

# AEN Infos



## Dans ce numéro :

### Fukushima

Mesures à prendre pour favoriser la sécurité d'approvisionnement à long terme en radioisotopes à usage médical

Contrôle réglementaire du recours des exploitants à des entreprises extérieures

Réversibilité et récupérabilité dans la gestion des déchets radioactifs

et encore...





*AEN Infos* est publié deux fois par an, en anglais et en français, par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs des articles et ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'Organisation ou ceux des pays membres. Les informations contenues dans *AEN Infos* peuvent être librement utilisées, à condition d'en citer la source. La correspondance doit être adressée comme suit :

La rédaction, AEN Infos  
Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire  
12, boulevard des Îles  
92130 Issy-les-Moulineaux  
France  
Tél. : +33 (0)1 45 24 10 12  
Fax : +33 (0)1 45 24 11 10

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) est une organisation intergouvernementale qui a été fondée en 1958. Son principal objectif est d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. Elle est une source d'informations, de données et d'analyses non partisane et constitue l'un des meilleurs réseaux d'experts techniques internationaux. Elle comprend actuellement 30 pays membres : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Slovénie, la Suède, la Suisse et la Turquie.

Pour plus d'informations sur l'AEN, voir :  
[www.oecd-nea.org](http://www.oecd-nea.org)

**Comité de rédaction :**  
Janice Dunn Lee  
Cynthia Gannon-Picot  
Serge Gas

**Production et marketing :**  
Cynthia Gannon-Picot  
Andrée Pham Van  
Delphine Grandrieux

**Graphisme et mise en page :**  
Fabienne Vuillaume

*Photos de la page de couverture : Centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, Japon (Nuclear Information Center, CRIEPI); Forum sur l'accident de Fukushima du 8 juin 2011 (F. Vuillaume, OCDE/AEN); Flamanville-3, France (EDF); Découpe plasma sous air, centrale nucléaire de Greifswald, Allemagne (EWN). Photo de Luis Echavarrí en page 3 (M. Lemelle, France).*

## Table des matières

### Faits et opinions

---

Fukushima	4
Mesures à prendre pour favoriser la sécurité d'approvisionnement à long terme en radioisotopes à usage médical	10
Contrôle réglementaire du recours des exploitants à des entreprises extérieures	12
Réversibilité et récupérabilité dans la gestion des déchets radioactifs	15

### Actualités

---

Implication des parties prenantes dans la gestion des urgences nucléaires	18
Implication du public dans l'implantation des installations nucléaires	20
État actuel et performances économiques des réacteurs nucléaires de petite taille	23
Une structure internationale pour estimer les coûts du démantèlement	28
Méthodes statistiques de vérification des bases de données	31

Nouvelles publications	35
------------------------	----



# Renforcer la sûreté nucléaire dans le monde



L'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi qui s'est produit en mars 2011 a eu un impact considérable non seulement sur le Japon mais sur l'ensemble de la communauté nucléaire internationale. Bien que cet accident ne soit pas comparable à celui de Tchernobyl en termes de rejets de matières radioactives et de victimes, son impact sur l'environnement est important et a soulevé des questions légitimes au sein de l'opinion publique. Même si, pour la plupart, il ne remet pas en question l'utilisation de l'énergie nucléaire en tant que telle, il nous rappelle que l'exploitation du nucléaire requiert les normes de sûreté les plus élevées et qu'elles soient revues et améliorées régulièrement. Des catastrophes naturelles concomitantes et d'une ampleur aussi colossale étaient difficilement envisageables, mais ces événements nous montrent que des mesures doivent être prises pour se préparer à de telles éventualités.

Les gouvernements et les autorités de sûreté nucléaire du monde entier ont pris l'accident très au sérieux et ont d'ores et déjà commencé à faire le point sur la capacité de leurs centrales à faire face à des phénomènes naturels et des chocs externes, en prenant en compte le cumul de risques. Des « tests de résistance » sont largement planifiés également.

Les organisations internationales tentent activement de réunir leurs pays membres pour discuter des premiers enseignements de l'accident de Fukushima Daiichi et décider des actions de suivi appropriées à mettre en place au niveau international. Le 7 juin, l'AEN et la Présidence française du G8 ont organisé un séminaire ministériel qui a réuni 33 pays et a permis des discussions importantes sur la manière de renforcer la coopération et les cadres réglementaires internationaux de sûreté nucléaire. Les pays participants sont convenus, entre autres, qu'il convient de renforcer la Convention sur la sûreté nucléaire, la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, la notification et les accords d'assistance mutuelle en cas d'accidents graves, la coopération internationale et la communication avec le public. L'AEN a été spécifiquement sollicitée pour promouvoir les meilleures pratiques en matière de sûreté nucléaire, évaluer les leçons tirées de l'accident et entreprendre une révision de l'échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques (INES). Le 8 juin, les autorités de sûreté des 30 pays membres de l'AEN et 5 pays associés se sont entretenues de manière approfondie et sont convenues notamment de faire systématiquement progresser les connaissances nécessaires dans la conception de tous les types de centrales et les situations post-accidentelles et de continuer à améliorer la coopération par l'intermédiaire du Comité sur les activités nucléaires réglementaires (CANR) de l'AEN.

Outre la synthèse des faits, les lecteurs trouveront dans l'article sur Fukushima un grand nombre d'informations concernant les aspects de l'accident relatifs à la sûreté nucléaire et à la radioprotection ainsi que les programmes immédiats de suivi de l'AEN. Plus particulièrement, à la demande des autorités japonaises, l'AEN va soutenir les évaluations de sûreté des réacteurs en service au Japon (Fukushima Daiichi étant soumis à une revue individuelle distincte). Les spécialistes de la sûreté de l'AEN ont rencontré les autorités de sûreté japonaises les 2 et 3 juin à Tokyo pour en démarrer la coordination. En parallèle, le Groupe de travail sur les urgences nucléaires (WPNEM) va se pencher sur la manière de mieux coordonner au niveau international les décisions et les recommandations nationales en matière de gestion des urgences nucléaires ainsi que sur la nature des plans d'urgence actuels dans les pays membres de l'AEN.

Tous les comités de l'AEN sont désormais mobilisés pour identifier les leçons tirées de l'accident et contribuer à renforcer la sûreté nucléaire, la radioprotection et les systèmes de gestion des urgences.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis E. Echávarri'. The signature is fluid and cursive, written over a light background.

Luis E. Echávarri  
Directeur général de l'AEN

# Fukushima

par J. Nakoski et T. Lazo\*

## Les faits

Le 11 mars 2011, un tremblement de terre d'une magnitude de 9,0 a frappé la côte est du Japon, provoquant l'arrêt automatique – prévu dans la conception – de trois tranches (les tranches 1 à 3) de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi ainsi que la perte de l'alimentation électrique extérieure. Les tranches 4 à 6 étaient déjà à l'arrêt pour entretien, la tranche 4 ayant été déchargée de son combustible en novembre 2010. Le dispositif de secours a démarré avec les groupes électrogènes de secours pour fournir l'alimentation.

Peu de temps après le séisme, un tsunami d'une hauteur estimée à 14-15 m a frappé à son tour le site. L'inondation de la centrale qui a suivi a causé la panne des groupes électrogènes de secours ainsi que de certains autres équipements essentiels pour le refroidissement des réacteurs des tranches 1 à 3 et du combustible usé stocké dans les piscines pour l'ensemble des six tranches. Sur la tranche 6, on a rapidement redémarré un groupe électrogène de secours refroidi par air qui a pu fournir de l'énergie électrique aux équipements de secours des tranches 5 et 6. Les réacteurs des tranches 2 et 3 étaient alors refroidis par des turbo-pompes alimentées par la vapeur provenant des réacteurs. Cependant, alors que l'accident évoluait au cours des jours suivants et que la quantité de vapeur produite diminuait, le refroidissement des réacteurs des tranches 2 et 3 à l'aide de ces turbo-pompes a été perdu. Sur la tranche 1, après la perte des groupes électrogènes de secours, le refroidissement était assuré par un condensateur isolé. Avec la perte de l'alimentation électrique, il est devenu impossible d'ajouter de l'eau dans le condensateur isolé et la réserve disponible s'est rapidement évaporée. Par conséquent, le combustible se trouvant dans le réacteur de la tranche 1 n'a plus pu être refroidi.

Pour protéger la population vivant alentour, un ordre d'évacuation des personnes se trouvant dans un rayon de 3 km autour de la centrale de Fukushima Daiichi a été émis le 11 mars. La situation du site empirant, décision fut prise le 12 mars d'étendre la zone d'évacuation à 20 km.

Les analyses effectuées le 1<sup>er</sup> juin 2011 indiquent que sur la tranche 1, à cause de la perte du refroidissement, les pastilles de dioxyde d'uranium ont atteint la température du point de fusion (2 800 °C) très rapidement après la perte de toute l'alimentation

électrique. Aux termes de ces analyses, le combustible fondu se serait relocalisé de la région du cœur vers le fond de cuve tôt le 12 mars. Le combustible fondu aurait alors endommagé le fond de cuve (petites fuites). Une fois le refroidissement relancé un peu plus tard, la température du combustible fondu a baissé, empêchant que le fond de cuve ne soit à nouveau endommagé. Cependant, les petites fuites du fond de cuve de la tranche 1 ont nécessité de continuer à injecter de l'eau dans la cuve à un débit plus élevé que celui nécessaire pour simplement éliminer la chaleur résiduelle et poursuivre le refroidissement du combustible. Des analyses mises à jour pour les unités 2 et 3 indiquent que des dommages significatifs se sont produits sur le combustible qui pourrait avoir également fondu.

Avec la perte de l'alimentation électrique, la dépressurisation des systèmes de refroidissement du réacteur des tranches 1 à 3 s'est effectuée par la décharge de la vapeur par les soupapes de sûreté vers le bassin de suppression de la pression, comme prévu dans la conception. Sans alimentation électrique pour faire fonctionner les équipements de refroidissement de l'eau dans les bassins de suppression, la température et la pression dans les enceintes primaires ont commencé à augmenter. Pour protéger les enceintes primaires, l'éventage des enceintes des tranches 1 à 3 par les conduits de ventilation qui se déchargent dans les cheminées du site a respectivement démarré les 12, 15 et 13 mars 2011. Lorsque le refroidissement n'a plus été possible, des gaz se sont éventés des enceintes primaires, notamment de l'hydrogène issu de la réaction entre les gaines (en zirconium) et la vapeur à température élevée. Une partie de l'hydrogène à l'état gazeux s'est amassée dans la partie supérieure des bâtiments du réacteur (confinement secondaire), là où se trouvent les piscines de combustible usé des tranches 1 et 3, et dans le bâtiment réacteur près du bassin de suppression de la tranche 2. À l'heure où ces lignes sont rédigées, on ne connaît pas le chemin de fuite spécifique de l'hydrogène amassé dans les bâtiments réacteur. Cependant, l'éventage

\* M. John Nakoski ([john.nakoski@oecd.org](mailto:john.nakoski@oecd.org)) travaille dans la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN. M. Ted Lazo ([edward.lazo@oecd.org](mailto:edward.lazo@oecd.org)) est Administrateur principal dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.

a eu lieu alors que les pressions de l'enceinte étaient bien supérieures aux pressions prévues dans la conception, ce qui peut avoir été préjudiciable à l'intégrité des trouées existantes dans l'enceinte ou des conduits renforcés de ventilation qui aboutissent aux cheminées de la tranche.

Lorsque la concentration en hydrogène a atteint la limite d'explosivité, des explosions se sont produites, le 12 mars pour la tranche 1, le 14 mars pour la tranche 3 et le 15 mars pour la tranche 2. Dans les tranches 1 et 3, ces explosions ont provoqué d'importants dommages sur les bâtiments réacteur, en ont détruit les structures supérieures et ont exposé les piscines de combustible usé de ces tranches 1 et 3 à l'atmosphère. L'explosion du bâtiment de la tranche 2 a endommagé le bassin de suppression de pression et dégradé l'enceinte primaire. En plus des événements survenus sur les tranches 1 à 3, une explosion s'est produite sur la tranche 4 qui a causé d'importants dommages sur la partie supérieure du bâtiment réacteur. Au moment de la rédaction de cet article, les raisons de l'explosion intervenue à la tranche 4 n'étaient pas claires. Néanmoins, les causes possibles incluent l'accumulation d'hydrogène générée par la surchauffe du combustible dans la piscine de combustibles usés du réacteur, une fuite de gaz provenant de la tranche 3 à travers un conduit de ventilation commun aux deux unités 3 et 4 ou des matériaux utilisés pendant les activités de maintenance qui étaient conduites dans la tranche 4.

Des pompes temporaires ainsi que d'autres équipements nécessaires ont été utilisés pour contribuer au refroidissement du combustible en injectant de l'eau de mer dans les réacteurs des tranches 1 à 3. L'injection de cette eau de mer a démarré le 12 mars pour la tranche 1 et le 14 mars pour les tranches 2 et 3. Elle a également été ajoutée dans les piscines de combustible usé à l'aide de différentes méthodes. Elle a notamment été déversée par des hélicoptères et pulvérisée à l'aide d'équipements de lutte contre les incendies et de camions de pompage du béton. Lorsqu'il a été à nouveau possible d'injecter de l'eau dans les réacteurs des tranches 1 à 3 et dans les piscines de combustible usé de toutes les tranches (eau de mer dans un premier temps puis eau douce), on a pu réduire la progression des dommages au niveau du combustible et les efforts de rétablissement ont pu être concentrés sur la réduction de la propagation des matières radioactives en dehors du site.

Actuellement, on progresse dans le rétablissement de l'alimentation électrique des équipements de la centrale, la réduction de la propagation de matières radioactives supplémentaires hors du site, les dispositions pour nettoyer et décontaminer le site ainsi que dans le refroidissement des réacteurs des tranches 1 à 3 et le combustible usé dans les piscines. À cause des petites fuites du fond de la cuve de la tranche 1, maintenir la réserve d'eau dans la cuve et empêcher que cette tranche ne subisse d'autres dommages continue d'être un défi. Cependant, à l'heure où ces

lignes sont écrites, il semble que suffisamment d'eau de refroidissement soit fournie pour empêcher la cuve du réacteur de la tranche 1 de subir de nouveaux dommages. L'enceinte primaire de la tranche 2 semble avoir été endommagée, ce qui a contribué aux nombreux rejets de matières radioactives dans l'environnement, principalement dans la mer. Les hauts niveaux de contamination et de rayonnements dans les bâtiments réacteur et turbine des tranches 1 à 4 ont considérablement gêné les activités de rétablissement. Des équipements spécialisés sont actuellement amenés sur le site pour soutenir les efforts de rétablissement et de nettoyage.

## Exposition aux rayonnements suite à l'accident

Les conséquences radiologiques de l'accident de Fukushima sont basées sur les rejets de matières radioactives gazeuses et liquides dans l'atmosphère et dans la mer. Les matières radioactives gazeuses rejetées dans l'atmosphère sont transportées et dispersées par le vent. Lorsqu'elles se déplacent, elles peuvent irradier les populations au-dessus desquelles elles passent. La concentration en matières radioactives diminue au fur et à mesure qu'elles s'éloignent du site de l'accident. Cependant, les matières rejetées lors de l'accident de Fukushima ont été détectées sur tout l'hémisphère nord à des concentrations extrêmement faibles mais mesurables. En plus des rayonnements provenant des nuages, qui finiront par passer, des particules radioactives comme la poussière vont également se poser sur le sol, les plantes, les maisons et les routes. Ces matières radioactives vont rester plus longtemps et peuvent également irradier les personnes se trouvant dans la zone. Les matières radioactives liquides qui ont été rejetées dans la mer sont dispersées dans l'océan par les courants et ne représentent généralement pas un danger pour les hommes (mais peuvent l'être indirectement par la consommation de poissons, de crustacés, d'algues, etc.).

Si le niveau d'exposition est très élevé, les rayonnements peuvent tuer suffisamment de cellules humaines pour que des tissus entiers (tube digestif, moelle osseuse, cellules du cerveau) cessent de fonctionner. Ce sont les effets déterministes qui ne se produisent qu'à partir d'un seuil particulier et sont plus graves lorsque la dose augmente. Ils ne surviennent qu'en cas d'exposition à des doses très élevées (par exemple >1 000 mSv) et peuvent entraîner des maladies graves et la mort. Les débits de dose enregistrés dans les zones se trouvant en dehors du site sont plus d'un million de fois inférieurs à ce seuil, de sorte que dans la situation actuelle il est impossible que les personnes exposées présentent ces effets très graves. L'exposition à des niveaux inférieurs peut cependant augmenter le risque individuel de contracter un cancer ou une leucémie qui entraînent la mort. Bien qu'il soit scientifiquement impossible de distinguer un cancer ou une leucémie

provoquée par une exposition aux rayonnements d'un cancer ou d'une leucémie de cause différente, il est possible d'identifier statistiquement, parmi les populations largement exposées, si le taux de cancer est supérieur au taux attendu. Ce sont les effets stochastiques, et les risques qu'ils se produisent sont proportionnels à la dose reçue. Pour les nombreuses populations ayant été exposées à environ 100 mSv ou plus, il est possible de constater une augmentation statistique du nombre de cancers, et dans de telles circonstances, ces cancers peuvent être considérés comme radio-induits. Il semble, une fois encore, que les niveaux actuels d'exposition du public ne soient pas assez importants pour qu'il y ait une augmentation statistiquement significative de cancers provoqués par cet accident. Cela ne signifie pas que les doses des populations exposées ne doivent pas être évaluées ni qu'aucune consultation médicale ne soit nécessaire.

Actuellement, il semble que la majorité des rejets radioactifs de la centrale aient eu lieu avant le 19 avril (voir ci-dessous pour plus de détails). Au total, on estime que les rejets sont de l'ordre de 840 PBq (1 péta-Becquerel =  $1 \times 10^{15}$  Bq). Ils comprennent plusieurs radionucléides différents, principalement, en ce qui concerne la population, du césium (isotopes 137 et 134) et de l'iode (isotope 131). Cette quantité de matières radioactives est égale à environ 16 % de celle rejetée lors de l'accident de Tchernobyl en 1986.

Les personnes travaillant sur le site sont celles qui présentent le plus de risques de subir les conséquences des rayonnements, à la fois en raison des effets déterministes provoqués par des expositions extrêmement élevées ainsi que des effets stochastiques à long terme (cancers induits) provoqués par des doses moins élevées. À ce jour, le gouvernement japonais n'a donné aucune information sur l'exposition du personnel. Dans des conditions de travail normales, tout employé exposé ne doit pas recevoir de dose supérieure à 100 mSv sur une période de cinq ans, avec une exposition annuelle maximale de 50 mSv. Dans les situations d'urgence, cependant, cette dose limite légale est assouplie pour les membres du personnel qui tentent de sauver des vies ou ceux qui œuvrent pour empêcher le rejet de doses collectives importantes. Dans ces situations extrêmes, les recommandations internationales autorisent ceux qui travaillent dans l'urgence à recevoir des doses allant jusqu'à 500 mSv. La réglementation japonaise actuelle permet à ceux qui travaillent dans l'urgence de recevoir des doses allant seulement jusqu'à 100 mSv. Cependant, le ministère japonais de l'économie, du commerce et de l'industrie et le ministère japonais de la santé, du travail et des affaires sociales ont déclaré le 15 mars que le personnel d'urgence était autorisé au vu de la situation à recevoir une dose allant jusqu'à 250 mSv. Si l'exposition est effectivement maintenue en deçà de 250 mSv, les personnes concernées ne devraient pas être confrontées à des maladies immédiates et graves et les risques de cancer à long terme ne

devraient pas être considérablement plus importants que ceux auxquels elles sont exposées dans le cours normal de leur travail.

## Caractérisation des niveaux de rayonnements et de contamination

Bien que les niveaux de rayonnements et de contamination aient été mesurés de nombreuses fois, la situation radiologique n'a pas encore été complètement caractérisée. On s'attend à ce que la contamination soit très inégalement répartie, principalement en raison de l'irrégularité des précipitations issues du nuage radioactif qui est passé au-dessus du Japon. Des cartes détaillées seront nécessaires pour bien comprendre comment gérer la situation au mieux pendant les mois et les années à venir.

