



**HAL**  
open science

# Agir en sécurité: le réglé et le géré dans la propulsion nucléaire

Cécile Masson

► **To cite this version:**

Cécile Masson. Agir en sécurité: le réglé et le géré dans la propulsion nucléaire. Sociologie. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 2013. Français. NNT : 2013CNAM0870 . tel-01823827

**HAL Id: tel-01823827**

**<https://theses.hal.science/tel-01823827>**

Submitted on 26 Jun 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**ÉCOLE DOCTORALE ABBÉ GRÉGOIRE**  
**Centre de Recherche sur le Travail et le Développement**

**THÈSE** présentée par :

**Cécile MASSON**

soutenue le : 12 juin 2013

pour obtenir le grade de : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**

Discipline/ Spécialité : Ergonomie

**Agir en sécurité : le réglé et le géré  
dans la propulsion nucléaire**

**THÈSE dirigée par :**

**M. FALZON Pierre**

Professeur, Cnam

**RAPPORTEURS :**

**Mme CAROLY Sandrine**

**Mme DE LA GARZA Cecilia**

Maître de Conférences HDR, Université de Grenoble

Ingénieur-Chercheur HDR, EDF R&D

**EXAMINATEURS :**

**M. DE TERSSAC Gilbert**

**M. GUILLERMAIN Hubert**

Directeur de recherche, CNRS

Expert Facteurs Humains, AREVA TA (encadrant)



*À Martine,*



## Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Pierre Falzon pour avoir accepté de me diriger dans cette aventure de thèse. Ce n'était pas un pari gagné d'avance que d'amener l'ingénieure que j'étais sur le terrain des sciences humaines et de l'ergonomie. Vous avez su m'aiguiller sans imposer de destination et je garde à l'esprit votre sens de l'écoute, ces échanges passionnants toujours teintés d'une pointe d'humour. Merci beaucoup à Hubert Guillermain qui m'a ouvert les portes de la thèse et de l'ergonomie, travailler à tes côtés a été très formateur. Je tiens aussi à remercier François Raveglia et Patrick Leroy pour m'avoir fourni les ressources nécessaires à la réalisation de cette thèse.

En tant que membres du jury, vous m'avez donné l'occasion de poursuivre sous de nouvelles perspectives la réflexion menée pendant la thèse. Je remercie sincèrement Sandrine Caroly et Cecilia De La Garza d'avoir accepté la tâche de rapporteur. Un grand merci à Gilbert de Terssac pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

S'il s'agit ici de remercier les personnes qui ont rendu cette thèse possible, alors je remercie pour leur accueil et leur égard à mes sollicitations, Stéphane Rey, Laurent Bour ainsi que l'ensemble des opérateurs qui ont participé à l'étude. Un grand merci à Frédéric pour sa présence lors des nombreuses expéditions sur le terrain ainsi que pour son aide. Pour leur disponibilité sans limites et leur soutien tant technique que moral, je remercie Bruno et Christophe, sans eux cette thèse n'aurait pas la même saveur. Pour son écoute et sa disponibilité dans les moments difficiles je remercie Guy-Laurent. Les remerciements seraient incomplets sans mentionner l'ensemble de mes « co-bureau » aixois. Aussi, au risque d'en oublier quelques-uns, je remercie Laurent, Fabrice, Franck, Olivier, José, Brigitte, Guillaume, Richard, Najla, Frédérique. Enfin pour leur soutien, leur écoute et ces belles amitiés je remercie Gaëlle, Lucie, Sonia, Isabelle, Julien, Laetitia, Baptiste, Alan, Gaël, Guillaume, Claire.

Un grand merci aux membres de l'équipe d'ergonomie du 41 rue Gay Lussac. Leur présence lors des séminaires de recherche notamment, mais surtout au fil des mois de ma vie de doctorante m'a permis d'avancer progressivement dans ma réflexion et de me sentir soutenue dans cette démarche de thèse. Aussi je remercie pour leurs conseils et leur attention Flore Barcellini, Adélaïde Nascimento, Lucie Cuvelier, Yannick Lemonie, Jacques Leplat, Gaëtan Bourmaud, Laurent Van Belleghem, Aude Villemain, Bernard Denoeud et Hakim Benchekroun. Il m'est impossible d'évoquer ces instants passés rue Gay Lussac sans remercier ces personnes qui m'ont tout simplement aidé à me sentir bien là-bas, je pense notamment à Jean-Claude, Denise, Laurence, Virginie, Hortense, Sally et Céline. Pour le soutien inter-doctorant qui peut s'avérer indispensable dans les errements de la thèse, je remercie l'ensemble du réseau RJCE et plus particulièrement Magali, Cyril, Justine, Fabiola, Antoine, Julien, Gianna, Stan, François, Lucie, Maria Isabel, Corinne, Maria Sol, Fanny, Willy, Adeline, Johanna, Stéphane et Claudine.

Si l'aventure de la thèse amène à rencontrer des personnes de valeur, comme en témoignent les lignes précédentes, les soutiens que sont la famille et les amis fidèles m'ont été essentiels pour mener à terme cette thèse et surtout garder le sourire dans les moments difficiles. Je tiens à remercier Corinne, Patrice, Caro, Charlie, Mathou, Aude, Pierre, Marion et Sèb. Enfin pour tout ce que tu m'as apporté pendant la thèse et ce que tu m'apportes encore chaque jour, François, je te remercie du fond du cœur.



## Résumé

La mise en place de barrières de sécurité notamment par la standardisation de l'activité des opérateurs a permis au fil des ans d'améliorer significativement la sécurité des systèmes, tels que les installations nucléaires, qui peuvent aujourd'hui être qualifiés de systèmes « ultra-sûrs ». La thèse défendue est que la sécurité de ces systèmes s'appuie à la fois sur ces barrières de sécurité mais aussi sur la compétence des opérateurs. Ainsi la sécurité aujourd'hui doit se penser comme l'articulation cohérente d'un ensemble de ressources normatives pour « maîtriser » les risques (la sécurité réglée) et d'un ensemble de ressources adaptatives pour permettre aux opérateurs de faire face à de potentielles situations imprévues (la sécurité gérée). Une étude empirique a été construite pour éclairer cette problématique. Elle met en œuvre des équipes supervisant des systèmes nucléaires similaires mais dans lesquels la place prescrite à l'opérateur dans la gestion de la sécurité n'est pas la même : sur l'un la sécurité normative prévaut ce qui implique la vision d'un opérateur conforme (sans quoi il est « défaillant »), sur l'autre la sécurité adaptative est développée considérant ainsi l'opérateur comme un acteur de la sécurité à part entière. Les résultats obtenus permettent d'identifier une gestion sûre des situations sur les deux systèmes, mais sur la base de comportements d'équipe très différents. Les comportements adaptatifs apparaissent dans les équipes « adaptatives » en cohérence avec l'organisation émergente du travail et avec les modalités formatives. Ces comportements adaptatifs se manifestent aussi dans les équipes « normatives » mais ne sont en revanche soutenus ni par l'organisation du travail ni par les modalités formatives, non constructives. Ces résultats sont discutés en termes de sécurité globale, de « l'agir en sécurité ».

Mots-clés : sécurité réglée, sécurité gérée, collectif, formation, procédures, débriefing, ressources adaptatives



## Abstract

The implementation of safety barriers – particularly through approaches based on the standardization of operator activity – has led, over the years, to significant improvements in the safety of systems such as nuclear power plants. Such systems can be considered today as ultra-safe systems. The thesis defended here posits that system safety lies both in these safety barriers and in the skills of the human operators involved. Safety should, therefore, be viewed as a combination of a consistent set of normative resources in order to control risks (regulated safety), and a set of adaptive resources enabling operators to cope with unexpected situations (adaptive safety). An empirical study was conducted to investigate this question. It focuses on teams supervising two nuclear systems that are similar, but where the role ascribed to the human operator regarding safety management varied. In the first system, normative safety predominates, leading to a vision of operators who must be compliant in order not to be viewed as “defective”. In the second system, adaptive safety is emphasized, and operators are viewed as full-fledged actors of system safety. The results show safe management of situations on both systems. However, this management is based on very different team behaviors. Adaptive behaviors appear in adaptive teams, supported both by the emergent team organization and by a specific training approach. Adaptive behaviors are also visible in normative teams. However, such behavior is at odds with team organization and with the training approach, which can be said to be non-constructive. The results are discussed in terms of global safety and of “safe action”.

Key words: regulated safety, adaptive safety, collective, training, rules, debriefing, adaptive resources.



# Table des matières

REMERCIEMENTS.....	5
RESUME .....	7
ABSTRACT.....	9
TABLE DES MATIERES .....	11
LISTE DES TABLEAUX .....	16
LISTE DES FIGURES .....	17
LISTE DES ANNEXES .....	18
PRESENTATION DU MANUSCRIT .....	19
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>21</b>
<i>L'industrie nucléaire.....</i>	<i>23</i>
1 Le nucléaire.....	23
1.1 Un système « ultra sûr ».....	23
1.2 Une industrie surveillée.....	24
2 Accidents nucléaires majeurs : que s'est-il passé ?.....	24
2.1 Three Miles Island.....	25
2.2 Tchernobyl .....	26
2.3 Enjeux pour les facteurs humains et organisationnels .....	28
3 Les modes de conduite .....	28
3.1 De l'événementiel au « par état ».....	28
3.2 Une combinaison de modes de conduite .....	30
3.3 Détails sur l'approche par état en France .....	31
4 La culture de sécurité .....	31
4.1 Définition du concept.....	32
4.2 La recherche d'une cohérence.....	32
<b>PARTIE I : CADRE THEORIQUE.....</b>	<b>35</b>
<i>Chapitre 1 : La fabrique de la sécurité.....</i>	<i>37</i>
1 Les évolutions de la sécurité industrielle .....	37
1.1 Causes des accidents : identification des défaillances .....	37
1.1.1 Défaillances techniques.....	38
1.1.2 Défaillances humaines.....	38
1.1.3 Défaillances organisationnelles.....	40
1.2 Un point de vue systémique : les différentes théories.....	41
1.2.1 Normal accident .....	41
1.2.2 Blunt end/Sharp end .....	42
1.2.3 Défense en profondeur .....	43
1.2.4 Le courant des HRO.....	44
1.3 L'émergence de l' « ultra sécurité ».....	44
2 La sécurité des systèmes .....	45

2.1	La sécurité réglée .....	46
2.2	La sécurité gérée.....	48
2.3	Quelle articulation ? .....	49
2.4	La sécurité négociée .....	50
<i>Chapitre 2 : La supervision de processus .....</i>		<i>51</i>
1	Caractéristiques du système .....	51
1.1	Un dispositif complexe.....	51
1.2	Un environnement dynamique .....	52
1.3	Un contrôle indirect.....	53
2	Activité cognitive des opérateurs en situation dynamique.....	55
2.1	Résolution de problème : Diagnostic et prise de décision .....	57
2.2	Arbitrages .....	61
2.2.1	Le « compromis cognitif » .....	61
2.2.2	ETTO (Efficiency-Thoroughness Trade-Off) .....	61
2.2.3	Compromis entre la compréhension et l'action.....	62
3	Les ressources de l'activité .....	62
3.1	Les procédures et leur usage .....	62
3.1.1	Caractéristiques des procédures .....	63
3.1.2	L'implicite de la prescription .....	64
3.1.3	Conditions d'application des procédures .....	65
3.1.4	Responsabilité et application des procédures.....	66
3.2	Le travail collectif .....	67
3.2.1	Caractéristiques du travail collectif.....	67
3.2.2	Formes et conditions de la coopération.....	69
3.2.3	Régulations collectives.....	71
3.2.4	Le collectif de travail.....	71
3.3	La formation .....	73
3.3.1	Se former... ..	73
3.3.2	Caractéristiques de la situation de simulation .....	76
3.3.3	Débriefing : développement des compétences .....	78
<b>PARTIE II : PROBLÉMATIQUE .....</b>		<b>81</b>
<i>Chapitre 3 : Contexte de l'étude .....</i>		<i>83</i>
1	La conduite d'installations nucléaires .....	83
1.1	La production d'énergie : principe de base .....	84
1.2	Description du système .....	85
1.2.1	Circuit primaire .....	85
1.2.2	Circuit secondaire.....	85
1.3	Tâches de l'opérateur .....	85
1.3.1	Réfrigérer le cœur.....	85
1.3.2	Contrôler la réactivité.....	86
1.3.3	Assurer la pressurisation du primaire.....	86
1.3.4	Assurer le confinement.....	86
1.3.5	Maintenir l'équilibre des puissances primaire et secondaire .....	86
2	Des environnements de conduite différents .....	87
2.1.1	La taille du poste de conduite.....	87
2.1.2	« Situation » du poste de conduite .....	87
2.1.3	Pupitres.....	88

2.1.4	Procédures .....	88
2.1.5	Moyens de communication .....	88
2.1.6	Equipes de conduite .....	89
2.1.7	Rôle des opérateurs au sein de l'équipe .....	89
2.2	Caractéristiques communes aux deux systèmes .....	89
2.2.1	Technologie nucléaire .....	90
2.2.2	Origine des opérateurs .....	90
2.2.3	Equipe de quart .....	90
<i>Chapitre 4 : Problématique de recherche</i> .....		93
<i>Chapitre 5 : Stratégie de recherche</i> .....		97
1	Méthodologie .....	97
1.1	Définitions préliminaires .....	97
1.2	Scénario étudié .....	98
1.2.1	Choix du scénario .....	98
1.2.2	Harmonisation des scénarios sur les deux installations .....	99
1.2.3	Validation des scénarios .....	100
1.3	Population .....	102
1.3.1	Opérateurs .....	102
1.3.2	Formateurs .....	104
1.4	Protocole expérimental .....	104
1.4.1	Animation des séances .....	104
1.4.2	Déroulement d'un entraînement .....	105
1.4.3	Recueil des données .....	106
1.4.4	Restitution des résultats .....	107
2	Hypothèses .....	108
2.1	Les environnements de conduite .....	108
2.1.1	Statut des procédures dans les formations .....	109
2.1.2	Travail collectif .....	109
2.1.3	Autonomie des opérateurs .....	110
2.2	La résolution de problème .....	110
2.2.1	Impact des modes de conduite .....	111
2.2.2	Scénario ambigu sur S : variabilité des réponses .....	111
2.2.3	Scénario ambigu sur P : conformité au prescrit .....	111
<b>PARTIE III : CONTRIBUTIONS EMPIRIQUES</b> .....		<b>113</b>
<i>Chapitre 6 : Diagnostic et résolution de problème</i> .....		115
1	Méthode .....	115
1.1	Identification des processus soutenant le diagnostic .....	115
1.1.1	Qualification de l'évènement .....	116
1.1.2	La décision d'arrêt du réacteur .....	116
1.1.3	Le choix de la procédure post-arrêt .....	117
1.1.4	La quantification du débit de fuite .....	119
1.2	Codage du diagnostic .....	120
1.3	Identification de situations d'arbitrages .....	121
2	Résultats .....	122
2.1	Analyse du diagnostic .....	122
2.1.1	Scénario standard .....	122
2.1.2	Scénario ambigu .....	123

2.2	Des prises de décision délicates .....	127
2.2.1	Gérer un conflit d'objectifs .....	127
2.2.2	Le choix de la procédure en situation ambiguë.....	132
2.2.3	La nécessité d'agir alors qu'aucune procédure n'est évidente.....	137
3	Conclusions préliminaires .....	139
3.1	Performance .....	139
3.2	Impact des modes de conduite .....	140
3.2.1	Scénario standard .....	140
3.2.2	Scénario ambigu .....	140
3.3	Du « géré » sur S comme sur P .....	142
<i>Chapitre 7 : Travail en équipe et collectif de travail.....</i>		<i>143</i>
1	Des contextes du travail collectif .....	143
1.1	Fonctionnement des équipes .....	143
1.2	Taille du poste de conduite.....	144
1.3	Le fonctionnement des équipes dans les prescriptions.....	144
2	Méthode.....	144
2.1	Identification des tâches collectives sur S.....	145
2.2	Etude des échanges verbaux.....	146
2.2.1	Catégorisation des tours de paroles.....	146
2.2.2	Matériau utilisé.....	148
2.3	Identification des conversations .....	149
3	Résultats .....	150
3.1	Analyse qualitative du travail collectif.....	150
3.1.1	La réallocation des tâches au sein de l'équipe sur S .....	150
3.1.2	Une co-action sur P ? .....	153
3.2	Analyse quantitative des échanges verbaux .....	155
3.3	Analyse des conversations .....	158
4	Conclusions préliminaires .....	159
4.1	Vers un collectif de travail sur S .....	160
4.2	Un travail collectif limité sur P .....	160
<i>Chapitre 8 : Forme des débriefings et paradigmes de sécurité .....</i>		<i>163</i>
1	Méthode.....	163
1.1	La forme des débriefings.....	163
1.2	Caractéristiques des retours ciblés .....	164
1.2.1	Identification d'un événement.....	165
1.2.2	Evaluation.....	165
1.2.3	Commentaires.....	166
1.3	Modalités énonciatives d'injonction .....	169
2	Résultats .....	170
2.1	Les débriefings : des retours sur la conformité ou l'acceptabilité.....	171
2.1.1	La nuance dans les évaluations .....	171
2.1.2	Du « réglé » au « géré » : les thématiques abordées en débriefing.....	172
2.1.3	Le statut du formateur : du prescripteur au pair .....	176
2.2	Le débriefing : vers un environnement capacitant ? .....	178
2.2.1	Réélaboration de la règle.....	178
2.2.2	Développement des compétences.....	179
3	Conclusions préliminaires .....	182
3.1	Deux formes de débriefings... ..	182
3.2	... deux visions d'atteinte de la sécurité.....	183

<b>DISCUSSION .....</b>	<b>185</b>
<i>Chapitre 9 : Conclusions générales .....</i>	<i>187</i>
1 Synthèse des résultats .....	187
2 Limites.....	189
2.1 Le scénario .....	189
2.2 Le nombre d'équipes .....	189
2.3 La situation de simulation .....	190
3 Apports de la thèse .....	191
3.1 Une approche adaptative sûre elle aussi.....	191
3.1.1 Des scénarios ambigus « bien gérés ».....	191
3.1.2 Emergence et consolidation des bonnes pratiques .....	192
3.2 Cohabitation d'une approche normative avec la sécurité gérée ? .....	193
3.2.1 Une approche normative n'empêche pas le géré.....	193
3.2.2 Négliger le « géré », une prise de risque ? .....	193
3.3 Des débriefings constructifs .....	195
3.4 Un « géré » à prendre en charge.....	197
4 Un mode de conduite adapté pour agir en sécurité .....	198
4.1 Le difficile équilibre entre standardisation et adaptation.....	199
4.2 La gestion des règles .....	200
4.3 Le développement de ressources adaptatives.....	202
<i>Chapitre 10 : L'approche adaptative, proposition d'action .....</i>	<i>205</i>
1 Du normatif à l'adaptatif... ..	205
2 ...la formation outil de la transition .....	206
2.1 La formation révèle l'approche de sécurité.....	207
2.2 La formation permet... ..	207
2.2.1 ... de développer les ressources adaptatives .....	207
2.2.2 ...d'accompagner le changement de paradigme .....	208
3 Mise en perspective .....	208
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>211</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>225</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Attitudes des formateurs en débriefing .....	79
Tableau 2 : Equipes participant à l'étude .....	103
Tableau 3 : Opérateurs participants à l'étude.....	103
Tableau 4 : Récapitulatif des facteurs de variation entre S et P.....	108
Tableau 5 : Equipe S amb 1, extrait des verbalisations.....	146
Tableau 6 : Catégories de tours de parole .....	147
Tableau 7 : Comptabilisation des tours de parole sur P .....	148
Tableau 8 : Durée d'enregistrement et tours de parole pris en compte dans l'analyse du travail collectif.....	149
Tableau 9 : Réallocation des tâches entre opérateurs sur S.....	151
Tableau 10 : Nombre de tours de parole par équipe, par type et catégorie .....	156
Tableau 11 : Nombre de conversations par équipe .....	158
Tableau 12 : Données quantitatives sur les débriefings .....	164
Tableau 13 : Evaluations des formateurs dans les retours ciblés .....	171
Tableau 14 : Répartition des commentaires par thématiques.....	172
Tableau 15 : Modalités énonciatives d'injonction dans les retours ciblés .....	176
Tableau 16 : Bonnes pratiques pour les débriefings collectifs.....	196

## Liste des figures

Figure 1 : Ordre de grandeur du risque d'accident catastrophique dans les activités humaines .....	23
Figure 2 : Evolutions des causes attribuées aux accidents .....	38
Figure 3 : Les liens entre les opérateurs en retrait et les opérateurs en première ligne.....	42
Figure 4 : Le modèle de Reason.....	43
Figure 5 : Modèle de résolution de problème en situation dynamique .....	57
Figure 6 : Modèle de RPD.....	60
Figure 7 : Typologie des formes d'activité collective.....	68
Figure 8 : Schéma simplifié du fonctionnement des REP embarqués .....	84
Figure 9 : Déroulement d'une séance.....	101
Figure 10 : Gestion des procédures en cas d'arrêt du réacteur.....	118
Figure 11 : Codage du diagnostic.....	120
Figure 12 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S stand 1 .....	123
Figure 13 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S stand 2 .....	123
Figure 14 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P stand 1 .....	123
Figure 15 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P stand 2 .....	123
Figure 16 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S amb 1 .....	124
Figure 17 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S amb 2.....	124
Figure 18 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P amb 1 .....	125
Figure 19 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P amb 2.....	126
Figure 20 : Extrait adapté de la procédure « Fuite primaire secondaire » .....	128
Figure 21 : Histogramme des tours de parole .....	155
Figure 22 : Analyse factorielle des correspondances .....	157
Figure 23 : Histogramme des initiateurs de conversations sur la conduite du réacteur .....	159
Figure 24 : Codage des retours ciblés .....	168
Figure 25 : Modèle de la double migration .....	194
Figure 26 : Cadre de gestion des règles.....	201

## Liste des annexes

Annexe 1 : Etapes du scénario standard.....	228
Annexe 2 : Etapes du scénario ambigu .....	230
Annexe 3 : Aperçu global du diagnostic pour les 8 équipes .....	233
Annexe 4 : Analyses statistiques.....	236

## Présentation du manuscrit

Cette recherche répond à une demande de l'entreprise AREVA TA visant une contribution de l'ergonomie à la sécurité des installations à risque. L'étude porte sur l'ensemble des ressources à disposition des opérateurs, engagées dans la conduite des systèmes pour agir en sécurité. Ce travail de thèse résulte d'une collaboration entre l'entreprise AREVA TA et l'équipe d'ergonomie du Centre de Recherche sur le Travail et le Développement.

L'industrie nucléaire a tiré des leçons de l'analyse des accidents de TMI et de Tchernobyl. Elle s'est dotée de réglementations nationales et internationales pour la conception et l'exploitation des centrales nucléaires. A la suite de TMI, l'industrie nucléaire a entamé une démarche forte pour la prise en compte du facteur humain et l'étude de l'erreur humaine. A la suite de Tchernobyl, le concept de culture de sécurité (ou sûreté) apparaît. Les opérateurs en première ligne ne sont plus désormais les seuls garants de la sécurité, tous les acteurs du concepteur, en passant par l'administration jusqu'aux opérateurs de maintenance sont impliqués dans la sécurité des systèmes. Le nucléaire apparaît aujourd'hui comme un système ultra-sûr, ultra-procéduralisé, comparable au transport aérien. Par ces processus de sécurisation, un risque émerge : celui de la perte d'adaptabilité des systèmes ultra-sûrs.

L'objectif de la thèse est d'apporter des éléments de compréhension de la gestion de la sécurité dans la supervision des systèmes nucléaires et d'outiller l'amélioration de la sécurité des systèmes via l'identification et le développement de ressources qui favorisent l'agir en sécurité. En particulier, il s'agit de s'intéresser aux différents types de ressources et la façon dont elles favorisent la maîtrise des risques par leur caractère normatif ou la capacité à faire face par leurs propriétés adaptatives.

La thèse est divisée en cinq sections.

En introduction est présenté le contexte spécifique qu'est l'industrie nucléaire dans lequel la recherche est menée. Les accidents majeurs de TMI et Tchernobyl sont évoqués ainsi que leurs conséquences pour la recherche et l'industrie au niveau de la prise en compte du facteur humain.

La première partie développe le cadre théorique de la thèse sur lequel s'appuie la problématique de recherche. Il est agencé en deux chapitres. Le premier expose la fabrique de la sécurité au fil des ans qui a donné lieu au débat actuel sur la sécurité des systèmes ultra-sûrs (Chapitre 1). Le travail des opérateurs qui consiste à superviser un processus dynamique ainsi que les ressources mobilisées dans la conduite font l'objet du chapitre suivant (Chapitre 2).

La deuxième partie vise à poser la problématique de la thèse. Tout d'abord le contexte spécifique de cette étude est développé (Chapitre 3). La problématique de recherche est ensuite présentée (Chapitre 4), suivie de la stratégie de recherche mise en œuvre (Chapitre 5).

L'objet de la troisième partie de la thèse est d'exposer les contributions empiriques de ce travail. L'étude s'appuie sur le traitement d'un incident d'exploitation par des opérateurs expérimentés, sur un simulateur pleine échelle. Ces dernières ont été menées dans trois directions. La première étude s'est portée sur le diagnostic en situation standard et ambigu, ainsi que sur les situations d'arbitrages (Chapitre 6). Une deuxième étude traite du fonctionnement des équipes et de l'apport des collectifs de travail (Chapitre 7). La dernière étude s'intéresse particulièrement aux situations de débriefings sur simulateur (Chapitre 8).

Enfin les résultats sont discutés dans le cadre de la sécurité des systèmes ultra-sûrs, du besoin émergent de flexibilité ainsi que de la réalité des situations rencontrées par les opérateurs (Chapitre 9). Des propositions d'action sont détaillées pour faciliter le changement de paradigme de la sécurité d'une vision normative à une vision adaptative (Chapitre 10).

# INTRODUCTION



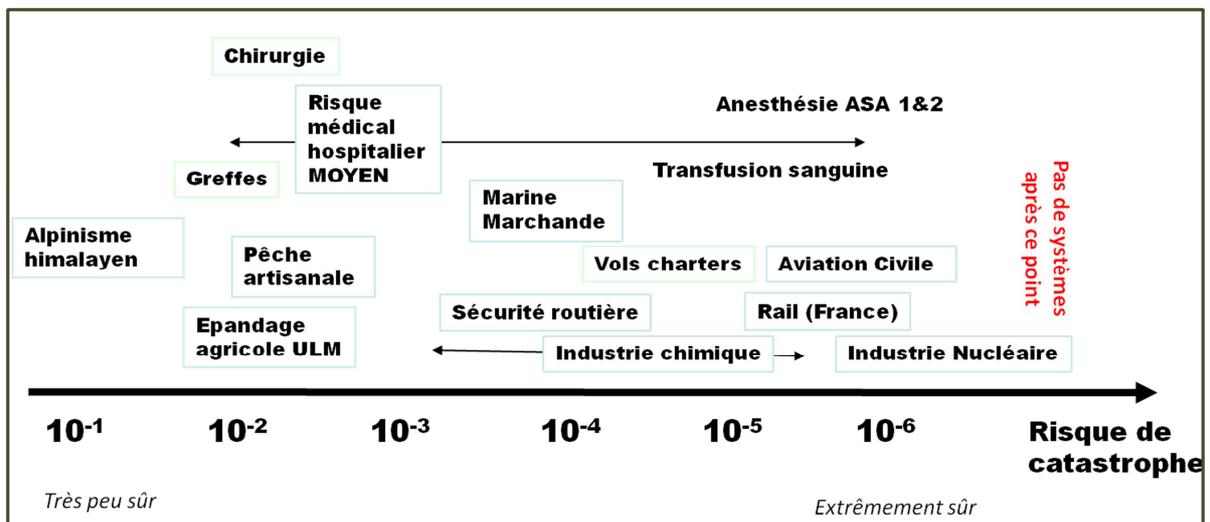
# L'industrie nucléaire

## 1 Le nucléaire...

### 1.1 Un système « ultra sûr »

Les installations nucléaires font partie des systèmes dits « ultra-sûrs ». Dans ces systèmes se trouvent aussi l'aviation civile, la chimie ou encore l'anesthésie.

Les systèmes ultra-sûrs peuvent être considérés comme de véritables prouesses techniques, organisationnelles, humaines. « Ce sont les plus compliqués que l'homme ait jamais construits, ce sont aussi les plus sûrs et les plus performants » (Amalberti, 2007 p75).



**Figure 1 : Ordre de grandeur du risque d'accident catastrophique dans les activités humaines**

(Amalberti, 2010)

Comme indiqué sur la Figure 1, l'industrie nucléaire est un des systèmes sociotechnique les plus sûrs. L'atteinte d'un tel niveau de sécurité s'est construite progressivement au fil des ans (Amalberti, 2010). Bien que le niveau de sécurité actuel de l'industrie nucléaire soit parmi les plus élevés, la question de la sécurité demeure un enjeu pour la pérennité de cette industrie.

## 1.2 Une industrie surveillée

L'industrie nucléaire est extrêmement réglementée et surveillée, notamment par des organismes nationaux et internationaux :

- L'autorité de sûreté nucléaire (ASN) assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire.
- L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) conduit et met en œuvre des programmes de recherche afin d'asseoir sa capacité d'expertise publique sur les connaissances scientifiques les plus avancées dans les domaines des risques nucléaires et radiologiques, tant à l'échelle nationale qu'internationale. L'IRSN constitue un soutien technique de l'ASN.
- L'agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a pour mission de promouvoir l'utilisation sûre des installations nucléaires à des fins pacifiques.

L'industrie nucléaire est aussi surveillée attentivement par l'opinion publique. Au cours des cinquante dernières années, l'utilisation de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité a fait régulièrement l'objet de controverses (Lauvergeon & Barré, 2009 ; Jancovici, 2003). L'accident nucléaire très récent de Fukushima a relancé une polémique entraînant une montée de l'opposition à l'énergie nucléaire dans l'espace public (Fassert, 2012). L'accident de Fukushima rappelle que le nucléaire est une industrie à risque. La prise de conscience de l'opinion publique qui a suivi l'accident rend d'autant plus brûlante la question de la sécurité de ces installations.

## 2 Accidents nucléaires majeurs : que s'est-il passé ?

Dans cette partie il s'agit de redécouvrir le déroulement de deux accidents nucléaires majeurs, ceux de Three Miles Island et de Tchernobyl ainsi que leur impact sur la conception et l'exploitation des installations nucléaires.

## 2.1 Three Miles Island

L'accident de la centrale nucléaire de Three Miles Island (TMI) a constitué un véritable tournant dans l'industrie nucléaire et dans la prise en compte du facteur humain (Llory, 1996 ; Appel & Chambon, 1998).

Le 28 Mars 1979 à 4 h du matin, sur la tranche 2 de la centrale nucléaire de TMI, les opérateurs sont occupés à régler un petit incident sur le circuit secondaire de la centrale (voir le § 1 Chapitre 3 pour le fonctionnement d'une chaufferie nucléaire à eau pressurisée). La défaillance d'un des circuits auxiliaires du circuit secondaire entraîne l'arrêt automatique des pompes – qui alimentent en eau le Générateur de Vapeur (GV) – et de la turbine. Cela n'a rien d'exceptionnel, mais va impacter le refroidissement du cœur qui se fait par transfert de chaleur de l'eau primaire à l'eau secondaire au niveau du GV. La pression et la température de l'eau primaire vont augmenter rapidement. Une vanne de décharge située au pressuriseur s'ouvre automatiquement pour permettre la diminution de la pression. Cette action ne permet pas de faire diminuer suffisamment la pression de l'eau primaire, donc automatiquement les barres d'arrêt chutent dans le cœur pour diminuer la réaction nucléaire et faire chuter la pression et la température. Une fois la pression et la température stabilisées dans les limites de fonctionnement, un ordre de fermeture automatique est envoyé à la vanne. Un voyant indiquant l'émission de l'ordre s'allume en salle de commande. Ce qui pour les opérateurs indique que la vanne est effectivement fermée, or la vanne ne se referme pas totalement. Les opérateurs viennent de vivre un « incident normal d'exploitation » qui ne se déroule que depuis une dizaine de secondes.

La vanne maintenue ouverte fait à nouveau chuter la pression du circuit primaire qui atteint un seuil de 110 bars. Cela déclenche l'ouverture d'un système d'injection de sécurité (IS) qui alimente en eau froide le circuit primaire. Seulement 2 minutes se sont écoulées depuis le début de l'arrêt des pompes du circuit secondaire. La pression du primaire reste basse à cause de la vanne restée ouverte mais le niveau du pressuriseur semble augmenter. Ce qui est critique pour l'opérateur car un de ses objectifs de conduite est de veiller à maintenir en permanence un certain niveau d'eau dans le pressuriseur, ni trop haut, ni trop bas<sup>1</sup>. Mais à ce

---

<sup>1</sup> Il ne faut pas remplir le pressuriseur en eau car un transitoire faisant varier la pression de façon importante pourrait endommager les circuits. Il ne faut pas non plus le vider car cela ne permettrait plus de maintenir la pressurisation du circuit primaire.

moment là, les indications de niveau d'eau dans le pressuriseur ne semblent plus fiables puisque l'eau primaire est un mélange d'eau et de vapeur sans séparation nette des deux phases. Au bout de 4 minutes 30, les opérateurs arrêtent manuellement le système d'injection de sécurité pour ne pas remplir le GV. A partir de ce moment, il y a une fuite du circuit primaire, par la vanne restée ouverte et des circuits de sécurité désarmés. Le cœur n'est plus refroidi comme il le faudrait par l'eau primaire ou un circuit de sécurité et s'échauffe encore. Le circuit primaire diphasique a altéré le fonctionnement des pompes primaires et les opérateurs choisissent de les arrêter pour ne pas les abimer. Cela aggrave la situation en stoppant la circulation d'eau dans le réacteur. La partie supérieure du cœur est progressivement asséchée. Seulement refroidi par la vapeur, le combustible s'échauffe et fond.

