

Techniquement résolue, politiquement en suspens...

La gestion des déchets radioactifs

1. L'homme a domestiqué la radioactivité
2. La solution suisse sur les rails
3. Les trois étapes de la mise en sécurité des déchets
4. La transmutation: solution du futur

Note de synthèse du Conseil scientifique de la Fédération romande pour l'énergie (FRE)*

Mise en forme rédactionnelle
de Jean-Pierre Bommer

1. L'homme a domestiqué la radioactivité

S'agit-il de cette force mystérieuse et diabolique que certains dénoncent? En fait de mystère, la radioactivité est un phénomène tellement connu et maîtrisé qu'on l'utilise quotidiennement dans les domaines les plus pointus de la médecine, de l'énergie, de l'industrie ou de l'agriculture.

La Terre et le ciel sont radioactifs. Les hommes y sont exposés. Et certains plus que d'autres: un habitant de Saint-Moritz, parce qu'il habite en altitude, subit une irradiation naturelle près de trois fois plus élevée qu'un voisin de la centrale nucléaire de Gösgen. Tel un bruit de fond dans lequel l'homme a toujours vécu depuis son apparition sur terre, les substances radioactives (radionucléides) sont omniprésentes. Elles se désintègrent en nous et autour de nous en émettant des rayonnements plus ou moins pénétrants.

Il existe trois types de rayonnement:

1. les rayons *alpha*, notamment pré-

sents dans les gisements d'uranium et composés de noyaux d'hélium, pénètrent à peine la surface de la peau mais diffusent une grande quantité d'énergie;

2. les rayons *bêta*, présents dans le phosphate naturel, sont constitués d'électrons quatre mille fois plus légers que les particules alpha. Ils pénètrent jusqu'à deux centimètres de tissu humain;
3. les rayons *gamma* sont beaucoup plus pénétrants mais généralement de moindre intensité. Ils se manifestent sous forme d'ondes électromagnétiques, comme la lumière émise par le Soleil ou les rayons X,

*Présidé par le professeur **Marcel Maurer**, doyen du Domaine scientifique de la HES-SO Valais, le **Conseil scientifique de la FRE** est formé des spécialistes suivants: **Sahar Pasche**, ing. physicienne EPFL, D^r ès sciences, **Philippe Cordonier**, ing. EPFL, post-grade en énergie, **Jean-François Dupont**, ing. physicien EPFL, D^r ès sciences, **Pascal Favre**, physicien EPFL, D^r en physique, **Edgard Gnansounou**, D^r ès sciences, chargé de cours EPFL, **Jacques André Hertig**, chargé de cours EPFL, **Pierre-Jean Paris**, ing. physicien, **Patrick Sudan**, physicien, D^r ès sciences nat., **Anton Schleiss**, prof. EPFL, **Pierre Verstraete**, ing. physicien EPFL, **Jules Wilhelm**, ingénieur-conseil.

Voir aussi www.frenergie.ch

mais d'une longueur d'ondes plus faible.

Que leur source soit naturelle ou artificielle, ces rayonnements ont le même comportement. En traversant la matière, ils transmettent de l'énergie aux atomes qui la constituent et dont ils arrachent des électrons, créant ainsi des ions (atomes n'ayant plus leur compte d'électrons). C'est le phénomène d'ionisation, point de départ de toutes les transformations que les rayonnements peuvent provoquer en traversant la matière.

Rhône radioactif

La radioactivité est universelle. Le Rhône charrie en une année près de cent tonnes d'uranium naturel qui proviennent en partie du ruissellement des pluies sur les massifs cristallins. Les eaux minérales aussi contiennent des radioéléments, dont l'action est vantée de longue date par les dépliants de certaines stations thermales. D'anciennes étiquettes de bouteilles arboraient fièrement «Eau la plus radioactive du monde».

Le radon est le principal facteur d'irradiation d'origine terrestre. Il constitue à lui seul la source de plus de la moitié des rayonnements radioactifs naturels. Gaz inodore, le radon se diffuse parfois loin de son point originel situé dans la roche. A travers failles et fentes du terrain, il remonte à la surface du sol pour se répandre dans l'air et dans l'eau. Sa concentration dépend essentiellement de la nature du sol. Son terrain de prédilection? Les régions granitiques. Raison pour laquelle on enregistre

dans certaines zones alpines des taux d'irradiation naturelle deux à trois fois plus élevés que sur le Plateau (un taux d'un peu plus de 1 millisievert par année).