Les mesures des niveaux de rayonnements dans les préfectures se trouvant près de la centrale laissent entendre que les débits de dose reviennent aux niveaux habituels auxquels ils se trouvaient avant l'accident. Ces débits de doses correspondent à la radioactivité naturelle, par exemple celle de l'uranium naturellement présent dans le sol ou encore du radon. Les niveaux de rayonnements les plus élevés en dehors de la préfecture de Fukushima ont été mesurés dans la préfecture d'Ibaraki où ils atteignaient environ 0,35  $\mu$ Sv/h le 22 mars. Si ce niveau était resté identique pendant une année entière, l'exposition de la population d'Ibaraki aurait été d'environ 2,25 mSv. Le débit de dose dans les autres préfectures se trouvant autour de Fukushima a également atteint le pic de 0,2  $\mu$ Sv/h le 22 mars. Cependant, tous les débits de dose dans ces préfectures ont considérablement diminué et ont globalement désormais atteint le niveau normal de 0,01  $\mu$ Sv/h à 0,075  $\mu$ Sv/h.

Dans la région de Tokyo, le débit de dose a atteint un pic de 0,14  $\mu$ Sv/h environ le 23 mars. Au bout de 40 jours, il se trouvait à nouveau dans la plage habituelle. Si on prend le débit de dose quotidien moyen au cours de cette période, la dose reçue par individu à Tokyo suite à l'accident de Fukushima serait d'environ 89  $\mu$ Sv. Par comparaison, la dose moyenne individuelle annuelle est de 1 100  $\mu$ Sv au Japon, un aller-retour entre Tokyo et New York équivaut à 200  $\mu$ Sv et une radiographie standard de la cage thoracique à environ 50  $\mu$ Sv.

Les mesures effectuées montrent que les débits de dose les plus élevés se trouvent dans la préfecture de Fukushima, dans la zone située au nord-ouest de la centrale et jusqu'à 40 ou 50 km de la centrale. Dans certaines de ces régions, le débit de dose dépasse 2,25  $\mu$ Sv/h, ce qui entraînerait une exposition annuelle de plus de 20 mSv si ces débits de dose devaient persister autant de temps. Bien que l'exposition à long terme du public à de tels débits de dose ne soit pas censée poser de problèmes de santé, comme augmenter l'incidence des cancers de manière significative d'un point de vue statistique, les éviter permettrait de supprimer tout risque radiologique.

## Mesures de protection du public

L'évacuation est une contre-mesure courante mise en place en cas d'urgence nucléaire ou dans d'autres situations d'urgence dans le but de déplacer la population se trouvant dans une zone à risque ou à risque potentiel vers une zone sûre. Les zones se trouvant autour des centrales de Fukushima Daiichi et de Fukushima Daini ont été évacuées respectivement sur 20 et 10 km. Les deux centrales étant proches l'une de l'autre, les deux zones d'évacuation se chevauchent en grande partie. Lors de l'identification des zones d'évacuation, les avantages de l'évacuation (par exemple éviter ou réduire la dose) et ses risques (par exemple des éventuels accidents de transport) sont pris en compte.

Le 12 mars, ordre a été donné d'évacuer la population sur 20 km autour de la centrale de Fukushima Daiichi, ce qui a résulté en l'évacuation d'environ 78 000 personnes autour des deux centrales. Pour l'instant, on ne sait pas combien de temps cette évacuation sera maintenue. La caractérisation de l'état radiologique de la zone est réalisée lentement et son accès est limité car l'état de la centrale de Fukushima Daiichi n'est toujours pas entièrement maîtrisé et la réparation des routes et des autres infrastructures n'est pas encore terminée.

Il est à noter qu'il a fallu surveiller le degré de contamination de 133 des 78 000 personnes évacuées, et sur ces 133 personnes, 23 présentaient un certain degré de contamination. Ces personnes ont été décontaminées à l'aide de savon et d'eau et envoyées au centre d'évacuation. Aucune mesure médicale ou d'hygiène spécifique ne s'est avérée nécessaire.

Une autre mesure courante en cas d'urgence nucléaire consiste à demander à la population de se mettre à l'abri, c'est-à-dire de rester à l'intérieur et de fermer toutes les portes et fenêtres de manière à ce que l'air extérieur ne contamine ni n'irradie les individus. Cette mesure est généralement mise en place pour les personnes se trouvant au-delà de la zone d'évacuation et susceptibles de ne recevoir que des petites doses si des matières radioactives sont rejetées du site en question. Pour ces personnes, le risque de subir les conséquences négatives d'une évacuation est supérieur à celui provoqué par les petites doses qu'ils pourraient recevoir. La mise à l'abri de la population vivant entre 20 et 30 km de la centrale a été ordonnée le 15 mars et a touché environ 62 000 personnes. Cet ordre étant de longue durée, de nombreuses personnes concernées ont volontairement évacué la zone, et il est certain que celles qui sont restées ont dû régulièrement quitté leur domicile pour aller chercher de la nourriture ou de l'eau.

Le 21 avril, le gouvernement japonais a ordonné qu'une autre zone au-delà de 30 km au nord-ouest de la centrale soit évacuée dans les 30 jours. Elle a été désignée sous le nom de « zone d'évacuation planifiée » et touche cinq préfectures. Cette évacuation a

été ordonnée parce que les calculs prudents qui ont été réalisés laissent entendre que les populations restant dans cette zone devraient recevoir une dose de plus de 20 mSv au cours de l'année à venir. Le gouvernement japonais, citant les dernières recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (ICRP), a choisi le critère de la dose la moins élevée dans la fourchette recommandée de 20 à 100 mSv/an. En outre, la majeure partie de la zone des 20-30 km a été renommée « zone d'évacuation préparée », la population dans cette zone ayant reçu l'ordre d'être prête à évacuer si la situation empirait.

La dernière mesure de protection courante en cas d'urgence nucléaire est de distribuer des comprimés d'iode stable à la population. Dans son processus biochimique, la thyroïde utilise de l'iode pour fabriquer des protéines et des hormones, l'iode ingéré ou inhalé a donc tendance à se concentrer rapidement dans la thyroïde. Si de l'iode radioactif est émis suite à un accident dans une centrale nucléaire, il peut être absorbé par les personnes qui entrent en contact avec lui et irradier par conséquent leur thyroïde. Ce phénomène a entraîné des cancers de la thyroïde après l'accident de Tchernobyl.

L'iode stable ingéré en comprimés, de préférence avant toute exposition à l'iode radioactif, va se fixer sur la thyroïde et si de l'iode radioactif est absorbé par la suite, il sera éliminé sans conséquence par les urines, empêchant la thyroïde sensible d'être irradiée. Il faut cependant noter que la prise de comprimés d'iode stable concentré peut avoir des effets médicaux secondaires et ne doit avoir lieu que dans les cas où le risque d'exposition à l'iode radioactif est sérieux. Dans le cas de l'urgence de Fukushima, 230 000 comprimés d'iode stable ont été distribués dans les centres d'évacuation comme mesure de précaution mais n'ont pas été à ce jour distribués à la population évacuée.

## Implications sur la sûreté nucléaire et travail de l'AEN

Lorsqu'on évalue les implications de l'accident de Fukushima Daiichi sur la sûreté, il faut reconnaître que la catastrophe naturelle qui a eu lieu était bien plus importante que ce que les archives historiques de cette région n'auraient laissé prévoir. Le tremblement de terre d'une magnitude de 9,0 est l'un des plus importants que le Japon ait enregistré. Même si les tranches de la centrale de Fukushima Daiichi ont été conçues pour résister à un séisme de plus petite envergure, il apparaît que la plupart des équipements nécessaires pour arrêter normalement la centrale ont fonctionné comme la conception l'avait prévu. Ce point est positif et montre que la conception et la construction des centrales nucléaires sont solides. Au moment où l'AEN définit ses travaux dans ce domaine, il est important de comprendre quels éléments ont continué à fonctionner après le séisme et pour quelles

raisons, de manière à mieux préparer les recommandations en matière d'amélioration de la sûreté.

Si seul le séisme avait eu lieu à Fukushima Daiichi, l'ampleur de l'accident aurait été considérablement moindre, avec des impacts probablement minimes sur la population et l'environnement. Les rejets relativement mineurs de matières nucléaires de la centrale voisine de Fukushima Daini et les conséquences faibles sur le public et l'environnement tendent à le démontrer. À Fukushima Daini, les groupes électrogènes de secours ont continué de fonctionner après l'événement et de fournir de l'électricité aux équipements critiques nécessaires pour arrêter et refroidir les réacteurs. Cependant, le tsunami de 14-15 m de hauteur qui a frappé la centrale de Fukushima Daiichi était considérablement plus élevé que celui qui avait été prévu dans la conception. Lorsque le tsunami est arrivé, l'inondation a provoqué la panne des groupes électrogènes de secours du site. Par conséquent, les équipements de refroidissement des réacteurs et du combustible utilisé dans les piscines ont cessé de fonctionner, engendrant des dommages sur le cœur des tranches 1 à 3. Les dommages sur le cœur, les fuites du fond de cuve de la tranche 1, les explosions qui ont touché les bâtiments réacteur, ainsi que l'enceinte primaire de la tranche 2, ont entraîné une dispersion importante de matières radioactives depuis Fukushima Daiichi.

Tandis que les évaluations de l'accident progressent, l'AEN et d'autres organisations doivent se pencher sur ce qui a posé problème, ce qui a fonctionné et ce qui peut être fait pour améliorer la capacité des centrales nucléaires à résister aux événements hors dimensionnement ou pour redéfinir quels sont les événements extérieurs à prendre en compte dans le dimensionnement. Les leçons à tirer de cet accident en matière de sûreté nucléaire comprennent les points suivants :

- méthodologie pour identifier quels sont les événements extérieurs à prendre en compte dans la conception et la construction des centrales nucléaires ;
- impact des caractéristiques du site sur la capacité de la centrale à affronter les événements extérieurs ;
- réaction d'une centrale face à une perte d'alimentation générale de longue durée et moyens pour y faire face ;
- modes de gestion des accidents graves et utilisation de méthodes alternatives pour le refroidissement ;
- production et transport d'hydrogène après endommagement du cœur ;
- impact des accidents sur la capacité à protéger le combustible utilisé stocké dans les piscines.

Pour favoriser cet effort d'évaluation, le Comité sur les activités nucléaires réglementaires (CANR) de l'AEN a établi un groupe de travail à haut niveau

qui va suivre les impacts de l'accident et plus particulièrement :

- servir de pôle efficace et diligent d'échange des informations relatives aux activités nationales et régionales telles que les revues, les audits et les inspections des centrales nucléaires suite à l'accident de Fukushima ;
- servir de ressource pour le Japon en communiquant et collaborant diligemment et efficacement avec les organismes de réglementation internationaux ;
- identifier les leçons tirées de l'accident en tant qu'organisme international expert dans la réglementation ;
- identifier dans quels domaines l'échange des pratiques existantes aiderait à caractériser les bonnes pratiques et les domaines qui pourraient être modifiés suite à l'accident de Fukushima ;
- identifier les domaines et les questions qui pourraient profiter d'une évaluation ou de recherches approfondies ;
- identifier les activités de suivi à court et à long termes pour le nouveau groupe de travail et pour les groupes de travail actuels du CANR et du Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) de l'AEN, ou encore recommander la création d'un nouveau groupe temporaire.

Le groupe de travail à haut niveau a présenté un rapport au CANR durant la session spéciale sur Fukushima qui s'est déroulée pendant sa réunion à Paris les 6-7 juin 2011. Il contenait des recommandations destinées au CANR et au CSIN sur les domaines à étudier et les activités de suivi à entreprendre par les différents groupes de travail et les différents projets de l'AEN. L'accident a fait également l'objet de discussions au cours de la réunion du CSIN des 9-10 juin 2011 à Paris.

En outre, deux événements de haut niveau ont été coorganisés par la Présidence française du G8-G20 et par l'AEN au Centre de conférences de l'OCDE les 7-8 juin 2011 : une réunion ministérielle élargie du G8 sur la sûreté nucléaire et un forum sur l'accident de Fukushima. Les objectifs principaux du forum ont été de donner la possibilité d'échanger des informations sur les premiers enseignements à tirer, les implications sur la sûreté et les activités nationales en réponse à l'accident de Fukushima, ainsi que de définir les domaines dans lesquels une coopération internationale serait utile. Les participants ont eu la possibilité de rencontrer des homologues de différents pays et de différentes organisations pour discuter des questions actuelles et futures sur ce sujet, pour donner des conseils au CANR et au CSIN sur les activités à venir et pour apporter les bases de la conférence ministérielle de l'AIEA sur Fukushima qui se tiendra les 20-24 juin à Vienne.

L'accident de Fukushima a entraîné des évaluations de sûreté dans tous les pays membres de l'AEN ayant des réacteurs nucléaires en cours d'exploitation. Dans ce contexte, et à la demande des

autorités japonaises, l'AEN va soutenir les évaluations de sûreté des réacteurs en service au Japon, Fukushima Daiichi étant soumis à une revue distincte. Les spécialistes de la sûreté de l'AEN ont rencontré les autorités de réglementation japonaises les 2-3 juin à Tokyo pour démarrer la coordination de ces évaluations.

## Radioprotection et suivi de l'AEN

De nombreuses leçons peuvent également être tirées dans le domaine de la radioprotection, notamment sur la manière de communiquer efficacement avec les parties prenantes extérieures pendant une crise, sur l'efficacité de la planification en cas d'urgence et des pratiques en matière de préparation, ainsi que sur les techniques d'identification des sources de contamination afin de minimiser les rejets de matières radioactives et de protéger les employés de niveaux de rayonnements élevés tout en prenant des mesures pour réagir face à l'accident.

Une fois que la centrale de Fukushima sera entièrement sûre et maîtrisée et que les rejets radioactifs auront cessé, le processus de retour à la normale sera le point le plus difficile de l'accident sur le plan radiologique. Pour cela, l'implication des parties prenantes sera essentielle dans la gestion des conséquences afin de prendre des décisions durables. L'AEN peut s'appuyer sur une importante étude sur les réactions en matière de protection de la population dans le cadre de l'accident de Tchernobyl, sur l'expérience approfondie de l'organisation et de l'évaluation des exercices internationaux d'urgence nucléaire (série INEX de l'AEN), et sur la priorité accordée depuis longtemps par l'Agence à l'implication des parties prenantes dans la prise de décision en matière de radioprotection. En utilisant cette expérience comme point de départ, le Comité de protection radiologique et de santé publique (CRPPH) de l'AEN va considérer quelles sont les options les plus utiles pour examiner l'implication des parties prenantes dans la prise de décisions concernant la phase de retour à la normale, apporter au gouvernement japonais son expérience et l'aider à prendre les décisions nécessaires dans son pays.

En termes de gestion de l'urgence, le CRPPH a activement étudié depuis l'accident de Tchernobyl les aspects internationaux des urgences nucléaires, notamment à travers l'organisation des exercices internationaux d'urgence nucléaire (INEX). Le groupe de travail du CRPPH sur les urgences nucléaires (WPNEM, *Working Party on Nuclear Emergency Management*) s'est réuni au début du mois de mai et propose au CRPPH que, sur la base de l'expérience de Tchernobyl et de celle qu'ont acquis les membres avec l'accident de Fukushima, le WPNEM s'intéresse à la manière dont les décisions et les recommandations nationales en matière de gestion des urgences pourraient être mieux coordonnées au niveau international ainsi qu'à la nature actuelle des plans de préparation dans les pays membres de l'AEN.

Enfin, le Système d'information sur la radioexposition professionnelle (ISOE) est un projet commun destiné à partager l'expérience en matière de gestion de la radioexposition professionnelle entre les experts de la radioexposition dans les centrales nucléaires. Le programme de l'ISOE propose de synthétiser cette somme d'expériences sur le travail dans les zones où les rayonnements sont élevés (comme cela va être le cas pour la centrale de Fukushima pendant un certain temps) pour aider les Japonais dans leurs efforts de rétablissement de la situation sur place et pour que les pays participants soient mieux préparés aux accidents ou à d'autres situations qui impliquent de travailler dans des zones où les rayonnements sont élevés.

Cet article a été mis sous presse le 16 juin 2011. Pour les dernières informations concernant l'accident de Fukushima et la réponse de l'AEN, veuillez consulter [www.oecd-nea.org](http://www.oecd-nea.org).

# Mesures à prendre pour favoriser la sécurité d'approvisionnement à long terme en radioisotopes à usage médical

**L**e 28 avril, le Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'OCDE/AEN a adopté une déclaration (reproduite ci-dessous) appelant les gouvernements et l'industrie à collaborer pour mettre en œuvre des changements fondamentaux au sein de la chaîne d'approvisionnement du molybdène-99 afin d'assurer une fiabilité de long terme à son approvisionnement. Il a officiellement adopté une démarche stratégique visant à restructurer les aspects du marché dont le fonctionnement actuel n'est pas viable, et à promouvoir une démarche internationale cohérente afin d'assurer un approvisionnement sûr et de long terme des radioisotopes à usage médical. Les perturbations ces deux dernières années de la chaîne d'approvisionnement mondiale ont eu des conséquences significatives chez les patients, pour lesquels des examens diagnostiques importants ont été annulés ou retardés.

## Déclaration du Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'OCDE/AEN sur les mesures à prendre pour favoriser la sécurité d'approvisionnement à long terme en radioisotopes à usage médical

Le molybdène-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) et le produit de sa désintégration, le technétium-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), qui est le radioisotope médical le plus utilisé, permettent en imagerie diagnostique, de détecter et de gérer précocement, avec précision et sans erreur, des pathologies telles que les maladies cardiovasculaires et le cancer, et cela de manière non invasive. Cette technique d'imagerie peut ainsi avoir un impact déterminant sur les décisions médicales parce qu'elle fournit, par exemple, des informations sur les chances de réussite des différents choix thérapeutiques ou montre si une intervention chirurgicale est nécessaire. Les techniques d'imagerie médicale utilisant du  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  représentent plus de 80 % de tous les protocoles en médecine nucléaire, soit plus de 30 millions d'exams médicaux chaque année dans le monde.

Une interruption de la chaîne d'approvisionnement de ces isotopes médicaux – dont les périodes radioactives sont respectivement de 66 heures ( $^{99}\text{Mo}$ ) et 6 heures ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) et qui doivent, par conséquent, être produits en permanence – peut avoir des répercussions sur les capacités de diagnostic médical.

Les graves pénuries que le monde a connues ces dernières années ont en effet retardé, voire annulé, les examens diagnostiques que devaient subir de nombreux patients.

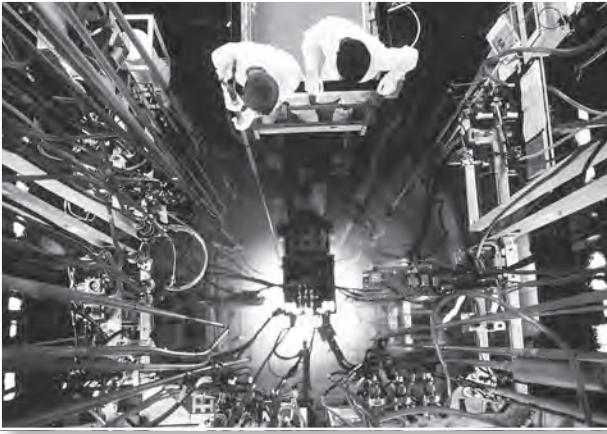
Ces pénuries ont été provoquées par la fermeture de deux des cinq principaux réacteurs de recherche âgés de plus de 44 ans, qui ensemble produisent plus de 90-95 % de l'approvisionnement mondial en  $^{99}\text{Mo}$ .

À la mi-2009, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (OCDE/AEN) a créé le Groupe à haut niveau sur la sécurité d'approvisionnement en radioisotopes à usage médical (HLG-MR) avec un mandat de deux ans. L'objectif est essentiellement de renforcer la fiabilité des approvisionnements en  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  à court, à moyen et à long terme. Ce groupe HLG-MR a étudié les principaux facteurs qui déterminent cette fiabilité et a conclu que le modèle économique sur lequel repose la chaîne d'approvisionnement en  $^{99}\text{Mo}$  constitue le principal problème.

