

Chapitre 4

Les réacteurs nucléaires : des systèmes sociotechniques complexes – L'importance des facteurs organisationnels et humains

Avant de développer dans le présent ouvrage de manière plus approfondie les sujets de sûreté, plus spécifiquement pour les réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire français, il apparaît nécessaire dès à présent de souligner l'importance particulière que revêtent non seulement les aspects techniques mais aussi les **facteurs organisationnels et humains** (FOH) dans la maîtrise des risques liés à de telles installations.

L'analyse des incidents et des accidents (dans tous les domaines d'activité, pas seulement celui de l'industrie nucléaire) montre qu'ils sont le plus souvent le résultat de combinaisons de défaillances ou d'insuffisances concernant les matériels, les organisations et les hommes.

La considération des seuls aspects techniques de la conception et de l'exploitation des installations nucléaires n'est pas suffisante; l'homme peut en effet contribuer à l'initiation ou au développement d'incidents (du fait même que c'est lui qui conçoit, construit et exploite les installations nucléaires), mais il a aussi une contribution

positive (par exemple en « récupérant » correctement des situations anormales survenant au cours de l'exploitation des installations) – cela suppose que les organisations et les modalités encadrant cette exploitation soient favorables.

La notion de « facteurs organisationnels et humains » se réfère aux facteurs exerçant une influence sur l'activité des hommes et leur contribution au fonctionnement de systèmes sociotechniques¹⁶³, tels que l'organisation, les compétences, les moyens techniques, les procédures, le fonctionnement des collectifs de travail ou l'environnement physique de travail. L'étude de ces facteurs constitue une discipline relativement récente, qui s'est développée avec l'évolution technologique durant le XX^e siècle; elle a pris une importance plus particulière dans les organisations chargées d'installations à risques, étant donné leur rôle déterminant dans la prévention et l'occurrence de nombreux accidents industriels. Une hypothèse forte qui sous-tend l'attention et les moyens accordés à l'analyse des facteurs organisationnels et humains, confortée par le retour d'expérience, est qu'il est possible d'identifier des conditions préalables ou des dérives d'un système sociotechnique pouvant conduire à l'occurrence d'un événement indésirable et de les prévenir au moyen de démarches d'ingénierie FOH adaptées. Il s'agit donc, par une meilleure compréhension de l'activité humaine, de déterminer et de mettre en place des conditions favorables à une contribution positive des hommes et des organisations au fonctionnement des installations¹⁶⁴: cela commence dès le stade du choix des options de conception des installations et se poursuit, bien entendu, lors des études de conception puis de définition des règles et procédures d'exploitation, enfin tout au long de l'exploitation des installations et lors de leur démantèlement.

4.1. Les débuts des FOH dans le domaine des réacteurs électro-nucléaires, les enseignements tirés de l'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island

À l'époque du démarrage des premières tranches du parc électro-nucléaire français¹⁶⁵, dans les années 1970, l'accent était mis sur la fiabilité technique des installations, principalement liée à la qualité de leur conception, au maintien en exploitation de la conformité des équipements, aux exigences qui leur étaient applicables et à l'existence de procédures d'exploitation préétablies, aussi bien à l'égard des situations normales d'exploitation qu'à l'égard d'un certain nombre de situations anormales considérées comme

163. Il s'agit de systèmes qui comportent de nombreuses composantes techniques, humaines, organisationnelles, sociales qui sont en interaction.

164. Pour en savoir plus, le lecteur pourra consulter l'ouvrage de F. Daniellou, M. Simard et I. Boissières intitulé « Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle: un état de l'art », n° 2010-02 des Cahiers de la sécurité industrielle, Institut pour une culture de sécurité industrielle, Toulouse, France (ISSN 2100-3874). Disponible à l'URL <https://www.foncsi.org/fr/publications/cahiers-securite-industrielle/facteurs-humains-et-organisationnels/CSI-FHOS-etat-art.pdf>

165. Divers éléments du présent chapitre sont issus du « Mémento Sûreté nucléaire en exploitation » – EDF, édition 2016.

plausibles; en outre, des actions de conduite étaient automatisées, notamment pour réduire les possibilités d'erreurs humaines. Cependant, les cumuls de défaillances matérielles et humaines n'étaient pas, par exemple, examinés de façon systématique.

L'importance attachée aux facteurs organisationnels et humains s'est progressivement accrue, d'abord par l'analyse d'événements impliquant de tels facteurs et dont il fallait tirer les enseignements pour qu'ils ne se reproduisent pas, puis principalement après la survenue, au mois de mars 1979, de l'accident du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Three Mile Island (TMI) aux États-Unis. L'analyse de cet accident sous l'angle des FOH a principalement conduit à des évolutions et à des améliorations portant sur les interfaces homme-machine, les organisations (notamment celle de l'équipe de conduite en salle de commande, avec une redondance de la surveillance de l'installation par un ingénieur de sûreté [IS]), le partage du retour d'expérience et la conduite en situations incidentelles et accidentelles (passage de l'approche « événementielle » à l'approche « par états »), sujets qui sont développés dans les chapitres 32 et 33.

