



Franck Guarnieri
Sébastien Travadel
Christophe Martin
Aurélien Portelli
Aissame Afrouss

L'accident de Fukushima Dai Ichi

Le récit du directeur de la centrale

Volume I - L'anéantissement

Préface de Jean-Christophe Niel



Presses des Mines

Franck Guarnieri *et al.*, *L'accident de Fukushima Dai Ichi, Le récit du directeur de la centrale. Volume 1 L'anéantissement*. Paris : Presses des MINES, collection Libres opinions, 2015.

© Presses des MINES - TRANSVALOR, 2015

60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France

presses@mines-paristech.fr

www.pressesdesmines.com

© Photo de couverture : Masao Yoshida (au centre), directeur de la centrale Fukushima Dai Ichi, répond aux questions des journalistes, novembre 2011. © Jiji Press Photo, Ltd

ISBN : 978-2-35671-205-9

Dépôt légal : 2015

Achévé d'imprimer en 2015 (Paris)

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

L'accident de Fukushima Dai Ichi

Collection

Dans la même collection :

Fantine Lefèvre, Bogdan Popescu,
Le Crowdfunding à la française

Carl Djerassi,
La Science au théâtre

Édouard Hatton, Sophie Letournel,
Arthur Stril,
Hôpital, Vers une réforme réussie

Samia Buisine, Benoit Jourjon,
Benoît Malapert,
Les fonds souverains

Aurélien Gay, Marc Glita,
Le système électrique européen

Bernard Guy,
Deuxièmes ateliers sur la contradiction

Stéphane Calpéna, Laurent Guérin,
Yves Le Yaouanq,
Les grandes entreprises et la base de la pyramide

Henri Lagarde,
France – Allemagne

Valérian Pham Ngoc, Gilles Tauzin,
Liberté, (in)égalités, hérédité

Vincent Bastien, Pierre-Louis Dubourdeau,
Maxime Leclère,
La Marque France

Lydie Evrard, Ronan Venetz,
Réussir ses projets en Russie Coordination

Bernard Guy,
Ateliers sur la contradiction

Frédéric Baudouin, David Parlongue,
La Faim dans le monde

Julie Dubois, François Rousseau,
Fascinantes nanotechnologies

Benjamin Huteau, Jean-Yves Larraufie,
Le Modèle suédois, un malentendu ?

Aurélien Bray, Soraya Thabet,
*Les phénomènes migratoires, un défi pour la
France ?*

Thomas Houdré, Mathias Lelièvre,
Délocalisations - Acte II

Sébastien Dessillons, Thomas Maurisse,
Les Nouveaux conquérants

Philippe Thauré,
Pechiney ?... Vendu !

Benjamin Frémaux,
Clémentine Marcovici,
Stratégies d'entreprise

Olivier David, Adeline Fabre,
Les Économies d'énergie dans l'habitat existant

Emmanuel Farhi, Nicolas Lambert,
*Les Entreprises face à la politique européenne de
la concurrence*

Mourad Haddad et Arnaud Tomasi,
Le Haut Débit

L'accident de Fukushima Dai Ichi

Le récit du directeur de la centrale

Volume 1 **L'anéantissement**

Franck Guarnieri
Sébastien Travadel
Christophe Martin
Aurélien Portelli
Aissame Afrouss



Les auteurs

Directeur de l'édition

- Franck Guarnieri, directeur de recherche, directeur du Centre de recherche sur les Risques et les Crises (CRC) de MINES ParisTech, PSL Research University.

Co-auteurs

- Sébastien Travadel, chargé de recherche au Centre de recherche sur les Risques et les Crises (CRC) de MINES ParisTech, PSL Research University.
- Christophe Martin, titulaire de la Chaire « Résilience et sécurité industrielle » du Centre de recherche sur les Risques et les Crises (CRC) de MINES ParisTech, PSL Research University.
- Aurélien Portelli, chercheur associé au Centre de recherche sur les Risques et les Crises (CRC) de MINES ParisTech, PSL Research University et enseignant-chercheur à l'ESAIP.
- Aissame Afrouss, doctorant au Centre de recherche sur les Risques et les Crises (CRC) de MINES ParisTech, PSL Research University.

Traductrice

- Tomoko Takesada, interprète, traductrice, chargée d'enseignement à MINES ParisTech, PSL Research University.

Sommaire

LES AUTEURS.....	7
PRÉFACE.....	11
Jean-Christophe Niel	
PRÉAMBULE.....	13
Franck Guarnieri	
AVANT-PROPOS.....	15
Franck Guarnieri	
UNE BELLE RENCONTRE.....	19
Tomoko Takesada (Traductrice)	
CHAPITRE 1 - LE TEMPS DE L'INGÉNIERIE DE L'URGENCE.....	23
Franck Guarnieri et Sébastien Travadel	
1. L'urgence, une faillite de l'ingénierie.....	24
2. L'ingénierie, une réponse face à l'urgence.....	30
3. L'ingénierie de l'urgence, un nouveau concept de la sûreté nucléaire.....	38
4. Conclusion.....	44
CHAPITRE 2 - LA COMMISSION D'ENQUÊTE «KAN».....	47
Christophe Martin	
CHAPITRE 3 - MASAO YOSHIDA, DIRECTEUR DE LA CENTRALE DE FUKUSHIMA DAI ICHI.....	51
Franck Guarnieri	

CHAPITRE 4 - L'ACCIDENT NUCLÉAIRE DE FUKUSHIMA DAI ICHI :	
RAPPEL DES FAITS	53
Aissame Afrouss et Aurélien Portelli	
1. La centrale nucléaire de Fukushima Dai Ichi.....	54
2. L'accident nucléaire du 11 mars 2011.....	59
3. Les conséquences de l'accident	66
CHAPITRE 5 - COMPTE-RENDU DE L'AUDITION DU 22 JUILLET 2011	69
1. Avertissement aux lecteurs.....	69
Tomoko Takesada (Traductrice)	
2. Compte-rendu d'audition	71
CHAPITRE 6 - COMPTE-RENDU DE L'AUDITION DU 29 JUILLET 2011	173
1. Avertissement aux lecteurs.....	173
2. Compte-rendu d'audition	175
CHAPITRE 7 - L'AGIR EN SITUATION EXTRÊME.....	283
Sébastien Travadel et Franck Guarnieri	
1. La situation extrême: échos des sciences humaines et sociales	284
2. L'agir en situation extrême.....	301
3. Conclusion	309
CHAPITRE 8 - CE N'EST PAS UNE CONCLUSION.....	311
Franck Guarnieri	
ANNEXE 1 - LES AUDITIONS PUBLIÉES PAR L'ÉTAT JAPONAIS.....	313
ANNEXE 2 - <i>JAPAN TIMES</i> , RÉCITS DES PERSONNELS DE FUKUSHIMA DAI ICHI..	317
BIBLIOGRAPHIE.....	323
GLOSSAIRE.....	335