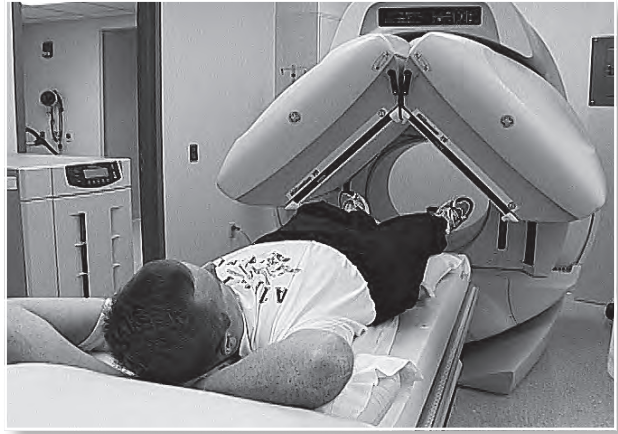
Les efforts conjugués des membres du HLG-MR et des acteurs de la médecine nucléaire ont permis de procéder à une évaluation approfondie des principales vulnérabilités de la chaîne d'approvisionnement et d'identifier les problèmes à résoudre (voir [www.oecd-nea.org/med-radio](http://www.oecd-nea.org/med-radio)). D'importants progrès ont d'ores et déjà été accomplis vers une offre plus fiable grâce à une meilleure communication, une coordination plus efficace des calendriers des réacteurs de recherche et une meilleure compréhension des possibilités de gestion de la demande.

Même si la situation est aujourd'hui stabilisée, le Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'OCDE/AEN souligne que le problème fondamental – à savoir une structure économique intenable – n'a pas encore été résolu. Le marché n'a pas encore été durablement restructuré, et les pénuries pourraient devenir monnaie courante au cours des dix prochaines années si l'on ne prend pas les mesures qui s'imposent pour garantir la sécurité d'approvisionnement à long terme.

Le HLG-MR travaille actuellement à l'élaboration d'une stratégie cohérente pour supprimer les dysfonctionnements de la chaîne et s'acheminer vers un approvisionnement sûr et à long terme en  $^{99}\text{Mo}$  et  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . À sa dernière réunion, il a défini les aspects que doit comporter cette stratégie et notamment, un ensemble de principes applicables aux pays exportateurs ou aux pays susceptibles d'influer sur



Vue du réacteur de recherche Osiris qui produit des radioisotopes à usage médical.



Appareil SPECT utilisé pour l'imagerie médicale.

le marché mondial. Le changement et la mise en place d'un approvisionnement sûr sont subordonnés au respect de ces principes. La stratégie proposée tient compte de la nécessité d'opérer une refonte structurelle de la chaîne d'approvisionnement et décrit des mesures que les gouvernements pourront prendre pour créer un environnement favorable à la constitution et au fonctionnement d'une chaîne d'approvisionnement économiquement durable.

Le Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'OCDE/AEN confirme qu'il soutient la stratégie proposée par le HLG-MR qui est fondée sur les six principes suivants :

**Premier principe :** Tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement en  $^{99m}\text{Tc}$  doivent adopter le principe d'une récupération intégrale des coûts, y compris ceux du renouvellement des équipements.

**Deuxième principe :** Des capacités de réserve devraient être constituées et financées par les acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Les capacités de réserve nécessaires et le prix des diverses solutions pour créer cette réserve doivent être évalués par une méthode commune.

**Troisième principe :** Conscients du rôle du marché et l'encourageant, les pouvoirs publics doivent :

- créer un environnement favorable aux investissements dans les infrastructures ;
- établir les règles et l'environnement réglementaire propices à un fonctionnement sûr et efficace du marché ;
- s'assurer que toutes les technologies suffisamment au point pour être mises sur le marché appliquent le principe de la récupération intégrale des coûts ;
- s'abstenir d'intervention directe dans le fonctionnement quotidien du marché, ce qui pourrait nuire à la sécurité d'approvisionnement à long terme.

Ces changements doivent intervenir rapidement, sachant qu'il faudra du temps avant que le marché

ne s'ajuste à la nouvelle méthode d'établissement du prix.

**Quatrième principe :** Étant donné les engagements qu'ils ont pris en faveur de la non-prolifération et de la sécurité nucléaire, les gouvernements doivent apporter leur soutien de manière appropriée aux réacteurs et installations de traitement afin de faciliter leur conversion à de l'uranium faiblement enrichi ou l'abandon progressif de l'utilisation d'uranium fortement enrichi, partout où cela est techniquement et économiquement faisable.

**Cinquième principe :** Il conviendra de poursuivre la collaboration internationale dans le cadre d'un forum de réflexion et d'échange d'informations, étant donné l'importance d'une démarche cohérente au niveau mondial pour traiter la question de la sécurité d'approvisionnement en  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  et la valeur d'un consensus international dans le soutien aux actions nationales.

**Sixième principe :** Il faudra revoir périodiquement la chaîne d'approvisionnement afin de s'assurer que les producteurs de  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  récupèrent intégralement les coûts et que tous les acteurs adoptent les autres démarches convenues par le HLG-MR, mais aussi de vérifier que la coordination des calendriers de fonctionnement des réacteurs de recherche ou d'autres activités opérationnelles n'ont pas d'effets négatifs sur les marchés.

Le Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'OCDE/AEN appelle les pouvoirs publics et l'industrie à travailler ensemble pour mettre en œuvre efficacement et à temps ces principes, reconnaissant que la sécurité d'approvisionnement à long terme des radioisotopes à usage médical exige une démarche internationale cohérente.

#### Pour en savoir plus :

AEN (2011), *The Supply of Medical Radioisotopes: The Path to Reliability*, OCDE/AEN, Paris (voir [www.oecd-nea.org/med-radio](http://www.oecd-nea.org/med-radio)).

# Contrôle réglementaire du recours des exploitants à des entreprises extérieures

par G. Tracy et D. Jackson\*

Les entreprises extérieures font depuis longtemps partie intégrante des ressources à la disposition des exploitants, en particulier pour la conception, la construction, la maintenance et la modification des centrales nucléaires. On peut en effet considérer que ces entreprises font partie de l'équipe de l'exploitant, apportant une expertise et des compétences spécialisées, ainsi qu'une main-d'œuvre supplémentaire sur des tâches particulières.

Toutefois, l'évolution de l'industrie nucléaire montre que les titulaires d'autorisation ont tendance à recourir de plus en plus à des services en sous-traitance. En outre, des nouvelles techniques de fabrication ainsi que les pratiques commerciales mondiales qui se développent ont étendu la chaîne d'approvisionnement, de même qu'elles ont éloigné le premier fournisseur de matières premières du site de finalisation du produit. Tous ces changements ont placé les exploitants et les autorités de sûreté face à des défis liés au maintien de l'expertise nucléaire, à la gestion efficace des interfaces entre les exploitants et les entreprises extérieures, et à la surveillance de la qualité de fabrication de ces dernières dans le contexte d'une plus grande diversité multinationale.

Le secteur de l'énergie nucléaire partage ces défis avec d'autres secteurs, comme ceux du pétrole et de l'aviation, pour qui la qualité du produit fini est également indispensable à la sûreté. Ces défis portent sur les installations en exploitation et les nouvelles constructions, ainsi que sur toutes les phases de la durée de vie de l'installation : conception, implantation, fabrication, construction, mise en service, exploitation, maintenance et démantèlement. À ce titre, les consignes visant à aborder les défis actuels s'appliquent à l'utilisation de la technologie nucléaire par les pays avancés et émergents.

Les autorités de sûreté doivent relever ces défis pour garantir que les exploitants continuent à assumer leur responsabilité en matière de sûreté des installations, quel que soit le fournisseur des biens et services ou le lieu où se déroulent les activités impliquées dans la chaîne d'approvisionnement. Un groupe d'expert de haut niveau<sup>1</sup> rattaché au Comité sur les activités nucléaires réglementaires de l'AEN a rédigé un rapport visant à aider les autorités de sûreté à évaluer leur pratiques actuelles en matière de contrôle réglementaire du recours des exploitants à des entreprises extérieures, et éventuellement à les adapter en fonction de l'évolution de la situation.

## Principes fondamentaux

Les deux principes fondamentaux suivants ont été identifiés comme faisant partie du rôle de l'autorité de sûreté dans l'évaluation de la surveillance par l'exploitant des entreprises extérieures :

- **L'exploitant** conserve la responsabilité principale de la sûreté de son installation autorisée, y compris la responsabilité des activités des entreprises extérieures et des sous-traitants qui pourraient affecter la sûreté.
- Par ses activités réglementaires, **l'autorité de sûreté** devrait fournir l'assurance que l'exploitant assume ses responsabilités en matière de sûreté de son installation. Elle devrait notamment vérifier que l'exploitant assure le niveau approprié de surveillance de l'ensemble des entreprises extérieures et sous-traitants, à proportion de l'importance pour la sûreté de l'activité concernée.

## Éléments relevant de l'exploitant

Dans tout processus de sous-traitance, l'exploitant doit conserver la responsabilité finale de la qualité du travail effectué, qu'il le soit par son personnel ou par des entreprises extérieures, et du maintien de la sûreté de l'installation autorisée. Une surveillance efficace assurée par l'exploitant doit garantir la qualité des produits et services des entreprises extérieures et de toutes les chaînes de sous-traitants, proportionnellement à leur importance pour la sûreté. Cette surveillance doit garantir la conformité avec les codes et normes applicables et les exigences réglementaires du pays dans lequel le service ou le produit sera utilisé. Parmi les éléments essentiels de cette surveillance, on citera la gestion des approvisionnements et l'élaboration des contrats, l'exécution des contrats à travers toute la chaîne d'approvisionnement, la gestion de la qualité par les entreprises extérieures, l'accès à la documentation et aux installations, la communication, ainsi que la culture de la sûreté.

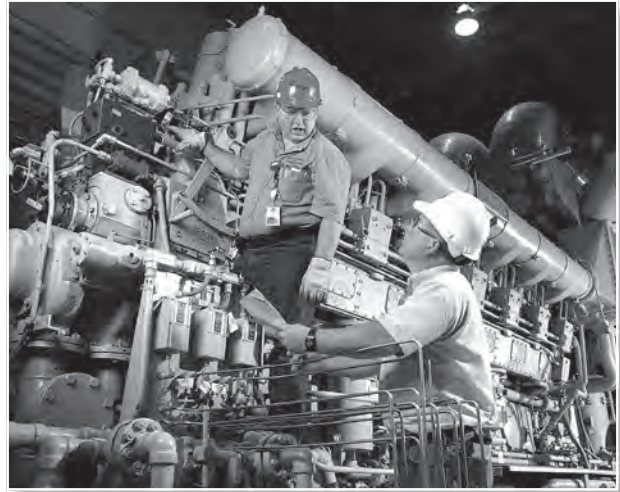
\* M. Glenn Tracy ([glenn.tracy@nrc.gov](mailto:glenn.tracy@nrc.gov)) travaille à l'US Nuclear Regulatory Commission et a présidé le groupe d'experts de haut niveau de l'AEN sur le sujet. Mme Diane Jackson ([diane.jackson@oecd.org](mailto:diane.jackson@oecd.org)) travaille dans la Division de sûreté nucléaire de l'AEN.



Un AP1000 en construction.

Dans les documents contractuels, l'exploitant devra indiquer clairement l'importance pour la sûreté de la qualité des biens et services fournis ; affirmer le besoin d'un plan qualité et d'un système de gestion de la qualité appropriés au sein de l'organisation de toute entreprise extérieure ou sous-traitant ; fournir les informations du dossier de sûreté concernant les performances du composant ou du service tout au long de sa durée de vie ; établir des voies officielles de communication entre l'exploitant et l'entreprise extérieure, ainsi qu'une définition claire des rôles et des responsabilités ; identifier les droits d'accès de l'exploitant et de l'autorité de sûreté aux locaux de l'entreprise extérieure et de tous les sous-traitants, ainsi qu'à tous les documents concernant la qualité ou la sûreté des biens ou services fournis ; expliquer le système qui sera mis en place pour suivre le contrat au cours de sa progression, en identifiant tous les points d'arrêt prédéfinis et en rappelant la possibilité de contrôles aléatoires ; identifier le système qui sera utilisé pour actualiser ou modifier le contrat après qu'il a été passé ; et garantir le transfert en bon ordre à l'exploitant de toutes les informations de conception et du dossier de sûreté.

La gestion par l'exploitant du processus de surveillance des entreprises extérieures devrait inclure un contrôle permettant de confirmer que toute décision de sous-traiter un service est en accord avec la politique générale de l'exploitant en matière de recours à des entreprises extérieures ; une vérification permettant de s'assurer que le travail n'est confié qu'à des entreprises extérieures qui sont pleinement qualifiées pour le réaliser ; la réévaluation périodique de la qualification de l'entreprise extérieure ; un système de conservation des enregistrements de toutes les activités de surveillance, y compris de l'ensemble des réparations, reprises des travaux ou contre-essais ; un processus d'identification de toutes les non-conformités des entreprises extérieures et leur résolution ; un moyen de collecte du retour d'informations sur les performances de l'entreprise extérieure dans des domaines tels que la compétence technique, la culture de la sûreté, la



Travail de maintenance dans une centrale nucléaire.

signalisation des non-conformités et la résolution des problèmes ; un processus d'évaluation de la surveillance des sous-traitants par l'entreprise extérieure ; un moyen de transmission à l'autorité de sûreté des informations pertinentes sur le recours à des entreprises extérieures et sur la façon dont cela affecte ou pourrait affecter la sûreté de la centrale ; un processus permettant d'évaluer et de s'assurer que les entreprises extérieures comprennent les exigences de sûreté applicables et disposent d'un environnement de travail tourné vers la sûreté.

### Incidences sur le programme de contrôle de l'autorité de sûreté

Pour l'autorité de sûreté, le fait que le travail soit réalisé par les employés de l'exploitant ou par des entreprises extérieures n'a aucune influence sur l'évaluation de sûreté. Cependant, si un exploitant choisit de faire appel à une telle entreprise, la surveillance qu'il assure sur celle-ci intéresse l'autorité de sûreté. Le contrôle réglementaire doit en effet être étendu aux activités des entreprises extérieures dont le travail pourrait affecter la sûreté de l'installation autorisée. L'autorité de sûreté devrait se tenir informée du recours par l'exploitant à des entreprises extérieures et des activités de ces entreprises, et utiliser ces informations pour élaborer sa stratégie réglementaire et cibler ses inspections, audits ou évaluations.

Lors de l'évaluation de la surveillance assurée par l'exploitant sur les entreprises extérieures, l'autorité de sûreté doit décider de façon rationnelle de l'étendue et de la méthode du contrôle réglementaire qui doit être appliqué. Le choix dépendra de toute une variété de facteurs, notamment de l'importance pour la sûreté des biens ou services fournis, de l'expérience de l'exploitant et de l'entreprise extérieure vis-à-vis des biens ou services fournis, de la présence de tout élément nouveau ou inhabituel, de l'étendue des preuves disponibles permettant de démontrer la qualité requise, et de la législation nationale sur laquelle s'appuie l'autorité de sûreté. Ces mêmes

considérations s'appliqueront pour la plupart au degré auquel l'exploitant devrait s'impliquer dans les activités de l'entreprise extérieure.

L'autorité de sûreté devrait s'assurer que l'exploitant conserve ses capacités techniques essentielles dans sa sous-traitance et sa surveillance, qu'il possède un système de gestion solide lui permettant de garantir la qualité exigée, qu'il conserve le contrôle de toutes les activités et qu'il reste l'autorité de conception de l'installation.

Lors des inspections et des évaluations, l'autorité de sûreté devrait vérifier que l'exploitant établit et met en œuvre un processus de sous-traitance qui apporte l'assurance raisonnable que tous les biens et services fournis respectent les niveaux requis de qualité et de sûreté ; utilise des procédures d'approvisionnement documentées qui incluent un processus d'évaluation et de sélection efficace des entreprises extérieures potentielles ; vérifie les performances des processus des entreprises extérieures afin de garantir la qualité et la sûreté ; s'assure de disposer des ressources humaines et techniques suffisantes pour surveiller le travail des entreprises extérieures ; et maintient des processus efficaces d'identification des non-conformités et d'actions correctives.

L'autorité de sûreté devrait avoir accès à toutes les informations et à tous les lieux de travail, y compris ceux des entreprises extérieures, si la sûreté actuelle et future de l'installation autorisée en dépend. Elle devrait également avoir accès aux contrats et documents d'approvisionnement qui peuvent l'aider à identifier les activités à surveiller. L'autorité de sûreté doit examiner l'analyse faite par l'exploitant de la tendance des rapports de non-conformité des entreprises extérieures afin d'évaluer leur impact sur la sûreté et évaluer les niveaux de sûreté et de qualité atteints par les processus au sein des systèmes de gestion de l'exploitant et des entreprises extérieures. L'autorité de sûreté devrait s'assurer que le personnel de l'exploitant et le cas échéant de l'entreprise extérieure sait comment la contacter pour faire remonter tout problème de sûreté. L'autorité de sûreté devrait encourager l'exploitant à faire prendre davantage conscience aux entreprises extérieures de leur responsabilité pour qu'elles garantissent à tout moment un travail sûr et une gestion efficace de leur personnel, en favorisant une culture de la sûreté positive.

## Communication

Selon le régime réglementaire de chaque pays, l'autorité de sûreté devrait discuter de sa stratégie réglementaire avec les parties prenantes et expliquer le système réglementaire et les objectifs de sûreté en organisant des réunions, des conférences ou des ateliers auxquels seraient conviés exploitants et entreprises extérieures. Des réunions à haut niveau devraient se tenir fréquemment entre l'autorité de sûreté et l'exploitant, et les discussions devraient porter notamment sur tous les changements orga-

nisationnels proposés par l'exploitant, y compris le recours accru à des entreprises extérieures.

Les autorités de sûreté devraient encourager les exploitants à partager entre eux leurs informations et leur expérience des entreprises extérieures, y compris toute surveillance inadaptée. De même, les autorités de sûreté devraient échanger des informations entre elles sur des biens et services non conformes fournis par des entreprises extérieures, y compris sur les problèmes dus à une surveillance insuffisante de ces entreprises par l'exploitant.

## Conclusions

Comme les services sous-traités évoluent et les exploitants modifient leurs pratiques de surveillance et d'approvisionnement, les autorités de sûreté doivent aussi s'adapter en permanence pour maintenir leur efficacité dans l'évaluation des pratiques de sous-traitance des exploitants dans un marché de l'approvisionnement de plus en plus international. Ces améliorations du processus de surveillance faciliteront le travail multinational en cours visant à évaluer et finalement accroître l'harmonisation des conceptions, des réglementations, des normes et des exigences de qualité qui est désormais soutenue par de nombreuses autorités de sûreté et par l'industrie. La coordination et la coopération internationales permanentes et croissantes entre autorités de sûreté, par la collecte et la diffusion des résultats d'inspection, de l'expérience d'exploitation et de construction, des leçons apprises et des informations concernant les produits et services des entreprises extérieures non conformes, notamment l'identification rapide et la communication des informations sur les pièces contrefaites, frauduleuses ou de qualité inférieure, sont primordiales.

Cette coordination et cette coopération internationales permanentes et croissantes entre autorités de sûreté amélioreront l'efficacité réglementaire dans tous les pays sans réduire leur indépendance. Les autorités de sûreté devraient viser à développer encore plus des approches communes pour résoudre les problèmes importants pour la sûreté et harmoniser les approches, codes et normes de sûreté et les pratiques d'inspection. Une meilleure harmonisation renforcerait l'assurance du respect des exigences réglementaires dans tous les pays et participerait à l'élaboration de politiques de réglementation nucléaire plus cohérente dans les pays nucléaires émergents.

### Note

1. Cet article s'appuie et contient des extraits de la publication de l'AEN intitulée *The Nuclear Regulator's Role in Assessing Licensee Oversight of Vendor and Other Contracted Services*, rédigée par un groupe d'experts de haut niveau comprenant M. Hartmut Klonk (Allemagne), M. Pierre Barras (Belgique), M. Ken Lafreniere (Canada), M. Glenn Tracy (États-Unis), M. Jouko Mononen (Finlande), M. Jean-Christophe Niel (France), M. Atsuhiko Kosaka (Japon), M. Shunsuke Ogiya (Japon), M. Jim Furness (Royaume-Uni), M. Albert Frischknecht (Suisse) et Mme Diane Jackson (Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire). Ce rapport fait également partie de l'édition de juin 2011 de *Improving Nuclear Regulation*.

