objectif d'y voir plus clair dans une controverse qui concerne chacun de nous, au moins tout autant par les menaces qu'elle fait peser sur notre approvisionnement en énergie que par les risques inhérents à l'industrie nucléaire.*

Rédaction

*Mise au point :* Cet article de vulgarisation rédigé sur demande de l'ASPEA s'adresse à un public formé techniquement, mais non spécialiste, soit à des universitaires autres que physiciens ou ingénieurs en génie nucléaire, à des ingénieurs techniciens ETS, à des personnes possédant une maturité fédérale, à des travailleurs professionnels de la branche nucléaire (laborants, assistants en radiologie, etc.) ainsi qu'aux personnes du public qui auraient acquis des notions et des connaissances nucléaires équivalentes. Il n'est donc pas complété par une liste de références — qui serait très longue — à la littérature spécialisée. Une démonstration simplifiée de certains cheminements d'idées importants est apportée pour l'un des raisonnements principaux, soit celui ayant trait au risque comparatif présenté par les produits radioactifs naturels et artificiels.

Les renvois numérotés se rapportent à un complément, en fin de texte, où des explications techniques très simplifiées, mais justes quant au fond, ou bien certains détails ont été rassemblés.

\* \* \*

Il n'est pas étonnant que des doutes subsistent dans le public, alors que quelques hommes de sciences s'expriment au sujet de l'élimination des déchets radioactifs comme si ce problème n'avait encore reçu aucune solution à ce jour ou même ne pouvait pas trouver de solution du tout. Constatons d'abord que personne ne semble avoir énuméré toutes les conditions philosophiques, juridiques et techniques requises pour que ce problème puisse être déclaré résolu. Cependant, le premier réacteur a fonctionné en 1942 déjà et, depuis 1950, des centaines de réacteurs ont été construits. Ceux de Calder Hall, en Angleterre, produisent régulièrement de l'énergie électrique depuis bientôt vingt années. Plusieurs pays, et non les moindres, se réclament d'une expérience basée, il faut bien le dire, surtout sur leurs programmes de défense militaire. Selon un rapport officiel, l'Angleterre seule a produit plus de 20 tonnes de plutonium jusqu'ici. De la totalité de ces activités nucléaires militaires et civiles, ce n'est qu'un volume de 650 m<sup>3</sup> de concentrat fortement actif qui est stocké à Windscale aujourd'hui. C'est donc bien à cause du faible encombrement de ces déchets que des solutions radicales et définitives n'ont pas été requises jusqu'ici.

Néanmoins, sans vouloir du tout minimiser le problème, on ne peut que constater qu'une psychose bien dirigée et manipulée a été créée autour des déchets radioactifs, destinée à combattre l'énergie nucléaire en tant que charnière de notre société actuelle. En dramatisant tout à l'extrême, il est possible d'arrêter complètement la vie industrielle et économique d'une nation saine jusqu'ici. Il importe dès lors de s'efforcer à juger de la façon la plus rationnelle possible et, le cas échéant, de dénoncer les manquements éventuels et de préconiser des voies menant vers une solution, ou vers une amélioration de la situation.

Depuis longtemps, quelques dizaines d'instituts et de laboratoires nationaux continuent un travail de recherche et d'essais patients et prudents, afin d'être à même de réaliser, dans les meilleures conditions et en temps voulu, les installations industrielles aptes à prendre en charge les déchets radioactifs. Les vrais besoins dans ce domaine sont loin devant nous. La technique nucléaire est bien la première qui se soit préoccupée de résoudre ses problèmes de sécurité, sous le contrôle d'autorités conscientes de leurs responsabilités, avant d'y être obligée par des sinistres répétés, qui sont, eux, souvent encore ignorés après leur apparition, dans d'autres branches de la technique. Le bilan des pertes de vies humaines imputables à l'utilisation de l'atome pacifique en est le résultat tangible : des milliers de vies (certains prétendent des millions de vies, soit un nombre égal à celui des pertes dues aux guerres des 70 dernières années) ont été sauvées grâce aux applications médicales et agronomiques de l'énergie nucléaire ; aucune n'a été sacrifiée du fait de l'implantation pacifique de cette nouvelle source d'énergie, qui pourrait être indubitablement attribuée à la radioactivité.

