



Profil

Comprendre les facteurs humains et organisationnels

Sûreté nucléaire et organisations à risques

Benoît Bernard

Comprendre les facteurs humains et organisationnels

Sûreté nucléaire et organisations à risques

Benoît BERNARD

À Geneviève et Antoine

Imprimé en France
ISBN : 978-2-7598-1185-4

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2014



Remerciements

L'auteur tient à remercier Bel V pour son soutien à la publication de l'ouvrage ainsi que B. Verboomen et Y. Van den Berghe pour leur lecture approfondie et perspicace de l'ouvrage. L'auteur reste toutefois entièrement responsable du contenu du document.

Vj ku' r ci g'kpvgpvkqpcmf 'igh'drepm

Préface

Comme toutes les organisations à risques, l'industrie nucléaire se préoccupe des facteurs humains et organisationnels. Dès lors, Bel V, en qualité d'organisme de contrôle nucléaire, s'y intéresse afin de pouvoir vérifier que les exploitants des installations nucléaires prennent toutes les mesures utiles à la diminution des risques, autant que faire se peut.

Au fur et à mesure que la technologie nucléaire gagne en maturité, l'amélioration continue de la sûreté conduit à corriger les erreurs de conception ou de fabrication. Cela se réalise, d'une part, suite à l'analyse des incidents et des accidents qui se produisent dans les installations et, d'autre part, lors des révisions périodiques de la sûreté. L'expérience montre que les accidents peuvent être dus soit à des défaillances de composants, soit à des erreurs humaines. Les erreurs humaines sont plus difficiles à appréhender que les défaillances de composants mécaniques. Les ingénieurs étant beaucoup plus à l'aise avec les facteurs technologiques qu'avec les facteurs humains, il en résulte que les améliorations de sûreté ont surtout porté sur les systèmes hardware. La conséquence est qu'au fil des années, les facteurs humains et organisationnels prennent une importance relative croissante.

Les organismes de contrôle doivent donc compléter la palette des disciplines qui composent leur expertise par les aspects sociologiques utiles, et c'est tout l'intérêt de l'ouvrage de Benoît Bernard. L'auteur y analyse la dimension humaine de la sûreté et, à l'aide d'exemples d'accidents réels, nous conduit à comprendre ce qui

sous-tend les interventions humaines. Celles-ci ne sont pas uniquement à l'origine des accidents ou un facteur aggravant (soit par des réactions inappropriées, soit par manque d'intervention), elles peuvent aussi permettre de récupérer des situations dangereuses, voire désespérées, et d'en limiter les conséquences.

Enfin, la manière dont un exploitant nucléaire s'organise peut avoir une importance majeure sur le niveau de sûreté d'une installation. Évaluer l'importance du facteur organisationnel sur la sûreté nucléaire est l'un des principaux défis des analyses actuelles. L'expérience montre en effet que la structure hiérarchique et organisationnelle mise en place par un exploitant influe grandement sur le fonctionnement des équipes en charge de l'exploitation d'une installation complexe, sur leur capacité à éviter les incidents et les accidents ainsi que sur leur efficacité à gérer les situations de crise.

Dans son ouvrage, l'auteur fait donc le lien entre les comportements individuels et la coordination des équipes, avant d'intégrer ces aspects dans l'étude de la régulation organisationnelle.

Par ses travaux, Benoît Bernard contribue grandement à faire avancer les connaissances indispensables au métier de Bel V et je l'en remercie vivement.

Benoît De Boeck
Directeur général Bel V

Table des matières

Introduction	1
Chapitre 1 • La dimension humaine de la sûreté	5
1.1 Les FHO comme barrières.....	7
1.2 Les accidents dits « normaux »	9
Three Mile Island	10
1.3 Les « organisations à haute fiabilité »	11
Tchernobyl	13
1.4 L'erreur est humaine	14
1.5 L'identification des causes profondes.....	17
Tokai-mura	19
1.6 Pour une approche sociotechnique de la sûreté	20
Fukushima	22
Chapitre 2 • Analyser une organisation à risques	25
2.1 Les comportements individuels.....	25

2.1.1	<i>La perception des risques</i>	26
2.1.2	<i>La dissonance cognitive</i>	27
2.1.3	<i>Les images opératives et les biais cognitifs</i>	29
	L'USS Vincennes et le vol Iran Air 655	30
2.1.4	<i>Maintenir le sens de la situation</i>	33
	La collision de deux 747 à l'aéroport de Ténérife	33
	À retenir	35
2.2	La coordination des équipes	36
2.2.1	<i>La performance d'une équipe</i>	37
	L'incendie de Mann Gulch	38
2.2.2	<i>Les cultures professionnelles</i>	39
2.2.3	<i>Identifier les « groupthink »</i>	41
	Le décollage de Challenger	43
	À retenir	45
2.3	La régulation organisationnelle	46
2.3.1	<i>Les formes organisationnelles</i>	46
	L'explosion de BP Texas City	48
2.3.2	<i>Compliance et règles informelles</i>	50
2.3.3	<i>Interroger les routines organisationnelles</i>	52
	L'explosion de Columbia	53
	À retenir	54
	Conclusions	57
	Bibliographie	59

