

ANTICIPATION ET RÉSILIENCE :

RÉFLEXIONS DIX ANS APRÈS L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA DAIICHI



L'EXPERT PUBLIC DES RISQUES NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES

Expertiser, rechercher, protéger, anticiper, partager ; telles sont les missions de l'IRSN au service des pouvoirs publics et de la population.

La singularité de l'Institut réside dans sa capacité à associer chercheurs et experts pour anticiper les questions à venir sur l'évolution et la maîtrise des risques nucléaires et radiologiques.

Les femmes et les hommes de l'IRSN ont à cœur de faire connaître leurs travaux et de partager leurs savoirs avec la société. Ils contribuent ainsi à améliorer l'accès à l'information et le dialogue avec les parties prenantes.

L'Institut concourt aux politiques publiques de sûreté et sécurité nucléaires, de santé, d'environnement et de gestion de crise.

Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous la tutelle conjointe du ministre chargé de l'Environnement, du ministre de la Défense, et des ministres chargés de l'Énergie, de la Recherche et de la Santé, l'IRSN inscrit pleinement son action dans les politiques de modernisation de l'État avec sa démarche de management des risques et la mise en œuvre d'une politique globale en matière de responsabilité sociétale.

L'INSTITUT
COMPTE
ENVIRON **1 700**
COLLABORATEURS

parmi lesquels
de nombreux
ingénieurs,
médecins,
agronomes,
vétérinaires,
techniciens,
experts et
chercheurs.

Pour mener à bien
ses missions,
l'IRSN dispose
**D'UN BUDGET
D'ENVIRON
275 M€**

« Accidents appear to be the result of highly complex coincidences which could rarely be foreseen by the people involved. The unpredictability is caused by the large number of causes and by the spread of information over the participants... Accidents do not occur because people gamble or lose, they occur because people do not believe that the accident that is about to occur is at all possible. »

Wagenaar and Groeneweg, 1987

RÉSUMÉ

Le 11 mars 2011, un séisme de très forte magnitude ($M=9,1$) survenu au large de la province de Tohoku au Japon provoquait un tsunami d'une ampleur inédite, ravageant une partie de la côte Est de l'île. Plusieurs centrales nucléaires ont été affectées par ces événements. À la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, la catastrophe n'a pas pu être évitée : la fusion des cœurs de trois réacteurs a engendré des rejets dans l'environnement qui ont entraîné une contamination durable des territoires et des conséquences psycho-sociales et économiques très lourdes pour les populations vivant à proximité du site et pour le pays tout entier. Cet accident a aussi eu un impact sur l'état de santé général des personnes les plus affectées.

Comme les accidents de la centrale de Three Mile Island aux États-Unis en mars 1979 ou de la centrale de Tchernobyl en URSS en avril 1986, l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi de 2011 a marqué l'histoire du nucléaire civil et de la sûreté. Chacun de ces accidents a eu des répercussions importantes sur le développement des approches de sûreté visant à prévenir les accidents et à définir des dispositions pour limiter autant que possible leurs conséquences, sur la préparation et la gestion des situations d'urgence et post-accidentelles, sous-tendues par l'amélioration continue des connaissances en sûreté et en radioprotection.

Chaque accident a été analysé, la démonstration de sûreté des installations a été complétée, des nouveaux programmes de recherche ont été engagés pour améliorer les connaissances, des mesures ont été prises afin qu'il ne se reproduise pas. Pourtant, bien que nécessaire pour prévenir des événements jusqu'alors non imaginés ou non pris en compte, cette démarche est de nature plus réactive que proactive. Dix ans après l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, alors que de nouvelles dispositions ont été définies pour améliorer la sûreté des installations nucléaires françaises, il est important de revenir sur ce que nous apprend cet accident, comme d'autres avant lui, sur notre capacité d'anticipation, sur notre capacité à identifier les signes de nature à remettre en cause les approches retenues pour la maîtrise des risques ou leur mise en œuvre. Que nous apprend-il sur notre état de préparation pour faire face à un accident majeur et gérer, à court, moyen et long termes, ses conséquences ?

La dégradation de la sûreté des installations nucléaires peut être insidieuse, il convient de rester attentif, en permanence, à tous les signes qui pourraient révéler une dérive dans ce domaine. L'absence d'incident ou d'accident sérieux ces dernières années ne doit évidemment pas conduire à considérer que la sûreté est acquise, elle ne l'est jamais définitivement. Il convient au contraire de poursuivre les efforts engagés depuis de nombreuses années dans le domaine de la

sûreté et de la radioprotection, de mieux exploiter et partager le retour d'expérience de fonctionnement des installations, de veiller à la bonne application des approches de sûreté en vigueur et d'en développer de nouvelles, tout particulièrement pour ce qui concerne le traitement des événements rares aux conséquences potentiellement graves, pour lesquels l'expertise ne peut s'appuyer uniquement sur des éléments de connaissance établis et définitifs.

Apprécier les risques, en évaluer l'impact selon diverses hypothèses, est, en situation de forte incertitude, d'une grande complexité. La pandémie en cours l'illustre on ne peut mieux. Dans l'appréciation des risques, dans la connaissance du comportement des installations en cas d'accident, dans l'évaluation des conséquences des accidents et dans la manière de les gérer au mieux, il est encore possible de progresser. Cela doit se faire collectivement, en impliquant l'ensemble des acteurs concernés.

Cela passe en premier lieu par un traitement plus efficace du retour d'expérience, selon des approches systémiques permettant de mieux rendre compte de la complexité et de la dynamique des interactions entre les différentes composantes (humaine, organisationnelle, technique, managériale) qui concourent à la maîtrise des risques. Il s'agit de mieux apprécier, dans leur globalité, les facteurs qui facilitent ou au contraire sont de nature à perturber la mise en œuvre des dispositions de maîtrise des risques retenues. Il faut développer des « modèles » qui s'appuient sur la connaissance des « phénomènes » en œuvre dans la conduite des

activités de conception et d'exploitation des installations nucléaires. L'émergence, ces dernières années, de nouveaux outils numériques offrent de nouvelles opportunités d'analyse, d'échange et de partage qu'il convient de saisir.

L'approche de sûreté des installations nucléaires s'appuie sur une démarche de défense en profondeur, fondée sur une capacité à anticiper les risques et à limiter les conséquences des situations considérées comme plausibles. L'application de cette démarche doit toujours être améliorée, la conformité des installations aux exigences associées assurée de façon pérenne. L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi interroge néanmoins sur la capacité d'anticipation des combinaisons d'événements et de défaillances susceptibles d'affecter les installations nucléaires, en particulier sur les événements rares dont les conséquences peuvent être graves. L'appréciation des risques associés à ces situations reste une question difficile car les incertitudes associées sont d'autant plus fortes que les situations considérées sont improbables et aucune approche ne permet d'en écarter totalement l'occurrence. Le développement de nouvelles approches, multidisciplinaires, doit permettre de progresser dans la connaissance de ces phénomènes et des risques associés, en particulier ceux pouvant résulter d'aléas naturels. En complément, pour mieux faire face à la diversité des situations réelles pouvant se produire et à leur caractère potentiellement inattendu, il convient de développer la capacité de réponse et d'adaptation des hommes et des organisations pour favoriser les conditions de la résilience.

Après celui de la centrale de Tchernobyl, l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi a également confirmé, si besoin était, le caractère complexe et multidimensionnel de la situation post-accidentelle, qui affecte les territoires et les populations concernés pendant des dizaines d'années. À toutes ses étapes, la gestion de cette situation doit impliquer les personnes affectées. Dans un premier temps il va notamment s'agir d'une implication dans le processus de caractérisation radiologique (p.ex. possibilités de faire des mesures dans le cadre d'expertises partagées) puis dans les décisions relatives aux conditions de vie. Dans tous les cas, l'intervention des experts doit obéir à des principes éthiques, notamment le respect de l'autonomie et de la liberté de choix et de décision des personnes affectées.

En tout état de cause, l'évacuation, une des actions de protection des populations en cas d'accident, nécessite une préparation, tant elle affecte profondément les conditions de vie des évacués, volontaires ou non. La levée des ordres d'évacuation conduit, quant à elle, à un choix difficile pour les habitants affectés. Dix ans après l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, le taux de retour des habitants est d'environ 20 %.

Pour se préparer à gérer un accident sur une installation nucléaire et ses conséquences, en phase d'urgence ou post-accidentelle, les exercices permettent une professionnalisation des experts et contribuent, en cas de crise, à la résilience individuelle et collective face à une situation inattendue. Les efforts déjà entrepris afin notamment de renforcer le réalisme de ces exercices devraient être

poursuivis (durée des exercices plus longue, implication d'acteurs plus nombreux, de la société civile en particulier, scénarios plus inattendus, déploiement plus conséquent des moyens de caractérisation de la contamination de l'environnement, des personnes et des biens sur le terrain, pression médiatique forte...).

Ce rapport est destiné à tous ceux que les questions de sûreté nucléaire et plus généralement de gestion des risques intéressent à un titre ou à un autre, décideurs publics ou industriels, experts institutionnels ou non, personnes du public...

Il invite à s'interroger sur les pratiques en vigueur dans ces domaines, sur la manière dont les acteurs contribuent à la maîtrise des risques des installations nucléaires, sur la nécessité de développer d'autres approches, pour mieux apprécier les risques, tant dans le cadre du fonctionnement normal des installations qu'en situation d'accident. Mieux évaluer pour prévenir l'accident nucléaire, mieux se préparer pour y faire face s'il survient, ce qui ne peut être exclu, il est de la responsabilité des experts, au rang desquels l'IRSN, de poursuivre les réflexions, d'améliorer les connaissances, de développer de nouvelles approches, plus systémiques. Il s'agit de permettre aux décideurs de prendre des décisions « éclairées » au regard des enjeux de protection des personnes et de l'environnement et de sûreté des installations.

Ce rapport n'a d'autre ambition que de proposer quelques pistes pour nourrir une réflexion en ce sens.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	3
1 LE RETOUR D'EXPÉRIENCE, UNE MINE D'INFORMATION À MIEUX EXPLOITER... 9	
« L'accident » et l'amélioration de la sûreté.....	9
Le REX et le partage des enseignements à l'international.....	11
Vers un traitement plus efficace du REX ?.....	13
2 ROBUSTESSE DES INSTALLATIONS ET CAPACITÉ DE RÉPONSE DES HOMMES ET DES ORGANISATIONS À DES SITUATIONS IMPRÉVUES.....	21
L'amélioration de la robustesse des niveaux de défense en profondeur.....	23
L'indépendance des niveaux de défense à l'égard des événements susceptibles d'affecter une installation.....	24
En complément, une capacité d'adaptation à développer pour faire face à la diversité des situations réelles et aux situations imprévues.....	26
3 CONJONCTIONS DE DYSFONCTIONNEMENTS OU D'ÉVÉNEMENTS DE TRÈS FAIBLES PROBABILITÉS, COMMENT APPRÉHENDER LES RISQUES ASSOCIÉS À CES SITUATIONS ?.....	29
La prise en compte des événements rares dans la démarche de sûreté nucléaire.....	30
Une première étape : la combinaison des approches déterministe et probabiliste	30
L'« élimination pratique » : une démarche pour aller plus loin dans la prévention de situations aux conséquences graves.....	32
L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi : l'appréciation des risques liés aux aléas naturels en question.....	33
Des approches nouvelles pour caractériser les aléas naturels.....	34
Des développements à poursuivre pour progresser encore dans l'appréciation.....	37
4 LA GESTION D'UNE SITUATION POST-ACCIDENTELLE : UN PROCESSUS ESSENTIELLEMENT SOCIÉTAL.....	39
La situation post-accidentelle : complexité et multi dimensionnalité.....	40
Quels défis pour les acteurs du processus de réhabilitation ?.....	42
Dialogue, autonomie, expertises partagées.....	46

5	LES POPULATIONS APRÈS L'ÉVACUATION.....	49
	L'évacuation : une action de protection délicate à mettre en œuvre et non sans risque.....	50
	L'évacuation et le relogement affectent profondément les conditions de vie et la santé des personnes affectées	51
	Après la levée des ordres d'évacuation : le difficile choix entre rentrer ou ne pas rentrer	52
	Dix ans après, un taux de retour faible	53
	Évacuation et retour de la population : quels enseignements tirer de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi ?	56
	Les difficultés de la gestion à long terme des conséquences d'une contamination importante d'un territoire.....	58
6	LES EXERCICES DE CRISE, LIMITES ET OPPORTUNITÉS	61
	Les exercices, élément indispensable à l'amélioration de la capacité de réponse d'une organisation en cas de crise.....	61
	... mais qui présentent des limites intrinsèques importantes.....	62
	Les exercices, sources de résilience	63
	Les enseignements tirés de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi en matière de gestion de crise.....	64
	Des exercices pour aller plus loin.....	65



1

LE RETOUR D'EXPÉRIENCE, UNE MINE D'INFORMATION À MIEUX EXPLOITER

Le but du retour d'expérience (REX) est de tirer les leçons des événements qui affectent les installations nucléaires de façon à améliorer leurs performances, notamment en matière de maîtrise des risques. L'accident de la centrale de Three Mile Island aux États-Unis en 1979 a entraîné une montée des préoccupations sur le retour d'expérience au plan international et a conduit en particulier à attacher une importance accrue aux signaux précurseurs. Il fut alors admis qu'un accident peut résulter d'un enchaînement de défaillances multiples, tant matérielles qu'humaines ou organisationnelles, et que celles-ci peuvent se produire lors d'incidents mineurs dont le déroulement peut constituer un initiateur de scénarios d'accidents bien plus sérieux. Le retour d'expérience a depuis donné lieu à de nombreux échanges aux niveaux national et international. Mais que peut-on dire du traitement du retour d'expérience aujourd'hui ? Faut-il le faire progresser et comment ?

« L'accident » et l'amélioration de la sûreté

L'amélioration de la sûreté se concrétise d'abord par des avancées techniques, issues des connaissances tirées notamment des situations accidentelles rencontrées. Ces connaissances permettent en effet de s'interroger sur la conception des installations en fonctionnement et des installations en développement. Pour ce qui concerne l'accident de la centrale de Three Mile Island (TMI), ces questionnements ont donné lieu à de nombreuses améliorations de sûreté du parc électronucléaire français : la conduite des installations et l'instrumentation associée, le confinement des substances radioactives, la mise en place de plans d'urgence, etc. En particulier, de nombreux travaux de recherche en sûreté ont été initiés à la suite de cet accident, notamment sur les accidents graves, et les études probabilistes de sûreté ont été largement développées contribuant, des années

plus tard, à des améliorations de sûreté importantes, par exemple dans les états d'arrêt du réacteur. De même, les évaluations complémentaires de sûreté (ECS), qui ont été menées sur toutes les Installations Nucléaires de Base (INB) françaises dans l'année qui a suivi l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi en 2011, ont conduit à définir un concept de « noyau dur », composé d'un nombre limité d'équipements permettant de faire face à des aléas naturels extrêmes, décliné progressivement pour les diverses installations nucléaires.