4.2. L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, la notion de « culture de sûreté »

Si l'accident de TMI a soulevé des questions concernant les aspects ergonomiques (défauts d'interface homme-machine) et cognitifs (représentation erronée de l'état de l'installation) des postes de travail, celui de la centrale nucléaire de Tchernobyl, qui fait l'objet du chapitre 34, a soulevé des questions d'une autre nature, concernant les aspects collectifs et organisationnels, le déroulement de l'accident ayant comporté des actions intentionnelles de non-respect de consignes et d'inhibition de protections pour faire « coûte que coûte » un essai particulier programmé (essai de sûreté à faible puissance). L'analyse de l'accident a notamment mis en évidence des insuffisances concernant le management, le contrôle des activités, l'application des règles et des procédures, la priorité qui doit être accordée à la sûreté et la formation des opérateurs. Ainsi, cet accident a amené à considérer le rôle de l'homme dans la maîtrise des risques, non plus seulement sous un angle comportementaliste centré sur la réduction des erreurs individuelles, mais dans une perspective plus large tenant compte des caractéristiques et des dynamiques d'un système sociotechnique complexe dans sa globalité.

Concernant les facteurs organisationnels, les travaux¹⁶⁶ relatifs aux High Reliability Organizations¹⁶⁷ (HRO), menés depuis les années 1980, ont fourni des éclairages utiles au plan méthodologique pour l'analyse de tels facteurs dans la conception et l'exploitation des centrales nucléaires. Partant de constats faits sur des organisations chargées d'installations « à risques » qui fonctionnaient de manière sûre et fiable, ces travaux ont en particulier fait ressortir des clefs de succès telles que :

166. Ces travaux ont été menés à l'université de Berkeley. Le lecteur pourra aussi consulter l'ouvrage intitulé « Organiser la fiabilité », de M. Bourrier, Éditions L'Harmattan, 2001, ainsi que celui intitulé « Managing the Unexpected, Resilient Performance in an Age of Uncertainty », de K. Weick et K. M. Sutcliffe, Jossey Bass editions, 2007.

167. Organisation de haute fiabilité.

- un accord de l'ensemble des acteurs de l'organisation sur les buts recherchés, notamment lors des arbitrages,
- la mise en place de redondances (des contrôles, des circuits de décision, des canaux de communication),
- un équilibre entre centralisation et décentralisation,
- des activités permanentes de recyclage et d'entraînement,
- une attention portée au risque d'échec dans les activités, et pas seulement au succès,
- une attention des managers aux activités quotidiennes, aux aléas,
- une délégation des prises de décision aux personnes les plus compétentes ou proches du terrain,
- une méfiance envers la simplification des interprétations dans des systèmes complexes,
- la mise en place de ressources et de processus de nature à favoriser l'adaptation (« engagement dans la résilience »), en complément des démarches d'anticipation des risques.

Parallèlement, des études portant sur les causes profondes d'accidents, menées par des chercheurs anglo-saxons et français (notamment d'Électricité de France et de l'IRSN), ont permis de recenser¹⁶⁸ des facteurs organisationnels d'échec, génériques et récurrents, tels que :

- les pressions de production,
- la complexité organisationnelle,
- les échecs des analyses de risques et du retour d'expérience,
- les défauts de gestion des effectifs et des compétences,
- un défaut d'exigences d'autorités de contrôle...

Les leçons tirées de l'accident de Tchernobyl ont notamment conduit au développement de la notion de « culture de sûreté », qui a été très largement mise en avant comme une réponse à cet accident. C'est du reste en 1991, cinq années après l'accident de Tchernobyl, que fut publié (sous l'égide de l'AIEA) le rapport INSAG-4 qui explicite cette notion (voir le focus ci-après) – dont il faut souligner qu'elle ne concerne pas que les exploitants d'installations nucléaires, mais aussi les concepteurs et les fabricants, sans oublier les organismes de sûreté (voire le gouvernement).

168. Voir à ce sujet les articles des Techniques de l'ingénieur intitulés « Industries à risques : conduire un diagnostic organisationnel par la recherche de facteurs pathogènes », J-M. Rousseau et A. Largier, AG 1 576-1, 2008, et « Systèmes complexes à risques – Analyse organisationnelle de la sécurité », M. Llory et Y. Dien, AG 1 577-1, 2010. On peut citer aussi l'article « Pour une culture des accidents au service de la sécurité industrielle », de N. Dechy, Y. Dien et M. Llory, 17^e congrès « λμ », de Maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement, octobre 2010, La Rochelle.

#FOCUS.....