Le déchaînement de la controverse actuelle n'a donc pas mis en évidence cette *obligation morale*. Cette obligation était déjà reconnue bien avant dans les milieux des ingénieurs et scientifiques nucléaires, aussi en ce qui concerne les déchets radioactifs. Ces problèmes étaient déjà à l'ordre du jour des premières Conférences atomiques de Genève, dans les années 50.

Mais, au juste, de quoi s'agit-il exactement ?

En fait, les déchets radioactifs représentent une grande variété de produits qui diffèrent fortement selon — leur degré d'activité (1) : forte, moyenne, faible ;

- la composition du rayonnement émis (2) : bêta, gamma, sans alpha ou avec alpha ;
- leur état : corps solides, liquides ou gaz ;
- leur encombrement : concentrés, dilués, liquéfiés, etc. ;
- leur durée de vie (3) : courte, moyenne, longue ;
- leur potentiel de dispersion : transportable, ou pas, par l'air et par l'eau (4) ; matières humides (boues) ou dispersables (poussières) (5) ;
- leur composition chimique ;
- leur toxicité chimique et radiochimique (6), etc.

Il serait alors trop simple de prétendre, sans réflexion ni discussion, que l'élimination des déchets constitue un problème technique qui n'aurait pas trouvé de solution. L'élimination de telle catégorie est certes plus aisée que celle de telle autre, mais depuis plusieurs années des procédés d'élimination ont été expérimentés et reconnus comme acceptables pour chaque catégorie de déchets. Certains pays, et en particulier ceux de faible superficie, rencontrent bien sûr des difficultés plus élevées s'ils ne disposent pas de formations géologiques correspondant précisément à celles qui ont été étudiées en détail et retenues par des voisins mieux dotés. Rien ne permet cependant d'affirmer, avant d'avoir effectué les recherches nécessaires, que d'autres solutions équivalentes (7) n'existent pas.

### Le cycle du combustible : les déchets fortement actifs

(Voir fig. 1)

Contrairement aux combustibles classiques (pétrole, gaz naturel, charbon, bois, tourbe), l'uranium ne se consomme pas totalement dans un réacteur ; quelques pour-cent, tout au plus, se transforment en produits de fission (PF) qui sont, eux, la source principale de l'énergie thermique fournie par le réacteur. Certains produits de fission agissent comme des poisons (8) pour les neutrons et empêchent la réaction en chaîne. C'est pourquoi, après environ trois années d'utilisation (9), le combustible du réacteur doit être retiré, puis retraité chimiquement, afin justement de séparer les produits de fission neutrophages (8) et de récupérer à cette occasion le combustible non consommé pour le réutiliser. Le même uranium se trouve ainsi recyclé plusieurs fois. Cet uranium recyclé et raffiné, tout comme l'uranium frais formant l'appoint, n'est pratiquement pas radioactif.

Une charge totale d'environ 100 t de combustible (c'est celle d'un réacteur d'environ 1200 MWe), irradiée durant trois ou quatre années, conduira donc au retraitement annuel de 30 t de combustible.

Actuellement, le retraitement s'effectue par découpage mécanique des barreaux et par dissolution du combustible qu'ils contiennent dans de l'acide. L'uranium non consommé, ainsi que le plutonium produit, sont extraits de la solution par des procédés chimiques. La solution restante, fortement active, qui contient quelques centaines de kilos de produits de fission radioactifs et quelques kilos d'actinides, est d'abord stockée dans des réservoirs durant quelques années (10), afin de laisser décroître la radioactivité des produits à moyenne durée de vie et, par là même, la chaleur qu'ils dégagent.

Après cette attente, il est possible de récupérer, parmi les quelques produits à longue durée de vie qui subsistent, ceux qui servent à des usages industriels ou médicaux. Les émetteurs gamma présentent un intérêt en tant que sources d'irradiation, par exemple de denrées alimentaires,

ou pour la stérilisation de matériel chirurgical. Les émetteurs alpha et bêta sont recherchés en tant que sources d'ionisation, utilisées par exemple pour l'industrie textile ou dans certains détecteurs d'incendie, ou comme sources de chaleur concentrée pour des générateurs thermo-électriques, par exemple pour l'alimentation de radio-phares, de réémetteurs ou de stations météorologiques implantés dans des zones inhabitées et éloignées.