Ces accidents historiques dont les enseignements ont été structurants sur le plan technique mettent en avant la dimension « sociotechnique » de la sûreté nucléaire, c'est-à-dire qui tient compte des interactions entre les matériels, les hommes et les organisations. Ainsi, l'analyse de l'accident de la centrale de Three Mile Island souligne l'importance des « facteurs humains » et conduit à de nombreuses avancées en matière d'organisation des équipes de conduite (introduction d'un ingénieur sûreté), d'ergonomie des salles de commande et des procédures de conduite, et de gestion de crise. À la suite de l'accident de la centrale de Tchernobyl en 1986, des réflexions ont été menées sur les facteurs organisationnels, managériaux et « culturels » de la gestion des risques, notamment sur les processus décisionnels et l'importance des arbitrages entre les préoccupations de sûreté et les autres préoccupations. Après l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi en 2011, la prise en compte des agressions externes, incluant les éventuelles combinaisons de telles agressions, ainsi que la gestion de crise et la gestion post- accidentelle à court, moyen et long termes, ont orienté les travaux d'amélioration. **Dans le même temps réapparaissent des questions plus politiques liées à la « gouvernance des risques ».**

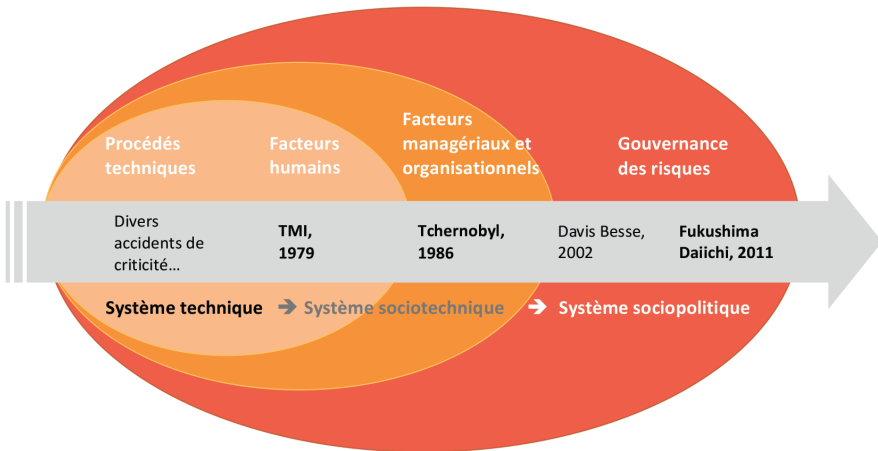
Ce questionnement sur la gouvernance des risques et le contrôle de l'industrie nucléaire existait déjà auparavant, à des degrés divers selon les pays (accident de Tokai Mura au Japon en 1999¹, et presque accident de Davis Besse aux États-Unis en 2002²). En France, la crise médiatique et politique qui a suivi l'accident de la centrale de Tchernobyl en 1986, puis les crises sanitaires des années 1990 (sang contaminé, vache folle...) ont progressivement modifié le système français de sûreté nucléaire et de radioprotection. Ces évolutions aboutiront des années plus tard à la création d'un organisme public d'expertise indépendant des exploitants (l'IRSN, en 2002) et d'une autorité de sûreté indépendante des pouvoirs publics (l'ASN, en 2006).

¹ Le 30 septembre 1999 à Tokai-Mura au Japon, un accident dit de « criticité » a eu lieu dans une usine de traitement d'uranium de la Japan Nuclear Fuels Conversion Company (JCO) : des réactions nucléaires en chaîne se sont déclenchées de façon incontrôlée, en dégageant rayonnements et gaz radioactifs et en irradiant gravement plusieurs travailleurs, dont deux vont décéder. L'accident a été maîtrisé une vingtaine d'heures après son démarrage.

² Une dégradation importante du couvercle de la cuve, due à une corrosion du métal au niveau des traversées par l'acide borique, a été découverte dans un des réacteurs de la centrale.

Dimension technique, puis sociotechnique et enfin sociopolitique, le poids de ces différentes composantes de la sûreté nucléaire n'a cessé d'évoluer sous l'influence des enseignements tirés de ces grands accidents. En 2020, la sûreté ne peut plus se confondre avec la seule fiabilité technique des installations. Cette évolution du champ de la sûreté nucléaire s'accompagne-t-elle d'une capacité accrue à caractériser et à prévenir l'accident, à en limiter les conséquences ? Est-il d'ailleurs nécessaire de le caractériser pour anticiper la réponse que l'on pourra y apporter ?

Figure 1 : L'évolution du poids des différentes composantes de la sûreté nucléaire.



Le REX et le partage des enseignements à l'international

Les accidents majeurs ont chaque fois repoussé les limites de ce qui était jusqu'alors considéré comme des scénarios plausibles. Dans quelle mesure les événements qui en ont été à l'origine auraient-ils pu être anticipés ?

Des experts internationaux réunis par le Comité sur les activités nucléaires réglementaires de l'Agence pour l'Énergie Nucléaire ont constatés en 2019 que « la quasi-totalité des événements significatifs récents signalés lors de réunions internationales s'étaient déjà produits sous une forme ou sous une autre »³. Un constat analogue avait été dressé en 1979, lors de l'analyse de l'accident de la centrale de TMI : le rapport de la commission

³ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14142

d'enquête Kemeny constatait que plusieurs incidents antérieurs auraient pu être considérés comme « précurseurs », mais avaient été analysés de façon insuffisante. De plus, les enseignements n'avaient pas été largement diffusés, ou ne l'ont pas été à temps. Un incident similaire s'était par exemple produit en Suisse à Beznau en 1974, sur un réacteur de conception Westinghouse, mais les informations n'avaient pas été communiquées à l'autorité américaine ni au concepteur concurrent, Babcock and Wilcox, concepteur des réacteurs de TMI. En 1977, un événement sérieux survient à la centrale de Davis Besse, aux États-Unis ; c'est exactement le même scénario qui se produira deux ans plus tard à TMI, mais les opérateurs comprendront la réalité de la situation trop tard pour éviter la fusion du cœur.

Il était considéré à l'époque que « *si l'événement n'avait pas de conséquence réelle, il n'avait pas d'importance* ». La transparence et le partage d'expérience au niveau international sont alors apparus comme des facteurs de progrès en matière de sûreté, au même titre que la démarche de conception des installations selon le principe de la défense en profondeur ou encore la recherche. Ainsi, les presque-accidents de Davis-Besse (États-Unis, 2002) et de Barsebäck⁴ (Suède, 1992) ont eu des répercussions notables dans de nombreux pays, le premier sur le remplacement ou le renforcement du suivi en service des composants des circuits primaires fabriqués à partir d'alliages à base de nickel (de dénomination commerciale inconel), le second sur les systèmes de refroidissement du cœur en fonctionnement accidentel.

Cependant, l'importance accordée à de tels événements en matière de traitement du retour d'expérience est-elle systématique ?

L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi amène à réfléchir au dimensionnement des installations à l'égard des événements extrêmes et plus particulièrement aux combinaisons d'agressions naturelles. En France, l'inondation partielle de la centrale du Blayais en Gironde en décembre 1999 posait déjà des questions à ce sujet avec une certaine acuité. Le retour d'expérience de cet « incident » (l'inondation a occasionné la perte de plusieurs systèmes de sûreté) aboutira notamment, sur l'ensemble des INB françaises, à des modifications matérielles (rehaussement de digues, mise en place de dispositions pour protéger les locaux contenant des équipements de sûreté contre l'inondation...), organisationnelles (règles particulières de conduite⁵, évolutions des plans

4 Une fuite de vapeur sur le circuit de refroidissement du réacteur, à eau bouillante, a endommagé les matériaux isolants entourant les tuyauteries situées à proximité, entraînant la laine de verre au fond du bâtiment. Les fibres ont conduit au colmatage des filtres à l'entrée des pompes de refroidissement du cœur.

5 RPC inondation : règle de conduite visant à renforcer les dispositions de protection des sites en cas de prévision de crue, par exemple.

d'urgence des exploitants⁶) puis, plus tard, du référentiel d'exigences de sûreté (création d'un guide inondation de l'ASN publié en 2013). Dans les faits, l'inondation partielle de la centrale du Blayais et son traitement par les exploitants et les organismes de sûreté français semblent avoir été découverts (ou redécouverts) au niveau international après l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi alors que les enseignements tirés de cet événement en France ont été présentés dans de nombreuses conférences internationales. En juin 2011, c'est la centrale de Fort Calhoun aux États-Unis qui se trouve en grande partie inondée à la suite d'une crue du Missouri. Pourquoi l'incident du Blayais et les enseignements tirés en France n'ont-ils pas eu un retentissement plus important hors de nos frontières ? De même, peut-on considérer qu'en France, les événements qui se sont produits à l'étranger ont fait l'objet d'une analyse suffisante ?

L'exemple de l'incident du Blayais n'est pas isolé et montre les difficultés de traitement et de transmission du REX au niveau international. Pour être identifiés comme « une source d'amélioration partageable », les enseignements tirés du REX doivent être vus comme transposables et faire écho à des sujets sur lesquels l'intérêt d'investir des ressources (ingénierie, recherche...) apparaît aux industriels et aux autorités de contrôle. À contrario, il semble que, lorsque le questionnement soulevé paraît trop spécifique (au site d'implantation, à la technologie de l'installation, aux conditions climatiques locales, à l'organisation d'un exploitant, voire plus généralement à sa culture « supposée »⁷, etc.), les enseignements apparaissent plus difficiles à exploiter et à généraliser, car il s'agit alors de sortir des sentiers battus et d'imaginer que des événements présentant des similitudes puissent se produire sur d'autres installations, dans d'autres lieux, avec d'autres technologies, avec d'autres cultures organisationnelles.

Vers un traitement plus efficace du REX ?

Une question de temporalité

Tous les enseignements des accidents majeurs ou des événements notables sont souvent longs à tirer et la mise en œuvre d'améliorations de sûreté encore plus longue. Si les premiers enseignements techniques sont souvent tirés rapidement, comme ce fut le cas après l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, le traitement approfondi du REX repose sur une analyse en profondeur des événements, dans toute la complexité

⁶ Prise en compte d'événements susceptibles d'affecter l'ensemble des installations d'un même site.

⁷ La notion de « culture de sûreté » apparaît avec l'accident de la centrale de Tchernobyl pour signifier que l'accident est lié à la culture « supposée » inhérente au régime soviétique, alors qu'elle n'a pas été vraiment analysée ni caractérisée.

induite par les dimensions multiples en jeu (technique, humaine, organisationnelle, managériale, politique), soumises à des cinétiques différentes. Souvent, ce processus conduit à des modifications, techniques ou organisationnelles, déployées sur des années, voir des décennies, une fois les études et les travaux de recherche et développement aboutis.

Dans ce contexte, comment être certain de tirer tous les enseignements des informations disponibles à la suite d'un accident alors que la pression médiatique et politique pousse parfois les exploitants à proposer rapidement des modifications matérielles et organisationnelles et les autorités à exiger des améliorations au plus vite ? Une fois les premières analyses réalisées, les premières améliorations nécessaires identifiées, comment assurer la continuité du REX, dont les temporalités sont parfois incompatibles avec celles du rythme soutenu des expertises de sûreté et des impératifs industriels ?

En somme, l'urgence ne doit pas faire oublier qu'il faut aussi prendre le temps de l'analyse, pour tirer tous les enseignements pertinents d'un accident, afin d'éviter qu'un scénario similaire puisse se produire ou que des facteurs qui se sont révélés être des facteurs clés dans l'aggravation de la situation ne soient à nouveau mobilisables.

Produire des connaissances, tirer des enseignements

Le retour d'expérience des incidents et des accidents contient indéniablement une mine d'informations pour améliorer la sûreté des installations nucléaires. Cependant, l'exploitation efficace et pertinente de cette « mine » requiert une volonté sans faille. Il convient de ne pas se limiter aux premiers constats et aux premières analyses souvent parcellaires qui pourraient venir minorer les causes profondes des événements et en fournir des explications incomplètes : une défaillance matérielle, une erreur d'un opérateur. Un questionnement plus approfondi est nécessaire afin de ne pas masquer les transpositions possibles et inhiber le caractère générique des enseignements à tirer mais il nécessite du temps et le recueil de données précises sur le déroulement de l'événement.

La manière dont les équipes sur site ont pu faire face à la situation, lors de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, trouver des solutions de secours en se limitant aux ressources disponibles sur le site, prendre des décisions aux conséquences potentiellement tragiques, ces questions méritent d'être étudiées et des enseignements ne peuvent

être tirés que sur la base des données précises sur ce qui s'est réellement passé en termes d'intentions, de décisions et d'actions de l'ensemble des intervenants. Les travaux de recherche dans le domaine des sciences humaines et sociales engagés après l'accident, sur cette base, commencent à produire des connaissances. Ces connaissances doivent être utilisées pour approfondir encore davantage l'analyse de l'accident.

Il en va de même pour les « incidents » (rebaptisés « événements significatifs » dans les années 2000) qui donnent lieu à des déclarations formalisées et réglementées. Là encore, il existe une « mine » d'informations, et les enseignements qui en sont tirés ne doivent pas se limiter aux seuls aspects techniques. Ces événements sont « suivis » en tant qu'écart, leur caractère précurseur est analysé, les données de fiabilité des équipements utilisées dans les études probabilistes de sûreté sont mises à jour, des études sont engagées, voire des travaux de recherche, mais ils devraient être davantage utilisés pour ce qu'ils pourraient produire comme connaissance sur le fonctionnement des installations françaises, sur les difficultés d'exploitation, sur les complexités à la fois matérielles et organisationnelles, qui font peser autant de contraintes sur les activités et les acteurs qui les réalisent au quotidien.

Ces événements sont souvent systémiques, leur analyse ne saurait l'ignorer. Les relations de causes à effets dans un scénario accidentel réel ne s'organisent pas de façon linéaire, statique et prédéterminée, même si leur reconstruction *a posteriori* peut le laisser croire. Les systèmes sociotechniques sont trop complexes et trop dynamiques pour cela. Seule une approche systémique peut rendre compte de cette complexité, des interactions entre les différentes composantes du système et produire une analyse pertinente. **L'analyse des accidents ne doit donc pas se résumer à l'identification de causes indépendantes, mais s'orienter vers la compréhension d'un plus grand « tout ».**

Pour cela, il faut développer des « modèles » qui s'appuient sur la connaissance des phénomènes en œuvre dans la conduite des activités de conception et d'exploitation des installations nucléaires : quels sont les facteurs qui contribuent à la maîtrise des risques ? Comment interviennent-ils ? Ainsi, l'événement ne doit pas être vu comme un « écart » à comptabiliser, à corriger ponctuellement dans ses causes directes et visibles (défaut local de conception, « manque de rigueur », « défaut de compétence »...), de la responsabilité d'un acteur ou d'un collectif. L'événement témoigne de l'échec (du succès aussi, puisqu'il est détecté et déclaré) de lignes de défense qui, bien qu'elles ne soient pas toujours identifiées comme telles dans les dossiers de sûreté remis par les exploitants, contribuent à la maîtrise des risques. Il s'agit d'identifier et de comprendre les déterminants qui perturbent ou facilitent la mise en œuvre des dispositions de maîtrise des

risques retenues par le système sociotechnique. C'est par une telle approche systémique que l'on accède réellement aux « causes profondes » des incidents et des accidents. Il ne s'agit pas de constater que les professionnels font des erreurs, mais d'identifier les facteurs qui ont conduit aux erreurs constatées (information non disponible ou fautive, temps insuffisant pour réaliser une tâche, objectifs non partagés, outillage inadapté, etc.), et ce, au-delà de caractéristiques individuelles supposées (compétence, biais cognitif, motivation, fatigue, aptitudes diverses, etc.).

C'est bien l'action sur ces causes qui fera progresser, de manière pérenne, la sûreté des installations et leur exploitation, au-delà du bénéfice des seuls enseignements techniques.

S'ouvrir à des enseignements d'autres secteurs pour consolider les référentiels d'analyse

De la même manière, il faut apprendre des incidents et des accidents d'autres secteurs pour entretenir une mémoire « vive » du retour d'expérience. Les frontières construites historiquement entre secteurs industriels ne sont-elles pas des freins à un partage des enseignements tirés de ces accidents ?

Certains accidents industriels français, comme l'explosion d'AZF (Toulouse, 2001), le déraillement de Brétigny-sur-Orge (2013) ou l'incendie de Lubrizol (Rouen, 2019), sont par exemple porteurs d'enseignements sur les politiques de maintenance, les effets des réorganisations successives, les inspections, le respect de la réglementation mais aussi la gestion de crise et la communication. Les accidents qui ont frappé les navettes spatiales de la NASA en 1986 (Challenger) et 2003 (Columbia) ont fait l'objet d'analyses remarquables qui pointent des facteurs accidentogènes que l'on peut retrouver dans de nombreux incidents ou accidents du domaine nucléaire.