La notion de culture de sûreté

Ainsi que cela a été indiqué plus haut, la notion de culture de sûreté est née des réflexions qui ont été engagées après l'accident survenu le 26 avril 1986 à la centrale nucléaire de Tchernobyl. Les réflexions « post-Tchernobyl » militèrent pour une vision plus internationale de la sûreté nucléaire et se concrétisèrent notamment par différents rapports de l'INSAG, groupe alors récemment créé auprès de l'AIEA, parmi lesquels on peut citer celui de septembre 1986 intitulé « Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident » (INSAG-1¹⁶⁹) et dans lequel apparaît la notion de culture de sûreté, qui sera approfondie en 1991 dans le rapport intitulé « Safety Culture » (INSAG-4). La culture de sûreté est définie dans ce dernier rapport comme « *l'ensemble des caractéristiques et des attitudes des organisations et des personnes qui font que [...] les aspects de sûreté bénéficient de l'attention en rapport avec leur importance* ». La culture de sûreté suppose notamment, dans une organisation, que soient favorisées les attitudes interrogatives, prudentes et rigoureuses et la communication entre les personnes. Elle suppose un engagement fort des responsables hiérarchiques et des dirigeants des installations.

Trois autres rapports de l'INSAG sont à citer :

- le rapport intitulé « Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants » (INSAG-13), diffusé en 1999. Ce rapport aborde les aspects du « management de la sûreté » qui ont une importance dans la promotion de la culture de sûreté, accompagnés de préconisations et de bonnes pratiques. Des préconisations sont en particulier faites pour ce qui concerne le maintien d'un management approprié de la sûreté lors de changements d'organisation, la façon de surveiller les performances en matière de sûreté et la détection d'une baisse de performances avant qu'elle n'ait un impact significatif sur la sûreté ;
- le rapport intitulé « Key Practical Issues in Strengthening Safety Culture » (INSAG-15), diffusé en 2002. Ce rapport, qui présente en particulier un certain nombre de questions qui peuvent être posées dans le cadre d'un auto-diagnostic de la culture de sûreté au sein d'une organisation, aborde des sujets-clés tels que l'importance de la façon de communiquer et de se faire comprendre en matière de sûreté, notamment pour une bonne compréhension des procédures par les utilisateurs eux-mêmes, la culture du compte rendu (*reporting*) et l'attention qui doit être portée aux incidents évités de justesse

169. Mis à jour en 1992 par le rapport INSAG-7.

ainsi qu'aux dérives possibles (« *le risque toléré devient validé* »¹⁷⁰), l'aptitude d'une organisation à se remettre en question à tous les niveaux (« organisation apprenante »);

- le rapport intitulé « *Managing Change in the Nuclear Industry: the Effects on Safety* » (INSAG-18), diffusé en 2003. Ce rapport aborde un certain nombre de sujets concernant les conséquences d'évolutions du contexte nucléaire sur les organisations et les hommes (recherche d'une compétitivité accrue, accroissement des exigences de sûreté...), qui peuvent affecter la sûreté si elles ne sont pas suffisamment bien intégrées et gérées.

Dans un rapport plus récent¹⁷¹, l'AIEA définit un cadre et des exigences en termes de management de la sûreté et de système intégré de management, dans une approche systémique qui prend en compte les interactions entre les facteurs techniques, organisationnels et humains, dans l'objectif de favoriser une « *culture de sûreté solide* ».

La notion de culture de sûreté a également été largement utilisée dans d'autres domaines d'activités à risques tels que l'aéronautique, les industries chimiques et pétrolières, la santé. Mais si cette notion paraît simple à comprendre, elle ne saurait constituer une réponse suffisante à l'ensemble des questions concernant la contribution des hommes et des organisations à la sûreté. Des questions restent posées, par exemple sur les conditions, les modalités et les limites d'une « ingénierie » de la culture de sûreté. Si la mise en œuvre de dispositions d'organisation et de management peut contribuer au développement d'une culture favorable à la sûreté, la manière dont ces dispositions combinent leurs effets pour exercer une influence positive ou négative sur la culture de sûreté reste encore très largement méconnue.

.....

Au mois de mars 2002, un incident (classé au niveau 3 de l'échelle INES), parfois qualifié de presque accident, est survenu à la centrale nucléaire de Davis-Besse située dans l'État de l'Ohio aux États-Unis. Cette centrale est équipée d'un réacteur à eau sous pression¹⁷² de 900 MWe. L'incident a eu une influence dans les réflexions et les préoccupations en matière de FOH au sein des industriels de l'énergie nucléaire, notamment Électricité de France¹⁷³. Cet événement, qui s'est traduit par une perte

170. Voir l'ouvrage de la sociologue américaine Diane Vaughan concernant l'accident de la navette Challenger, publié en 1996: « *The Challenger Launch Decision, Risky Technology, Culture and Deviance at NASA* ». Il y est montré comment ce qui peut apparaître rétrospectivement comme une série d'erreurs clairement identifiables a été en réalité une succession de décisions et d'interprétations parfaitement compréhensibles dans le contexte dans lequel elles ont été élaborées, mais qui constituaient des micro-écarts aux limites de conception et conduisaient insensiblement à une accoutumance aux écarts (*normalization of deviance*).

171. « *Leadership and Management for Safety* », *Safety Standard Series* No. GSR Part 2, publié par l'AIEA en 2016.