Après 2h30, les opérateurs ferment la vanne d'isolement (placée en série de la vanne de décharge bloquée en position ouverte), isolent la fuite primaire et remettent en service le système d'IS (Libmann, 1992 ; Llory, 1996 ; Barré, 2009).

L'accident de Three Miles Island n'a eu d'autres conséquences que la fusion partielle du cœur.

## 2.2 Tchernobyl

Dans un premier temps, l'accident de Tchernobyl fait moins « de bruit » que l'accident de TMI, mais il va sans doute marquer plus profondément les esprits. Ce qui ressort en premier lieu c'est qu'un accident semblable à Tchernobyl ne peut arriver dans les centrales occidentales qui sont conçues différemment – les réacteurs des centrales soviétiques à basse charge peuvent subir une réactivité instable. Par mesure de sécurité, sur les centrales de type soviétique, le fonctionnement du réacteur à une puissance inférieure à 20% de la puissance nominale est interdit (Llory, 1996).

Ce qu'il faut mentionner au sujet de l'accident de Tchernobyl, c'est le contexte dans lequel il s'est passé. Un arrêt de maintenance est programmé sur le réacteur de la tranche 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl pour le début du mois de mai 1986. A cette occasion, un test de sûreté doit être mené, il s'agit de vérifier lors d'un arrêt du réacteur à basse charge, en cas de perte d'alimentation électrique extérieure, si l'inertie du groupe turbo alternateur peut alimenter électriquement les dispositifs de sécurité (dispositifs permettant le refroidissement

du cœur, comme l'IS) en attendant la montée à pleine puissance des groupes diesel. Cette expérience avait déjà été réalisée à deux reprises sur d'autres centrales, mais elle n'avait pas été concluante. Le dispositif est donc légèrement modifié et va nécessiter de maintenir le fonctionnement du réacteur à basse charge, malgré le risque de réactivité instable à basse charge.

Le 25 Avril les opérateurs diminuent la puissance du réacteur pour atteindre les conditions d'essai, à savoir 25% de la puissance nominale. A 14h le dispatching de Kiev demande aux opérateurs que la tranche 4 de la centrale se maintienne sur le réseau à cause d'une forte demande électrique dans le pays. Pendant 9h la centrale reste couplée au réseau, cela retarde d'autant le début de l'essai. A 23h, les opérateurs commencent à nouveau l'abaissement des paramètres pour atteindre les 25% de charge, mais il leur est difficile de stabiliser la puissance du réacteur. A 0h30 il y a une chute brutale de la puissance à 1%, à cause d'une mauvaise synchronisation lors du passage en manuel de la conduite des barres (qui permettent de contrôler la réactivité du cœur). Vers 1 h du matin, les opérateurs atteignent une puissance de l'ordre de 7%. Il s'agit d'un seuil inférieur à celui attendu et il est toujours considéré comme potentiellement dangereux. A 1h05, les huit pompes d'alimentation en eau du circuit sont mises en fonctionnement en vue de refroidir le cœur pendant l'essai. Cela a pour conséquence de diminuer la marge de « sous-refroidissement ». Toute augmentation de température ou diminution du débit entraînerait l'ébullition en masse du circuit à l'entrée du réacteur. A 1h23 du matin, l'essai programmé est enclenché par la fermeture des vannes du circuit turbo alternateur. Le ralentissement du turbo alternateur entraîne le ralentissement des pompes d'alimentation. On assiste à une augmentation de la réactivité en partie basse du réacteur ce qui a pour conséquence la déformation d'une partie des circuits et à 1h24, la tentative d'arrêt manuel du réacteur échoue. Quelques secondes plus tard, deux explosions secouent la tranche et brisent la dalle supérieure du cœur. Une trentaine d'incendies se déclarent dans les environs.

Il est certain que l'essai aurait dû être interrompu vu les difficultés rencontrées par les opérateurs à stabiliser la puissance du réacteur dans une zone considérée comme « neutroniquement instable ». D'autant que d'autres centrales soviétiques avaient refusé de mener un tel essai. (Libmann, 1992 ; Llori 1996; SFEN, 2002)

Les conséquences de l'accident de Tchernobyl sont beaucoup plus importantes que celles de TMI. On dénombre 30 morts parmi les intervenants du premier jour, s'ajoutent à cela des conséquences sanitaires, psychologiques, environnementales.

## **2.3 Enjeux pour les facteurs humains et organisationnels**

La relecture du déroulement des accidents de TMI et de Tchernobyl permet de mettre au jour un certain nombre de dysfonctionnements ou défaillances pouvant survenir dans l'exploitation d'installations nucléaires.

L'analyse de l'accident de TMI va impacter fortement la prise en compte du facteur humain au niveau des opérateurs au poste de contrôle. Le facteur humain peut se définir par « l'analyse, la description et la compréhension des conduites adoptées par les hommes et les femmes en situation réelle » (Dejours, 2010, p5). L'analyse de cet accident a permis de réaliser le rôle fondamental de l'homme dans la conduite des systèmes ultra-sûrs et cela a notamment contribué à un courant de recherche sur « l'erreur humaine ». Par ailleurs cet accident a donné lieu à la prise en compte du facteur humain dès la conception des systèmes notamment par la mise en place de « modes de conduite ».

L'analyse de l'accident de Tchernobyl va révéler les défaillances organisationnelles des systèmes sociotechniques, et permettre l'émergence d'une culture de sûreté. Ce concept sera ensuite repris plus largement dans les systèmes ultra-sûrs (Daniellou, Simard & Boissières, 2010).

## **3 Les modes de conduite**

### **3.1 De l'événementiel au « par état »**

L'analyse de TMI a permis une évolution majeure dans la conduite des situations accidentelles des réacteurs avec le passage :

- d'une conduite dite « événementielle », où les anomalies sont remontées en salle de conduite, traitées par les hommes via une approche diagnostique permettant de régler le problème ou d'en maîtriser les conséquences,

- à une approche dite « par état », où l'on ne cherche plus à comprendre les causes et conséquences des anomalies, mais à ramener globalement l'installation vers un état sûr et stable, par itérations successives sur les principales grandeurs physiques de l'installation.

Les deux modes de conduite (événementiel et par état) demandent de la part des équipes des conceptualisations différentes du système. Pour les deux approches, les étapes initiales sont les mêmes : il s'agit de surveiller les grandeurs physiques du système et de détecter les variations anormales, qui demandent une intervention correctrice (Rasmussen, 1986 ; Hoc & Amalberti, 1995). Les étapes varient ensuite en fonction des approches. Dans l'approche événementielle, l'opérateur doit caractériser la nature des anomalies (diagnostic sur la nature de l'événement et des causes : dysfonctionnement de tel type) et définir les actions à mener pour ramener le système en fonctionnement stabilisé, ceci dans une vision historique (évolution des paramètres) et anticipatrice (prédictions et extrapolations). Dans l'approche par état, les seules valeurs instantanées des variables doivent suffire pour que l'opérateur, s'appuyant sur une documentation prescriptive détaillée, puisse choisir la procédure qu'il doit appliquer, de façon déterministe. Cette seconde approche fait ainsi « l'économie » du diagnostic par l'opérateur. Celui-ci est supposé « réussir » sans avoir besoin de « comprendre » dans les situations accidentelles, donc complexes et risquées.

L'approche par état peut légitimement susciter des réserves chez les ergonomes. En effet, elle semble réduire considérablement le rôle de l'opérateur, le ramenant à un rôle d'exécution aveugle d'une procédure prescrite (Masson, Falzon & Guillermain, 2012). Cela tendrait aussi à limiter la capacité d'adaptation nécessaire pour faire face à la variabilité des situations. Cependant, la nécessité d'une compréhension parfaite avant d'agir a pu être mise en question par certains auteurs. Amalberti (1996) souligne ainsi que, dans des contextes de pression temporelle et de risque, l'opérateur doit faire des choix entre la compréhension du système, la surveillance des paramètres, l'exécution des actions, l'interprétation ou encore la planification, ceci afin de gérer sa propre charge cognitive. La volonté de comprendre, peut être contre-productive et risquée en elle-même (voir § 2.2.1 Chapitre 2).

### 3.2 Une combinaison de modes de conduite

Dans la littérature d'autres modes de conduite ont été analysés : la conduite par tendance ou la conduite par objectif (Salazar-Ferrer, 1995 ; Letzkus, 2004 ; Dumont d' Ayot, 2005).

Dans la conduite par objectif l'opérateur contrôle l'adéquation entre l'état de l'installation et un objectif qu'il se fixe. Il peut être amené à redéfinir l'objectif en fonction de la situation. Cette approche de conduite permet en outre de régler les problèmes de conflits d'objectifs, comme celui entre la productivité et la sécurité (Dicioccio, 2012).

L'approche par tendances est une approche anticipatrice qui étudie l'évolution du système par propagation de tendance grâce à l'historique des paramètres et les liens de causalité qui existe entre eux. L'opérateur peut donc anticiper les dérives et faire une régulation préventive. L'approche par tendance se rapproche de la physique qualitative (de Kleer & Brown, 1984).

Lorsque l'on parle d'approche événementielle, cela veut dire que la conduite est basée sur la remontée d'événements. Cependant dans la conduite événementielle on retrouve de la surveillance de tendances et des conflits d'objectifs. Ainsi choisir une approche n'implique pas la suppression des problématiques traitées par les autres approches de conduite. Il s'agit de choisir un « point d'entrée » à la conduite (événements, états, objectifs, tendances). Ce point d'entrée est le premier élément pris en compte pour conduire.

Toutes ces approches de conduite ne sont pas à placer sur un même niveau. Autant il a été vérifié qu'on pouvait conduire une installation avec l'approche événementielle ou avec l'approche par état (en situation accidentelle), autant il n'est pas sûr que l'approche par tendance seule permette de conduire un système, il faudra peut être la compléter avec une autre approche pour offrir à l'opérateur les moyens nécessaires pour conduire l'installation.

Dans les centrales nord américaines, il y a un compromis entre l'approche par état et l'approche événementielle (Theureau, Jeffroy & Vermersch, 2000). Dans une situation inhabituelle, l'équipe suit d'abord une approche événementielle et si la situation est trop complexe, elle bascule sur une procédure type approche par état.

La mise en place de modes de conduite tels que l'approche événementielle ou l'approche par état n'est envisagée dans cette étude qu'en situation accidentelle où il est nécessaire d'apporter aux opérateurs des moyens adaptés pour répondre à des situations critiques.

### 3.3 Détails sur l'approche par état en France

La mise en œuvre de l'APE sur les installations nucléaires civiles françaises s'est principalement traduite par une modification des procédures accidentelles. Les procédures type approche par état ont la forme de logigrammes : « suite de pas auxquels l'opérateur doit répondre par oui ou non » (Jeffroy, Theureau & Vermersch, 1998, p10). Ces pas recouvrent des questions sur la valeur de paramètres (la température primaire est-elle inférieure à X) ou des demandes d'action (fermer la vanne Y, démarrer la pompe Z). Une fois que l'opérateur arrive à la fin de la procédure il reprend la procédure au début. Cette démarche de « bouclage » avec la procédure permet de contrôler l'ensemble des paramètres critiques sans s'enfermer dans un faux diagnostic, en oubliant par exemple certains paramètres importants. Avant d'accéder à cette procédure de bouclage, les opérateurs sont guidés par une consigne d'orientation leur permettant d'identifier la procédure correspondant à l'état dans lequel ils se trouvent (Appel & Chambon, 1998). Cette consigne d'orientation s'appuie sur les valeurs instantanées du système.

L'approche par état a été mise en place pour la conduite des situations accidentelles des centrales nucléaires, notamment chez EDF. Pour la conduite des situations accidentelles des chaufferies, AREVA TA a mis en place une adaptation des principes de l'approche par états aux spécificités des chaufferies nucléaires embarquées, il s'agit de l'APE<sup>PN</sup> (Masson *et al.*, 2012). Cette étude ne porte pas sur l'APE telle que mise en œuvre sur le Parc Français des réacteurs EDF, mais sur l'APE<sup>PN</sup> qui a été mise en œuvre en propulsion nucléaire.

## 4 La culture de sécurité

La notion de culture de sécurité (utilisée sous le vocable culture de sûreté dans le domaine du nucléaire) est apparue dans les premières analyses de l'accident de Tchernobyl. La commission d'enquête a en effet mis en évidence une « culture de sûreté défaillante ».

## 4.1 Définition du concept

Le terme de culture de sécurité permet de désigner « cette composante de la culture d'entreprise qui concerne les questions de sécurité dans les milieux de travail comportant des risques significatifs » (Daniellou *et al.*, 2010, p99). La culture de sécurité peut se définir comme étant l'ensemble des attitudes et des pratiques développées et mises en œuvre par l'organisation et les individus dans l'objectif de maîtriser les risques de leur activité (Daniellou *et al.*, 2010 ; INSAG-4, 1991 ; Chevreau, 2008). La culture de sécurité est une des composantes de la culture organisationnelle et de ce fait elle dépend directement des débats théoriques de la culture organisationnelle (Haukelid, 2008).

## 4.2 La recherche d'une cohérence

Parallèlement à la notion de culture organisationnelle se développe un autre concept proche qui est le climat organisationnel. De Cock, Bouwen & de Witte (1986, cité par Lu et Tsai, 2008) différencient la culture organisationnelle du climat. Pour les auteurs, une organisation se caractérise par une orchestration cohérente de nombreux processus. Le climat organisationnel serait la perception de la cohérence des différents processus par l'ensemble des acteurs du système, alors que la culture organisationnelle serait le sens sous-jacent donné à cette cohérence, correspondant alors un ensemble de valeurs.

Les chercheurs s'intéressant à la culture organisationnelle s'accordent sur le fait qu'il s'agit d'un « concept-pattern<sup>2</sup> » donnant lieu à « une cohérence dans la structure organisationnelle » (Guldenmund, 2000, p12, notre traduction).

Si l'on considère que la culture de sécurité consiste en une stratégie de maîtrise des risques, alors « renforcer la culture de sécurité revient à rendre cohérents discours et pratiques de la maîtrise des risques ». (Chevreau et Wybo, 2007, 178).

Au final, il semblerait donc que cette cohérence rende possible l'émergence d'une culture organisationnelle et donc dans un second temps l'émergence de la culture de sécurité. La

---

<sup>2</sup> Un « concept-modèle » (notre traduction).

question qui se pose alors pour les systèmes à risque c'est dans quelle mesure le contexte dans lequel sont placés les opérateurs rend compte de cette cohérence au niveau de leur activité.



PARTIE I :  
CADRE THEORIQUE



# Chapitre 1 : La fabrique de la sécurité

---

## **1 Les évolutions de la sécurité industrielle**

La sécurité industrielle et le rôle du facteur humain impliqué dans la sécurité industrielle se sont développés de façon conjointe suivant deux voies. D'une part l'analyse des accidents industriels majeurs a permis d'identifier les causes et donc les vulnérabilités des systèmes sociotechniques. D'autre part l'émergence de théories issues de différents domaines de recherche (ingénierie, ergonomie, sociologie, psychologie) a montré les mécanismes qui font des systèmes sociotechniques des systèmes hautement fiables mais aussi des systèmes à hauts risques.

### **1.1 Causes des accidents : identification des défaillances**

L'analyse des accidents et la recherche des causes permettent d'identifier les défaillances ou vulnérabilités d'un système. On peut distinguer trois types de défaillances : les défaillances techniques, humaines et organisationnelles (Boissières, 2009 ; Hollnagel 2004).

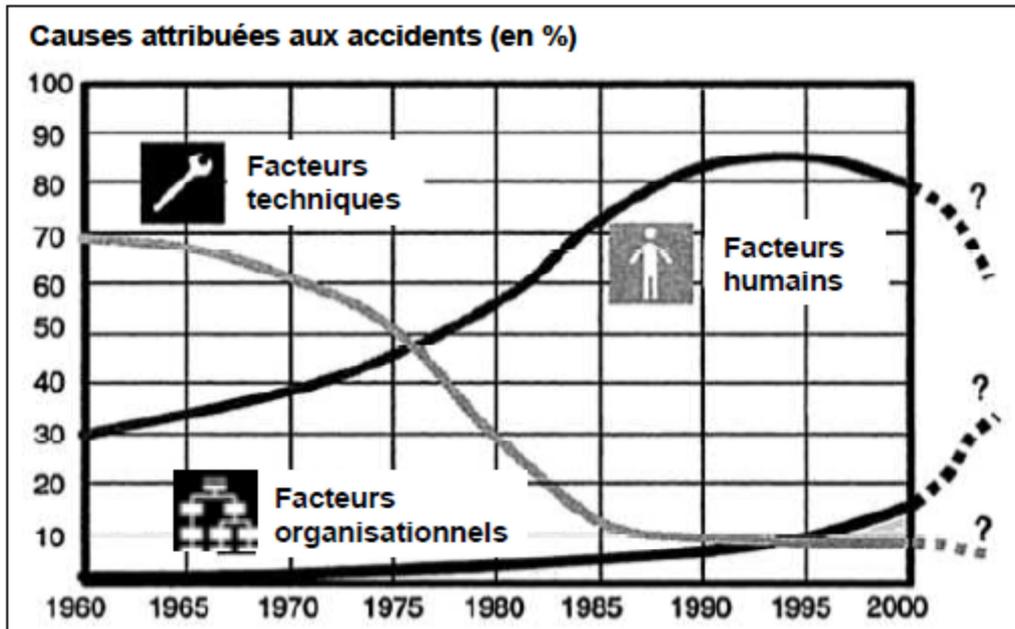


Figure 2 : Evolutions des causes attribuées aux accidents

(Hollnagel, 2004)

### 1.1.1 Défaillances techniques

Dans le cas de l'accident de Three Miles Island, la vanne de décharge bloquée en position ouverte après l'ordre de fermeture est une défaillance technique qui figure parmi les causes principales de l'accident (Llory, 1996).

Comme l'indique la Figure 2, des années 1950 à 1980 les accidents sont majoritairement attribués à des défaillances techniques. A cette époque émerge un courant de recherche, la fiabilité technique. En suivant la définition probabiliste, la fiabilité technique d'un composant est quantifiée par la probabilité que ce composant remplisse sa fonction pour une durée donnée. Malgré l'attention portée à l'amélioration de la fiabilité technique des systèmes, la fiabilité globale du système ne s'est pas améliorée (Neboit, Cuny, Fadier & Ho, 1990). Cela met alors l'accent sur les « erreurs humaines » source d'inafiabilité (Amalberti, 1996) et sur les questions de fiabilité humaine.

### 1.1.2 Défaillances humaines

La fiabilité humaine peut être vue comme le pendant de la fiabilité technique, côté opérateur. Leplat la définit comme « la capacité de l'homme à accomplir une fonction requise dans des conditions données dans une période de temps donnée ». (Leplat, 1985, p17). L'absence de

fiabilité humaine va se traduire par l'occurrence d'erreurs. Ainsi fiabilité humaine et erreur humaine sont des concepts liés. Pour le concept de la fiabilité humaine, d'autres auteurs font davantage référence à la notion de possibilité plutôt qu'à celle de capacité (Terssac & Chabaud, 1990). Ce choix s'explique par la volonté de préciser que l'erreur n'est pas un attribut de l'individu mais le produit de l'interaction entre les conditions externes de la situation de travail et les conditions propres à l'opérateur.

Une erreur est un écart à une norme (De Keyser et Nyssen, 1993). Il s'agit d' « une situation où une séquence planifiée d'actions ne parvient pas à ses buts », alors que « la personne n'avait pas l'intention de s'écarter de cette référence. « Une erreur n'est jamais volontaire. » (Daniellou *et al.*, 2010, p63)

Que ce soit pour l'accident de TMI ou celui de Tchernobyl, les médias ont largement diffusé comme cause majeure de ces accidents « l'erreur humaine » (Cellier, 1990). A TMI, la décision des opérateurs de couper le système d'injection de sécurité par peur de remplir le pressuriseur en eau est considérée comme une erreur. On peut toutefois noter qu'il s'agit « d'un cas typique d'erreur rétrospective, c'est-à-dire qui ne peut être reconstituée comme telle qu'après les faits » (Perrow, 1982, cité par Daniellou, 1986, p 9). En effet au moment où les opérateurs prennent cette décision, la représentation qu'ils ont du système est en décalage avec l'état réel de l'installation.

Il existe plusieurs caractérisations de l'erreur humaine et aucune ne saurait rassembler les auteurs qui ont écrit sur le sujet (Reason, 1993). L'erreur peut porter sur le résultat ou sur l'action. Il peut s'agir d'une erreur pour le sujet ou pour l'expert (Leplat, 1985).

Dans la supervision des systèmes sociotechniques, Reason expose trois types de mécanismes de production d'erreurs, basés sur les niveaux de traitement de l'information de Rasmussen (voir §2 du Chapitre 2).

- les erreurs basées sur les automatismes : déclenchement d'un comportement cohérent, mais au mauvais endroit et/ou au mauvais moment, ou des omissions (Reason, 1993)
- les erreurs basées sur les règles : mauvaise classification de situations, qui conduisent à l'application de règles erronées ou au rappel incorrect de procédures (Reason, 1993)
- les erreurs basées sur les connaissances : limitation de ressources, connaissances incomplètes ou défaillantes (Reason, 1993).

Les erreurs commises par les êtres humains sont très nombreuses mais la majorité est sans conséquences puisqu'elles sont détectées et récupérées par la personne concernée ou par le collectif. (Daniellou *et al.*, 2010 ; Amalberti, 2004)

Il faut distinguer l'erreur de la violation qui est « un écart volontaire par rapport à une référence externe » (Daniellou *et al.*, 2010). Les auteurs distinguent trois types de violations :

- certaines correspondent à une situation où le respect de la règle a un coût très élevé pour les opérateurs, mais où les conséquences de la violation paraissent limitées. Ces violations sont en général approuvées par le collectif de travail ;
- d'autres correspondent à un « style » individuel d'un opérateur, qui prend des libertés que désapprouvent ses collègues ;
- d'autres enfin se produisent quand les règles existantes sont contradictoires entre elles et où il est impossible de les respecter simultanément.

Bien que pour certaines catégories de travailleurs, les violations apparaissent comme des sources de risque et sont la cause de nombreux accidents, d'autres les considèrent comme des actes pour maintenir la sécurité (Besnard & Greathead, 2003).

### 1.1.3 Défaillances organisationnelles

Au début des années 1990, l'analyse des accidents fait émerger des défaillances plus profondes qui s'éloignent du poste de travail, il s'agit des défaillances organisationnelles (Hollnagel, 2004 ; Cuvelier, 2011). « Les accidents de Tchernobyl, de Three Miles Island, de la navette Challenger, l'affaire du sang contaminé ou la contamination de Bhopal ont placé au premier plan toute une série de facteurs sociaux et organisationnels » (Bourrier, 1999, p. 2).

Une part de ces accidents majeurs s'explique par des défaillances organisationnelles. Prenons les cas de Tchernobyl et de la navette Challenger (1986).

Les opérateurs de Tchernobyl ont souvent été présentés comme « délinquants », c'est-à-dire comme ayant délibérément enfreint des règles de sécurité, il s'agit là de violations. Reason parle de « violations inévitables » (Reason, 1987). L'important est de comprendre pourquoi les opérateurs ont enfreint ces règles. Ces violations sont imputables au contexte organisationnel dans lequel ils se trouvaient. « Le rationnement des pièces de rechange, les

maigres moyens n'entamaient pas la volonté collective des opérateurs de démontrer que la centrale remplissait sa fonction productive pour le réseau. Ils mettaient leur point d'honneur à respecter les délais imposés. Ces objectifs les conduisaient régulièrement à enfreindre les règles de sûreté sans qu'il s'agisse pour autant de malveillances » (Bourrier, 2003, p. 20).

Dans un même ordre d'idée, on peut s'intéresser à la catastrophe de la navette Challenger (1986). Les premiers rapports officiels ont laissé penser que l'accident s'expliquait par une erreur de management. Les recherches de Vaughan (2001) mènent l'auteur à identifier une cause organisationnelle à cet accident. Il ne s'agit pas d'un phénomène propre à la NASA, cette défaillance peut exister dans toute organisation. Durant les années antérieures à l'accident de Challenger, les ingénieurs et les managers responsables de l'analyse des risques ont constamment normalisé des anomalies techniques observées à l'issue de chaque mission. Ces anomalies qui étaient initialement perçues comme des sources de danger, étaient a posteriori jugées acceptables et non déviantes. Peu à peu à chaque nouvelle analyse des risques les ingénieurs et managers ont pris des risques de plus en plus importants. Vaughan (2001) appelle ce phénomène la « normalisation de la déviance ». Elle est causée par l'environnement politique de la NASA, son histoire, sa culture et sa structure organisationnelle.

## **1.2 Un point de vue systémique : les différentes théories**

L'analyse d'accidents tels que TMI ou Tchernobyl montrent qu'ils ne sont pas dus à une cause unique. Ils sont en fait la conséquence d'une combinaison de faits ou comportements qui aboutissent à leur occurrence. Différents modèles ont été développés pour rendre compte de la complexité des systèmes ultra-sûrs.

### *1.2.1 Normal accident*

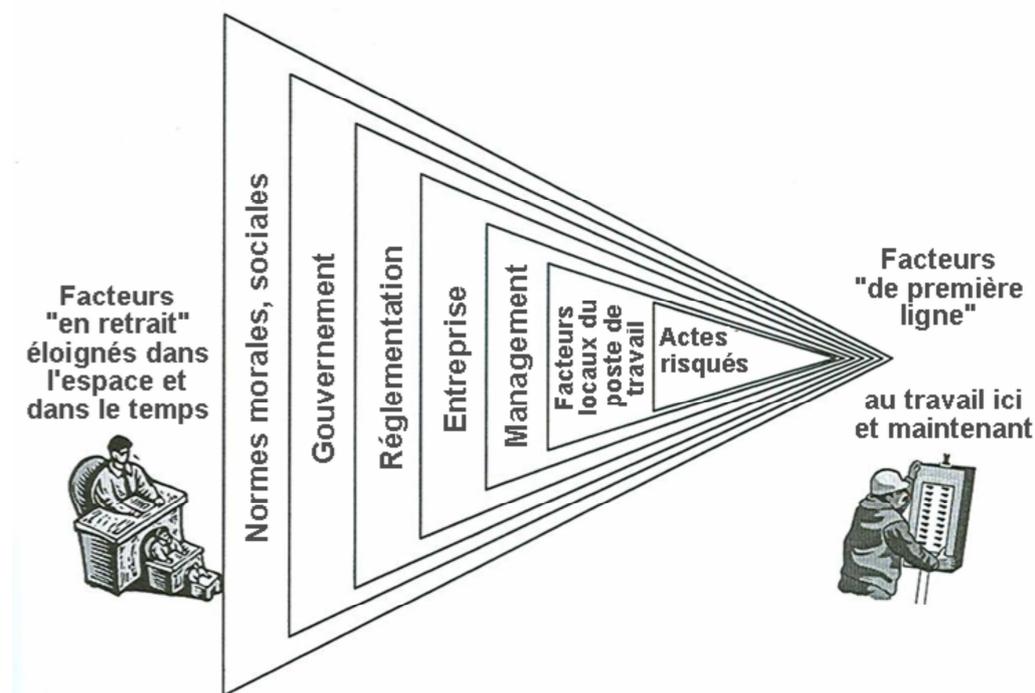
La théorie dite de « l'accident normal » est développée par Perrow (1984) à la suite de l'accident TMI. L'auteur identifie des systèmes complexes à risque (nucléaire, chimie, aviation civile) qui dans leur conception et dans leur fonctionnement rendent les accidents « normaux » ou inévitables. Cela est dû à deux caractéristiques principales (Perrow, 1999 cité dans Nascimento, 2009) :

- D'une part, ce sont des systèmes fortement couplés ce qui implique une forte interdépendance entre les éléments qui le constituent.
- D'autre part, ces systèmes se caractérisent par une complexité interactive qui rend inévitable des situations d'interactions inattendues, imprévisibles et incompréhensibles directement par des opérateurs.

Alors que les opérateurs étaient les premières « cibles » en cas d'accident, la théorie de l'accident normal invite à une réflexion plus large qui s'intéresse à l'ensemble des acteurs du système (Bourrier, 1999).

### 1.2.2 *Blunt end/Sharp end*

Ce qui est nouveau dans la vision systémique des accidents et donc de la gestion des risques est de relier les opérateurs « blunt end » (en retrait) des opérateurs « sharp end » (en première ligne), voir Figure 3.



**Figure 3 : Les liens entre les opérateurs en retrait et les opérateurs en première ligne**

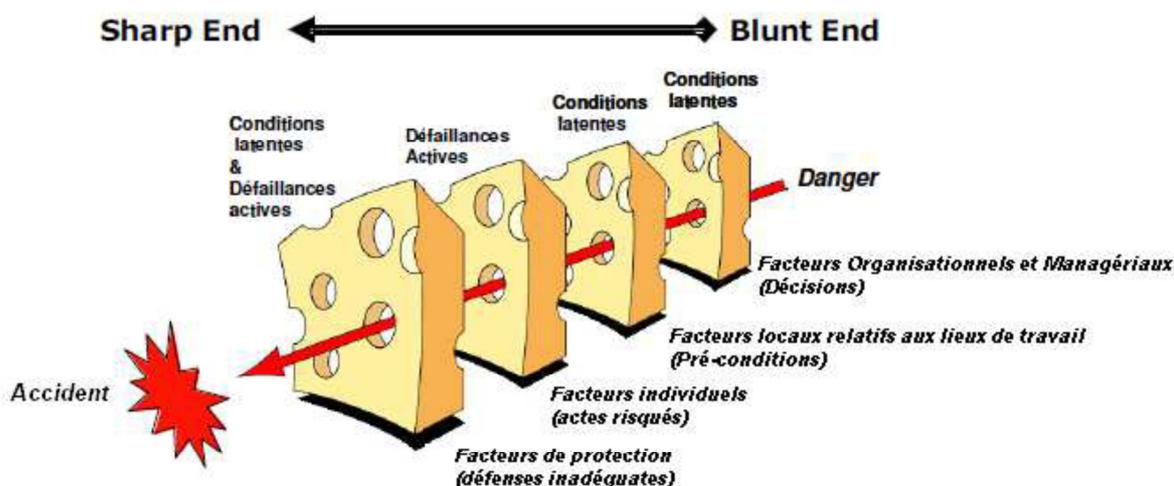
(Hollnagel, 2004)

Les opérateurs sharp end sont ceux qui interagissent directement avec le système à risque. Ils sont sur le lieu de l'accident lorsqu'il survient et doivent agir ici et maintenant. Par leurs décisions les opérateurs blunt end – situés loin dans le temps et l'espace de la situation à

risque – impactent la sécurité du système à travers les ressources et contraintes qui conditionnent l’activité des opérateurs sharp end (Hollnagel, 2004).

### 1.2.3 Défense en profondeur

Face à l’ensemble des défaillances et vulnérabilités de ces systèmes, la sécurité semble reposer sur la mise en place de « barrières » ou de « défense en profondeur » (Hollnagel, 2004).



**Figure 4 : Le modèle de Reason**

(1990, adapté par Dicioccio, 2012)

Il y a des barrières à tous les niveaux du système comme indiqué sur la Figure 4. Les défaillances situées au niveau blunt end sont des erreurs latentes et celles du niveau sharp end sont des erreurs actives (Reason, 1993).

Il existe différents types de barrières, Hollnagel (2004) en distingue quatre :

- Les barrières matérielles préviennent physiquement l’exécution d’actions dangereuses ou la propagation de conséquences indésirables.
- Les barrières fonctionnelles empêchent l’exécution d’une action non souhaitée en imposant une dépendance temporelle ou logique entre plusieurs actions. Il peut s’agir d’un cadenas physique à ouvrir à l’aide d’une clé ou d’un cadenas logique qui nécessite un mot de passe ou une identification.

- Les barrières symboliques ne sont effectives que par l'interaction avec un agent intelligent. Par exemple un panneau de limitation de vitesse sur la route ne va être effectif que si un conducteur le remarque et modère sa vitesse.
- Les barrières immatérielles ne sont pas nécessairement présentes (ni même représentées) dans les situations de travail. Elles nécessitent d'être connues des opérateurs pour être activées. Il s'agit des réglementations, des normes, des procédures ou des consignes.

### *1.2.4 Le courant des HRO*

La recherche des défaillances et vulnérabilités à l'origine des accidents est une démarche possible pour tenter de comprendre la complexité des systèmes socio techniques.

Une autre approche est de considérer que ces systèmes sociotechniques sont plus souvent en « non-accident » qu'en accident. C'est notamment le cas du courant des High Reliability Organisation (HRO) qui va s'intéresser aux performances des systèmes ultra-sûrs plutôt qu'à leurs sources d'erreurs (Rochlin, 2001). En suivant la même démarche, la robustesse organisationnelle se développe à partir de l'étude des perturbations ordinaires que subit réellement une organisation à risque (Boissières, 2009).

## **1.3 L'émergence de l' « ultra sécurité »**

Il est possible de distinguer trois catégories de systèmes en regard du niveau de sécurité auquel ils se situent (Amalberti 2002, voir Figure 1 de l'Introduction). Les systèmes dits « amateurs ou artistiques » se caractérisent par une activité et une acceptation du risque principalement individuelle. L'alpinisme de haut niveau fait partie de ce premier groupe de systèmes. Les systèmes professionnels dits « moyennement sûrs » s'organisent pour améliorer le niveau de sécurité par un ensemble de règles, mais se trouvent limités par des modélisations incomplètes du processus physique, l'absence de formation continue des opérateurs ou par l'acceptation d'une prise de risque élevée pour atteindre les objectifs de performance requis. Dans cette catégorie se trouvent la chimie, le vol sur hélicoptères, la route ou les systèmes militaires. La dernière catégorie correspond à l'ensemble des systèmes dits « ultra-sûrs ». Il s'agit de systèmes ultra-réglés avec des personnels formés de manière continue. Parmi ces

systèmes se trouvent l'industrie nucléaire, l'aviation civile ou le rail pour certains pays d'Europe (Amalberti, 2002).