Certains enseignements sont sans aucun doute transposables au monde nucléaire. L'accidentologie propose nombre de concepts utiles à l'analyse des incidents « mineurs » et des accidents « majeurs ». Par exemple, des notions telles que *la normalisation de la déviance*, *l'inversion de la charge de la preuve* dans les processus décisionnels, *la complexité organisationnelle* et *la bureaucratisation* générées par des changements rapides et multiples, pourraient avantageusement être mobilisées pour caractériser par exemple les causes profondes d'écart de conformités matériels.

Recourir aux nouvelles technologies pour analyser le REX et transmettre

En complément de l'approche méthodologique rigoureuse qui doit régir l'analyse du REX, de nouveaux outils numériques ont émergé ces dernières années qui peuvent offrir de nouvelles opportunités d'analyse, d'échange et de partage.

Concernant l'analyse, les apports de l'intelligence artificielle et notamment des fonctions d'apprentissage automatique et de traitement du langage naturel (pour traiter les données d'entrée que sont les « récits » des événements) sont aujourd'hui une voie de progrès évidente. On peut aujourd'hui bâtir des systèmes opérationnels d'aide à l'analyse à destination des experts, mais aussi des décideurs. Pour autant, les algorithmes ne remplaceront pas les experts, les « signaux faibles » ne pourront émerger qu'à partir d'une analyse approfondie des événements, et les conditions de succès, tant technologiques que méthodologiques ou organisationnelles, sont à maîtriser pour que l'apport attendu soit réel.

Concernant le partage des enseignements, les évolutions technologiques de la dernière décennie apportent des solutions nouvelles pour les échanges, qu'ils soient nationaux ou internationaux. Il y a bien sûr les moyens pratiques de communication qui facilitent les « rencontres » virtuelles. Mais les véritables avancées résident dans la « visualisation » des informations et des connaissances à partager. Il est en effet fondamental de pouvoir présenter des données (dont le volume ne cesse de s'accroître) de façon intelligible. Les réflexions menées autour de notions telles que le « storytelling » paraissent tout à fait pertinentes, s'agissant de communiquer sur les événements et accidents et de renforcer leur mémorisation.

Multiplier, diversifier les ressources d'expertise, multiplier les opportunités de partage sont des objectifs poursuivis depuis des années, les méthodes et les outils qui se développent aujourd'hui doivent permettre de progresser encore en la matière.

Le REX se doit d'aller regarder ce qui est visible mais aussi ce qui ne l'est pas à première vue, chercher des informations qui ne sont pas directement accessibles et de surtout porter un regard neuf et systémique, qui va plus loin que la seule compréhension technique, certes nécessaire mais non suffisante, de la cinétique de l'accident.

Si l'on regarde ce qui a été fait depuis 40 ans, on voit des améliorations importantes, notamment celles qui ont suivi les incidents les plus marquants et les accidents. *A posteriori*, on peut également déceler des situations, des incidents qui auraient pu être

mieux analysés, mieux partagés au bénéfice de la sûreté. Ce qu'un accident grave porte comme enseignement aujourd'hui, d'autres événements, moins visibles, moins médiatiques, moins dramatiques, auraient pu également l'enseigner. Les raisons sont multiples, notamment : le nombre d'événements, leur caractère généralisable, le temps disponible pour leur traitement, les lacunes d'analyse du système sociotechnique dans son ensemble.

Les enseignements tirés du retour d'expérience des événements restent encore aujourd'hui trop focalisés sur les aspects techniques et ne considèrent pas toujours l'ensemble des facteurs qui contribuent à la maîtrise ou au manque de maîtrise des risques.

2

ROBUSTESSE DES INSTALLATIONS ET CAPACITÉ DE RÉPONSE DES HOMMES ET DES ORGANISATIONS À DES SITUATIONS IMPRÉVUES

La conception et l'exploitation d'une installation nucléaire doivent répondre à un ensemble de règles destinées à assurer une maîtrise satisfaisante des risques et la protection des populations et de l'environnement. L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi interroge sur la capacité d'anticipation des événements susceptibles d'affecter les installations nucléaires et sur le caractère suffisant des règles et hypothèses retenues pour concevoir les systèmes de sûreté qui ont été rendus inopérants lors de l'accident. Des améliorations de sûreté peuvent être apportées par un renforcement de l'application de la démarche de défense en profondeur, mais toutes les combinaisons d'événements et de défaillances envisageables ne peuvent pas être retenues comme bases de conception et il faut veiller à ce que les choix de conception ne complexifient pas de manière excessive la conception et l'exploitation des installations, y compris les nouvelles. En parallèle, une réflexion sur les possibilités de mieux préparer les hommes et les organisations à faire face à la diversité des situations réelles et aux situations imprévues devrait être menée.

En France, la sûreté est définie comme « *l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets* ».

L'approche de sûreté retenue s'appuie sur une démarche de défense en profondeur qui repose sur le principe selon lequel, si des dispositions doivent être prises pour éviter autant que possible les incidents ou les accidents, il convient néanmoins de postuler qu'ils puissent se produire. Les moyens d'y faire face, pour limiter leurs conséquences, doivent être étudiés et des dispositions appropriées mises en place.

La démarche de défense en profondeur vise ainsi à limiter les conséquences pour la population et l'environnement des défaillances humaines et techniques considérées comme « plausibles », et à maintenir l'intégrité des barrières interposées entre les substances radioactives et l'environnement. Elle prévoit ainsi une protection graduée et robuste à l'égard des dangers induits par une installation, qui se traduit par la mise en place de niveaux successifs et suffisamment indépendants :

- « *Le premier niveau de défense a pour objet de prévenir les incidents ;*
- *Le deuxième niveau de défense a pour objet de détecter la survenue de tels incidents et mettre en œuvre les actions permettant, d'une part, d'empêcher que ceux-ci ne conduisent à un accident et, d'autre part, de rétablir une situation de fonctionnement normal ou, à défaut, d'atteindre puis de maintenir l'installation dans un état sûr ;*
- *Le troisième niveau de défense a pour objet de maîtriser les accidents n'ayant pu être évités ou, à défaut, de limiter leur aggravation en reprenant la maîtrise de l'installation afin de la ramener et de la maintenir dans un état sûr ;*
- *Le quatrième niveau de défense a pour objet de gérer les situations d'accident consécutives à l'échec des dispositions des trois premiers niveaux de défense en profondeur et conduisant à la fusion de combustible, de façon à en limiter les conséquences, notamment pour les personnes et l'environnement.*

Par ailleurs, un cinquième niveau de défense en profondeur, visant à la gestion de crise par les pouvoirs publics, a pour objectif d'atténuer les conséquences radiologiques des rejets radioactifs susceptibles de résulter de conditions accidentelles. »

Les réacteurs électronucléaires présentent des risques spécifiques (emballement de la réaction nucléaire en chaîne, échauffement excessif du combustible, dispersion de radionucléides) dont la prévention impose le respect de trois fonctions fondamentales de sûreté (contrôle de la réactivité, refroidissement du combustible, confinement des substances radioactives). Un niveau de défense en profondeur peut comporter plusieurs lignes de défense successives, chaque ligne étant définie comme un ensemble de dispositions techniques, humaines ou organisationnelles qui contribue à la maîtrise de ces risques spécifiques pour un événement donné et à un niveau de défense en profondeur donné.

Une bonne application de la démarche de défense en profondeur suppose la prise en compte de manière appropriée des situations susceptibles de se produire dans une installation, la mise en place de lignes de défense robustes à l'égard des incidents et accidents considérés, une indépendance suffisante de ces lignes entre elles pour un événement donné.

L'amélioration de la robustesse des niveaux de défense en profondeur

Le retour d'expérience des incidents et des accidents ainsi que les connaissances acquises par la recherche ont conduit à une amélioration continue de la sûreté, en particulier par une prise en compte de situations de plus en plus nombreuses au fil des années. Cette amélioration s'est notamment concrétisée par la mise en place de nouveaux équipements, rendue parfois difficile compte tenu de l'encombrement des locaux des installations existantes. C'est par exemple le cas des équipements de contrôle-commande ou de distribution électrique basse tension appartenant au noyau dur qui, contrairement au diesel d'ultime secours, ne peuvent pas être déportés dans de nouveaux locaux en dehors des bâtiments de l'îlot nucléaire.

La mise en place de nouveaux équipements a également un impact notable sur l'exploitation des installations, avec une complexification des spécifications techniques d'exploitation (qui visent à assurer la disponibilité de ces équipements et définissent la conduite à tenir en cas d'indisponibilité) et des procédures de conduite incidentelle et accidentelle, et une augmentation des opérations de maintenance et des essais périodiques.

Ces considérations illustrent l'existence de limites pratiques aux possibilités de renforcer la défense en profondeur par l'ajout de nouveaux équipements dans des installations existantes, nécessitant alors leur arrêt. Il importe de ne pas complexifier excessivement les installations ou leur exploitation, les effets d'une telle complexification étant susceptibles d'amoinrir les améliorations de sûreté apportées par les nouveaux équipements.

La robustesse des lignes de défense peut en revanche être renforcée par une amélioration de la maîtrise de l'état des installations, et donc par le maintien dans le temps de leur conformité aux exigences applicables durant l'exploitation. Chaque installation doit en effet rester conforme à son référentiel d'exploitation à tout moment. L'apparition

d'un écart à une exigence définie doit faire systématiquement l'objet d'un traitement approprié dans les meilleurs délais. En effet, les écarts de conformité sont de nature à affaiblir les lignes de défense en profondeur. Des phénomènes de vieillissement, des modifications apportées à l'installation, ou encore des interventions de maintenance peuvent conduire à des écarts de conformité non détectés immédiatement. Le nombre parfois important de processus, d'organisations, d'acteurs, d'outils de gestion peut rendre difficile l'analyse de l'impact de l'ensemble de ces écarts sur la sûreté. Des progrès sont possibles dans ce domaine. La conformité de l'installation, condition nécessaire à la robustesse des lignes de défense, doit être une priorité des exploitants.

L'indépendance des niveaux de défense à l'égard des événements susceptibles d'affecter une installation

L'indépendance des niveaux de défense en profondeur n'est jamais totale. Il est donc important de déterminer les événements ou les défaillances qui pourraient affecter simultanément plusieurs niveaux de défense en profondeur, par exemple lorsqu'une défaillance particulière est susceptible d'empêcher le fonctionnement de dispositions prévues pour limiter les conséquences de cette défaillance, et d'apprécier si les dispositions prises sont suffisantes. Des dispositions ne sont pas indépendantes (ou pas) dans l'absolu mais vis-à-vis d'une cause de défaillance donnée pour un scénario donné. Dès lors, il est nécessaire de caractériser le degré de dépendance entre lignes de défense pour concevoir et évaluer la sûreté d'une installation.

Si certaines dépendances peuvent être acceptables, l'indépendance des niveaux de défense en profondeur doit être recherchée. Du point de vue de l'IRSN, une indépendance aussi complète que possible doit concerner les niveaux 3 et 4 de la défense en profondeur. En effet, un accident de fusion du cœur devrait, s'il se produit, résulter du cumul d'un ou plusieurs événements et de la défaillance de lignes de défense prévues pour éviter la fusion au titre du niveau 3 de la défense en profondeur. Les dispositions visant à limiter les conséquences des accidents de fusion du cœur ne répondent pas à des exigences de fiabilité et de robustesse aussi importantes que celles relevant du niveau 3, compte tenu d'une probabilité de la situation considérée comme plus faible.

De façon générale, la question de la suffisance des exigences appliquées aux dispositions relevant du niveau 4 de défense en profondeur se pose, d'autant que les conditions dans lesquelles les équipements devront fonctionner seront notablement dégradées (conditions d'irradiation, d'humidité, de pression et de température notamment) et leurs durées

de mission potentiellement beaucoup plus longues que pour les niveaux inférieurs. Ces réflexions sont à mener dans le cadre de futurs projets de développement de réacteurs.

Par ailleurs, les études probabilistes de sûreté (EPS) contribuent à l'identification des défaillances pouvant mettre en cause simultanément plusieurs lignes de défense, à l'estimation du degré de dépendance correspondant et à l'évaluation de la mise en cause de la réponse graduée prévue pour faire face à un événement donné. Elles permettent en particulier d'évaluer les risques de défaillance de cause commune associés aux systèmes supports (contrôle-commande, y compris l'instrumentation et les actionneurs, sources électriques, source froide, air comprimé...). Pour les nouvelles installations, les EPS réalisées à la conception permettent ainsi de revoir si nécessaire les choix de conception et de définir des exigences de diversification permettant de limiter ces risques.

Les agressions, en particulier d'origine externe, sont de nature à affecter simultanément plusieurs niveaux de défense en profondeur et plusieurs lignes de défense d'un même niveau, comme l'a montré l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi. La définition des dispositions retenues aux différents niveaux de défense en profondeur est en effet historiquement essentiellement basée sur l'analyse des événements internes pris en compte dans la démonstration de sûreté d'une installation (par exemple la défaillance d'un composant ou d'un système, éventuellement associée à la défaillance des dispositions prévues pour y faire face). La prise en compte des agressions est réalisée au moyen de règles et d'hypothèses de conception des structures, systèmes et composants (SSC) concourant à la réalisation des fonctions fondamentales de sûreté (séparation physique ou géographique, qualification au séisme par exemple). Toutefois, pour les SSC dont le fonctionnement est requis en situation d'agression, les agressions considérées à la conception étaient généralement les mêmes pour tous les SSC, quel que soit le niveau de défense en profondeur dans lequel ils sont valorisés. En d'autres termes, pour les agressions naturelles, toutes les dispositions prises pour les différents niveaux de défense pouvaient être affectées simultanément en cas de dépassement des aléas de dimensionnement de l'installation.

C'est pourquoi les évolutions retenues en France à la suite de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi ont eu pour but de renforcer les dispositions retenues au titre des niveaux 3 et 4 de la défense en profondeur à l'égard des risques de séisme, d'inondation et de conditions climatiques extrêmes ; elles consistent à renforcer les dispositions existantes par un ensemble de dispositions matérielles fixes et mobiles, humaines et organisationnelles, permettant de maîtriser l'état des installations d'un site au cours des premiers jours d'un accident, jusqu'à l'arrivée de secours extérieurs, notamment dans des situations d'agressions extrêmes.

En complément, une capacité d'adaptation à développer pour faire face à la diversité des situations réelles et aux situations imprévues

La défense en profondeur est une démarche fondée sur une capacité à anticiper les risques et à limiter les conséquences des situations considérées comme plausibles. Toutefois, toutes les combinaisons d'événements et de défaillances ne peuvent pas être retenues comme bases de conception et le retour d'expérience met régulièrement en évidence des anomalies qui n'avaient pas été anticipées ou dont les conséquences n'avaient pas été correctement évaluées.

La gestion des événements à la centrale de Fukushima Daiichi, mais également à la centrale de Fukushima Daini située à seulement une douzaine de kilomètres au sud, a montré à quel point la capacité de réponse et d'adaptation des équipes du site peut constituer un facteur déterminant dans la gestion d'une situation totalement inattendue.

Cette capacité d'adaptation ne peut pas constituer à proprement parler un élément de la démonstration de la sûreté d'une installation. Mais elle peut s'avérer précieuse pour faire face à la diversité des situations réelles pouvant se produire et essentielle en cas de situation imprévue.

La recherche en sciences humaines et sociales montre que si une part de la résilience se forme au cours de la situation accidentelle, et repose effectivement sur une part de créativité et d'improvisation, un travail d'anticipation permet d'identifier des conditions et des ressources favorables à la résilience (par exemple, l'identification de compétences génériques) et de préparer les équipes à fournir une réponse adaptée.