Préface

Jean-Christophe NIEL
Directeur Général de l'Autorité de sûreté nucléaire

Le retour d'expérience de l'accident de Fukushima Dai Ichi prendra de nombreuses années, tant en raison de l'ampleur et de la complexité de l'accident que de l'ensemble des champs qu'il interroge.

Ce retour d'expérience concerne bien sûr la conception et l'exploitation des installations, il s'agit ainsi de renforcer la robustesse des équipements et leur nombre, et de former les intervenants à des situations inhabituelles et extrêmes. À cette occasion, la démarche de sûreté aussi doit être revisitée, en révisant l'évaluation des aléas et agressions, en s'interrogeant sur les cumuls de défaillances et en intégrant l'identification des «effets falaises».

Le retour d'expérience a aussi conduit les autorités de radioprotection et de sûreté européennes à considérer qu'il fallait améliorer leur coordination en situations d'urgence, en particulier transfrontalières. Elles ont aussi considéré qu'il fallait se préparer à la gestion de situations extrêmes pour lesquelles peu d'information serait disponible.

Enfin, le rôle dans la prévention comme dans la gestion de l'urgence, des différents acteurs ou différents groupes d'acteurs tels que les exploitants, l'autorité de sûreté, le Gouvernement, les medias et les citoyens et de leurs interactions doit aussi être analysé à la lumière de cet accident.

Plusieurs approches peuvent favoriser une pleine exploitation du retour d'expérience d'une catastrophe de l'ampleur de celle de Fukushima :

- recueillir l'expérience vécue par les acteurs, individuellement ou collectivement, dans leur dimension technique bien évidemment, mais aussi humaine, voire intime. La gestion d'une situation catastrophique est une épreuve personnelle violente pour ceux qui y sont confrontés ;
- s'affranchir de nos barrières intellectuelles («penser l'impensable»).

La démarche portée par cet ouvrage adopte de telles approches :

- il offre aux lecteurs francophones la traduction en France du témoignage du directeur de la centrale de Fukushima Dai Ichi, il donne à voir les difficultés, pour l'ensemble socio-technique, à comprendre la situation d'installations hors contrôle sur un site dévasté, à prendre les décisions en l'absence d'informations fiables avec des équipes confrontées à une série d'événements exceptionnels et inquiètes sur la situation de leurs proches, à gérer des sollicitations ou des injonctions parfois contradictoires ;
- il propose d'explorer le domaine de l'ingénierie de l'urgence pour construire des solutions techniques et organisationnelles créatives et efficaces pour gérer le risque, dans un contexte inattendu et incertain, où l'organisation, les méthodologies et les procédures du temps de «paix» sont en partie ou totalement inopérantes.

Nous attendons avec impatience les volumes suivants.

Préambule

Franck GUARNIERI

Cet ouvrage n'est pas abouti et encore moins achevé! Il s'agit d'un premier volume d'une série de quatre: le volume II paraîtra en octobre 2015, le volume III en mars 2016 et le volume IV en 2018.

Ce «séquencement» s'explique aisément. L'audition de Masao Yoshida, directeur de la centrale de Fukushima Dai Ichi¹, ne devait pas être publiée. Sous la pression combinée de l'opinion publique et de «fuites» plus ou moins bienveillantes dans les médias nippons², l'État japonais s'est résolu à le faire le 11 septembre 2014³. La totalité du témoignage a ainsi été mise en ligne sur Internet: un total de plus de quatre cents pages, naturellement en japonais! Ce matériau «rare» ne pouvait nous laisser indifférents. Nous avons donc décidé de l'étudier et pour cela, il nous fallait le traduire. Le «chantier» a débuté en novembre 2014. Face à l'ampleur de la tâche, il trouvera sa fin en octobre 2015.

La lecture des premières auditions nous a révélé un champ de connaissances inexploré. En quelque sorte, un autre regard sur les faits. Ce constat nous a donc conduit à publier ces textes afin que chacun puisse en tirer profit. Le procédé pourra surprendre, nous en sommes bien conscients, nous demandons aux lecteurs bienveillance et clémence.

Masao Yoshida a beaucoup à nous apprendre! En ce qui nous concerne, chercheurs de MINES ParisTech, nous avons trouvé dans ce récit matière à consolider nos recherches sur le concept d'ingénierie de l'urgence.

1 La centrale de Fukushima Dai Ichi («Fukushima 1», par comparaison à Fukushima Dai Ini, «Fukushima 2») est située sur le territoire des bourgs d'Okuma (tranches 1 à 4) et de Futaba (tranches 5 et 6), dans la préfecture de Fukushima, au bord de l'océan Pacifique, sur la côte est de l'île de Honshū (la principale île du Japon), à environ 250 km au nord de Tokyo, 45 km au nord de Iwaki, 45 km au sud de Sōma. Durant la Seconde Guerre mondiale, le site de la centrale accueillait une base militaire «d'entraînement» des kamikazes japonais (Kadota, 2014)...

2 Le journal *Asahi Shimbun* avait publié (en mai 2014) une version anglaise de l'audition de Masao Yoshida (The Yoshida testimony: http://www.asahi.com/special/yoshida_report/en/). Cette traduction s'est rapidement révélée fallacieuse. Le 11 septembre 2014, jour de la publication officielle du témoignage de Yoshida, le président du journal présenta ses excuses...

3 Le 25 décembre 2014, le Gouvernement japonais publiait cent vingt-sept nouvelles auditions.

Il nous importe en effet, dans les multiples enseignements de l'accident, d'étudier la façon dont une organisation d'ingénierie s'est brutalement et dramatiquement retrouvée à faire face à une situation extrême.