Ce qui reste constitue la part fortement active des déchets, celle qui doit être conditionnée en vue d'un stockage prolongé ou d'une élimination définitive. Dans ces buts, l'intention actuelle est la suivante.

La liqueur radioactive concentrée est évaporée et calcinée. Les oxydes en résultant sont incorporés, sous une forme inerte, soit dans certains verres, dans de la céramique ou dans du métal fritté. Le mélange est incorporé dans des récipients en acier inoxydable étanches, qui servent de moule et d'enveloppe. Les cylindres de déchets ainsi obtenus dégagent de la chaleur ; ils supportent en leur centre des températures élevées, et leur surface permet une bonne évacuation de cette chaleur vers l'extérieur. Les déchets ainsi « vitrifiés » peuvent être temporairement stockés dans des piscines avant d'être définitivement éliminés dans des couches géologiques reconnues acceptables, où ils séjourneront jusqu'à ce qu'ils soient devenus inoffensifs, et cela sans nécessiter l'aide de moyens techniques ou d'un gardiennage. Une récupération de la chaleur dégagée durant l'entreposage temporaire ne s'est pas avérée justifiée, car déjà trop faible et trop diluée.

Les blocs ainsi formés, en matière inerte, sont pratiquement insolubles et retiennent suffisamment les substances actives pour que des pertes importantes par dissolution ne se produisent pas, si un contact avec de l'eau avait lieu au cours du temps. Ce conditionnement sous forme solide et concentrée se prête aussi le mieux au transport vers le lieu de stockage définitif.

De tels blocs d'essai, dotés d'une concentration en matière ou en radioactivité incorporées très supérieure à celle qu'il est prévu d'utiliser normalement, ont été observés, testés et soumis à l'attaque de l'eau durant plus de quinze années déjà. Les résultats ont permis d'orienter les recherches sur les voies les plus favorables, dont plusieurs déjà se sont avérées satisfaisantes. Ces recherches se poursuivent cependant, car de meilleures solutions sont toujours possibles.

Il convient d'insister sur le fait que le volume des déchets à longue durée de vie est très faible. Une centrale nucléaire de 1000 MWe donne lieu à la production de moins de 3 m<sup>3</sup> par an de produits vitrifiés, ce qui correspond à moins d'un cm<sup>3</sup> par an et par personne pour la part de ses besoins en énergie qu'elle consomme sous forme d'énergie électrique.

Durant leur stockage temporaire, dans des puits ventilés ou dans une piscine, les blocs vitrifiés peuvent être arrangés en formation serrée ; ils ne mobilisent alors qu'un faible volume de stockage. A leur endroit de stockage définitif, il y a possibilité et avantage à les répartir de façon plus espacée à l'intérieur de la formation géologique retenue.

### Complément

#### Explications techniques très simplifiées

1. Le rapport entre chaque degré d'activité est, grossièrement, d'un facteur 100 à 1000. Pour des déchets liquides, le degré dépend de l'activité spécifique exprimée en Ci/m<sup>3</sup>. Pour des déchets solides, c'est le débit de dose, exprimé en mrad/h, à la surface ou à une faible distance, qui compte. Les déchets faiblement actifs peuvent être manipulés sans restrictions notoires et

sans risques pour le manipulateur attentif. Pour ce qui concerne les déchets moyennement actifs, l'usage de blindages ainsi que des restrictions du temps, resp. de la distance de manipulation, deviennent nécessaires. Les déchets fortement actifs sont emballés ou placés dans des enveloppes très lourdes ou volumineuses, qui demandent un équipement lourd et adapté pour être ouvertes. Pour les transports, ces enveloppes sont particulièrement résistantes au feu et aux chocs ; en plus, elles sont multiples. Dès lors, les personnes qui tenteraient d'ouvrir un

tel emballage se mettraient surtout elles-mêmes en danger, plutôt que le public, car la contamination éventuelle resterait très localisée.