# Réversibilité et récupérabilité dans la gestion des déchets radioactifs

par C. Birraux et C. Pescatore\*

Les concepts de réversibilité et de récupérabilité (R&R) du stockage des déchets radioactifs sont étudiés depuis de nombreuses années. L'intérêt porté à la R&R dans le stockage géologique des déchets radioactifs de haute activité et du combustible usé n'a cessé d'augmenter depuis la fin des années 1970. En 2008, le Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN, groupe international d'experts de haut niveau dans les domaines réglementaire, industriel, R&D et en matière de politique, ont conclu qu'« il est important de clarifier le sens et le rôle de chaque pays dans la réversibilité et la récupérabilité et que les dispositions prises en ce sens ne doivent pas compromettre la sûreté à long terme. »

L'AEN a piloté un projet sur la R&R dont les conclusions indiquent qu'un grand pas a été franchi<sup>1</sup>. Seize pays y ont participé ainsi que l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et la Commission européenne. L'AEN a organisé à Reims, avec le soutien de l'Andra, une « conférence-débat » internationale<sup>2</sup> qui a réuni plus de 180 participants en décembre 2010. Cette conférence, présidée par M. Claude Birraux, député, a tiré parti des débats entre des représentants des organismes chargés de mettre en œuvre la récupérabilité, des organismes de réglementation, des organes décisionnaires et des représentants de la société civile en général, sans oublier des spécialistes en sciences sociales et des responsables communautaires. Quelques-unes des conclusions du projet, confirmées ou renforcées lors de la conférence, sont décrites ci-après.

## Terminologie

La terminologie utilisée est essentielle lors des discussions sur les concepts de R&R et de stockage géologique. Un rappel des définitions des termes clés est indispensable à la bonne compréhension du projet.

Les termes importants sont définis comme suit : la **réversibilité** décrit la *capacité théorique* à reconsidérer ou à revenir sur des décisions prises lors de la mise en œuvre progressive du système de stockage. La **récupérabilité** désigne la *capacité théorique* à retirer et récupérer les colis de déchets après leur mise en place dans le stockage. La **récupération** correspond au retrait des déchets, action concrète directement liée à la récupérabilité qui implique d'être anticipée.

Il est généralement convenu dans les différents programmes nationaux que les déchets radioactifs

doivent être mis en place dans un stockage définitif seulement si des décisions politiques et réglementaires garantissent que :

- Les « déchets » sont effectivement des déchets et qu'ils ne constituent pas une ressource potentielle. Par définition, le stockage implique l'absence d'intention de les récupérer. Si une telle intention existe, il s'agit alors d'un entreposage et non d'un stockage définitif. Dans le cadre d'un programme de stockage, la récupération renvoie en somme à un plan d'urgence et la récupérabilité au moyen de s'y préparer.
- Les réglementations sur la protection des hommes et de l'environnement sont respectées. Cela signifie que dans leur configuration définitive ou dans un stockage fermé, les alvéoles de stockage doivent être déclarées sûres sans récupérabilité. La capacité à récupérer les déchets n'est pas un argument visant à faire avancer les projets de stockage si la sûreté passive n'a pas été prouvée de manière convaincante.
- Les parties prenantes ont été correctement impliquées.

## Observations sur la réversibilité

La réversibilité nécessite de concevoir et de gérer les processus et les technologies de mise en place des déchets de manière à maintenir autant de flexibilité que possible et de pouvoir modifier ou revenir sur une ou plusieurs décision(s) pour que la planification ou le développement d'un stockage soit réalisable si nécessaire, sans efforts colossaux. La réversibilité implique d'accepter de remettre en question les décisions antérieures et de se placer dans un contexte culturel ouvert à toutes sortes d'interrogations. Il est préférable d'intégrer la réversibilité au processus

\* M. Claude Birraux ([www.claudebirraux.com](http://www.claudebirraux.com)) est Député, Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques à l'Assemblée nationale française. M. Claudio Pescatore ([claudio.pescatore@oecd.org](mailto:claudio.pescatore@oecd.org)) est Administrateur principal dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN et coordonnateur du projet R&R de l'AEN/RWMC.

même de décision. Un tel processus doit également permettre un changement d'orientation en fonction des nouvelles informations recueillies lors de la mise en œuvre, tout en s'assurant que les exigences de sûreté demeurent respectées<sup>3</sup>.

Pour garantir leur crédibilité, les décisions politiques et réglementaires prises à chaque étape doivent être réversibles ou modifiables, dans la mesure du possible, en fonction de nouvelles informations. La réversibilité d'une décision doit être débattue au préalable. En réalité, la réversibilité existe comme possibilité intrinsèque, escomptée ou non, même lorsque l'intention générale s'oriente clairement vers un stockage permanent. Se pose alors la question de savoir s'il faut intégrer cette éventualité dès le processus de décision au même titre que la préparation aux situations d'urgence, ou s'il faut laisser faire le hasard au risque de voir se perdre la confiance envers les dispositions initialement prévues par le programme. En outre, le fait qu'une autorité décide, de manière ad hoc, de revenir sur une décision peut être interprété comme une démarche arbitraire et susciter des doutes. On pourra alors conclure que la réversibilité doit être encadrée par un processus prédéfini transparent.

Dans un processus de décision par étapes, le décideur doit normalement identifier les points d'arrêt qui devront faire l'objet de délibérations sur la modification ou non d'une décision antérieure et la conclusion de ces délibérations devra être consignée. Les critères sur lesquels repose cette conclusion doivent être définis à l'avance. Le critère sociétal qui détermine le retour en arrière, c'est-à-dire la raison sociétale qui motive la réversibilité, ne doit pas consister à la rendre moins pénible mais « si l'on convient du besoin de revenir en arrière, les efforts nécessaires doivent rester raisonnables ». De même, la réversibilité des décisions implique que les organismes chargés de sa mise en œuvre prévoient des dispositions en matière de récupérabilité des déchets de manière à ne pas entraver inutilement leur récupération.

La réversibilité ouvre les portes d'un dialogue continu, d'une coordination et d'une prise de décision partagée. Cependant, il faut reconnaître que la flexibilité qu'elle induit diminue avec le temps, et cet aspect doit être communiqué.

## Observations sur la récupérabilité

L'objectif des programmes nationaux qui envisagent la récupérabilité comme caractéristique officielle de la mise en œuvre du stockage définitif n'est pas de faciliter la récupération future ni de la rendre gratuite, mais simplement d'en garantir la faisabilité sous l'hypothèse qu'elle soit financièrement possible et que les générations futures en aient la volonté et la capacité. Les programmes concernés invoquent trois raisons principales : i) demeurer humble ou ouvert d'esprit pour l'avenir, ii) apporter une garantie supplémentaire de sûreté, et iii) être attentif aux sou-

haits de la population pour que les décisions prises dès le départ ne lui apparaissent pas « irréversibles ».

Bien que certains programmes nationaux sollicitent la récupérabilité avant la fermeture du stockage pour des questions de sécurité opérationnelle, aucun ne la sollicite après la fermeture pour des questions élémentaires de sécurité comme la sûreté fondamentale du stockage notamment. Par conséquent, les réglementations applicables à ces programmes n'exigent pas la preuve de la récupérabilité dans la pratique. Elles exigent seulement que ce soit possible, en théorie.

Au cours de la phase d'exploitation d'un stockage, la réversibilité et la récupérabilité se traduisent dans la pratique par une approche concrète et opérationnelle du stockage des déchets. Tout au long du cycle de vie du stockage, la conception du confinement et de l'isolement du stockage géologique facilite la récupération des déchets. Dans un avenir lointain, il sera toujours possible de récupérer les déchets, mais les coûts et les efforts nécessaires seront plus importants. La capacité à récupérer est donc plus une question de difficulté que de possibilité ou non de faire. La capacité à récupérer (récupérabilité) peut être facilitée dans une certaine mesure, et la recherche et développement peut offrir les moyens de l'améliorer et d'en réduire la difficulté.

Des dispositions de surveillance institutionnelle spécifiques après la fermeture, comme la surveillance ou la conservation de la mémoire, peuvent cependant être décidées même si le dossier de sûreté à long terme se suffit à lui-même (en matière de sûreté passive par exemple). Dans ce cas, ces dispositions contribueraient au processus de décision sur la récupération après fermeture et à la liberté de choix laissée aux générations futures.

D'un point de vue technique, l'application des dispositions de récupérabilité dépend de facteurs tels que les formations géologiques hôtes, les systèmes de barrières ouvragées et les phases du cycle de vie du stockage concernées. Intégrer la récupérabilité dans la conception d'un stockage implique de se demander si les barrières proposées ou les matériaux et les géométries de construction constituent ou non un frein à la récupération si elle devait être mise en œuvre ultérieurement. Dans le même temps, les choix favorisant la récupération ne doivent pas compromettre l'intégrité de l'installation. Des formes et des conteneurs de déchets plus durables, des délais plus longs pour fermer les galeries et le stockage définitif, ou des fermetures et des matériaux de remblais plus faciles à retirer sont autant de mesures qui améliorent la récupération.

L'AEN a mis en évidence, puis testé dans quelques programmes nationaux, une relation entre la récupérabilité et les phases de développement du stockage : l'échelle de récupérabilité. Elle permet une représentation graphique des phases de développement du stockage et rend compte de l'évolution de la facilité de récupération, des éléments

de sûreté passive et de contrôle actif au cours de la vie du stockage. Cette échelle s'est avérée très utile.

La récupération d'un nombre important de colis de déchets, si elle doit un jour avoir lieu, constituera une importante décision. Si elle est prise à une étape avancée du programme de stockage, elle sera onéreuse et générera des risques de sûreté. La manipulation des déchets récupérés expose en effet le personnel aux dangers des rayonnements et les nouvelles installations doivent être construites de manière à traiter et conditionner les déchets en toute sécurité. La récupération constitue ainsi une nouvelle activité réglementée et implique les mêmes exigences de demandes d'autorisation et d'examen sociétal minutieux que celles qui ont permis initialement la mise en place des déchets dans le stockage. Elle devra être justifiée et optimisée comme toute autre activité qui implique des dangers radiologiques. Ces points doivent faire l'objet d'une information publique lors des prises de décision relatives aux dispositions de récupérabilité.

## Conclusions

Les exigences de réversibilité et de récupérabilité ont été intégrées aux niveaux réglementaires et législatifs dans un certain nombre de pays. La pression sociale qui a donné lieu à ces exigences visait surtout à éviter des décisions irréversibles, voire à préserver la capacité des générations futures à participer aux processus de décision, sans exiger expressément cette facilité de récupération. Il apparaît que cette pression sociale est motivée par la possibilité d'accéder aux matières qui pourraient devenir valorisables et la capacité à poursuivre le suivi direct des conditions à l'intérieur du stockage, mais également par une méconnaissance (ou un manque de confiance dans la maturité) technologique et un inconfort vis-à-vis du concept de sûreté purement passive sans aucun moyen de contrôle actif ou de surveillance, ainsi que par le désir d'éviter de prendre aujourd'hui des décisions qui pourraient empêcher les actions de demain. Certaines de ces motivations peuvent décroître au fil du temps avec une plus grande familiarisation et une confiance accrue dans le programme. Une période de contrôle plus longue peut également accroître la familiarisation et la volonté d'accepter la sûreté passive et intrinsèque.

Dans ce cadre, introduire des dispositions de récupérabilité et mettre la réversibilité en application dans le processus de décision peuvent être interprétés comme une manière de diminuer le risque d'interrompre le projet de stockage et de laisser les déchets dans un état qui ne serait peut-être pas acceptable à long terme. Un projet avorté induirait une perte importante d'investissement, et serait considéré comme le prix à payer pour ne pas avoir mis en œuvre la récupérabilité.

Le stockage géologique, tel que prévu actuellement par tous les programmes nationaux, est en principe toujours réversible techniquement. Après

la période de surveillance institutionnelle et au-delà de la durée qui garantit l'intégrité des conteneurs, la récupération des déchets serait toujours possible même si cela implique un effort technique important nécessitant des ressources, une technologie et de la détermination.

Il est entendu que l'intégration de la récupérabilité dans un programme de stockage est plus difficile au fur et à mesure que le stockage prend sa forme et sa fonction définitive. Les considérations liées notamment à la sûreté imposent des limites au niveau d'intégration des dispositions de récupérabilité dans le programme de stockage.

Malgré le nombre croissant des programmes qui considèrent la réversibilité et/ou la récupérabilité comme des aspects importants des politiques et législations, ce sujet fait l'objet d'approches très différentes. Chaque programme est effectivement unique sur ce point. Les environnements social, juridique et technique au sein desquels les programmes se situent varient d'un pays à l'autre et évoluent même au cours du temps. Il n'existe de toute évidence aucune approche « universelle » qui s'applique à toutes les situations. Cependant, certains aspects sont communs à la quasi-totalité des programmes.

De manière générale, il semble que la nature du processus de décision et de mise en œuvre du stockage soit capitale. Dans un projet à long terme tel que le stockage de déchets de haute activité ou de combustible usé, et en tenant compte des évolutions qui peuvent intervenir pour différentes raisons pendant la phase de développement, le résultat final peut s'avérer différent de celui qui était prévu initialement. La recherche et les interrogations se poursuivent et, de ce fait, l'adaptabilité aux nouveaux savoirs acquis également. Pour être crédibles, les décisions intermédiaires doivent dans une certaine mesure être réversibles. Dans ce cas, l'approche raisonnable consiste en un processus par étape d'apprentissage, d'essais, d'interrogations et de mise en œuvre, suivi de nouvelles interrogations. La réversibilité représente une part intrinsèque de ce processus et la récupérabilité le moyen technique d'y parvenir. La réversibilité et la récupérabilité ne sont pas l'objectif premier visé lors de la conception. Ce sont des options des processus de conception et de décision pouvant simplifier le chemin qui mène à l'objectif final du stockage sûr accepté socialement. La conférence de Reims en a conclu que « ce chemin doit être parcouru ensemble ».

## Notes

1. Pour en savoir plus, consulter la page [www.oecd-nea.org/rwm/rr/](http://www.oecd-nea.org/rwm/rr/).
2. Pour en savoir plus sur la documentation et les partenaires de la conférence, consulter la page [www.oecd-nea.org/rwm/rr/reims2010/index.html](http://www.oecd-nea.org/rwm/rr/reims2010/index.html).
3. L'AEN a publié une étude ([www.oecd-nea.org/rwm/reports/2005/nea6039-decision-etapes.pdf](http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2005/nea6039-decision-etapes.pdf)) et une brochure ([www.oecd-nea.org/rwm/fsc/](http://www.oecd-nea.org/rwm/fsc/)) sur le processus de décision par étapes.

# Implication des parties prenantes dans la gestion des urgences nucléaires

par T. Lazo\*

Le Comité de protection radiologique et de santé publique (CRPPH) de l'AEN étudie depuis le début des années 90 les raisons pour lesquelles les parties prenantes pourraient et devraient être impliquées dans les décisions relatives à la radioprotection et de quelles manières le faire. Un rapport récent intitulé « Contribution du CRPPH à l'implication des parties prenantes dans le secteur de la radioprotection<sup>1</sup> » présente un bref historique des travaux du comité dans ce domaine.

Au fil des années, le CRPPH a mesuré l'implication des parties prenantes au niveau national et a réuni des exemples prouvant qu'elle était particulièrement efficace dans de nombreuses situations de prise de décisions en matière d'expositions chroniques : par exemple lorsqu'il est nécessaire de prendre des décisions relatives aux nouvelles installations, aux interventions post-accidentelles et à la gestion des conséquences, au nettoyage des sites après démantèlement et parfois même à l'autorisation d'émissions radiologiques opérationnelles. Le CRPPH a également compris que l'implication des parties prenantes était un instrument idéal pour l'évaluation et la gestion des risques dans le domaine de la radioprotection. Par l'intermédiaire des exercices internationaux d'urgence nucléaire (INEX), le comité a prouvé que l'engagement des parties prenantes dans le développement commun de plans d'intervention d'urgence et de plans de rétablissement était particulièrement utile dans la préparation à la crise.

Plus récemment, le CRPPH a invité les organismes de soutien technique et les organismes gouvernementaux impliqués dans la gestion des crises, et en particulier ceux qui contribuent ou participent à l'implication des parties prenantes, à assister à l'atelier de l'AEN dédié aux pratiques et expériences relatives à l'engagement des parties prenantes dans la gestion post-urgence nucléaire. Cet atelier s'est tenu les 12-14 octobre 2010 à Bethesda, dans le Maryland, aux États-Unis, où il a été accueilli par la NRC (*Nuclear Regulatory Commission*). Il a réuni un forum de plus de 70 experts venus de 16 pays qui ont pu :

- échanger des informations et des expériences sur les approches et les questions relatives à l'implication des parties prenantes dans la gestion post-urgence nucléaire ; et
- identifier dans quels domaines l'implication des parties prenantes dans la gestion post-urgence

nucléaire pourrait être améliorée, aux niveaux national et international, et adresser des recommandations relatives à ces domaines.

Des points de vue collectifs des experts internationaux participant à l'atelier, il ressort que :

- La préparation pour l'engagement des parties prenantes doit être l'une des priorités essentielles.
- L'engagement des parties prenantes n'est pas un objectif en soi.
- Les professionnels de la radioprotection sont eux-mêmes des parties prenantes.
- Les organismes peuvent rencontrer des difficultés dans la recherche d'un travail en collaboration actif avec les parties prenantes.
- L'utilisation des réseaux et des systèmes de communication existants renforce l'efficacité et les interactions.
- Les mesures prises pour stimuler la participation renforcent l'engagement des parties prenantes.
- Un accord sur les règles, les procédures et les processus est essentiel pour que les interactions entre les parties prenantes soient efficaces.
- Dans certains cas, des experts en communication sont nécessaires.
- La planification des exercices d'urgence nécessite que les parties prenantes impliquées soient nombreuses et différentes.
- Le type et le rôle des parties prenantes changent selon la phase de gestion de la crise, en particulier durant le rétablissement et la réhabilitation.
- Une approche « tout danger » de la gestion des crises est plus efficace.

Les participants aux ateliers ont également identifié des activités et recommandé des actions pour faire avancer l'implication des parties prenantes, notamment dans la planification de la gestion des urgences nucléaires et radiologiques. L'approche holistique, « tout danger », orientée vers la santé publique a été recommandée, plus particulièrement dans la planification, les interventions et la conduite des activités finales de rétablissement et de réhabilitation. Il est également essentiel d'engager

\* M. Ted Lazo ([edward.lazo@oecd.org](mailto:edward.lazo@oecd.org)) est Administrateur principal dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.



Dispersion hypothétique de rejets radioactifs au cours d'un exercice d'urgence nucléaire.



Réunion sur les mesures d'urgence à Fukushima Daiichi le 1<sup>er</sup> avril 2011.

les parties prenantes dans le développement d'un document sur « les rôles et responsabilités » au cours des différentes phases de la gestion d'une crise, car une équipe de professionnels pluridisciplinaires est nécessaire pour gérer l'ensemble des questions auxquelles les parties prenantes doivent faire face après une urgence radiologique. Dans le but d'établir des relations de long terme basées sur la confiance, les organismes doivent développer et conduire des exercices d'urgence nucléaire et radiologique avec des parties prenantes diverses et variées.

Les participants ont insisté sur l'importance de collaborer avec les autres corps de métier (météorologues, spécialistes de la santé publique) qui communiquent régulièrement des informations scientifiques aux parties prenantes dans le but d'améliorer les échanges d'informations techniques liées à la planification, aux interventions et à la gestion en cas d'urgence nucléaire. Pour déterminer de quelle manière les professionnels de la radioprotection pourraient aider les décideurs dans leurs prises de décisions basées sur des informations sociétales, ils doivent les identifier et travailler en collaboration avec eux. En outre, les organisations doivent tout faire pour entrer en contact avec les parties prenantes dans le but d'étudier et, si possible, de conclure un accord sur les plans d'éloignement de la population qui pourraient devenir nécessaires pour la mise en place des nouvelles conditions de vie et des compromis qui en résultent, suite à une urgence nucléaire ou radiologique.