Ce premier volume livre les textes des deux premières auditions de Masao Yoshida, celle du 22 juillet 2011 et celle du 29 juillet 2011. Toutes deux portent sur l'accident et les actions entreprises pour éviter le pire.

Avant-propos

Franck GUARNIERI

Comme je me plais de temps à autre à le dire : « *nous étions (chercheurs du CRC) trop petits lors de l'accident de la centrale américaine de TMI, nous avions autre chose à faire au moment de Tchernobyl, alors, nous n'avions pas le droit de passer à côté de celui de la centrale de Fukushima Dai Ichi* ». Pas le droit, car nous l'avons appris avec le temps et la carrière, les accidents, catastrophes et désastres en tout genre, sont le moteur de la sécurité ! C'est bien là un drame, mais force est de constater que l'on ne sait pas vraiment faire autrement.

L'accident de la centrale de Three Mile Island (TMI, 28 mars 1979) nous a ainsi appris que des actions inappropriées peuvent conduire à la fusion d'un cœur de réacteur, que l'accident grave convoquait inmanquablement l'ensemble des parties prenantes de la société civile, que la défense d'une installation nucléaire se doit d'être « profonde » et que chaque accident recèle dans sa genèse des scénarii « précurseurs » qui, s'ils étaient identifiés, pourraient permettre d'éviter la genèse et l'aggravation d'une situation accidentelle (Kemeny, 1979).

L'accident de Tchernobyl (26 avril 1986) nous a appris que l'opinion publique « mondiale » en matière de sûreté nucléaire ne pouvait plus être tenue à l'écart des débats (Tanguy, 1991). Il nous a surtout montré que l'exploitant ne peut être un apprenti sorcier, s'affranchissant allègrement des exigences fondamentales de sûreté. Il nous a enfin appris, *a posteriori*, que ce même exploitant se doit d'apprendre de lui-même et des autres. C'est ainsi que le concept même de « culture de sûreté » fut inventé, largement popularisé et repris par ailleurs, afin de démontrer que bien évidemment la sûreté d'une installation est la priorité absolue de tout exploitant (IAEA 1986, 1991 et 1997).

Que nous a appris l'accident de Fukushima Dai Ichi ?

Deux commissions d'enquête ont été mises en place. L'une à l'initiative du Premier ministre Naoto Kan, l'autre par la Diète du Japon. Les deux commissions s'accordent à reconnaître que l'accident nucléaire de

Fukushima Dai Ichi a été «*un désastre créé par l'homme*» et non pas simplement provoqué par le séisme et le tsunami géant survenus le 11 mars 2011 (NAIIC, 2012a; NAIIC, 2012b et NAIIC, 2012c; ICANPS, 2012). De très volumineux rapports ont été produits, enrichis d'analyses internationales (NAS, 2014; AEN, 2013). Tous reviennent sur les faits, les causes et les conséquences de l'accident. Au final, et comme d'habitude, tout le monde s'accorde à dire à demi-mot que l'accident n'est là, utile, que pour reprendre le «contrôle» d'un système qui s'est égaré, que pour apprendre des erreurs des uns et des autres, que pour démêler l'enchevêtrement de décisions à de multiples niveaux (local, hiérarchique, organisationnel, inter-organisationnel, politique, international...), que pour dire que tout cela aurait pu être évité si...

Toutes ces commissions ont donc produit une longue liste de recommandations, tout à la fois de bon sens, utiles à la sûreté et pourtant, fondamentalement en rien «nouvelles». En rien «nouvelles» car les recommandations faites s'inscrivent dans une visée «normative» de la sûreté nucléaire. Elles offrent immanquablement d'inestimables sources de connaissances et de progrès, mais conduisent de par leur nature même à une certaine forme de myopie.

Une myopie tellement accentuée qu'elle finit par produire des analyses expertes et techno-centrées qui ne laissent de la place qu'aux seules normes, lois, règles et procédures, annihilant de fait toute humanité dans la conduite des affaires humaines et ce d'autant plus que l'accident entrave illogiquement le cours des choses.

Qui connaît le nom du directeur de la centrale de TMI⁴? Celui de Tchernobyl⁵? Bien peu de gens, les initiés et les intimes. Cette question «piège» n'est qu'un raccourci simpliste pour inviter tout un chacun à recentrer le débat.

Qui était le directeur de la centrale de Fukushima Dai Ichi? Il s'appelait Masao Yoshida. Tout le monde connaît son nom.

4 Gary Miller.

5 Viktor Bryukhanov.

Nous le connaissons car, époque oblige, nous avons vécu une « espèce » de télé-réalité durant plusieurs jours et plusieurs semaines. Les chaînes d'information en continu nous ont ainsi livré, en boucle, les images de l'explosion de la centrale, de l'hélicoptère tentant de refroidir les réacteurs, les difficultés pour rétablir l'électricité dans les bâtiments endommagés, les problèmes de communication entre le Gouvernement et l'exploitant TEPCO et bien d'autres éléments de la connaissance réactivant dans les mémoires le spectre de Tchernobyl.

Le drame que nous vivions en direct méritait ses rôles principaux. Masataka Shimizu, directeur général de TEPCO était de fait le méchant (il fut démissionné de son poste par le conseil d'administration en mai 2011). Naoto Kan, Premier ministre du Japon (de juin 2010 à septembre 2011), vécut quelques jours, et même quelques semaines, dans un entre-deux, où il tint le rôle surfait d'un maréchal d'une grande armée démunie pour être finalement unanimement condamné par l'opinion publique japonaise pour les errances et déviances de l'autorité publique en matière d'inspection et de contrôle de la filière nucléaire nipponne.

Masao Yoshida était-il le gentil? Le héros? Le bon? Le sauveur? Au contraire, était-il incompetent? Lâche? Voire un déserteur?

Dans tous les cas, nous le nommons, son visage nous apparaîtrait, nous le revoyons au milieu de ses collaborateurs, nous nous remémorons ses émotions et ses attitudes au cœur de la « gestion » de l'accident, nous revoyons son visage fermé lors des témoignages et auditions, nous avons vu enfin son corps meurtri aux portes de sa fin de vie.