Ce travail d'anticipation diffère de celui mis en œuvre dans le cadre de la démonstration de sûreté, notamment du fait de différences dans les finalités. Il s'agit ici de renforcer les capacités de réponse et d'adaptation pour faire face à une situation donnée, éventuellement hors du cadre de la démonstration de sûreté, par exemple en augmentant les ressources ou en les distribuant différemment (notion de foisonnement en gestion de crise). L'introduction des procédures de conduite basées sur une approche par états physiques de l'installation, à la suite de l'accident de la centrale de Three Mile Island aux États-Unis en 1979, a déjà contribué à renforcer la capacité des équipes de conduite à faire face à la diversité des situations réelles et permet de couvrir un grand nombre de situations. Les actions à réaliser sont définies sur la base de l'évolution des paramètres physiques de l'installation (niveaux, pressions, températures, débits, mesure d'activité...)

et non plus, comme c'était le cas auparavant, en fonction d'une identification de l'événement à l'origine de la situation incidentelle ou accidentelle. De plus, en cas de défaillance d'un ou plusieurs systèmes nécessaires à l'accomplissement des fonctions de sûreté de l'installation, l'utilisation d'autres systèmes est proposée en substitution. Plusieurs lignes de défense sont ainsi proposées et potentiellement mises en œuvre pour faire face à la situation rencontrée.

La réflexion menée vise à aller plus loin dans le développement des capacités de résilience de l'équipe de conduite, et plus globalement des équipes sur site, pour leur permettre de s'adapter à des situations inattendues pour lesquelles les procédures de conduite ne permettraient pas de gérer la situation. Il faut alors mobiliser d'autres compétences, de type savoir-faire mais aussi savoir-être, une capacité à décider en situation d'incertitude, à donner du sens à la situation rencontrée même si elle est totalement imprévue, des compétences de coordination, de communication, de coopération, de gestion du stress et d'improvisation. Les équipes sur site doivent être en capacité de prendre du recul afin de définir des stratégies, des processus appropriés pour gérer au mieux une situation inattendue. Par exemple, la formation des équipes devrait comprendre des exercices de réflexion sur les solutions qui pourraient être mises en œuvre en cas de situation inattendue.

Les conditions de la résilience en situation de crise se développent en s'appuyant sur la prise de conscience des limites des démarches d'anticipation (analyse des risques, règles...), la connaissance des points de vulnérabilité de l'installation, la maîtrise des opérations courantes d'exploitation, mais aussi par la mise en œuvre, au quotidien, de dispositions organisationnelles favorisant le développement de ces capacités de réponse et d'adaptation.

La réflexion et les actions visant à améliorer les capacités de résilience des équipes chargées de gérer de telles situations constituent un axe d'amélioration de la sûreté à renforcer.

3

CONJONCTIONS DE DYSFONCTIONNEMENTS OU D'ÉVÉNEMENTS DE TRÈS FAIBLES PROBABILITÉS, COMMENT APPRÉHENDER LES RISQUES ASSOCIÉS À CES SITUATIONS ?

Les industries présentant des risques élevés en général, et l'industrie nucléaire en particulier, investissent des ressources importantes dans la définition et la mise en œuvre de dispositions visant à réduire les risques associés au fonctionnement de leurs installations. Des réévaluations régulières sont menées pour tenir compte de l'avancée des connaissances et permettent des améliorations, notamment à l'égard des situations dont la survenue est jugée très peu probable mais dont les conséquences pourraient être graves. L'appréciation de ces situations reste une question difficile et aucune approche ne permet d'en écarter totalement l'occurrence. Comment mieux appréhender les risques résultant d'événements ou de conjonction d'événements considérés comme hautement improbables mais dont les conséquences pourraient être particulièrement graves alors que les incertitudes sont d'autant plus fortes que les situations considérées sont improbables ? L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi a montré l'actualité de ce sujet dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Ce chapitre dresse un état des lieux des approches de sûreté mises en œuvre jusqu'à présent à l'égard des situations accidentelles rares aux conséquences potentiellement graves, et montre comment elles ont évolué au cours du temps pour mieux intégrer le retour d'expérience, mettant en évidence l'intérêt de nouvelles connaissances pour

améliorer leur traitement. Il évoque les travaux en cours sur le développement de nouvelles méthodes pour ce qui concerne spécifiquement les situations qui pourraient résulter d'aléas naturels et indique quelques pistes de réflexion pour aller plus loin dans l'appréciation des risques associés.

La prise en compte des événements rares dans la démarche de sûreté nucléaire

Quelques années avant l'accident de la centrale de Three Mile Island en 1979, le Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) de l'Agence pour l'Énergie Nucléaire (AEN) s'interrogeait déjà sur les limites des approches utilisées à cette époque. L'appréciation du risque reposait alors sur une représentation dans un espace à deux dimensions (fréquence et gravité) : une situation ne peut être considérée comme acceptable si la gravité de ses conséquences est trop importante au regard de sa fréquence estimée d'occurrence. De surcroît, l'acceptabilité doit être jugée, non seulement sur des aspects techniques, mais également sous l'angle social et économique. La représentation précitée est à la base des méthodes d'appréciation des risques utilisées jusqu'à ce jour, mais ces méthodes présentent des limitations, notamment du fait des incertitudes qui vont croissantes avec la rareté des situations considérées ou la gravité des conséquences, rendant difficile l'évaluation du caractère raisonnable des dispositions qui pourraient être mises en place pour les prévenir ou limiter leurs conséquences.

Cette difficulté n'est que partiellement surmontée par la démarche de défense en profondeur, largement utilisée dans le domaine de la sûreté nucléaire, qui conduit à postuler, de manière conventionnelle, la possibilité de situations incidentelles et accidentelles malgré les mesures prises pour les prévenir et à définir, le cas échéant, des dispositions visant à en réduire les conséquences. Cette approche présente intrinsèquement des limitations car il n'est pas possible de postuler une suite indéfinie d'événements.

Une première étape : la combinaison des approches déterministe et probabiliste

Dans ce contexte, le développement de la complémentarité des approches **déterministe et probabiliste** - dont les principes sont succinctement décrits ci-après - a permis de traiter⁸ au fil du temps un domaine de plus en plus large d'événements et

8 C'est-à-dire de vérifier que les dispositions retenues étaient suffisantes pour prévenir de façon satisfaisante ces situations ou de limiter leurs conséquences, ou, à défaut, de mettre en œuvre de nouvelles dispositions.

de conjonctions d'événements, et surtout de progresser dans la connaissance des scénarios d'accident qui peuvent conduire à des situations certes rares mais qui doivent être considérées comme « plausibles » dans le domaine de la sûreté nucléaire.

L'approche déterministe conduit à examiner les conséquences possibles d'un certain nombre de situations résultant d'événements initiateurs uniques postulés *a priori* à partir des défaillances envisageables d'équipements ou d'erreurs opératoires compte tenu de la conception de l'installation ou des pratiques d'exploitation, sans s'interroger sur les enchaînements d'événements pouvant conduire à ces situations. Elle suppose donc que l'incident ou l'accident se produit et conduit à définir des dispositions permettant de limiter les conséquences à un niveau acceptable. Ces incidents et accidents postulés sont étudiés selon une approche prudente, c'est-à-dire dans des conditions pénalisantes, en retenant des marges de sûreté appropriées, dont une partie vise à couvrir les incertitudes et les limites des connaissances.

L'approche probabiliste permet, en complément, d'appréhender de façon plus réaliste les risques associés à des situations de cumul d'événements en tenant compte du retour d'expérience d'exploitation⁹ et de l'état des connaissances, et de définir, le cas échéant, des « dispositions complémentaires » visant à renforcer le niveau de sûreté de l'installation. Le développement d'évaluations probabilistes de sûreté, en complément des études déterministes, a permis d'approfondir considérablement les études des scénarios accidentels pouvant affecter les installations, de mettre en évidence des risques que l'approche déterministe n'avait pas identifiés et de renforcer la sûreté. Toutefois, les résultats sont bien entendu dépendant des méthodes de traitement des données ainsi que des informations et connaissances disponibles : ainsi, l'évaluation des fréquences des différentes séquences accidentelles mises en évidence dépend très directement des connaissances disponibles sur la fiabilité des équipements et sur les phénomènes physico-chimiques qui peuvent intervenir ; la modélisation de l'installation influence également les résultats : par exemple, le système de contrôle commande du réacteur ou encore les erreurs humaines pré ou post-accidentelles, du fait de leur complexité ou de la difficulté à les modéliser, font souvent l'objet de modèles simplifiés ; de même, les données de fiabilité, étant directement issues du retour d'expérience, limitent la capacité de quantification d'événements rares.

⁹ Prise en compte du retour d'expérience pour quantifier la fiabilité des équipements, prise en compte du comportement supposé des opérateurs notamment.

L'« élimination pratique » : une démarche pour aller plus loin dans la prévention de situations aux conséquences graves

Après l'accident de la centrale de Tchernobyl en 1986, les discussions nationales et internationales sur la conception et la sûreté de nouveaux réacteurs de production d'électricité dont la construction était prévue pour le début du XXI^{ème} siècle, ont conduit les différentes parties à considérer que des améliorations notables en termes de sûreté étaient nécessaires par rapport aux centrales nucléaires en exploitation ou en cours de construction, toutes de conception antérieure aux accidents de Three Miles Island et Tchernobyl, notamment concernant certains scénarios d'accidents avec fusion du cœur jusqu'alors non envisagés ou considérés comme suffisamment improbables pour ne pas mériter d'efforts supplémentaires en termes de conception. Un quatrième niveau visant à limiter les conséquences d'accidents avec fusion du cœur du réacteur avait déjà été introduit dans la défense en profondeur. Toutefois, pour certaines situations avec fusion du cœur au moins théoriquement envisageables, comme celles qui pourraient entraîner des phénomènes physiques rapides et fortement énergétiques conduisant à une défaillance à court terme du confinement des matières radioactives, il n'apparaissait pas possible de mettre en place des dispositions réalistes de réduction des conséquences. Il a, pour les nouveaux réacteurs en question, été visé d'« éliminer pratiquement » des situations de ce type. Dans ce contexte, le terme « pratiquement » ne doit pas être compris au sens de « presque » mais au sens de « en pratique ».

L'« élimination pratique » est donc une démarche essentiellement déterministe qui vise à rendre physiquement impossibles ou, à défaut, hautement improbables avec un haut degré de confiance, les situations d'accident grave pouvant entraîner une défaillance précoce du confinement des produits radioactifs afin de pouvoir considérer ces situations comme « exclues ». L'application de cette démarche devrait donc être limitée aux situations d'accident grave ne pouvant pas faire l'objet de dispositions raisonnables et démontrables de limitation de leurs conséquences. Cette position n'est toutefois pas toujours partagée au niveau international. En effet, des échanges récents mettent en évidence des interprétations variées de la démarche, une définition différente des situations auxquelles elle s'applique et un poids accordé à l'éclairage probabiliste plus ou moins important.¹⁰

Une démonstration rigoureuse de l'élimination pratique d'une situation n'est possible qu'en cas d'impossibilité physique. À défaut, le concepteur doit prendre « toutes

¹⁰ L'estimation d'une très faible probabilité d'occurrence peut conduire, dans certains cas, à ne pas exiger la mise en place de dispositions de prévention complémentaires à celles déjà retenues au titre de la défense en profondeur.

dispositions » de conception ou d'exploitation raisonnablement envisageables pour que la situation accidentelle puisse être considérée comme hautement improbable avec un haut niveau de confiance. Cela signifie que des dispositions aux exigences fortes doivent être mises en œuvre pour l'atteinte des objectifs fixés.

Le caractère hautement improbable des situations dont l'« élimination pratique » est recherchée est vérifié à l'aide des études probabilistes de sûreté (EPS). Leur utilisation doit toutefois être faite avec discernement compte tenu de l'impact et de la sensibilité des modèles utilisés et des hypothèses retenues sur les résultats. Lorsqu'un accident majeur survient, l'analyse montre souvent que sa probabilité avait été sous-estimée, dans l'industrie nucléaire comme dans d'autres industries. Aussi est-il nécessaire d'identifier les situations devant faire l'objet d'une démarche d'« élimination pratique » à un stade précoce de la conception d'un réacteur nucléaire et que les exigences qui en découlent soient discutées à ce stade¹¹.

L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi : l'appréciation des risques liés aux aléas naturels en question

À la suite de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi en 2011, les situations d'accident grave pouvant résulter d'aléas naturels ont été examinées de façon plus approfondie. Des limitations ont rapidement été mises en évidence. En effet, la prise en compte des situations de perte totale des sources d'alimentation en eau et en électricité affectant l'ensemble des installations d'un site nucléaire, qui pourraient être consécutives à la survenue d'aléas naturels supérieurs à ceux qui avaient été considérées jusqu'alors, implique de caractériser ces aléas. De plus, si des études probabilistes de sûreté relatives à l'aléa sismique ont été développées et ont apporté des enseignements qui ont contribué à des améliorations sensibles de la sûreté, le développement de ces études se heurte aux limites des connaissances concernant les aléas naturels et la vulnérabilité des installations à l'égard de ces aléas.

Ainsi, il devient nécessaire pour améliorer la sûreté des installations nucléaires de caractériser des aléas qui ont une période de retour nettement supérieure à 10 000 ans, c'est à dire qui ont beaucoup moins d'une chance sur 10 000 de survenir chaque année, et d'évaluer la tenue des structures et le comportement des équipements de l'installation en regard de tels aléas.

¹¹ « La démarche d'élimination pratique de situations accidentelles pour les réacteurs à eau de puissance » IRSN, 2017. <https://www.irsn.fr/dms-elimination>

L'avancée des connaissances relatives aux aléas naturels reste toutefois une priorité pour apprécier les enjeux et améliorer si nécessaire la sûreté des installations face aux événements rares. De nouvelles approches visant à mieux caractériser les aléas de très faible probabilité sont en cours de développement depuis quelques années.

Des approches nouvelles pour caractériser les aléas naturels

Des événements exceptionnels ont, au cours des années, conduit à des renforcements des protections des installations nucléaires françaises contre les aléas naturels : grands froids ayant affecté la disponibilité de la source froide de la centrale de Saint-Laurent des Eaux lors de l'hiver 1985, marée haute cumulée à des vents violents dans le cas de l'inondation partielle de la centrale du Blayais à la fin de l'année 1999, séisme et tsunami dans le cas de la centrale de Fukushima Daiichi en 2011. Ces exemples conduisent à reconsidérer l'approche sur laquelle se sont souvent et pendant longtemps reposés concepteurs et exploitants, qui consistait à prendre en compte les agressions externes dans la conception et le dimensionnement d'équipements en ne considérant pas ou peu les effets de leurs possibles combinaisons et l'ensemble des effets induits. Alors que les concepteurs et les exploitants s'attachaient à montrer que la contribution aux probabilités de fusion du cœur ou de rejets importants liées aux agressions externes n'est pas prépondérante, les événements précités soulignent les limites des connaissances utilisées.

Le traitement des agressions externes de façon générale dans l'approche déterministe, leurs cumuls ou combinaisons possibles y compris avec des défaillances internes, restent donc aujourd'hui des sujets de préoccupations. Des groupes de travail rassemblant des experts des exploitants et de l'IRSN ont été mis en place au niveau national par l'Autorité de sûreté nucléaire pour définir des approches de prise en compte des aléas et de leurs combinaisons ; des groupes de travail ont également été mis en place au niveau international, notamment sous l'égide du CSIN de l'AEN, pour améliorer les connaissances sur les aléas naturels et développer des méthodes d'évaluation de ces aléas et d'appréciation de la vulnérabilité des installations à l'égard des aléas insuffisamment pris en compte dans leur dimensionnement.