Les participants ont également recommandé que les organisations évaluent s'il est nécessaire d'embaucher ou de garder les experts en communication des risques pour augmenter les chances de succès dans l'avancement de la mission d'organisation réalisée en commun avec les parties prenantes. En outre, pour augmenter l'efficacité de la communication entre toutes les parties prenantes, la norme ISO 13 000 sur la gestion des risques devrait être plus largement et fréquemment utilisée dans les activités

de préparation et d'intervention en cas d'urgence. Enfin, il faudrait établir une base sur internet pour rassembler les leçons tirées des expériences passées, les meilleures pratiques et les outils et le matériel de formation relatifs à l'implication des parties prenantes.

Il est entendu que l'augmentation des contacts avec les parties prenantes et de leur implication pouvaient apporter un mieux et rendre la gestion post-urgence nucléaire plus efficace, notamment dans les aspects de préparation et d'intervention associés à la gestion des conséquences et à la transition vers les phases de rétablissement et de réhabilitation.

Pour conclure, cet atelier international a permis d'exposer et de débattre de sujets fondamentaux qui ont conduit à un consensus général entre les participants quant aux directions à suivre. L'apport des résultats de l'atelier à la radioprotection est significatif et va particulièrement aider le CRPPH à développer son futur programme de travail pour faire avancer l'implication des parties prenantes dans la gestion des crises. L'expérience réunie dans le cadre de cet atelier sera plus particulièrement utilisée pour aider le Japon à se remettre de l'accident de Fukushima et sera utile dans les mois et les années à venir.

L'implication des parties prenantes est devenue une valeur essentielle du CRPPH. Le CRPPH a contribué de manière unique par une attention toute particulière, depuis longtemps, à la compréhension et la promotion de l'implication des parties prenantes, ce qui a significativement aidé à étendre et à faire accepter le concept dans le métier de la radioprotection partout dans le monde.

#### Note

1. Le rapport intitulé « Contribution du CRPPH à l'implication des parties prenantes dans le secteur de la radioprotection » (*The Contribution of the CRPPH in Bringing Stakeholder Involvement to the Radiation Protection Profession*) est disponible sous la référence AEN suivante : NEA/CRPPH(2010)10.

# Implication du public dans l'implantation des installations nucléaires

par R. Cameron\*

**L**a consultation du public occupe désormais une place importante dans le développement des installations nucléaires, qu'il s'agisse de leur implantation, de leur construction ou de leur exploitation. Dans les pays membres de l'AEN ce changement peut s'expliquer par les modifications majeures qu'a subi la législation environnementale qui régit désormais l'engagement du public (Convention d'Aarhus de 1998 par exemple) mais également et surtout par la reconnaissance de l'inefficacité de l'approche « annoncer et défendre » et de son inadéquation au développement durable de l'énergie nucléaire. Bien que le niveau de l'engagement varie encore d'un pays à l'autre, il a tendance à devenir plus actif, et dans de nombreux cas, à se transformer en un véritable partenariat avec les communautés susceptibles d'accueillir des installations. L'approche adoptée en Belgique, basée sur la formule « annoncer, discuter et décider », illustre cette tendance.

C'est dans ce contexte que l'AEN a organisé au début de l'année 2011 un atelier sur les processus d'implication du public, dans le but de comparer et d'opposer les approches utilisées dans différents pays et pour différents types d'installations nucléaires. Les discussions ont couvert les installations de déchets radioactifs, les centrales nucléaires, les réacteurs de recherche et les mines d'uranium. Les conclusions générales de ces approches sont présentées ci-dessous.

## Les installations de déchets radioactifs

Pour la plupart des pays, trouver des emplacements pour le stockage des déchets radioactifs est un processus long et difficile qui compte de nombreuses tentatives avortées. Par exemple, la conclusion d'un accord avec une communauté d'accueil pour le stockage de déchets de faible activité en République de Corée a nécessité dix tentatives alors que les processus qui ont conduit à trouver un site final en Belgique et en Suède ont pris respectivement 25 et 30 ans. Actuellement, d'autres pays réalisent également des progrès à ce niveau mais il a fallu pour cela que le processus change radicalement et que les approches deviennent flexibles et graduelles pour permettre au public d'avoir suffisamment de temps pour s'en imprégner et s'informer sur les différentes étapes. Bien que la question revête à la fois des dimensions techniques, politiques et sociales qui nécessitent

toutes d'être traitées, les aspects socio-politiques sont les plus importants.

Le fait que le public souhaite participer aux prises de décisions a fait évoluer la communauté nucléaire qui est passée de la consultation au partenariat. Accorder à la communauté locale le droit de veto ou de retrait est de plus en plus accepté pour les dépôts de déchets radioactifs, sans être généralisé. Dans l'ensemble, lorsque les échelles de temps sont longues et les retours sur investissement relativement faibles pour la communauté locale, il est nécessaire de trouver d'autres avantages, par exemple relocaliser certaines installations pour générer des emplois et des investissements continus ou concevoir des prestations qui répondent aux besoins locaux.

La confiance dans le processus et le cadre légal qui lui est associé est importante. Donner à l'engagement du public un cadre trop juridique pourrait avoir pour inconvénient de mettre l'accent sur la conformité à la loi et non sur l'engagement véritable. La question de la confiance est plus importante encore, mais elle requiert du temps, des efforts et l'identification claire des parties prenantes. Pour ceux qui la soutiennent, cette démarche doit être fondée sur une présence locale à long terme et accompagnée d'un partage des informations ouvert et transparent. Le Forum sur la confiance des parties prenantes<sup>1</sup> de l'AEN a favorisé les approches consensuelles et permis de déterminer quelles étaient les meilleures pratiques au sein des pays membres de l'AEN.

Certaines questions non résolues sont apparues au cours de l'atelier : savoir si les différences nationales et culturelles affectaient l'engagement attendu de la communauté et s'il restait encore des questions publiques importantes sur la sûreté des installations de stockage au vu des échelles temporelles nécessaires pour en garantir l'intégrité.

## Les centrales nucléaires et autres installations

Le besoin d'engagement à long terme avec le public et la communauté locale est identique pour les réacteurs nucléaires et les mines d'uranium mais diffère

\* M. Ron Cameron ([ron.cameron@oecd.org](mailto:ron.cameron@oecd.org)) est Chef de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN.

en matière de stockages des déchets radioactifs. Ces derniers font l'objet d'un développement unique alors que la construction des réacteurs fait souvent l'objet de plusieurs étapes.

Même si la recherche de nouveaux sites est un processus de plus en plus fréquent, il n'en reste pas moins difficile. C'est la raison pour laquelle la plupart des nouveaux réacteurs sont construits sur des sites existants, ce qui présente l'avantage d'utiliser l'expérience passée et de travailler avec une population qui connaît déjà les questions nucléaires.

Le fait que les réacteurs puissent répondre directement à un besoin national (énergie, recherche ou isotopes médicaux) et générer des emplois et des revenus importants pour la communauté locale influence la perception du public. Également, leur durée de vie est plus courte que celle des stockages de déchets et le site peut être ensuite entièrement démantelé.

La plupart des pays membres de l'AEN ont rendu obligatoires les processus de consultation du public par l'intermédiaire de réunions dans les collectivités locales, et certains, comme la France par exemple, conduisent des débats publics et des enquêtes obligatoires avant de passer à la construction. Dans de nombreux pays, il existe également des processus formels qui visent à établir une organisation locale et différents degrés de financement ou de ressources. Cependant, les accords de partenariat avec droits de veto ne sont pas des éléments établis du processus d'implantation des réacteurs nucléaires et des mines d'uranium, du moins pour le moment.

Contrairement au cas des stockages de déchets radioactifs, dans les centrales nucléaires et les réacteurs de recherche l'engagement du public a un rôle

plus important à jouer. Dans de nombreux pays, ce sont les organismes gouvernementaux qui soutiennent le stockage des déchets.

Les mines d'uranium partagent certaines caractéristiques des réacteurs nucléaires et des installations de déchets radioactifs : elles créent des emplois et des revenus mais peuvent soulever des questions de réhabilitation et de contrôle à plus long terme. Comme pour toutes les installations, il est très difficile d'en ouvrir de nouvelles dans les pays développés ou dans ceux qui n'ont pas de culture minière.

Les nouvelles mines sont souvent implantées dans les pays en voie de développement où les systèmes réglementaires sont peut-être moins avancés qu'ailleurs et les populations moins informées. Il est donc nécessaire que les pays qui possèdent des mines adoptent les bonnes pratiques internationales et établissent leurs propres processus d'engagement du public.

## Le rôle des autres parties prenantes

Les initiatives volontaires d'établissement de partenariats et d'adoption des bonnes pratiques par ceux qui les défendent sont des preuves réelles d'ouverture et de transparence. Mais les groupes locaux jouent un rôle important dans la transmission des informations à la communauté locale. Certains d'entre eux préconisent la nécessité d'accéder à des sources de conseils indépendantes. En France, chaque installation nucléaire dispose d'une Commission locale d'information (CLI). Ces commissions se sont réunies en association nationale. Elles représentent la société civile et disposent de représentants des élus et experts. Une association européenne des CLI a été

KHNP, République de Corée



Les unités 3 et 4 de la centrale Shin-Kori, en construction.

Posiva Oy, Finlande



Vue du dépôt géologique en construction en Finlande.

créée en 2006. Ces pratiques semblent favoriser la confiance et le degré de responsabilité accordé à ceux qui les initient. En Allemagne, ces groupes sont appelés à donner leur avis sur les politiques nationales.

La question de savoir si les organismes de réglementation peuvent jouer le rôle de conseiller indépendant a été discutée à de nombreuses occasions. Le rôle de ces organismes est important dans la communication avec le public, non seulement pour les questions obligatoires comme les procédures d'autorisation et la gestion des accidents, mais également pour donner des conseils sur la sûreté et les risques. Ils devront cependant veiller à équilibrer ce rôle avec le maintien de l'objectivité et de la neutralité.

L'implication des organismes de réglementation varie énormément d'un pays à l'autre, tout comme le niveau d'engagement de la communauté. Dans certains pays, l'autorisation d'implanter une installation est émise par l'autorité en charge de l'environnement et non par l'organisme de réglementation alors que dans d'autres, les deux instances sont impliquées dans le processus. Le rôle de l'organisme de réglementation dans l'interaction avec le public est réduit ou étendu selon le cas.

Le rôle des gouvernements, quant à lui, est présent à plusieurs niveaux du développement d'une installation nucléaire : d'abord dans l'établissement des politiques relatives à l'introduction ou à l'expansion de l'énergie nucléaire, ensuite dans les processus de consultation et de décision du caractère obligatoire attribué à l'implication du public. Un processus transparent avec un engagement précoce de toutes les parties intéressées est un élément essentiel et de plus en plus accepté dans le cadre du développement nucléaire étant donné les préoccupations particulières qui sont associées aux projets nucléaires. La confiance dans le processus est un élément nécessaire pour réussir l'implication du public. Cependant, ce processus ne remplace pas un engagement authentique et la confiance des communautés locales.

Les discussions sur la possibilité d'appliquer partout des pratiques considérées comme bonnes ont dégagé que, tel le cas des stockages de déchets radioactifs, les approches peuvent varier selon le type d'installation, et des différences culturelles peuvent exister dans certains pays et avoir une influence sur la manière de consulter le public.

## Conclusions

Les approches utilisées pour l'implantation des différentes installations nucléaires présentent de nombreuses similitudes. Notamment :

- Le processus d'implication du public est désormais légalement requis dans la plupart des pays bien que le type d'approche et le niveau d'engagement soient différents.
- Il est fondamental que le processus inspire confiance par un engagement à long terme avec

les communautés locales et par l'adoption des bonnes pratiques par ceux qui les soutiennent.

- Les groupes locaux doivent s'engager concrètement dans un partenariat, disposer des ressources adéquates et accéder à des informations intelligibles.
- L'établissement d'une installation nucléaire sur un site vierge n'est pas exempt de difficultés.

Cependant, des différences existent également entre les installations :

- Les échéances pour l'implantation des stockages de déchets sont souvent bien plus longues que pour les centrales nucléaires.
- Les centrales permettent à la communauté de disposer plus facilement d'avantages financiers que le stockage ou l'entreposage des déchets.
- L'implication du public est plus importante et les communautés locales sont plus informées dans le cas des centrales nucléaires car elles sont plus fréquentes que les autres types d'installation.
- Le développement des mines d'uranium présente des caractéristiques similaires aux deux types d'installation, avec la nécessité de prendre en compte à la fois les avantages immédiats et les impacts à long terme.

L'AEN considère que l'engagement du public doit être fortement associé au développement des installations nucléaires. Ce besoin va d'ailleurs croissant après l'accident de Fukushima car la confiance du public a été affectée, et il ne sera possible d'obtenir l'accord de développer une installation nucléaire que lorsqu'elle sera rétablie. Des accords de partenariat et un véritable engagement peuvent contribuer au respect de l'opinion publique et à l'information complète de la population.

### Note

1. Voir par exemple : AEN (2010), *Partenariats pour la gestion à long terme des déchets radioactifs : Évolution et pratique actuelle dans treize pays*, OCDE, Paris.

# État actuel et performances économiques des réacteurs nucléaires de petite taille

par A. Lokhov, R. Cameron et V. Kuznetsov\*

On a vu se manifester ces dernières années un intérêt croissant pour les réacteurs nucléaires de petite taille d'une puissance inférieure à 300 MWe. Ils permettent en effet des économies sur les coûts en capital, sont adaptés à des réseaux moins développés et répondent aux intentions d'inclure davantage de systèmes passives de la sûreté. Ils peuvent en outre être utilisés pour des applications non électriques et enfin être construits par modules successifs. Cet article a pour but de faire le point sur l'état actuel de ces réacteurs et de proposer une évaluation préliminaire de leur compétitivité économique.

L'histoire du nucléaire montre que la taille de tous les premiers réacteurs était inférieure à celle des réacteurs que l'on déploie aujourd'hui. Comme la tendance générale a toujours été de passer à une échelle supérieure (qui permet d'obtenir des coûts spécifiques inférieurs en raison des économies d'échelle), les centrales nucléaires que l'on installe aujourd'hui sont équipées de réacteurs d'une puissance située entre 1 000 et 1 600 MWe.

Dans la gamme des réacteurs de moyenne puissance (300-700 MWe), huit conceptions avérées sont actuellement susceptibles d'être déployées à l'échelle internationale (comme le CANDU-6, le QP-300 et le GNP-600). Depuis le milieu des années 80 cependant, certains pays ont recommencé à s'intéresser à la mise au point de réacteurs plus petits destinés à des créneaux particuliers et à des réseaux où il serait impossible d'installer de grandes centrales nucléaires.

Au rythme lent des progrès effectués ces 20 dernières années, il existe aujourd'hui une douzaine de nouveaux concepts de petit réacteur modulaire (RPMP<sup>1</sup>) à des stades de conception avancés (voir Tableau 1), mais une seule centrale en cours de construction en Russie (une centrale de cogénération équipée de deux réacteurs KLT-40S du type de ceux qui équipent les brise-glaces et installée sur une barge). Plusieurs autres projets sont en cours d'acquisition d'autorisation. La majorité de ces RPMP avancés envisageables à court terme sont des réacteurs à eau sous pression (REP) mais trois d'entre eux

sont des réacteurs refroidis au métal liquide. Tous les RPMP avancés permettent d'avoir des centrales à modules multiples.

Il y aura des questions clés à résoudre pour les RPMP<sup>2</sup> en matière de sûreté et d'autorisation, mais cet article se penche principalement sur leurs aspects économiques.

## Facteurs déterminant la compétitivité des RPMP

Le déploiement des RPMP au cours des dix prochaines années interviendrait principalement sur des marchés de l'électricité réglementés où existent des possibilités d'obtenir une aide financière telle que des garanties de prêts ou des contrats de fourniture de long terme. Sur ces marchés, le coût moyen actualisé de l'électricité, calculé en USD par MWh, est considéré comme une mesure adaptée aux comparaisons. On a reporté sur la Figure 1 certaines valeurs de ces coûts fournis par les constructeurs et concepteurs pour les comparer aux valeurs calculées pour un réacteur de grande puissance (AEN/AIE, 2010). Souvent, les coûts moyens actualisés calculés par les concepteurs de RPMP sont proches de ceux des grandes centrales.

### Coûts en capital

L'absence d'économie d'échelle est l'un des principaux facteurs ayant un effet négatif sur les coûts en capital de tous les RPMP. Les coûts en capital spécifiques (par MWe) des RPMP devraient être, par conséquent, de 10 à 100 % supérieurs à ceux des réacteurs plus puissants. Les concepteurs mettent en avant d'autres caractéristiques particulières des RPMP qui en amélioreraient les performances économiques. Des estimations de ces réductions de coûts sont données ci-dessous mais comme elles ne s'appliquent pas à tous les RPMP, il n'est pas possible de les additionner.

**La durée de la construction :** d'après les estimations des concepteurs, la construction des RPMP pourrait durer nettement moins longtemps que celle des grands réacteurs, en particulier s'il s'agit de réacteurs montés en usine. Il pourrait en résulter d'importantes économies sur les coûts de financement, qui sont particulièrement importants si le taux d'actualisation est élevé. Par exemple, réduire

\* M. Alexey Lokhov ([alexey.lokhov@oecd.org](mailto:alexey.lokhov@oecd.org)) travaille dans la Division du développement nucléaire de l'AEN. M. Ron Cameron ([ron.cameron@oecd.org](mailto:ron.cameron@oecd.org)) est Chef de la Division du développement nucléaire de l'AEN. M. Vladimir Kuznetsov ([vkuznetsov.smr@gmail.com](mailto:vkuznetsov.smr@gmail.com)) est consultant auprès de l'AEN.