Yoshida n'était pas seul à Fukushima, loin de là (Kadota, 2014). Mais, il est devenu par le drame, le symbole d'une humanité apeurée, parfois désespérée, malgré tout combative, prête au sacrifice, face à une situation qui ne pouvait admettre la fuite au péril d'un cataclysme technologique inégalé.

La Commission d'enquête du Premier ministre, l'a donc légitimement auditionné. Cette audition, témoignage que nous avons préféré qualifier de « récit », nous est parvenue. La lecture des premières pages, très étrangement, n'a pas trouvé écho dans les milliers de pages des rapports officiels. Comme si toute humanité, doute, souffrance, peur, espoir, voire joie avaient été gommés au profit des faits, données, calculs et

recommandations... qui eux seuls devraient garantir la sûreté d'une centrale nucléaire.

Le récit de Masao Yoshida est là, il se lit, presque, comme un grand roman technique. Celui-ci se présente sous la forme d'un entretien, à partir duquel Masao Yoshida, guidé par la Commission d'enquête, reconstitue les faits qui ont mené à la situation accidentelle, puis à sa gestion par des collectifs confrontés à une situation extrême. L'histoire qu'il nous raconte reste donc éminemment liée à sa subjectivité, soumise aux attentes des enquêteurs et à une pression sociétale considérable.

Chacun pourra cependant croiser ce qu'il a compris de l'accident avec le témoignage d'un acteur majeur d'une crise nucléaire toujours en cours. Sa portée est d'ailleurs difficile à mesurer, tant elle suscite de questionnements sur lesquels les chercheurs n'ont pas fini de revenir. Il revient par conséquent aux prochaines générations de définir le véritable intérêt d'un récit dont les perspectives sont encore en gestation.

Une belle rencontre

Tomoko TAKESADA
(Traductrice)

J'ai été contactée très vite après la publication des présents comptes rendus d'auditions du directeur de la centrale de Fukushima pour en fournir une traduction française. Mais ce n'est pas sans hésitations que je me suis engagée. Mon ignorance du monde du nucléaire, le poids de la tragédie m'ont freinée. Finalement c'est la voix de mes proches qui m'a décidée. Ces auditions représentaient un moment d'Histoire, crucial, et je devais à la mémoire de cet homme, aujourd'hui disparu, de transmettre le plus fidèlement possible ses paroles au public francophone.

Et je n'ai pas regretté de m'être fait la voix française de Masao Yoshida. Yoshida a-t-il été à la hauteur des catastrophes auxquelles il a dû faire face? A-t-il pris les bonnes décisions? Je laisse à d'autres compétences le soin de répondre à ces questions. Mais, au-delà du spécialiste du nucléaire, j'ai trouvé un homme de devoir, parfaitement conscient des enjeux, un homme capable de désobéissance aussi, pour le bien du plus grand nombre, un homme proche de ses collaborateurs, un homme dont le cœur saignait à chaque fois qu'il devait envoyer ses troupes braver les dangers de l'irradiation et, aussi, un homme révolté.

Parallèlement à cette rencontre, cette traduction a été également l'occasion pour moi d'une réflexion renouvelée sur la nature même de notre langue. Le japonais est une langue basée sur une grande connivence. On part du principe qu'on partage une large sphère de connaissances. Or le monde du nucléaire m'était inconnu. Dans une langue qui ne marque pas le nombre, comment savoir alors si, sur tel système de la tranche nucléaire, il y a une ou plusieurs vannes à ouvrir pour permettre un rejet de la vapeur, une des obsessions de Yoshida? Longtemps, on fait comme s'il n'y en avait qu'une et, tout d'un coup, au détour d'une phrase, cent pages plus loin, on découvre qu'en fait il y en avait dix-huit!

Mais cette particularité de notre langue n'a-t-elle joué des tours qu'à la seule traductrice? Lorsque Yoshida se plaint que les officiels des cellules de

crise hors centrale ne comprennent pas tous les efforts déployés par ses hommes sur le terrain, ces fidèles soldats du nucléaire qui, au mépris de la radioactivité, tentent de résoudre patiemment une difficulté après l'autre, lorsqu'il se plaint, chose plus révoltante encore pour lui, que ces messieurs, confortablement installés à Tôkyô, loin de la radioactivité, osent prétendre que ses équipes tergiversent ou traînent des pieds, était-il conscient de cette spécificité de notre langue ? Pensez qu'il dit « *je fais tout pour ouvrir la vanne* » et, qu'en fait, il faut apprivoiser simultanément dix-huit vannes avec chacune ses particularités. Cette seule phrase, apparemment éloquente pour Yoshida, reflète-t-elle effectivement tous les obstacles rencontrés, les efforts engagés, les échecs subis ? L'élégance de la légendaire retenue japonaise ne se serait-elle pas retournée contre ce samouraï des temps modernes ?

Connivence aussi, lorsque le sujet de la phrase est passé sous silence, phénomène usuel dans notre langue, et que l'action peut être attribuée à n'importe lequel des protagonistes. Tout traducteur travaillant sur le japonais en a fait l'expérience. Il faut alors reconstituer dans sa tête la scène, la revivre de l'intérieur, pour finalement choisir l'interprétation la plus plausible.

Évidemment, rares sont les collègues qui ont eu le privilège de se nicher dans la tête d'un directeur de centrale nucléaire pour vivre quasi physiquement, minute à minute, un accident de cette ampleur. Et je dois, contrairement à mes craintes des débuts, à la personnalité de Masao Yoshida de n'avoir pas sombré dans le pessimisme. Malgré les catastrophes qui se succèdent sans pitié, malgré la pression des politiques, jusqu'au bout, il se battra et gardera le souci de ses hommes. Cette petite lueur qu'il a toujours portée en lui a empêché que tout ne bascule dans le noir. Merci, Yoshida san, d'avoir préservé cette part d'humanité dans la cellule de crise !

« J'étais anéanti »

Masao Yoshida, audition du 22 juillet 2011

Le temps de l'ingénierie de l'urgence

Franck GUARNIERI et Sébastien TRAVADEL

Si les accidents nucléaires de Three Mile Island et de Tchernobyl ont conduit à l'introduction de nouveaux concepts liés à la sûreté nucléaire, la réflexion sur l'accident de Fukushima Dai Ichi est paradoxalement restée circonscrite au renforcement des défenses en profondeur et des directives pour la gestion d'un accident sévère. Pourtant ce déficit analytique ne doit pas laisser penser que l'accident japonais se réduit à une accumulation de défaillances ou de dommages de grande envergure.