Pour atteindre un tel niveau de sécurité, les systèmes ultra-sûrs ont franchi cinq étapes (Amalberti, Auroy, Berwick & Barach, 2005) :

- Refus d'accepter un arbitrage sécuritaire dans la production économique : limiter la performance
- Priorité sur les objectifs du groupe par rapport aux objectifs des acteurs : limiter l'autonomie des acteurs
- Standardisation des pratiques : sortir du modèle de « l'artisan »
- Refus d'accepter les risques résiduels du système
- Perte de visibilité du risque

La sécurisation progressive des systèmes par la mise en place de barrières leur permet d'atteindre des niveaux de sécurité jamais atteints mais ce processus les rend moins adaptables et « d'une certaine façon plus fragiles aux imprévus » (Amalberti, 2007, p. 81)

Actuellement la sécurité de ces systèmes demeure un enjeu majeur pour leur survie économique. Cependant depuis maintenant quelques dizaines d'années, le niveau de sécurité ne progresse plus. En aéronautique, le niveau de sécurité actuel a été atteint il y a plus de vingt ans (Amalberti, 2007). Il convient donc de s'interroger sur les logiques de sécurité mises en œuvre jusqu'alors et de proposer de nouvelles pistes pour permettre de diminuer encore le nombre d'accidents majeurs.

## 2 La sécurité des systèmes

Pour aborder la question de la sécurité des systèmes ultra-sûrs, nous allons nous inspirer du modèle du cadre-débordement proposé par Boissières (2009). La première logique qui peut être qualifiée d'approche normative (Falzon 2011) est de considérer que la sécurité est portée par le cadre et que les débordements sont des événements indésirables qui empêchent la maîtrise des risques. L'objectif de cette logique est de minimiser les risques (Grote, 2007). La seconde logique considère que la sécurité du système est soutenue par les débordements,

écarts à la prescription, ajustements au cadre qui permettent notamment l'adaptation des actions à la variabilité des situations rencontrées. Ces débordements sont en général portés par les opérateurs de première ligne qui doivent agir dans un temps parfois limité face à des risques importants. Falzon (2011) qualifie cette logique d'approche adaptative. L'objectif de cette logique consiste à apprendre à gérer les incertitudes (Grote, 2007).

D'un point de vue organisationnel, il est possible de défendre une approche plutôt qu'une autre, cependant, ce qui est observé dans l'activité réelle, c'est bien la co-présence :

- d'une sécurité portée par les règles, « sécurité réglée », formelle, prescrite, contrainte et
- d'une sécurité portée par les opérateurs dite « sécurité gérée », informelle, de terrain (Daniellou, et al, 2010, Llory et Llory, 1998, Amalberti, 2007).

### **2.1 La sécurité réglée**

L'analyse des accidents majeurs et la simulation du comportement des installations permettent d'identifier des causes probables de situations accidentelles ou tout du moins à risque. La recherche des défaillances et faiblesses d'un système mène naturellement à leur suppression pour répondre à des objectifs de performance et de sécurité (Hollnagel, 2008). Il en découle la mise en place de barrières pour parer les situations potentiellement dangereuses, parmi lesquelles se trouvent un ensemble de prescriptions et procédures (barrières immatérielles voir §1.2.3) destinées aux opérateurs en première ligne (Falzon, 2011). L'objectif est de standardiser les pratiques ce qui est considéré comme nécessaire pour améliorer la sécurité (Amalberti, 2007 ; Cuvelier, 2011). Cette sécurité qui réside dans la conformité des actions au cadre défini par les prescriptions s'appelle la « sécurité réglée » (Amalberti, 2007 ; Daniellou et al., 2010 ; Nascimento, 2009 ; Dicioccio, 2012).

La mise en place de barrières passe par l'anticipation de l'ensemble des risques auquel le système sociotechnique est exposé. Par exemple, l'une des conséquences de l'accident de Three Miles Island (1979) dans le domaine du nucléaire, a été de mettre en place des études probabilistes afin de pouvoir anticiper aussi les cumuls de défaillance (Roux, Pelle & Olivier, 2010).

C'est la sécurité réglée qui prévaut dans les systèmes sociotechniques ultra-sûrs. Elle s'accompagne d'une procéduralisation importante de l'activité (Largier et Lot, 2010). Dans le domaine aéronautique, Jouanneaux (2002) parle de « prolifération réglementaire ». Le nombre

croissant de procédures « tend à alourdir, complexifier et rigidifier » le travail de supervision (Llory, 1996, p206). Outre le fait que cela rend la tâche des opérateurs beaucoup plus complexe, l'accumulation de procédures tend à limiter la capacité d'adaptation du système face à une situation imprévue (Amalberti, 2007).

La fiabilité du système, la sécurité vont passer par un respect d'une norme de conduite, norme en général soutenue par les procédures et la formation. Tout écart à la norme ou à la procédure, volontaire ou non, va être perçu comme une prise de risque des opérateurs. Pour aller plus loin dans ce raisonnement, cela amène à considérer que la conduite suivant la norme sera toujours plus sûre qu'une conduite qui s'en écarte. Ce dogme de la sécurité dont parle Amalberti (2004) montre ses limites si l'on considère que toutes les situations ne peuvent être anticipées et gérées par les procédures.

Différents auteurs s'intéressant à la sécurité industrielle ou à la fiabilité des systèmes sociotechniques affirment la nécessité de remettre de la flexibilité dans le système (Amalberti, 2007 ; Dien, 1998 ; Grote, G., Weichbrodt, J., Günter, H., Zala-Mezö, E. & Künzle, B, 2009, Llory et Llory, 1998). Cette nécessité ne s'exprime pas de la même manière, ni pour les mêmes raisons :

- Premièrement l'opérateur est le seul élément du système qui peut adapter son comportement face à la variabilité des situations (Nascimento, 2009). Chercher à standardiser l'activité des opérateurs reviendrait à se priver de cette possibilité d'adaptation face à des situations non prévues ou non gérée par les procédures.
- Deuxièmement, les recherches menées en ergonomie montrent qu'il est faux de croire que l'on peut réduire l'activité de l'opérateur à un « programme » qui exécute parfaitement la procédure. Il existe toujours un écart entre « le travail prescrit » et « le travail réel », ce constat est le fondement même de l'ergonomie (Leplat & Hoc, 1983 ; Veyrac, 1998a). Ainsi placer la sécurité de ces systèmes dans l'application stricte des procédures peut constituer une prise de risque.
- Troisièmement, le plateau de sécurité atteint par les systèmes ultra-sûrs invite à une réflexion sur de nouvelles formes de sécurité pour progresser encore sur la diminution d'accidents majeurs (Llory & Dien, 2010 ; Amalberti, 2007). Les prochains progrès de la sécurité industrielle passeront par une sécurité plus flexible ou adaptative portée notamment par les opérateurs (Falzon, 2011).

- Quatrièmement l'anticipation des risques mise en œuvre au travers de la sécurité réglée, ne peut à elle seule permettre la maîtrise des risques. Il est ainsi nécessaire de développer des compétences et savoir faire qui rendent les opérateurs capables de faire face à des situations non anticipées.

### 2.2 La sécurité gérée

La sécurité gérée repose sur l'expertise humaine, la qualité des initiatives, le fonctionnement des collectifs et des organisations et sur un management attentif à la réalité des situations, favorisant les articulations entre différents types de connaissances utiles à la sécurité (Daniellou et al., 2010 ; Nascimento, 2009 ; Cuvelier, 2011). On place donc la sécurité dans les « débordements » du cadre.

Le concept de résilience est souvent rapproché de celui de sécurité gérée (Morel, 2007 ; Cuvelier, 2011). «Un système résilient doit être proactif, flexible, adaptatif et préparé » (Morel, 2007, p. 73). La résilience dans le domaine de la fiabilité est une caractéristique placée au niveau systémique. Pour certains la résilience est la sécurité gérée (Morel, 2007), pour d'autres il s'agit plutôt de l'articulation entre sécurité gérée et sécurité réglée (Cuvelier, 2011). Outre le fait que la résilience soit la « capacité d'adaptation » du système, il n'y a pas de réel consensus sur la définition de ce concept.

A un niveau individuel, lorsqu'une adaptation est nécessaire pour faire face à la situation, cela peut se traduire par des séquences d'improvisation d'opérateurs experts. « Il s'agit d'inventer dans l'instant ce qu'il convient de faire » ou plus exactement « ce que la situation impose » (Bourgy, 2012, p. 15). Dans ce cadre, l'auteur montre bien que l'improvisation n'est pas de l'amateurisme, mais qu'il s'agit plutôt de la « plus haute compétence » qui passe par la mise en jeu des connaissances et savoir faire des opérateurs.

A un niveau collectif, l'adaptation peut passer par une anticipation des ressources pour planifier un événement. Dans le travail de Cuvelier, ce sont les compétences intrinsèques des membres de l'équipe qui sont prises en compte pour choisir un type d'anesthésie (2011). Mollo montre comment les comités de concertation pluridisciplinaire permettent au médecin de décider un traitement thérapeutique dans des situations où la règle de référence ne

s'applique pas et où les solutions thérapeutiques s'appuient sur l'intégration des savoirs de différentes spécialités médicales (2004). La variabilité des situations est gérée par ces comités de concertation pluridisciplinaires. Le collectif peut s'organiser pour faire face à la variabilité des situations (Voir § 3.2 du Chapitre 2).

### **2.3 Quelle articulation ?**

Il serait possible de penser la sécurité réglée et la sécurité gérée comme deux extrémités d'un continuum où faire augmenter une forme de sécurité reviendrait à réduire la seconde (Llory et Llory, 1998). Si par exemple le nombre de procédures augmente, cela peut limiter l'autonomie des opérateurs et les contraindre davantage dans leur activité. Une telle action tendrait à réduire les possibilités de sécurité gérée. Dans ce cadre, la question serait alors la position du curseur entre les deux extrémités pour améliorer le niveau de sécurité globale du système. Cependant, des recherches, notamment une dans le domaine de la maintenance aéronautique, montrent que la sécurité réglée et la sécurité gérée ne s'expriment pas à l'exclusion l'une de l'autre, mais plutôt qu'elles coexistent dans les arbitrages des opérateurs (Dicioccio, 2012). La question de l'articulation entre sécurité réglée et sécurité gérée se pose plutôt comme un compromis à résoudre entre les deux formes de sécurité (Falzon, 2011).

Pour Hermann et Mazeau (2011), « sécurité réglée et sécurité gérée ne s'opposent pas : il n'y a pas de sécurité gérée uniquement par les règles, ni de sécurité unique gérée « autour » de règles. Des règles de sécurité existent, faites pour aider les opérateurs à mieux gérer leurs savoirs et savoir-faire de sécurité. Mais dès lors qu'il y a présence d'opérateurs, la règle est interprétée, et la sécurité est gérée plus ou moins consciemment en fonction de la situation rencontrée, des savoir-faire de l'opérateur et du collectif d'appartenance, de pratiques et en partie (seulement) des règles prescrites ».

Alors que la sécurité gérée et la sécurité réglée restent au cœur des débats, comme en témoigne le colloque « Les Entretiens du Risque » en novembre 2011 intitulé « De la sécurité réglée à la sécurité gérée », une autre vision invite à considérer la sécurité comme un processus de négociation.

## 2.4 La sécurité négociée

Terssac et Mignard pointent le caractère paradoxal de la sécurité avec « d'une part, un ensemble de règles à respecter pour travailler dans une situation sans danger » et « d'autre part, un ensemble d'ajustements pour gérer les situations variées et d'invention de nouvelles règles pour compléter les premières ou les rendre utilisables » (Terssac et Mignard, 2011, p. 230). Pour les auteurs, l'atteinte d'un certain niveau de sécurité par une organisation relève d'un processus engageant opérateurs, managers, concepteurs, formateurs pour ne citer qu'eux sur la question des règles de sécurité. La règle de sécurité est ici vue comme la rencontre d'un dispositif prévu pour protéger les destinataires et une disposition des utilisateurs à la mobiliser, à se l'approprier pour travailler sans danger. Pour les auteurs, la sécurité négociée est en fait le processus de négociation des règles de sécurité telles qu'ils les définissent.

Les évolutions de la sécurité industrielle mènent au débat qui existe actuellement sur la sécurité gérée et la sécurité réglée, ou les questions de négociation des règles de sécurité. Il semble cependant que ces débats se retrouvent sur certains points, notamment sur le compromis entre :

- l'anticipation des risques qui ne peut à elle seule tout prévoir
- et le développement d'une capacité à « faire face » à la variabilité des situations

Pour avancer dans cette réflexion le chapitre suivant développe l'activité des opérateurs en situation de supervision d'un système complexe comme d'une chaufferie nucléaire. Il sera alors possible de rapprocher les concepts développés sur la sécurité industrielle à la situation de conduite et s'interroger sur « l'agir en sécurité ».

# Chapitre 2 : La supervision de processus

---

Le travail des opérateurs qui consiste, entre autres, à superviser l'installation, manipuler une vanne, réparer les systèmes défectueux, transmettre les informations nécessaires au suivi de l'exploitation, est aussi agir en sécurité (Terressac & Mignard, 2011). Le présent chapitre s'intéresse à la nature des interactions homme-système d'une installation à risque. Il s'agit de comprendre les particularités d'un tel système, de détailler le travail des opérateurs et d'explicitier les ressources dont ils disposent.

## 1 Caractéristiques du système

L'objectif de cette partie est de caractériser la situation de conduite d'une chaufferie nucléaire. Il s'agit d'une situation de contrôle de processus comparable à la conduite de hauts fourneaux, au pilotage d'un avion, au contrôle aérien ou encore à la supervision d'une anesthésie. Avant tout, ces systèmes dits ultra-sûrs sont des systèmes à risque. Ils se caractérisent aussi par un dispositif complexe, un environnement dynamique et un contrôle « indirect ».

### 1.1 Un dispositif complexe

La notion de complexité est souvent utilisée pour qualifier le contrôle de processus en situation dynamique et peut se référer au système, à la situation ou encore à la tâche. Perrow (1984) définit les systèmes complexes comme ceux dont une petite défaillance isolée peut avoir des conséquences inattendues pour les opérateurs. Il ajoute à cette notion de complexité la notion de couplage entre les sous-parties d'un système. La force du couplage indique l'importance de l'interdépendance des paramètres entre eux. Pour de nombreux auteurs, un système complexe se caractérise généralement par deux traits : le nombre d'éléments qui le compose et le nombre et la nature des relations entre ces éléments (Amalberti, 1996 ; Wickens & Holland, 1999).

Pour Bainbridge (2002) la complexité du système se traduit par l'incapacité qu'a l'opérateur à anticiper toutes les évolutions possibles du système. Les systèmes complexes sont marqués par l'incertitude et le risque (Hoc, 1996, Amalberti, 1996).

### 1.2 Un environnement dynamique

La production d'énergie par la réaction nucléaire est un processus continu : la majorité des variables physique évoluent de façon permanente et continue. L'opérateur en charge de sa supervision se trouve confronté à une situation dynamique. Pour superviser le système, il doit régulièrement actualiser la représentation qu'il se fait de l'état du système. L'évolution des paramètres n'est pas uniquement liée aux actions effectuées. De ce fait une « non-action » et une action se ressemblent car elles sont le fruit d'une décision. Si l'opérateur effectue une action inverse, cela ne ramène pas nécessairement le système à une situation antérieure. L'aspect dynamique de la situation impose deux contraintes notables :

- Une contrainte d'irréversibilité (Leplat, 1996), l'opérateur est en permanence en situation de choix.
- Une contrainte de temps, des actions retardées peuvent entraîner des dérives non souhaitées sur le système.

Face aux caractéristiques des environnements dynamiques, les opérateurs disposent de deux stratégies de réponse : la stratégie réactive et la stratégie anticipative (Cellier, 1996). La première consiste à répondre aux événements au fur et à mesure de leur occurrence. La seconde correspond à une anticipation des événements. « Dans ce cas l'opérateur n'attend pas l'apparition d'un événement pour réagir, mais il anticipe cette apparition et peut donc agir préalablement à la constatation de *visu* » (Cellier, 1996, p. 34). Hoc montre que l'opérateur est susceptible de beaucoup mieux fonctionner avec une stratégie anticipative qu'avec une stratégie réactive (Hoc, 1996). En effet cette stratégie lorsqu'elle est possible permet à l'opérateur d'éviter que le contrôle de la situation ne lui échappe (Valot, 1996).

Une caractéristique des environnements dynamiques est le délai de latence du processus (Cellier, 1996). Selon les processus considérés, les délais de réponses sont de l'ordre de quelques secondes (pilotage d'un avion de chasse), de quelques minutes (laminoir) ou de plusieurs dizaines de minute à plusieurs semaines (dans la conduite de haut fourneau). Selon

le délai de latence, les implications pour les opérateurs sont différentes : exposés à un délai court, ils peuvent être limités dans l'étude des options possibles, face à un délai long, la conséquence de leurs actions est difficilement observable.

Enfin il est possible de se trouver face à un processus où coexistent des dynamiques différentes (Cellier, 1996). C'est le cas des installations nucléaires où les actions de transferts de volumes d'eau peuvent être très rapides et avoir des effets presque immédiats, par contre l'évolution du paramètre de température peut s'inscrire dans des temporalités beaucoup plus longues. La nécessaire articulation entre les différentes temporalités du processus rend la tâche de l'opérateur plus complexe.

### 1.3 Un contrôle indirect

La situation de supervision d'une chaufferie nucléaire est une situation de travail « médiée ». Les opérateurs n'agissent pas directement sur l'objet, ils passent par le biais d'une interface homme-machine (IHM) pour obtenir des informations et agir sur le système.

Les évolutions technologiques et l'automatisation ont considérablement modifié le travail des opérateurs de supervision (Woods, Johannesen, Cook et Sarter, 1994). A l'origine les actions sont effectuées directement sur des commandes manuelles « en local ». L'apparition des régulations automatiques et la centralisation des informations et moyens de contrôle dans un lieu unique ont pour conséquences d'éloigner l'opérateur du processus (Terssac, 1992).

Ainsi, l'opérateur n'effectue qu'un contrôle partiel du système avec des moyens d'actions indirects. Il ne dispose que d'une partie des variables pour contrôler le système. Le fait que l'information sur le système soit centralisée en salle de commande enlève des informations sur les caractéristiques physiques de système (une odeur de chaud par exemple). Ensuite, l'arrivée d'ordinateurs dans la salle de contrôle a encore modifié le travail des opérateurs. Les interfaces sont passées de systèmes analogiques disposés sur un pupitre à un ou plusieurs écrans d'ordinateur affichant les variables du processus et des messages de dysfonctionnement. L'impact de ces changements a été étudié (Vicente, Roth et Mumaw, 2001). Parmi les effets positifs des nouvelles salles de contrôle, les auteurs trouvent une meilleure conception de l'interface, moins de fausses alarmes et une aide dans la « catégorisation » des messages. Un effet peut rendre la conduite plus difficile, il s'agit de

l'effet « keyhole<sup>3</sup> ». L'affichage sur écran des paramètres du système est structuré en « vues ». Pour accéder à certains paramètres, l'opérateur doit parcourir les différentes vues. C'est comme s'il observait un pupitre d'ancienne génération à travers le trou d'une serrure. Cela peut rendre la construction d'une vision globale de l'installation plus difficile.

Que ce soit dans des salles de contrôle avec ou sans ordinateur, la centralisation de l'information et sa présentation sur une IHM n'offre qu'une vision partielle du système. Les conséquences principales d'une situation de travail indirecte impliquant une information et un contrôle partiels du système sont doubles : l'opacité du système sociotechnique (Leplat, 1996) et la nécessaire confiance dans la technologie.

Pour atteindre ses objectifs de performance du système, l'opérateur est amené à coopérer avec le système. Dans un souci de fiabilité, les concepteurs secondent les opérateurs par l'automation. Nous devons alors considérer le « Joint cognitive system », qui est l'association des agents humains et artificiels (Hollnagel & Woods, 2005). L'opérateur n'est donc pas le seul acteur, certaines actions sont effectuées en parallèle par les automatismes.

De nombreuses recherches ont été consacrées aux difficultés dans le couplage homme-automation. Hoc (2004) relève quatre différents types de difficultés :

- *Perte d'expertise* : La perte d'expertise humaine est la conséquence de la conception de machines autonomes. Bainbridge (1983) évoque les « ironies de l'automation » qui est conçue pour assister les opérateurs et réduit en même temps les occasions de maintien des habiletés. Le principal problème est la perte des conditions permettant aux opérateurs humains d'exercer leurs responsabilités sur l'ensemble du système homme-machine. Quand les opérateurs reviennent au mode de contrôle manuel, ils ont tendance à présenter une performance réduite (Hoc, 2004).
- *Contentement* : L'opérateur se contente de la solution apportée par la machine, même quand il est suffisamment expérimenté et connaît les limitations de la machine (Hoc, 2004).
- *Confiance dans la machine et confiance en soi* : Il s'agit de situations dans lesquelles les opérateurs ont le choix entre un mode de contrôle manuel et un mode de contrôle automatique. Même si la machine donne des solutions peu satisfaisantes, le contrôle

---

<sup>3</sup> Trou de serrure

lui est laissé quand la confiance en soi est inférieure à celle qu'on attribue à la machine (Hoc, 2004).

- *Perte d'adaptabilité* : Une machine ne pourra jamais atteindre la richesse des habiletés adaptatives humaines. L'automation est accusée de réduire l'adaptabilité du système humain-machine notamment à cause du manque de rétroaction apportée à l'opérateur quand la machine réalise une tâche. Placer l'opérateur en quelque sorte « hors de la boucle » le contraint parfois à agir sans être bien au fait de l'état du système. Les opérateurs sont contraints d'adopter des stratégies réactives plutôt que des stratégies anticipatives assurant une adaptation à long terme (Hoc, 2004).

## **2 Activité cognitive des opérateurs en situation dynamique**

L'activité cognitive de supervision de processus comporte : de la surveillance, de la détection, du diagnostic, de la prise de décision, de l'action (Rasmussen, 1986). Cette activité repose sur des opérations cognitives qui opèrent à différents niveaux d'abstraction (Rasmussen, 1986) :

- Le niveau d'abstraction basé des habiletés (Skill-Based Behavior) correspond au traitement d'information de plus bas niveau. A ce niveau, le traitement de l'information est automatique et largement intégré par les opérateurs. Dans cette catégorie d'activités on retrouve les travaux routiniers à faible coût attentionnel.
- Le niveau d'abstraction basé sur les règles (Rule-Based Behavior) représente un niveau intermédiaire dans la hiérarchie de traitement de l'information. Pour l'opérateur, il s'agit ici d'appliquer certaines règles, dont il dispose, afin de répondre efficacement à une situation qui lui est familière. Ce niveau de comportement est fréquent dans la gestion des situations délicates ou incidentelles réclamant un niveau de compréhension plus élevé que les activités routinières. Rasmussen avertit lui-même que la limite entre les comportements basés sur des habiletés et ceux basés sur des règles est floue.
- Le niveau d'abstraction basé sur les connaissances (Knowledge-Based Behavior) est le plus coûteux en ressources cognitives. A ce niveau, l'opérateur s'appuie sur l'ensemble de ses connaissances pour construire une réponse pas à pas à une situation.

Alors qu'à l'origine les mécanismes cognitifs sont décrits comme des processus séquentiels où se succèdent les étapes de prise d'information, détection d'un problème, compréhension, prise de décision et action, des études plus récentes montrent le parallélisme de tous ces mécanismes (Amalberti, 1996 ; Hoc et Amalberti, 1994 ; Chauvin, 2003).

Bainbridge (2002) affirme que la représentation « en série » est inadéquate pour décrire les comportements humains car les opérateurs sont plus dans l'anticipation d'un état futur maîtrisé que dans la gestion d'un état présent dégradé. Il s'agit pour l'opérateur d'évaluer l'écart entre la situation effective et la situation attendue qui émane bien d'une planification, de la définition d'objectifs et d'une représentation de l'état du système. Cette représentation mentale est logiquement antérieure à la détection d'un écart.

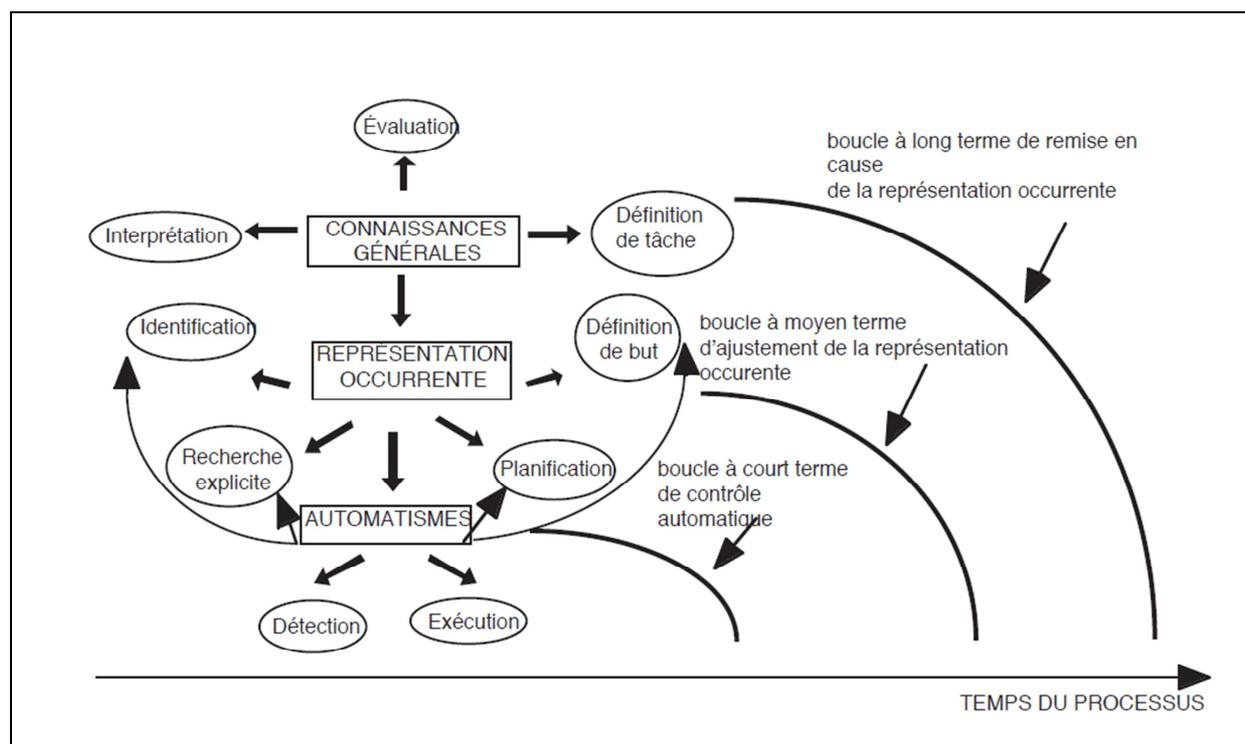
Ainsi au cœur des processus cognitifs engagés dans la supervision de système réside la représentation de la situation (Anceaux et Chauvin, 2010). En situation normale comme en situation dégradée, les opérateurs de centrale nucléaire s'investissent pour construire une représentation précise de la situation. En effet, la difficulté de la supervision en situation normale n'est pas tant de repérer des évolutions anormales de paramètres dans un environnement « calme », mais plutôt d'identifier les paramètres pertinents dans un environnement en perpétuel mouvement (Mumaw, Roth, Vicente & Burns, 2000).

La notion de représentation n'est pas sans lien avec le concept de « conscience de la situation » (« situation awareness ») développé dans le domaine aéronautique (Chalandon, 2003). La conscience de la situation correspond à « knowing what is going on »<sup>4</sup>. Pour Endsley il s'agit de « la perception des éléments de l'environnement dans un volume spatio-temporel, de la compréhension de leur sens et de la projection de leur statut dans un futur proche » (Endsley, 1995, p36, notre traduction).

---

<sup>4</sup> Savoir ce qui se passe (notre traduction)

## 2.1 Résolution de problème : Diagnostic et prise de décision



**Figure 5 : Modèle de résolution de problème en situation dynamique**

(Hoc et Amalberti, 2003)

Dans le modèle présenté en Figure 5, Hoc et Amalberti placent la représentation au centre de l'activité de résolution de problème en situation dynamique. Elle est comme un « chef d'orchestre » du recours aux différents modules d'activités cognitives de résolution de problème. Les trois boucles de régulation ont pour déclencheur l'écart entre la représentation occurrente et la situation réelle. L'objectif est alors de rectifier la représentation occurrente pour la rendre cohérente avec l'évolution de la situation en cours (Hoc, 1996).

Le diagnostic permet de réduire les incertitudes sur une situation et aide l'opérateur dans sa prise de décision. Il s'agit d'une compréhension, et donc de la création d'une représentation, finalisée et motivée par l'action.

Rasmussen (1986) propose une taxonomie des stratégies de diagnostic élaborée sur des observations recueillies dans le dépannage électronique. Il s'agit de la compréhension d'une situation anormale à laquelle il faut apporter une solution. Les opérateurs sont en recherche d'informations pertinentes pour construire une représentation juste. L'auteur distingue d'une part la recherche topographique et d'autre part la recherche symptomatique.

(i) *La recherche topographique* nécessite la connaissance du système en situation normale de fonctionnement. Cela constitue la référence à laquelle va être comparée l'état actuel du système pour trouver l'endroit de la panne. L'opérateur fait une décomposition topographique du système. Pour chaque sous-système il se pose la question de son fonctionnement (normal ou anormal) en comparaison avec la référence.

(ii) *La recherche symptomatique* s'appuie sur les connaissances du fonctionnement anormal du système à savoir sur la connaissance des relations entre les symptômes et les causes. Rasmussen identifie trois formes de recherche symptomatique :

- La reconnaissance de configurations est la reconnaissance d'une situation familière à laquelle sont associés un diagnostic et une décision d'action.
- La recherche dans une table de décision revient à rechercher dans une table d'états modèles du système celui qui se rapproche le plus de la situation considérée.
- La génération d'hypothèses tests est utilisée dans le cas de situations nouvelles, pour des opérateurs novices, ou de situations atypiques pour des opérateurs experts. Il s'agit alors de formuler une hypothèse sur l'état du système et de mettre en place des tests pour la vérifier.

A ces stratégies de diagnostic s'ajoute la composante probabiliste (Hoc, 1996). Les incidents les plus fréquents seront mieux identifiés.

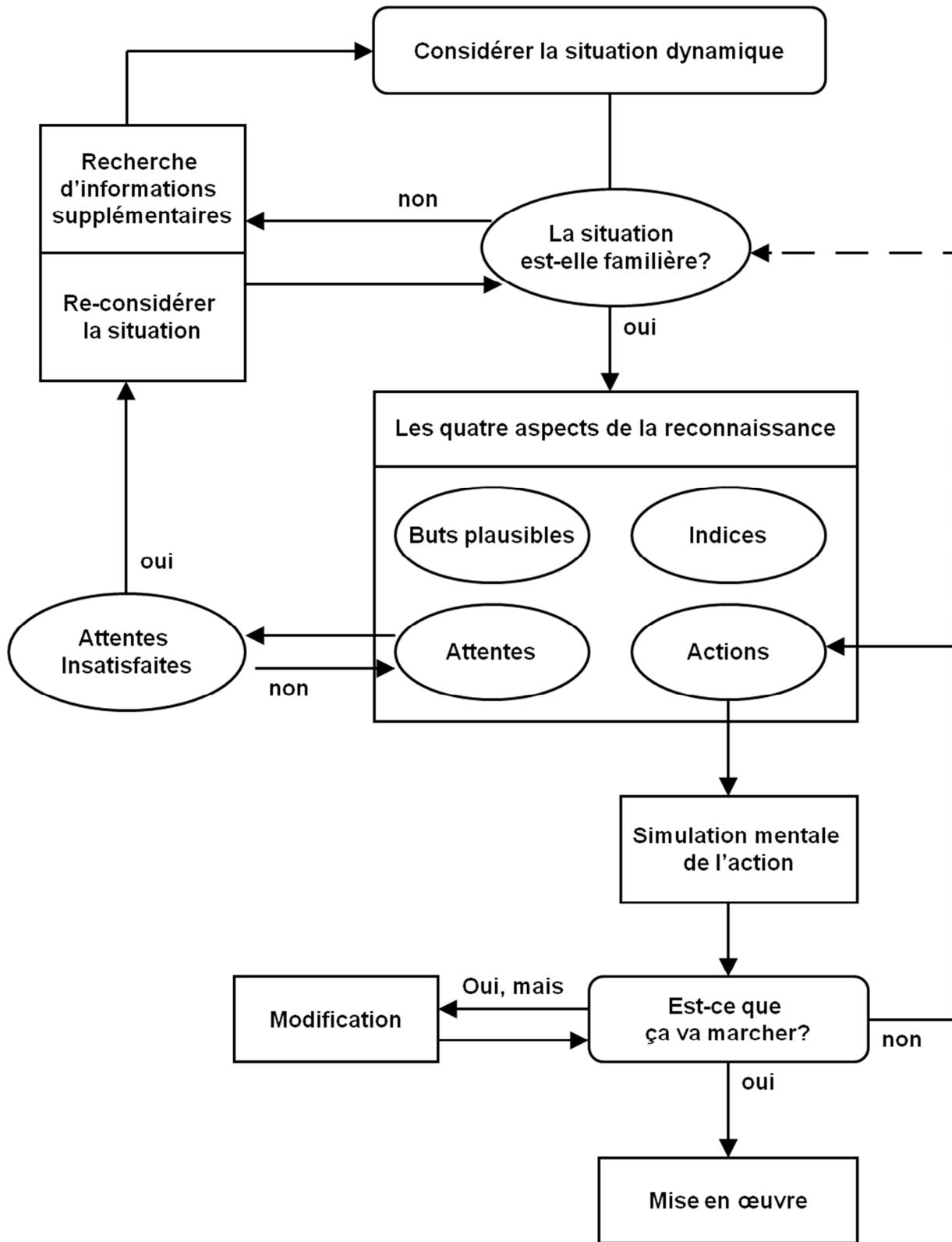
Les catégories de diagnostic proposées par Rasmussen (1986) correspondent à des situations de résolution de problème en environnement statique. En situation dynamique, le diagnostic est une activité de compréhension de la situation pertinente à une décision d'action. Il est en ce sens indissociable de la prise de décision. Le diagnostic en situation dynamique est mené pendant l'évolution permanente des variables du processus. Il en découle trois caractéristiques principales (Hoc, 1996) :

- La décision est prise sur la base d'une représentation de l'histoire du processus et de son état actuel.
- Le diagnostic qui a mené à la décision est incomplet et doit être poursuivi ultérieurement.
- Le diagnostic commence à se dérouler dans une situation quasi normale, sur la base de petites dérives qui peuvent se décliner en incidents graves.