Filtre atmosphérique

L'atmosphère contient de multiples radionucléides, comme le carbone 14, le tritium, le sodium 22 ou le béryllium 7, formés à chaque instant par interaction des rayonnements dits secondaires qui réagissent pour former de nouvelles particules (gamma notamment, mais aussi des neutrons). Le tritium, par exemple, est un isotope de l'hydrogène.

Autre radioélément né dans la haute atmosphère: le carbone 14, brassé dans la circulation de l'air, issu de la rencontre des particules cosmiques avec des atomes d'azote. Sous l'influence du champ magnétique de la Terre, ces particules radioactives sont de plus en plus nombreuses à mesure qu'on se rapproche des pôles. D'autres sont arrêtées par l'atmosphère terrestre. On relève deux fois plus de particules à haute altitude qu'au niveau de la mer.

Indispensable à la vie

Pas étonnant, dans ces conditions, que les spatonautes soient particulièrement exposés. Sur la station MIR (à 400 kilomètres d'altitude), par exemple, on a mesuré une dose moyenne d'un millisievert par jour et par individu. La dose absorbée par les passagers d'un avion lors d'un aller-retour Paris-Los Angeles (vingt-deux heures de vol à 10 000 mètres d'altitude) atteint 0,056 millisievert.

L'homme est donc soumis quotidiennement à une irradiation

Les seuils d'irradiation - en millisieverts par année

- 0,01 mSv: dose supplémentaire reçue par les voisins d'une centrale nucléaire.
- 1,5 mSv: irradiation individuelle moyenne provenant de traitements médicaux
- 4 mSv: irradiation naturelle moyenne de la population suisse
- 50 mSv: limite légale pour les personnes exposées professionnellement
- 500 - 2000 mSv: possibilité statistique significative d'induire un cancer
- 2000 - 6000 mSv: atteintes à la santé quasi certaines
- plus de 6000 mSv: décès rapide.

externe et interne en provenance de la Terre et de l'atmosphère. On estime à environ 4 millisieverts par an son exposition moyenne à l'irradiation d'origine naturelle. Son propre corps est radioactif: outre le carbone 14, il contient du potassium, indispensable à la vie, dont l'isotope 40 est radioactif. Près de cinq cents mille désintégrations se produisent toutes les minutes en chacun de nous, accompagnées d'émissions de rayons alpha, bêta et gamma.

Universelles

Nous sommes également soumis à une radioactivité d'origine artificielle. Qui, par exemple, n'a pas subi d'examen radiologique (0,5 millisievert pour une radiographie pulmonaire)? Qui ne s'est jamais tenu devant un poste de télévision (0,005 millisievert par heure), ou n'a jamais porté de montre à cadran lumineux (environ 0,02 millisievert par an)?

En fait, la radioactivité est universelle. Aujourd'hui, l'homme a si bien maîtrisé ce phénomène qu'il peut en tirer un formidable éventail d'utilisations dans la médecine, l'énergie, l'agriculture, la science et la technique. Lors d'un exposé présenté pour célébrer le centenaire des rayons X, le Dr André Flückiger, président du Groupement des radiologues FMH de la Société vaudoise de médecine, estimait que l'utilisation de la radioactivité en médecine a probablement permis de sauver plus de vies humaines au cours du 20^e siècle que toutes les guerres ont fait de morts pendant cette même période.

* * *

2. La solution suisse sur les rails

Le but majeur de toute stratégie de gestion des déchets est d'assurer une protection à court et à long terme de l'homme et de l'environnement. Le Conseil fédéral a reconnu en 2006 la faisabilité technique du stockage final des déchets. Il reste à le mettre en œuvre.

Comment stocker les déchets radioactifs en toute sécurité pour de très longues durées? La nouvelle loi fédérale sur l'énergie nucléaire, en vigueur depuis le 1^{er} février 2005, exige leur enfouissement géologique en couches profondes. Deux dépôts sont prévus: l'un pour les déchets de haute et de moyenne activité à vie longue, l'autre pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte.

D'importantes tâches liées à la gestion des déchets radioactifs sont d'ores et déjà réalisées. Leur recensement, leur caractérisation et leur entreposage constituent des travaux de routine. L'entreposage se déroule sur le site des centrales et dans les installations spéciales du dépôt intermédiaire Zwiilag, à Würenlingen.