172. Réacteur du constructeur Babcock & Wilcox.

173. Voir le « *Mémento sûreté nucléaire en exploitation* », EDF, édition 2016.

d'étanchéité du circuit primaire au niveau du couvercle de la cuve du réacteur, est décrit dans la suite du présent ouvrage (paragraphe 27.2.2.9). Les analyses ont conduit à considérer que cet incident était révélateur d'une dérive profonde dans la culture de sûreté de l'exploitant et un défaut de contrôle de la part des autorités. En particulier, ont été mis en avant :

- l'absence de prise en compte de signes précurseurs, pourtant détectés dès 1996, notamment des traces de bore sur certains matériels,
- des analyses d'événements insuffisamment développées, prenant peu en compte le retour d'expérience international,
- un désengagement de la Direction de la centrale dans le management de la sûreté avec des enjeux de production prédominants,
- un contrôle insuffisant des autorités.

Sur certains aspects, ce presque-accident a pu être rapproché des accidents des navettes américaines Challenger et Columbia, dont les analyses avaient aussi mis en évidence un défaut de prise en compte de signes précurseurs¹⁷⁴.

Chez Électricité de France, l'événement survenu à la centrale nucléaire de Davis-Besse a conduit à différentes dispositions¹⁷⁵ parmi lesquelles :

- l'élaboration de guides à la prise de décision afin de prendre en compte de façon adéquate les exigences de sûreté dans les objectifs de production électrique,
- la mise en œuvre d'un « management de la sûreté » cohérent avec les pratiques internationales, à la lumière notamment des rapports INSAG-13, l'INSAG-15 et l'INSAG-18 présentés dans le focus précédent,
- la mise en œuvre d'une démarche de retour d'expérience renforçant la prise en compte de signes précurseurs, du retour d'expérience international et la recherche de causes profondes des événements qui surviennent.

Comme l'a rappelé le presque-accident de la centrale nucléaire de Davis-Besse, la culture de sûreté doit régulièrement se concrétiser lors de décisions à enjeux pour lesquelles une priorité doit être accordée à la sûreté. Confronté au renouvellement important de son personnel, Électricité de France déploie depuis quelques années une démarche visant à renforcer la culture de sûreté dans ce contexte. Un guide a été diffusé aux CNPE en vue de partager une représentation commune de la culture de sûreté au sein du personnel. Électricité de France déploie en ce sens des actions de formation, de communication quotidienne à travers divers médias et d'auto-positionnement dans les unités opérationnelles, afin que chacun prenne du recul sur ses propres pratiques.

174. Voir l'ouvrage de Diane Vaughan cité plus haut, ainsi que le rapport du département de l'énergie américain intitulé « Action-Plan on Lessons Learned from the Columbia Space Shuttle Accident and Davis-Besse Reactor Pressure-Vessel Head Corrosion Event », U.S.DOE, 2005.

175. Mémento EDF cité plus haut.

De plus, il convient que l'exploitant prenne des dispositions pour que la culture de sûreté s'intègre aux pratiques des entreprises sous-traitantes, étant donné le volume important des opérations de maintenance sous-traitées (sujet qui est abordé au chapitre 25).

4.3. L'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, la dimension sociétale, la notion de « résilience » des organisations

Plus récemment, l'accident survenu en 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a mis en lumière l'importance de la dimension sociétale dans la gouvernance des risques en général, aspect mis en avant par la commission d'enquête commanditée par la Diète japonaise après l'accident.

À la suite de cet accident, des études et des recherches ont été engagées¹⁷⁶ sur la gouvernance des risques nucléaires et la gestion de crise, abordées sous l'angle non seulement des facteurs organisationnels mais aussi des facteurs culturels et socio-historiques.

Certains enseignements de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi et de sa gestion confortent aussi une évolution de la perception du rôle des hommes et des organisations dans la maîtrise des risques, qui en fait a progressivement émergé depuis les années 1990. Cette évolution est développée ci-après.

4.4. Évolution de la perception du rôle des hommes dans l'atteinte d'un haut niveau de fiabilité de systèmes sociotechniques complexes

Après plus de trente années d'expérience dans la prise en compte des FOH dans la sûreté nucléaire, les connaissances acquises montrent que la réalité de l'exploitation est loin d'être simple et que les hommes jouent un rôle déterminant dans le bon fonctionnement des installations. Par leurs capacités et leurs compétences, ils sont à même de faire face et de s'adapter à la variété des situations qu'ils rencontrent au quotidien dans leur travail: matériel indisponible, pièces non conformes, description incomplète de ce qui doit être réalisé et du comment le faire, tels qu'indiqués dans les procédures, les consignes ou les modes opératoires, variabilité des conditions de réalisation, variété des niveaux d'expertise des acteurs...

176. Voir l'ouvrage « État des recherches dans le domaine de la sûreté des réacteurs à eau sous pression », J. Couturier & M. Schwarz, Collection sciences et techniques, IRSN/EDP Sciences, 2017, chapitre 11. C'est dans ce domaine, qui relève des sciences humaines et sociales, qu'en 2012 l'IRSN et d'autres partenaires ont décidé d'entreprendre de nouvelles études, dans le cadre notamment du projet AGORAS financé par l'ANR.