Nous proposons de décrypter cet événement comme une *réaction en chaîne* qui continue de déclencher depuis le 11 mars 2011 des situations de crise régulières dans un contexte d'urgence sociétale. Dans cette perspective, l'ensemble des projets d'ingénierie conduits en parallèle pour contenir les risques et permettre l'extraction des combustibles, sont autant d'initiatives de l'exploitant et des industriels pour recouvrer la maîtrise des installations et garantir un état de sûreté à la hauteur des enjeux et des exigences planétaires. Nous nommerons «ingénierie de l'urgence» (Guarnieri et Travadel, 2014a) le mode particulier d'intervention dans un tel contexte.

La séquence d'accident et l'activité en cours sur le site illustrent une situation d'urgence née d'un dépassement des référentiels d'ingénierie classiquement pris en compte pour la conception et l'exploitation. Ce dramatique événement interroge donc la capacité des acteurs du nucléaire, dans la période post accidentelle, à entrer en «résilience», et ce en dehors des cadres déterministes de sûreté.

C'est pour proposer des voies de progrès dans ce domaine que nous introduisons le concept «d'ingénierie de l'urgence». L'ingénierie de l'urgence, à condition d'être correctement formalisée, peut en effet constituer une stratégie efficace pour répondre à une situation extrême. Plus largement, il s'agit de donner une dimension nouvelle aux fondements

de la gestion de la sûreté nucléaire. Ainsi en complément d'une sécurité prescriptive, la capacité à entrer en résilience permet de renforcer la robustesse d'un exploitant face aux situations «hors scénarios».

1. L'URGENCE, UNE FAILLITE DE L'INGÉNIEURIE

Les premières analyses sur les causes de l'accident de Fukushima Dai Ichi mettent en avant les lacunes des référentiels de sûreté pris en compte par l'exploitant et les autorités de surveillance. De même, la crise qui se prolonge depuis le 11 mars 2011 démontre que les opérations d'ingénierie qui se multiplient pour contenir les nombreuses menaces sont insuffisantes, en particulier quand les mesures de sécurisation s'avèrent défectueuses en situation d'urgence. Les retours d'expérience devraient ainsi conduire à une amélioration de la capacité des exploitants à entrer en résilience.

1.1. Des référentiels de conception et d'exploitation inadéquats

À ce jour, il est établi (NAIIC, 2012a ; NAIIC, 2012b ; NAIIC, 2012c) que le tremblement de terre a provoqué l'arrêt automatique des réacteurs et la perte de toutes les alimentations électriques externes. Les groupes électrogènes de secours sont alors entrés en service et ont alimenté les systèmes de refroidissement de secours des réacteurs n°1, 2 et 3. Le tsunami qui a suivi a noyé les groupes électrogènes, rendant les équipements de mesure et les mécanismes de pilotage des vannes inopérants. Les conditions d'opération dans les salles de commande et la communication entre ces salles et la cellule de crise sur site sont alors devenues particulièrement difficiles. Le système IC¹ de refroidissement de secours du réacteur n°1 s'est automatiquement interrompu, tandis que les systèmes de refroidissement RCIC² des réacteurs n°2 et 3 ont continué à fonctionner normalement (le HPCI³ du réacteur n°3 ayant plus tard pris le relais du RCIC défectueux). Les séquences de défaillances de chacune des tranches n°1, 2 et 3 se sont

1 Isolation Condenser (condenseur d'isolement).

2 Reactor Core Isolation Cooling system (système de refroidissement du cœur du réacteur en situation d'isolement).

3 High-Pressure Coolant Injection system (système d'injection de sécurité haute-pression).

déroulées de manière relativement indépendante, le contrôle des réacteurs en cas d'urgence étant de la responsabilité du chef de quart de chaque tranche⁴. La supervision d'ensemble par la cellule de crise sur site a été défaillante, notamment en raison de la transmission par les chefs de quart d'informations erronées ou lacunaires.

La non-détection de l'arrêt automatique de l'IC du réacteur n°1, la défaillance du RCIC du réacteur n°2 après trois jours de fonctionnement, ou encore l'arrêt volontaire du HPCI du réacteur n°3 (en anticipation d'une défaillance éventuelle) ont conduit à l'interruption du refroidissement des combustibles, sans que l'exploitant évalue correctement l'état de chaque réacteur. Les dommages aux installations et l'impréparation à une telle situation ont en outre retardé la mise en œuvre des solutions alternatives de refroidissement à l'eau de mer. Parallèlement, les difficultés rencontrées pour alimenter en électricité les soupapes de dépressurisation et les vannes des lignes d'éventage ont fortement perturbé le contrôle de la pression dans les enceintes de confinement, ce qui a retardé l'injection d'eau. Les trois réacteurs n'ont ainsi pas été refroidis pendant plusieurs heures. Des explosions, probablement dues à l'hydrogène généré par l'oxydation et la fissuration des gaines de combustible lors de la fusion des cœurs, ont endommagé les structures des réacteurs n°1 et 3. Il s'en est suivi une déflagration dans le bâtiment du réacteur n°4, dont la tuyauterie était reliée à celle du réacteur n°3, fragilisant la piscine d'entreposage des combustibles de cette tranche. Des fuites ont été constatées au niveau de l'enceinte du réacteur n°2. L'ensemble de ces dommages a provoqué d'importants rejets radioactifs (voir chapitre 4).

La Commission d'enquête indépendante instaurée par le Parlement japonais a pointé les carences dans l'action du Gouvernement de Tokyo, des autorités nucléaires japonaises et de l'exploitant TEPCO, que ce soit dans la gestion immédiate de la crise, dans le suivi quotidien des événements de sécurité, dans la mise à jour des analyses de risque et des normes de conception ou encore dans la surveillance de l'opérateur (NAIIC, 2012a).

4 Certains événements survenus sur l'une des tranches ont pu toutefois en affecter une autre: l'explosion au niveau du réacteur n°3 a par exemple perturbé l'installation du dispositif d'injection d'eau de mer dans le réacteur n°2. La proximité des différentes tranches a pu constituer une faiblesse à cet égard.