Le caractère dynamique de la situation pèse sur le temps dont dispose l'opérateur pour mener son diagnostic. Il y a un difficile compromis à trouver entre un diagnostic effectué trop tôt basé sur une représentation pas assez étayée par les faits et une décision prise trop tard dont l'action ne permet plus de maîtriser le processus.

Dans un contexte de supervision de processus dynamique, le diagnostic (ou la compréhension de la situation) devient indissociable de la prise de décision et de l'action. D'ailleurs Amalberti souligne que « l'action permet de comprendre tout autant que la compréhension permet d'agir » (1996, p. 137). Ainsi diagnostic et prise de décision s'alimentent continuellement.

L'étude de la prise de décision en milieu « naturel » donne naissance au courant de la Naturalistic Decision Making (NDM) dans les années 1990. Il y a une volonté de sortir des recherches expérimentales pour comprendre la cognition humaine en situation naturelle (Anceaux & Chauvin, 2010 ; Norros, 2004). Le premier élément à considérer dans la NDM est que la prise de décision n'est pas un choix entre plusieurs options clairement identifiées. Il s'agit plutôt pour les opérateurs de trouver une option satisfaisante qui « marche » au lieu de chercher la meilleure option possible par une résolution de problème (Klein, 2008). Le modèle de « Recognition Primed Decision » (RPD) décrit comment l'expérience est utilisée pour la reconnaissance de configurations de situations. Une configuration de situation comprend les indices pertinents, des attentes, des buts plausibles et des types de réactions adaptés à la situation (voir Figure 6). Dans ce modèle il n'est pas uniquement question de reconnaissance de configuration. L'opérateur envisage une série d'actions, pour répondre à la situation, qu'il peut être amené à adapter voire à compléter par d'autres actions.



**Figure 6 : Modèle de RPD**

(Klein et Klinger, 1991, notre traduction)

## 2.2 Arbitrages

L'activité de supervision place les opérateurs face à différents compromis ou arbitrages qui témoignent du caractère complexe des situations qu'ils rencontrent.

### 2.2.1 *Le « compromis cognitif »*

Amalberti (1996) souligne que, dans des contextes de pression temporelle et de risque, l'opérateur doit faire des choix entre la compréhension du système, la surveillance des paramètres, l'exécution des actions, l'interprétation ou encore la planification, ceci afin de gérer sa propre charge cognitive. La volonté de comprendre, d'être certain de son diagnostic, peut être contre-productive et risquée en elle-même. L'opérateur est donc tenu d'accepter le risque d'« un niveau de compréhension incomplet, a priori suffisant pour le niveau de performance à atteindre, mais avec un certain regret de ne pas mieux comprendre la situation » (p. 43). C'est ce que l'auteur nomme le compromis cognitif.

### 2.2.2 *ETTO (Efficiency-Thoroughness Trade-Off)*

Hollnagel (2009) propose de considérer un compromis présent dans chaque activité humaine : le compromis entre l'efficacité et la conformité.

L'efficacité est l'atteinte d'un objectif en maintenant le niveau d'effort le plus bas possible. La conformité consiste à s'assurer pour chaque action entreprise que les conditions nécessaires et suffisantes sont réunies et que l'accomplissement de l'action n'engendre pas d'effets indésirables, on peut rapprocher ce concept du principe de précaution.

Il faut noter qu'aucune action selon Hollnagel (2009) ne peut se passer totalement d'efficacité ou de conformité. Il est donc toujours question d'un arbitrage entre les deux.

L'efficacité est nécessaire pour atteindre les objectifs fixés dans le temps imparti. La conformité est nécessaire pour faire baisser le nombre d'incidents et d'accidents et ce faisant maintenir l'efficacité.

Pour l'auteur, le compromis efficacité/conformité permet d'expliquer les succès comme les échecs.

### 2.2.3 *Compromis entre la compréhension et l'action*

En situation incertaine ou inhabituelle, les opérateurs peuvent être amenés à faire un compromis entre l'action et la compréhension (Plat, 2001 ; Cuvelier, Falzon, Granry & Moll, 2012 ; Masson *et al.*, 2012). Ce compromis se rapproche du compromis cognitif sans être exactement identique. En effet le compromis compréhension/action ne porte pas directement sur les ressources cognitives engagées par l'opérateur dans le diagnostic et la prise de décision. Il s'agit plutôt de répondre à la question « compte tenu du degré de compréhension limité de la situation est-il préférable d'attendre pour en savoir davantage ou d'agir pour stabiliser la situation ? ».

L'étude de l'activité cognitive des opérateurs en supervision de système sociotechnique complexe révèle les exigences de leurs tâches. Il convient de s'interroger sur les ressources qui soutiennent leur action.

## **3 Les ressources de l'activité**

« Toute activité requiert la mise en œuvre de ressources » (Leplat, 1997, p. 44). D'un côté se trouvent les ressources existantes au moment de l'action ; celles présentes dans l'environnement (physique, technologique et social) et les ressources internes au sujet, (compétences, savoir faire). Par ailleurs, l'opérateur peut se créer des ressources pour répondre spécifiquement à la particularité d'une situation (Béguin & Clot, 2004). L'ensemble de ces ressources sont nécessaires pour faire le travail et agir en sécurité. Elles peuvent en outre permettre le développement des compétences et de l'autonomie des opérateurs. Parmi les ressources mobilisées dans les installations nucléaires se trouvent les procédures, le travail collectif et la formation (Dien, 1998).

### **3.1 Les procédures et leur usage**

Les procédures sont en général produites par un groupe de personnes à destination d'un autre groupe de personnes. La façon d'appliquer les procédures et plus globalement la façon de faire le travail est un espace d'expression des compétences et de l'autonomie des

« exécutants » (Terressac, 1992). « Dans une industrie à hauts risques, plus le système dérive, plus les exécutants cherchent à utiliser les procédures définies : leur latitude d'intervention est bien dans le choix de la procédure et dans son adaptation au contexte existant mais pas dans l'invention d'une procédure dont l'effet n'est pas garanti » (Terressac, 1992, p. 148). Ainsi l'application des procédures consiste à accorder un ensemble de règles formelles aux situations rencontrées par les opérateurs.

### 3.1.1 *Caractéristiques des procédures*

Le but de ce paragraphe est d'introduire le terme « procédure ». Pour Montmollin, les procédures sont des « instructions, du domaine de la tâche prescrite, concernant l'utilisation d'un dispositif technique, d'une machine, d'un processus ». (1995, p. 200). Les procédures se caractérisent par une fonction d'aide à l'activité et une fonction de prescription.

La première fonction des procédures est de constituer une ressource pour l'action. Les opérateurs supervisant des installations nucléaires ont conscience d'être confrontés à des situations complexes et ils éprouvent le besoin d'avoir des procédures pour être soutenu dans leur diagnostic des situations et les aider à maintenir l'installation sous contrôle (Dien, 1998). Elles permettent de tracer l'apprentissage de l'organisation à propos de ses dangers opérationnels (Reason, Parker & Lawton, 1998)

Les procédures comportent aussi une fonction prescriptive (Mollo, 2004 ; Veyrac, 1998b). Par ce biais, l'organisation veut « s'assurer que l'opérateur va bien mettre en œuvre les actions requises par la situation » (Jeffroy *et al.*, 1998, p. 48)

Ces deux fonctions sont parfois difficiles à concilier dans un même document et peuvent de temps à autre donner lieu à des interprétations différentes des actions à mener pour les opérateurs.

#### Typologie des procédures

Les procédures peuvent être catégorisées en fonction du niveau de guidage, ce qui peut être considéré comme le degré d'autonomie conféré aux opérateurs qui les utilisent (Hale & Swuste, 1998 ; Grote, *et al.* 2009 ; Hale & Borys, 2013a) :

- Objectifs : les procédures déterminent les objectifs de performance sans définir la façon d'atteindre les objectifs.
- Processus : les procédures explicitent le processus à suivre pour atteindre les objectifs de la tâche.
- Action : les procédures spécifient sous forme de « si... alors... » un mode opératoire précis.

### 3.1.2 *L'implicite de la prescription*

Les procédures ne peuvent être exhaustives. Mollo évoque « l'incomplétude structurelle des règles » (2004, p. 16). Il existe nécessairement une part d'implicite dans les procédures.

Premièrement, les procédures ne peuvent décrire dans le détail les actions à entreprendre. « La démarche de procéduralisation s'appuie explicitement ou implicitement sur une modélisation, c'est-à-dire une schématisation, un ensemble de simplification » (Llory & Llory, 1998, p. 20). Deuxièmement, les procédures ne peuvent anticiper l'intégralité des situations auxquelles les opérateurs vont être confrontés.

Dans les « blancs » laissés par les procédures du fait de leur impossible exhaustivité réside une part d'implicite (Wibaux, 1992). Chabaud définit la tâche implicitement prescrite par l'organisation comme la tâche attendue (Chabaud, 1990).

C'est dans l'implicite de la prescription et donc dans l'application des procédures que s'expriment la compétence et l'expertise des opérateurs. L'application des procédures est une activité à part entière comme le soulignent Mayen et Savoyant (1999) :

- Elle ne peut pas être vue comme une « simple réponse préconstruite à un stimulus univoque », l'application des procédures comporte toujours un choix (Mayen & Savoyant, 1999, p. 78).
- Elle doit avoir un caractère de nécessité pour l'individu qui ne se réduit pas à une obéissance passive et aveugle (Mollo, 2004).

La manière d'appliquer les procédures n'est pas univoque. Dien montre en effet que les rédacteurs de procédures et les opérateurs ne portent pas le même point de vue sur la façon d'appliquer les procédures (1998). Les premiers voient dans les procédures un moyen de contrôler l'activité de l'opérateur. Dans l'analyse de situations accidentelles, l'auteur montre

que les opérateurs ne peuvent pas toujours appliquer les procédures à la lettre. Cela est dû notamment à la variabilité des situations mais aussi à la nature statique des procédures qui doivent être appliquées dans un environnement dynamique

### *3.1.3 Conditions d'application des procédures*

Pour qu'une procédure soit appliquée, il faut qu'elle soit accessible et acceptée (Leplat, 1998a).

#### Accessibilité

La procédure pour être utilisée doit être accessible à deux niveaux :

- Au niveau du support, il faut que la procédure soit maniable et facilement accessible dans les situations de travail des opérateurs. La prise en compte des conditions d'utilisation est primordiale pour répondre à ce critère. « Personne ne s'étonnera qu'une consigne sur support papier ne soit pas utilisée en extérieur, de nuit sans éclairage. » (Veyrac, 1998b, p. 16).
- Au niveau du contenu, la procédure doit être adaptée aux opérateurs pour qu'ils puissent remplir les objectifs de la tâche.

#### Acceptabilité

Pour qu'un opérateur utilise une procédure, il faut qu'il en ressente l'intérêt, qu'il comprenne la justification et qu'il la considère comme partie intégrante de son travail. En d'autres termes, il faut qu'il l'accepte (Leplat, 1998b). La participation des opérateurs à la conception des procédures peut contribuer à faciliter l'acceptabilité de ces dernières (Reuzeau, 2001).

Lorsque la procédure n'est pas accessible ou qu'elle n'est pas acceptée par les utilisateurs, il arrive qu'elle ne soit pas appliquée.

#### Les cas de non application des procédures

L'étude des situations de travail réel révèle que des écarts à la procédure ou plus globalement à la prescription sont observés de façon suffisamment fréquente de sorte qu'on se doit de les prendre en compte (Dien, 1998). Les écarts à la procédure sont des symptômes d'inadaptation de la procédure. Leplat rappelle que toute procédure possède un champ de validité (1998b). A

travers les différents types de violations (voir §1.1.2 du Chapitre 1), on constate que toute violation n'est pas en soi répréhensible.

Les écarts à la procédure ne sont peut-être pas un fonctionnement imposé des situations de travail. C'est du moins ce que des recherches exposent par le biais de modes opératoires différents. Pour les uns c'est par la réduction des marges de manœuvre des opérateurs alors que pour les autres c'est par un processus d'actualisation des procédures pour faire face à toutes les situations.

Venero et Montanari montrent comment les technologies dites « persuasives » visent à encourager et promouvoir des comportements sûrs (2010). Dans leurs travaux, ces technologies ont pour but de forcer l'opérateur à une stricte application d'une procédure sans lui donner l'opportunité d'aménager l'exécution de la tâche. Ici l'opérateur est uniquement considéré comme une source d'erreur. On peut légitimement douter que ce type de technologie permette aussi l'adaptation face à la variabilité des situations.

Dans ses travaux, Bourrier montre des situations de maintenance de centrale nucléaire où les opérateurs travaillent en permanence en conformité avec les procédures (1998). Ceci est rendu possible par une évolution et une actualisation des procédures en fonction des imprévus rencontrés.

### *3.1.4 Responsabilité et application des procédures*

Les procédures peuvent aussi avoir une fonction de protection juridique pour les concepteurs de systèmes à risques (Cellier, 2005). Cette fonction amène à considérer la question de la responsabilité en cas d'accident.

Comme le souligne Dien, la question du suivi ou non de la procédure doit s'étudier en prenant en compte la dimension « succès/échec » de l'action. L'intégralité des actions peut s'inscrire dans l'un de ces quatre domaines (Dien, 2011) :

- Suivi de la procédure et succès de l'action : la majorité des actions sont dans ce domaine
- Non respect de la procédure et échec de l'action : dans ces situations l'arbitrage est aisé, ceux qui n'ont pas suivi la procédure sont en tort.

- Suivi de la procédure et échec de l'action (exemple : coquille dans une procédure qui entraîne un événement indésirable)
- Non respect de la procédure et succès de l'action (exemple : arrêt rapide d'un système de sécurité démarré automatiquement sur un signal intempestif)

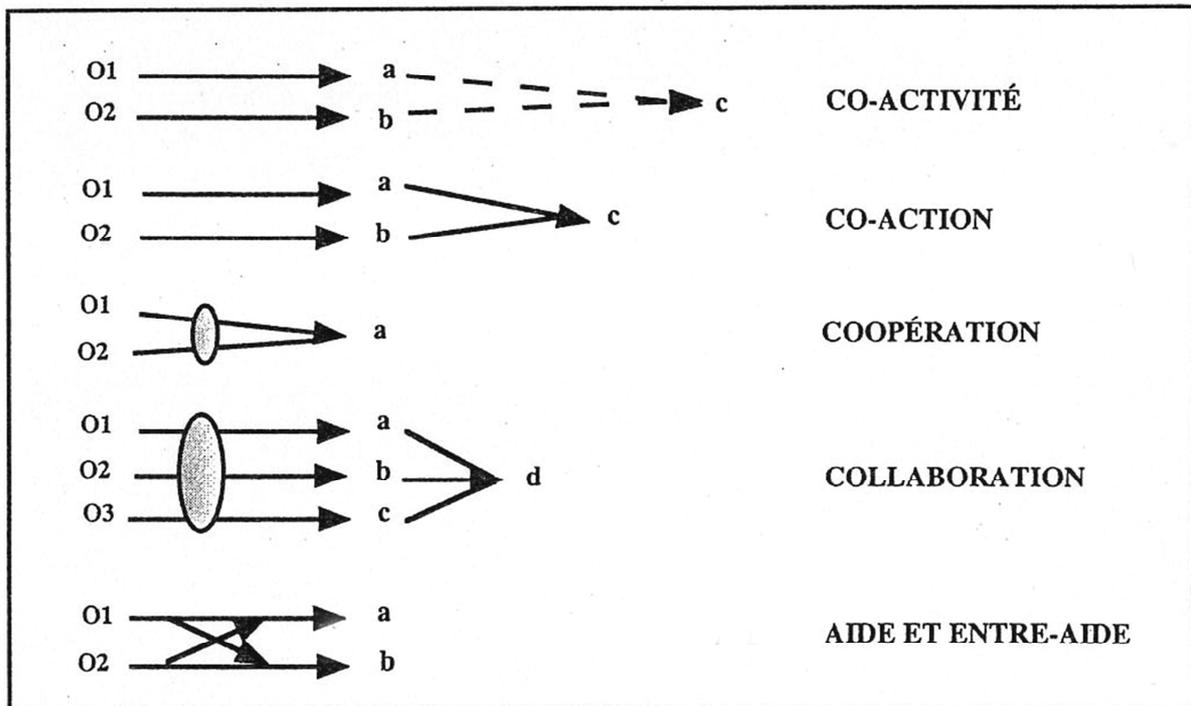
Dans les deux premiers domaines d'action, l'attitude du management et le point de vue de l'organisation semble assez évidente. Pour ce qui est des deux derniers domaines, cela semble beaucoup plus compliqué, pour Dien, l'attitude du management face à ces situations ne semble « ni homogène ni cohérente » (2011, p. 100). La conséquence d'une absence de politique claire sur l'application des procédures et sur l'affectation des responsabilités en cas de défaillance peut avoir pour conséquence le refus des opérateurs d'agir en l'absence de procédures (Dien, 2011). Les ressources que sont les procédures peuvent devenir des entraves à la sécurité et à la performance du système si le management et l'organisation ne tiennent pas un discours clair quand aux responsabilités en cas d'accident.

### **3.2 Le travail collectif**

Le travail en équipe joue un rôle important dans les activités des opérateurs en charge de la supervision de chaufferies nucléaires (O'Connor, O'Dea, Flin & Belton, 2008). Il peut être considéré comme une ressource de l'activité. Le travail collectif peut se définir comme « la manière dont les opérateurs et opératrices vont plus ou moins coopérer de manière efficace et efficiente dans une situation de travail » (Caroly & Barcellini, 2013). Ce qui permet avant tout le travail collectif c'est le partage d'un but commun entre différents opérateurs (De la Garza & Weill-Fassina, 2000; Barthe & Quéinnec, 1999; Caroly, 2010).

#### *3.2.1 Caractéristiques du travail collectif*

Le travail en équipe peut se faire sous des formes très variées comme en témoigne la typologie présentée en Figure 7 (De la Garza et Weill Fassina, 2000).



**Figure 7 : Typologie des formes d'activité collective**

(De la Garza & Weill-Fassina, 2000)

- La co-activité se caractérise par l'existence de plusieurs opérateurs ou groupe d'opérateurs liés par une même entité ou par une même zone géographique qui ont des buts différents même à long terme mais qui poursuivent un objectif global commun de fonctionnement de l'entreprise.
- La co-action fait intervenir des opérateurs dont les buts à court terme sont différents mais qui doivent se coordonner dans l'atteinte d'un objectif commun à moyen terme.
- La coopération est une activité collective dans laquelle un groupe d'opérateurs travaille sur un même objet afin d'atteindre un objectif commun à court terme.
- La collaboration est aussi une activité collective où les opérateurs agissent sur le même objet avec des objectifs différents. Ils partagent cependant un but commun à moyen ou long terme.
- L'aide et l'entraide consiste selon les cas, soit « à seconder quelqu'un dans ces fonctions », soit « à exécuter une action ou une opération à sa place » (Avila-Assunção, 1998, cité par De la Garza & Weill Fassina, 2000).

Bien que cette terminologie ne serve pas de référence à l'ensemble de la communauté des ergonomes, elle permet de révéler la diversité des situations de travail collectif (Barthe & Quéinnec, 1999).

Au-delà de l'existence d'un but partagé à plus ou moins long terme, ce qui va impacter réellement l'activité des opérateurs et donc permettre de caractériser le travail collectif, ce sont les interactions entre les opérateurs et l'interdépendance de leurs actions. Hoc (2004) détermine que des individus coopèrent lorsqu'ils remplissent deux conditions minimales :

- Chacun poursuit des buts et peut entrer en interférence avec les autres sur les buts, les ressources ou les procédures.
- Chacun s'efforce de gérer les interférences pour faciliter ses propres activités, celles des autres et/ou celle de la tâche commune quand elle existe.

### 3.2.2 *Formes et conditions de la coopération*

Parmi les diverses formes de la coopération, Schmidt (1991 ; 1994) en présente notamment trois : la coopération augmentative, la coopération intégrative et la coopération « confrontative » (Hoc 2004).

- La coopération augmentative consiste à accroître les capacités physiques et mentales d'un individu pour permettre à un collectif d'atteindre un objectif qu'un opérateur seul n'aurait pu atteindre.
- La coopération intégrative vise à rassembler des agents de spécialités différentes pour doter le collectif d'un ensemble de techniques. Dans la coopération intégrative, chaque opérateur a un rôle et des tâches bien définies qui lui sont dédiées, contrairement à la coopération augmentative où les opérateurs sont interchangeables.
- La coopération confrontative est l'instauration d'un débat entre les différents acteurs de l'action sur la stratégie à mettre en œuvre.

Il est possible d'observer ces trois formes de coopération dans la supervision des installations nucléaires, mais il faut préciser que la coopération est avant tout intégrative. Les équipes sont constituées d'opérateurs en charge de différents sous-systèmes : la machine, le réacteur et l'usine électrique. Par moment la coopération peut être augmentative lorsqu'un opérateur déjà occupé à lire une procédure sollicite un autre opérateur pour gérer des communications avec les rondiers. Lorsque la situation est trop complexe, l'équipe peut être amenée à débattre du

diagnostic de la situation et des actions à entreprendre et donc coopérer de manière confrontative.

Pour atteindre les objectifs communs et aller dans le sens de la facilitation des activités de chacun, donc pour pouvoir coopérer, les opérateurs doivent se coordonner, tant au niveau de la compréhension qu'ils ont de la situation – *synchronisation cognitive* – qu'au niveau des actions à effectuer – *synchronisation opératoire* – (Falzon, 1994a ; Darses & Falzon, 1996).

La synchronisation cognitive permet aux opérateurs d'établir un contexte de connaissances mutuelles, d'élaborer un référentiel opératif commun (Terssac et Chabaud, 1990). Ce référentiel est opératif c'est-à-dire qu'il est directement rattaché à une tâche ou une action. Il se construit par la mise en commun des compétences des opérateurs et son élaboration peut être considérée comme un processus de développement de compétences. Les situations d'interaction facilitent la création du référentiel commun, elles facilitent en effet la transmission des savoir-faire par leur explicitation. Ainsi l'étude des communications qui se développent dans et autour de l'action devient un lieu privilégié pour accéder au référentiel opératif commun. Marc et Amalberti (2002) identifient au sein de collectifs des pratiques de prévention des risques à travers « une forte activité de messages d'alerte prononcés fort et destinés à prévenir le groupe et à renforcer le modèle commun de la situation » (p. 237). Les communications conditionnent la construction d'une conscience de la situation partagée. De Carvalho (2006) montre que les échanges entre opérateurs supervisant un système nucléaire permettent de définir et de maintenir une conscience de la situation collective ce qui est un pré requis pour agir en sécurité.

La synchronisation opératoire vise à assurer la coordination des tâches entre les acteurs de l'activité collective. Il s'agit d'une part de savoir comment se répartissent les tâches au sein de l'équipe et d'autre part d'effectuer les actions en tenant compte de la temporalité (Darses & Falzon, 1996).

Pour la coordination des tâches, Rasmussen décrit différentes structures organisationnelles (1991, cité dans Barthe et Quéinnec, 1999) allant d'une

- coordination dans laquelle un individu est seul responsable de la coordination des tâches de tous les autres opérateurs (« autocratic coordination »),
- jusqu'à un mode de coordination inverse où chaque opérateur coordonne localement sa tâche avec celle de ses coéquipiers (« diplomatic planning »).

### 3.2.3 *Régulations collectives*

Le travail en équipe permet aux opérateurs de s'organiser de manière dynamique pour maintenir le fonctionnement du système. Il s'agit de régulations. De la Garza identifie trois types de régulations (1998) :

- Les régulations orientées vers la production : Face à un changement d'objectif, le travail se réorganise au sein de l'équipe pour continuer à assurer la production. La réorganisation passe par une réallocation des tâches au sein de l'équipe.
- Les régulations reposant sur les compétences : Il s'agit d'une organisation de l'équipe où l'allocation des tâches ou des postes au sein de l'équipe dépend de l'expertise, de l'ancienneté, de l'âge ou de l'état fonctionnel des opérateurs.
- Les régulations liées à l'environnement de travail : dans un environnement de travail contraint, le travail collectif devient une ressource pour maintenir la performance malgré des pressions temporelles ou un espace limité.

Les régulations collectives sont le fruit des interactions entre les opérateurs et leur environnement de travail et entre les opérateurs eux-mêmes. « Personne ne décide de l'organisation et des actions à adopter, mais elles émergent des interactions entre les acteurs » (Leplat, 2000, p64).

### 3.2.4 *Le collectif de travail*

Le collectif de travail se distingue des autres formes d'organisation collective (Caroly, 2010 ; Weill-Fassina et Benchekroun, 2000). Il y a collectif de travail lorsque « plusieurs opérateurs concourent à une œuvre commune dans le respect de règles » cela implique qu'il y ait simultanément : « plusieurs travailleurs, une œuvre commune, un langage commun, des règles de métier, un respect durable de la règle par chacun » (Cru, 1995, p60).

#### *Les conditions d'élaboration du collectif de travail*

La construction du collectif de travail s'appuie sur trois conditions :

- La construction de règles de métier
- La reconnaissance des compétences

- La confiance réciproque.

Les règles de métier se distinguent des règles formelles, procédures et normes (Caroly, 2010). Elles « articulent l'organisation prescrite du travail – qu'elles complètent, voire qu'elles corrigent – et l'engagement subjectif de chacun qu'elles appellent » (Cru, 1995, p61). Les règles de métier définissent l'attitude à tenir dans certaines situations, elles permettent de soutenir l'activité de l'opérateur lorsqu'il se trouve dans une situation qui n'est pas totalement définie par les règles formelles (Daniellou et al, 2010). Le développement et l'acquisition des règles de métiers s'inscrivent dans le temps et sont contrôlés par le collectif. Elles ne sont pas « intériorisées » de la même manière par les opérateurs. En effet, grâce aux règles de métier chacun peut « cultiver sa singularité sans nuire à la réalisation du travail commun » (Caroly, 2010, p102).

La reconnaissance des compétences est à la fois horizontale et verticale. L'appartenance à un collectif de travail est directement liée à une reconnaissance des compétences entre pairs. (Cuvelier, 2011). La possibilité d'un débat entre les opérateurs et la hiérarchie sur les régulations mises en œuvre par les opérateurs est aussi le signe d'une reconnaissance des compétences (Caroly, 2010 ; Daniellou et al, 2010)

La confiance réciproque entre personnes se construit dans le temps. Elle génère un « sentiment de sécurité dans l'autre » (Caroly, 2010, p. 104) L'absence de dialogue, l'incompréhension entre les collègues sont des indicateurs de perte de confiance dans les relations (Caroly, 2010).

### Les effets du collectif de travail

Un travail collectif sans collectif de travail peut dans les contextes critiques conduire à des situations de conflit. Cela rend plus difficile la mise en place de régulations collectives (Caroly, 2010). Un travail collectif qui s'accompagne d'un collectif de travail va à l'inverse dans les situations critiques rendre possible la préservation de la santé individuelle et permettre d'enrichir encore le collectif de travail, notamment par la mise en place de régulations collectives (Caroly, 2010).

### 3.3 La formation

La gestion de la sécurité dans les systèmes à risques est rendue possible par différents facteurs (par exemple : politique de sécurité, identification des risques, procédures et règles de sécurité, prise en compte du facteur humain en conception) parmi lesquels se trouve la formation (Grote, 2012).

La formation a pour objectif de rendre un opérateur compétent c'est-à-dire « savoir exécuter, savoir comprendre et analyser » (Pastré, 2004, p. 468). Pour ce faire, la formation donne à l'opérateur des outils et moyens pour devenir compétant et par ce biais, elle tend à adapter l'homme à son métier (Falzon & Teiger, 2004). Cette démarche semble aller à contre-courant de la démarche de l'ergonome qui vise à adapter la situation de travail à l'opérateur. Cela a eu pour conséquence la mise au second plan de la problématique de la formation en tant que telle par les ergonomes (Falzon et Teiger, 2004). Cependant ergonomie et théories de la formation se retrouvent sur la thématique du développement des compétences.

#### 3.3.1 *Se former...*

Dans le cadre de la supervision de système nucléaire, la formation peut avoir pour objectifs de former les opérateurs à (Champalle et Sebaha, 2012) :

- connaître et surveiller l'installation,
- conduire l'installation,
- assurer la continuité de la production
- travailler en équipe

#### ...au fonctionnement du système

La conduite des systèmes ultra-sûrs requiert avant tout une longue formation initiale qui débute par l'apprentissage de savoirs théoriques sur le fonctionnement du système, les règles physiques régissant son comportement ou le rôle de chaque opérateur.

### ...à l'utilisation des procédures

« Appliquer une procédure est généralement considéré comme une activité qui n'exige que très peu de compétences » (Mayen & Savoyant, 1999). Pour les auteurs, dissocier l'application des procédures des compétences relève plus « d'une attribution sociale » que du constat « d'une analyse bien fondée ». En effet, l'application des procédures s'inscrit dans un double processus :

- la compréhension par la conceptualisation de l'ensemble des règles
- l'élaboration de la nécessité de les appliquer.

La formation est le lieu où s'exprime les besoins et les difficultés de mise en œuvre de ce double processus, c'est aussi le lieu où les opérateurs peuvent accéder à une conceptualisation de l'ensemble des règles et se les approprier.

Les procédures et règles de sécurité sont au centre de l'activité des opérateurs de même qu'elles sont au « centre des formations professionnelles » des systèmes complexes tels que les installations nucléaires (Bourgy, 2012, p. 36). En outre, Dien rappelle que l'apprentissage du métier d'opérateur en supervision d'installation nucléaire ne doit pas se limiter à une formation à l'utilisation des procédures (1998). Sans qu'il n'y ait de nombreux écrits sur cet aspect de la formation, il apparaît que ce soit l'un des objectifs premiers de la formation professionnelle dans les systèmes ultra-sûrs.

### ...au travail collectif

Dans le domaine du nucléaire, alors que l'expertise technique est un pré requis, il n'en demeure pas moins que les compétences dites « non-techniques » sont aujourd'hui reconnues comme jouant un rôle significatif dans la gestion des situations (Crichton & Flin, 2004).

L'importance des compétences dites « non-techniques » a premièrement été révélée par des études dans le domaine de l'aviation. L'analyse des accidents entre autres a montré que les situations de vol risqué reposaient davantage sur la défaillance de compétences « non-techniques » que sur un manque d'expertise technique ou un dysfonctionnement du système (Flin & Maran, 2004).

A la suite de ces constats, les compagnies aériennes mettent en place un module de formation appelé « *Crew Resource Management* » (CRM). Au cours de ces formations dédiées aux compétences « non-techniques », il s'agit d'améliorer la performance des opérateurs et des équipes en se focalisant sur différents points : le travail en équipe, le leadership, la conscience

de la situation, la prise de décision, les communications et les limites individuelles (O'Connor & Flin, 2003). Les CRM s'avèrent utiles et efficaces non seulement pour les équipes qui travaillent ensemble de manière quotidienne mais aussi pour les équipes et opérateurs qui doivent coopérer de manière extraordinaire lors de situations critiques (Crichton & Flin, 2004). Les auteurs évoquent le double bénéfice de formations telles que les CRM, d'une part elles permettent d'améliorer la performance au sein des équipes et donc de diminuer les situations à risques, d'autre part elles améliorent la capacité des équipes à faire face lors de situations critiques d'un point de vue de la sécurité.

Un autre type de formation s'appelle le « cross training ». Il s'agit dans ce cas pour chaque membre d'une équipe de se former aux tâches, contraintes et responsabilités des autres membres de l'équipe (Marks, Sabella, Burke & Zaccaro, 2002). Ce faisant chaque opérateur peut davantage anticiper les besoins de chacun et apporter son aide à un autre opérateur si cela s'avère nécessaire (Marks *et al.*, 2002). L'objectif de ce type d'exercice est d'améliorer la coordination et la communication au sein de l'équipe et ainsi sa performance, en contribuant à l'émergence de modèles mentaux partagés.

Les CRM et le cross-training sont des types de formation au travail collectif. Il en existe d'autres, notamment la formation à la coordination, la formation au leadership et la formation au travail en équipe à distance (Salas & Cannon-Bowers, 2001).

### ...à faire face ?

Quel type de formation permettrait aux opérateurs de développer des capacités pour « faire face » ? Autrement dit comment peut-on arriver à concilier « formalisation et flexibilité » ? (Chédotel, 2005, p127).