Introduction

Les organisations à risques sont avant tout des systèmes humains. Derrière cette entrée en matière quelque peu provocatrice au regard du caractère technique de ces organisations, se cache l'ambition de mettre en lumière les mécanismes individuels et collectifs qui les façonnent. *Sur quels ressorts reposent les comportements à risques ? Pourquoi certains groupes sont-ils incapables de communiquer ou de se coordonner ? Pourquoi les organisations répètent-elles leurs erreurs ?* Ces quelques exemples de questions nous montrent d'emblée que les facteurs humains et organisationnels (FHO) sont au centre des enjeux de sûreté et de sa gestion : de la conception au démantèlement, les FHO s'invitent lors des différentes phases de la vie d'une installation à risques.

Pourtant, si les FHO font désormais partie du vocabulaire commun des praticiens de la sûreté, ils sont encore trop fréquemment assimilés à des notions, trop restrictives, telles que l'erreur humaine. Considérant qu'une défaillance humaine ne peut se comprendre sur le même mode qu'une défaillance technique, cet ouvrage proposera un parcours d'exploration en profondeur de la dimension humaine de la sûreté. En effet, malgré son appellation, le facteur humain n'est pas tant un facteur à isoler sur un mode analytique, qu'une dimension à comprendre dans ses interrelations aux situations de travail, au contexte d'action et aux dispositifs techniques au sein desquels sont plongés les individus et les groupes. Ainsi, comme le montreront les analyses d'accidents relatés au fil des chapitres, les barrières techniques n'atteignent leur pleine

efficacité que si elles sont comprises, appropriées et utilisées par les opérateurs : les systèmes techniques et sociaux sont indissociablement liés.

La mise en relief de cette dimension humaine de la sûreté nous amène tout d'abord à devoir définir cette dernière. Dans un premier temps, la sûreté peut se définir par le caractère paradoxal de son objectif, à savoir celui de viser une *absence* (Daniellou *et al.*, 2010). Pour reprendre les mots d'Hollnagel (2004), la sûreté se veut en ce sens « *la somme des accidents qui ne se sont pas produits* ». Tant dans le nucléaire que dans d'autres organisations à risques, l'enjeu poursuivi est celui d'éviter ou de réduire l'occurrence d'événements non désirés.

Il s'ensuit qu'une démarche dans le domaine exige une attention constante aux évolutions, mêmes minimales, qui peuvent avoir un impact sur la sûreté. En vertu de ce caractère dynamique, on constatera tout d'abord que la mise en œuvre d'une démarche de sûreté implique que ses résultats ne soient jamais vraiment atteints et surtout acquis. Puisqu'elles sont dynamiques, il faut également considérer que les situations à risques sont soumises à de perpétuelles incertitudes tant sur la fiabilité, l'efficacité que l'adéquation des dispositifs de sûreté prévus (Grote, 2009). Ainsi, et à la suite de Weick (1987), la sûreté se consacre à la poursuite de « *Dynamic non-events* ».

Dans une perspective de défense en profondeur – *i.e.* prévenir les accidents, empêcher leur escalade et limiter leurs conséquences – il convient de constater que les fonctions des barrières de type FHO ne diffèrent pas fondamentalement des équipements de sûreté ou des réglementations. Les programmes de formation ou de performance humaine constituent, parmi d'autres, des lignes de défense au même titre que des dispositifs techniques. Comme nous le verrons, une particularité des barrières FHO tient toutefois dans le fait qu'elles s'ancrent dans des dimensions de l'ordre de l'informel ou du subjectif. En effet, dans une approche FHO, les perceptions, les représentations, les formes de coopération, les mécanismes de traitement de l'information ou encore les traits culturels sont au cœur des questions de sûreté. On le voit, la sûreté est aussi et surtout une *présence*.

Comment dès lors assurer cette présence ? Comment faire face à l'incertitude inhérente des situations à risques ? Deux stratégies de base s'opposent traditionnellement en la matière : l'anticipation et la résilience (Wildalvsky, 1988). D'une part, l'anticipation dont l'objectif est d'accroître la prévisibilité et la stabilité du système. D'autre part, la résilience comprise comme la capacité de résistance aux variations imprévues et de récupération de situations dégradées. D'un côté, les solutions passent par une recherche de réduction des risques ; de l'autre, il s'agit de se préparer à y faire face. Dans un langage organisationnel, on retrouve les deux grandes approches de régulation, dites mécaniste et organique (Journé, 2001). On retrouvera, dans cette première forme de régulation, cette volonté d'anticiper les risques par des études probabilistes, des automatisations, la planification de contre-mesures et, évidemment, des procédures. Pour l'approche organique, la sûreté consistera plutôt à développer les capacités d'adaptation des organisations et des individus face à l'imprévu.