Notons toutefois que les causes de l'accident devront être précisées au fil de la sécurisation des installations et que les investigations sur les défaillances se poursuivent. Les raisons de l'arrêt du RCIC du réacteur n°3, l'origine de l'explosion qui a endommagé la structure de la tranche 3 ou encore l'ampleur des dommages générés par le corium des cœurs en fusion doivent encore faire l'objet d'investigations.

1.2. Défaillances des mesures de sécurisation en situation d'urgence

Au fil du temps, l'exploitant TEPCO a mis en place des moyens alternatifs pour assurer le refroidissement et l'inertage à l'azote des enceintes de confinement et des cuves des réacteurs. Le site étant toujours exposé aux risques sismiques et aux inondations, certains de ces équipements ont été placés dans des zones surélevées et des dispositifs de protection contre les tsunamis ont été construits. Des instruments de mesure ont également été installés pour assurer la surveillance des paramètres essentiels. Des moyens de surveillance à distance ont été déployés pour faciliter la détection de fuites. L'exploitant entend ainsi stabiliser l'état des infrastructures.

Depuis l'accident, des volumes d'eau de l'ordre de 400 m³ sont injectés chaque jour dans les cœurs des réacteurs n°1, 2 et 3 pour leur refroidissement. Afin d'éviter le débordement des cuves, l'exploitant a initialement mis en œuvre, avec l'appui d'entreprises étrangères, un système de refroidissement en circuit fermé prenant en compte la contamination au césium. Un dispositif décontaminant l'eau de l'ensemble des radionucléides a depuis été mis au point, mais son exploitation s'avère chaotique et est régulièrement interrompue par des avaries. En outre, l'étanchéité entre le circuit de refroidissement et l'eau des nappes phréatiques n'est pas garantie. Environ 800 m³ d'eau contaminée sont pompés chaque jour dans les réacteurs pour être traités⁵ mais le niveau élevé de contamination de l'eau récupérée dans les bâtiments des réacteurs empêche son rejet dans l'océan. Une partie de cette eau est donc stockée dans des réservoirs temporaires dont la fiabilité s'avère parfois insuffisante et les conditions d'exploitation parfois

5 Source : ministère japonais de l'économie, du commerce et de l'industrie, disponible en japonais sur le lien http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140115/140115_01c.pdf

défaillantes. Afin de pérenniser le refroidissement des réacteurs, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a recommandé à TEPCO d'étudier les conditions dans lesquelles il serait possible de décharger dans l'océan de manière contrôlée une partie de l'eau stockée (IAEA, 2013). L'exploitant a publié en décembre 2011 un plan de « reprise de contrôle », approuvé par le Gouvernement japonais et mis régulièrement à jour (TEPCO, 2013). À cette fin, TEPCO a entrepris d'importants travaux préparatoires de génie civil notamment pour renforcer la structure de la piscine et construire des bâtiments de manutention des combustibles. Désormais, l'évacuation des combustibles a débuté et devrait se poursuivre sur plusieurs années, dans des conditions risquées compte tenu des incertitudes qui subsistent sur leur état. Un programme de recherche et de développement a été défini pour apporter un soutien scientifique aux activités de traitement des déchets (IAEA, 2013).

D'autres travaux sont conduits pour prévenir les infiltrations d'eau en provenance ou vers les nappes phréatiques, pour permettre l'accès aux enceintes des réacteurs n°1, 2 et 3 et déblayer des débris, ou encore pour préparer des lieux de stockage des déchets radioactifs. Un mur d'isolation a été construit avec plus ou moins d'efficacité pour limiter l'écoulement des eaux contaminées dans l'océan. TEPCO poursuit donc une intense activité sur le site de l'accident, en vue de contenir les pollutions radioactives et reprendre le contrôle des installations. Il s'agit pour l'exploitant d'établir un mode de fonctionnement en adéquation avec des exigences de sûreté légitimement acceptées par la société civile, et ainsi permettre les opérations de démantèlement de la centrale planifiées jusqu'en 2050. L'acceptabilité de ces opérations par l'opinion publique japonaise et la communauté internationale est en partie conditionnée par la fiabilité des dispositifs et la transparence des mesures de radioactivité, rendues délicates par l'état dégradé du site. Ces travaux sont ainsi régulièrement impactés par des situations d'urgence, notamment lorsque des émissions de vapeur ou des fuites sont constatées (par exemple au niveau du bâtiment du réacteur n°3, cf. TEPCO, 2014a), que des niveaux de contamination élevés sont mesurés à proximité de la centrale ou encore que des défaillances incessantes des systèmes de décontamination de l'eau perturbent les opérations.

1.3. Premiers enseignements, nouvelles perspectives et capacité à entrer en résilience

Face à l'ampleur de l'accident nippon, les autorités des pays membres de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) ont conduit des études complémentaires de sûreté pour tenir compte d'hypothèses « hors dimensionnement » (niveau 4) ou de scénarios de défaillances multiples. Ces études ou scénarios complémentaires n'ont pas mis au jour de risque imminent sur les centrales en service et la validité du concept de défense en profondeur a été réaffirmée par l'AEN (2013). Cela dit, de nombreux efforts resteraient à accomplir pour mettre en œuvre efficacement ce concept.

Le retour d'expérience, toujours en cours, a dès lors pour objectif de renforcer certains dispositifs de sûreté, en vue de conforter les marges de sécurité dans les cas de phénomènes exceptionnels. Les travaux se poursuivent, au plan tant normatif que technique, pour mieux intégrer l'hypothèse de menaces rares et extrêmes, améliorer la communication de crise et la performance des acteurs de première ligne en situation dégradée et préciser les critères de choix du site d'implantation d'une centrale. Renforcer la robustesse des équipements électriques et la sécurité des systèmes de ventilation de l'hydrogène, ou encore faire évoluer les méthodes d'analyse des risques induits par des phénomènes naturels font aussi partie des travaux en cours. L'hypothèse de destructions simultanées de plusieurs installations d'un même site est désormais également intégrée aux directives de gestion des accidents sévères, en ce qu'elle requiert de disposer de ressources supplémentaires dans la durée. Certains exploitants ont d'ailleurs organisé des équipes d'intervention rapide prêtes à intervenir sur site lors d'une telle crise, en soutien technique et humain de l'exploitant de la centrale.