Une première démarche consiste à développer l'activité réflexive « dans laquelle l'opérateur se donne comme objet de travail sa propre activité de travail » (Falzon & Teiger, 1995, p10 ; Bourgy, 2012 ; Cuvelier, 2011). Il s'agit d'une « méta » activité qui se construit par une mise à distance entre l'opérateur et son activité puisque l'opérateur va analyser sa propre activité. Elle permet entre autres à l'opérateur d'acquérir une maîtrise de sa propre activité, ainsi qu'une connaissance de soi dans l'action, elle permet aussi à chaque opérateur et au collectif de mieux fonctionner en termes d'efficacité, d'efficience et de fiabilité (Falzon & Teiger,

1995). Il existe différentes méthodes d'assistance à la pratique réflexive qui peuvent s'appuyer sur des films de l'activité, parmi lesquelles figurent : l'auto-confrontation, l'allo-confrontation, la confrontation collective (Mollo & Nascimento, 2013 ; Mhamdi, 1998).

Une autre démarche consiste à favoriser « l'apprentissage par la découverte » (Cuvelier, 2011, p. 229). L'objectif est alors de former les opérateurs de façon continue à résoudre des problèmes nouveaux. « La culture d'expérimentation a pour rôle de promouvoir l'action et l'expérimentation comme moyens de compréhension et l'appréhension de l'incertitude » (Chédotel, 2005, p. 136).

La situation de simulation et plus particulièrement les débriefings peuvent constituer un point d'entrée pour développer l'activité réflexive ainsi que placer les opérateurs face à des situations imprévues, au sens, nouvelles pour eux (Béguin & Pastré, 2002).

### 3.3.2 *Caractéristiques de la situation de simulation*

Les simulateurs se sont développés dans les systèmes ultra-sûrs principalement pour des objectifs de formation. Ils sont aussi utilisés (par les ergonomes entre autres) pour étudier et tenter de mieux comprendre l'activité des opérateurs (Béguin et Weill-Fassina, 1997 ; Theureau, 1997).

Lors d'une formation sur simulateur, il y a la volonté de faire une transposition d'une situation de référence dans une situation de simulation dans le but de transformer les compétences des opérateurs (Samurçay & Rogalski, 1998). La compétence d'un professionnel est « sa capacité à s'adapter à la plus grande variété de situations possibles » (Pastré, 2011, p. 72). Au début de la formation sur simulateur, il semblait que la qualité de la fidélité technique du simulateur suffisait à assurer la qualité des compétences construites (Pastré et Rabardel, 2005). Des recherches plus récentes tentent de « privilégier la dimension d'élaboration didactique des situations sur celle d'imitation ou de reproduction du réel » (Pastré et Rabardel, 2005, p. 8). En choisissant de s'intéresser à la façon dont sont générés les apprentissages par le biais de situations de simulation, les auteurs formulent trois propositions générales :

- On apprend lorsqu'on est confronté à un problème qui oblige l'acteur à construire de nouvelles ressources

- On apprend dans l'action des habiletés, procédures, et moyens de communication mais surtout par l'activité de conceptualisation qui l'accompagne
- On apprend par l'analyse de son action

La situation de simulation donne une « place centrale » à l'activité, à la fois comme objet d'étude et comme moyen de développement (Savoyant, 2005). Dans tous les cas, on trouve une activité-cible (celle qu'on veut comprendre, celle à laquelle on veut former, celle qui sera mise en œuvre dans la nouvelle situation de travail) et une activité dans la situation simulée. La formation sur simulateur combine un apprentissage par l'exercice de l'activité et un apprentissage par l'analyse de l'activité (Pastré, 2004).

Il est possible de distinguer deux utilisations différentes du simulateur à des fins de formation : la simulation didactique et la simulation professionnelle (Jouanneaux, 2005). La simulation didactique a pour objectif d'apprendre un métier à un opérateur, la simulation professionnelle consiste à maintenir les compétences et peut s'accompagner d'une qualification.

Pour Savoyant (2005), il est nécessaire que la simulation professionnelle se fasse en simulateur pleine échelle. En effet il s'agit pour les opérateurs de répéter de revoir et de s'entraîner à des enchaînements de gestes qui ne sont jamais vraiment réalisés en situation réelle. Pour les cas de scénarios accidentels, la situation de simulation permet la construction d'une compétence inaccessible en situation réelle.

Dans le développement des compétences en situation de simulation, Samurçay et Rogalski soulignent l'importance de la « médiation de l'instructeur ». (1998, p. 337). L'instructeur ou le formateur va intervenir à différents moments de la simulation. Avant la séance sur simulateur, l'instructeur mène un « briefing » au cours duquel il présente ce qu'il attend de la séance, Samurçay et Rogalski parlent de « contrat didactique ». Ensuite pendant la séance le formateur doit assurer en situation dynamique la gestion didactique de la séance (guidage de l'activité de l'opérateur/stagiaire), la gestion du simulateur (modification des paramètres de la situation) et la gestion de l'activité (temporalité des séances). Après la séance le formateur mène un « débriefing » sur l'analyse des situations « vécues ».

Le débriefing constitue une étape décisive dans la construction des compétences. Pour Pastré, « l'apprentissage par l'analyse de l'action est plus efficace que l'apprentissage par répétition de l'action » (Pastré, 2005, p. 33 ; Pastré, 1999).

### 3.3.3 *Débriefing : développement des compétences*

Lors des débriefings, les opérateurs effectuent un passage du vécu au récit. Ce processus de conceptualisation de l'action est concomitant du développement des compétences et de l'autonomie des opérateurs (Pastré, 2004). L'autonomie est « le processus par lequel s'élaborent et se mettent en œuvre les compétences » (Terssac, 1992, p. 152). Ainsi le développement de l'autonomie est conditionné et conjoint au développement des compétences : puisque les compétences des opérateurs s'expriment dans leur autonomie et les espaces d'autonomie leur permettent de développer des compétences.

Au cours des débriefings, les formateurs mènent un échange avec les opérateurs au sujet de ce qui s'est passé pendant le temps de la simulation. Il s'agit parfois d'expliciter pour amener à la conscience réfléchie ce qui s'est passé (Vermersch, 2004). De ce fait, le formateur dans la conduite des débriefings joue un rôle prépondérant dans la possibilité d'une pratique réflexive (Rudolph, Simon, Rivard, Dufresne, et Raeme, 2007 ; Van Daele, 2001). Les auteurs identifient trois attitudes possibles des formateurs lors des débriefings (voir Tableau 1) :

- Les attitudes de « jugement » dans lesquelles le formateur expose la façon de se comporter et considère les opérateurs comme des sources d'erreurs. Les retours se font sous forme de critiques plus ou moins négatives.
- Les attitudes de « jugement neutre » dans lesquelles le formateur expose les points positifs et négatifs de la séance. A la différence des attitudes de « jugement », les formateurs tentent d'éviter les sentiments et les reproches.
- Les attitudes de « jugement positif » sont l'occasion pour le formateur comme pour les opérateurs d'échanger ouvertement sur les façons de faire. Dans ce cas le formateur ne semble pas détenir la vérité. Les retours de type « jugement positifs » seraient les mieux adaptés à l'activité réflexive (Rudolph, Simon, Rivard, Dufresne, et Raeme, 2007).

**Tableau 1 : Attitudes des formateurs en débriefing**

(Rudolph et al, 2007 adapté par Cuvelier, 2011)

	<b>Attitude « de jugement »</b>	<b>Attitude « de non-jugement »</b>	<b>Attitude de « jugement positif »</b>
L'instructeur efficace ...	Permet aux participants de changer	Permet aux participants de changer	Crée un contexte pour apprendre (et, peut-être, changer)
Le débriefing porte essentiellement sur ...	Les actions ou les inactions des participants (comportement)	Les actions ou les inactions des participants (comportement)	Le sens des actions et les compétences de chacun (participants et instructeurs) (conduite)
Les participants sont vus ...	A travers leurs actions (comportements visibles), comme susceptibles de commettre des erreurs	A travers leurs actions (comportements visibles), comme susceptibles de commettre des erreurs	A travers le sens qu'ils donnent aux situations (conduite invisible). Les actions qu'ils réalisent ne n'en sont que les conséquences
Celui qui détient la bonne réponse est...	L'instructeur	L'instructeur	Peut être les participants, peut être l'instructeur, peut être les deux ou peut être aucun des deux
Celui qui ne comprend pas, c'est...	Le participant. L'instructeur lui dit : « je vais vous expliquer comment faire »	Le participant. L'instructeur lui dit : « je vais trouver la meilleure façon pour que vous compreniez comment faire »	L'instructeur. Il rapporte des faits « pas clairs » et cherche à comprendre, grâce aux participants, quel est le sens de ces faits.
Typiquement, l'instructeur dit :	« Est-ce que quelqu'un peut me dire ce qui s'est mal passé dans cette séance ? » « Voila pourquoi cela c'est mal passé »	« Pensez vous que vous auriez pu mieux faire ? Comment ? »	« J'ai noté X. Cela m'embête parce que Y. Je me demande comment vous voyez ça ? Comment envisagiez vous la situation à ce moment là ? »

Si les formateurs adoptent une attitude de jugement positif, il devient envisageable de considérer les situations de débriefings comme des environnements capacitants (Falzon 2005) à savoir : « des environnements techniques, sociaux et organisationnels qui fournissent aux individus l'occasion de développer de nouveaux savoir-faire et de nouvelles compétences, d'élargir leurs possibilités d'action, leur degré de contrôle sur leur tâche et leurs modes opératoires, c'est-à-dire leur autonomie » (Falzon, 2005 ; Pavageau, Nascimento et Falzon, 2007, p. 4).



PARTIE II :  
PROBLÉMATIQUE



# Chapitre 3 : Contexte de l'étude

---

La demande initiale de l'entreprise est d'étudier la thématique des modes de conduite, approche événementielle et approche par état<sup>PN</sup> qui sont observables sur deux types de chaufferies embarquées S et P. Elle s'inscrit dans la continuité des travaux de recherche et développement menés dans l'entreprise (Guillermain & Salazar-Ferrer, 1999)

La première a été conçue dans les années 60-70 (système S) et la seconde dans les années 80-90 (système P). Certains éléments rendent ces deux systèmes comparables :

- la technologie nucléaire a peu évolué,
- les opérateurs qui travaillent sur ces chaufferies sont contemporains les uns des autres,
- les deux chaufferies considérées sont soumises aux mêmes réglementations nationales et internationales.

## 1 La conduite d'installations nucléaires

Les chaufferies nucléaires considérées dans cette étude sont des réacteurs à eau pressurisée (Fribourg, 2001). La Figure 8 est une représentation très schématisée et simplifiée du fonctionnement d'un réacteur à eau pressurisée (REP) permettant d'accéder au fonctionnement du système.

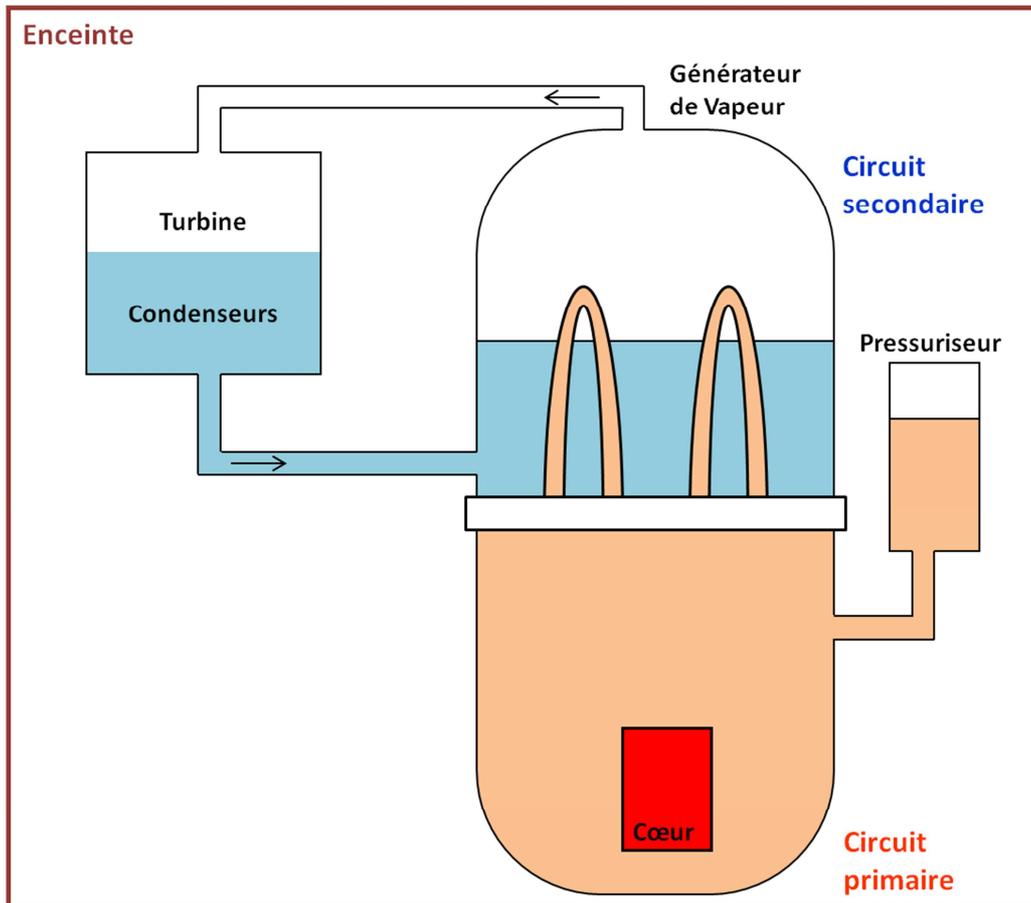


Figure 8 : Schéma simplifié du fonctionnement des REP embarqués

(adapté de Fribourg, 2001)

## 1.1 La production d'énergie : principe de base

La production d'énergie électrique ou énergie mécanique dans le cas d'un processus nucléaire a comme point d'entrée la production d'énergie nucléaire. Dans le cœur du réacteur, le combustible (Uranium) est le siège de réactions en chaîne qui provoquent un important dégagement de chaleur, évacuée par un fluide caloporteur (l'eau du circuit primaire) à un échangeur de chaleur : les tubes du générateur de vapeur (GV). Dans l'échangeur de chaleur, l'énergie calorifique de l'eau primaire est transmise à l'eau du circuit secondaire (auss appelé eau alimentaire) qui se transforme alors en vapeur. Cette vapeur est amenée à la turbine de propulsion pour faire tourner l'hélice ou au turboalternateur pour produire de l'électricité (Alengry, 1989).

## **1.2 Description du système**

Une chaufferie nucléaire se compose de deux principaux circuits : le circuit primaire et le circuit secondaire.

### *1.2.1 Circuit primaire*

L'eau du circuit primaire circule à des températures allant de 250°C à 300 °C. Elle est chauffée par la réaction en chaîne du combustible dans le cœur. L'eau primaire est maintenue à l'état liquide à l'aide du pressuriseur, elle circule dans les tubes du générateur de vapeur (GV).

### *1.2.2 Circuit secondaire*

Un échange thermique se fait entre l'eau du circuit primaire et l'eau du circuit secondaire au niveau du GV. L'eau secondaire passe alors sous forme vapeur et entraîne la turbine. Ensuite la vapeur passe dans les condenseurs à l'état liquide avant de retourner à l'échangeur de chaleur. Les condenseurs ont comme source froide l'eau de mer (Fribourg, 2001).

## **1.3 Tâches de l'opérateur**

Le pilotage de la chaufferie nucléaire est centralisé dans une salle de commande. Les informations sur l'évolution des variables sont rapportées et les principales actions de conduite se font depuis la salle de commande. Les opérateurs en salle de commande sont assistés d'opérateurs ronds qui permettent de piloter des installations en local.

En situations normales et incidentelles, les opérateurs ont pour mission de maintenir le système dans les limites de fonctionnement, pour les situations accidentelles, il s'agit des limites de sûreté. Ci-dessous sont explicités les principaux objectifs des opérateurs lorsqu'ils supervisent un réacteur nucléaire.

### *1.3.1 Réfrigérer le cœur*

Les opérateurs doivent maîtriser la réfrigération du cœur afin d'éviter sa montée en température. Ils doivent donc choisir les moyens adaptés et s'assurer de leur efficacité.

### *1.3.2 Contrôler la réactivité*

Il s'agit ici pour les opérateurs de contrôler la réaction nucléaire dans le cœur afin de pouvoir réagir en cas d'emballement de la réaction. Pour cela les opérateurs surveillent le flux neutronique.

### *1.3.3 Assurer la pressurisation du primaire*

La pressurisation du primaire est primordiale pour maintenir le fluide primaire à l'état liquide (principe des réacteurs à eau pressurisée). C'est par le fluide primaire qu'est transmise l'énergie calorifique qui se dégage du cœur par la réaction nucléaire. En cas de perte de la pressurisation, l'eau primaire en se vaporisant dans le cœur pourrait diminuer l'échange thermique au niveau des éléments combustibles et conduire à terme à leur dégradation<sup>5</sup>.

### *1.3.4 Assurer le confinement*

Le confinement est constitué de plusieurs « barrières » au nombre de 3 sur les réacteurs embarqués. Ces barrières dites de radioprotection permettent d'empêcher le dégagement de radioéléments vers l'extérieur. La première barrière est la gaine qui enveloppe le combustible, la seconde est le circuit primaire lui-même et la troisième est l'enceinte du réacteur (Lauvergeon & Barré, 2009).

### *1.3.5 Maintenir l'équilibre des puissances primaire et secondaire*

La puissance exigée pour la propulsion et l'alimentation électrique du bâtiment varie en fonction des besoins et donc le réacteur doit suivre les évolutions. Le fonctionnement du réacteur nécessite à tout moment un équilibre entre la puissance produite par la réaction nucléaire et la puissance extraite par les turbines.

---

<sup>5</sup> Le combustible radioactif est entouré d'une gaine de protection permettant « d'éviter la pollution du circuit primaire par les produits radioactifs de fission et protéger ceux-ci contre une attaque chimique ou mécanique du fluide de refroidissement » (source : [www.asn.fr](http://www.asn.fr)).

## 2 Des environnements de conduite différents

Les deux systèmes qui font l'objet de cette recherche ont été conçus à des époques différentes comme évoqué plus tôt. S date des années 60-70, époque à laquelle la recherche sur le facteur humain débute tout juste, où on n'a pas connu d'accident nucléaire majeur. P a été conçu dans les années 80-90. A cette époque les analyses de l'accident de TMI montrent le rôle fondamental de l'homme dans la conduite des installations nucléaires (Appel & Chambon, 1998 ; Theureau *et al.*, 2000). Ainsi la conception des moyens de conduite de P se trouve fortement influencée par le retour d'expérience de TMI. Le premier élément qui va différer entre S et P est le mode de conduite en situation accidentelle. Sur S la conduite est dite « événementielle », sur P il s'agit d'une adaptation de l'approche par état (APE<sup>PN</sup>).

Au-delà des modes de conduite, l'environnement de conduite des opérateurs sur ces deux systèmes diffère de façon importante. Ci-dessous sont listés les facteurs de variation entre les deux installations.

### 2.1.1 *La taille du poste de conduite*

- L'espace dans la salle de contrôle est très restreint sur S, les opérateurs sont séparés d'une distance inférieure à un mètre.
- Sur P, les opérateurs doivent faire quelques pas pour aller d'un pupitre à l'autre.

### 2.1.2 « Situation » du poste de conduite

En situation accidentelle, une cellule de réflexion est mise en place à bord du bateau pour soutenir les opérateurs au poste de conduite. Le commandant du bateau, le responsable propulsion, une équipe de quart de renfort forment la cellule de réflexion. Cette cellule est aussi un « supérieur hiérarchique » pour l'équipe de quart.

- Sur S, le poste de conduite est situé à l'arrière du bateau. Personne ne peut venir dans le poste de conduite sans l'accord du Chef de quart. En situation accidentelle il y a une distinction « physique » infranchissable du fait de la situation entre le poste de conduite où se trouve l'équipe de quart et la cellule de réflexion.

- Sur P le poste de conduite est « accessible » à tous. En situation accidentelle, la cellule de réflexion peut avoir tendance à rallier le poste de conduite.

### 2.1.3 Pupitres

Les pupitres sur S sont composés de galvanomètres, d'afficheurs numériques, de verrines et de commutateurs. A cela s'ajoutent sur P des écrans avec messages ainsi que des courbes représentant l'évolution des paramètres. Sur P le Chef de Quart a son propre pupitre avec des informations des trois pupitres. Le Chef de Quart sur S n'a pas de pupitre propre.

### 2.1.4 Procédures

La conduite de chaufferies nucléaires est largement soutenue par un ensemble de procédures. Quelque soit la situation, les opérateurs ont toujours une procédure de référence indiquant les actions à effectuer.

- Sur S, seulement deux classeurs contiennent l'ensemble des procédures pour le réacteur.
- La documentation sur P est très fournie et représente une dizaine de classeurs.

Sur S, le jeu de procédures de la chaufferie ne comprenait pas de procédures accidentelles au début de l'exploitation. Avec l'évolution progressive de la réglementation sur les quarante dernières années dans l'industrie nucléaire, des procédures accidentelles ont été introduites dans la conduite sur S. Sur P des procédures accidentelles existent dès le début de l'exploitation.

### 2.1.5 Moyens de communication

Au poste de commande, les moyens de communication permettent d'échanger avec les différents rondiers, instrumentistes, avec les opérateurs du poste de navigation ainsi que la cellule de réflexion.

- Sur S, il y a deux « points » de communication avec des interphones. Un premier se trouve sur le pupitre de l'opérateur électricité (voir la constitution de l'équipe de conduite au § 2.2.3) et un second à côté du Chef de Quart. Les opérateurs réacteur, électricité et machine ne disposent pas de moyens de communication attitrés avec

l'extérieur. L'interphone situé sur le pupitre de l'opérateur électricité sert pour les trois. Les communications arrivant de l'extérieur (rondiers, cellule de réflexion, poste de navigation) sont diffusées au poste de conduite par haut-parleurs.

- Sur P, chaque opérateur a un interphone ou un téléphone pour communiquer avec les rondiers, la cellule de réflexion ou d'autres agents du bateau.

### 2.1.6 *Equipes de conduite*

- Sur S, les opérateurs travaillent en équipe constituées. Une équipe est dite constituée si les opérateurs qui la composent restent les mêmes sur une durée donnée (celle de la formation, de l'entraînement ou de la mission).
- Sur P, les opérateurs ne travaillent pas en équipes constituées. A chaque quart l'équipe peut varier.

### 2.1.7 *Rôle des opérateurs au sein de l'équipe*

- Sur S, il n'y a pas de prescription explicite sur l'organisation collective de la conduite. Bien qu'un interphone se trouve sur le pupitre de l'opérateur électricité, il n'y a pas de document qui indique que cet opérateur est en charge des communications. Cependant la conception du poste de commande alloue implicitement à l'opérateur électricité la gestion des communications.
- Sur P le rôle de chaque opérateur est explicitement défini dans la présentation de la documentation d'exploitation. Pour les situations incidentelles et accidentelles sur la chaufferie, le Chef de Quart et l'opérateur réacteur ont chacun une version de la procédure. Les deux versions diffèrent légèrement en fonction des objectifs assignés à chaque opérateur (Chef de Quart ou opérateur réacteur). Cette construction des procédures prescrit les tâches des opérateurs à un niveau individuel.

## 2.2 **Caractéristiques communes aux deux systèmes**

Bien que ces deux systèmes diffèrent par un grand nombre de facteurs, il est important d'évoquer ce qui est commun à ces deux systèmes et ce qui fait qu'ils sont comparables.

### 2.2.1 *Technologie nucléaire*

Sur S et P les chaufferies nucléaires utilisées fonctionnent de façons très similaires. Les systèmes sont soumis aux mêmes réglementations nationales et internationales.

D'un point de vue technique il s'agit du même système, de la même façon de produire de l'énergie et de la même énergie à produire : énergie mécanique et énergie électrique. Il existe certes des différences quant à la taille de la chaufferie, aux temps de réaction, ou encore aux automatismes existants. Cependant c'est la même entreprise qui a conçu les chaufferies de ces deux systèmes. Ainsi le nombre de similitudes entre les deux systèmes techniques est bien plus important que le nombre de différences.

### 2.2.2 *Origine des opérateurs*

Les opérateurs exerçants sur S et P sont issus de la même formation générale. A la fin de cette formation ils passent un concours commun, à l'issue duquel ils peuvent choisir d'exercer soit sur S soit sur P. Après ce choix ils suivent une formation spécifique au système choisi. Il n'y a pas a priori de différence à l'origine entre les opérateurs de S et ceux de P. De surcroît ils appartiennent tous à la même entreprise.

### 2.2.3 *Equipe de quart*

Sur S et P, l'équipe de conduite au poste de commande est composée de 4 opérateurs :

- le Chef de quart (CdQ) supervise l'action de l'équipe ;
- l'opérateur réacteur (Kr) en charge du réacteur nucléaire ;
- l'opérateur de l'usine électrique (Ke) gère l'alimentation électrique à bord ;
- l'opérateur machine (Km) en charge de la turbine et de la propulsion.

Sur P, s'ajoutent, lorsque leur présence n'est pas indispensable en « local », un Rondier Réacteur (RR) et un Rondier Machine (RM) qui viennent en soutien respectivement des opérateurs Kr et Km. RR et RM sont des opérateurs plus expérimentés que les opérateurs de quart, ils ont respectivement été Kr et Km avant d'être rondiers.

S et P sont à la fois des systèmes très proches et comparables et ils sont aussi des systèmes dont les époques, les choix de conception, les modes de conduite ont vraisemblablement un impact sur la conduite des opérateurs.



## Chapitre 4 : Problématique de recherche

---

« La sécurité combine des tentatives de construire des organisations sûres d'un côté et un apprentissage de la vulnérabilité des entreprises et de la fragilité de nos institutions de l'autre » (de Terssac & Mignard, 2011, p230). Le paradoxe de la sécurité évoqué ici semble résider dans une complexe articulation entre :

- la nécessité d'un cadre rigide qui borne le champ d'exploitation du système, les actions des opérateurs et limite les risques
- et le besoin de considérer et développer les débordements du cadre pour atteindre la sécurité en action dans la variabilité des situations de l'exploitation.

La sécurité des systèmes à risques s'appuie sur deux formes de sécurité, la sécurité dite réglée et la sécurité dite gérée (Nascimento, 2009 ; Daniellou *et al.*, 2010 ; Dien, 2011 ; Cuvelier, 2011). La sécurité réglée consiste à supprimer les défaillances que l'on peut anticiper par des règles formelles, des automatismes, des formations (Daniellou *et al.*, 2010). La sécurité gérée repose sur l'expertise des opérateurs et permet de répondre aux défaillances non prévues par l'organisation (Daniellou *et al.*, 2010). Pour d'autres auteurs, la sécurité gérée ne permet pas uniquement de combler les « trous » de la sécurité réglée, mais aussi d'adapter l'utilisation des règles formelles en situation (Dicioccio, 2012). Quoiqu'il en soit, la sécurité effective d'un système conjugue en effet ces deux formes de sécurité (Terssac & Gaillard, 2009).

Face à ces formes de sécurité, deux approches de la sécurité sont possibles (Nascimento, Cuvelier, Mollo, Dicioccio & Falzon, 2013 ; Falzon, 2011) :

- Une approche normative : Cette approche considère que c'est le suivi strict des règles qui permet au système d'atteindre un certain niveau de sécurité. Tout débordement du cadre devient une défaillance du système et doit être supprimé.
- Une approche adaptative où se combinent sécurité réglée et sécurité gérée. Cette approche nécessite des outils et méthodes pour articuler sécurité réglée et sécurité gérée.

Les systèmes S et P considérés dans cette recherche appartiennent à la catégorie des systèmes dits ultra-sûrs (voir §1.3 du Chapitre 1). Pour atteindre un niveau de sécurité acceptable, les industries telles que le nucléaire, ou l'aviation civile ont mis en place un nombre important de formalismes pour pouvoir standardiser les réponses des opérateurs à des classes de situations, de formations pour asseoir les bonnes pratiques. Cela s'est traduit notamment par la formalisation et le développement de modes de conduite

Il s'avère que les modes de conduite « événementiel » et « par état<sup>PN</sup> » (voir §3.1 de l'Introduction) ne sont pas « purs » dans leur mise en œuvre sur S et P. Les procédures accidentelles de P sont de type « par état<sup>PN</sup> ». Il aurait pu être envisageable que ces procédures soient référencées comme étant les procédures de l'état 1, l'état 2, ..., l'état n. Cependant ces procédures indiquent la nature de la situation. Ainsi on trouve dans le jeu de procédures la procédure accidentelle de la fuite primaire secondaire, la procédure accidentelle de la fuite primaire externe et ainsi de suite. Dans ce contexte, les opérateurs peuvent légitimement être tentés de diagnostiquer un événement pour choisir la procédure correspondante.

Sur S, les consignes accidentelles ont été conçues au cours de l'exploitation de S et sont de type événementiel. Cependant la consigne d'orientation en particulier s'inspire des logigrammes de l'approche par état pour aider les opérateurs dans leur diagnostic. L'activité observée sur S n'est pas non plus une approche événementielle « pure ».

Au final l'approche événementielle et l'approche par état<sup>PN</sup> déclinées sur S et P, si elles fondent effectivement la conduite des opérateurs en situation accidentelle, elles ne se distinguent pas en réel de façon aussi tranchée qu'en théorie. Pour cette raison la demande initiale est réorientée afin de s'intéresser plus largement aux environnements de conduite dans lesquels sont placés les opérateurs sans se focaliser uniquement sur les modes de conduite tels qu'ils sont définis ici.

Une analyse plus globale des environnements de conduite invite à considérer l'ensemble des ressources ou moyens mobilisés par les opérateurs pendant le temps de l'activité ou bien « autour » de l'activité. Parmi ces ressources se trouvent :

- Le mode de conduite
- Les procédures
- Le travail en équipe

- La formation
- Les postes de conduite (IHM)
- L'organisation et le management

Pour atteindre les objectifs de leurs tâches et notamment travailler en sécurité, les opérateurs s'appuient sur ces ressources. Ces dernières participent entre autres à l'émergence d'une culture de sécurité (voir § 4 de l'Introduction).

Ces éléments conduisent à identifier trois questions de recherche auxquelles cette étude tente d'apporter des éléments de réponse.

Premièrement, sur les deux systèmes considérés S et P, quel est l'impact de la combinaison des moyens de conduite sur la culture de sécurité ? Autrement dit, l'assortiment des ressources constitue-t-il un ensemble cohérent permettant aux opérateurs « un agir en sécurité » ?

Deuxièmement, la sécurité sur S et P est-elle soutenue par le même paradigme de sécurité propre aux systèmes ultra-sûrs ? Et comment ce paradigme se traduit-il sur les ressources engagées dans l'activité ?

Troisièmement, les organisations des systèmes ultra-sûrs recherchent par l'anticipation des risques, leur maîtrise. Quel est le point de vue de l'organisation de S et de P sur le développement de la capacité des opérateurs à s'adapter dans des situations non prévues ?



# Chapitre 5 : Stratégie de recherche

---

La stratégie de recherche mise en place pour comparer la capacité des opérateurs à « faire face » et comprendre la cohérence des ressources de l'activité sur les deux systèmes consiste à placer des équipes de chaque système face à des situations de complexité variable.

## 1 Méthodologie

### 1.1 Définitions préliminaires

L'accès aux situations d'activité réelle de supervision de chaufferies nucléaire est extrêmement limité. De ce fait la seule activité visible est celle jouée sur simulateurs pleine échelle. Il s'agit de simulateurs utilisés pour la formation et l'entraînement des opérateurs tout au long de l'exercice de leur fonction.

Voici quelques définitions qui permettent de structurer la méthodologie mise en place.

*Un entraînement* : temps consacré à un entraînement sur simulateur, cela comprend le briefing avant la simulation, le temps de « jeu » sur simulateur et le débriefing qui suit la simulation.

*Une séance* : il s'agit du temps de « jeu sur simulateur ». Les séances durent en moyenne deux heures sur S et trois heures sur P.

*Un scénario* : un scénario est le choix d'une situation physique du système. Il peut s'agir d'un accident, d'un incident, de conduite normale, d'une situation d'arrêt normal de l'installation. Il n'est pas rare dans un scénario d'avoir plusieurs événements, par exemple un défaut de capteur sur la chaufferie, un incident sur la machine et une perte de moyens sur l'usine électrique. Lors des périodes de formation et d'entraînement, il y a plusieurs scénarios par séance.

Toutes les étapes mises en œuvre lors de l'étude, exposées dans la méthodologie ont été menées en présence des intervenants et ergonomes de AREVA TA dont l'auteur de la thèse.

## 1.2 Scénario étudié

### 1.2.1 Choix du scénario

L'accident étudié est celui de la fuite primaire secondaire. Au niveau du système, cela se caractérise par la rupture d'un ou plusieurs tubes du GV (voir §1, Chapitre 3), ce qui cause une fuite entre le circuit primaire et le circuit secondaire. L'eau du circuit primaire se déverse dans le circuit secondaire étant donné que la pression dans le circuit primaire est supérieure à celle dans le circuit secondaire.

Le diagnostic d'une fuite primaire/secondaire se fait sur une combinaison de « symptômes » :

- une baisse de niveau du circuit primaire, visible au niveau du pressuriseur
- la présence de radioéléments dans le circuit secondaire,
- une montée de niveau du circuit secondaire qui se manifeste sur le niveau de la « bêche machine » puisqu'il y a une régulation du niveau d'eau dans le GV.