Si les complémentarités entre les deux approches sont encore loin d'être établies, l'ouvrage tentera pourtant d'adopter une perspective croisée. Du point de vue des

FHO, une démarche de sûreté prend alors à une nouvelle portée, celle de l'articulation permanente entre la stabilité des dispositifs et la flexibilité qu'ils autorisent face à la dynamique de la situation (Waller *et al.*, 2004; Faraj et Xiao, 2006).

Comme cela a déjà été souligné, s'attacher au facteur humain implique de s'intéresser aux différents niveaux de compréhension des conduites humaines, à savoir l'individu, les groupes et l'organisation. L'ouvrage commencera ainsi son parcours d'exploration par le niveau individuel.

Plongés au sein de situations de travail caractérisées par l'incertitude, l'imprévu ou l'urgence, les individus sont évidemment au cœur du risque. Une des questions clés développée dans ce chapitre concernera les ressorts sur lesquels reposent les prises de risque. En effet, un risque considéré comme acceptable pour les uns ne le sera pas nécessairement pour les autres. Il s'agira ainsi de se pencher sur l'influence des mécanismes de la perception et des biais cognitifs dont la particularité commune est de mettre en place un cadre d'analyse propre à un individu ou à un groupe.

Si les individus sont porteurs de perceptions, de systèmes de valeurs ou d'intérêts différenciés, la question devient celle de savoir comment favoriser la nécessaire coordination des équipes. Au nombre des réponses potentielles, le chapitre consacré à la coordination au sein des groupes s'attachera plus particulièrement au rôle des représentations. Lorsqu'une situation se révèle inattendue, devient urgente sinon extrême, les outils de coordination explicites (la hiérarchie, les procédures, les plans) peuvent, en effet, perdre de leur efficacité s'ils ne sont pas sous-tendus par un cadre implicite (des représentations, des logiques d'action, des modèles de relation), permettant le partage d'une vision commune des rôles de chacun, des problèmes à résoudre et des moyens à mettre en œuvre.

Enfin, l'ouvrage s'intéressera au niveau organisationnel. Sur le plan de sa structure formelle, une organisation peut se comprendre comme un compromis mécanique entre des processus consistant à diviser le travail et, dans le même temps, à établir des moyens de coopération. Les questions clés du design organisationnel sont alors liées au degré de spécialisation du travail, de localisation de l'autorité ou encore des modalités de coordination à privilégier. Ces choix initiaux intéressent la sûreté dans la mesure où ils assureront – ou pas – la disponibilité quantitative et qualitative des effectifs, la clarté des lignes hiérarchiques, la fluidité des canaux de communication ainsi que les coopérations entre acteurs. L'empreinte de l'organisation ne se limite toutefois pas à son cadre formel. Une organisation est également un tissu informel d'interdépendances, de relations de pouvoir et de routines : il en ressort que ce qui est fréquemment qualifié de dysfonctionnements peut aussi se lire comme un mode de fonctionnement.

Vj ku' r ci g'kpvgpvkqpcmf 'igh'drepm

La dimension humaine de la sûreté

L'accident de Three Mile Island (TMI) en 1979 constitue l'entrée en matière du facteur humain dans la sûreté et la sûreté nucléaire en particulier. Les approches ergonomiques et de la fiabilité humaine s'étaient déjà intéressées aux interactions homme-machine ou à la maîtrise des défaillances humaines (Rasmussen, 1975) mais, comme nous le verrons, l'analyse de l'accident de TMI et d'une série d'accidents d'ampleur ont mis en lumière l'impact des aspects humains et organisationnels sur les causes et le déroulement des accidents. J. Reason parlera en ce sens d'accidents « organisationnels » (1997) et C. Perrow d'accidents « systémiques » (1984).

L'apparition du facteur humain correspond également à un tournant dans la manière de concevoir la sûreté. En termes historiques, on peut en effet retenir la succession de plusieurs périodes spécifiques (figure 1). Durant la première d'entre elles, la période qualifiée de technique (1960-1980), les questions de sûreté sont envisagées par le prisme unique de la technique, celle-ci étant perçue comme la seule source des problèmes mais aussi et surtout des solutions. Ces dernières sont par conséquent trouvées en priorité dans l'amélioration des composantes techniques.

Le passage de la période technique à la période dite de l'erreur humaine (1980-1990) s'est donc produit, brutalement, suite à l'accident de TMI. Les questions de sûreté se sont alors focalisées sur cette notion générique d'erreur humaine et l'individu est

perçu comme la source principale des défaillances. La sûreté passe par conséquent par la mise en place de procédures, de programmes de formation mais également par des automatisations réduisant une intervention humaine considérée comme un facteur de risque. Nous le verrons, cette approche de l'erreur humaine soulèvera de nombreuses questions.