Sur le plan académique, l'accident a questionné la problématique de la résilience des systèmes sociotechniques complexes durablement atteints par des événements catastrophiques. De manière générale, la « résilience » d'un système peut se définir comme sa capacité intrinsèque à adapter son fonctionnement avant, pendant ou après des changements ou des perturbations, de sorte qu'il poursuive un ensemble d'opérations déterminées dans des conditions attendues ou, le cas échéant, inattendues (Hollnagel *et al.*, 2005). Pour développer cette capacité d'adaptation, il est donc nécessaire de ne pas circonscrire la réponse aux menaces à des fonctions et procédures prévues au stade de la conception et

dimensionnées à partir d'hypothèses de sûreté (Fujita et Hollnagel, 2013). On relèvera notamment que la projection sur un site accidenté d'équipes de renfort technique ou de moyens matériels est une procédure d'urgence qui relève de la planification. Elle ne garantit pas, en elle-même, la capacité de l'organisation à s'adapter à un contexte imprévu et durable. Certains auteurs ont d'ailleurs relevé des limites aux hypothèses prises en compte dans les lignes directrices pour la gestion des accidents sévères telles qu'elles ont été modifiées à la suite de Fukushima Dai Ichi (Vayssier, 2012).

Dès 1977, Carlsen et Fink (1978) avaient soulevé avec acuité une question similaire, à la suite de coupures d'électricité survenues aux États-Unis. Les auteurs avaient établi différents états du réseau d'alimentation électrique et avaient souligné que le mode opératoire en condition normale ne pouvait structurellement pas répondre aux exigences de contrôle d'un système en «état d'urgence». Dans cet état, caractérisé par le manque de ressources et la pression temporelle, l'opérateur devait être en mesure d'accomplir des «actions héroïques», coordonnées en plusieurs points du réseau, pour éviter l'effondrement puis recouvrer au plus vite son fonctionnement en mode nominal.

Fukushima Dai Ichi nous rappelle les progrès à accomplir dans cette voie. Plus précisément, la situation à laquelle est confrontée actuellement TEPCO illustre la difficulté pour une organisation à infléchir une dynamique accidentelle dans des conditions matérielles et organisationnelles critiques. Il convient dès lors de s'intéresser à la capacité à «entrer en résilience», soit l'aptitude d'un système sociotechnique à recouvrer dans un court laps de temps un état garantissant au minimum la non-aggravation de la situation, dans des conditions d'urgence et sous une forte «pression» sociétale. Le système doit donc mobiliser toutes les ressources disponibles – alors que celles-ci peuvent sembler de prime abord limitées –, à la suite d'un événement lui ayant causé des dommages d'une ampleur telle que son activité est sérieusement perturbée voire totalement annihilée.

Remarquons que la résilience est une capacité d'action, inscrite dans la durée, avant, pendant et après l'émergence de menaces. Pour étudier les facteurs organisationnels qui favorisent l'entrée en résilience du système, nous devons donc nous détacher d'un découpage statique et

formel « accident – état d'urgence – phase post-accidentelle »⁶ et préférer une vision inscrite dans la durée. D'ailleurs, si « officiellement » la phase d'urgence est achevée à Fukushima Dai Ichi, le risque de pollution voire d'accident nucléaire ne peut être écarté tant la sécurisation des combustibles s'avère délicate et que la menace d'un tremblement de terre (suivi ou pas d'un tsunami) reste avérée.

Signe encourageant d'une entrée en résilience : deux ans après l'accident, l'AIEA avait constaté les progrès de l'exploitant TEPCO, qui adopte une démarche de plus en plus proactive pour faire face au défi du démantèlement de la centrale, et utilise des solutions technologiques innovantes (IAEA, 2013). L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) avait aussi confirmé que TEPCO avait su tirer parti du retour d'expérience sur les incidents d'exploitation afin d'améliorer les travaux d'ingénierie au stade de la conception (IRSN, 2013). Ces éléments participent, de fait, d'une entrée en résilience, même si à ce jour l'exploitant semble toujours subir les aléas. Il est, par conséquent, légitime de s'interroger sur les facteurs qui auraient permis d'accélérer l'entrée en résilience de l'exploitant dès les premiers instants de l'accident, pour prévenir l'enchaînement ininterrompu des événements néfastes depuis le 11 mars 2011. Dans le cas d'une activité hautement technique telle que l'exploitation d'une centrale, il s'agit pour l'essentiel d'étudier la conduite de travaux d'ingénierie dans des conditions inhabituelles et un environnement extrêmement hostile.

2. L'INGÉNIERIE, UNE RÉPONSE FACE À L'URGENCE

Les référentiels de sûreté prescrivent des performances attendues d'un projet d'ingénierie. Comme nous l'avons relevé, leur dépassement, que ce soit en raison d'événements imprévus ou de la non-application des procédures d'exploitation, peut provoquer une catastrophe. Mais l'ingénierie, à travers les stratégies qu'elle met en œuvre pour répondre à une question d'ordre technique, peut également apporter une capacité

6 Des groupes de travail gouvernementaux abordent la notion de résilience et la situent formellement au niveau post-accidentel. Ils se focalisent néanmoins sur les conditions de retour à une vie normale des populations touchées par une pollution radiologique. Voir notamment aux États-Unis les travaux du National Council on Radiological Protection & Measurements, *Approach to Optimizing Decision-Making for Late-Phase Recovery from Nuclear or Radiological Terrorism Incidents*.

d'adaptation et d'entrée en résilience. En l'absence, à notre connaissance, de formalisation d'une telle activité, nous la nommerons «ingénierie de l'urgence». Dans un premier temps, nous proposons de préciser le concept d'ingénierie, puis nous introduirons le concept «d'urgence» et, enfin celui «d'ingénierie de l'urgence».

2.1. Définition du concept d'ingénierie

D'une manière générale l'ingénierie est définie comme l'étude globale d'un projet industriel sous tous ses aspects (techniques, économiques, financiers, sociaux), coordonnant les études particulières des spécialistes. Par extension, on parle d'ingénierie pour désigner une discipline d'applications scientifiques correspondant à un domaine de connaissances en sciences pures. L'ingénierie est une activité destinée à structurer la démarche de conception et de fabrication de produits répondant à un besoin spécifique. Les équipes d'ingénieurs s'appuient sur une formalisation en cascade par des processus et un phasage, de la conception à la réalisation sur site en passant par l'achat⁷, qui doit assurer la programmation du projet et sa traçabilité.