Ces trois symptômes sont mentionnés dans l'ordre d'apparition durant un scénario standard de fuite primaire/secondaire (voir schémas en Annexe 1). Il faut noter que la présence de radioéléments dans le circuit secondaire est un symptôme saillant de la fuite primaire/secondaire. Les deux autres symptômes peuvent exister pour d'autres types de fuite ou d'incident.

Deux scénarios de fuite primaire/secondaire ont été conçus. Le premier scénario, qualifié de standard, place les opérateurs face à une fuite primaire/secondaire « standard », tous les symptômes énoncés apparaissent et permettent à l'équipe de diagnostiquer le bon type de fuite. En formation et en entraînement les opérateurs ont déjà eu l'occasion de traiter cet accident.

Le second scénario est plus délicat à caractériser, il sera qualifié d'ambigu. Il s'agit toujours d'une fuite primaire/secondaire, mais dans ce cas, le circuit primaire est très peu pollué. Cela arrive notamment sur les premiers temps de l'exploitation du système. Dans ce scénario les capteurs de radioéléments dans le circuit secondaire, bien qu'ayant un seuil de détection très faible, ne se déclenchent pas dans le temps de la simulation (voir schémas en Annexe 2). Les

opérateurs doivent alors diagnostiquer le type de fuite en ne disposant que de deux symptômes anormaux :

- la baisse de niveau du circuit primaire et
- la montée de niveau du circuit secondaire qui se manifeste sur le niveau de la « bêche machine » puisqu'il y a une régulation du niveau d'eau dans le GV.

Ces deux symptômes peuvent apparaître dans le cas d'autres incidents ou accidents. Pour reconnaître une fuite primaire secondaire dans ce cas ambigu, il faut d'une part ne diagnostiquer aucun autre événement et d'autre part corréler les deux symptômes.

Le choix du scénario s'est porté sur la fuite primaire/secondaire car sur un accident de même « nature », il est possible d'observer :

- dans le cas du scénario standard une situation de diagnostic immédiat et évident,
- dans le cas du scénario ambigu la résolution d'un problème complexe.

### *1.2.2 Harmonisation des scénarios sur les deux installations*

Dans un premier temps une réunion a été organisée avec les formateurs de S et ceux de P. L'objectif de cette réunion était de concevoir des scénarios de fuite primaire secondaire ayant une dynamique semblable sur les deux installations. La demande formulée était d'avoir une fuite primaire secondaire dont le débit est :

- suffisamment faible pour ne pas nécessiter d'actions immédiates : les opérateurs ont le temps, s'ils le souhaitent, de faire un diagnostic approfondi.
- trop important pour permettre l'exploitation de l'installation dans ces conditions sur une longue durée. L'arrêt du réacteur est la seule issue à terme. Cependant, la décision d'arrêt n'est pas urgente et intègre le contexte opérationnel.

Il faut noter que les deux systèmes n'ont pas les mêmes dimensions, ni la même puissance cela engendre des dynamiques de fonctionnement différentes. Ainsi les caractéristiques du scénario de fuite primaire secondaire et notamment les débits de fuite ne sont pas les mêmes sur S et P mais ont été choisis pour rendre les comparaisons entre S et P acceptables.

Par ailleurs au cours de cette réunion, le déroulement de l'entraînement et de la séance sur simulateur ont été définis. Il a notamment été établi que le temps des séances n'excéderait pas deux heures car c'est le temps moyen des séances sur S.

Sur le conseil des formateurs, avant le début de la fuite est jouée une avarie dite « annexe ». Cette avarie préliminaire à l'incident de fuite primaire secondaire permet d'acclimater les

opérateurs à la conduite du système et de les faire « entrer dans la simulation ». A la fin de l'avarie, les formateurs planifient d'initier la fuite. Ensuite les opérateurs gèrent le système jusqu'à la fin de la séance, c'est-à-dire après deux heures de simulation.

### *1.2.3 Validation des scénarios*

Le choix des scénarios de fuite primaire secondaire et les premiers éléments physiques de chaque système (débit de fuite, puissance, température, pressions) ont été consolidés sur calculateur puis en simulateur.

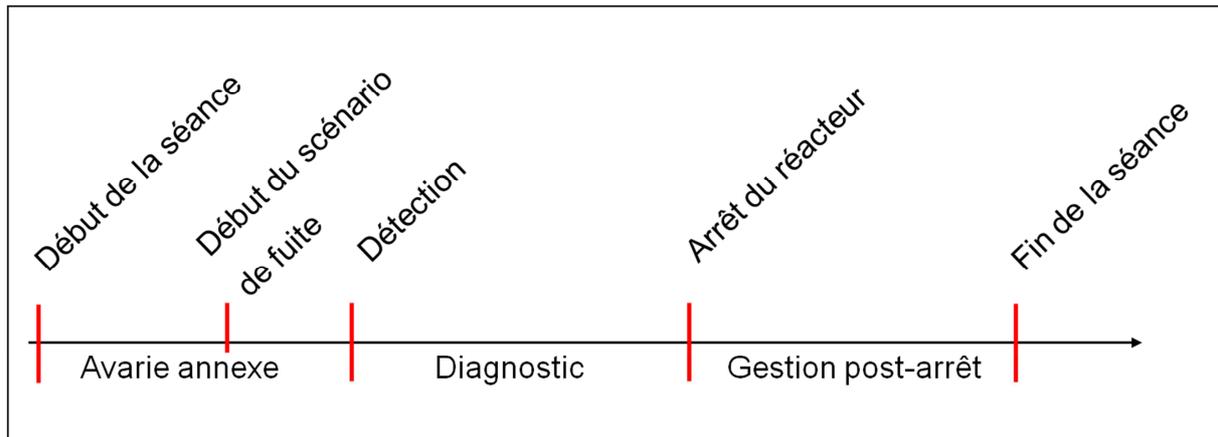
#### *Validation physique sur calculateur*

La validité physique des scénarios a pu être faite sur un calculateur, le même que celui implémenté dans les simulateurs. Il s'agissait de contrôler que les scénarios proposés avaient bien un sens d'un point de vue physique et qu'ils étaient dans une certaine mesure réalistes. Cette étape a notamment permis de vérifier que les symptômes apparaissent effectivement et de mesurer la dynamique du système sur deux heures de temps sur S et P.

#### *Validation de conduite sur simulateur*

Après avoir vérifié la validité physique des scénarios, des séances de validation ont été menées sur les simulateurs de S et P avec les formateurs. Pour chaque système les deux scénarios ont été joués. Cette étape avait pour objectif de se familiariser avec le fonctionnement des simulateurs et d'identifier les principales actions attendues dans la gestion des scénarios.

La validation des scénarios avec les formateurs a permis de consolider le déroulement d'une séance, décrit sur la Figure 9.



**Figure 9 : Déroulement d'une séance**

La séance débute par une avarie « annexe ». Il s'agit d'une avarie électrique, elle n'empêche pas les actions à entreprendre pour la gestion de la fuite primaire secondaire et elle est suffisamment simple pour être maîtrisée dans un temps court de l'ordre du quart d'heure. Une fois que l'avarie est en passe d'être maîtrisée, le début de la fuite est provoqué. Commence alors un écoulement du circuit primaire vers le circuit secondaire. Les paramètres évoluent progressivement jusqu'à ce qu'une évolution anormale de paramètres soit détectée. A partir de ce moment débute une phase de diagnostic qui se conclut avec l'arrêt du réacteur. Ensuite la conduite consiste en une gestion « post-arrêt » du système qui a pour objectif de placer le système à l'état sûr.

La validation des scénarios sur simulateur a permis d'identifier le « parcours procédural » attendu pendant le diagnostic de chaque scénario :

- Sur S dans le scénario standard : La baisse du niveau pressuriseur doit amener les opérateurs à investiguer la situation en s'appuyant sur la consigne d'orientation. La détection de radioéléments les invite ensuite à considérer l'événement de fuite primaire secondaire. Une fois qu'ils ont l'accord de la cellule de réflexion, ils entrent dans la procédure dédiée à la fuite primaire secondaire.
- Sur S dans le scénario ambigu : La baisse du niveau pressuriseur doit amener les opérateurs à investiguer la situation en s'appuyant sur la consigne d'orientation. L'absence d'autres indices sur la nature de la fuite peut les amener à considérer la procédure incidentelle qui permet entre autres de vérifier que le capteur de niveau du pressuriseur donne une information correcte. Ensuite l'évolution du niveau d'eau dans le secondaire pousse à envisager une fuite primaire secondaire sans détection de

radioéléments. Avec l'accord de la cellule de réflexion, ils devraient utiliser la procédure de fuite primaire secondaire.

- Sur P dans le scénario standard : La détection de radioéléments se fait par un message qui demande aux opérateurs d'entrer directement dans la procédure accidentelle de fuite primaire secondaire.
- Sur P dans le scénario ambigu : La baisse du niveau pressuriseur indique une évolution anormale des paramètres. Cette anomalie prescrit de prendre la procédure incidentelle. Cette dernière spécifie en l'absence d'un diagnostic clair (ce qui est le cas puisque seul le niveau pressuriseur évolue) d'utiliser la consigne d'orientation. Le suivi correct de la procédure d'orientation mène à la procédure accidentelle de fuite primaire secondaire.

Dans le cas du scénario ambigu, il existe un parcours procédural sur P qui soutient les opérateurs dans leur conduite de bout en bout et devrait les amener à la procédure correspondant à la situation de fuite primaire secondaire. Sur S, la seule utilisation des procédures ne permet pas d'effectuer les actions nécessaires. Les opérateurs devront faire preuve d'initiatives (en changeant de procédure ou en sollicitant les supérieurs hiérarchiques) pour faire face au contexte du scénario ambigu.

La validation sur simulateur a permis de révéler un écart entre S et P sur l'apparition des symptômes : sur P, les deux premiers symptômes – baisse du niveau dans le pressuriseur et radioéléments dans le circuit secondaire – sont simultanés et arrivent très rapidement, environ 2 minutes, après le début de la fuite. Au contraire sur S il y a un délai de l'ordre de 5 minutes entre le début de la fuite et la baisse du niveau pressuriseur. La détection de radioéléments dans le circuit secondaire arrive environ ou bout de 7 minutes.

### **1.3 Population**

#### *1.3.1 Opérateurs*

Il a été possible de faire participer quatre équipes différentes d'opérateurs qualifiés par système pour une séance sur simulateur. Les deux scénarios (standard et ambigu) ont été joués par deux équipes de chaque système, comme l'indique le Tableau 2. La difficulté d'accès au

terrain et aux opérateurs n'a pas permis de faire un appel à volontaire. Ainsi les opérateurs rencontrés ont participé à l'étude dans le cadre de leur travail.

**Tableau 2 : Equipes participant à l'étude**

	Scénario standard	Scénario ambigu
S	2 équipes : S stand 1 & S stand 2	2 équipes : S amb 1 & S amb 2
P	2 équipes : P stand 1 & Pstand 2	2 équipes : P amb 1 & P amb 2

Un total de 38 opérateurs a participé à l'étude. Le Tableau 3 ci-dessous indique le nombre d'années d'ancienneté des opérateurs au poste qu'ils ont occupé pendant la simulation ainsi que le nombre d'années d'ancienneté total au sein de l'entreprise, mentionné entre parenthèses.

**Tableau 3 : Opérateurs participants à l'étude**

	CdQ	Kr	Ke	Km	RR	RM
S stand 1	2 (4)	1 (10)	2 (9)	3 (8)		
S stand 2	3 (9, 6 à Ke)	4 (4)	0 (3)	2 (4)		
S amb 1	2 (9, 4 à Kr)	3 (8)	2 (7)	5 (7)		
S amb 2	4 (12, 4 à Kr)	5 (8)	5 (8)	0 (4)		
P stand 1	1 (7)	1 (7)	2 (10)	3 (12)	4 (11, 2 à Kr)	
P stand 2	2 (8)	1 (10)	5 (11)	1 (6)	3 (9, 2 à Kr)	1 (11, 2 à Km)
P amb 1	1 (6)	1 (11)	3 (10)	1 (10)		4 (13, 3 à Km)
P amb 2	2 (9)	1 (8)	1 (11)	1 (11)	1 (11, 3 à Kr)	1 (10, 2 à Km)

La majorité des CdQ sur S a antérieurement occupé le poste de Kr, Ke ou Km. Parmi les quatre équipes considérées, tous les opérateurs sont « non-cadres » excepté le CdQ de l'équipe S stand 1, qui n'a d'ailleurs pas été opérateur avant de devenir CdQ. Sur P, le CdQ est nécessairement « cadre » et les opérateurs sont « non-cadre ». Cela explique pourquoi les CdQ n'ont pas tenu le poste d'un opérateur avant. Enfin les RR et RM avant d'arriver à ce poste ont respectivement été Kr et Km.

L'opérateur Ke de l'équipe S stand 2 et Km de l'équipe S amb 2 sont novices. Ils sont qualifiés mais n'ont pas encore effectivement travaillé à ce poste. Les contraintes de l'étude n'ont pas permis de rencontrer quatre équipes complètes sur P. Il manque l'opérateur RM de l'équipe P stand 1 et l'opérateur RR de l'équipe P amb 1.

Enfin on note que le contexte dans lequel s'est déroulé les simulations n'est pas le même sur S que sur P. Sur S les séances sur simulateur étaient dédiées à notre étude. Sur P les séances sur simulateurs faisaient parti du cycle d'entraînement précédant la qualification. Les opérateurs qui ont participé étaient dans un contexte d'entraînement au cours duquel ils font une à deux séances par jour pendant une dizaine de jours.

### *1.3.2 Formateurs*

Sur les systèmes étudiés, S et P, il existe deux types de formateurs intervenant avec les opérateurs sur simulateurs. Ceux en charge de la formation initiale et ceux mobilisés pour les phases d'entraînement. Les premiers ont pour objectif de compléter la formation théorique des opérateurs par une formation à la pratique. La formation initiale (théorique et pratique) se solde par une qualification. Les seconds interviennent lors des entraînements. Les opérateurs « en poste » sont amenés à revenir régulièrement sur le simulateur pour des phases d'entraînement qui permettent de maintenir leur niveau de qualification et de les entraîner notamment aux situations accidentelles. Tous les formateurs sont d'anciens opérateurs. Les formateurs mobilisés pour cette étude sont les formateurs d'entraînement.

## **1.4 Protocole expérimental**

### *1.4.1 Animation des séances*

Les formateurs animent les séances, ils manipulent le calculateur pour initier les avaries et la fuite, ils jouent le rôle des autres personnes du bord impliqués dans la gestion d'une situation :

- Rondiers : les formateurs jouent les conversations entre le poste de contrôle et les rondiers qui sont sur le terrain. Ils animent aussi les actions en local que les rondiers doivent effectuer
- Cellule de Réflexion : En situation incidentelle ou accidentelle une cellule de réflexion est armée, elle permet de soutenir l'équipe de quart dans ces décisions. Les formateurs jouent le rôle de la cellule de réflexion. La consigne donnée aux formateurs est de ne pas orienter les choix de l'équipe de quart dans le sens où il ne faut pas « injecter » de

nouvelles pistes pour le diagnostic, mais plutôt considérer les propositions de l'équipe de quart et s'appuyer dessus pour avancer dans la réflexion.

- Le central : Il s'agit du poste de contrôle opérationnel en charge des missions du navire. Régulièrement l'équipe de quart « propulsion » rend compte de ce qu'il se passe d'autant plus en situation incidentelle ou accidentelle. C'est par exemple le central qui détermine si on peut arrêter le réacteur ou non. Là encore ce sont les formateurs qui jouent les discussions avec le central.

Sur S deux formateurs sont nécessaires à l'animation de la séance. Un premier joue la majorité des rôles. Un second est assigné à un poste spécifique : celui d'un opérateur de la cellule de réflexion qui est très fréquemment en relation avec l'opérateur Ke pour faire le suivi de l'évolution des paramètres et de l'utilisation des procédures.

Sur P quatre formateurs animent la séance. L'équipe des formateurs est exactement la même que celle des opérateurs et chaque formateur joue le rôle des rondiers pour un opérateur spécifique. Il y a donc :

- un « formateur CdQ » anciennement CdQ qui interagit avec le CdQ
- un « formateur Kr » anciennement Kr (ou RR) qui interagit avec le Kr et le RR,
- un « formateur Km » anciennement Km (ou RM) qui interagit avec le Km et le RM
- un « formateur Ke » anciennement Ke qui interagit avec le Ke.

Pour l'animation des séances, les formateurs avaient pour consigne d'éviter d'être trop « intrusif » dans les décisions des équipes.

### *1.4.2 Déroulement d'un entraînement*

Les équipes mobilisées pour l'étude sont attendues pour l'heure de début de l'entraînement. Elles sont informées que plusieurs intervenants (entre 2 et 4) assistent à l'entraînement et filment la séance.

L'entraînement débute par l'accueil de l'équipe de quart et un briefing pour expliquer la raison de notre présence (voir encadré ci-dessous).

*Nous assistons à cette séance dans le cadre d'une recherche sur les modes de conduite : approche événementielle et approche par état<sup>PN</sup>.*

*Nous ne cherchons pas à évaluer votre performance individuelle ou collective mais plutôt à comprendre comment vous vous organisez pour conduire une chaufferie nucléaire avec le scénario proposé.*

*Nous nous engageons à maintenir une totale confidentialité et l'anonymat des opérateurs sur les vidéos que nous récupérons. Les informations seront analysées de manière globales et sont uniquement destinées au travail de recherche.*

Après le briefing a lieu la séance sur simulateur. Ensuite un des formateurs mène un débriefing avec l'équipe de quart. Lors des débriefings, les formateurs avaient pour consigne de mener des débriefings « type » comme ils ont l'habitude de le faire après chaque séance sur simulateur. Sur S comme sur P, deux formateurs différents ont menés les débriefings. Sur P il s'agissait du formateur Kr et du formateur CdQ.

A la suite du débriefing, un entretien collectif est mené avec l'équipe, sans les formateurs. L'objet de cet entretien est de revenir sur ce qui s'est passé pour les opérateurs pendant la séance, puis d'essayer d'accéder à ce qui se passe en situation réelle.

Le premier axe de ces entretiens est le scénario qui vient d'être joué, les étapes de la détection, les arbitrages pendant le scénario, les risques encourus. Le second axe porte sur les moyens de conduite : IHM, procédures et équipe de conduite. Enfin un dernier point s'intéresse à l'écart entre le simulateur et la situation réelle. Il est par exemple demandé aux équipes si la conduite à bord aurait été la même que celle observée lors de la séance. Ces entretiens sont semi-dirigés.

### *1.4.3 Recueil des données*

Les séances sur simulateur sont filmées par deux caméras. L'une sur l'équipe de quart, la seconde plus particulièrement sur l'opérateur Kr. L'objectif de ce dispositif est de pouvoir étudier l'activité globale de l'équipe. Puisque l'accident mis en œuvre porte sur le système géré par le Kr, une caméra filme plus particulièrement ses actions pour avoir des éléments d'information sur la détection, l'utilisation des procédures, les actions. L'intérêt de placer deux caméras dans la salle de contrôle est aussi d'avoir plusieurs prises de son. Cela permet

parfois d'entendre ce que deux opérateurs se disent alors qu'au même moment le CdQ est en communication avec la cellule de réflexion.

De plus un dictaphone enregistre les interventions des formateurs pendant la simulation. L'objectif de cet enregistrement est d'accéder à ce que disent les formateurs aux opérateurs.

L'intégralité des échanges lors des phases de diagnostic a été transcrite. Pour chaque intervention d'un opérateur ou formateur sont mentionnés :

- l'heure
- l'énonciateur : l'opérateur ou le rôle joué par le formateur
- le destinataire : l'équipe, l'opérateur ou le rôle joué par le formateur
- les mots prononcés.

La transcription de ces phases de diagnostic représente un total de cinq heures de film. La transcription des phases de diagnostic ont été effectuées avec le soutien d'anciens opérateurs pour contrôler le vocabulaire technique et faciliter la compréhension de certaines séquences.

L'intégralité des débriefings et entretiens a été enregistrée sur un dictaphone et transcrite. Chaque intervention d'un opérateur, d'un formateur ou d'un ergonome a été transcrite en mentionnant :

- l'énonciateur
- les mots prononcés.

Le total des débriefings correspond à une durée de deux heures et le total des entretiens correspond à une durée de sept heures et vingt minutes.

Les transcriptions des débriefings et entretiens sur lesquels il n'y a que le son ont été effectuées par une personne présente physiquement lors des entraînements. Cela a permis d'identifier chacun des interlocuteurs à sa voix et au contenu énoncé.

### *1.4.4 Restitution des résultats*

Les résultats obtenus et développés dans la partie empirique ont fait l'objet d'une restitution orale auprès d'anciens formateurs de chaque système, des intervenants et ergonomes de l'entreprise AREVA TA qui ont accompagné cette étude ainsi que d'anciens opérateurs de S et de P qui travaillent aujourd'hui pour AREVA TA. Cette restitution a permis de valider l'analyse des premiers résultats.

## 2 Hypothèses

### 2.1 Les environnements de conduite

Une analyse des facteurs de variation entre S et P (rassemblés dans le Tableau 4) laisse à penser que les ressources engagées dans la supervision du système diffèrent d'un système à l'autre.

**Tableau 4 : Récapitulatif des facteurs de variation entre S et P**

Facteurs de variation	n°	S	P
Année de conception	1	1960-1970	1980-1990
Mode de conduite	2	Approche événementielle	Approche par état <sup>PN</sup>
Procédures	3	2 classeurs	20 classeurs
	4	Procédures accidentelles conçues au cours de l'exploitation du système	Procédures accidentelles conçues dès le début de l'exploitation du système
Activité collective	5	Equipes de quart constituées	Equipes de quart variables
	6	Absence de prescription sur le rôle de chaque opérateur	Rôle de chaque opérateur prescrit dans les procédures
	7	Moyens de communication et procédures partagés	Moyens de communication et procédures alloués à chaque opérateur
Pupitre	8	Galvanomètres, afficheurs et actionneurs	Ecrans de contrôle, galvanomètres, afficheurs et actionneurs
Salle de contrôle	9	Superficie d'environ 4m <sup>2</sup>	Superficie d'environ 20m <sup>2</sup>
	10	En situation accidentelle, poste de conduite physiquement inaccessible à des ressources supplémentaires	En situation accidentelle, poste de conduite accessible à des ressources supplémentaires

Les facteurs de variation entre S et P invitent à formuler trois hypothèses sur leur impact au niveau de l'activité des opérateurs :

- la place des procédures dans la formation
- le travail collectif
- l'autonomie des opérateurs

### 2.1.1 *Statut des procédures dans les formations*

Cette hypothèse s'appuie principalement sur les facteurs de variation n° 2, 3, 4 et 6. L'absence de procédures accidentelles au début de l'exploitation de S pose des questions quant à l'impact de leur introduction en « cours de route » sur la formation des opérateurs. Il est vraisemblable qu'un ensemble de savoir faire et pratiques préexistaient à l'introduction des procédures accidentelles et que les formateurs sur S transmettaient des connaissances et compétences de nature « informelle » sur la gestion des situations accidentelles. A l'arrivée des procédures accidentelles, un pont a dû s'établir entre les pratiques informelles existantes et un nouveau prescrit formel.

De plus le niveau de guidage est beaucoup plus important sur P que sur S, en témoignent la différence du volume procédural entre les deux installations et l'absence de prescription sur le fonctionnement de l'équipe sur S. L'approche mise en place en situation accidentelle est événementielle sur S et par état<sup>PN</sup> sur P. La volonté d'amélioration du niveau de sécurité par le passage à l'approche par état<sup>PN</sup> est possible à la condition d'un suivi strict des procédures en situation accidentelle.

L'hypothèse formulée ici est que les prescriptions accidentelles tiennent une place prépondérante dans la formation sur P en comparaison à S, la formation aux situations accidentelles sur S s'appuie à la fois sur les procédures et la pratique, à l'inverse sur P, la formation aux situations accidentelles repose sur la prescription (H1). En conséquence, les débriefings seront plutôt normatifs sur P et « débatifs » sur S.

### 2.1.2 *Travail collectif*

Cette hypothèse est fondée sur les facteurs de variation n°5, 6, 7 et 9. Un ensemble de facteurs semble propice au développement d'un travail davantage collectif sur S que sur P :

- Le fonctionnement en équipes constituées est un atout pour développer un travail collectif et un collectif de travail.

- Le fait que le rôle de chaque opérateur ne soit pas explicitement défini dans des procédures laisse inférer des régulations collectives pour l'attribution des tâches.
- Le partage des moyens de conduite nécessite une coopération et une coordination entre les opérateurs pour remplir les objectifs de la tâche.
- La proximité physique due à la petite taille de la salle de contrôle sur S va faciliter la communication et la visibilité réciproque entre les opérateurs et donc le travail collectif.

Ces éléments convergent vers l'hypothèse que le travail collectif est plus présent dans l'activité de chaque opérateur sur S que sur P (H2).

### *2.1.3 Autonomie des opérateurs*

Cette hypothèse est basée sur les facteurs de variation n°3, 4, 6 et 10. Elle est en partie liée à (H1) et (H2). Premièrement le niveau de guidage et le volume procédural sur P tendent à limiter l'autonomie et les possibilités d'initiatives des opérateurs par rapport à ceux de S (H1). Deuxièmement, la possibilité d'évoquer les pratiques réelles en formation tend à développer des savoir faire qui complètent et vont au-delà de la prescription sur S. Cela accroît l'autonomie des opérateurs sur S, contrairement à P (H1). Troisièmement, une activité qui s'appuie fortement sur le travail collectif sur S tend à favoriser l'autonomie des équipes et des opérateurs (H2). Quatrièmement la situation physique du poste de contrôle en situation accidentelle sur S (n°9) nécessite une certaine autonomie de l'équipe dans ces situations. En situation accidentelle sur P l'équipe pourra être soutenue par d'autres opérateurs présents physiquement et son autonomie est moins nécessaire que sur S.

La dernière hypothèse formulée ici est que l'autonomie des opérateurs se développe davantage sur S que sur P (H3).

## **2.2 La résolution de problème**

En tenant compte des différences entre les deux systèmes et avec la connaissance des scénarios il est possible de formuler trois hypothèses quand à la résolution de problème :

- Impact des modes de conduite sur la résolution de problème

- Variabilité des réponses sur S
- Conformité au prescrit sur P

### 2.2.1 *Impact des modes de conduite*

Cette hypothèse s'appuie sur l'existence de modes de conduite événementiel et par état<sup>PN</sup> respectivement sur S et sur P. Les modes de conduite même s'ils ne sont pas « purs » vont impacter les choix et décisions prises dans les deux scénarios. Ainsi il sera possible de distinguer les deux systèmes en fonction des choix de conduite des équipes et ce pour les deux scénarios (H4).

Cette hypothèse sur l'impact du mode de conduite est justifiée pour les deux scénarios, mais elle est probablement plus vraie dans le cas du scénario standard que les opérateurs de S et P ont déjà joué au cours de leurs entraînements. Ils ont donc acquis antérieurement à l'étude un mode opératoire face au scénario standard déjà éprouvé en simulateur et cohérent avec le mode de conduite prescrit.

Face au scénario ambigu la réponse des opérateurs s'appuiera sur les ressources à disposition, dont le mode de conduite, les procédures, le travail d'équipe. Il est alors possible de formuler des hypothèses quant à la variabilité interne à chaque système sur les stratégies proposées par les équipes.

### 2.2.2 *Scénario ambigu sur S : variabilité des réponses*

Sur S, les opérateurs sont habitués à mener des diagnostics causaux. Dans le scénario ambigu, les opérateurs vont avoir tendance à chercher à comprendre une situation complexe ce qui peut les retarder dans les actions à entreprendre. En outre, si le comportement s'appuie sur les ressources à disposition – l'expertise des opérateurs et le travail collectif – il est possible d'observer une plus grande variabilité dans la conduite sur S que sur P (H5).

### 2.2.3 *Scénario ambigu sur P : conformité au prescrit*

Sur P, les opérateurs sont soutenus par l'approche par état<sup>PN</sup> spécialement conçue pour les aider à faire face dans les situations complexes. Les équipes face au scénario ambigu vont s'appuyer sur les procédures et pourront agir sans difficulté bien qu'ayant une compréhension

limitée de la situation. L'hypothèse formulée ici est que le niveau de détail important des procédures sur P et l'approche par état<sup>PN</sup> vont amener les équipes à des comportements similaires et conformes à la prescription (H6).

PARTIE III :  
CONTRIBUTIONS EMPIRIQUES



# Chapitre 6 : Diagnostic et résolution de problème

---

Dans la supervision de systèmes complexes le diagnostic joue un rôle prépondérant. Le protocole expérimental mis en place pour ce travail de recherche donne l'occasion de considérer 8 équipes sur deux systèmes comparables, face à deux scénarios de complexité variable.

L'objectif de ce chapitre est de caractériser premièrement la façon dont les équipes mènent leur diagnostic et répondent au scénario standard ou ambigu et deuxièmement les situations d'arbitrages auxquelles elles sont confrontées.

## 1 Méthode

### 1.1 Identification des processus soutenant le diagnostic

Lors de la phase de diagnostic, nous avons identifié quatre processus qui participent à la construction du diagnostic et permettent de rendre compte des différentes stratégies de conduite dans les scénarios :

- La qualification de l'événement
- L'arrêt de l'installation
- Le choix de la procédure
- La quantification du débit de fuite

Pendant leur diagnostic, les équipes font intervenir plusieurs de ces processus. Dans les trois premiers processus sont identifiées des « étapes » qui caractérisent où en est l'équipe dans la gestion du diagnostic en regard d'un des processus. Cela permet notamment d'identifier les stratégies de conduite des équipes.

### 1.1.1 Qualification de l'évènement

Le processus de qualification de l'évènement n'a d'intérêt réel que sur le scénario ambigu. Il s'agit pour les opérateurs de diagnostiquer l'évènement qui est en train de se produire. Sur le scénario standard, la nature de l'incident (ici fuite primaire/secondaire) est évident.

Dans le déroulement de ce processus, il y a une étape qui est la reconnaissance de la fuite primaire secondaire.

Les extraits de verbatim ci-dessous illustrent le processus de qualification de l'évènement dans les communications entre opérateurs.

*Kr (S amb 1) : En tout cas on n'est pas sur une fuite vapeur dans le CCN, ça c'est sûr*

*Ke (P amb 2) : Et l'eau on sait pas où elle va en fait ?*

*Kr (P amb 2) : J'ai une fuite mais on sait pas où*

*CdQ (P stand 2) : j'ai une fuite primaire secondaire*

La qualification de l'évènement est directement liée à la compréhension que les opérateurs ont de l'état du système.

### 1.1.2 La décision d'arrêt du réacteur

L'arrêt du réacteur est nécessaire dans tous les scénarios (voir § 1.2.2 du Chapitre 5). Il est intéressant de noter comment ce processus d'arrêt du réacteur est envisagé par les différentes équipes. Il peut être évoqué plus ou moins tôt dans la période de diagnostic.

On identifie deux étapes dans le processus d'arrêt :

- 1) Planification de l'arrêt : Les opérateurs informent les supérieurs de leur volonté d'arrêter le réacteur.
- 2) Action d'arrêt : L'opérateur Kr fait chuter les absorbants de contrôle pour stopper la réaction neutronique et arrêter le réacteur. Sur le système P les étapes 1 et 2 peuvent être simultanées.

Les extraits de verbatim ci-dessous illustrent le processus d'arrêt du réacteur dans les communications entre opérateurs.

*CdQ (S amb 2) : on a un [niveau pressuriseur] toujours en diminution avec une fuite supérieure à 50 kilos, donc on se dirige vers un arrêt du réacteur*

*Kr (P amb 1) : Principes de conduite, moi ils marquent arrêt réacteur et chaufferie immédiat si il y a dépassement du seuil S2 et si l'évolution du débit de fuite de la seconde barrière n'est pas maîtrisable*

Dans les scénarios observés, l'arrêt de l'installation peut se faire sur plusieurs critères :

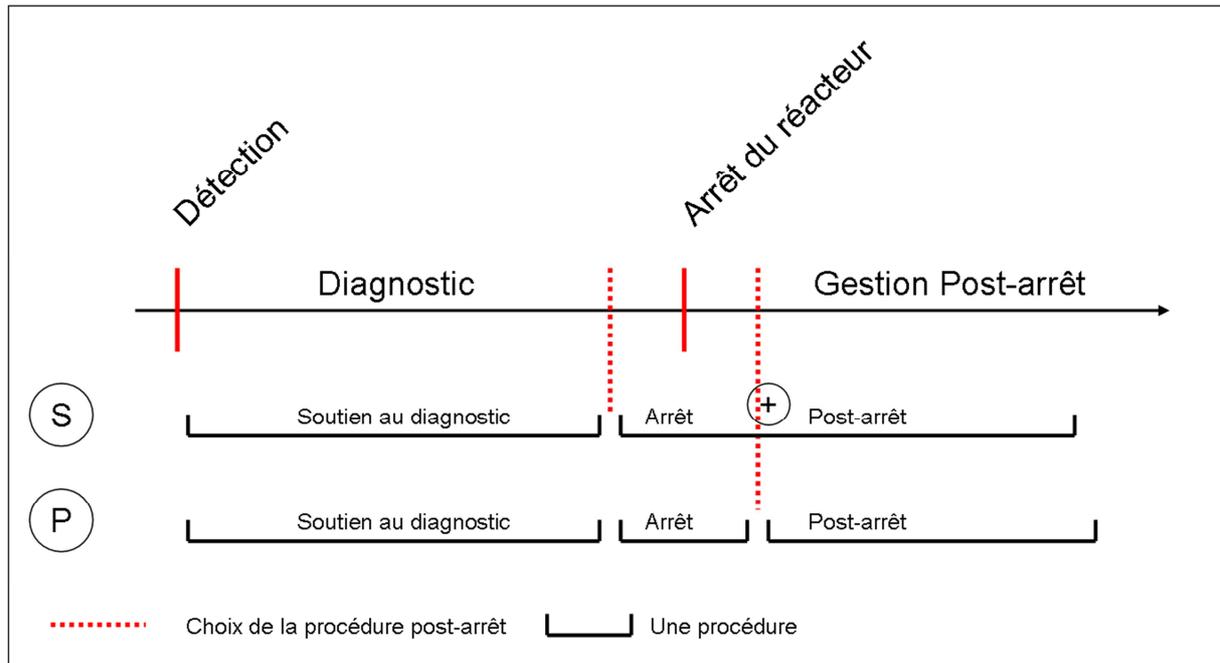
- l'identification de la fuite primaire/secondaire,
- le constat d'un débit trop élevé nécessitant l'arrêt du réacteur
- une demande des supérieurs (extérieure à l'équipe de quart).