Lors de la période suivante, qualifiée de sociotechnique (1990-2000), de nombreux travaux ont en effet montré les limites d'une approche centrée sur cette notion d'erreur humaine pour adopter une démarche analysant les composantes humaines et techniques de manière interdépendante. À travers une série de cas d'accidents, cet ouvrage n'aura d'autre ambition que d'explorer les différentes facettes de ces interactions entre le social et la technique.

Enfin, pour être complet, retenons que des auteurs (Wilpert et Fahlbruch, 1998) ont fait l'hypothèse d'une quatrième période, inter-organisationnelle, mettant en exergue l'enjeu de sûreté que constitue les relations mal maîtrisées ou négligées au sein des organisations. Dans un contexte global marqué par les fusions et les acquisitions d'entreprises ou la généralisation du recours à la sous-traitance, la question devient celle des capacités de coordination d'organisations aux traditions et intérêts différenciés.

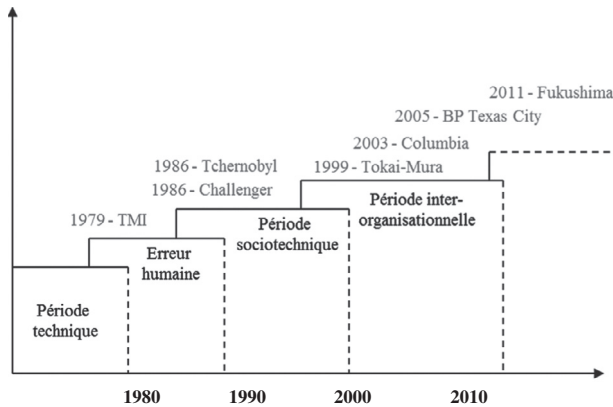


Figure 1 *Quatre périodes dans la manière de concevoir la sûreté.*

Dans une approche FHO, les opérateurs ne sont donc pas uniquement les premiers instigateurs des accidents mais aussi et surtout les héritiers des défauts du système. L'analyse du facteur humain dépasse alors les questions initiales d'amélioration des relations hommes-machines (salle de commande, instrumentations, cockpit...) pour couvrir le champ plus large des interactions entre les individus, les organisations et les technologies assurant le fonctionnement d'une installation à risques. Au même titre que les équipements matériels de sûreté, les facteurs humains et organisationnels (FHO) contribuent à établir des barrières face aux risques.

1.1 Les FHO comme barrières

On entend par cette notion de barrière tout moyen planifié et destiné à prévenir, contrôler ou diminuer l'impact d'un événement indésirable sur une cible (Sklet, 2006 ; Harms-Ringdahl, 2009). Dans une perspective de compréhension séquentielle des accidents, les barrières empêchent ainsi la succession en chaîne d'événements – par exemple par un effet « domino » (Heinrich, 1931) – ou une libération d'énergie (Gibson, 1961 ; Haddon, 1980). Ces barrières ou lignes de défense peuvent évidemment être de nature technique et répondent alors aux impératifs de redondance, de diversité ou de séparation. Elles sont également de nature procédurale, administrative ou humaine (individuelle ou organisationnelle). Sur une autre modalité de classification (Hollnagel, 2004), les barrières peuvent être physiques ou fonctionnelles (des codes d'accès), symboliques ou incorporelles (des procédures, un système de management). Pour utiliser le vocabulaire en la matière, on ajoutera encore qu'une barrière doit être adéquate et effective, disponible rapidement et fiable, robuste et spécifique.

Ainsi, à l'instar des équipements techniques, tant les individus par leur capacité d'identification et de résolution des problèmes que la dynamique des groupes ou les éléments de structure organisationnelle constituent des lignes de défense : les FHO ne sont donc pas un maillon faible de la sûreté mais, au contraire, y participent activement. Dans de nombreuses circonstances, ils jouent même le rôle de dernière barrière.

L'organisation du travail, la gestion des compétences, les capacités de travail en équipe ou de récupération des erreurs sont autant d'exemples de barrières FHO intégrées aux différentes strates d'une défense en profondeur. Les FHO tentent ainsi, avant tout, de prévenir les « trajectoires accidentelles » selon le concept de Reason (1990), à savoir les combinaisons de causes directes et de facteurs environnementaux qui peuvent se transformer en accident. Dans cette approche qualifiée d'épidémiologique, l'auteur distingue en effet deux types d'erreurs : d'une part, les erreurs « actives » (*active failures*) commises par les opérateurs au plus proche de l'action et dont les effets sont immédiats et, d'autre part, les erreurs « latentes » (*latent conditions*) issues d'activités hors champ opérationnel (par exemple lors de la conception, de la fabrication ou d'une maintenance) et pouvant sommeiller longtemps au sein d'un système¹.