En France, l'un des enseignements tirés de l'inondation partielle du Blayais a été la nécessité de considérer des cumuls de phénomènes qui n'étaient pas envisagés jusque-là, tel que le cumul de vents violents et de « surcotes¹² » en tant que scénario

12 Une surcote correspond à la différence entre le niveau marin observé et la hauteur du niveau de marée prédit.

d'inondation pour les installations nucléaires situées en bord de mer ou d'estuaire. L'inondation de 1999 a également remis en cause la manière de constituer les échantillons de surcotes qui était utilisée jusqu'alors dans l'application des méthodes statistiques pour l'évaluation des risques d'inondation. En utilisant les données d'uniques stations de référence, les échantillons comportaient des points singuliers (ou « horsains »). Les points singuliers qui apparaissent dans une série statistique constituent une difficulté pour les experts, la façon dont ils sont ou non pris en compte pouvant conduire à une surestimation ou une sous-estimation des risques associés. À la suite de cette inondation, outre le renforcement des dispositions de protection des installations, de nouvelles approches ont été développées en France dans le domaine de la sûreté nucléaire par EDF et par l'IRSN, en vue d'élargir les bases de données utilisées pour caractériser les risques d'inondation (crues, pluies diluviennes...), en cherchant à y intégrer des données issues de zones géographiques plus étendues et remontant à des temps plus anciens. Des approches régionales ont d'abord été développées ; elles permettent d'élargir le périmètre de collecte d'événements pour disposer de données plus nombreuses. L'approche historique, fondée sur l'étude d'archives et des visites de terrain, permet par ailleurs de remonter à des événements parfois très anciens, et, à l'aide des historiens, de les interpréter. Cette approche est enrichie dans le cadre d'un groupe de travail « Tempêtes et submersions historiques » qui rassemble une communauté scientifique multidisciplinaire (historiens, géographes, hydrologues, statisticiens...) et vise un partage des connaissances au-delà du seul enjeu de la sûreté nucléaire. Le couplage des approches historiques et régionales est maintenant utilisé de façon opérationnelle, pour les niveaux marins, dans les évaluations de sûreté.

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté menées en France à la suite de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi¹³, les exploitants ont tout d'abord mis en avant les marges résultant des approches prudentes mises en œuvre lors de la conception de leurs installations du fait des conservatismes des méthodes et des codes de conception et de construction employés. Mais ces marges sont difficilement quantifiables et peuvent évoluer dans le temps, du fait de phénomènes de vieillissement ou d'écarts de conformité, d'où l'insistance des organismes de sûreté à un traitement renforcé de ces écarts. La mise en place en cours dans les installations nucléaires françaises d'un « noyau dur » de dispositions permettant de faire face à des situations de perte totale des sources de refroidissement d'installations en cas d'aléas dits « extrêmes » vise à renforcer leur résistance à l'égard de ces aléas et constituera une amélioration significative de leur

13 Des évaluations complémentaires de sûreté ont été menées sur les installations nucléaires françaises, à la demande du Premier Ministre, à la suite de l'accident. Elles visaient à apprécier le comportement de ces installations pour des aléas naturels supérieurs à ceux considérés lors de leur conception.

sûreté. Toutefois, la détermination d'aléas de très faible probabilité (et de forte intensité) à partir de données limitées à des aléas plus fréquents (et de moindre intensité) par extrapolation statistique nécessite de poursuivre les efforts pour tirer parti des informations régionales et historiques. Cette approche, opérationnelle à ce jour, doit être complétée dans le futur par l'exploitation de modélisations de la physique des phénomènes et de leurs possibles cumuls qui sont aujourd'hui du domaine de la recherche, et ce pour l'ensemble des aléas naturels.

Concernant les risques associées aux séismes, les caractéristiques peu communes du séisme du Teil, qui s'est produit récemment¹⁴ dans la région de Montélimar, soulignent la difficulté de l'évaluation de l'aléa sismique dans des régions de sismicité modérée comme la France, ainsi que la nécessité de l'identification, pour les différents sites, des failles potentiellement actives pour caractériser les séismes à très longues périodes de retour (au-delà de milliers d'années) qui pourraient les affecter ; ce travail est indispensable pour l'étude des événements rares sachant que les connaissances issues de l'analyse de la sismicité historique sur lesquelles est largement fondée la conception des installations existantes ne couvrent qu'environ 1 000 ans. Là encore, le couplage d'approches régionales et historiques devrait permettre de produire des connaissances nouvelles utiles à la maîtrise des risques même si elles resteront affectées d'incertitudes.

Ces approches doivent encore être consolidées pour pouvoir être pleinement utilisées dans le travail d'expertise, lequel doit reposer sur une connaissance aussi objectivement fondée que possible, sur des approches validées scientifiquement, alors que certains développements relèvent encore pour beaucoup de la recherche scientifique. La mutualisation des efforts avec la recherche académique doit être encouragée pour produire de nouvelles connaissances.

Le développement de méthodes mathématiques innovantes doit être encouragé et pourrait permettre de confirmer le caractère suffisant des dispositions déjà prises ou, au contraire, mettre en évidence l'intérêt de renforcement de la robustesse des installations. Toutefois, aussi susceptibles qu'elles soient d'apporter des connaissances nouvelles, ces méthodes comporteront toujours des incertitudes. Leurs apports devront donc respecter des conditions qui restent à définir pour pouvoir être utilisées pour la démonstration de sûreté.

¹⁴ Séisme survenu le 11 novembre 2019 et ayant affecté en particulier la commune du Teil.

Des développements à poursuivre pour progresser encore dans l'appréciation des risques

Si l'expert est souvent considéré comme le sachant et l'expertise comme un processus conduisant à un résultat objectif, cela est pour le moins à relativiser pour les systèmes complexes et encore plus lorsqu'on s'intéresse aux événements rares. L'évaluation de tels risques s'appuie en effet sur des éléments de connaissance qui ne sont pas définitifs et qui sont entachés d'incertitudes. Les débats contradictoires entre les acteurs concernés, notamment les industriels, les organismes de sûreté et la société civile, que nourrissent ces incertitudes, contribuent à l'expertise. Tout accident majeur conduit inévitablement à s'interroger sur les apports et les limites des démarches en vigueur et à imaginer, le cas échéant, de nouvelles méthodes, plus adaptées et plus efficaces. Les avancées scientifiques conduisent également régulièrement à se réinterroger sur les hypothèses retenues à la conception des installations.

Si l'analyse du retour d'expérience et les travaux de recherche et développement ont permis des améliorations importantes de la sûreté des réacteurs nucléaires, y compris de ceux qui ont été mis en service dans les années 1970, ces travaux doivent se poursuivre et des développements de méthodes restent nécessaires pour progresser dans l'appréciation des risques et dans l'identification des effets falaise. Les échanges entre experts et chercheurs, au niveau national comme un niveau international, y contribuent.

4

LA GESTION D'UNE SITUATION POST-ACCIDENTELLE : UN PROCESSUS ESSENTIELLEMENT SOCIÉTAL

Une situation post-accidentelle consécutive à un accident nucléaire se caractérise par une forte complexité tant pour les personnes affectées que pour l'ensemble des gestionnaires du processus de réhabilitation. Cette complexité tient, de manière générale, à deux aspects. D'une part, la contamination radioactive d'un territoire affecte l'ensemble des composantes de la vie quotidienne des habitants, ainsi que l'ensemble des services publics et privés d'un territoire. D'autre part, à la différence par exemple d'une catastrophe naturelle (inondation, séisme...), la situation de contamination radioactive des territoires conduit à considérer une échelle de temps très importante (de l'ordre de plusieurs décennies voire au-delà).

Dans ce contexte, il est important de prendre en compte les retours d'expérience des accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi afin de s'appuyer sur les enseignements tirés pour améliorer la préparation à la gestion d'une situation post-accidentelle¹⁵.

15 Bibliographie :

- Schneider, T., Maître, M., Lochard, J., Charron, S., Lecomte, J.-F., Ando, R., Kanai, Y., Kurihara, M., Kuroda, Y., Miyazaki, M., Naito, W., Orita, M., Takamura, N., Tanigawa, K., Tsubokura, M., Yasutaka, T. The role of radiological protection experts in stakeholder involvement in the recovery phase of post-nuclear accident situations: Some lessons from the Fukushima-Daiichi NPP accident (2019) Radioprotection, 54, pp. 259-270.
- Gariel, J.C., Rollinger, F., Schneider, T. The role of experts in post-accident recovery: lessons learnt from Chernobyl and Fukushima (2018) Annals of the ICRP, 47 (3-4), pp. 254-259.

La situation post-accidentelle : complexité et multi dimensionnalité

La complexité d'une situation post-accidentelle s'exerce à plusieurs niveaux : au niveau des individus et des communautés affectées mais aussi de l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion de la réhabilitation.

À l'échelle des individus, la contamination radioactive d'un territoire crée une perturbation majeure et durable de toutes les composantes de la vie quotidienne qui affecte donc la qualité de vie et le bien-être des populations touchées. Les principales perturbations sont les suivantes :

- une appréhension vis-à-vis de la qualité de l'environnement en lien avec la contamination radioactive ;
- un doute sur la sécurité et la qualité des denrées alimentaires ;
- des liens familiaux affectés par la situation du fait de la variété des réactions vis-à-vis de cette situation inédite ;
- une appréhension forte vis-à-vis de l'avenir, en particulier celui des enfants ;
- des tensions dans les relations sociales du fait de choix de vie différents entre voisins et connaissances (certains souhaitent partir, d'autres rester...);
- des perturbations importantes dans le domaine de l'éducation, de la santé ainsi que dans le domaine professionnel du fait de la désorganisation du système socio-économique.

Cette situation complexe, du fait de son caractère multidimensionnel, conduit les personnes affectées à se retrouver devant un dilemme qui peut se résumer par les questions suivantes :

- Pour ceux qui sont encore présents sur le territoire affecté : dois-je rester ou dois-je partir ?
- S'ils sont partis, volontairement ou non : dois-je revenir ou non ?

Quelle que soit la situation considérée, on comprend aisément qu'il n'existe pas de réponse simple à ces questions.

Au-delà de l'aspect individuel, cette complexité s'exerce tout autant au niveau des communautés. La vie sociale est en effet fortement perturbée ce qui conduit à un amoindrissement de la cohésion de la communauté. Cette perte de cohésion peut aussi être accentuée par le sentiment d'inéquité lié à la mise en œuvre des décisions prises par les autorités nationales et locales. Par exemple, la mise en place d'un système de dédommagement s'appuie le plus souvent sur des limites administratives qui peuvent

conduire à ce que deux familles habitant de part et d'autre de cette limite ne percevront pas les mêmes compensations, situation créatrice de tensions. Enfin, les perturbations de la vie économique ont des conséquences majeures tout comme celles affectant le système social et les services publics et privés.

Le cadre professionnel peut aussi se trouver bouleversé. Les emplois peuvent être perdus ou modifiés, les conditions de travail doivent être adaptées. L'agriculture est généralement la plus affectée mais les autres filières ont aussi à gérer les conséquences d'une éventuelle contamination des lieux de travail et des productions. Les services doivent être rétablis, parfois en les réaménageant. Les anciens collègues peuvent ne pas être revenus tandis que de nouveaux travailleurs arrivent – parfois sans leur famille – pour combler les manques ou assurer le démantèlement de l'installation accidentée et la reconstruction du territoire affecté.

De manière générale, l'ensemble de ces perturbations contribuent à exacerber la défiance des personnes affectées vis-à-vis des autorités nationales et des experts institutionnels et comme cela a été observé dans la préfecture de Fukushima, certaines vont se tourner vers les autorités locales et plus particulièrement vers les maires. Ceux-ci se retrouvent alors dans une situation délicate consistant à contribuer à la mise en œuvre des décisions nationales tout en prenant en compte les besoins et attentes des personnes affectées. **L'échelon local apparaît ainsi comme un lieu où se cristallisent les tensions entre les décisions prises au niveau national et les inquiétudes et attentes des communautés locales, parfois divergentes ou d'une autre nature.**

Quelles sont les conditions facilitant la réhabilitation pour les populations et les territoires affectés ?

La première condition, qui est la base du processus de reconstruction, est la possibilité pour les personnes et les communautés affectées d'avoir accès à des informations fiables et aisément compréhensibles qui leur permettront d'appréhender et d'évaluer la situation radiologique tant au niveau individuel (i.e. pour l'ensemble des activités de la vie quotidienne, permettant notamment de situer sa propre situation par rapport à celle d'autres personnes) **que collectif** (au niveau des communautés). Cette étape nécessite l'accompagnement d'experts dont on verra plus loin qu'ils ont un rôle essentiel à jouer tout en prêtant une attention particulière à leur posture vis-à-vis des populations affectées. Le rôle de ces experts est de fournir des informations sur l'exposition aux rayonnements ionisants, de procéder à des mesures, voire d'accompagner les habi-

tants dans la réalisation de ces mesures et d'aider à en interpréter les résultats. Il s'agit là de rendre visible (à travers les mesures) ce qui est invisible (la radioactivité). L'appréciation de la situation radiologique par les habitants est un élément clé pour qu'ils construisent leurs propres repères, soient en mesure de prendre des décisions éclairées pour leur protection et également puissent juger de l'efficacité des actions mises en œuvre par eux-mêmes et les pouvoirs publics.

Une seconde condition pour faciliter le processus de réhabilitation est la capacité de la communauté à répondre et à réagir à cette situation inédite et fortement déstabilisante. Il s'agira :

- d'inventer de nouvelles formes de collaborations avec l'ensemble des parties prenantes (qu'il s'agisse des experts, des professionnels, des autorités locales ou nationales, de la société civile...) dans un contexte de tension et de défiance. Créer les conditions d'une confiance réciproque étant l'une des clés du processus de réhabilitation ;
- de donner aux habitants les moyens d'avoir une « prise » sur la situation radiologique en les impliquant directement dans les processus de décisions et les actions qui seront mises en œuvre par les autorités locales et nationales pour réduire l'exposition des populations (actions de décontamination, stockage des déchets...).

Quels défis pour les acteurs du processus de réhabilitation ?

Si la situation post-accidentelle est d'une rare complexité pour les habitants affectés, sa gestion est toute aussi complexe pour l'ensemble des acteurs du processus de réhabilitation. La complexité pour ces derniers provient principalement du caractère multidimensionnel de la situation qui nécessite que tous les acteurs agissent de manière coordonnée. Comme une telle situation présente de nombreux aspects inédits, chaque autorité ou chaque expert aura tendance à agir de manière isolée sans apprécier et prendre en compte l'ensemble des enjeux. Les experts en radioprotection auront tendance à se focaliser sur les niveaux, les mesures, les actions de protection à élaborer et mettre en œuvre, sans toujours prendre en considération les contraintes issues des autres aspects à traiter. Ceci peut conduire à des situations où des mesures contradictoires peuvent être prises par les différents décideurs.

Dans ce contexte, la construction d'un dialogue pluraliste et pluriel entre les autorités, les experts et les personnes affectées est un élément clé. L'expérience de Fukushima a montré l'utilité de ce type de dialogue.

Par ailleurs, il est important que les experts veillent à observer une stricte neutralité dans le cadre de l'exercice de leur activité et fassent preuve d'équité dans le support et l'accompagnement qu'ils apportent à l'ensemble des personnes affectées quel que soit leur choix ou leur décision. Confronté à une situation non voulue et inédite, il existe une variété de réactions de chacun d'entre eux que l'expert se doit de respecter. La diversité des choix des habitants peut conduire à l'apparition de tensions et de divisions au sein des communautés que les acteurs extérieurs devront veiller à ne pas exacerber par des prises de positions qui seraient susceptibles d'altérer la cohésion des communautés.

En résumé et en toutes circonstances, la ligne de conduite des experts et des autorités doit être de respecter les choix individuels et ceux des communautés.