Koen (1985) a proposé de définir la «méthode d'ingénierie» comme une stratégie pour provoquer le meilleur changement possible à l'aide des ressources disponibles, dans une situation mal comprise ou entachée d'incertitudes. En ce sens, l'ingénieur se distingue du scientifique, à la recherche de prédicats vrais ou faux qui fondent un corpus de connaissances. L'ingénieur arraisonne la science à travers la technique, dans une optique d'effectivité: il est jugé sur la performance à l'usage du produit. Comme le souligne cet auteur, la première étape du travail de l'ingénieur consiste à formaliser le besoin de changement exprimé par un corps social. Cette étape conceptuelle comporte une part d'incertitude quant au résultat final et au moyen d'y parvenir. L'objectif visé par le changement est d'ailleurs susceptible d'évoluer au cours du projet. C'est pour parer à de tels aléas que des méthodes d'ingénierie formalisées à travers le «manifeste AGILE» sont par exemple apparues dans le monde de l'informatique puis dans l'industrie manufacturière⁸.

7 Pour une description détaillée dans le cas du nucléaire: Cacuci (2010).

8 Voir par exemple le projet wikispeed sur wikispeed.org.

L'avantage de la définition de Koen est de souligner la contrainte des ressources qui pèse sur l'ingénierie : l'ingénieur ne peut atteindre qu'une réponse approximative à une question posée, et ce selon les ressources disponibles. L'ingénierie comporte donc de l'incertitude que le recours à des méthodes heuristiques, fondées sur les résultats d'expériences passées, vise à maîtriser. L'art de l'ingénieur consiste alors à manier les différentes méthodes heuristiques pour résoudre un problème donné. Le caractère optimal du résultat est apprécié selon des critères socioculturels. C'est d'ailleurs l'un des fondements de l'école du *Design Thinking* (Brown, 2008).

Le rôle particulier du temps doit être souligné. Sa maîtrise est sous-jacente aux définitions de l'ingénierie dans sa dimension de planification, traduisant le développement du productivisme (Boneville et Grosjean, 2006). En outre, la durée allouée à un projet ne peut être assimilée aux ressources disponibles.

Voyons désormais comment l'ingénierie est concrètement conduite dans une situation d'urgence dans le cas précis du traitement des eaux contaminées de la centrale de Fukushima Dai Ichi. Notre analyse se fonde sur des sources ouvertes (présentations et rapports publics, sources médiatiques).

À partir de mars 2011, les cuves des réacteurs atteignant leur capacité de stockage maximale, TEPCO a cherché à mettre en place un système de recyclage de l'eau injectée pour le refroidissement. L'opérateur a fait appel à cette fin aux services d'industriels dont le français Areva, l'américain Kurion et les japonais Hitachi et Toshiba. Compte tenu des volumes d'eau à traiter, les industriels ne disposaient pas de solution préexistante. La société Areva a proposé à TEPCO d'adapter son système standard de décontamination pour utiliser des unités Actiflo/Multiflo développées par l'entreprise Véolia. De même, l'entreprise américaine Kurion a conçu un système spécifique pour le prétraitement du césium. Deux aspects se dégagent de ces interventions compte tenu des remarques liminaires sur la définition de l'ingénierie.

D'une part, la formulation du problème, le choix du radionucléide à traiter en priorité (le césium), le dimensionnement des équipements ou les évaluations des risques se sont appuyés sur une approche heuristique. Les chiffres clés ont été retenus à partir de données de l'expérience et

les solutions techniques ont été progressivement formalisées par « essais-corrrections ». Plusieurs méthodes ont ainsi été écartées à l'issue de ces tests. La solution déployée par Areva correspond à une méthode de traitement de la radioactivité éprouvée sur le site de Marcoule, qui a été adaptée pour pouvoir être appliquée avec un équipement prévu à l'origine pour la clarification des eaux usées (système Actiflo de Véolia). Ce dernier équipement, qui permet un traitement de grandes quantités d'eau, a dû être modifié en vue d'un usage en milieu radioactif avec des produits chimiques spécifiques. De même, la gestion de la radioprotection des équipes sur site a été planifiée à partir de différents types d'exposition aux polluants radiologiques. Mais les conditions d'exposition à la radioactivité ayant fortement évolué durant les travaux, le niveau de protection initialement visé a dû être revu, et les études d'ingénierie ont comporté une part d'incertitude significative.

D'autre part, les contraintes étaient fortes, à la fois en termes de temps, d'environnement et de ressources matérielles ou humaines. Ainsi, l'approche retenue par Areva avait pour objectif de tirer parti des ressources déjà disponibles au Japon telles que l'équipement Actiflo de Véolia. La mise au point du dispositif s'est déroulée en moins de trois mois et, dans cet intervalle, les équipes d'ingénierie ont dû conduire des études et simulations relatives à la sûreté et au génie civil notamment pour tenir compte de l'environnement marin et radioactif. Pour gagner du temps, les études ont été menées en parallèle autant que possible mais plusieurs problèmes ont émergé. Les gestionnaires du projet ont ainsi été confrontés à des incompatibilités du calendrier technique avec les dispositions juridiques visant à la protection des travailleurs. L'implémentation sur site a en outre été particulièrement difficile pour les équipes d'ingénieurs et de techniciens. La construction de l'unité Actiflo-Rad d'Areva a notamment mobilisé jusqu'à deux cents personnes sur le site portant un masque en permanence et les équipes ont dû s'adapter pour respecter des délais courts et faire face aux contraintes de ressources. Parmi les autres contraintes, certaines modifications de l'équipement ont dû être réalisées directement sur le site et le travail a dû être organisé pour tenir compte de l'hostilité de l'environnement, ce qui a obligé à mettre en place un suivi médical spécifique. Selon Areva, cet environnement hostile et les difficultés de communication et de décision au sein d'équipes d'ingénieurs multiculturelles ont pesé sur la qualité de la finition des travaux.