## 2. Rayonnement

bêta : peu pénétrant, il est arrêté par une tôle métallique ; facile à mesurer ;

gamma : le plus pénétrant, demande un blindage important, souvent en plomb ; très facile à mesurer ;

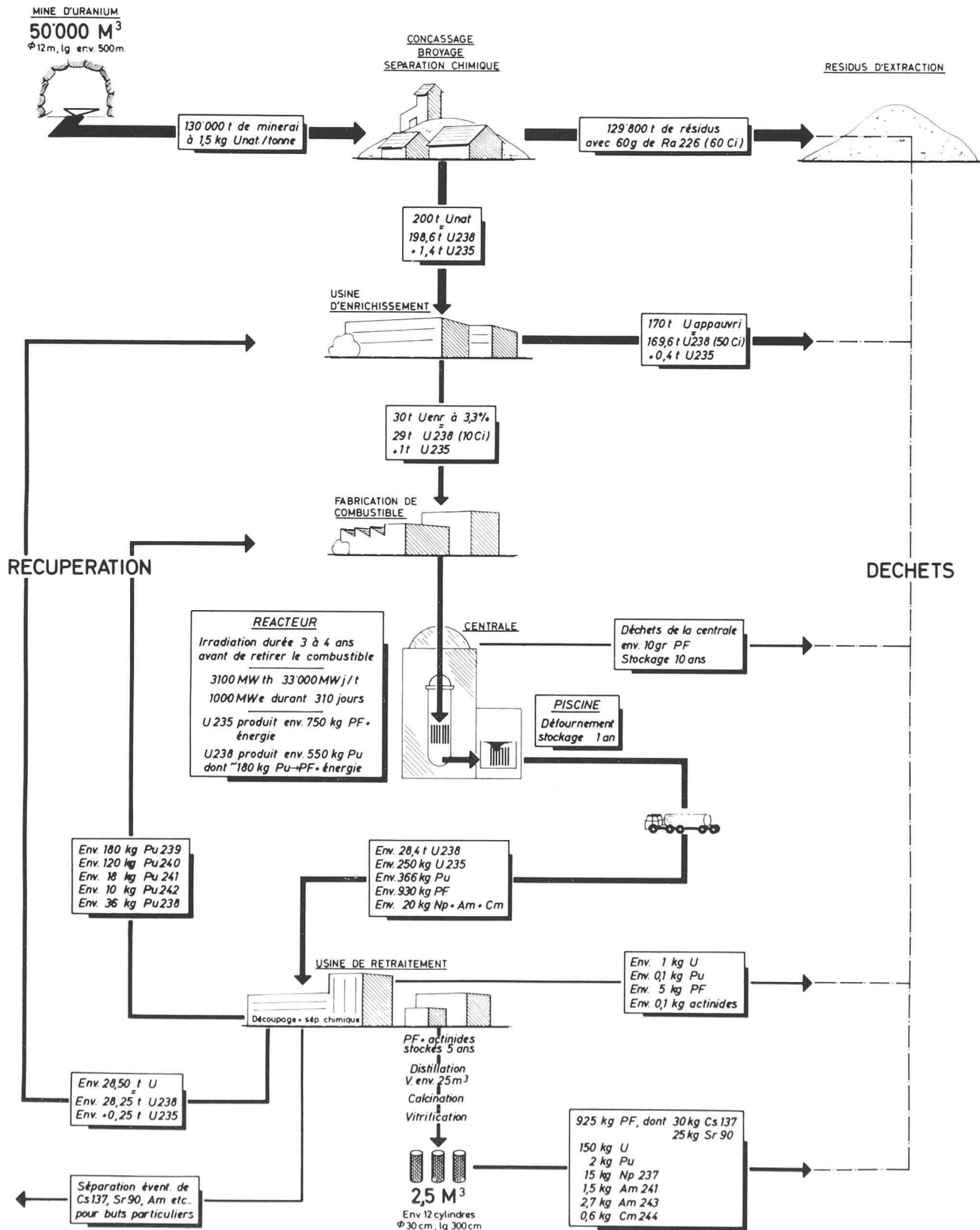


Fig. 1. — Cycle du combustible et déchets produits.

alpha : très peu pénétrant, arrêté par une feuille de papier ; le plus souvent à longue durée de vie, et plus difficile à mesurer.