Le processus de réhabilitation est un processus sociétal

Comme décrit précédemment, le processus de gestion d'une situation post-accidentelle est largement sociétal. Les retours d'expérience des accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi montrent que l'implication des personnes affectées et des communautés auxquelles elles appartiennent est un enjeu majeur de la réhabilitation. Pour l'ensemble des champs couverts (décontamination, gestion des déchets, levée des restrictions et de l'évacuation, réhabilitation de la vie sociale et économique...), l'établissement d'un dialogue entre l'ensemble des acteurs impliqués, dont les personnes affectées, est une nécessité pour co-construire les mesures à mettre en œuvre. Les décisions doivent être prises en concertation avec l'ensemble des parties concernées. Dans ce processus, le rôle des autorités locales, et spécialement des maires, est fondamental pour répondre aux attentes de la population qui peuvent être diverses, voire contradictoires.

L'implication des acteurs locaux évolue au cours du temps

En lien avec l'évolution au cours du temps de la situation après un accident nucléaire (phases d'urgence, de transition et de long-terme), l'implication des populations locales peut être modulée en fonction des enjeux. Durant la phase d'urgence, la principale préoccupation des autorités est la protection sanitaire des populations en se basant sur des

valeurs repères. Durant cette phase, l'évaluation du risque, la communication associée ainsi que les actions de protection sont mises en œuvre par les autorités (nationales et locales) avec une concertation limitée compte tenu de l'urgence et des circonstances. Dès la phase de transition, il est important d'interagir avec la société civile et en particulier d'impliquer des habitants dans le processus de caractérisation radiologique. Cette implication est facilitée par le développement rapide de moyens de mesures radiologiques simples à utiliser et fiables. C'est à travers cette caractérisation conjointe que pourront être élaborées et mises en œuvre des actions de protection, sur la base d'une compréhension partagée de la situation radiologique. Le temps passant, la finalité des actions entreprises s'élargit pour englober d'une façon générale la restauration des conditions de vie dans une multiplicité de champs (social, économique...), la question de la protection radiologique ne devenant qu'une composante parmi toutes les autres. Cet infléchissement correspond à un approfondissement de l'interaction entre les différentes parties prenantes.

Quel rôle pour les experts en radioprotection en situation post-accidentelle ?

Une observation commune aux accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi est le contexte de défiance des personnes affectées vis-à-vis des autorités et des experts institutionnels. L'une des raisons expliquant celle-ci, notamment pour les experts institutionnels, est le sentiment, par la population affectée, que ces experts adoptaient une posture de sachant et délivraient des informations de manière « top-down » ne considérant pas les attentes de la population et ne prenant pas en compte la situation de vulnérabilité dans laquelle elle se trouvait. Ceci explique en partie le recours à des experts souvent issus du monde académique choisis par les autorités locales ou non-institutionnels engagés à titre personnel. Ces experts sont généralement considérés comme plus indépendants des autorités et du milieu nucléaire, et plus à l'écoute des préoccupations des habitants. Les témoignages rapportés par plusieurs de ces experts japonais permettent de tirer quelques leçons sur le dialogue autour du risque radiologique. Il apparaît ainsi que :

- ce dialogue ne doit pas avoir pour objectif de rassurer les habitants dans le contexte d'incertitudes qui caractérise l'exposition aux faibles doses ;
- qu'il doit être cohérent avec l'état de l'art des connaissances scientifiques et empreint d'humilité, au regard des incertitudes et limites de connaissances ;
- que la vulnérabilité des personnes affectées dans une situation totalement inédite doit être prise en compte.

Il apparaît aussi important que les experts accompagnent les habitants et les communautés dans leurs initiatives locales, notamment celles visant à mieux comprendre et évaluer la situation radiologique. Les experts doivent adopter une posture d'écoute leur permettant de respecter les cheminements et les points de vue et de travailler sur le terrain avec les habitants. Ils s'efforcent d'apporter des éléments de réponse aux questions et préoccupations des personnes affectées et contribuent au partage de connaissances avec celles-ci. Ce faisant, ils veillent à faciliter la montée en compétence des acteurs locaux et à renforcer leur capacité à agir. La promotion d'initiatives telles que les campagnes de mesures radiologiques ou encore le contrôle de la radioactivité des produits alimentaires locaux peut y contribuer.

Un autre enseignement est la nécessité pour les experts en radioprotection de porter attention à ne pas travailler de manière isolée dans leur propre champ d'expertise mais de collaborer avec les experts d'autres champs d'action (santé, sécurité alimentaire, acteurs socio-économiques...). Cette approche holistique permettra d'éviter que soient prises et mises en œuvre des mesures aux effets contradictoires.

Rapprocher les experts et les personnes affectées : le processus de co-expertise

Les expériences de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi ont montré qu'un des moyens, parmi d'autres, pour les experts en radioprotection d'engager un dialogue dans la durée avec les individus et les communautés affectés était l'implémentation d'un processus de co-expertise.

L'objectif du processus de co-expertise est d'impliquer les parties prenantes, dont les habitants affectés, dans le processus de gestion de la situation post-accidentelle afin d'une part d'améliorer leur protection radiologique par le développement d'une culture de radioprotection et d'autre part de restaurer leurs conditions de vie.

Plusieurs étapes peuvent être identifiées dans la mise en place de ce processus :

- l'établissement d'un dialogue en identifiant les difficultés et les défis rencontrés par la population ;
- l'implication des personnes affectées dans la mesure de la radioactivité afin de leur donner les moyens d'évaluer leur exposition et de se construire leur propre référentiel, notamment en comparant leur exposition avec celles des autres, au sein de la communauté ou au-delà ;

- l'identification, à la suite de cette caractérisation de la situation radiologique, des actions de protection, y compris d'autoprotection, et leur mise en œuvre ;
- enfin, l'organisation d'une vigilance « citoyenne » et l'implémentation de projets locaux visant à restaurer des conditions de vie soutenables au niveau de la communauté à travers des actions d'ordre social et économique.

Un préalable à la mise en œuvre de ce processus de co-expertise est la mise à disposition de moyens de mesure de la radioactivité au niveau individuel, simples et faciles à utiliser, que les technologies actuelles permettent de déployer de manière relativement aisée.

L'implication locale des experts dans les situations post-accidentelles doit s'appuyer sur des principes éthiques

Dans un contexte où les personnes affectées sont dans une situation de forte vulnérabilité liée à la perturbation majeure de l'ensemble des repères qui guidaient leur vie quotidienne, les experts intervenant auprès d'eux doivent voir leurs actions guidées par des principes éthiques. Le principe essentiel est celui du respect de l'autonomie et de la liberté de choix et de décision des personnes et communautés affectées. Dans la pratique cela signifie :

- que l'implication des habitants doit être basée sur le volontariat ;
- que les experts fassent preuve de transparence dans leur communication, insistant sur ce que l'on sait d'un point de vue scientifique et sur ce que l'on ne sait pas ;
- que les experts évitent de porter un jugement sur les choix et décisions individuels, et apportent leur soutien à l'ensemble des personnes affectées sans exception ;
- que les experts puissent, à tout moment, rendre compte de leurs paroles et de leurs actes.

Dialogue, autonomie, expertises partagées

Les expériences à la suite des accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi ont montré la complexité des situations post-accidentelles ainsi que leur caractère multidimensionnel et fortement perturbant pour les individus et les communautés.

Le premier enseignement tiré est l'importance de l'implication de l'ensemble des parties prenantes dans l'évaluation et la gestion de ces situations mais aussi dans la préparation en amont. L'enjeu n'est pas seulement la protection radiologique mais la

restauration de conditions de vie soutenables pour les personnes affectées. Or, dans ces situations, une altération de la confiance de la société civile envers ses organes institutionnels – politiques, administratifs ou techniques – a été observée. Il apparaît dès lors indispensable que toutes les parties prenantes coopèrent aussi étroitement que possible – autorités nationales et locales, experts de différentes disciplines, qu'ils soient institutionnels ou non, société civile et acteurs économiques, etc. – dans l'établissement et la mise en œuvre d'un processus de réhabilitation ouvert et transparent.

Dans ces situations, beaucoup de problèmes se traitent à l'échelon local et c'est à ce niveau que les experts en radioprotection devraient s'engager en priorité, en s'appuyant sur des principes éthiques. En adoptant une posture d'écoute et de respect du choix de chacun, ils peuvent contribuer à répondre aux attentes et préoccupations des individus et des communautés, faciliter les initiatives visant à mesurer la radioactivité pour la rendre visible et, à travers des processus de co-expertise, favoriser l'émergence d'une culture pratique de radioprotection qui permettra aux acteurs locaux de retrouver une certaine autonomie et prendre des décisions plus éclairées. Il ressort de tous ces enseignements que la question n'est pas de savoir si les personnes affectées ont confiance dans les experts mais davantage comment les experts font confiance aux initiatives des personnes et communautés affectées.

Au final, le processus de réhabilitation sera dépendant de la capacité des parties prenantes à penser et à agir ensemble, ce qui ira bien au-delà de la somme des capacités d'action individuelles.

5

LES POPULATIONS APRÈS L'ÉVACUATION

L'une des actions de protection pouvant être mise en œuvre lors d'un accident nucléaire est l'évacuation des populations dans le but d'éviter leur exposition aux rejets radioactifs et donc à la radioactivité. Cette évacuation peut être décidée par les autorités soit de manière préventive (c'est-à-dire avant le début des rejets), soit après les rejets et la caractérisation de la situation radiologique de l'environnement. Par ailleurs, comme cela a été observé lors de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi en 2011, des habitants de la zone concernée par des rejets potentiels ou réels peuvent décider de leur propre initiative de quitter leur domicile pour s'éloigner (« auto-évacuation »).

Environ 300 000 personnes auraient évacué la zone proche de la centrale de Fukushima Daiichi, la moitié sur ordre des autorités et l'autre moitié de leur propre initiative (parfois sur recommandation des autorités). Une telle opération, même si elle est nécessaire, n'est pas simple à réaliser, surtout dans l'urgence et dans un contexte de dégâts occasionnés par le tremblement de terre et le tsunami. Elle entraîne inévitablement des dommages, en particulier aux personnes vulnérables et dépendantes. Après la mise en place d'un zonage « post-accidentel » (dénommé SDA pour « Special Decontamination Area »), environ 150 000 personnes ont été relogées par les autorités dans l'attente de la levée des ordres d'évacuation.

Près de dix ans après l'accident, il est estimé que moins de 20 000 personnes sont retournées dans leurs habitations, étant entendu que près de 24 000 habitants ne pourront probablement jamais rentrer chez eux car leurs habitations sont situées dans la zone dite « de retour difficile » qui est fortement contaminée et qui, jusqu'à ce jour, n'a fait l'objet d'opérations de décontamination que de manière ponctuelle. Cette faible dynamique de retour est révélatrice des difficultés que pose la gestion à long terme des conséquences d'une contamination importante d'un territoire¹⁶.

16 Bibliographie :

– Crouail, P., Schneider, T., Gariel, J.-C., Tsubokura, M., Naito, W., Orita, M., Takamura, N. Analysis of the modalities of return of populations to the contaminated territories following the accident at the Fukushima power plant (2020) Radioprotection, 55, pp. 79-93.

L'évacuation : une action de protection délicate à mettre en œuvre et non sans risque

Le retour d'expérience de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi démontre la complexité de la réalisation d'une évacuation. L'expérience japonaise a mis en évidence plusieurs points-clés à considérer lors de la mise en œuvre d'une telle mesure, étant entendu que l'accident nucléaire était lui-même la conséquence de deux catastrophes naturelles (séisme, tsunami) qui ont complexifié la gestion du seul accident nucléaire.

- La préparation des autorités et des populations est primordiale pour limiter l'improvisation. La chronologie des ordres, leur nature variée (par exemple, l'évacuation a été recommandée dans certaines zones et imposée dans d'autres), le processus par étapes (avec notamment l'évacuation à répétition lorsque les points de regroupement se trouvent en territoire contaminé), le manque de visibilité sur la durée de l'évacuation et sur son terme, la définition des zones d'évacuation et leur variation au cours du temps ont créé une impression d'improvisation parmi les populations affectées et ont accru le sentiment de défiance vis-à-vis des autorités. On ne peut qu'insister sur l'importance de conduire des exercices régulièrement pour améliorer la préparation des services publics et des populations.
- Le choix de la localisation des zones de regroupement des évacués est essentiel et doit pouvoir s'adapter aux conditions du moment. Il ne sera jamais possible de prévoir les zones de contamination et plusieurs options doivent pouvoir préexister afin de regrouper les personnes évacuées dans des lieux sûrs et non susceptibles d'être affectés par de la contamination. Plusieurs exemples ont montré que durant l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, des populations avaient été regroupées dans des zones plus contaminées que celles qu'elles avaient quittées ce qui a nécessité de les déplacer à nouveau.
- Enfin, l'évacuation des personnes vulnérables et dépendantes et des établissements qui les accueillent est une question centrale qui doit faire l'objet d'une préparation et d'une anticipation spécifique. On peut citer l'exemple de la maison de retraite du village d'Iitate au Japon qui, à la suite de la décision de son maire, n'a pas fait l'objet d'une évacuation malgré les instructions en ce sens émises par les autorités. Cette décision s'est traduite, pour cet établissement, par un taux de décès inférieur à celui qui a été observé dans des établissements du même type ayant fait l'objet d'une évacuation.

L'évacuation et le relogement affectent profondément les conditions de vie et la santé des personnes affectées

À la suite de leur évacuation, les habitants ont été hébergés dans des logements temporaires. Malgré les efforts des municipalités, ce relogement a fortement affecté la cohésion des communautés locales. Alors que les personnes âgées restaient dans les logements temporaires, les familles ont majoritairement choisi d'acheter ou de louer un logement ailleurs au Japon. Le constat est que plusieurs années après l'évacuation, la majorité des occupants des logements temporaires sont des personnes de plus de 70 ans tandis que les plus jeunes générations ont refait leur vie ailleurs. Au-delà de la perte de cohésion de la communauté, cette situation a aussi conduit à la dislocation des familles et à l'accroissement du sentiment d'isolement des générations les plus âgées. Cette perte de cohésion a par ailleurs pu être accentuée par le système d'indemnisation. En effet, celui-ci a été basé sur le zonage radiologique post-accidentel ce qui a pu conduire des familles très proches géographiquement à percevoir des indemnisations dans des proportions allant de 1 à 10. Les sentiments d'injustice et d'iniquité qui en ont découlé, ont conduit à des ruptures et des clivages dans les relations sociales.

De manière évidente, ces conditions d'évacuation et de relogement ont largement affecté la santé des personnes déplacées. Alors que les niveaux d'exposition interne ou externe de la population à la radioactivité sont restés relativement peu élevés entraînant des conséquences sanitaires qui seront difficiles à quantifier, il n'en est pas de même pour les conséquences indirectes de l'évacuation et celles liées aux changements de conditions de vie.

Plusieurs études ont montré que l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi avait conduit à environ 2 000 décès « indirects », c'est-à-dire non liés à l'exposition aux rayonnements ionisants, notamment chez les personnes les plus vulnérables (personnes âgées, malades...).

Par ailleurs, du fait de la détérioration de leurs conditions de vie liée à l'évacuation, des effets sur la santé non liés à l'exposition aux rayonnements ionisants ont été observés dans des cohortes d'habitants évacués. Il s'agit de diabète ou encore de la dégradation d'indicateurs d'effets tels que l'IMC, la pression artérielle ou encore le taux de cholestérol... Ce type d'effets sur la santé a aussi été observé sur des personnes non évacuées mais habitant à proximité des zones les plus contaminées en raison du stress consécutif à la modification de leur environnement.

Après la levée des ordres d'évacuation : le difficile choix entre rentrer ou ne pas rentrer

Après la levée des ordres d'évacuation, la dynamique de retour est impactée par le difficile choix individuel du retour, les critères radiologiques définis par les autorités et la mise en œuvre des actions permettant de les respecter.