Les déchets faiblement et moyennement radioactifs (85'000 mètres cubes pour 50 années d'utilisation des cinq centrales existantes) résulteront de l'exploitation et, ultérieurement, du démantèlement des installations. Il s'agira, avant la déconstruction des ouvrages, des vêtements de protection, du matériel de nettoyage, des outils, d'eau usée, de filtres des systèmes d'épuration. Ces matériaux contaminés sont immédiatement traités sous une forme apte au stockage profond.

En vue de leur stockage futur, les déchets de haute activité issus du retraitement d'assemblages combustibles usés (9000 mètres cubes

après 50 ans d'exploitation) sont mélangés à des produits vitrifiants et coulés dans des conteneurs standardisés (coquilles en acier), où ils durcissent en un verre solide. Une fois les conteneurs placés dans les dépôts géologiques, les cavernes seront remplies d'argile étanche. Autant de barrières qui seront complétées par la roche d'accueil de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur.

Barrières multiples

Dans le cadre de la démonstration de faisabilité du stockage géologique, la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) a ouvert la voie à la création d'un dépôt à partir du projet «argile à opalinus», dans le Weinland zurichois.

La gestion des éléments combustibles irradiés, des déchets hautement radioactifs vitrifiés et des déchets moyennement radioactifs à vie longue provenant des centrales nucléaires peut être réalisée en Suisse. C'est ce que reconnaissait le Conseil fédéral le 28 juin 2006: «La faisabilité du stockage final des déchets nucléaires est désormais établie».

Le problème n'est donc plus technique. Il est politique. Il faudra disposer d'un dépôt pour les déchets hautement radioactifs en 2040 et d'un site pour les matériaux faiblement et moyennement radioactifs si possible avant cette date.

En bref

3. Les trois étapes de la mise en sécurité des déchets

La gestion des déchets radioactifs comprend trois étapes:

- 1. on isole les déchets radioactifs à la source;*
- 2. on les surveille activement après les avoir conditionnés et emballés hermétiquement;*
- 3. on libère l'homme de la surveillance active en enterrant les déchets à grande profondeur.*

Les points 1 et 2 sont réalisés quotidiennement depuis près de 40 ans par les exploitants de centrales suisses, avec une efficacité constamment vérifiée. Il n'y a eu aucun cas d'irradiation dangereuse lié à l'utilisation de l'énergie nucléaire au cours de cette période. Ces deux premières étapes garantissent à elles seules que la radioactivité des déchets ne peut affecter ni l'homme ni l'environnement.

La 3^e étape sera effective dès la

construction de dépôts finaux dans des couches géologiques stables et profondes. Ces dépôts seront conçus de manière à ce que même si les déchets devaient remonter à la surface, ce retour serait plus lent que la décroissance de la radioactivité. Autrement dit, une fois à ciel ouvert, le rayonnement subsistant ne présenterait pas le moindre danger. Compte tenu des faibles quantités produites et du temps nécessaire au refroidissement des déchets de haute activité, les

dépôts devront être disponibles vers 2030-2040.

Le coût de la mise en sécurité des déchets est inclus dans le prix du kilowattheure facturé. Les centrales suisses provisionnent entre 0,8 et 1,2 centime par kWh à cet effet. Grâce à ce prélèvement, qui n'affecte pas la rentabilité du nucléaire, nous disposerons en 2025 de 12 milliards de francs pour financer l'élimination des déchets.

4. Transmutation: la solution du futur

«Transmuter» les déchets radioactifs les plus dangereux pour les rendre inoffensifs - une perspective qui pourrait se concrétiser dès 2040 dans des réacteurs de 4^e génération.

La transmutation consiste à agir au cœur de l'atome pour changer la composition de son noyau. Les réactions en chaîne engendrent de petites quantités d'éléments qui, pendant des centaines ou des milliers d'années, resteront plus radioactifs que le sol dans lequel ils seront enfouis. D'où l'idée d'utiliser une succession de désintégrations pour «transmuter» les déchets hautement radioactifs à vie longue en éléments moins actifs, à durée de vie réduite, voire stabilisés.

Une première étape de transmutation a été franchie en 2005 sur le site nucléaire français de Marcoule: la séparation chimique des trois actinides mineurs du reste des déchets radioactifs. On s'efforce depuis lors de les «transmuter» dans le réacteur à neutrons rapides (surgénérateur) Phénix. En Suisse, l'Institut Paul Scherrer participe à la recherche sur la transmutation, notamment à travers le projet MEGAPIE, qui a contribué à la démonstration de la faisabilité

technique de l'utilisation du plomb comme caloporteur.

La maîtrise de la transmutation n'est qu'une question de temps.