Le processus d'arrêt du réacteur est rattaché à la nécessité d'agir.

### *1.1.3 Le choix de la procédure post-arrêt*

Le choix de la procédure est lié de façon plus ou moins directe à la compréhension que les opérateurs ont de l'état du système. En effet les objectifs de la gestion post-arrêt ne sont pas les mêmes selon la nature de l'accident. Dans le cas d'une fuite primaire secondaire, l'objectif à terme est de rendre les plus proches possibles les pressions des circuits primaire et secondaire et de remplir le GV en eau pour arrêter le déversement du fluide primaire vers le circuit secondaire. Dans le cas d'une fuite primaire externe, l'objectif à terme est de faire diminuer la pression primaire pour diminuer la fuite et la montée en pression du compartiment.

Comme l'indique la Figure 10, sur S c'est la même procédure qui permet d'arrêter le réacteur en toute sécurité et qui encadre la gestion post-arrêt. Sur P il y a une procédure dédiée à l'arrêt du système, de ce fait le choix de la procédure de gestion post arrêt se fait après avoir arrêté le réacteur.



**Figure 10 : Gestion des procédures en cas d'arrêt du réacteur**

Le choix d'une procédure se décompose en plusieurs étapes

- 1) Identification d'une procédure : L'équipe de quart se positionne sur la procédure post-arrêt à utiliser.
- 2) Action d'entrée dans la procédure : l'équipe conduit selon une procédure donnée. Sur le système P les étapes 1 et 2 peuvent se faire de façon simultanée.
- 3) Confirmation ou changement de la procédure : après un certain temps, l'évolution des paramètres confirme ou infirme le choix de la procédure et donc le diagnostic du type de fuite. Cette étape n'intervient pas dans le cas du scénario standard car le diagnostic y est immédiat. Sur les scénarios ambigus, la confirmation ou le changement de procédure s'opère avec une confirmation ou une rectification sur le diagnostic de la fuite.

Les extraits de verbatim ci-dessous illustrent le processus de choix de la procédure dans les communications entre opérateurs.

*Ke (S stand 2) : Donc c'est bien une fuite primaire secondaire, [procédure] 4.3.1.*

*CdQ (S amb 2) : les objectifs sont pas les mêmes si on a une primaire secondaire ou si on a la primaire*

*CdQ (P amb 2) : Ah maintenant on change de consigne de conduite oui par contre, ça c'est sûr*

*Kr (P amb 1) : On conduira selon la procédure fuite primaire externe.*

Pendant l'étape de diagnostic, faire le choix d'une procédure peut expliquer :

- l'identification d'un type de fuite donné
- une volonté d'agir pour ramener le système vers un état sûr, dans ce cas là, la nature de l'incident importe peu.

Le choix de la procédure post-arrêt relève à la fois de la compréhension de la situation et de la nécessité d'agir.

#### *1.1.4 La quantification du débit de fuite*

La quantification du débit de fuite permet d'évaluer la gravité de l'accident et de contrôler une éventuelle évolution du débit de fuite (augmentation ou diminution). Un débit de fuite qui augmente au cours du temps va imposer aux opérateurs des actions plus rapides ou radicales. Rappelons ici que le débit de fuite a été choisi de manière à rendre une action nécessaire au cours de la simulation sans nécessairement que ce soit urgent (voir § 1.2.2 du chapitre 5).

Les extraits de verbatim ci-dessous illustrent le processus de quantification du débit de fuite dans les communications entre opérateurs.

*Km (S amb 1) : Oui je suis aux alentours des 200 kilos... Mais je sais pas si je suis bon*

*CdQ (P amb 2) : ça veut dire qu'on aurait un débit de fuite qui serait de l'ordre de 800l/h*

Ce processus permet aux opérateurs de maintenir un niveau de « situation awareness ».

Pendant la période du diagnostic, d'autres actions s'ajoutent aux quatre « processus » : les actions qui permettent de compenser les effets de la fuite, les communications avec les différents interlocuteurs du bord, la gestion du personnel et la gestion de la contamination.

## 1.2 Codage du diagnostic

Pour spécifier les diagnostics menés par les équipes dans chaque scénario, l'analyse s'est portée en priorité sur les échanges verbaux. Dans la conduite des réacteurs embarqués, les opérateurs sont habitués à annoncer toutes leurs actions. S'ajoutent à ces annonces, des verbalisations autour du diagnostic, de la synchronisation cognitive et opératoire. L'étude des échanges verbaux a donc du sens pour accéder à la compréhension qu'ont les opérateurs des situations rencontrées.

Pour chaque équipe, l'analyse s'est faite sur la transcription de la phase de diagnostic qui commence à la détection de la fuite et s'arrête au choix de la procédure de gestion post arrêt. L'intégralité de la phase de diagnostic a été codée.

Le codage choisi pour représenter le diagnostic mené sur une équipe est basé sur les quatre processus présenté précédemment. Dès que l'un des processus est évoqué par l'un des opérateurs, cela est indiqué sur le schéma. L'extrait de diagnostic de l'équipe S stand 1 présenté en Figure 11 illustre comment l'évocation d'un processus est codé et les étapes franchies par les opérateurs.

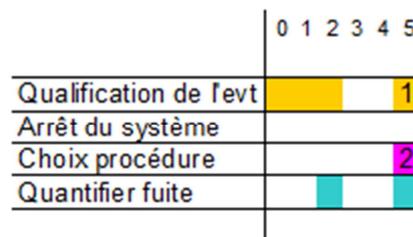


Figure 11 : Codage du diagnostic

Sur l'extrait proposé, les opérateurs échangent sur la nature de la fuite jusqu'à la minute 2. Pendant la minute 2, un opérateur annonce un bilan d'eau. A la minute 5 les opérateurs identifient la fuite primaire secondaire et choisissent d'entrer dans la procédure de fuite

primaire secondaire en même temps qu'un second bilan d'eau est annoncé. On constate que les minutes 3 et 4 sont « vides » cela indique qu'aucun des processus du diagnostic n'est mentionné pendant ces périodes. Il ne faut pas comprendre que les opérateurs ne font rien dans ces minutes « vides », comme évoqué précédemment, parallèlement au diagnostic, ils ont d'autres actions à mener.

Pour pouvoir comparer les phases de diagnostic des équipes, il a été décidé de représenter le diagnostic d'un point de vue temporel. A chaque minute, sont indiqués les processus évoqués ainsi que les étapes franchies (voir descriptif dans le § 1.1). En moyenne, en une minute, il y a 21 verbalisations sur S alors que sur la même période il y en a 12 sur P. Au cours d'une minute le nombre de verbalisations varie entre 5 et 36 sur S et entre 2 et 30 sur P. Cet échantillonnage en minute est assez fin pour révéler toutes les étapes du diagnostic en étant cohérent avec la répartition des verbalisations dans le temps sur les deux systèmes. Un échantillonnage inférieur à la minute sur P n'apporterait pas d'information supplémentaire. Enfin ce choix présente l'avantage d'être commun à S et P, ce qui facilite la comparaison.

### 1.3 Identification de situations d'arbitrages

L'analyse des stratégies mises en œuvre sur S et P sur le scénario ambigu invite à s'interroger sur les situations d'arbitrage auxquelles les opérateurs sont confrontés.

Il s'agit de situations où :

- une décision est nécessaire,
- il n'existe pas de savoir ou de règle fournissant la conduite à suivre de façon univoque,
- il existe un enjeu dans la décision.

Les actions issues des prises de décision n'ont pas engendré de difficultés dans la gestion de la situation mais au dire des formateurs, ce sont des prises de décisions qui ne sont ni immédiates – dans le sens facile à prendre – ni prescrites formellement – aucune prescription n'indique de prendre la décision qui a été prise.

Dans ces prises de décision « délicates » émerge l'aspect géré de la sécurité. L'analyse présentée ici ne prétend à aucune exhaustivité des situations où la sécurité gérée peut apparaître dans les scénarios étudiés sur S et P, mais plutôt à l'étude de quelques décisions dans lesquelles il est certain que du « géré » intervient. C'est pourquoi uniquement six situations d'arbitrages sont présentées.

Dans les prises de décision proposées, nous avons répertorié trois cas de figure :

- Le premier est une prise de décision en divergence avec la prescription alors qu'une procédure existe de manière explicite mais que son application prête à interprétation. Les opérateurs l'ont en main au moment de la décision.
- Le second concerne une prise de décision en opposition avec la prescription alors qu'une procédure existe mais qu'elle ne semble pas facilement applicable.
- Le dernier est une prise de décision en marge des procédures puisqu'aucune ne s'applique. La prescription est alors portée par la hiérarchie.

Le choix des situations d'arbitrage s'appuie sur les retours des formateurs en débriefing qui pointent une décision délicate ou sur les remarques des formateurs lors de la validation des scénarios en simulateurs (voir § 1 du chapitre 5).

## 2 Résultats

### 2.1 Analyse du diagnostic

#### 2.1.1 Scénario standard

Sur le scénario standard la réaction des deux équipes d'un même système sont très semblables.

Sur S les opérateurs identifient la fuite primaire secondaire en 4 à 5 minutes après la détection de la baisse du niveau pressuriseur ou la détection de radioéléments. Le choix de la procédure est quasi-immédiat ; s'ensuit l'identification de l'arrêt du réacteur. Sur accord des supérieurs, les équipes arrêtent le réacteur au bout d'une vingtaine de minute (voir Figure 12 et Figure 13).

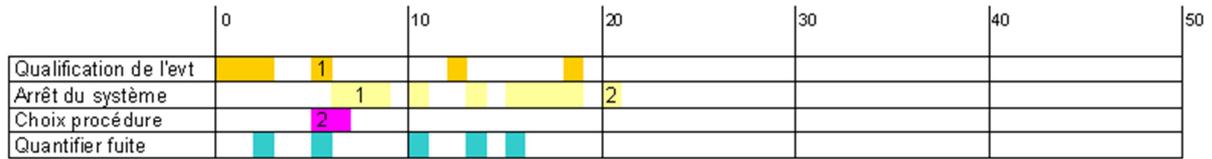


Figure 12 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S stand 1

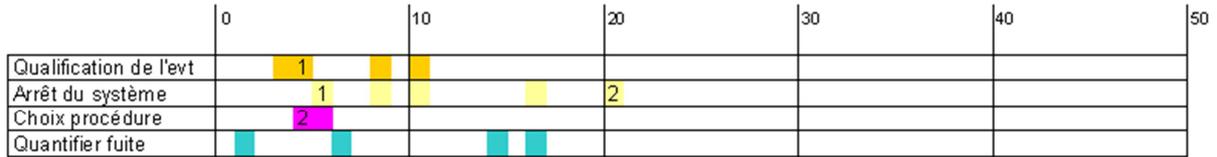


Figure 13 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S stand 2

Sur P, dans le cas du scénario standard, les actions des équipes sont beaucoup plus rapides que sur S (voir Figure 14 et Figure 15). La détection de la fuite se fait sur la baisse du niveau pressuriseur ainsi que sur la détection de radioéléments. Cela entraîne de manière quasi immédiate l'action d'arrêt du réacteur, en moyenne 2 minutes après la détection. Ensuite les équipes identifient sans difficulté la procédure de gestion post accidentelle.

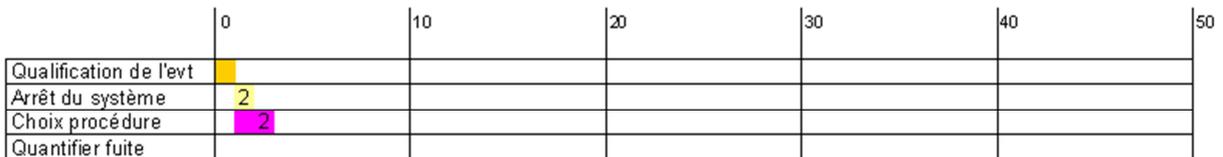


Figure 14 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P stand 1

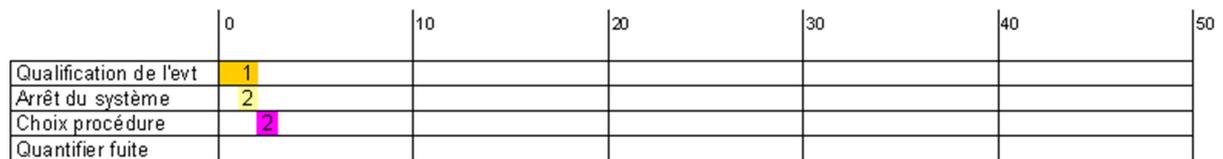
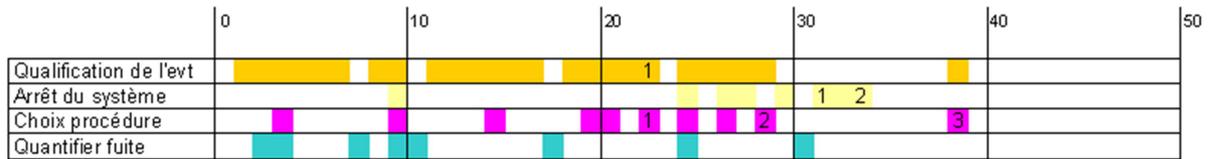


Figure 15 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P stand 2

### 2.1.2 Scénario ambigu

L'étude du diagnostic dans les scénarios ambigus révèle différentes stratégies de conduite dans les équipes de S et de P.



**Figure 16 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S amb 1**

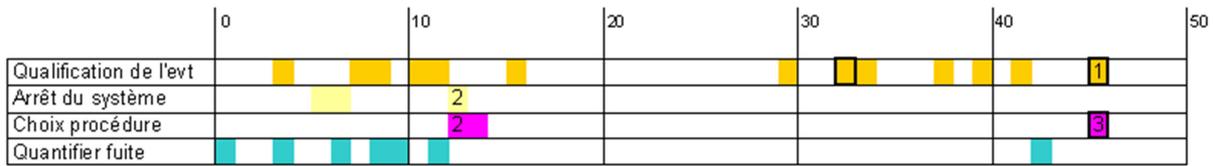
L'équipe S amb 1 cherche en premier lieu à qualifier la nature de l'évènement. On remarque sur la Figure 16 que des échanges sur la qualification de l'évènement sont quasiment ininterrompus pendant 27 minutes. A la 22<sup>ème</sup> minute ils corrèlent la baisse du niveau pressuriseur et la montée de la bêche machine et diagnostiquent ainsi une fuite primaire/secondaire. Ce faisant ils choisissent la procédure adéquate. Ils planifient l'arrêt de l'installation à la 31<sup>ème</sup> minute. Après avoir arrêté le système, ils confirment leur diagnostic grâce à la montée du niveau d'eau dans le circuit secondaire.



**Figure 17 : Déroulement du diagnostic de l'équipe S amb 2**

L'équipe S amb 2 identifie au bout de la 14<sup>ème</sup> minute que le débit de fuite est trop important pour continuer à fonctionner dans ces conditions. Ils planifient l'arrêt du réacteur (Figure 17). Ce seuil de débit est indiqué dans des règles générales d'exploitation et ne se rattache pas directement à une procédure d'action. Pour l'équipe de quart, la qualification de la fuite devient alors secondaire puisqu'ils s'acheminent vers l'arrêt du réacteur. Cela explique des échanges moins suivis sur la qualification de l'évènement. La cellule de réflexion donne son accord pour arrêter le réacteur et à ce moment là les opérateurs ne peuvent s'exécuter immédiatement parce qu'ils n'ont pas choisi de procédure de gestion post-arrêt. L'approche de l'arrêt du réacteur relance les discussions au sujet de la nature de la fuite (à partir de la 24<sup>ème</sup> minute). Les opérateurs en accord avec la cellule de réflexion choisissent la procédure de fuite primaire/externe pour arrêter le système et décident de différer la qualification de l'évènement. Après avoir arrêté le système la surveillance des paramètres indique une montée du niveau d'eau dans le circuit secondaire. Ils identifient alors qu'ils sont en présence d'une fuite primaire secondaire et ils s'orientent sur la procédure de la fuite primaire secondaire.

Ce qui diffère entre ces deux équipes dans le diagnostic c'est le moment de la planification de l'arrêt du réacteur : S amb 1 à la 31<sup>ème</sup> minute et S amb 2 à la 14<sup>ème</sup> minute. De même les échanges sur la qualification de l'événement sont plus nombreux et suivis dans le temps pour l'équipe S amb 1.



**Figure 18 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P amb 1**

L'équipe P amb 1 détecte la baisse du niveau pressuriseur, estime que le débit de fuite est trop important et que cela nécessite l'arrêt du réacteur. Ce qu'ils font 12 minutes après la détection (voir Figure 18). Ensuite ils décident d'entrer dans une consigne, celle de la fuite primaire/externe dans l'objectif de ramener le système vers l'état sûr. La démarche des opérateurs est de choisir une procédure post arrêt (peut-être la plus probable) en sachant pertinemment que l'évènement est non diagnostiqué pour mettre le réacteur dans un état sûr et maîtrisé. Une fois cette étape terminée ils planifient de mener un diagnostic plus poussé. On observe pendant une dizaine de minutes (de la 17<sup>ème</sup> à la 29<sup>ème</sup> minute) une absence d'échanges autour du diagnostic, cela s'explique par le fait qu'ils ont basculé dans une phase de gestion post-arrêt. Ils sont interrompus dans cette phase par la cellule de réflexion qui les sollicite pour faire un test caractéristique de la fuite primaire secondaire à la 32<sup>ème</sup> minute. Sur le schéma, l'intervention de la cellule de réflexion est signalée par un cadre noir sur la cellule. Cela cause de nouveaux échanges sur la nature de la fuite, mais cela n'impacte pas dans un premier temps leur objectif de rejoindre un état sûr avant de mener un diagnostic plus poussé. A la 45<sup>ème</sup> minute, la cellule de réflexion leur indique qu'ils sont dans une situation de fuite primaire/secondaire et qu'ils doivent changer la procédure de conduite.

Après l'arrêt du réacteur, les opérateurs de l'équipe P amb 1 ne peuvent pas constater la montée d'eau dans le circuit secondaire car ils ont oublié d'isoler un pompage qui prend de l'eau dans le circuit secondaire et qui compense l'apport d'eau lié à la fuite. Ainsi le niveau d'eau du circuit secondaire n'évolue pas significativement. De plus, comme ils ne pensent pas être dans une situation de fuite primaire/secondaire, ils ne cherchent pas nécessairement à surveiller le niveau du circuit secondaire.



**Figure 19 : Déroulement du diagnostic de l'équipe P amb 2**

Dans le scénario P amb 2 l'équipe de quart détecte une baisse du niveau pressuriseur, ils estiment que la fuite est suffisamment maîtrisable pour se donner un délai de 24h afin de mieux identifier la fuite. Ce délai est autorisé par les procédures. Pour les besoins de la simulation, la cellule de réflexion demande à l'équipe de quart d'arrêter le réacteur. Comme la situation n'est pas urgente, l'équipe procède à une mise « bas-les-feux » normale plus longue que l'arrêt d'urgence. Cet arrêt normal prend environ 30 minutes, le temps de la mise bas les feux n'a pas été analysé puisqu'il n'y est pas évoqué la question du diagnostic. Ainsi sur la Figure 19 les actions de l'équipe n'ont pas été analysées entre la minute 47 et la minute 74. Une fois le réacteur arrêté, se pose la question de la procédure à utiliser. L'équipe de quart suggère la procédure de la fuite primaire/externe. Après discussion avec la cellule de réflexion ils entrent dans la procédure d'orientation à la 82<sup>ème</sup> minute. A la fin de la simulation ils constatent que le niveau d'eau dans le circuit secondaire a monté et en déduisent qu'ils sont en présence d'une fuite primaire/secondaire.

Les équipes P amb 1 et P amb 2 ont des réponses très différentes face au scénario ambigu. L'équipe P amb 1 estime que le débit de fuite est trop important et qu'il est nécessaire d'arrêter le réacteur à la 12<sup>ème</sup> minute, alors que l'équipe P amb 2 envisage la question de l'arrêt vers la 30<sup>ème</sup> minute suite à la demande de la cellule de réflexion. La gestion du diagnostic par l'équipe P amb 2 les mobilise davantage et de façon plus continue sur la qualification de l'évènement.

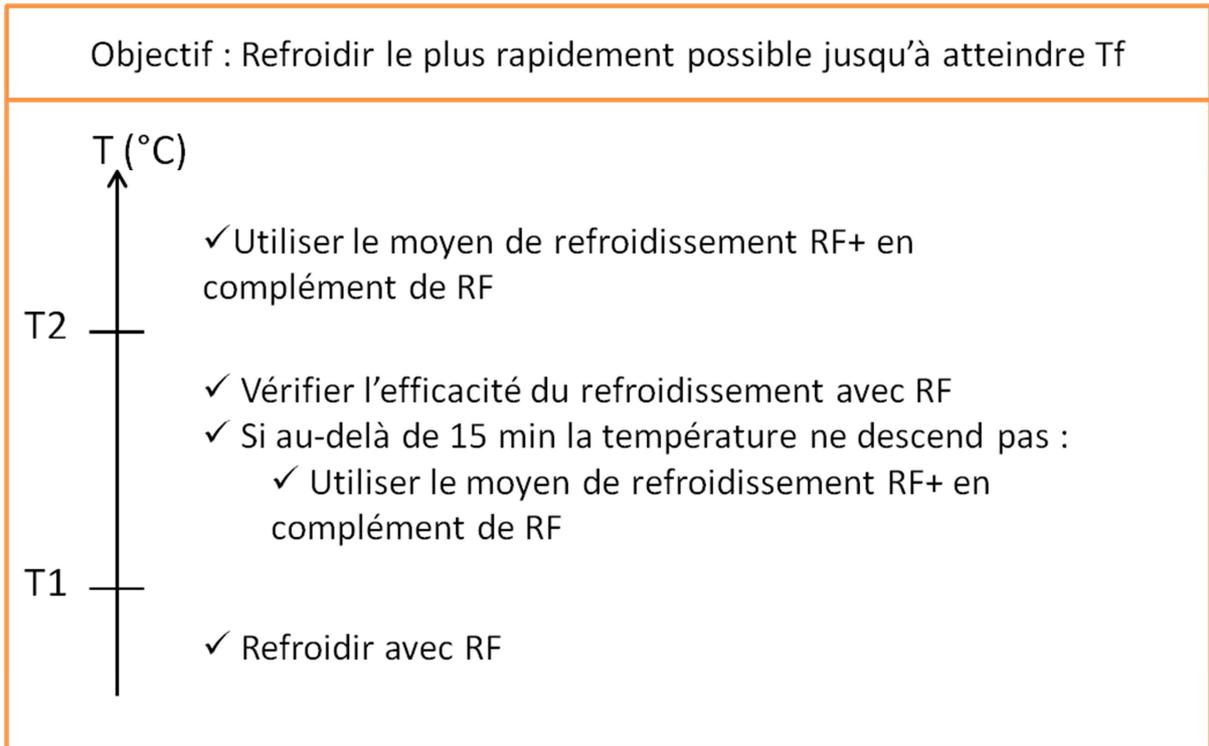
En annexe 3 sont rassemblés le diagnostic des 8 équipes permettant d'avoir une vue de synthèse des différentes stratégies observées.

## 2.2 Des prises de décision délicates

La gestion du scénario ambigu par les deux équipes de S et de P montre que les opérateurs ne réagissent pas de façon univoque et adoptent des stratégies différentes. Sur S ce constat est relativement peu surprenant compte tenu du fait que la prescription a un niveau de guidage bien moins conséquent que sur P, il est alors envisageable sur S qu'on observe globalement une variabilité plus importante dans la réponse des équipes face à des scénarios ambigus (voir H5, §2.2.2 du Chapitre 5). En revanche sur P, où le mode de conduite par état<sup>PN</sup> a été mis en place, ce résultat est davantage surprenant (voir H6, §2.2.3 du Chapitre 5). On peut alors s'intéresser au contexte qui rend nécessaire l'intervention de la sécurité gérée sur P. Ci-dessous sont présentées cinq situations d'arbitrages (ou prises de décision délicates) sur P et une à titre d'illustration sur S.

### 2.2.1 *Gérer un conflit d'objectifs*

La prise de décision exposée dans ce paragraphe a été faite par les équipes P stand 1 et P stand 2. La situation se passe après l'arrêt du réacteur, lorsque les opérateurs sont dans la procédure de la fuite primaire secondaire et doivent gérer l'abaissement des différents paramètres de température et de pression. La décision porte sur les moyens d'action pour pouvoir refroidir le système. La Figure 20 présente les actions que les opérateurs sont supposés mettre en œuvre en fonction de l'état dans lequel le système se trouve.



**Figure 20 : Extrait adapté de la procédure « Fuite primaire secondaire »<sup>6</sup>**

La procédure propose pour une température comprise entre T1 et T2 d'utiliser le moyen de refroidissement normal RF et si ce dernier s'avère inefficace sur une durée de 15 minutes, d'utiliser en plus le moyen de refroidissement RF+.

L'autre point qui n'apparaît pas dans la procédure mais dont les opérateurs ont connaissance est que l'utilisation du moyen de refroidissement RF+ a un impact sur la contamination en radioéléments d'un compartiment.

P stand 1, Débriefing

*Formateur : le fait d'utiliser RF+, outre mettre des radioéléments partout dans le compartiment ce qui n'est quand même pas rien, va venir impacter la température et la pression du compartiment et donc votre conduite va avoir un impact sur votre conduite de la 3<sup>ème</sup> barrière. Faut avoir ça à l'esprit. Vous avez une barrière déjà qui est morte, la 2<sup>ème</sup>. La 2<sup>ème</sup> barrière elle est morte, il faut pas aller en attaquer une autre [...] c'est dommage que vous ayez attaqué la 3<sup>ème</sup> barrière.*

<sup>6</sup> T1 et T2 sont deux valeurs de température, Tf est la température à atteindre avec le refroidissement, Tf est très inférieure à T1.

L'extrait du débriefing ci-dessus informe que l'utilisation du moyen de refroidissement RF+, même s'il est indiqué dans la procédure, n'est pas sans conséquences du point de vue de la contamination.

P stand 1

L'équipe P stand 1 a une température inférieure à T1 et se trouve au moment de la gestion du refroidissement face à la procédure présentée Figure 20.

P stand 1, verbatim, t = 6min

*Kr (CdQ) : Refroidissement donc on a une température inférieure à T1 donc RF est disposé, l'efficacité elle n'est... pas terrible*

*CdQ (Kr) : Il faut refroidir avec RF*

*Kr (CdQ) : Voilà, au-delà de 15 minutes, si la température ne redescend pas, j'utiliserai RF+*

*CdQ (Kr) : On est en dessous de T1, normalement c'est refroidir avec RF non?*

*Kr (CdQ) : C'est avec RF et si au bout de 15 minutes, la température ne descend pas, j'utiliserai RF+ en complément de RF l'objectif étant de refroidir le plus rapidement possible jusqu'à l'état final.*

*CdQ (Kr) : reçu*

...

t = 9min

*Kr (CdQ) : La température bouge pas trop, donc ça fait moins de 15 minutes donc je ferai tomber la température avec RF+ au-delà de 15 minutes, si y a pas d'efficacité, pour l'instant ça bouge pas*

...

t = 11min

*CdQ (Kr) : Si c'est nécessaire, on utilisera peut-être RF+ [...]*

*Kr (CdQ) : Donc si y a pas d'effet sur la température d'ici 5 minutes, je propose d'utiliser RF+*

*CdQ (Kr) : On va voir, on surveille*

...

t = 12 min

*Kr (CdQ) : Pour maintenir mon paramètre de MdP, il faut avoir une efficacité sur la température [...] Il faudrait utiliser RF+*

*CdQ (Kr) : Elle ne bouge pas, on va... on regarde l'évolution pour l'instant...*

*Kr (CdQ) : On est stabilisé*

*CdQ (Kr) : Pour l'instant on a stabilisé [...]*

*Kr (CdQ) : On met en œuvre RF+, c'est ce qu'il faut faire.*

*CdQ (Kr) : Oui mais comme ils nous disent de refroidir si besoin...*  
*Kr (CdQ) : On a besoin là*  
*CdQ (Kr) : RF ne fonctionnant pas*  
*Kr (CdQ) : On a besoin de refroidir là*  
*CdQ (Kr) : On a besoin de refroidir, on va utiliser RF+ comme on nous l'avait proposé avant*  
*Kr (CdQ) : Je mets en œuvre RF+*  
*CdQ (CRef) : Cellule de réflexion de CdQ, on met en œuvre RF+ pour baisser la température*  
*CRef (CdQ) : Bien pris*

Cet extrait montre que les opérateurs n'arrivent pas à faire diminuer la température avec la seule utilisation de RF. Le Kr demande donc avec insistance de pouvoir mettre en œuvre RF+ après un délai initial de 15 minutes qui va finalement se réduire à 6 minutes. C'est l'objectif de refroidir le plus rapidement possible ajouté à la contrainte du paramètre Mdp qui va pousser les opérateurs à utiliser RF+ alors que leur température est toujours inférieure à T1. En effet il faut noter que le paramètre Mdp est un des paramètres importants que les opérateurs doivent surveiller, particulièrement en situation accidentelle.

### P stand 2

La situation dans laquelle se trouve l'équipe P stand 2 n'est pas exactement identique. Dans leur cas la température est entre les valeurs T1 et T2

P stand 2, verbatim, t = 9 min

*Kr (CdQ) : il faut que je descende ma température*  
*CdQ (Kr) : Oui donc à ce moment là... forcez... non RF est au max*  
*Kr (CdQ) : Il est au max*  
*CdQ (Kr) : Ok, si on n'arrive pas à faire descendre la température...*  
*Kr (CdQ) : RF+, c'est tout ce qui me vient*  
*CdQ (Kr) : Oui si dans 10 minutes on descend toujours pas en température, on fera un petit coup de RF+*  
*Kr (CdQ) : bien*  
*CdQ (Kr) : Oui donc on évite au possible*  
...

t = 10 min

*Kr (CdQ) : Ma température reste stable*  
*CdQ (Kr) : Allez on met la réfrigération à bloc partout là*

Les opérateurs discutent de la possibilité d'utiliser le moyen de refroidissement RF+. Ils se donnent un délai de 10 minutes avant d'agir et le CdQ rappelle qu'il faut éviter « au possible » ce moyen de refroidissement. On peut faire l'hypothèse que cette précaution tient compte de l'impact sur la contamination que pourrait avoir l'utilisation de RF+. L'opérateur Kr mentionne que la température ne diminue pas.

P stand 2, verbatim, t = 12 min

*CdQ (Kr) : On met en fonction RF+*

*CdQ (CRef) : Cellule de réflexion de CdQ*

*CRef (CdQ) : oui j'écoute*

*CdQ (CRef) : j'arrive pas à descendre en température donc je vais devoir mettre en œuvre RF+, je mets en œuvre RF+*

*CdQ (Kr) : Allez c'est parti*

*CRef (CdQ) : On va pas tout salir?*

*CdQ (CRef) : Si mais faut qu'on descende parce que là on descend pas, normalement faut rallier Tf le plus rapidement possible... c'est un risque à prendre, mais on le prend*

*CRef (CdQ) : Reçu*

Au bout de 3 minutes, le CdQ décide d'utiliser le RF+ pour abaisser la température.

Pour les deux équipes, on remarque que cette décision ne suit pas à proprement parler la prescription, sans non plus être en contradiction avec cette dernière. Pour être strictement conforme à la procédure, les opérateurs auraient dû attendre un délai de 15 minutes et vérifier l'inefficacité du RF avant d'utiliser RF+. Cependant l'objectif fixé dans la procédure est de « refroidir le plus rapidement possible ». Cet objectif peut être jugé contradictoire avec la prescription d'attendre 15 minutes.

Dans les deux équipes, on peut noter que cette décision est prise sans que ni le Kr ni le CdQ n'explicitent les conséquences qu'elle aurait sur la contamination du compartiment. Pour l'équipe P stand 2, lorsque la cellule de réflexion émet un commentaire sur ce point, le CdQ tranche net « c'est un risque à prendre, mais on le prend ».

Dans l'entretien avec cette équipe, l'opérateur RR (Rondier Réacteur) et le CdQ reviennent sur cette décision. Ils la qualifient « d'évènementielle » (en opposition à « par état<sup>PN</sup> ») parce qu'ils ne sont pas dans le suivi strict de la prescription.

P stand 2, Entretien

*RR : quelque part... c'est vrai que tout à l'heure on parlait de refroidissement, c'est vrai qu'il y a marqué refroidir le plus rapidement possible, il n'y a pas marqué effectuer un refroidissement d'urgence c'est une nuance dure. [...]*

*Là tout à l'heure, RF+ c'est que c'était un peu d'évènementiel, parce qu'on n'était pas dans le cas de l'utiliser.*

*CdQ : oui mais on descendait pas*

*RR : on descendait pas, il fallait faire quelque chose*

Ces prises de décision montrent que les procédures en elle-même peuvent comporter des ambiguïtés et que les opérateurs doivent parfois prendre des décisions qui ne sont pas totalement conformes. Cela montre l'intervention de la sécurité gérée même en scénario standard, avec une procédure.