Entre juillet 2012 et août 2013, un zonage post-accidentel a été mis en place de façon graduelle dans les territoires les plus contaminés. Trois zones ont été définies sur des critères radiologiques :

- une zone verte où les ordres d'évacuation étaient prêts à être levés moyennant une dose annuelle externe ne dépassant pas 20 mSv/an ;
- une zone orange qualifiée de zone de « résidence restreinte » où seules des activités professionnelles ou l'occupation de logements uniquement en journée étaient autorisées. Cette zone correspondait à une exposition comprise entre 20 et 50 mSv/an ;
- enfin, une zone rouge dite « à retour difficile » où le retour des habitants n'est pas envisageable avant une période longue. Dans cette zone, la dose annuelle dépassait 50 mSv/an.

Afin de permettre le retour des populations, des opérations de décontamination ont été conduites dans les zones verte et orange dès 2013 tandis que les autorités définissaient trois critères pour permettre la levée des ordres d'évacuation au niveau d'une commune :

- 1| l'achèvement des opérations de décontamination sur l'ensemble de la commune (opérations menées sous la conduite de l'État), jusqu'à ce que la dose individuelle ne dépasse pas 20 mSv par an ;
- 2| la réhabilitation ou la reconstruction des infrastructures (eau, gaz, électricité, centres de santé, commerces, services administratifs, écoles...) ;
- 3| une concertation avec l'ensemble des habitants.

En pratique, la levée des ordres d'évacuation s'est avérée un processus complexe et long. Il a été mis en œuvre par étapes, en raison des délais plus ou moins étendus pour satisfaire les trois critères dans chaque commune concernée. Au sein des populations affectées, la question cruciale qui s'est posée à chaque individu, selon où il se trouvait, était de rester ou de partir, ou bien, s'il était évacué, de revenir ou non dans les territoires quittés. Ce choix difficile dépend d'une multitude de facteurs, notamment : la conviction que la protection radiologique sera assurée pour soi et ses proches, dans un contexte d'incertitudes et de controverse, la disposition d'un logement (le même ou un nouveau),

la restauration des infrastructures (services, réseaux...), le maintien d'une activité professionnelle (la même ou une autre, éventuellement avec des conditions d'exercice aménagées), l'accueil des enfants (école, crèche, garderie) – leur protection étant une priorité –, la réorganisation des activités sociales au sein des communautés – sachant que les voisins ou autres relations ont pu changer – ainsi que la reprise d'activités récréatives et culturelles.

La décision de chacun doit être éclairée, respectée et accompagnée. Il n'en reste pas moins que la diversité des choix a pu conduire à des divergences au sein des familles ou des communautés, contribuant à en altérer la cohésion. Ces phénomènes n'ont pas facilité l'élaboration de projets communs de développement au niveau local.

S'agissant des opérations de décontamination, leur achèvement est déterminé par l'atteinte d'un objectif en termes d'exposition des habitants (pas au-delà de 20 mSv par an). À cet effet, les autorités ont défini dans un premier temps la valeur de débit de dose correspondante, à savoir 3,8 $\mu\text{Sv/h}$ selon le scénario retenu. Ce niveau a été contesté notamment par les parents qui considéraient inapproprié d'utiliser pour leurs enfants un critère s'appliquant habituellement aux travailleurs. En conséquence, les autorités ont abaissé ce niveau à 0,23 $\mu\text{Sv/h}$, correspondant à 1 mSv/an en dose ajoutée. Cette question des seuils a notamment conduit des parents à restreindre les sorties en plein air de leurs enfants. Le défaut d'exercice a contribué à une augmentation du taux d'obésité chez les jeunes dans la région de Fukushima.

Les opérations de décontamination ont en outre généré une quantité considérable de déchets qui ont été, durant plusieurs années, entreposés dans les municipalités. Ces entreposages qui dégradent les paysages et pouvaient constituer une source de re-contamination (par exemple en cas de pluies intenses) ont aussi constitué un frein au retour des populations.

Dix ans après, un taux de retour faible

De manière générale, le taux de retour dans les territoires décontaminés de la SDA est, dix ans après, faible. Le tableau 1 (*voir aussi la figure 1*) résume la situation fin 2020 et permet de constater que le taux de retour moyen dans douze municipalités concernées est d'environ 20 %. On notera qu'il existe une claire corrélation entre la date de levée de l'ordre d'évacuation et le taux de retour : plus celle-ci est tardive, moins le taux de retour est élevé.

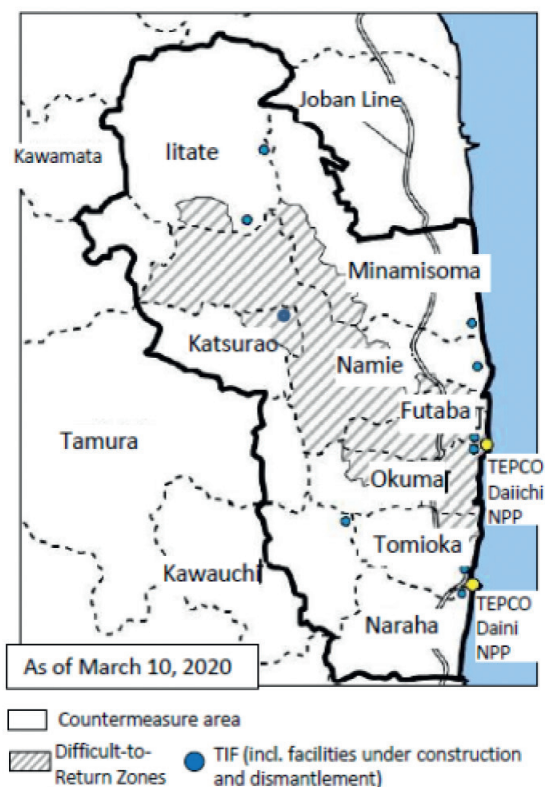
Tableau 1 : Évolution de la population entre 2011 et 2020 dans les communes ayant fait l'objet d'un ordre d'évacuation.

Commune	Date de levée de l'ordre d'évacuation	Statut de la levée de l'ordre d'évacuation	Nb. de personnes inscrites comme résidants en mars 2011	Nb. d'habitants permanents en déc. 2020	Taux de retour en déc. 2020	Source
Hirono	Sept. 2011	Totale	5 490	4 216	77 %	https://www.town.hirono.fukushima.jp/index.html
Tamura Miyakoji	Avr. 2014	Totale	380	214	56 %	http://www.city.tamura.lg.jp/soshiki/8/hinanzyoukyou.html
Kawauchi	Oct. 2014	Partielle	3 038	2 523	83 %	http://www.kawauchimura.jp/page/dir000112.html
Naraha	Sept. 2015	Totale	8 011	4 038	50 %	https://www.town.naraha.lg.jp/admin/cat337/006099.html
Katsurao	Juin 2016	Partielle	1 567	327	21 %	https://www.katsurao.org/life/4/20/65/
Minamisoma Odaka	Juil. 2016	Partielle	12 842	4 293	33 %	https://www.city.minamisoma.lg.jp/portal/admin/tokeijoho/5307.html
Kawamata Yamakiya	Mars 2017	Totale	1 259	343	27 %	https://www.town.kawamata.lg.jp/site/sin-sai-saigai/yamakiyatikukyojuuyoukyou.html
Iitate	Mars 2017	Partielle	6 509	1 482	23 %	http://www.vill.iitate.fukushima.jp/soshiki/2/424.html
Namie	Mars 2017	Très limitée	21 434	1 554	7 %	https://www.town.namie.fukushima.jp/
Tomioka	Avr. 2017	Partielle	15 960	1 568	10 %	https://www.tomioka-town.jp/saigai-fukko/2201.html
Okuma	Avr. 2019	Très limitée	11 505	283	2 %	https://www.town.okuma.fukushima.jp/soshiki/jumin/1007.html
Futaba	Zone 3		7 140	0	0 %	https://www.town.fukushima-futaba.lg.jp/5873.htm
Total			~ 95 000	~ 21 000	22 %	

Pour illustrer la faible dynamique du retour des populations, on peut citer l'exemple de la ville de Naraha. Dans cette ville, l'ordre d'évacuation a été levé en 2015 et, à cette époque, une enquête menée par l'agence pour la reconstruction a montré que moins de la moitié de la population envisageait un retour imminent, un quart était hésitante et le dernier quart ne souhaitait pas rentrer. Une année plus tard, moins de 10 % des habitants étaient rentrés et un total de 25 % l'était l'année suivante. Ce n'est qu'en 2017 que la population de Naraha a retrouvé environ 50 % de sa population initiale. L'observation de ce décalage entre l'intention affichée et la dynamique réelle de retour des habitants traduit

la difficulté de décision de ces derniers dans un contexte de forte incertitude tant sur l'appréciation du risque radiologique que sur celle des conditions de vie à travers leur appréhension de la restauration des infrastructures. De ce point de vue, une enquête menée par l'université de Fukushima en 2012 a montré que la situation radiologique était citée par les évacués comme la préoccupation principale. Cependant, trois ans plus tard, la même enquête indiquait que la décision de ne pas revenir dans leur municipalité était plus gouvernée par les conditions de vie que par la situation radiologique.

Figure 1 : Carte indiquant la délimitation de la zone évacuée (SDA : Special Decontamination Area, trait noir) ainsi que les communes touchées (voir tableau 1). La zone hachurée correspond à la zone dite de « retour difficile ».



Évacuation et retour de la population : quels enseignements tirer de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi ?

Pour ce qui concerne l'évacuation consécutive à l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, les enseignements doivent être pondérés du fait qu'il s'agissait d'une « sur-catastrophe » venant après un séisme et un tsunami majeurs. Les opérations d'évacuation ont ainsi été compliquées par la destruction de très nombreuses infrastructures (routes, réseau électrique) qui ont ajouté du chaos au chaos.

Le principe qui doit gouverner une opération d'évacuation est de ne pas aggraver la situation par des décisions inappropriées. Il est, dans cet objectif, nécessaire de planifier quels établissements devraient ou ne devraient pas être évacués, combien de temps prendraient ces évacuations et peser le rapport détriments/bénéfices pour les établissements de santé (hôpitaux, maisons de retraite...) et les installations industrielles qui ne peuvent être facilement arrêtées. Différents scénarios doivent être envisagés allant de l'évacuation temporaire (quelques jours à quelques semaines) à l'évacuation sur le long terme (plusieurs mois voire années). Le relogement temporaire de plusieurs centaines à plusieurs milliers de personnes doit être anticipé. Des alternatives à l'évacuation, comme la mise à l'abri prolongée, doivent aussi être envisagées dans les plans de gestion. L'expérience de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi a montré qu'une attention particulière doit être apportée aux conditions de vie durant la période de relogement, notamment en termes de suivi sanitaire et de maintien de la cohésion de la communauté évacuée.

La lente dynamique de retour des populations affectées montre qu'il est important d'être transparent dès la phase d'évacuation : il est important que les autorités communiquent clairement sur les critères utilisés pour déclarer l'évacuation. Il est, dans un deuxième temps, essentiel d'associer les parties prenantes (incluant les habitants), autant que cela est possible dans un contexte de forte incertitude, aux processus qui vont être élaborés pour lever les ordres d'évacuation et autoriser le retour. Dans cet objectif, la préparation de ces processus est essentielle notamment en ce qui concerne la flexibilité qui doit être considérée dans les critères qui seront retenus pour lever les ordres d'évacuation. Notamment, l'utilisation de critères radiologiques, *i.e.* des valeurs numériques non flexibles, a montré, dans un contexte de fortes incertitudes, ses limites dans le cas de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi : leur caractère binaire (bon au-dessous, mauvais au-dessus) a parfois été déroutant, voire facteur de discrimination. Enfin, il apparaît

évident que le retour des évacués sur les territoires décontaminés relève du choix des personnes et qu'il doit être rendu possible dans le respect de l'autonomie et le maintien de conditions de vie dignes pour les personnes évacuées volontaires ou non.

Dix ans après l'accident, l'exemple de la préfecture de Fukushima montre que la reconstruction et la revitalisation des territoires affectés prendront encore de longues années, les municipalités, confrontées au faible taux de retour de leurs habitants, ayant des difficultés à « penser » leur futur et à dimensionner leurs infrastructures. La décision de retour est une question de choix et de préférence pour chaque personne affectée et pour chaque famille. À ce jour, les municipalités réorientent leurs activités, notamment économiques, en faisant preuve d'innovation. L'objectif est d'accroître leur attractivité d'une part vis-à-vis des précédents résidents mais aussi pour attirer de nouveaux habitants. Cela conduit les municipalités à devoir s'adapter en permanence afin de pouvoir répondre à la diversité des choix qui auront été faits par les habitants affectés par les conséquences de l'accident. Il peut être anticipé que, dans les années qui viennent, le profil des habitants changera et qu'une grande partie de ceux-ci seront de nouveaux arrivants venus pour profiter des opportunités offertes par les plans de revitalisation, essentiellement économiques, mis en œuvre par les autorités locales et nationales.

Le retour des populations affectées ou la venue de nouveaux arrivants sur des territoires ayant été affectés par un accident nucléaire pose aussi la question du suivi des conséquences sanitaires à long terme. Ceci se traduit par de nombreux questionnements de la part des habitants. Au-delà des préoccupations liées à la sûreté de l'installation accidentée (est-elle réellement dans un état sûr et un nouvel accident n'est-il pas à craindre ?), de nombreuses questions se posent pour ces derniers : les sites d'entrepôts de déchets sont-ils sûrs et ne contaminent-ils pas l'environnement ? Quel est le niveau réel d'exposition de la population ? La proximité de territoires non décontaminés ne risque-t-elle pas de conduire à un transfert de la contamination de ces zones vers les surfaces décontaminées ? Autant d'interrogations légitimes pour lesquelles des réponses doivent être apportées dans le cadre de structures de dialogues associant la population, les autorités et les experts. Le rôle de ces derniers, est crucial. Force est de constater que très peu d'entre eux sont formés et préparés à affronter ce genre de situations. Au Japon, il a été observé que ce rôle de support et d'écoute des préoccupations de la population revenue sur les territoires contaminés a été, dans la grande majorité des cas, assuré par des experts issus du monde académique ou d'organisations non gouvernementales et non des organismes institutionnels en charge de la radioprotection.

Les difficultés de la gestion à long terme des conséquences d'une contamination importante d'un territoire

À la suite de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, les autorités ont fait le choix de mener une « reconquête » des territoires contaminés et évacués à travers une campagne de décontamination massive. L'analyse de la dynamique de retour des populations sur les territoires, caractérisée par un faible taux de retour consécutivement à la levée des ordres d'évacuation, pose la question de la gestion de ce type de situation. Celle-ci nécessite de prendre en compte tant les dimensions radiologique que socio-économique dans le respect des décisions individuelles et collectives. Dans ce contexte, la dynamique temporelle joue un rôle important à différents niveaux :

- lors de l'évacuation, il apparaît nécessaire d'anticiper, autant que possible, les étapes suivantes et notamment les processus de décision qui conduiront à un éventuel retour des habitants. Il n'est pas facile de prédire l'évolution de la situation mais l'expérience de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi montre l'utilité de se préparer, notamment en ce qui concerne les critères radiologiques qui seront retenus, en prenant en compte notamment leur évolution au cours du temps ;
- les prises de décisions concernant les évolutions des zonages post-accidentels ainsi que la levée des ordres d'évacuation doivent être partagées et discutées avec l'ensemble des parties prenantes (dont évidemment les habitants) car elles doivent prendre en compte de nombreux facteurs allant bien au-delà des questions radiologiques.