Ce modèle de compréhension des processus accidentels – qualifié de « *Swiss Cheese Model* » (Reason, 1990, 1997) (figure 2) – offre ainsi une vue générique de l'avènement d'accidents et du rôle des lignes de défense. Au sein de ce modèle devenu classique, les risques sont identifiés, sur chacune des tranches, mais ne sont pas prévenus en raison de barrières non entretenues, inefficaces ou mal conçues, en l'occurrence les trous. Un accident est dès lors le produit d'une combinaison

¹ Turner (1978) avait déjà dégagé cette idée d'erreur tapie au sein d'un système en parlant d'une « période d'incubation » des accidents. Ces derniers trouvant leur origine au sein de « *root causes* » et de phénomènes organisationnels tels que la rigidité culturelle, l'affaiblissement des normes ou des mécanismes d'aveuglement face à de nouveaux risques ou à des risques mal identifiés (Turner, 1976 ; Pidgeon et O'Leary, 2000).

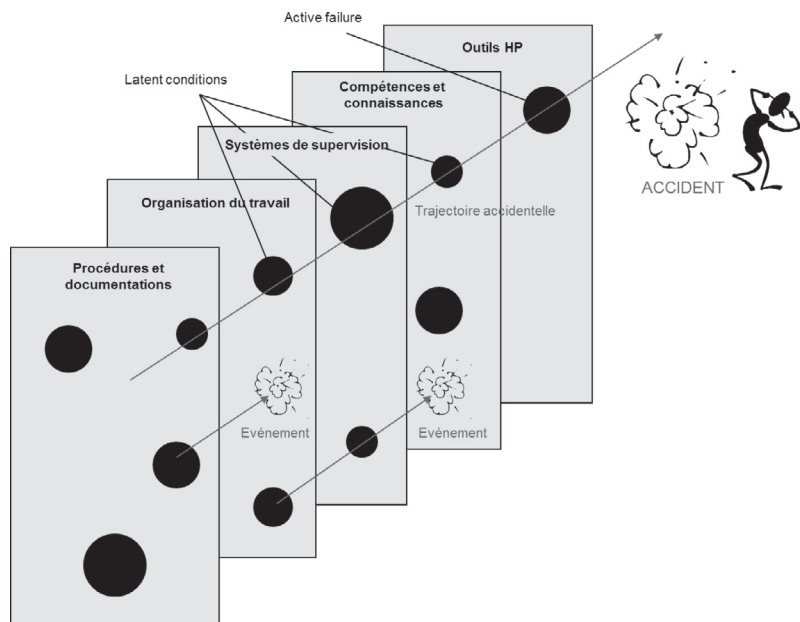


Figure 2 Le Swiss Cheese Model, adapté de Reason (1990).

d'événements, d'une trajectoire au sein de laquelle les différentes barrières se sont avérées inadéquates ou inefficaces.

Les barrières FHO ont alors pour premier objectif d'anticiper les réponses aux risques identifiés. Elles prennent la forme de plans, de programmes, de processus contribuant, par exemple, au développement des compétences ou à l'amélioration de l'organisation du travail. Ainsi, comme en balistique, l'enjeu est de cibler une série d'éléments du système dont il faut assurer le contrôle. En ce sens, chaque barrière, technique ou humaine, renforce le « stock » des dispositifs formels d'une organisation contre le risque.

À l'inverse, une autre approche, plus récente, met en évidence la nécessité de s'attacher au flux, aux capacités de réponse des individus et des organisations confrontés à des situations incertaines ou imprévisibles. On parle de résilience – organisationnelle ou individuelle – afin de témoigner de cette capacité à détecter précocement et à répondre adéquatement aux variations d'un système par rapport aux conditions de référence (Hollnagel *et al.*, 2006 ; Hollnagel *et al.*, 2011). En effet, un espace de sûreté n'est pas un état stable mais dynamique (Rasmussen, 1997) : les évolutions et les pressions de l'environnement conduisent les organisations à devoir faire face à des situations inattendues et donc, par définition, non anticipées. Les barrières s'attachent ici au développement des aptitudes à percevoir les signaux précurseurs, à résoudre les problèmes et à s'auto-organiser dans des contextes dégradés.

Peut-on toutefois prévenir les accidents et surtout comment ? Deux courants théoriques principaux s'opposent quant aux réponses à ces questions.

1.2 Les accidents dits « normaux »

Dans le cadre de diverses analyses d'accidents dans les secteurs nucléaire, chimique ou aérien, C. Perrow (1984) a mis en exergue les propriétés spécifiques et intrinsèques des organisations à risques. Soulignant le caractère inéluctable des accidents, l'auteur identifie ce qu'il considère comme les deux traits majeurs du manque de fiabilité de ces organisations : les « interactions complexes » et les « couplages serrés ».