Tableau 1 : État d'avancement des conceptions des petits réacteurs modulaires avancés

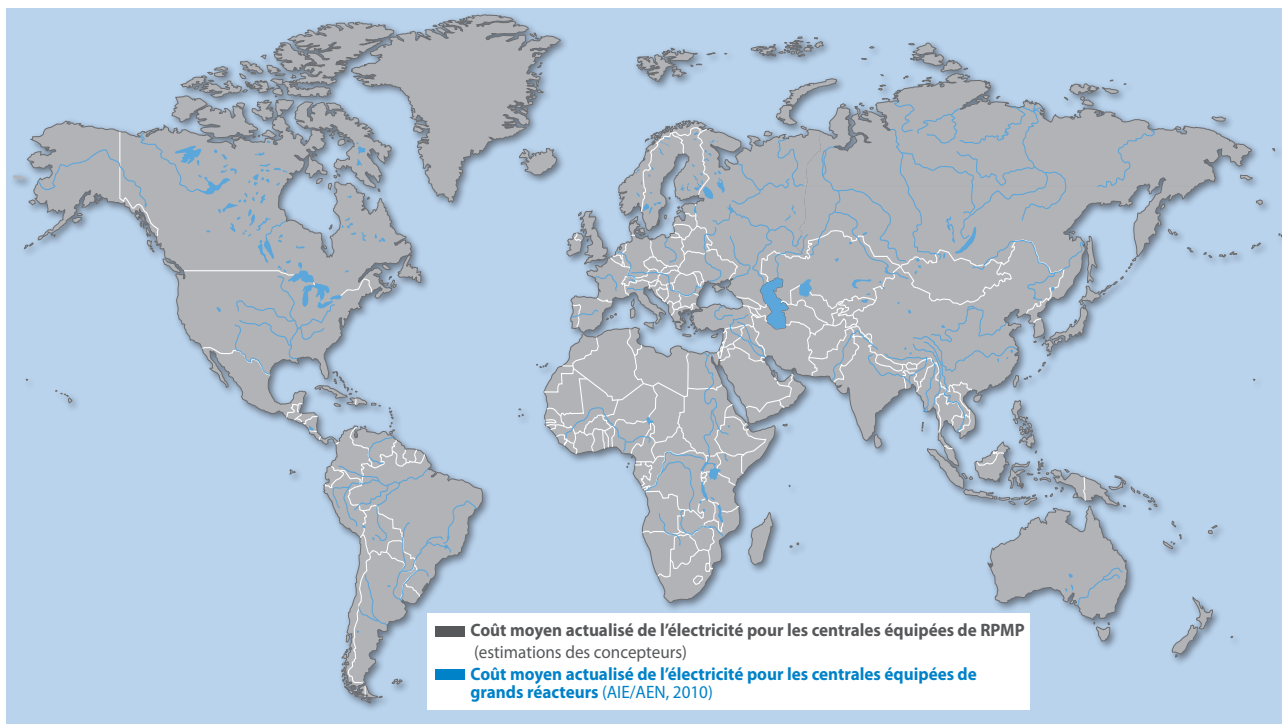
Réacteur	Technologie	Puissance électrique (MWe)	Configuration de l'installation	État d'avancement de la conception	État de l'autorisation/date de la demande (date de dépôt)	Date de déploiement prévue
<b>KLT-40S</b> Russie	REP	2x35	Tranches jumelles montées sur barge	Conception détaillée terminée	Autorisation obtenue <b>En construction</b>	2013
<b>VBER-300</b> Kazakhstan, Russie	REP	302	Un seul module ou deux tranches jumelles, terrestre ou sur barge	Conception détaillée presque terminée	n/a	> 2020
<b>ABV</b> Russie	REP	2x7,9	Tranches jumelles montées sur barge ou terrestres	Centrale sur barge : conception détaillée terminée ; Centrale terrestre : conception détaillée des modifications de l'installation en cours	Une partie de la conception est autorisée	2014-2015
<b>CAREM-25</b> Argentine	REP	27	Un seul module, terrestre	Conception détaillée en cours d'achèvement	Autorisation en cours/2011	Prototype : 2015
<b>SMART</b> République de Corée	REP	90	Un seul module, terrestre	Conception détaillée en cours	Autorisation en cours/2011	~2015
<b>NuScale</b> États-Unis	REP	12x45	Douze modules, terrestres	Conception détaillée en cours d'achèvement	Demande d'autorisation préliminaire/ (Dépôt de la demande : 2011)	Tête de série en 2018
<b>mPower</b> États-Unis	REP	x125	Plusieurs modules, terrestres	Conception détaillée en cours	Demande d'autorisation préliminaire/ (Dépôt de la demande : 2013)	~2018
<b>IRIS</b> États-Unis	REP	335	Un seul module ou tranches jumelées, terrestre	Avant-projet terminé	Statut du projet : en cours d'examen	n/a
<b>HTR-PM</b> Chine	HTGR	2x105	Tranches jumelles, terrestres	Conception détaillée terminée	Autorisation en cours/2011	Tête de série en 2013
<b>AHWR</b> Inde	Réacteur à eau lourde avancé	300	Un seul module, terrestre	Conception détaillée en cours d'achèvement	Demande d'autorisation préliminaire/ (dépôt de la demande : 2011)	~2018
<b>SVBR-100</b> Russie	Réacteur rapide refroidi au Pb-Bi	x101,5	Un seul module, ou plusieurs modules, terrestre ou sur barge	Conception détaillée en cours	n/a Des sous-marins russes ont été équipés de prototypes	Prototype : 2017
<b>New Hyperion power module</b> États-Unis	Réacteur rapide refroidi au Pb-Bi	x25	Un seul module, ou plusieurs modules, terrestre	n/a	Demande d'autorisation préliminaire/ (Dépôt de la demande : date inconnue)	Tête de série en 2018
<b>4S</b> Japon	Réacteur rapide refroidi au sodium	10	Un seul module, terrestre	Conception détaillée en cours	Demande d'autorisation préliminaire/ (dépôt de la demande : 2012)	Tête de série après 2014

REP : réacteur à eau pressurisée.

HTGR : réacteur à haute température refroidi au gaz.

n/a : non disponible.

**Figure 1 : Comparaison des coûts prévisionnels de production de l'électricité des réacteurs de petite et de grande puissance**



la durée de la construction de six à trois ans permettrait de réduire également les coûts en capital spécifiques de 20 % pour un taux d'actualisation de 10 %.

**Les particularités des têtes de série et les économies réalisées sur les tranches construites ultérieurement sur le site :** de l'expérience antérieure acquise avec d'autres réacteurs, il ressort que les têtes de série coûtent de 15 à 55 % plus cher que les tranches de même série construites ultérieurement. Il revient en général moins cher, par MW produit, de construire des réacteurs en série sur le même site que de construire une tête de série équipée d'un seul réacteur. La réduction du coût en capital effectif (unitaire) des RPMP pourrait atteindre 10 à 25 %. Cela vaut tant pour les grands réacteurs que pour les RPMP.

**Les économies réalisées avec les tranches construites en usine :** certains RPMP pourraient être intégralement montés en usine pour être ensuite transportés sur le site. La fabrication en usine permet également un « apprentissage » qui contribuera à réduire les coûts en capital des RPMP. L'importance de la réduction ainsi obtenue est jugée comparable aux effets de la construction en série de tranches sur site (qui permet d'économiser de 30 à 40 % du coût en capital).

**La simplification de la conception :** certains RPMP avancés se prêteraient à d'importantes simplifications de la conception consistant à y intégrer plus largement des caractéristiques de sûreté intrinsèque, propres à la taille du réacteur, auxquelles il faudrait renoncer dans des réacteurs de plus grande

puissance. Les concepteurs de ces réacteurs estiment à 15 % au minimum les économies que l'on pourrait ainsi réaliser sur les coûts en capital des RPMP à eau sous pression envisageables à court terme.

**La fabrication intégralement en usine d'une centrale montée sur barge :** d'après les estimations des concepteurs, la fabrication intégralement en usine d'une centrale nucléaire montée sur barge pourrait coûter 20 % de moins qu'une centrale nucléaire terrestre équipée d'un RPMP du même type. L'amélioration correspondante du coût moyen actualisé se limiterait néanmoins à 10 % en raison de la hausse des coûts d'exploitation et de maintenance que représente une centrale montée sur une barge.

Toutefois, même si l'on tient compte, chaque fois que cela se justifie, de tous les facteurs mentionnés ci-dessus, la composante investissement du coût moyen actualisé d'un RPMP reste au moins de 10 à 40 % supérieure à celle d'une centrale équipée d'un réacteur plus puissant.

#### *Coûts d'exploitation et de maintenance et coûts du combustible*

La somme des coûts d'exploitation et de maintenance et ceux du cycle du combustible pour les RPMP avancés devraient être comparables à ceux d'un gros réacteur (de technologie analogue). Les coûts d'exploitation et de maintenance devraient être inférieurs pour les RPMP tandis que les coûts du combustible, au contraire, devraient être plus élevés pour les RPMP que pour les réacteurs plus puissants car la quantité de combustible utilisé est inférieure.

## Cogénération énergétique

La cogénération de chaleur ou d'eau dessalée permettra éventuellement d'obtenir des recettes supplémentaires. Dans certaines conceptions de RPMP fonctionnant en mode de cogénération, les valeurs du coût moyen actualisé pourraient, si l'on tient compte de ce crédit, baisser d'environ 20 à 30 %.

Toutefois, la cogénération n'est pas réservée aux RPMP. D'un point de vue technique, elle est réalisable quelle que soit la puissance du réacteur concerné. La gamme de puissance des RPMP semble cependant mieux adaptée aux exigences de l'infrastructure actuelle de distribution de chaleur. De plus, dans des lieux isolés ou reculés, la coproduction de chaleur ou d'eau dessalée peut revêtir une importance primordiale.

## Compétitivité des RPMP déployés dans des zones standards ou isolées/reculées

Les estimations du coût instantané des RPMP sont difficiles à obtenir. Dans le cas d'une centrale RPMP à un seul module dont la production électrique ne dépasse pas 125 MWe, l'investissement total est estimé être inférieur à USD 1 milliard. Ces avantages ont attiré l'intérêt des investisseurs privés et des pays où les financements sont limités. Cependant,

les calculs de départ montrent que les RPMP à plusieurs réacteurs présenteraient quand même des coûts spécifiques plus élevés que les centrales de dimensions comparables avec des réacteurs plus grands.

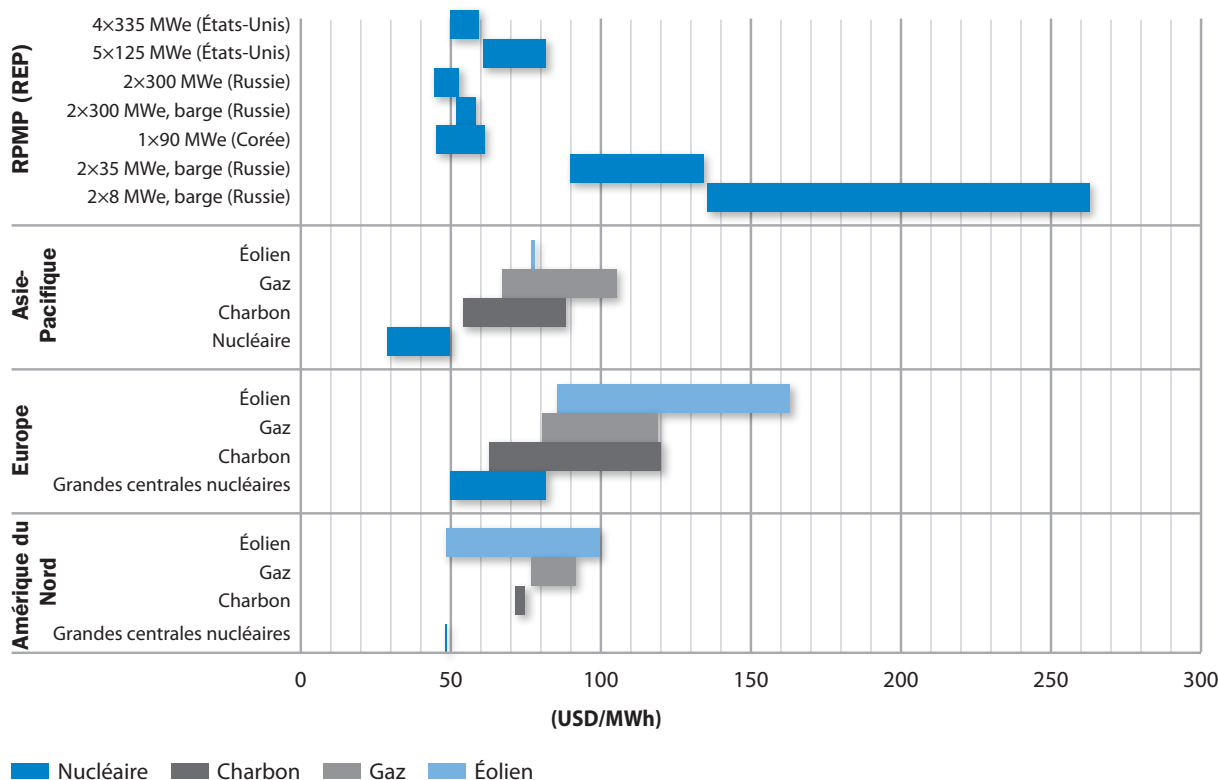
L'AEN a procédé à des estimations préliminaires du coût moyen actualisé des RPMP de la filière REP (voir Figure 2). Elles ont été réalisées sur la base d'une loi d'échelle (AEN, 2000) à laquelle ont été adjointes des estimations numériques des divers facteurs de la compétitivité des RPMP.

## Déploiement classique sur des grands réseaux électriques interconnectés (zones raccordées au réseau)

Les observations générales sur la compétitivité des RPMP dans les zones raccordées au réseau sont similaires aux conclusions générales concernant les réacteurs de plus grande puissance (AEN/AIE, 2010). En outre :

- L'option nucléaire en général paraît pouvoir concurrencer de nombreuses autres technologies au Brésil, en Corée, aux États-Unis, au Japon et en Russie mais pas en Chine.
- Les RPMP produisent en général à des coûts moyens actualisés supérieurs à ceux des centrales équipées de réacteurs de plus grande puissance.

**Figure 2 : Intervalles de variation des coûts moyens actualisés en fonction des régions et estimations des coûts moyens actualisés pour les RPMP (à un taux d'actualisation de 5 %)**



## Déploiement dans des zones isolées ou reculées (non raccordées au réseau)

Les grandes centrales nucléaires n'étant pas adaptées aux zones isolées ou reculées, les RPMP entreraient par conséquent en concurrence dans ces zones avec les solutions énergétiques non nucléaires locales. Une analyse préliminaire de la compétitivité de RPMP installés sur des sites non raccordés au réseau révèle un important potentiel d'applications dans :

- des zones reculées aux climats hostiles dotées d'industries minières ou de bases militaires ;
- des îles très éloignées du continent ;
- de petites localités non connectées au réseau dans des pays en développement fortement peuplés.

Il apparaît que diverses centrales RPMP terrestres ou montées sur des barges ayant des coûts moyens actualisés nettement supérieurs à ceux des réacteurs plus puissants resteraient néanmoins compétitives sur ces créneaux si elles satisfaisaient à certaines exigences techniques ou liées aux infrastructures, et découlant de conditions particulières en termes de climat, d'implantation et de transport. En particulier, la cogénération avec production de chaleur ou d'eau dessalée semble être un impératif que l'on rencontre sur bon nombre des créneaux analysés.

## Conclusions

En conclusion, avec les RPMP capables de satisfaire des besoins énergétiques sur des segments du marché où une centrale nucléaire équipée de réacteurs de grande puissance n'aurait pas sa place, les applications pacifiques de l'énergie nucléaire pourraient se développer substantiellement. Ces segments pourraient être :

- des zones reculées ou isolées où l'installation d'une forte puissance n'est pas nécessaire, où les réseaux électriques sont peu développés, voire absents, et où une production autre qu'électrique (chaleur ou eau dessalée) a autant d'importance que l'électricité ;
- le remplacement de centrales à combustibles fossiles de petite ou moyenne taille démantelées ainsi qu'une alternative à la construction de nouvelles centrales à combustibles fossiles lorsqu'il existe certaines restrictions à l'implantation de centrales plus puissantes, et notamment peu de capacité libre sur le réseau, une réserve tournante insuffisante et/ou des réserves d'eau limitées pour le système de refroidissement des centrales ;
- le remplacement de centrales de cogénération à combustibles fossiles démantelées lorsque la gamme de puissance des RPMP semble mieux adaptée aux exigences de l'infrastructure de distribution de chaleur en place.

Il convient de remarquer, cependant, qu'aucun de ces petits réacteurs n'a encore obtenu d'autori-

sation pour ces applications et qu'il reste quelques problèmes de développement à surmonter ainsi que les autorisations réglementaires à obtenir avant de pouvoir passer au déploiement, en particulier à la lumière de l'accident récent de Fukushima. Du fait que les RPMP comportent des éléments innovants, il est possible qu'apparaissent des problèmes de réglementation ou des retards dans l'attribution des autorisations.

Lorsqu'on les compare aux résultats de l'AEN/AIE (2010), les calculs présentés à la Figure 2 montrent que, dans aucune situation, les centrales équipées de RPMP ne sont en mesure de concurrencer de gros réacteurs modernes. Toutefois, ils révèlent également que, sur les marchés libéralisés de l'énergie, les RPMP peuvent intéresser les électriciens et les investisseurs privés pour qui la faiblesse des investissements en amont, la rapidité de construction et la flexibilité de configuration sont des éléments plus importants que le coût moyen actualisé de l'électricité.

Il semble enfin que les RPMP peuvent entrer en concurrence avec de nombreuses technologies autres que nucléaires lorsque les centrales nucléaires équipées de gros réacteurs ne sont pas, pour une raison ou une autre, compétitives.

L'AEN va publier un rapport complet sur ce sujet en 2011. Sa parution sera annoncée dans le bulletin mensuel de l'Agence (inscription gratuite à l'adresse [www.oecd-nea.org/bulletin](http://www.oecd-nea.org/bulletin)).

## Notes

1. RPMP désigne les réacteurs de petite et moyenne puissance [SMR en anglais pour *small- and medium-sized reactors* et pour *small modular reactor* (réacteur modulaire de petite taille)]. Dans cet article, il est question des petits réacteurs basés sur une construction modulaire.
2. Ces questions sont traitées plus avant dans une publication de l'AEN à paraître et dans AIEA (2009).

## Références

- AEN (2000), *Reduction of Capital Costs of Nuclear Power Plants*, OCDE, Paris.
- AEN/AIE (2010), *Coûts prévisionnels de production de l'électricité : Édition 2010*, OCDE, Paris.
- AIEA (2009), *Design Features to Achieve Defence in Depth in Small- and Medium-Sized Reactors*, IAEA Nuclear Energy Series Report NP-T-2.2, Vienne, 2009.

# Une structure internationale pour estimer les coûts du démantèlement

par C. Pescatore, P. O'Sullivan, T. Kirchner, V. Daniska et J. Carlsson\*

L'estimation des coûts du démantèlement, selon le public visé et la phase d'avancement du projet à laquelle elle est réalisée, peut avoir plusieurs types d'objectifs. Si elle intervient lors de la phase de conception théorique du projet, elle permet essentiellement aux concepteurs et aux utilisateurs de définir les coûts totaux du projet. Lorsque le projet arrive au stade des demandes d'autorisations, les autorités compétentes et les parties prenantes concernées apprécieront les dispositions mises en place pour garantir, le moment venu, la disponibilité des fonds nécessaires au démantèlement même en cas de fermeture anticipée de l'installation nucléaire. Réalisée à la fin de la période d'exploitation de l'installation, l'estimation des coûts représente une base de planification, dans le détail, des opérations de démontage et de nettoyage du site.

On observe depuis très longtemps que le format, le contenu et les pratiques d'estimation des coûts varient considérablement, souvent en raison des exigences de réglementations nationales très hétérogènes vis-à-vis des activités à prendre en compte, ou des différentes hypothèses relatives au calendrier de démantèlement et à l'état final du site. Ces différences rendent le processus de révision des estimations plus complexe et entraînent un « manque de transparence ». On peut ainsi supposer qu'un modèle facilitant la comparaison d'estimations réalisées pour des installations équivalentes renforcerait la confiance dans la fiabilité de ces estimations.

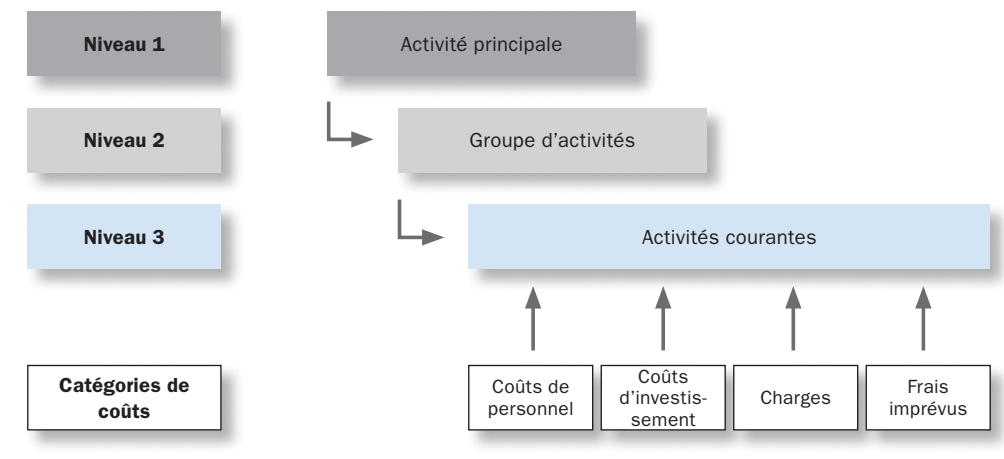
Le « Livre jaune »<sup>1</sup>, rapport publié sur ce sujet en 1999, est le fruit d'une initiative commune de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et la Commission européenne (CE). Dix ans plus tard, en 2009, les trois organisations partenaires ont décidé de mettre à jour ce Livre jaune et ont développé un projet commun de deux ans piloté par le Groupe d'estimation des coûts du démantèlement, qui a commencé par analyser l'expérience des utilisateurs. Cette analyse a montré que plusieurs pays ont adopté la structure normalisée des coûts proposée par ce livre, soit pour réaliser directement leur estimation des coûts soit pour porter leurs estimations nationales sur une grille commune à des fins de comparaison. Cette analyse recommandait aussi des conseils plus détaillés sur l'utilisation de la structure normalisée et notamment sur la définition précise des éléments de coûts spécifiques pour lever toute ambiguïté.