Ces adaptations concernent des actions que les hommes peuvent opérer hors de ce qui a pu être prévu, pour assurer un fonctionnement sûr d'une installation ; encore faut-il créer les conditions leur permettant de faire face et d'effectuer les ajustements nécessaires. L'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a mis en évidence les capacités d'adaptation et d'invention que les exploitants de la centrale ont pu mettre en œuvre dans des conditions d'intervention très difficiles pour faire face à une situation extrême à laquelle ils n'étaient pas préparés.

Se posent donc les questions suivantes : est-ce que les conditions sont réunies pour que les acteurs puissent mener leurs activités le mieux possible et mettre en œuvre leurs compétences et capacités, y compris détecter des dérives du système et récupérer des situations dégradées, voire critiques ? Les individus et les « collectifs de travail » sont-ils à même de pouvoir faire face à des situations non prévues avec les moyens qui sont à leur disposition ? Le management prend-il des arbitrages suffisamment favorables à la maîtrise des risques dans des situations non prévues ?

La prise en compte des FOH doit ainsi avoir un double objectif pour l'exploitant :

- favoriser la capacité des personnels à détecter les anomalies techniques, à gérer les aléas et à réduire autant que possible les possibilités d'actions humaines inappropriées ;
- favoriser la capacité des hommes à s'adapter à de nouveaux problèmes et à faire face à des situations non prévues¹⁷⁷, pour que le collectif soit en mesure de maîtriser la situation.

La prise en compte des FOH doit donc conduire¹⁷⁸ à déterminer et évaluer les conditions permettant l'atteinte des deux objectifs précités, au travers des dimensions techniques, humaines et organisationnelles du système sociotechnique dans son ensemble, ainsi que l'interdépendance entre ces trois dimensions.

Au début des années 1980, pour la conception des réacteurs du palier N4, Électricité de France fait le choix de mettre en place des consignes informatisées

177. Sur ce sujet, le lecteur pourra consulter l'ouvrage « Comprendre les facteurs humains et organisationnels – Sécurité nucléaire et organisations à risques », Benoît Bernard, EDP Sciences, 2014, ainsi que le rapport du Comité d'orientation sur les facteurs sociaux, organisationnels et humains (COFSOH) intitulé « Développer la sécurité – Synthèse des travaux du groupe de travail D », septembre 2019 (disponible sur le site internet de l'ASN). On y retrouve cette même dualité entre anticipation et « résilience » dans la distinction entre sûreté « réglée » et sûreté « gérée » :

- sûreté « réglée » : elle consiste à éviter les défaillances prévisibles en s'appuyant sur des formalismes, des règles, des automatismes, des mesures et des équipements de protection et sur un management assurant le respect des règles ;
- sûreté « gérée » : elle concerne la capacité de l'organisation et de ses acteurs à percevoir les situations inattendues et à y répondre de façon adaptée. Elle repose sur l'expertise humaine, la qualité des initiatives, le fonctionnement des collectifs et des organisations et sur un management et des processus de conception attentifs à la réalité des situations.

178. Approche qualifiée d'« intégrée et systémique ».

de conduite en situations normales, incidentelles et accidentelles (ce qui a guidé la conception de la salle de commande de ces réacteurs). Cela a conduit Électricité de France et l'IRSN à s'interroger sur le juste guidage (« pas à pas ») des opérateurs par de telles consignes, et à mener des études en la matière¹⁷⁹. Différentes études, y compris dans d'autres domaines que l'électronucléaire, avaient en effet montré que, pour que le guidage soit efficace, il faut un engagement actif de l'opérateur dans la conduite. Le guidage ne doit donc pas empêcher l'opérateur de prendre une certaine « distance » par rapport aux prescriptions de la consigne. Cette condition permet de favoriser le rôle positif de l'opérateur dans le cas, par exemple, où se présente une difficulté à respecter l'ordre de réalisation des actions prescrit par la consigne alors qu'une action est perçue comme urgente. Ainsi, les études ont conduit les concepteurs à apporter des améliorations :

- de nature technique, en prévoyant dans le système de conduite la possibilité que les opérateurs puissent, dans le parcours des consignes informatisées, s'écarter à tout moment du chemin prescrit par le guidage, dès lors que les actions préconisées ne sont pas en phase avec la cinétique du « procédé »,
- de nature organisationnelle, en prévoyant qu'un opérateur ne puisse prendre une telle décision qu'après concertation au sein de l'équipe de conduite et accord du chef d'exploitation.

Par ailleurs, l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a conduit à s'interroger sur la robustesse des organisations de crise pour faire face à une situation « extrême » du même type que celle qui a conduit à cet accident. Les études des situations de crise liées à des événements majeurs ou à des catastrophes font ressortir l'état de « rupture » lié à la soudaineté et à l'ampleur des déstabilisations engendrées qui débordent les capacités organisationnelles et humaines prévues ; ces situations de crise se déroulent dans un contexte d'urgence et de coordination d'un grand nombre d'intervenants exposés aux aléas et aux dysfonctionnements induits par l'accident et en difficulté pour accomplir les missions et assumer les responsabilités formellement prévues pour traiter l'accident et gérer la crise. Le questionnement concerne des sujets tels que le dimensionnement des effectifs nécessaires, la formation et la préparation des personnels à de telles situations, la capacité à mobiliser du personnel de la centrale ou du personnel prestataire, la faisabilité d'interventions en local dans des conditions difficiles, voire hostiles. Ce sont des questions qui ont été abordées dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté menées à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, dont les réponses apportées – en France par la mise en œuvre d'un « noyau dur » d'équipements robustes et par la mise en place d'une Force d'action rapide nucléaire (FARN) – sont développées au chapitre 36.