D'une part, les interactions entre les composants d'un système (les équipements, des détecteurs, des fluides, des réactions chimiques, des comportements humains...) sont qualifiées de complexes dans le sens où elles sont nombreuses et surtout imprévisibles. La complexité des interactions implique donc qu'il n'est pas possible de prévoir avec certitude et de comprendre immédiatement la succession des événements, en particulier en cas de séquences anormales ou non planifiées : selon Perrow, les erreurs sont dès lors inévitables et interagissent de manière inattendue avec d'autres éléments du système.

D'autre part, les couplages serrés (*tightly coupled*) entre les séquences programmées du process industriel entraînent de fortes interconnexions. Les couplages serrés impliquent qu'il n'existe que peu d'alternative (les séquences sont invariables : B doit suivre A dans une séquence temporelle définie), peu de marge de manœuvre et de possibilité de substitution de méthodes ou de matériels (un seul moyen d'atteindre l'état escompté). Dans la perspective tracée par Perrow, les capacités d'adaptation ou d'improvisation des individus sont faibles voire inexistantes. De surcroît, pour l'auteur, toute modification d'un composant, même minime, peut affecter rapidement l'ensemble du système et entraîner une amplification des erreurs.

Sur ces bases, Perrow en vient à considérer que les défauts de conception sont inévitables et que les accidents doivent en toute logique être qualifiés de « normaux » (*Normal Accident Theory* ou NAT). Pour le dire autrement, au sens de Perrow, les organisations à hauts risques sont vouées à l'échec en raison de causes endogènes.

Ainsi, au regard des caractéristiques de complexité et de couplage serré, Perrow (1981) considère le cas de Three Mile Island (TMI) comme l'illustration du caractère inévitable des accidents et, en corollaire, de l'impossibilité de les prévenir. TMI serait-il donc un accident dit normal ? En première analyse, certains enchaînements d'événements pourraient le laisser penser. Une attention approfondie au déroulement de l'accident montre toutefois l'importance qu'ont joué des dimensions telles que le retour d'expérience (REX), la formation des opérateurs ou les relations homme-machine dans le développement de l'accident. Prenant le contrepied des analyses de Perrow, différents auteurs à l'instar d'Hopkins (2001) ont ainsi relevé que TMI était avant tout l'histoire de précurseurs qui n'ont pas été pris en considération (un cas similaire s'était en effet produit 18 mois plus tôt à la centrale nucléaire de Davis-Besse), de communications inadéquates entre opérateurs en salle de commande et, plus largement, de pratiques managériales faiblement orientées sur les questions de sûreté.

1 Three Mile Island

L'accident de TMI, survenu le 28 mars 1979, s'est déroulé² sur la deuxième tranche du site (900 MWe) mise en service le 30 décembre 1978. Cet accident constitue à ce jour l'accident le plus important impliquant un réacteur à eau pressurisée (PWR). Lors de l'accident, l'unité de TMI-2 fonctionnait en contrôle automatique et à pleine puissance. L'équipe de nuit, en place depuis 23 heures le 27 mars, était composée de trois opérateurs de conduite qualifiés et expérimentés. Pourtant, tout au long de l'accident, les analyses ont identifié des lacunes dans la compréhension des instrumentations et dans la capacité des opérateurs à poser un diagnostic approprié de la situation (Libmann, 1996 ; Reason, 1990).

L'accident débuta à 4:00 a.m. par une défaillance de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur, ce qui entraîna l'arrêt d'urgence du réacteur (4:00:47). Les automatismes et les alimentations de secours se mettent en route. Néanmoins, en raison d'une maintenance réalisée 42 heures plus tôt, des vannes restées en position fermée empêchent l'eau d'atteindre les générateurs de vapeur. Pour compléter le scénario, une vanne de décharge automatique reste ouverte et libère le fluide du circuit primaire dans un réservoir. C'est alors que plusieurs défaillances humaines se produisent. Tout d'abord les opérateurs de conduite interprètent l'indication de la vanne de décharge (« vanne fermée ») comme la position de la vanne. Or il s'agissait d'une indication d'ordre, une action à prendre (« vanne à fermer ») et non de position. Dès ce moment, ne comprenant pas le scénario accidentel dans lequel ils se trouvent, à savoir celui d'un circuit primaire ouvert, les opérateurs prendront une série de décisions aggravant la situation telles que l'arrêt de l'injection de sécurité et plus tard l'arrêt des pompes primaires.

La fusion du cœur de la centrale de TMI n'a pas provoqué de morts ou de blessés mais a eu pour conséquence des changements importants dans la conception générale de la sûreté – dont en particulier la défense en profondeur – ainsi que dans de nombreux domaines tels que les mesures à prendre en cas de situations d'urgence, le renforcement de la formation des opérateurs, l'amélioration des procédures et des interfaces homme-machine ou encore la réorganisation des pratiques d'inspection des autorités de sûreté (affectation d'inspecteurs permanents).