La structure révisée des coûts, ou ISDC (*International Structure for Decommissioning Costing*), sera publiée cette année. Elle devrait refléter tous les coûts entrant dans le périmètre prévu du projet de démantèlement et pourra également servir de point de départ aux calculs de coûts liés aux risques sortant des limites du projet. L'ISDC fournira également un guide général pour réaliser l'estimation des coûts du démantèlement d'une installation nucléaire ainsi que des conseils détaillés sur l'utilisation de la structure normalisée afin de promouvoir une plus grande harmonisation au niveau international. Cette nouvelle structure des coûts tient compte des caractéristiques suivantes :

- Elle redéfinit et/ou regroupe les éléments afin de suivre plus directement la séquence des opérations de démantèlement en reflétant les phases principales du processus et les stratégies élémentaires définies par l'AIEA.
- Elle fournit une structure générale des coûts applicable à tous types d'installations nucléaires, c'est-à-dire aux centrales nucléaires mais également aux installations du cycle du combustible, laboratoires et autres installations.
- Elle applique la dernière classification de l'AIEA en matière de déchets radioactifs<sup>2</sup>, reflétant ainsi les principales activités de gestion des déchets comme la caractérisation, le traitement, l'entreposage, le transport et le stockage, en abordant séparément les déchets dangereux et conventionnels.

\* M. Claudio Pescatore ([claudio.pescatore@oecd.org](mailto:claudio.pescatore@oecd.org)) est Administrateur principal dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN. M. Patrick O'Sullivan ([p.osullivan@iaea.org](mailto:p.osullivan@iaea.org)) a travaillé pendant plusieurs années à la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN et travaille actuellement à l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne. M. Thomas Kirchner ([thomas.kirchner@ec.europa.eu](mailto:thomas.kirchner@ec.europa.eu)) travaille dans la Direction générale de l'énergie de la Commission européenne au Luxembourg. M. Valdimir Daniska ([daniska@decom.sk](mailto:daniska@decom.sk)) travaille à la Société Deconta a.s. en République slovaque. M. Jan Carlsson ([jan.carlsson@skb.se](mailto:jan.carlsson@skb.se)) travaille dans la division de la planification du démantèlement à la Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) en Suède.

Figure 1 : Structure hiérarchique de l'ISDC



## Structure de l'ISDC

Les activités standard de démantèlement identifiées dans l'ISDC sont présentées selon un ordre hiérarchique dans lequel les activités de base identifiées au troisième niveau se regroupent en activités plus générales au Niveau 2, puis au Niveau 1. Le coût lié à chaque activité peut être divisé en quatre catégories (voir Figure 1).

### Activités de démantèlement

Le Niveau 1, niveau le plus élevé, identifie les onze activités principales ci-dessous.

Activités de Niveau 1 :

1. Activités préalables au démantèlement
2. Activités liées à l'arrêt de l'installation
3. Activités complémentaires pour une mise soit sous enceinte soit en massif de protection
4. Démontage dans la zone contrôlée
5. Traitement, entreposage et stockage des déchets
6. Infrastructures et exploitation du site
7. Démontage et démolition conventionnelle, puis réhabilitation du site
8. Gestion de projet, ingénierie et assistance
9. Recherche et développement
10. Combustible et matières nucléaires
11. Autres

Ces activités de Niveau 1 se divisent en activités de Niveau 2. Par exemple, le « démantèlement dans la zone contrôlée » (activité principale n° 4) comprend la décontamination avant démantèlement, l'évacuation des matériaux par des procédures particulières, la dépose des systèmes de production, structures et composants principaux, et des systèmes et composants secondaires. Le « traitement, entreposage et stockage des déchets » (activité principale n° 5) comprend différents types de déchets comme les

déchets de haute et de moyenne activité. La gestion des déchets historiques et celle des déchets de démantèlement y sont traitées comme deux activités distinctes de Niveau 2.

Ces activités se divisent ensuite en activités de Niveau 3. La décontamination avant le démantèlement concerne la vidange des circuits, l'élimination des boues, la décontamination des circuits et des structures/surfaces des bâtiments. La gestion des déchets de faible activité issus du démantèlement inclut la caractérisation, le traitement, le conditionnement final, l'entreposage, le transport, le stockage et l'approvisionnement des conteneurs. Les activités de Niveau 3 représentent les éléments fondamentaux nécessaires à l'estimation du coût total. Par conséquent, pour adapter ces estimations à d'autres structures de coûts, l'utilisateur doit d'abord établir la correspondance entre ces dernières activités et la structure concernée.

L'utilisateur peut ajouter des niveaux hiérarchiques pour distinguer par exemple les coûts relatifs à certaines parties de la centrale ou à des systèmes spécifiques, ou pour différencier les coûts sur une phase donnée du projet de démantèlement.

### Catégories de coûts

Chaque niveau contient quatre catégories de coûts :

- les coûts de personnel (paiement des employés, de la sécurité sociale et de l'assurance maladie selon les législations nationales, et frais généraux) ;
- les coûts du capital/de l'équipement/des matériaux ;
- les charges (consommables, pièces de rechange, impôts, etc.) ; et
- les frais imprévus (provisions spécifiques pour tous éléments de coûts imprévus entrant dans le périmètre défini du projet).

Tableau 1 : Structure de la grille de présentation de la liste normalisée des activités

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Activité	Coûts de personnel	Investissements	Charges	Frais imprévus	Coût total	Autres données spécifiques à l'utilisateur		
01			Activités de pré-démantèlement								
	01.0100		Planification du démantèlement								
		01.0101	Planification stratégique								
		01.0102	Planification préliminaire								
	01.0200		Caractérisation de l'installation								
		01.0201	Caractérisation détaillée de l'installation								
		01.0202	Enquêtes et analyses des matériaux dangereux								
		01.0203	Établissement d'une base de données-inventaire de l'installation								
06											
08											
10											
11											
Total											

## Grille de présentation de la liste normalisée des activités

A l'image du Livre jaune, l'un des objectifs premiers de l'ISDC est d'harmoniser la présentation des coûts du démantèlement selon une structure normalisée. Ce format de présentation utilise une matrice qui reflète la structure hiérarchique des coûts (voir Tableau 1).

Les données de coûts sont portées dans la matrice au Niveau 3, les données des Niveaux 1 et 2 étant déduites du niveau supérieur. Les utilisateurs peuvent, s'ils le souhaitent, élargir la matrice en y ajoutant des colonnes destinées à d'autres données telles que la main d'œuvre, l'exposition aux rayonnements ou les déchets. Le coût total de chaque activité correspond à la somme des quatre catégories de coûts.

## Application de l'ISDC au coût du démantèlement

Le rapport de l'ISDC constitue un guide général sur l'utilisation de la structure des coûts, et plus particulièrement sur les aspects suivants :

- définition des hypothèses et conditions aux limites, avec une liste détaillée des hypothèses et conditions aux limites courantes, pour aider les utilisateurs en contrôlant l'exhaustivité des activités prises en compte dans l'estimation ;
- assurance qualité et traçabilité des données, avec un guide sur la gestion, la mise à jour et la traçabilité des données nécessaires à la réalisation de l'estimation des coûts du démantèlement ;

- provisions pour les frais imprévus dans l'estimation des coûts, avec un guide indiquant comment l'estimation des coûts doit refléter les provisions pour frais imprévus dans le cas d'incertitudes liées aux activités entrant dans le périmètre défini du projet et auxquelles on peut raisonnablement s'attendre ;
- gestion du risque et incertitude, avec un guide sur l'utilisation de l'ISDC comme base d'analyse des niveaux de risques et de l'incertitude liés à une estimation particulière, comme pour estimer les coûts éventuels des incertitudes sortant du périmètre défini d'un projet de démantèlement (comme les changements de la réglementation en matière de sûreté par exemple).

## Conclusion

Les trois organismes partenaires considèrent qu'une plus grande normalisation du format et du contenu d'une estimation des coûts du démantèlement est un objectif important qui ajouterait à la transparence du processus de démantèlement et permettrait de renforcer la confiance que les autorités de sûreté et les parties prenantes accordent à l'adéquation des financements.

## Références

1. AIEA, CE, OCDE/AEN (1999), *A Proposed Standardised List of Items for Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations, Interim Technical Document*, OCDE/AEN, Paris.
2. AIEA (2009), *Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide, Safety Standards Series No. GSG-1*, AIEA, Vienne.

# Méthodes statistiques de vérification des bases de données

par E. Dupont, B. Beauzamy, H. Bickert, M. Bossant, C. Rodriguez et N. Soppera\*

Les grandes bases de données contiennent souvent un pourcentage non négligeable de données manquantes ou erronées. Défaillances des instruments de mesure, erreurs humaines ou manque de budget mais aussi bien d'autres raisons peuvent en être à l'origine. De ce fait, la valeur globale de la base peut être remise en question malgré les efforts importants déployés pour collecter les données.

L'AEN s'emploie activement à maintenir le meilleur niveau possible d'exhaustivité et de qualité de ses bases de données. Elle collecte en permanence des nouvelles informations pour maintenir les bases à jour et développe des procédures de vérification de leur qualité et de leur intégrité. L'exemple ci-dessous illustre ces efforts : il s'agit d'une procédure probabiliste visant à détecter des données aberrantes, qu'elles soient isolées ou groupées. Cette procédure, qui pourrait s'appliquer à d'autres bases de données numériques, a été développée pour vérifier la base de données expérimentales internationale sur les réactions nucléaires (EXFOR).

## Base de données EXFOR

Membre du réseau international NRDC (*Nuclear Reaction Data Centres*), l'AEN apporte sa contribution à la base de données internationale sur les réactions nucléaires (EXFOR) et la met à disposition des scientifiques et des ingénieurs via Internet et le logiciel JANIS (AEN, 2010). EXFOR compile, depuis plus de 40 ans, les données expérimentales sur les réactions nucléaires. Avec plus de 130 000 jeux de données issus d'environ 19 000 expériences réalisées depuis 1935, elle constitue de loin la base la plus importante et la plus complète en la matière. Elle contient essentiellement des données numériques concernant des expériences à moyenne et faible énergie pour des réactions induites par neutrons ou photons incidents, ou par d'autres particules chargées sur une large gamme d'isotopes, d'éléments naturels ou de composants. De nombreuses données sur les réactions nucléaires sont disponibles : sections efficaces, distributions en angle et/ou énergie, paramètres de résonance et rendements des fragments de fission. Ces données sont largement utilisées en sciences et technologies nucléaires. Cependant, la question de leur fiabilité devient de plus en plus importante du fait de l'automatisation des codes de réactions nucléaires et des logiciels de visualisation, des ordinateurs plus rapides et de l'accès direct à ces

données. C'est pourquoi le Groupe de travail de l'AEN sur la coopération internationale pour l'évaluation des données nucléaires (WPEC) a créé un nouveau groupe d'expert, le Sous-groupe 30, dans le but de faciliter l'accès à la base EXFOR et d'en améliorer la fiabilité (AEN, 2011).

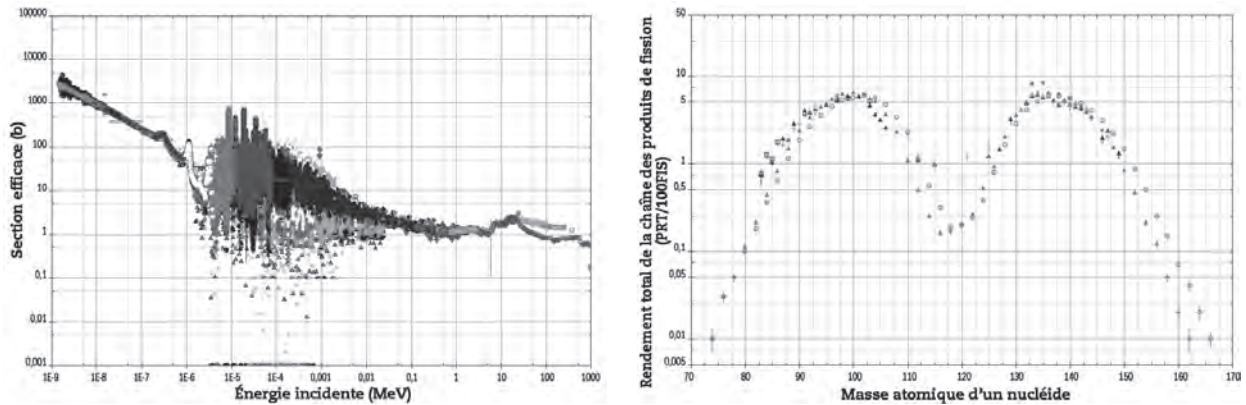
La Figure 1 présente quelques exemples de données disponibles dans EXFOR pour les réactions induites par neutrons. Les données expérimentales y sont rassemblées en groupes de données contenant le résultat des mesures d'une même quantité au cours d'une même réaction. La méthode de vérification utilisée vise à détecter les données isolées (dites aberrantes) qui n'appartiennent à aucun groupe et peuvent ainsi être identifiées comme suspectes, bien qu'elles ne soient pas nécessairement erronées. Il faut bien sûr tenir compte également de la dispersion du groupe et des incertitudes vis-à-vis des données concernées.

## Représentation des données

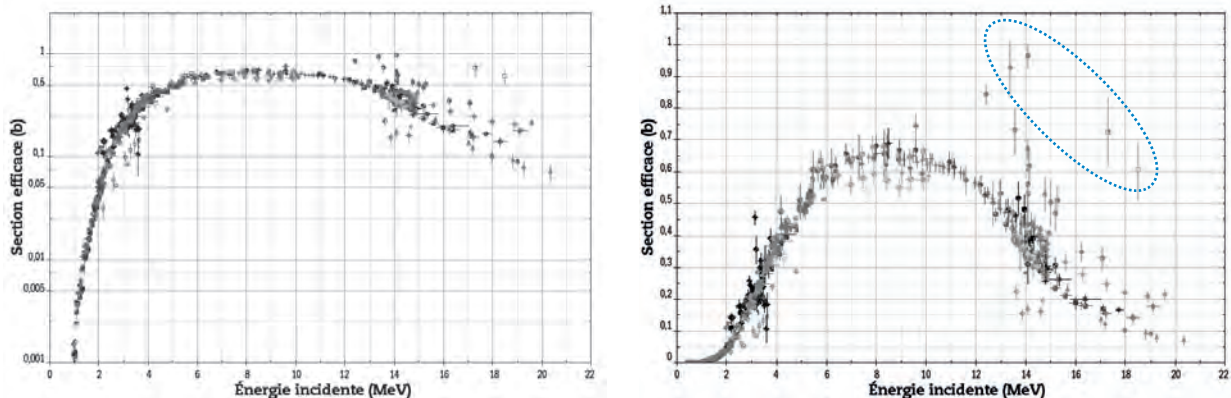
La représentation des données est l'un des critères essentiels à prendre en compte lors de la recherche de données isolées. En fait, l'échelle utilisée peut influencer la perception des données isolées comme le montrent la Figure 2-gauche (échelle logarithmique) et la Figure 2-droite (échelle linéaire). Dans cet exemple, le tracé en échelle logarithmique indique seulement des mesures disséminées à haute énergie incidente. Cependant, le même tracé en échelle linéaire montre que quelques mesures à 14 MeV et autour de 18 MeV sont surestimées par rapport aux autres données (voir les points entourés sur la Figure 2-droite).

\* MM. Emmeric Dupont ([emmeric.dupont@oecd.org](mailto:emmeric.dupont@oecd.org)), Manuel Bossant ([manuel.bossant@oecd.org](mailto:manuel.bossant@oecd.org)) et Nicolas Soppera ([nicolas.soppera@oecd.org](mailto:nicolas.soppera@oecd.org)) travaillent à la Banque de données de l'AEN. M. Bernard Beauzamy ([bernard.beauzamy@scmsa.com](mailto:bernard.beauzamy@scmsa.com)) est Directeur général de la Société de Calcul Mathématique SA à Paris, France. Au moment de la rédaction de l'article, Mme Hélène Bickert et Mme Carmen Rodriguez travaillaient également à la Société de Calcul Mathématique SA.

**Figure 1 : Données expérimentales disponibles dans la base EXFOR pour la section efficace de la fission de l'U-235 (à gauche) et pour la distribution en masse des fragments issus de la réaction de fission de l'U-238 induite par neutrons à 14 MeV (à droite)**



**Figure 2 : Données expérimentales disponibles dans la base EXFOR pour la section efficace de la réaction  $^{58}\text{Ni}(n,p)$ . Ces données sont affichées en échelles logarithmique (à gauche) et linéaire (à droite).**

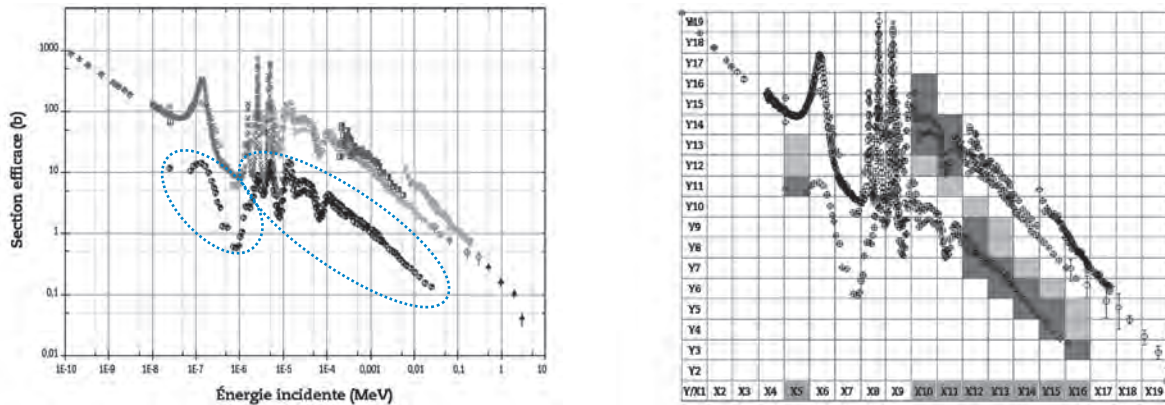


Dans le cas de quantités de réactions nucléaires couvrant plusieurs ordres de grandeur, il est d'autant plus évident que le choix de l'échelle a toute son importance. Ce choix s'applique à tous les axes. Dans le travail présenté, les échelles optimales ont été choisies pour chaque axe de manière indépendante parmi des échelles polynomiales de différents degrés (un degré polynomial de 1 correspond à une échelle linéaire et un degré plus élevé donnerait des résultats identiques à ceux obtenus en échelle logarithmique). L'échelle optimale doit permettre de tracer les données de la manière la plus homogène possible pour que chaque valeur, petite ou grande, soit représentée avec la même précision.