179. Voir l'ouvrage « État des recherches dans le domaine de la sûreté des réacteurs à eau sous pression », J. Couturier & M. Schwarz, Collection sciences et techniques, IRSN/EDP Sciences, 2017, paragraphe 11.2.2-B.

4.5. Le développement de moyens et de compétences concernant les FOH, les principaux sujets étudiés

4.5.1. Moyens et compétences

Au plan international, les premières réflexions et études, dans les années 1970, ont visé à mieux comprendre le « fonctionnement » humain et son influence sur les performances des personnels d'exploitation des centrales nucléaires, non seulement lors de la conduite en salle de commande mais aussi lors de toutes les tâches et activités (essais, maintenance, contrôles en service...) exécutées hors de la salle de commande et pouvant avoir une importance en termes de sûreté nucléaire. Ces efforts se sont ensuite élargis à la compréhension et à l'évaluation des facteurs organisationnels, culturels et sociétaux. L'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE/AEN) a diffusé de nombreux rapports qui témoignent de l'intérêt porté par la communauté internationale aux facteurs humains puis organisationnels¹⁸⁰, cela dès après l'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island.

Au cours du temps, les FOH ont pris une importance grandissante dans les travaux menés au niveau international et des instances telles que l'AIEA et l'AEN constituent des lieux d'échanges précieux. Toutefois, si les organismes de sûreté ont acquis dans un certain nombre de pays une expérience solide, la situation mondiale reste hétérogène. Le domaine des FOH constitue un axe de développement important pour les pays qui ne disposent pas encore de l'expérience et de compétences suffisantes pour mener des études et des recherches, des expertises ou encore des programmes d'inspection dans le domaine des FOH.

Aussi, l'AIEA a lancé en 2014, avec la collaboration d'experts de différents pays, un programme d'une durée de quatre années pour aider les organismes de sûreté à mettre en place et renforcer leurs actions en matière de FOH. Ce programme s'est achevé en 2018 avec la publication d'un rapport entièrement consacré à ce sujet pour favoriser le développement et la mise en œuvre de programmes d'inspection et d'évaluation dans le domaine des FOH¹⁸¹.

En France, dès la fin des années 1970, aussi bien Électricité de France que l'IPSN se sont dotés de compétences spécifiques en matière de FOH, qui ont été renforcées dans les années 1980. Des unités de recherche ont ensuite été mises en place pour faire évoluer les connaissances nécessaires à l'analyse de sûreté, pour faire face à des questions nouvelles (nouvelles technologies, domaines nouveaux), explorer des sujets

180. « International Collaboration in Nuclear Safety – Contribution of the NEA/CSNI Working Group on Human Organisational Factors », D. Tasset, A. Frischknecht, G. Lamarre, B. Gil-Montes, ANS 8th International Conference on Nuclear Power Plant Instrumentation, Control and Human Machine Interface Technology, San Diego, États-Unis, 22–27 July 2012.

181. À la lumière du document technique intitulé « Regulatory Oversight of Human and Organizational Factors for Safety of Nuclear Installations », IAEA-TECDOC-1846.

de nature sociétale autour de la gouvernance des risques nucléaires abordée sous l'angle non seulement des facteurs organisationnels mais aussi des facteurs culturels¹⁸².

L'étude des dimensions organisationnelles et humaines repose sur des approches pluridisciplinaires qui mobilisent les connaissances, modèles et techniques issues des sciences humaines et sociales¹⁸³ pour appréhender les systèmes sociotechniques dans leur « fonctionnement réel »¹⁸⁴. Ces approches s'appliquent notamment pour les phases de conception et d'exploitation normale des installations, ainsi que dans le cadre du retour d'expérience événementiel et dans la phase de démantèlement de ces installations.

L'étude des facteurs organisationnels et humains nécessite généralement des observations « sur le terrain » (entretiens avec le personnel, observations de chantiers ou de situations de travail par exemple lors d'activités « sensibles » au plan de la sûreté...); lorsque de telles analyses sont menées dans le cadre d'expertises de sûreté, elles supposent la mise en place de protocoles entre l'IRSN et l'exploitant concerné¹⁸⁵. L'étude peut aussi s'appuyer sur des simulations, comme celles qui sont menées au Halden Man-Machine Laboratory¹⁸⁶ (HAMMLAB)¹⁸⁷ du réacteur de recherche situé à Halden en Norvège, dans le cadre du projet international dénommé *HALDEN Reactor Project*.