² Pour le déroulement de l'accident, voir parmi d'autres :

- Kemeny, J.G (1979). *The Accident of TMI. The Need for Change : the Legacy of TMI*. Report of the President's Commission October, Washington DC.
- Ireland, J.R., Scott, J.H., Stratton, W.R. (1981). « Three Mile Island and Multiple Failure Accidents ». *Los Alamos Science*, 3, Summer/Fall, 74-91.

L'analyse des différentes phases de l'accident de TMI a ainsi révélé la nécessité d'une approche FHO dès le stade de la conception (ergonomie des alarmes et limite des instrumentations). Toutefois, c'est au cœur même du déroulement de l'accident que les dimensions FHO se sont avérées déterminantes : la formation des opérateurs (une connaissance insuffisante des scénarios accidentels) ainsi qu'en corollaire leurs capacités de diagnostic et de prise de décisions (l'arrêt de l'injection de sécurité et des pompes primaires) ont eu une influence directe sur la dynamique de l'accident.

1.3 Les « organisations à haute fiabilité »

À cette question de savoir si l'on peut prévenir les accidents, un autre courant théorique, à savoir celui des *High Reliability Organizations* (HRO), contraste avec la position de Perrow sur le caractère inéluctable des accidents. L'équipe de chercheurs de l'université de Berkeley qui a initié ce courant a, en effet, renversé la perspective et s'est posé la question de savoir pourquoi si peu d'accidents se déroulaient au sein d'organisations à risques. Ainsi, à l'inverse des tenants de la théorie de « l'accident normal », l'organisation est ici considérée à haute fiabilité³ grâce au développement de pratiques et de modes de fonctionnement propices à l'évitement d'accidents.

Au nombre des caractéristiques centrales des HRO, on relève le constat d'un usage flexible de la centralisation et de la décentralisation de l'autorité (Rochlin, 1989). Une des premières caractéristiques des *High Reliability Organizations* est, en effet, de pouvoir fonctionner, soit sur un mode hiérarchique et formalisé en routine, soit sur un mode décentralisé selon les exigences des circonstances, par exemple lors d'urgences ou d'activités à rythme élevé. En guise d'illustration, des recherches menées sur des porte-avions nucléaires américains en opération (Rochlin *et al.*, 1987 ; Roberts, 1990) ont montré que la chaîne de commandement militaire pouvait être légitimement évitée lorsque des questions de sûreté étaient en jeu. Ainsi, le plus simple opérateur peut et se doit même de suspendre une procédure de décollage s'il perçoit un risque de défaillance. Les impératifs de sûreté renversent alors la pyramide hiérarchique.

On notera tout d'abord que cette flexibilité exige des compétences cognitives permettant le basculement d'un mode de fonctionnement de type bureaucratique à des activités menées à un rythme élevé (La Porte et Consolini, 1991 ; Eisenhardt, 1993). En particulier, lorsqu'il s'agit de s'adapter à des problèmes non identifiés

³ Des auteurs comme Rijpma (1997) ont montré les interpénétrations entre les écoles du NAT et des HRO : par exemple, la redondance des contrôles, une pratique valorisée par les HRO, peut entraîner une augmentation du nombre d'informations et, par conséquent, le niveau de complexité de l'organisation, considéré comme un facteur déterminant dans la théorie des accidents normaux. La redondance, centrale dans la prévention des accidents, peut en effet être la cause de problèmes, en particulier lorsque les éléments redondants sont ajoutés au système en place et non conçus à l'origine (Sagan, 2004, 1996). Par ailleurs, on notera qu'un principe de redondance strictement basé sur des calculs probabilistes peut donner une image de fiabilité faussement rassurante si les coûts (indépendances des systèmes, complexité...) et les bénéfices des équipements redondants ne sont pas mis en perspective. Par exemple, si la multiplication des réacteurs sur un avion semble diminuer la probabilité du risque lié à la défaillance d'un seul moteur, elle entraîne une augmentation du risque d'explosion (Downer, 2009).