## Détection et quantification des données suspectes

L'approche utilisée ici est une approche probabiliste qui permet d'identifier les données suspectes isolées ou groupées. Cette méthode s'appuie sur la discrétisation de l'espace des paramètres (énergie, angle, température, etc.) et des fonctions de ces paramètres (section efficace, distributions en angle et en énergie, etc.). L'histogramme des données mesurées (section efficace par exemple) est généré pour chaque intervalle de l'espace des paramètres (chaque intervalle d'énergie par exemple). Lorsque l'incertitude est connue, l'histogramme est réalisé

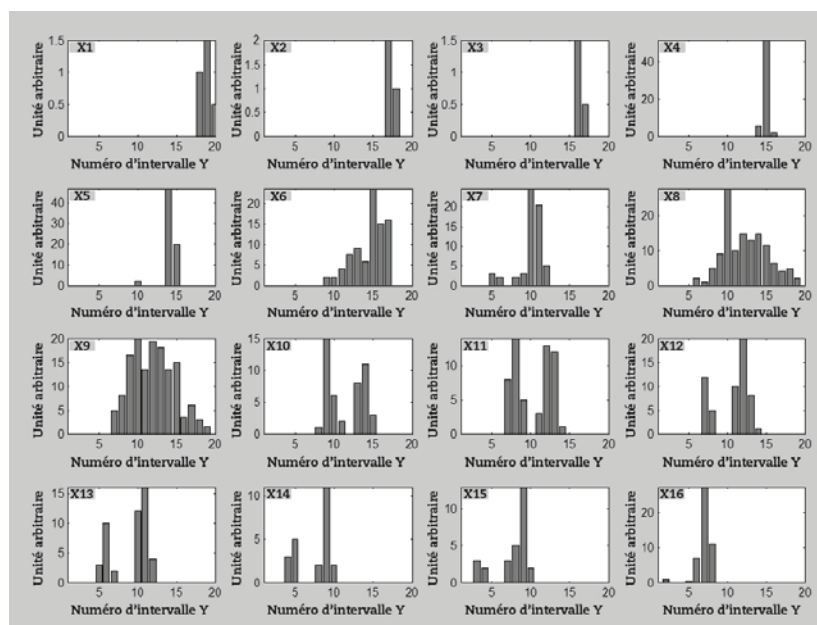
**Figure 3 : Données expérimentales disponibles dans la base EXFOR pour la section efficace  $^{nat}\text{Lu}(n,\gamma)$  (à gauche). Le tracé de droite affiche les mêmes données avec une échelle optimale. La grille indique la discrétisation du plan. Les intervalles contenant des données suspectes sont mis en évidence en gris foncé. Les intervalles gris clair illustrent les discontinuités dans les données.**



en supposant que les données sont réparties uniformément<sup>1</sup> dans la plage d'incertitude. Dans le cas de données suspectes, l'histogramme indiquera une ou plusieurs discontinuités dans la répartition des données. L'amplitude de ces discontinuités indiquera le degré de probabilité que ces données suspectes soient de réelles erreurs. En outre, le fait de détecter systématiquement une discontinuité sur plusieurs histogrammes indique également la présence d'un jeu de données suspectes.

La Figure 3 illustre cette méthode. L'analyse visuelle du tracé de gauche indique des données suspectes inférieures d'un facteur dix aux autres mesures cohérentes entre elles (voir les points entourés sur la Figure 3-gauche). À droite, la discrétisation des axes X et Y s'effectue sur une grille constante de 19 x 19 sur laquelle les données sont affichées selon une échelle optimale (proche de l'échelle log-log dans ce cas). La Figure 4 présente les histogrammes de chacune des 16 premières tranches X.

**Figure 4 : Distribution des données selon l'axe Y dans les 16 premières tranches de l'axe X (même données que sur la Figure 3)**



La répartition des données est continue sur les quatre premiers histogrammes (X1 à X4 sur la Figure 4). Une première discontinuité apparaît sur l'histogramme numéro 5, où l'on observe deux groupes de données. Le premier correspond à l'intervalle (X5,Y11) de la grille, le suivant aux intervalles (X5,Y14) à (X5,Y15). La méthode permet de déterminer, avec certaines réserves, le jeu de données le plus suspect en fonction du nombre de mesures disponibles pour ces groupes. Sur la Figure 3-droite, l'intervalle inférieur (X5,Y11) contient deux mesures seulement, ce qui en fait le groupe le plus suspect. Sur la Figure 4, les histogrammes X10 à X16 montrent d'autres discontinuités analogues qui correspondent aux intervalles mis en évidence sur la grille de la Figure 3.

L'estimation de la probabilité d'erreur de données suspectes est indiquée pour chaque tranche X de la grille par l'amplitude de la discontinuité. Celle-ci correspond à la distance entre les groupes divergents, par exemple deux intervalles pour les données de la tranche X5 (Figures 3 et 4). Cependant, une discontinuité ne pourra pas être supérieure à 17 intervalles de la grille. Le nombre de fois qu'un jeu de données suspectes est détecté sur un tracé, huit fois par exemple sur la Figure 3, indique aussi la présence d'une anomalie. Ces deux estimations sont importantes : dans cet exemple, la deuxième indication est la plus utile car les données divergentes sont assez rapprochées (la discontinuité n'équivaut qu'à un ou deux intervalles de la grille). Cependant, la première estimation est utilisée dans la plupart des cas, notamment pour détecter une anomalie isolée. Une étude de sensibilité a montré que, pour une discrétisation du plan en 19 x 19, la probabilité que des données suspectes s'avèrent être une anomalie est élevée lorsque l'une de ces deux estimations est supérieure (ou égale) à trois.

## Validation de la méthode

Environ 28 000 jeux de données EXFOR, représentant une certaine quantité (la section efficace par exemple) d'une certaine réaction (comme la fission de l'U-235) ont été identifiés en supposant plus de cinq mesures indépendantes ou plus de dix valeurs numériques pour chaque jeu de données. Pour valider cette méthode, 55 jeux de données ont été sélectionnés de manière aléatoire et 58 l'ont été manuellement en fonction de leur importance ou du fait qu'ils contenaient des anomalies. La méthode a été validée dans ces 113 cas. Des fausses alertes ont été observées (< 5 %) lorsque quelques données disséminées avaient été mesurées sur une gamme d'énergie limitée. Celles-ci peuvent s'expliquer par une discrétisation trop précise de la grille. L'utilisation d'un maillage adaptatif pourrait être envisagé pour réduire le taux de fausses alertes. Néanmoins, le taux de bonnes réponses de cette méthode est supérieur à 95 % et toutes les anomalies ont été identifiées correctement.

## Conclusions

La première analyse du contenu de la base de données EXFOR a été réalisée dans le cadre du Sous-groupe 30 de l'AEN/WPEC (AEN, 2011). À la suite de ces activités, la Banque de données de l'AEN lance de nouvelles études visant à mettre en œuvre les recommandations formulées par le Sous-groupe pour garantir le meilleur niveau de qualité au contenu de sa base de données. Les méthodes statistiques développées pour vérifier la cohérence d'EXFOR se sont montrées efficaces et fiables, avec un faible taux de fausses alertes. Elles sont à présent appliquées à l'ensemble de la base pour détecter les dernières anomalies et permettront de vérifier les nouvelles données avant leur intégration. Ces efforts contribueront à améliorer encore la qualité d'EXFOR et à garantir que son précieux contenu puisse être utilisé pour l'évaluation des données nucléaires actuelles et futures. On s'attend à ce que ces méthodes soient applicables à d'autres bases de données numériques avec autant de succès.

### Note

1. Il s'agit d'une approximation par rapport à l'utilisation d'une répartition normale mais cela n'affecte pas la détection de données suspectes tout en facilitant la mise en œuvre de la procédure.

### Références

AEN (2010), JANIS 3, *A Java-based Nuclear Data Display Program* (DVD), OCDE/AEN, Paris. Plus d'informations sur [www.oecd-neo.org/janis](http://www.oecd-neo.org/janis).

AEN (2011), *Quality improvement of the EXFOR database, International Evaluation Co-operation, Volume 30*, OCDE/AEN, Paris.

# Nouvelles publications

## Informations générales

---

### Rapport annuel de l'AEN - 2010

978-92-64-99160-6. 52 pages. Gratuit : versions papier ou web.

### 原子力エネルギーと 気候変動への取り組み

(Version japonaise de L'énergie nucléaire et le changement climatique)

8 pages. Gratuit : versions papier ou web.

## Aspects économiques et techniques du cycle du combustible nucléaire

---

### La sécurité d'approvisionnement énergétique et le rôle du nucléaire

978-92-64-09637-0. 188 pages. Prix : € 50, US\$ 70, £ 45, ¥ 6 500.

Quelle peut être la contribution du nucléaire à l'amélioration de la sécurité d'approvisionnement énergétique ? Cette étude, qui porte sur une sélection de pays membres de l'OCDE, confirme par une analyse qualitative et quantitative l'hypothèse souvent intuitive selon laquelle le nucléaire, en tant que source d'électricité en grande partie nationale à coûts stables et sans émissions de gaz à effet de serre lors de la production, aurait un effet positif à cet égard. Après une analyse du sens et du contexte de la sécurité d'approvisionnement, l'étude démontre, à l'aide d'indicateurs transparents et pertinents en termes de politique énergétique, que le nucléaire a largement contribué, en parallèle avec les économies d'énergie, à améliorer la sécurité d'approvisionnement énergétique dans les pays de l'OCDE au cours des 40 dernières années.

### The Supply of Medical Radioisotopes: The Path to Reliability

978-92-64-99164-4. 170 pages. Gratuit : versions papier ou web.

The reliable supply of molybdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) and its decay product, technetium-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), is a vital component of modern medical diagnostic practices. Disruptions in the supply chain of these radioisotopes can delay or prevent important medical testing services. Unfortunately, supply reliability has declined over the past decade, due to unexpected or extended shutdowns at the few ageing,  $^{99}\text{Mo}$ -producing, research reactors and processing facilities. These shutdowns have recently created global supply shortages. This report provides the findings and analysis of two years of extensive examination of the  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  supply chain by the OECD/NEA High-level Group on the Security of Supply of Medical Radioisotopes (HLG-MR). It puts forth a comprehensive policy approach that would help ensure long-term supply security of  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ , detailing the essential steps to be taken by governments, industry and the health community to address the vulnerabilities of the supply chain, including its economic structure.

### Les déchets radioactifs – Mise en perspective

978-92-64-09263-1. 220 pages. Prix : € 48, US\$ 67, £ 43, ¥ 6 200.

Chaque année on produit de grandes quantités de déchets dangereux, mais seule une faible proportion est constituée de déchets radioactifs. Si, globalement, on a trouvé des solutions satisfaisantes pour la gestion des déchets dangereux, certaines catégories posent des problèmes analogues au stockage des déchets radioactifs et exigent aussi un stockage de longue durée. Avec cette étude, l'AEN entend mettre en perspective la gestion des déchets radioactifs, d'abord par une comparaison des caractéristiques entre déchets radioactifs et dangereux et les politiques et stratégies de gestion qui leur sont appliquées, puis à travers l'analyse du cas particulier des déchets provenant du captage et du stockage du carbone issu de combustibles fossiles. Il s'agit ainsi de fournir aux décideurs une vue d'ensemble des similitudes et différences entre les déchets radioactifs et dangereux et leurs stratégies de gestion.

### **Experimental Facilities for Sodium Fast Reactor Safety Studies**

Task Group on Advanced Reactor Experimental Facilities (TAREF)

978-92-64-99155-2. 144 pages. *Gratuit : versions papier ou web.*

This report provides an overview of experimental facilities that can be used to carry out nuclear safety research for sodium fast reactors and identifies priorities for organising international co-operative programmes at selected facilities. The information has been collected and analysed by a Task Group on Advanced Reactor Experimental Facilities (TAREF) as part of an ongoing initiative of the NEA Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI) which aims to define and to implement a strategy for the efficient utilisation of facilities and resources for Generation IV reactor systems.

### **Improving Nuclear Regulation**

NEA Regulatory Guidance Booklets, Volumes 1-14

978-92-64-99162-0. 270 pages. *Gratuit : versions papier ou web.*

A common theme throughout the series of NEA regulatory guidance reports, or “green booklets”, is the premise that the fundamental objective of all nuclear safety regulatory bodies is to ensure that nuclear facilities are continuously maintained and operated in an acceptably safe manner. In meeting this objective the regulator must bear in mind that it is the operator that has responsibility for safely operating the nuclear facility; the role of the regulator is to assess and to provide assurance regarding the operator’s activities in terms of assuming that responsibility. The full series of these reports was brought together in one edition for the first time in 2009 and was widely found to be a useful resource. This second edition comprises 14 volumes, including the latest on *The Nuclear Regulator’s Role in Assessing Licensee Oversight of Vendor and Other Contracted Services*. The reports address various challenges that could apply throughout the lifetime of a nuclear facility, including design, siting, manufacturing, construction, commissioning, operation, maintenance and decommissioning. The compilation is intended to serve as a knowledge management tool both for current regulators and the new nuclear professionals and organisations entering the regulatory field.

### **The Nuclear Regulator’s Role in Assessing Licensee Oversight of Vendor and Other Contracted Services**

978-92-64-99157-6. 38 pages. *Gratuit : versions papier ou web.*

Contracted services are an integral part of the design, construction and operation of a nuclear facility. Changes in the nuclear industry sector, including varied availability of nuclear expertise, the expansion of the international supply market and the introduction of new technologies, have tended to increase licensees’ use of contracted services. These changes have created challenges for licensees and regulators related to the retention of nuclear expertise, the effective management of the interfaces between the licensees and contractors, and the oversight of contractor manufacturing quality in the context of greater multinational diversity. The regulatory body must address these challenges to provide assurance that the licensees maintain their responsibility for the safety of the facilities, regardless of who provides goods and services or where the activities involved in the supply chain take place. This report is intended to assist regulatory bodies in assessing their current practices for the regulatory oversight of licensees’ use of contractors, and adapting them where necessary to meet the evolving situation.

## Gestion des déchets radioactifs

---

### **Att skapa en hållbar relation mellan en avfallsanläggning för hantering av radioaktivt avfall och dess värdkommun**

(Version suédoise de Créer un lien durable entre une installation de gestion de déchets et sa collectivité d’accueil)

60 pages. *Gratuit : versions papier ou web.*

### **Avveckling av kärntekniska anläggningar: Det har gjorts och kan göras igen**

(Version suédoise de Démantèlement des installations nucléaires)

8 pages. *Gratuit : versions papier ou web.*

## Stilllegung kerntechnischer Anlagen: Machbar und gemacht

(Version allemande de Démantèlement des installations nucléaires)

Gratuit : versions papier ou web.

## Protection radiologique

---

### Evolution of ICRP Recommendations – 1977, 1990 and 2007

Changes in Underlying Science and Protection Policy and Case Study of Their Impact on European and UK Domestic Regulation

978-92-64-99153-8. 112 pages. Gratuit : versions papier ou web.

Radiological protection philosophy, regulation and application have evolved significantly over the last 30 years, adapting to the ever-changing landscapes of scientific understanding and societal values. This report provides a methodical assessment of these changes. Starting with radiological protection in the 1970s, it describes the philosophical differences between International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 26, issued in 1977, and ICRP Publication 60, issued in 1990, as well as the regulatory evolution that was necessary to effectively implement the changes. It then examines the philosophical and regulatory changes between ICRP Publication 60 and ICRP Publication 103 of 2007. Although the regulatory changes needed to implement Publication 103 are, in practice, yet to come, the report provides a seasoned view of what these changes will most likely be, and what efforts will be necessary to successfully implement them.

### 放射線防護体系の発展

ICRP 2007年勧告の取り入れに関する討論

(Version japonaise de Evolution of the System of Radiological Protection – Implementing the 2007 ICRP Recommendations)

978-92-64-99158-3. Gratuit : versions papier ou web.

### Science and Values in Radiological Protection

Summary of the CRPPH Workshops held in Helsinki (2008) and Vaux-de-Cernay (2009)

978-92-64-99156-9. 84 pages. Gratuit : versions papier ou web.

Decisions regarding radiological protection are informed by science, including its uncertainties, influenced by stakeholder concerns, driven by prevailing circumstances, and broadly based on values and judgments. However, the processes by which protection decisions are taken do not always sufficiently articulate the scientific and value-judgment elements on which decisions are based. To assist decision makers at all levels to further clarify the various aspects of their decisions, and to assist scientists and regulators in better understanding each other's contributions to radiological protection decisions, the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health (CRPPH) has held two workshops addressing science and values in radiological protection. This report summarises the discussions and conclusions of the first two workshops in this innovative series, and suggests the way forward in preparing the discussions at the third science and values workshop.

## Législation nucléaire

---

### Bulletin de droit nucléaire N° 86 (Décembre 2010)

Volume 2010/2

0304-3428. 124 pages. Prix : € 114, US\$ 150, £ 91, ¥ 16 500.

Le *Bulletin de droit nucléaire* est une publication internationale unique en son genre destinée aux juristes et aux universitaires en droit nucléaire. Ses abonnés bénéficient d'informations exhaustives qui font autorité sur les développements qui touchent ce droit. Publié deux fois par an en anglais et en français, il propose des articles thématiques rédigés par des experts juridiques renommés, rend compte du développement des législations à travers le monde et présente la jurisprudence et les accords bilatéraux et multilatéraux pertinents ainsi que les activités réglementaires des organisations internationales. Les principaux articles de ce numéro portent sur le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, le droit de la concurrence et le secteur nucléaire, et la responsabilité civile en cas de dommages nucléaires (juridiction et exécution ainsi qu'indemnisation pour les dommages environnementaux).

## **International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments**

978-92-64-99140-8. DVD. Gratuit sur demande.

## **International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments**

978-92-64-99141-5. DVD. Gratuit sur demande.

## **Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities – SATIF-10**

**Workshop Proceedings, Geneva, Switzerland, 2-4 June 2010**

978-92-64-03467-9. 444 pages. Prix : € 130, US\$ 182, £ 117, ¥ 16 900.

Particle accelerators have evolved over the last decades from simple devices to powerful machines, and are having an increasingly important impact on research, technology and daily life. Today they cover a wide range of applications including material science and medical applications. In recent years, requirements from new technological and research applications have emerged while the number of accelerator facilities in operation, being commissioned, designed or planned has significantly grown. Their parameters (such as the beam energy, beam currents and intensities, and target composition) vary widely, giving rise to new radiation shielding aspects and problems. Particle accelerators must be operated in safe ways to protect operators, the public and the environment. As the design and use of these facilities evolve, so must the analytical methods used in the safety analyses. These workshop proceedings review the state of the art in radiation shielding of accelerator facilities and irradiation targets. They also evaluate progress on the development of modelling methods used to assess the effectiveness of such shielding as part of safety analyses.

## OCDE/AEN iLibrary : Énergie nucléaire

Option accès en ligne et archive  
Prix : € 1 060, US\$ 1 400, £ 850, ¥ 154 100.

Option accès en ligne seulement  
Prix : € 710, US\$ 930, £ 565, ¥ 103 000.



Cette **OCDE/AEN iLibrary** permet d'accéder à chaque nouvelle publication imprimée ainsi qu'à tous les livres et périodiques publiés en ligne par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Il comprend le semestriel *Bulletin de droit nucléaire*, l'annuel *Nuclear Energy Data/Données sur l'énergie nucléaire*, le bisannuel *Uranium : Ressources, production et demande* ainsi que nombre de rapports analytiques, actes de colloques et autres comptes rendus. Le nombre de publications est d'environ 45 par an. L'abonnement archive donne également droit à l'accès en ligne à toutes les publications éditées depuis 1998 et à celles mises en ligne depuis 2003. Un code d'accès sera envoyé par courriel le deuxième jour ouvrable suivant l'achat.

Pour s'abonner, voir :

[www.oecd.org/bookshop?16121s1](http://www.oecd.org/bookshop?16121s1)

### Où acheter les publications en vente de l'AEN

#### En Amérique du Nord

OECD Publications  
c/o Turpin Distribution  
The Bleachery, 143 West Street  
New Milford, CT 06776  
United States  
Toll free : 1 (800) 456 6323  
Fax : 1 (860) 350 0039  
E-mail : [ocedna@turpin-distribution.com](mailto:ocedna@turpin-distribution.com)

#### Dans le reste du monde

OECD Publications  
c/o Turpin Distribution  
Pegasus Drive, Stratton Business Park  
Biggleswade, Bedfordshire  
SG18 8QB, United Kingdom  
Tél. : +44 (0) 1767 604960  
Fax : +44 (0) 1767 601640  
E-mail : [ocedrow@turpin-distribution.com](mailto:ocedrow@turpin-distribution.com)

Commandes en ligne :

[www.oecd.org/bookshop](http://www.oecd.org/bookshop)

Paiement sécurisé avec carte bancaire.

### Où commander les publications gratuites de l'AEN

Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire  
Services des publications  
12, boulevard des Îles  
92130 Issy-les-Moulineaux, France  
Tél. : +33 (0)1 45 24 10 15  
Fax : +33 (0)1 45 24 11 10  
E-mail : [neapub@oecd-nea.org](mailto:neapub@oecd-nea.org)

Visitez notre site internet :



Les Éditions de l'OCDE/AEN, 2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16  
IMPRIMÉ EN FRANCE – ISSN 1605-959X



[www.oecd-nea.org](http://www.oecd-nea.org)

Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire  
12, boulevard des Îles  
92130 Issy-les-Moulineaux, France  
Tél. : +33 (0)1 45 24 10 15  
[nea@oecd-nea.org](mailto:nea@oecd-nea.org) [www.oecd-nea.org](http://www.oecd-nea.org)

ISSN 1605-959X

