Dangerosité intrinsèque des matières et déchets

Les matières radioactives concentrées dans les déchets ou les produits de la chaîne combustible présentent, selon leurs caractéristiques et leurs propriétés physico-chimiques, des degrés divers de danger potentiel. Les risques liés à leur gestion sont déterminés par les moyens mis en œuvre pour tenir compte de cette dangerosité intrinsèque.

Différents facteurs entrent en jeu pour déterminer la dangerosité des matières présentes dans l'inventaire des produits « en attente » et des déchets reconnus comme tels.

La radioactivité

Le premier est celui de leur radioactivité en tant que telle, plus ou moins importante en intensité et en type de rayonnements; elle définit le risque associé à une présence au contact ou à proximité de ces matières. Les caractéristiques de la radioactivité émise varient très fortement d'un radionucléide à l'autre, y compris au sein des isotopes d'un même élément chimique.

L'intensité du rayonnement d'un radionucléide est liée au nombre de désintégrations qu'il produit dans un temps donné, défini par sa période radioactive (le temps nécessaire à ce que la moitié d'une quantité donnée de ce radionucléide se soit désintégrée). Ainsi en général une matière à longue durée de vie émet peu de rayonnements, tandis qu'une matière à courte durée de vie irradie plus fortement.

Les particules émises par la radioactivité des matières considérées sont plus ou moins chargées en énergie (masse, charge électrique, vitesse), ce qui détermine à la fois leur pouvoir ionisant (l'interaction avec la matière qu'elles rencontrent) et leur pouvoir pénétrant. Les rayonnements de type α (alpha), lourds et chargés électriquement, interagissent fortement avec la matière, mais arrêtés par une simple feuille de papier ou une petite épaisseur d'air, ils sont essentiellement dangereux en cas d'incorporation par l'organisme et d'irradiation directe des cellules (voir ci-dessous). Les émissions de type β (béta), beaucoup plus légères mais chargées positivement ou négativement, interagissent facilement aussi avec la matière. Plus pénétrantes, elles nécessitent des protections plus importantes, comme par exemple quelques millimètres de feuille d'aluminium. Enfin, les émissions γ (gamma), sans masse et sans charge, interagissent peu avec la matière mais sont extrêmement pénétrantes et nécessitent des protections très lourdes. Il faut par exemple pour les arrêter plusieurs centimètres de plomb.

En fonction du type et de l'intensité de radioactivité qu'ils émettent, les produits de la chaîne combustible et les déchets radioactifs présentent un pouvoir d'irradiation extrêmement contrasté : il est par exemple possible de manipuler à mains nues du minerai d'uranium, alors que quelques minutes passées sans protection à proximité d'un colis de déchets vitrifiés, concentrant les produits de fission et actinides mineurs issus du combustible après retraitement (voir fiche 4), sont mortelles.

La désintégration d'un élément radioactif ne produit pas nécessairement un élément stable : il existe au contraire des « familles » de décroissance radioactive, créées par des désintégrations successives à partir d'un atome lourd vers des éléments de plus en plus légers. La radioactivité d'une matière ou d'un déchet, si elle tend toujours à diminuer avec le temps, peut ainsi varier de façon non négligeable. Par exemple, la désintégration de ^{241}Pu en ^{241}Am (américium) dans le plutonium n'augmente pas la radioactivité totale mais rend nécessaire des protections supplémentaires du fait de ses rayonnements γ beaucoup plus forts que ceux du plutonium.

La radiotoxicité

Elle décrit la nocivité du produit en cas d'irradiation interne (ingestion, inhalation) ou de contact (peau), sur le même mode que la toxicité chimique qui doit pour certains éléments être également prise en compte (plomb, arsenic, etc.).

La radiotoxicité dépend de multiples paramètres tels que le type de radioactivité du radionucléide considéré et sa « durée de vie biologique », caractérisée par le temps qu'il faut pour que la moitié d'une quantité incorporée ait disparu de l'organisme (ce temps est lui-même fonction du rythme de décroissance du radionucléide et de la vitesse à laquelle l'organisme l'évacue par les voies naturelles).