3. Dans la majorité des cas, à une durée de vie courte correspond une radioactivité élevée ou un pouvoir de pénétration supérieur. Des substances parmi les plus gênantes disparaissent donc très rapidement, par exemple N 16 en quelques minutes vu sa durée de vie très courte.

Parmi 81 produits de fission (PF) ou d'activation (PA) abondants ou gênants (les plus volatils ou solubles), l'on trouve :

à vie très courte (demi-vie inférieure à 2 h) :

27 PF + 5 PA = 32 (40 %)

à vie courte (demi-vie inférieure à 8 jours) :

17 PF + 5 PA = 22 (27 %)

à vie moyenne (demi-vie inférieure à 1 an) :

14 PF + 6 PA = 20 (25 %)

à vie longue (demi-vie supérieure à 1 an) :

4 PF + 3 PA = 7 (8 %)

Les quelque 200 autres PF revêtent moins d'importance, car ils sont, soit de vie courte, soit non transportables (4) par l'eau ou l'air, soit produits en très faible quantité, soit non radioactifs.

Il est dès lors erroné et naïf de comparer globalement l'inventaire ou la production de PF, exprimée en unités d'activité, soit en Ci, de substances aussi diverses quant à leurs caractéristiques et, par voie de conséquence, quant à leur *effet*. A titre d'exemple, 1 Ci de radium Ra 226 (produit radioactif naturel) est 10, resp. 10 000 fois plus contaminant que 1 Ci de Sr 90, resp. de Ba 140. Or, le Sr 90 est l'un des 4 PF les plus gênants, et le Ba 140 se trouve aussi parmi les 14 PF à vie moyenne de l'énumération précédente. Ces trois substances sont assimilées de façon comparable par les organismes. La différence réside dans le fait que le Ra 226 émet des rayons alpha (2), accompagnés de rayons bêta et gamma à haut pouvoir pénétrant avec une demi-vie très longue de 1622 années. Les produits artificiels les plus gênants sont souvent moins dangereux que les produits naturels les plus toxiques. Il convient cependant, pour toute comparaison, de tenir compte simultanément de leurs quantités *et* de leurs qualités pour en juger les *effets*.

4. Les matières « transportables » par l'air ou par l'eau peuvent, seules, se disperser dans la biosphère. Ce sont les gaz (par exemple Kr 85, H 3), les substances volatiles (par exemple I 131), solubles (par exemple Cs 137, Sr 90, HTO), les aérosols (fines poussières légères) et les produits solides (dits « de filiation ») issus de substances transportables. Les autres matières (tel le plutonium, toujours présent sous forme de particules lourdes d'oxyde, d'hydroxyde ou de complexe insoluble) ne sont pas « transportables » dans ce sens, et par conséquent beaucoup moins préoccupantes.

Il est possible d'absorber de grandes quantités de tritium (H 3) dans des « éponges » de métal, qui ne les relâcheraient que chauffées à haute température. C'est une façon de « solidifier » un gaz gênant, et des recherches progressent également dans le but de « fixer » ou de « solidifier » le gaz Kr 85.

5. Les poussières, boues, liquides, gaz, etc. pouvant plus facilement se disperser de façon non contrôlée, des matières radioactives ne doivent pas être transportées sans précautions particulières dans l'une de ces formes. Chaque centrale nucléaire, usine de retraitement de combustible ou grand centre de recherches est équipé d'installation de conditionnement des déchets, où ceux-ci sont finalement coulés dans du béton, du bitume ou dans une matière plus inerte encore. Les gaz sont stockés dans des réservoirs durant quelques jours avant d'être filtrés, puis relâchés, de telle manière qu'aucun inconvénient n'en découle pour le personnel d'exploitation, et moins encore pour le public. La liquéfaction éventuelle du gaz Krypton 85 serait un cas particulier, mentionné plus loin (21).