L'analyse de la gestion du retour des populations a également souligné le rôle clé des mécanismes d'accompagnement des populations tant pendant la période d'évacuation que pour permettre le retour dans les communes affectées. Il n'existe sans doute pas de système d'indemnisation idéal et parfaitement équitable, mais une réflexion pendant la phase de préparation sur d'éventuels cadres d'indemnisation et de revitalisation socio-économique après un accident nucléaire est nécessaire. Outre l'indemnisation, ces mécanismes concernent l'aide au logement, le développement des infrastructures et le soutien aux activités économiques antérieures ou nouvelles, ainsi que la mise en place d'une surveillance environnementale et sanitaire pour accompagner les populations ayant fait le choix de revenir sur ces territoires. Un suivi et un accompagnement des résidents évacués ayant choisi de ne pas revenir dans les territoires affectés sont aussi à prévoir. Le dimensionnement de ces mécanismes est complexe et joue un rôle clé tant pour garantir des conditions de vie et de travail décentes aux personnes affectées par l'accident que pour permettre à celles-ci de faire un choix éclairé quant à leur avenir.

À la suite d'un accident nucléaire, il est aussi essentiel de mettre en place, comme cela a été fait au Japon, un programme de surveillance de la contamination de l'environnement. L'avenir à long terme et la contribution d'un tel programme à l'organisation de la vigilance doivent être anticipés. Le rôle de la culture de radioprotection et sa transmission aux jeunes générations est aussi une question qui doit être examinée et anticipée car la mémoire de l'accident et de ses conséquences ont tendance à s'estomper avec le temps. De même, le suivi de l'évolution de la santé des populations vivant dans les communes où les ordres d'évacuation ont été levés doit être questionné. Dans quelle mesure les structures mises en place répondront-elles aux attentes de ces populations et quel est le suivi sanitaire approprié pour répondre aux défis posés par la vie dans ces territoires ?

Enfin, l'analyse des conditions de retour des populations montre que l'un des éléments clés concerne la capacité à restaurer une dynamique socio-économique dans les communes suite à la levée des ordres d'évacuation. Chaque municipalité est un cas particulier compte tenu des spécificités locales, de l'ampleur de la contamination, des activités touchées, de la structure de la population ayant décidé de revenir... Pour certaines municipalités, la dynamique socio-économique à moyen et long termes dépendra parfois de la situation agricole, de la capacité à attirer de nouveaux habitants, de la garantie apportée en matière de gestion environnementale ou de la mise en œuvre d'un projet de développement commun au niveau de la région. Dans ce contexte, il est essentiel d'approfondir la réflexion sur le rôle que doit jouer la radioprotection sachant qu'elle n'est que l'une des facettes des éléments à prendre en compte pour garantir des conditions de vie et de travail décentes et pour soutenir les projets de développement socio-économique dans le respect des choix individuels et des communautés locales.

6

LES EXERCICES DE CRISE, LIMITES ET OPPORTUNITÉS

Les exercices de crise contribuent à améliorer la capacité de résilience des organisations et du système de gestion de crise dans son ensemble. Mais comment les facteurs identifiés comme essentiels à une gestion efficace de la crise sont-ils mobilisés au travers d'exercices de crise et comment faire évoluer les exercices pour se préparer à des situations inattendues ?

Les exercices, élément indispensable à l'amélioration de la capacité de réponse d'une organisation en cas de crise...

La capacité d'une organisation, ou plus généralement d'un État, à faire face à une situation d'urgence ou à une crise majeure nucléaire ou radiologique repose sur son aptitude à mobiliser un ensemble large d'acteurs, et à coordonner efficacement leurs actions. Cette coordination, pour être efficace, repose sur une définition claire du rôle et des missions de chacun, des interfaces, une bonne connaissance mutuelle, le respect des lignes de communication préalablement définies...

L'articulation entre actions, expertise technique, prise de décision et communication est au centre du dispositif de crise. L'amélioration de la capacité globale d'une organisation ou d'un État passe ainsi par la réalisation d'exercices qui visent à tester un ensemble plus ou moins large de composantes de la capacité de réponse et de la manière dont elles interagissent.

Pour les experts techniques, les exercices sont un moyen de s'entraîner à la réalisation d'évaluations techniques dans des délais compatibles avec les prises de décision, à tester leur capacité à communiquer entre eux, leur capacité à répondre aux demandes des autorités ou des médias. Ces exercices permettent ainsi une évaluation de leur état de préparation.

... mais qui présentent des limites intrinsèques importantes

Les exercices présentent des limitations intrinsèques importantes. Ils correspondent le plus souvent à des événements accidentels spécifiques, connus, rares mais répertoriés. Il existe plusieurs types d'exercices, qui diffèrent par leurs objectifs, les acteurs impliqués ainsi que par leur format. Les exercices les plus imposants sont les exercices nationaux. Ces exercices mobilisent un nombre limité d'acteurs (Préfectures, exploitants, autorités de sûreté, experts du risque radiologique) dont le champ de responsabilité reste défini par des textes (plans d'urgence, circulaires...). Bien que ce nombre de participants soit limité par rapport à la réalité, cela contraint le scénario technique qui doit permettre la participation de tous.

Pour ce qui concerne l'expertise technique, les acteurs sont très sollicités, par la mise en œuvre de leurs différents moyens comme un centre de crise permettant l'expertise de la situation, des moyens mobiles pour l'implémentation de stratégies de mesures et par l'utilisation de méthodes d'analyse notamment pour la modélisation. Si les centres de crise sont mis en œuvre régulièrement par les experts lors des exercices, leur mobilisation sur le terrain - en particulier la réalisation de mesures de radioactivité dans l'environnement qui est essentielle afin d'appréhender la réalité d'un événement - est moins fréquente, les scénarios et durées d'exercice n'étant pas toujours adaptés à l'organisation d'un jeu de terrain.

La durée des exercices, généralement limitée à une dizaine d'heures, est également très contraignante. Certains événements récents, l'incendie de Lubrizol près de Rouen en particulier, ont souligné toute la difficulté à expertiser la situation, et donc à anticiper et à décider dans les situations de très forte incertitude, à trouver la posture adéquate en termes de communication sur des sujets d'experts tels que l'identification des rejets, tout cela sur une période de plusieurs jours.

Bien évidemment, les exercices de crise tels qu'ils existent aujourd'hui, pour l'essentiel centrés sur l'articulation entre expertise et décision, ne permettent pas d'appréhender toute la complexité du sujet. Ils constituent cependant des mises en situation qui contribueront à aborder des événements, par nature différents de ceux rencontrés durant les exercices, de manière plus efficace.

Les exercices, sources de résilience

Malgré toutes leurs limites, les exercices ont une vertu essentielle, pour l'ensemble des acteurs. Pour les experts notamment, ils permettent à chacun de se construire un référentiel, de s'approprier l'espace et la temporalité de l'urgence, de tester la préparation et la solidarité des membres de leur équipe mais aussi les modalités d'interaction avec les décideurs. En résumé, il s'agit d'acquérir des réflexes et des repères qui permettront aux experts, le jour où l'accident arrivera, de se concentrer sur ce qui est nouveau et donc de gagner en efficacité.

En exercice, les experts répètent leurs gammes sur des outils techniques, des méthodes de travail, étape incontournable pour progresser. Même s'il n'est pas aisé de faire évoluer les scénarios des exercices de crise, il s'agit bien d'ancrer au sein des organisations les fondamentaux de la gestion de crise pour gagner en sérénité en situation d'urgence radiologique réelle. L'objectif est bien que les experts, dans les limites qu'imposent ces exercices, acquièrent la meilleure connaissance de leurs rôles et du fonctionnement global de l'organisation de réponse à une crise, pour favoriser des conditions leur permettant, au jour d'une situation de crise nouvelle, non répétée en exercice précédemment, de s'écarter des routines et des répertoires de réponses préétablis.

Le scénario technique, contraint par le temps court de l'exercice, prévoit traditionnellement une succession rapide d'événements et de défaillances qui laisse peu de répit aux experts et aux acteurs en général. La demande forte et légitime des décideurs aux experts dès la phase de menace, nécessite de ceux-ci des prises de position dans l'incertitude. Ces exercices mettent ainsi les experts dans des situations pour lesquelles la réactivité et l'anticipation sont des dimensions essentielles, interrogeant les critères utilisés pour hiérarchiser les expertises à réaliser. L'objectif devient alors d'entraîner les acteurs à anticiper, prioriser et décider en situation de forte incertitude.

Malgré de nombreuses limites, les exercices contribuent à la professionnalisation des acteurs régulièrement sollicités. Les exercices permettent que les acteurs, et notamment les experts, soient en mesure d'utiliser l'expérience acquise lors de ces exercices pour, individuellement et collectivement, être plus résilients face à une situation inattendue.

Les enseignements tirés de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi en matière de gestion de crise

L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi a souligné le rôle fondamental des hommes et des organisations dans la limitation des conséquences de l'accident dès lors que les dispositifs et dispositions matérielles mis en œuvre dans les installations défailtent. Il a ainsi conduit, d'une façon générale, à une prise de conscience de la nécessité de renforcer la résilience des organisations afin de faire face à des combinaisons d'événements qui, même si elles sont considérées comme très peu plausibles, peuvent survenir. Ce renforcement de la résilience concerne les équipes impliquées dans la gestion de la situation au niveau de l'installation elle-même, mais aussi plus généralement l'ensemble des acteurs, notamment les experts dans le cadre du processus de prise de décision.

Ainsi, la préparation des experts s'inscrit dans les évolutions définies plus largement par les pouvoirs publics. Suite à l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, des plans visant à renforcer la capacité de réponse des États ont été développés dans plusieurs pays européens, par exemple le plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique en France et ses déclinaisons zonales à partir de 2014 ou encore le Radiation Protection Act en Allemagne en 2017.

Les travaux des associations européennes des autorités de sûreté (WENRA) et de radioprotection (HERCA) sur l'extension des zones de planification autour des installations nucléaires ont conduit les États à mettre à jour leurs planifications (extension des plans particuliers d'intervention (PPI) en France en 2016, en Allemagne dès 2014) et à étendre les zones de pré-distribution d'iode stable.

Des stratégies post-accidentelles sont définies ou évoluent pour tenir compte des enseignements de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi et sont progressivement mises en œuvre et testées lors d'exercices ou d'ateliers. À titre d'exemple, la France a conduit en 2016 un 1^{er} exercice de niveau gouvernemental (SECNUC) permettant de tester le plan national de réponse.

La participation des médias s'est généralisée avec, par exemple pour la France, une pression médiatique simulée dans la plupart des exercices nationaux, s'exerçant sur les acteurs, notamment les décideurs mais aussi sur les experts. La simulation des réseaux sociaux s'est aussi développée.

L'implication des États dans l'effort de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à proposer un mécanisme de coordination de crise, basé notamment sur des méthodes d'évaluation techniques partagées, et, au niveau européen, l'approche de coordination globale proposée par HERCA et WENRA en cas d'accident grave se produisant en Europe, se traduit par le développement et la réalisation de nombreux exercices internationaux.

Ainsi les exercices CONVEX de l'AIEA visent à améliorer les échanges et le partage de l'expertise technique dans le cadre de la mise en application de la Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire et de la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique. Des exercices au niveau européen sont également menés sous forme d'atelier par HERCA ou dans le cadre de projets de recherche (projet FASTNET - FAST Nuclear Emergency Tools). Des initiatives sont enfin prises pour renforcer la coordination entre pays frontaliers, créer des réseaux rassemblant des organismes techniques de sûreté (TSO) mobilisables en cas de crise, l'ETSON Crisis club par exemple.

Des exercices pour aller plus loin...

Plus de réalisme

Malgré leurs limites, les exercices nationaux de crise permettent un entraînement régulier des acteurs directement impliqués dans la gestion de situations d'urgence radiologique ou nucléaire, ce qui leur permet de s'améliorer progressivement. Le déroulement des exercices met en évidence certaines des difficultés qui ne manqueraient pas d'être rencontrées en situation réelle en termes de coordination, de processus d'expertise, de décision et de communication.

Pour améliorer leur réalisme d'un point de vue technique, il convient de les faire évoluer en permanence pour prendre en compte le retour d'expérience de situations réelles.

Ainsi, les développements à mener peuvent prendre la forme de mises en situation technique plus variées, directement inspirées de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi (dénoyage de piscines de combustible, accident impliquant plusieurs réacteurs d'un même site, événement naturel) ou plus largement concernant des événements rarement appréhendés jusqu'à présent tels que des situations multi-sites ou des scénarios comprenant des erreurs ou des incohérences techniques persistantes.

De manière plus générale, la simulation, lors d'exercices, de l'interpellation des experts par les médias ou par des représentants de la société civile, questionnant l'expertise institutionnelle sur la base de leurs propres interrogations ou analyses, est certainement un facteur contribuant au réalisme de l'exercice.

La réalisation d'exercices avec une participation internationale doit être encouragée. La sollicitation des experts par leurs homologues d'autres pays, comme durant l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi, contribuerait à apporter du réalisme à ce qu'est une crise nucléaire majeure, avec des implications internationales. Pour ce qui concerne notamment les installations nucléaires relativement proches d'une frontière, les exercices devraient plus systématiquement comprendre une composante transfrontalière, jouée au niveau des États et impliquant leurs experts respectifs devant partager leurs données et confronter leurs expertises.

Plus d'inattendu

Pour renforcer les capacités d'adaptation et d'improvisation des experts, l'organisation d'exercices ou de mises en situation comprenant une part plus importante d'inattendu se développe, par exemple en retenant une date de réalisation inconnue, une durée inconnue (pouvant dépasser largement les 8 heures habituelles) voire volontairement longue pour se préparer à une situation qui dure ; ou encore la simulation d'une situation ne relevant pas directement d'un plan.

Les exercices doivent également progresser dans le domaine du fonctionnement dégradé. Il est nécessaire d'entraîner les experts à être en capacité d'apporter des réponses dans différentes formes de crise, en incluant des éléments perturbateurs comme par exemple la concomitance avec une cyber attaque, avec d'autres crises, en cas de défaillance de l'exploitant ou en s'adaptant aux organisations nouvelles de leurs interlocuteurs. Il est nécessaire de construire également des exercices mêlant d'autres situations, comme une catastrophe naturelle ou des actions malveillantes.

Des champs à développer

L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi a aussi montré l'importance d'explorer, dans les exercices, des champs jusqu'alors assez peu testés. Des exercices adaptés doivent être construits.

C'est notamment le cas de la gestion post-accidentelle d'une situation ayant entraîné une pollution radioactive importante de l'environnement. La complexité du traitement de ces situations et la multiplicité des acteurs, y compris ceux moins impliqués lors des phases d'urgence comme les élus locaux, la population ou les associations, conduira à de multiples questionnements.

Pour réaliser l'évaluation technique et répondre à ces questionnements, il importe d'imaginer des modes d'entraînement nouveaux, en interaction notamment avec ces acteurs.

L'entraînement sur le terrain des acteurs spécialisés dans les mesures de radioactivité de l'environnement est un autre domaine à développer, tant pour les situations d'urgence que pour la gestion post-accidentelle. L'élaboration d'exercices dédiés, très organisés et très structurés, de longue durée et de grande ampleur, permettrait de mettre en oeuvre des moyens d'expertise de terrain spécifiques, comme par exemple les moyens de cartographie aérienne qui ont joué un rôle majeur pour avoir une vision des zones les plus contaminées lors de l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi.

IRSN

E-mail : contact@irsn.fr

N° du rapport : IRSN n° 2021-00001

Tous droits réservés IRSN

Février 2021

Conception et réalisation : Chromatiques,
Paris. www.chromatiques.fr

Photo de couverture : Visite de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi au Japon par des membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) le 27 mai 2011. Vue du réacteur n°3. © IAEA Imagebank.

Crédit Photo : Greg Webb / IAEA.

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

31, avenue de la Division Leclerc
92262 Fontenay-aux-Roses cedex
RCS Nanterre b 440 546 018

COURRIER

B.P. 17 - 92262 Fontenay-aux-
Roses cedex

TÉLÉPHONE


+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

E-MAIL

contact@irsn.fr

 [@irsn_france](https://twitter.com/irsn_france)