- Journé, B., Raulet-Croset, N. (2008). « Le concept de situation : contribution à l'analyse de l'activité managériale en contextes d'ambiguïté et d'incertitude ». *Management*, 11, 1, 27-55.
- Kaber, D.B., Endsley, M.R. (1998). « Team Situation Awareness for Process Control Safety and Performance ». *Process Safety Progress*, 17, 1, 43-48.
- Katsuya, T. (2001). « Public Response to the Tokai Nuclear Accident ». *Risk Analysis*, 21, 6, 1039-1046.
- Kim, S.K., Byun, S.N. (2011). « Effects of Crew Resource Management Training on the Team Performance of Operators in an Advanced Nuclear Power Plant ». *Journal of Nuclear Science and Technology*, 48, 9, 1256-1264.
- Kirwan, B. (1994). *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London, Taylor & Francis.
- Klein, K.J., Ziegert, J., Knight, A.P., Xiao, Y. (2006). « Dynamic Delegation: Shared, Hierarchical, and Deindividualized Leadership in Extreme Action ». *Administrative Science Quarterly*, 51, 4, 590-621.
- Kletz, T. (1993). *Lessons from Disaster. How Organisations Have No Memory and Accidents Recur*. IchemE.
- Kletz, T. (2001). *Lessons from Disasters*. Oxford, Gulf Professional Publishing.
- Kluge, A., Sauer, J., Schüler, K., Burkolter, D. (2009). « Designing Training for Process Control Simulator: a Review of Empirical Findings and Current Practices ». *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10, 6, 489-509.
- Kontogiannis, T. (1999). « User Strategies in Recovering from Errors in Man-Machine Systems ». *Safety Science*, 32, 49-68.
- Kouabenan, D.G. (2007). « Incertitude, croyances et management de la sécurité ». *Le Travail Humain*, 70, 3, 271-287.
- Kubota, R. (2011). « Investigation on the Human and Organizational Factors in the Fukushima Accident », Personal opinion, 12th Meeting of WGHOE-OECD, Paris.
- La Porte, T., Consolini, P.M. (1991). « Working in Practice but Not in Theory: Theoretical Challenge of High Reliability ». *Journal of Public Administration Research and Theory*, 1, 19-47.
- Landau, M., Chisholm, D. (1995). « The Arrogance of Failure: Notes on Failure-avoidance Management ». *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 3, 2, 67-80.
- Langer, E.J. (1975). « The Illusion of Control ». *Journal of Personality and Social Psychology*, 32, 311-328.
- Langer, E.J. (1989). *Mindfulness*. Cambridge, Perseus.
- Lawton, R. (1998). « Not working to rule: understanding procedural violations at work ». *Safety Science*, 28, 2, 77-95.

Lekka, C. (2011). *High Reliability Organisations. A Review of the Literature*. Health and Safety Executive.

Leplat, J. (1988). *Task Complexity in Work Situations*. In Goodstein, L.P., Andersen, H.B., Olsen, S.E. (Eds). *Tasks, Errors and Mental Models*. London, Taylor and Francis.

Letzkus, P. (2003). « La gestion des conflits d'objectifs dans les activités à risques : la conduite d'installations nucléaires ». In Bastien, J.-M.C. (Ed) *Actes des Deuxièmes Journées d'Étude en Psychologie Ergonomique (EPIQUE)*, Boulogne-Billancourt. INRIA : Rocquencourt, 325-331.

Levine, J.M., Resnick, L.B., Higgins, E.T. (1993). « Social Foundations of Cognitions ». *Annual Review of Psychology*, 44, 585-612.

Levitt, B., March, J.G. (1988). « Organizational Learning ». *Annual Review of Sociology*, 14, 319-340.

Libmann, J. (1996). *Éléments de sûreté nucléaire*. Les Ulis, EDP Sciences.

Lundberg, J., Rollenhagen, C., Hollnagel, E. (2009). « What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The Consequences of Underlying Accident Models in Eight Accident Investigation Manuals ». *Safety Science*, 47, 10, 1297-1311.

Marks, M.A., Mathieu, J.E., Zaccaro, S.J. (2001). « A Temporally Based Framework and Taxonomy of Team Processes ». *Academy of Management Review*, 26, 3, 356-376.

Massiau, S. (2011). *Developing and Testing the Guidance-Expertise Model of Crew Cognitive Control: Study Plan for the Teamwork, Procedures and Expertise Experiment*. OECD Halden Reactor Project, HWR-980.

Mathieu, J.E., Heffner, T.S., Goodwin, G.F., Salas, E., Cannon-Bowers, J.A. (2000). « The Influence of Shared Mental Models on Team Process and Performance ». *Journal of Applied Psychology*, 85, 2, 273-283.

McDonald, N., Corrigan, S., Daly, C., Cromie, S. (2000). « Safety Management Systems and Safety Culture in Aircraft Maintenance Organisations ». *Safety Science*, 34, 151-176.

McMillan, J., Entin, E.E., Serfaty, D. (2004). « Communication Overhead: the Hidden Cost of Team Cognition ». In Salas, E., Fiore, S.M. (Eds) (2004). *Team Cognition: Understanding the Factors that Drive Process and Performance*. American Psychological Association, Washington DC, 61-82.

Melkonian, T. Picq, T. (2010). « Opening the “Black Box” of Collective Competence in Extreme Projects: Lessons from the French Special Forces ». *Project Management Journal*, 41, 3, 79-90.

Miller, D. (1992). *Le Paradoxe d'Icare. Comment les entreprises se tuent à réussir*. Presses de l'Université Laval, Québec.

Miller, D. (1994). « What Happens after Success: the Perils of Excellence ». *Journal of Management Studies*, 31, 3, 325-358.