La nature et la qualité des données recueillies par les observations sur le terrain ou lors des simulations constituent des points-clefs pour la validité des résultats. Ainsi, les entretiens avec des acteurs permettent de recueillir non seulement des faits mais aussi des données subjectives (opinions, ressentis, perceptions). Ces données sont croisées entre elles, les entretiens étant menés auprès de plusieurs acteurs et croisées avec des données objectives (notes d'organisation, évolutions des paramètres physiques d'un système ou notes ou photographies d'observations, par exemple). La « somme » des subjectivités recueillies et le travail d'objectivation¹⁸⁸ qu'elles subissent permettent d'obtenir une image assez fidèle du réel.

Au début des années 1990, Électricité de France a considéré que, pour progresser dans l'analyse des événements, la présence de spécialistes FOH devenait nécessaire

182. « État des recherches dans le domaine de la sûreté des réacteurs à eau sous pression », J. Couturier & M. Schwarz, Collection sciences et techniques, IRSN/EDP Sciences, 2017, chapitre 11.

183. Sciences qui visent l'explication de la réalité et de ses phénomènes par la connaissance des causes, des « lois » ou des « modèles » qui s'y rattachent : existence de régularités y compris pour des comportements en apparence très individuels, manifestation de ces régularités dans les organisations (des individus ayant le même profil, placés dans la même situation, auront des comportements semblables, des stratégies d'actions similaires).

184. La notion de fonctionnement réel renvoie aux pratiques mises en œuvre sur le terrain et se différencie de ce qui est prévu par les procédures et formalisé dans la documentation d'exploitation.

185. Les protocoles visent à préciser les conditions d'entretiens et d'observations, notamment pour préserver la confidentialité des propos et l'anonymat des personnes interrogées.

186. Laboratoire de recherche en matière d'interface homme-machine.

187. Voir l'ouvrage « État des recherches dans le domaine de la sûreté des réacteurs à eau sous pression », J. Couturier & M. Schwarz, Collection sciences et techniques, IRSN/EDP Sciences, 2017, chapitre 11.

188. Voir le rapport DSR n° 438 de l'IRSN intitulé « Les facteurs organisationnels et humains de la gestion des risques : idées reçues, idées déçues », établi en 2011 et accessible sur le site internet de l'IRSN.

dans les centrales nucléaires en exploitation, au plus près des unités opérationnelles sur le terrain. Ainsi, depuis 1995, chaque centrale dispose d'un spécialiste portant le titre de Consultant FH (CFH). Le réseau de ces consultants est animé au niveau national d'Électricité de France dans un objectif de capitalisation des actions et d'échanges sur les pratiques.

À partir de 2005, c'est dans ses centres d'ingénierie qu'Électricité de France a mis en place un réseau de « référents » de la démarche d'analyse des impacts sociaux, organisationnels et humains (SOH) – démarche explicitée au paragraphe 16.2.2 – pour développer la prise en compte des aspects humains et organisationnels dans les modifications techniques et documentaires.

Électricité de France a également engagé des actions visant à réduire le nombre d'événements survenant dans les réacteurs du parc électronucléaire comportant des défaillances humaines, en s'appuyant sur les compétences FOH disponibles tant dans les services centraux qu'au niveau des sites (CNPE). Il a déployé à partir de 2006, sur tous les sites, des dispositions visant à renforcer la fiabilité des actions humaines afin d'aider chaque professionnel à « *faire bien du premier coup* » en s'appuyant sur des pratiques standards de fiabilisation des interventions reconnues au plan international : pré-job briefing, « minute d'arrêt », recours à des contrôles spécifiques (autocontrôle ou contrôles croisés), communication « sécurisée »¹⁸⁹, débriefing.

4.5.2. Principaux sujets étudiés

Dès le début des années 1980, à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island, des experts et des chercheurs à Électricité de France et à l'IPSN, notamment en ergonomie, ont contribué à la réalisation d'études sur les activités de conduite en salle de commande et ont été impliqués dans le projet de conception de la salle de commande informatisée pour les réacteurs du palier N4. L'étude de la prise en compte des FOH au stade de la conception a été poursuivie avec la conception du réacteur EPR¹⁹⁰ : les sujets traités ont concerné l'intégration des FOH dans la méthodologie de conception, les interfaces homme-machine, les moyens de conduite prévus pour les opérateurs en salle de commande (ce sujet a été évoqué plus haut), l'organisation des équipes de conduite, les interventions des opérateurs en local. À partir des années 2000, les FOH ont également été pris en compte de manière approfondie pour la conception et la réalisation de modifications de nature matérielle ou organisationnelle dans les centrales nucléaires en exploitation. La prise en compte des FOH pour la conception de nouvelles installations ou la conception de modifications en exploitation fait l'objet du chapitre 16.

189. La communication orale dite sécurisée est une pratique qui permet aux intervenants de transmettre des informations claires et complètes et à l'émetteur de l'information de s'assurer qu'elles ont été bien comprises par le destinataire.

190. Les années 2000 sont aussi mises à profit, notamment par l'IRSN, pour analyser comment sont pris en compte les facteurs organisationnels et humains dans les processus de conception et d'exploitation de projets d'installations nucléaires telles que le réacteur de recherche Jules Horowitz ou le Centre industriel de stockage géologique profond (CIGEO).