6. L'ordonnance fédérale concernant la protection contre les radiations (OPR), du 30 juin 1976, classe les isotopes radioactifs en 9 catégories. Ce classement est repris ici pour les isotopes dont il sera question plus souvent dans le texte.

Globalement, le degré de radiotoxicité augmente d'un facteur 10 par classe. Par exemple, il y aurait un effet toxique comparable pour les activités suivantes :

1  $\mu$  Ci de Pu 239  $\approx$  1 m Ci de Sr 90  $\approx$  1 Ci de Cs 137  $\approx$   
100 Ci de Kr 85.

Elément :	fort ← degré de toxicité → faible				
	1	2	3/4	7	9
Tritium					H 3
Krypton					Kr 85
Strontium			Sr 90		
Césium				Cs 137	
Plomb					
(naturel)			Pb 210		
Polonium					
(naturel)			Po 210		
Radium					
(naturel)			Ra 226		
Thorium					
(naturel)	Th 232				
Uranium					
(naturel)			U 238		
Plutoniums					
	Pu 238				
	Pu 239				
	Pu 240				
Américiums		Am 241			
		Am 243			
Curium		Cm 244			

En réalité, les choses ne sont pas si simples, et d'autres facteurs interviennent encore. La compréhension et l'interprétation correcte du contenu de l'OPR font partie des connaissances de base indispensables à toute personne qui désirerait s'exprimer de façon valable sur les risques et les nuisances liés à l'utilisation de radioéléments. Les hérésies publiées quotidiennement et reprises sans aucune vérification démontrent bien que ces connaissances font encore fortement défaut, même à de nombreux ingénieurs et scientifiques, en particulier à ceux qui ne sont pas habitués à la manipulation de ces substances.

7. La Russie et l'Amérique disposent d'immenses territoires et de zones désertiques. Elles pourraient alors facilement éliminer leurs déchets radioactifs. Néanmoins, elles ont chacune étudié de multiples solutions, dont : l'inclusion des déchets liquides dans des couches géologiques perméables insérées entre des couches étanches ; les forages profonds ; les mines de sel, de potasse ; l'excavation de cavernes profondes à l'aide d'explosif nucléaire, etc. Ces pays-là disposent de solutions de rechange, dont l'une ou l'autre pourrait être reprise dans d'autres régions moins favorisées, où toutes les conditions énoncées par l'autorité américaine ne sont pas réunies.

8. Certains produits de fission « mangent » les neutrons avec une avidité mille à un million de fois supérieure à la moyenne (anthropophage = mangeur d'hommes). Leur production crée alors un phénomène d'auto-intoxication du réacteur. Lorsque leur durée de vie est courte (par exemple Xe 135, demi-vie 9 h), ils ne pourraient qu'empêcher temporairement le réacteur de redémarrer ; lorsque leur durée de vie est longue (par exemple Sm 149, produit de fission stable), il n'y a d'autre solution que la séparation chimique qu'on appelle « retraitement » du combustible.

9. Le chargement en combustible n'est en fait pas retiré en bloc chaque troisième ou quatrième année, mais on en renouvelle un tiers ou un quart chaque année. Cette procédure présente de nombreux avantages de sécurité, d'économie et d'exploitation.

10. Un stockage à très long terme sous forme liquide serait possible et présenterait l'avantage de permettre à tout moment de récupérer une matière qui deviendrait recherchée, ou de profiter de meilleures techniques qui permettraient de mieux séparer les substances utiles ou destructibles, ce qui n'est plus possible ou pour le moins très difficilement possible après vitrification. Tout stockage sous forme liquide présente par contre un risque de fuite. De telles fuites ont eu lieu aux USA où les réservoirs n'ont souvent qu'une seule paroi, mais où la géologie du sous-sol de l'endroit, choisi intentionnellement, était très favorable. La nappe phréatique ne semble pas avoir été contaminée. Des installations de stockage à enveloppes multiples ont été utilisées avec succès en Europe ; elles étaient nécessaires pour tenir compte des conditions locales, et déjà pour raison de prudence élémentaire.

(à suivre)