La radiotoxicité des radionucléides rencontrés dans la chaîne du combustible et les déchets peut varier de plusieurs ordres de grandeur. À radioactivité égale (nombre de désintégrations par seconde) incorporée par l'organisme, la toxicité de l'eau tritiée (eau formée avec l'isotope radioactif de l'hydrogène, le tritium ³H) serait 350 fois moindre que celle de ⁴⁰K (potassium), présent naturellement dans l'organisme; à l'inverse celle du plutonium serait 40 fois plus élevée.

En règle générale, les éléments radioactifs les plus lourds et les moins mobiles comme les actinides mineurs (dont la plupart des isotopes sont émetteurs α) présentent une radiotoxicité supérieure aux éléments plus légers et plus mobiles comme les produits de fission. La radiotoxicité de certains isotopes du plutonium est telle que l'inhalation de quelques dizaines de microgrammes de plutonium suffit pour déclencher de façon certaine à terme un cancer des poumons.

La réactivité

Troisième élément, la plus ou moins grande stabilité de ces matières (réactivité chimique, caractère inflammable...) entre également en compte. Elle détermine en effet le risque de relâchement, dans des conditions données de contionnement et d'entreposage ou de stockage, d'une fraction donnée des matières considérées.

Dans ce domaine, leurs propriétés fissiles (capables de produire une réaction de fission) ou fertiles (capables de produire un élément fissile) distinguent les matières dites « nucléaires » des autres : elles présentent notamment des risques différents sur le plan de la sûreté avec le risque de criticité (réaction nucléaire), et sur le plan de la prolifération, c'est-à-dire leur détournement pour la fabrication d'armes atomiques.

Les principales matières nucléaires sont le plutonium et l'uranium. La possibilité d'utiliser ces matières pour la fabrication d'une charge nucléaire dépend directement de leur enrichissement en isotopes fissiles. Il suffit de moins de 20 kg d'uranium hautement enrichi (à plus de 80 % en ²³⁵U) ou de quelques kilos de plutonium dit de « qualité militaire » (à plus de 90 % de ²³⁹Pu) pour fabriquer une bombe, mais cela reste possible avec des quantités croissantes de matières moins enrichies. En particulier, le plutonium issu du retraitement civil des combustibles usés, dit de « qualité réacteur », est utilisable pour la fabrication d'une bombe.

Il faut également souligner le potentiel que représentent les matières non nucléaires pour l'utilisation par des terroristes de bombes radioactives dites « sales », basées sur la dispersion de la radioactivité grâce à un engin explosif conventionnel.

Le tableau ci-dessous présente un résumé, nécessairement simplificateur au regard de l'extrême diversité des radionucléides à prendre en compte, de l'échelle de dangerosité des grandes catégories de matières selon quelques critères essentiels.

Tableau simplifié de la dangerosité intrinsèque des matières concernées

ı	Radioactivité ^(b)	Radiotoxicité ^(b, c)	Tox. chimique(b)	Criticité	Détournement(d)
Uranium (U)	•	•	••	•••	•••
Plutonium (Pu)	••	●●● à ●●●●	••	••••	••••
Actinides mineurs (AM)	• à ••••	● à ●●●●	••	● à ●●	••
Produits de fission (PF)	● à ●●●●	● à ●●●	O à ●●●●	0	••

- (a) On distingue ici quatre grandes catégories de matières présentes dans le combustible irradié et les divers produits issus de sa gestion : l'uranium (plusieurs isotopes), le plutonium (plusieurs isotopes), les actinides mineurs et les produits de fission. On distingue cinq niveaux de dangerosité : O nulle, faible, ●● modérée, ●●● forte et ●●●● très forte.
- (b) On compare ici la radioactivité, la radiotoxicité et la toxicité chimique des matières sur des unités de masse équivalentes.
- (c) On ne tient compte que des principaux isotopes en termes de quantités mises en jeu.
- (d) On indique ici quel usage « militaire » pourrait être fait après détournement des matières considérées (sous certaines conditions, notamment selon les formes sous lesquelles elles pourraient être accessibles): on indique un danger très fort pour les matières utilisables dans une bombe nucléaire, modéré pour les matières utilisables dans une bombe « sale ». On ne tient pas compte d'exceptions telles que le neptunium (AM), qui peut être utilisé pour fabrique une bombe nucléaire, ou le deutérium et le tritium (PF), matières indispensables à la fabrication de certaines armes nucléaires.