Les compétences spécifiques en matière de FOH sont désormais sollicitées – aussi bien chez l'exploitant Électricité de France qu'à l'IRSN – pour analyser les événements significatifs et en rechercher les causes organisationnelles ou humaines; cette analyse met en œuvre des méthodes qui se sont affinées au cours du temps. L'analyse de tels événements conduit à en rechercher non seulement les causes directes mais aussi les causes profondes, sachant que :

- les défaillances techniques sont conditionnées par des défaillances humaines et organisationnelles;
- les erreurs humaines ne sont que les symptômes de défaillances plus profondes de l'organisation; il convient donc d'éviter une focalisation excessive sur les seules activités ou comportements des opérateurs.

Les règles et pratiques mises en œuvre en matière d'analyse des événements sont présentées au chapitre 21.

Plusieurs événements sont survenus en 1989-1990 dans les réacteurs du parc électronucléaire français, en période d'arrêt de tranche; il s'agissait notamment d'erreurs opératoires sur des matériels, pérennes (erreurs de positionnement de vannes de mise en configuration de capteurs de mesure, dites erreurs de « lignage ») ou installés à titre provisoire (dispositions et moyens particuliers [DMP], laissés en place par erreur après une intervention); ces événements ont conduit Électricité de France à analyser leurs causes et à mettre en place des dispositions correctives notamment pour les interventions de maintenance; ce sujet est développé au paragraphe 22.2.

Mais, dans les centrales en exploitation, le champ d'activités en matière de FOH est large et de nombreux sujets font l'objet d'analyses; outre l'analyse du retour d'expérience et l'organisation des activités de conduite en salle de commande évoquées ci-dessus, les sujets suivants ont été étudiés :

- la gestion des compétences, la formation du personnel d'exploitation,
- l'organisation des activités de maintenance, leurs évolutions, notamment la maîtrise de la sous-traitance,
- la gestion des situations d'urgence et de crise,

et doivent à l'évidence faire l'objet d'une attention permanente tant de la part d'Électricité de France que des organismes de sûreté.

La prise en compte des FOH dans les centrales nucléaires en exploitation fait l'objet du chapitre 25.

4.6. Les FOH dans la réglementation française

En 1984, l'« arrêté qualité »¹⁹¹ a formalisé en France un certain nombre d'exigences relatives à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation

191. Arrêté du 10 août 1984, évoqué au chapitre 2.

des installations nucléaires de base (avec notamment, pour les équipements importants pour la sûreté, les notions d'exigences définies [ED] et d'activités concernées par la qualité [ACQ]). Ces exigences concernent entre autres des sujets relevant des FOH tels que l'organisation, les moyens humains et techniques, les compétences (formation, qualification, habilitation des personnels), le contrôle des activités concernées par la qualité, la surveillance des prestataires, la gestion des documents, le traitement des anomalies et incidents...

Jusqu'en 2012, le texte de cet arrêté a été la base réglementaire qui a permis aux inspecteurs de l'autorité de sûreté, avec l'appui des spécialistes FOH de l'IPSN puis de l'IRSN, d'effectuer des inspections sur ces différents sujets. Ces dispositions réglementaires sont reprises et élargies par l'« arrêté INB » du 7 février 2012 dont il a été question au chapitre 2; le texte de cet arrêté prescrit la mise en place d'un « système de management intégré »¹⁹², fixe des exigences applicables aux activités importantes pour la « protection des intérêts » et des exigences sur la surveillance des intervenants extérieurs, ainsi que des exigences quant à la prise en compte des FOH dans l'analyse des événements significatifs. Des compléments ont été apportés aux exigences relatives à la sous-traitance par le décret n° 2016-846 du 28 juin 2016.

À partir de 2004, l'autorité de sûreté française, consciente de l'importance croissante des sujets FOH pour la sûreté, a renforcé leur prise en compte dans ses activités de contrôle et s'est dotée pour cela de spécialistes FOH, a mis en place des formations systématiques des inspecteurs aux FOH et a élaboré des guides d'inspection en matière de FOH.

À la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi qui a mis en lumière l'importance des aspects sociétaux, elle a de plus décidé d'ouvrir le champ de ses réflexions sur les FOH aux différentes composantes de la société, avec la création en 2012 d'une instance pluridisciplinaire et pluraliste, le Comité sur les facteurs sociaux, organisationnels et humains (COFSOH). Au sein de ce comité, cinq groupes de travail concernent la sous-traitance, les questions juridiques, la gestion des situations de crise, l'articulation entre la sûreté « réglée » et la sûreté « gérée », enfin les activités de démantèlement des installations; les rapports sont rendus publics¹⁹³.

192. « L'exploitant définit et met en œuvre un système de management intégré qui permet d'assurer que les exigences relatives à la protection des intérêts [au sens de la réglementation] sont systématiquement prises en compte dans toute décision concernant l'installation. »

193. Ils sont accessibles sur le site internet de l'ASN à l'adresse <https://www.asn.fr/L-ASN/Comite-sur-les-facteurs-sociaux-organisationnels-et-humains>.