### 2.2.2 *Le choix de la procédure en situation ambiguë*

Les prises de décisions étudiées dans ce paragraphe concernent le choix de la procédure de gestion post arrêt des équipes placées dans le scénario ambigu. En approche par état type propulsion nucléaire, le choix de la procédure de gestion post-arrêt (s'il n'est pas évident comme dans le cas du scénario standard) est soutenu par une procédure d'orientation qui aide les opérateurs dans leur diagnostic (voir § 1.2.3 du chapitre 5). Lorsqu'ils « sortent » de la consigne d'orientation, ils « entrent » dans une consigne de gestion post-arrêt. Sur P, deux procédures accidentelles permettent de faire la gestion post-arrêt d'une fuite primaire, il s'agit de la procédure de la fuite primaire externe et de la procédure de la fuite primaire secondaire.

#### *P amb 1*

Juste avant le début de l'extrait proposé ci-dessous, les opérateurs viennent de confirmer leur calcul de débit de fuite, qu'ils jugent trop important.

P amb 1, verbatim, t = 12 min

*CdQ (Kr) : C'est un cas d'arrêt chaufferie...*

*Kr (CdQ) : C'est un cas d'arrêt réacteur, [...] on conduira selon la procédure fuite primaire externe*

*CdQ (Kr) : Primaire externe ? Ok*

...

t = 15 min

*CdQ (Kr) : Donc là on est exactement dans une fuite primaire externe, une fuite primaire non diagnostiquée pardon [...] donc il faut faire chuter la pression primaire pour diminuer le débit de fuite*

Dans l'extrait, Kr et CdQ commencent par acter qu'ils doivent arrêter le réacteur. Tout de suite après le Kr propose la procédure de la fuite primaire externe. Le CdQ valide son choix sans le discuter. Quelques minutes plus tard, le CdQ précise qu'ils sont face à une fuite primaire « non diagnostiquée ».

Lors du débriefing, le formateur revient sur ce choix.

P amb 1, Débriefing

*Formateur : oui mais pourquoi entrer dans la primaire externe, sur quel critère vous entrez dans la primaire externe ? Que sur le débit, ça suffit pas !*

*CdQ : de mémoire... ça permet si on comprend rien...*

*Formateur : non non non la primaire externe c'est fuite primaire externe, pour entrer dans la fuite primaire externe, il faut qu'il y ait un paramètre qui vous indique que vous êtes en présence d'une fuite primaire externe, c'est-à-dire présence d'eau dans les cales ou conditions d'ambiance dans le compartiment...*

*CdQ : la procédure incidentelle dit que dans le flou quand on est perdu on entre dans la primaire externe*

*Formateur : non non dans le flou si vous êtes perdus c'est la consigne d'orientation et c'est celle là que vous auriez dû prendre.*

Le formateur indique aux opérateurs qu'ils auraient dû prendre la consigne d'orientation puisque l'équipe n'avait pas diagnostiqué la fuite. Au cours de l'entretien, les opérateurs sont revenus sur cette décision. L'extrait ci-dessous illustre le point de vue du CdQ.

P amb 1, Entretien

*CdQ : pour moi dérouler la procédure primaire externe, c'est stabiliser les paramètres. La réflexion elle vient soit de la cellule de réflexion soit plus tard quand on est clair. On a à gérer la reconfiguration électrique, la machine, la stabilisation des paramètres et voir ce qu'il y a de disponible en fonction des conditions électriques. A ce moment là on se pose plus la question de savoir d'où ça vient. [...] On déroule la consigne.*

...

*CdQ : Je savais qu'il y avait une fuite primaire, mais encore une fois, il était exclu de prendre dans la procédure primaire secondaire puisqu'on n'était pas du tout dans le secondaire, les capteurs de radioéléments ils étaient clairs, le niveau d'eau dans le secondaire il bougeait pas d'un iota*

...

*Intervenant : par défaut dans la primaire externe et pas dans la consigne d'orientation ?*

*CdQ : La consigne d'orientation pour moi on est dans le flou total. Je suis certain de la présence d'une fuite primaire, je sais qu'il y a une fuite primaire. Et dans ma tête, au niveau des fuites, la primaire/secondaire, moi je le traite à part parce qu'on la voit sur les capteurs.*

L'extrait de l'entretien permet de cerner davantage la stratégie du CdQ au moment du choix de la procédure. Il exclut de choisir la procédure de la fuite primaire secondaire parce qu'il n'a pas d'évolution des capteurs de radioéléments. Par ailleurs il ne souhaite pas prendre la procédure d'orientation car il est sûr de son diagnostic de fuite primaire. Il sait en effet d'où part l'eau mais il ne sait pas où elle part. Par déduction il choisit la procédure fuite primaire externe qui lui permet de stabiliser les paramètres de la chaufferie. Au bout de 30 minutes après la détection de la fuite, le CdQ annonce : « Objectif, on est en refroidissement, on vise une température égale à  $T_f$ , on fera un diagnostic à ce moment là ». Tout au long de la gestion de la fuite il est bien conscient de ne pas avoir diagnostiqué la nature de la fuite, mais pour lui le choix sûr c'est d'abord d'arrêter l'installation.

### P amb 2

L'équipe P amb 2 demande un délai de 24h pour pouvoir diagnostiquer le type de fuite, considérant que la fuite est « maîtrisable ». Elle est arrêtée dans sa démarche par la cellule de réflexion qui lui demande d'arrêter le réacteur. Une fois l'arrêt du réacteur terminé, se pose la question de la procédure à suivre.

P amb 2, verbatim, t = 75 min

*CRef (CdQ) : Vous conduisez selon quoi ? [sous-entendu, selon quelle procédure]*

*CdQ : Ah maintenant on change de consigne de conduite oui par contre, ça c'est sûr*

*RR (CdQ) : Oui... je partirai sur la procédure incidentelle... je sais pas faut voir...*

*RR (Kr) : La procédure incidentelle elle dit quoi par rapport au débit, dans quelle consigne il faut aller ? [...]*  
*Kr (RR) : Je dirais primaire externe [...]*  
*RR (CdQ) : Primaire externe d'après la procédure incidentelle chapitre 1 page 13 sur les fuites*  
*CdQ (RR) : Primaire externe, c'est la procédure incidentelle qui vous dit ça ?*  
*RR (CdQ) : Oui*  
*CdQ (CRef) : Cellule de réflexion de CdQ*  
*CRef (CdQ) : oui j'écoute*  
*CdQ (CRef) : Après cas d'arrêt volontaire, suivant la procédure incidentelle donc chapitre 1 page 13 [en lisant] cas d'arrêt volontaire, après l'arrêt conduire la chaufferie selon la procédure primaire externe*

Comme l'équipe P amb 1, les opérateurs de l'équipe P amb 2 suggèrent de conduire la fuite en suivant la procédure de la fuite primaire externe. L'intervention de la cellule de réflexion va les amener à réévaluer ce point de vue.

P amb 2, verbatim, t = 78 min

*CRef (CdQ) : Est-ce qu'on sait ce qu'on a comme fuite ?*  
*RR (CdQ) : Oui on n'a pas trouvé, elle va pas dehors, on n'a pas les capteurs de radioéléments donc c'est dans le compartiment...*  
*CdQ (RR) : On sait même pas où ça va dans le compartiment [...]*  
*RR (CdQ) : Non mais arrêt du réacteur sur une fuite de ce débit, pour moi on est dans la primaire externe [...] On conduit selon la primaire externe et après elle nous redirigera sur...*  
*CdQ (CRef) : Cellule de réflexion de CdQ*  
*CRef (CdQ) : oui j'écoute*  
*CdQ (CRef) : Donc là je vous reconfirme qu'on va conduire selon la primaire externe*  
*CRef (CdQ) : Donc ça veut dire que t'as diagnostiqué la fuite, tu sais ce que t'as comme fuite*  
*CdQ (CRef) : Pour moi les fuites, y en a pas 36000, j'ai pas de niveau, j'ai pas d'écart à la bêche de détente, y a aucun des niveaux qui a bougé à part le pressuriseur, fuite primaire secondaire, j'ai aucun capteur de radioélément qui est sorti, le niveau GV ne bouge pas non plus [...]*  
*CRef (CdQ) : Dans la procédure incidentelle c'est pas marqué que si le diagnostic n'est pas fait, on va vers une autre consigne ?*  
*CdQ (CRef) : Sinon ce serait la consigne d'orientation*  
*CRef (CdQ) : Ben ton diagnostic il est clair ou pas ?*  
*CdQ (CRef) : Non il n'est pas clair, donc consigne d'orientation*  
*CRef (CdQ) : Reçu*

*CdQ : On prend la consigne d'orientation*

Dans un premier temps l'équipe P amb 2 confirme sa proposition de poursuivre la conduite avec la procédure de fuite primaire externe. Ensuite la cellule de réflexion les guide vers la procédure d'orientation.

Lorsque l'opérateur RR dit : « on conduit selon la primaire externe et après elle nous redirigera sur... », il propose de prendre la procédure primaire externe. Si cette dernière ne correspond pas à la situation qu'ils gèrent, le diagnostic à mener à la fin de la procédure (voir § 3.3 de l'Introduction) leur permettra de se réorienter correctement.

Face à une situation complexe et ambiguë où la règle à appliquer n'est pas évidente, il y a une nécessité de s'appuyer sur d'autres éléments que le suivi strict des procédures. Ce qui va influencer les opérateurs dans leur décision va être la stratégie qu'ils souhaitent mettre en œuvre (action ou compréhension), leurs connaissances, l'intervention de la cellule de réflexion. Au final les décisions prises ne sont pas les mêmes, et la prise de décision ne se fait pas de la même manière.

Pour l'équipe P amb 1, la stratégie de l'action pousse à prendre une procédure pour pouvoir agir, sans avoir diagnostiqué la nature de l'évènement. L'opérateur Kr n'argumente pas son choix, le CdQ valide sa proposition et la cellule de réflexion ne revient pas sur ce choix. Pour le CdQ la priorité est l'action pour amener le système dans un état sûr.

Pour l'équipe P amb 2, les opérateurs réfléchissent à la procédure à prendre, cherchent dans la documentation et proposent la procédure de la fuite primaire externe. Après un échange avec la cellule de réflexion ils reviennent sur leur décision et prennent la consigne d'orientation. Dans cette équipe on voit que le choix initial de la procédure de fuite primaire externe est argumenté à l'aide de la procédure incidentelle et que la prise de décision se fait de manière collective.

A travers ces deux arbitrages, on observe comment les décisions ont été prises dans le cas du scénario ambigu. On constate en effet que les choix faits ne sont pas directement ceux du réglé mais relèvent du géré.

### 2.2.3 La nécessité d'agir alors qu'aucune procédure n'est évidente

#### P amb 1

La dernière prise de décision délicate sur P présentée ici concerne l'équipe P amb 1. A ce moment du scénario, l'équipe est dans la procédure de fuite primaire externe et a pour objectif d'abaisser les paramètres de l'installation.

P amb 1, verbatim, t = 42 min

*CRef (CdQ) : Est-ce que vous pourriez me refaire un bilan d'eau actualisé sur le primaire et après vérifier où c'est qu'il va ce fluide primaire parce que nous on n'arrive pas à le déterminer derrière [...]*

*CdQ (Kr) : Vous me faites un bilan d'eau?*

*Kr (CdQ) : Faire un bilan d'eau avec du relevage?... C'est pas évident*

*CdQ (Kr) : Non on peut pas faire de bilan d'eau, je suis d'accord, on laisse tomber*

*Kr (CdQ) : Sinon on peut arrêter le relevage pour faire un bilan d'eau*

*CdQ (Kr) : Non, on n'arrête pas le relevage avec un niveau pressuriser à ce niveau, moi mon objectif c'est d'atteindre l'état stable, donc les diagnostics et les réflexions on verra ça plus tard. [...], objectif n°1 c'est de descendre en température et en pression et à l'issu on se posera des questions.*

Dans cet extrait, la cellule de réflexion demande à l'équipe d'établir un nouveau bilan d'eau. La tâche de bilan d'eau permet d'évaluer le débit de fuite et de pouvoir constater son éventuelle évolution. A ce moment là, l'opérateur Kr fait une action dite de « relevage » qui consiste à compenser l'effet de la fuite en injectant de l'eau dans le circuit primaire. Il semble que le risque d'erreur sur le calcul du débit de fuite est plus important pendant une action de relevage. Le Kr l'indique au CdQ qui décide d'abandonner la tâche de bilan d'eau. L'objectif du CdQ à ce moment là est l'atteinte d'un état stable, même si la cellule de réflexion lui demande de réactualiser son bilan d'eau.

#### S amb 2

Comme dans le cas précédent, l'équipe considérée dans ce paragraphe joue le scénario ambigu. Cependant il s'agit de l'équipe S amb 2 du système S. La prise de décision se passe à la fin de la phase de diagnostic, une trentaine de minute après la détection de la fuite et concerne le choix de la procédure pour arrêter l'installation et faire la gestion post arrêt. Comme indiqué sur la Figure 10 (dans le Chapitre 5) sur S, les opérateurs doivent choisir une

procédure de gestion post-arrêt avant d'arrêter l'installation, il n'y a pas de procédure dédiée à l'arrêt du réacteur.

Le contexte de la décision est le suivant, à la minute 15 après la détection de la fuite, le CdQ identifie que le débit de fuite est supérieur au débit de fuite limite autorisé pour continuer l'exploitation de l'installation. Il demande donc à la cellule de réflexion d'arrêter l'installation. A la minute 30 la cellule de réflexion donne son accord pour arrêter le réacteur. L'équipe de quart n'a pas diagnostiqué le type de fuite, cependant ils ont constaté entre temps une augmentation du niveau d'eau dans le circuit secondaire et ont un doute sur la nature de la fuite. Le problème qui se pose pour l'équipe est qu'ils ne savent pas quelle procédure prendre :

- celle de la fuite primaire secondaire : le niveau d'eau du circuit secondaire a augmenté, mais le capteur de radioéléments ne s'est pas déclenché ou
- celle de la fuite primaire externe.

Ces deux procédures permettent d'arrêter le système et de le refroidir. Les objectifs fixés dans ces deux procédures sont semblables à court terme et différent à long terme.

Au moment de l'autorisation pour arrêter le réacteur le CdQ contacte la cellule de réflexion pour exposer le problème du choix de la procédure.

S amb 2, verbatim, t = 30min

*CdQ (CRef) : Oui c'est le CdQ, avant de mettre d'arrêter le réacteur, comme on sait pas trop d'où ça vient du moins où ça part, je voudrais qu'on fasse le delta entre la fuite primaire secondaire, donc le doute qu'on a vis-à-vis de l'évolution du niveau dans le secondaire et la fuite primaire externe, pour voir ce qui...*

*CRef (CdQ) : Quel intérêt? Quel but?*

*CdQ (CRef) : Ben l'intérêt c'est savoir sur quoi on se dirige*

*CRef (CdQ) : Comment on va faire pour discriminer cette affaire? Je vois pas trop comment faire, si on n'est pas capable de le faire maintenant*

*CdQ (CRef) : Le problème qui va se passer c'est que les actions long terme sont pas les mêmes [...]*

*CRef (CdQ) : D'après ce que j'ai compris les débits de fuite sont de combien, de l'ordre de combien à l'heure*

*CdQ (CRef) : Df<sup>7</sup>*

*CRef (CdQ) : Donc dans tous les cas on n'a pas le droit d'exploiter*

*CdQ (CRef) : Ah non non non*

---

<sup>7</sup> Df : Débit de fuite

*CRef (CdQ) : Que ce soit primaire externe ou primaire secondaire, ça change pas grand-chose*

*CdQ (CRef) : Donc confirmation, donc on se dirige vers une fuite primaire externe, on fait comme si c'était une fuite primaire externe et on verra...*

*CRef (CdQ) : A la limite, différez votre analyse pour réorienter votre diagnostic si vous estimez que c'est nécessaire dès que vous aurez arrêté le réacteur*

*CdQ (CRef) : D'accord*

*CRef (CdQ) : On en rediscute après s'il faut mais a présent la priorité c'est vraiment d'arrêter, on a déjà perdu beaucoup d'eau, je voudrais pas qu'on perde davantage*

Cet échange illustre comment la décision est prise en concertation entre le CdQ et la cellule de réflexion. Au cours de l'échange le CdQ expose les options possibles et la difficulté de prendre une décision. La cellule de réflexion quand à elle rappelle la priorité qui est l'arrêt du réacteur puisque le débit est « trop important », supérieur à  $DI^8$ .

Le CdQ et la cellule de réflexion arrivent à un compromis, celui de choisir une procédure par défaut et de revoir le diagnostic ultérieurement.

Il y a bien une part de sécurité gérée puisque les opérateurs ne sachant pas quelle procédure prendre en choisissent une par défaut. Cependant cette décision est prise en concertation avec les supérieurs.

Les situations d'arbitrages illustrent la nécessité du géré en situation ambiguë comme standard. Les opérateurs ne se contentent pas d'une application aveugle des procédures que ce soit sur S comme sur P.

## **3 Conclusions préliminaires**

### **3.1 Performance**

Toutes les stratégies mises en œuvre permettent une gestion sûre de la situation. Compte tenu du faible nombre d'équipes rencontrées, il est difficile de déterminer lequel de S ou de P est le système le plus performant, voire le plus sûr. D'après les résultats obtenus on peut tout de même faire l'hypothèse que les deux systèmes répondent aux caractéristiques des systèmes

---

<sup>8</sup>  $DI$  : Débit limite pour l'exploitation,  $DI < Df$

ultra-sûrs du point de vue de leur performance en termes de niveau de sécurité produit, sans pouvoir distinguer une différence de niveau entre les deux.

## 3.2 Impact des modes de conduite

### 3.2.1 Scénario standard

Dans le cas du scénario standard le diagnostic mené par les deux équipes de S est très semblable à la fois au niveau de l'ordre des différentes étapes et au niveau du déroulement temporel du diagnostic. Il en est de même pour les deux équipes de P.

Par ailleurs, il existe quelques différences notables entre S et P qui sont directement liées au mode de conduite :

- Le temps avant l'arrêt du réacteur est bien plus court sur P que sur S. Sur P c'est le franchissement d'un seuil (celui des radioéléments) qui autorise quasiment instantanément l'action d'arrêt du réacteur. La logique est bien celle de l'approche par état qui considère avant tout l'état du système à un instant donné.
- Sur P les opérateurs peuvent arrêter le réacteur avant de faire le choix d'une procédure, et donc aussi avant de faire le diagnostic de la situation. A l'inverse sur S les opérateurs doivent mener un diagnostic pour choisir la procédure qui leur permettra d'arrêter le réacteur. Cela retarde d'autant le moment de l'arrêt du réacteur.

Bien que des différences inter-équipes existent à un niveau d'analyse plus fin, la conduite du diagnostic des fuites primaire/secondaire observée dans le cas « standard » correspond effectivement aux modes de conduite prescrits, événementiel et par état<sup>PN</sup>. Ce point est confirmé par l'analyse de la conduite prescrite menée lors de la validation des scénarios sur simulateur (voir §1.2.3 du Chapitre 5).

Ces premiers résultats confirment l'hypothèse (H4, §2.2.1 du Chapitre 5) selon laquelle les modes de conduite ont un impact dans la gestion du diagnostic.

### 3.2.2 Scénario ambigu

A travers l'analyse faite de l'activité des quatre équipes des scénarios ambigus, on observe deux stratégies dans la gestion du scénario :

- La première stratégie est guidée par la volonté de compréhension du dysfonctionnement avant d'agir,
- la seconde par la volonté d'action, puisque, quelle que soit la nature du dysfonctionnement, le réacteur devra être arrêté.

Ces deux stratégies correspondent au compromis entre la compréhension et l'action (§2.2.3 du chapitre 2). Il semble que les modes de conduite tels qu'ils ont été déployés sur S et P ne permettent pas de résoudre ce compromis puisque, quelque soit l'environnement de conduite, la stratégie guidée par l'action et celle guidée par la compréhension peuvent apparaître.

Les équipes qui conduisent selon la première stratégie (compréhension de la situation) considèrent que la fuite est « maîtrisable » dans la mesure où elles disposent de moyens pour compenser les effets de la fuite sur un temps suffisamment long pour pouvoir mener un diagnostic approfondi. Les équipes qui suivent l'autre stratégie sont focalisées sur l'état final du système, l'arrêt du réacteur. Sachant qu'il n'y a d'autre issue que l'arrêt du réacteur, le diagnostic de la situation en cours qui est complexe devient secondaire. On peut ici faire l'hypothèse de l'existence de stratégies « naturelles » face à un problème complexe dans la supervision des systèmes complexes : le besoin de comprendre et la nécessité d'agir (Plat, 2001).

Il n'apparaît pas évident dans le cas du scénario ambigu que le mode de conduite ait un impact sur les stratégies observées. En effet ces stratégies sont toutes deux menées sur S et P. Ces résultats réfutent l'hypothèse (H4, §2.2.1 du Chapitre 5).

Sur S les deux équipes face au scénario ambigu adoptent des stratégies différentes. Ce constat rejoint l'hypothèse (H5, §2.2.2 du Chapitre 5) évoquant la possible variabilité des réponses des équipes de S face au scénario ambigu. Cependant il n'apparaît pas clairement que ce soit dû à un travail collectif spécifique à l'une ou l'autre équipe ou encore à une expertise différente des opérateurs. Une hypothèse serait de considérer que les situations ambiguës dans des systèmes complexes tels que l'industrie nucléaire mènent aux stratégies observées.

Les deux mêmes stratégies de conduite observées sur P tendent à infirmer l'hypothèse (H6, §2.2.3 du Chapitre 5) selon laquelle les équipes auraient une réponse semblable puisque soutenue par la prescription. Le niveau de guidage de la prescription sur P ne suffit pas à

homogénéiser les façons de faire. De plus il apparaît que les équipes ne suivent pas la procédure prescrite prévue pour le cas ambigu (voir §1.2.3 du Chapitre5).

Une conclusion de ce chapitre est qu'en situation standard le mode de conduite et la prescription ont un impact sur la stratégie alors qu'en situation ambiguë ils ne suffisent pas à rendre compte des stratégies choisies.

### **3.3 Du « géré » sur S comme sur P**

Dans les six prises de décision présentées dans ce chapitre, il est question de l'utilisation d'une procédure ambiguë, de choix de la « bonne » procédure ou de stratégie de conduite en situation ambiguë. Dans toutes ces décisions, les opérateurs articulent « réglé » et « géré ». Ils sont face à une application des procédures non évidente et cherchent une issue. Leurs actions sont toutes guidées par un « agir en sécurité ». Aucune de ces décisions n'a entraîné une aggravation de la situation.

Ce qui ressort de ces prises de décision est que la conduite d'un système complexe quelle que soit la situation (ambiguë ou standard) et quel que soit son mode de conduite (événementiel ou par état<sup>PN</sup>) nécessite des ajustements de la part des opérateurs. Cela suppose pour les opérateurs de développer leur capacité à faire face et de pouvoir se créer des marges de manœuvre.

Alors que l'approche par état<sup>PN</sup> a été conçue pour soutenir la capacité des opérateurs à faire face dans les situations complexes, il n'apparaît pas clairement que les opérateurs de S soient davantage en difficulté face au scénario ambigu. L'étude du travail collectif et de la formation permettront de mieux caractériser la conduite sur S et P. L'objectif est de tenter de comprendre comment ces ressources sont engagées dans l'activité et dans quelle mesure elles permettent d'améliorer la capacité des opérateurs à faire face et d'agir en sécurité.

# Chapitre 7 : Travail en équipe et collectif de travail

---

Le travail en équipe offre pour les opérateurs des possibilités de mise en œuvre de régulations de la charge de travail (De la Garza, 1998 ; Caroly, 2010). Bien que le travail collectif ne soit pas nécessairement bénéfique à la performance ou la sécurité dans toutes les situations, il constitue cependant une ressource de l'activité. Comme évoqué précédemment (§2.1 du chapitre 5), les équipes de chaque système (S et P) n'ont pas le même fonctionnement. De ce fait, la place du travail collectif devrait varier d'une installation à l'autre. L'objectif de ce chapitre est de caractériser le travail collectif sur S comme sur P et de discuter dans quelle mesure il constitue réellement une ressource pour « faire face » à des situations imprévues.

## 1 Des contextes du travail collectif

### 1.1 Fonctionnement des équipes

Sur S les équipes sont dites constituées alors que sur P les équipes peuvent être qualifiées de variables. Cette distinction se caractérise de la façon suivante : sur S avant chaque mission, les opérateurs suivent un entraînement sur simulateur qu'ils effectuent avec l'équipe avec laquelle ils superviseront la chaufferie pendant la mission. Ainsi pendant cet entraînement, les équipes constituées ont l'opportunité de construire une façon collective de gérer les situations.

A l'inverse sur P, le contexte opérationnel ne permet pas d'une part d'avoir un entraînement sur simulateur avant chaque mission et d'autre part de mener les missions avec des équipes « fixes ». Lors des entraînements, les équipes sont constituées en fonction des disponibilités des opérateurs. Il n'est donc pas rare qu'en entraînement des opérateurs se rencontrent et qu'ils n'aient jamais travaillé ensemble. Ensuite pour les missions, les équipes sont définies au début de la mission, mais il arrive qu'en fonction des contraintes opérationnelles les équipes se modifient au cours de la mission.

## 1.2 Taille du poste de conduite

Sur S le poste de conduite est extrêmement exigü, sa superficie est de l'ordre de 4m<sup>2</sup>. Dans ce contexte, un opérateur peut très facilement toucher ou interpeller un de ces co-équipiers, de même il peut très facilement accéder aux actions des autres membres de l'équipe.

Sur P le poste de conduite est beaucoup plus grand et les opérateurs doivent faire quelques pas pour aller voir un autre opérateur, parfois pour lui parler sans avoir à élever la voix. Lorsque tous les opérateurs sont à leur poste, il n'est pas toujours évident pour un opérateur de voir ce que fait un autre opérateur.

## 1.3 Le fonctionnement des équipes dans les prescriptions

Les procédures sur S n'indiquent rien du rôle de chaque opérateur dans le fonctionnement de l'équipe. De même les procédures ne sont pas attribuées à des opérateurs mais plutôt aux systèmes. Il y a donc un ensemble de procédures pour gérer les situations accidentelles sur la chaufferie sans précision explicite sur les utilisateurs (Kr ou CdQ).

Le rôle de chaque opérateur sur P est décrit dans des procédures. Ainsi il y a une prescription sur la place de chaque opérateur dans l'équipe. De plus dans les situations accidentelles, chaque procédure est faite en deux parties. La première partie revient au Kr et la seconde au CdQ. Les deux parties sont construites selon le même canevas, mais elles diffèrent légèrement dans le contenu, se rapprochant davantage des actions à entreprendre pour la procédure Kr et d'une vision plus globale de l'installation pour la procédure CdQ.

## 2 Méthode

La méthode mise en œuvre pour analyser le travail collectif comme ressource s'effectue en trois étapes :

- une analyse qualitative de l'investissement des opérateurs dans le travail d'équipe sur les deux systèmes
- une analyse quantitative des échanges verbaux entre les opérateurs
- une analyse qualitative et quantitative basée sur les conversations

## 2.1 Identification des tâches collectives sur S

L'analyse de l'activité en simulateur et l'analyse des entretiens menés après la simulation permettent d'identifier une allocation de certaines tâches variable selon les équipes du système S (ce n'est pas le cas sur P). Les tâches en question sont au nombre de 4 :

- Tâche de calcul : il s'agit de calculer à partir des paramètres accessibles au poste de conduite le débit de la fuite
- Tâche de test contamination : dans le cas d'une avarie sur la chaufferie, il y a un certain nombre de paramètres à surveiller très régulièrement qui permettent d'évaluer la présence de contamination à divers endroits du bateau. Ces tests peuvent être faits par les opérateurs Ke, Kr ou Km.
- Tâche de communication : il n'y a que deux interphones au poste de conduite, un premier est situé à côté du CdQ, et il sert principalement à contacter les supérieurs, un second est situé sur le pupitre de l'opérateur Ke qui est utilisé principalement pour contacter les opérateurs « rondiers » qui font des actions en local ou le poste de navigation du bateau. Une telle conception prescrit en quelque sorte, sans que ce ne soit écrit nulle part, que c'est au Ke de prendre en charge les communications.
- Tâche de lecture des procédures : dans le cas d'une avarie sur la chaufferie nucléaire, les opérateurs Ke, Km et le CdQ peuvent venir en soutien de Kr pour lui lire les procédures de la chaufferie, ou pour chercher une information qui peut aider au diagnostic.

L'étude de l'attribution des tâches « collectives » au sein de chaque équipe sur S rend compte d'un fonctionnement en équipe particulier.

## 2.2 Etude des échanges verbaux

### 2.2.1 Catégorisation des tours de paroles

L'objectif ici est d'identifier la forme des discussions en considérant les échanges verbaux entre les opérateurs de spécialités différentes (CdQ, Kr, Ke et Km). Les transcriptions des échanges pendant la phase de diagnostic permettent d'identifier pour chaque tour de parole l'émetteur et le destinataire du tour de parole quand il est explicite. Il arrive en effet que certains tours de parole soient « non-adressés » soit parce que le destinataire n'est pas clairement identifié soit parce que les opérateurs s'adressent à l'équipe, autrement dit, ce sont des verbalisations « à la cantonade ».

Trois catégories de tours de parole sont identifiées :

- les « Non adressés »,
- les verbalisations, entre un opérateur et le chef de quart et
- les tours de paroles entre opérateurs.

Un extrait de scénario est présenté dans le Tableau 5. L'objectif est de montrer comment sont identifiés les tours de paroles.

**Tableau 5 : Equipe S amb 1, extrait des verbalisations**

N°	Temps	Enonciateur	Destinataire	Verbatim
1	00:12:09	CdQ		112,5 de pression
2	00:12:10	Ke (int) <sup>9</sup>	Rondier	112.5 de pression
3	00:12:11	Kr	Km	De ton côté si je te demande de faire un bilan d'eau secondaire
4	00:12:13	Km	Kr	Non je suis toujours à 0
5	00:12:14	CRef (int)		Poste de conduite de cellule de réflexion
6	00:12:15	Kr	Km	Pour toi c'est stable
7	00:12:16	Km	Kr	C'est stable
8	00:12:16	CdQ (int)	CRef	Oui poste de conduite, écoute
9	00:12:20	Kr	Km	Ok donc on va pas dans le secondaire

<sup>9</sup> (int) signifie que l'opérateur utilise un interphone, ou s'exprime par le biais d'un interphone s'il n'est pas dans l'équipe.

10	00:12:21	CRef (int)		On aimerait savoir où vous en êtes par rapport au calcul du débit de fuite
----	----------	------------	--	--

L'extrait contient 10 tours de parole au total. Dans la comptabilisation des tours de parole pour l'analyse du travail collectif, seuls les échanges qui se tiennent au sein de l'équipe « centralisée » sont considérés. Ainsi les verbalisations entre les opérateurs de l'équipe « centralisée » et les autres opérateurs (Rondier, cellule de réflexion) ne sont pas prises en compte. Ce choix est justifié par l'objectif de l'analyse qui est de s'intéresser au fonctionnement de l'équipe et donc en priorité aux échanges au sein de l'équipe. Dans l'extrait proposé dans le Tableau 5, nous ne comptabiliserons que les échanges entre les opérateurs du poste de conduite qui sont les tours de parole : 1, 3, 4, 6, 7 et 9.

Dans le Tableau 6 ci-dessous sont représentées les catégories de tours de parole.

**Tableau 6 : Catégories de tours de parole**

	« Non adressés »	Adressés chef-opérateur	Adressés Opérateur-opérateur
Type de tours de parole comptabilisé dans la catégorie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CdQ</li> <li>- Kr</li> <li>- Ke</li> <li>- Km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CdQ-Kr</li> <li>- CdQ-Ke</li> <li>- CdQ-Km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kr-Ke</li> <li>- Kr-Km</li> <li>- Ke-Km</li> </ul>

L'objectif est de comptabiliser tous les tours de parole dans chaque catégorie. Les tours de paroles adressés sont ceux qui sont émis par l'un des deux opérateurs à destination de l'autre. Ainsi lorsque l'on considère les tours de paroles adressés entre le CdQ et l'opérateur Kr par exemple, sont pris en compte les tours de paroles émis par le CdQ adressés au Kr ainsi que les tours de paroles du Kr adressés au CdQ.

En reprenant l'extrait proposé dans le Tableau 5, on dénombre 1 tour de parole de la catégorie « non adressés » du CdQ (n°1) et 5 tours de parole adressés Kr-Km (n°3, 4, 6, 7 et 9).

Dans le cas du système P, l'équipe est constituée en plus du CdQ, Kr, Ke et Km de deux rondiers, le Rondier Réacteur (RR) et le Rondier Machine (RM) qui sont présents de façon non continue au poste de conduite. Compte tenu du fait que sur deux équipes différentes un des deux rondiers manquait et que sur l'ensemble des équipes la présence des ces rondiers au

simulateur est très variable, on a choisi d'ajouter les verbalisations adressées entre CdQ-RR aux tours de paroles adressés CdQ-Kr. De même, les tours de parole adressés CdQ-RM ont été ajoutés aux tours de parole CdQ-Km. Le Tableau 7 indique comment ont été comptabilisées les tours de paroles entre un rondier et le reste de l'équipe ou les tours de paroles « non adressés » des rondiers. Ne sont pas comptabilisés les tours de paroles adressés Kr-RR et Km-RM. La justification de ce choix vient du fait qu'on cherche à quantifier les échanges entre les opérateurs des différentes « spécialités ». Il est possible de considérer que Kr et RR forment un sous-groupe en charge du réacteur et ce qui nous intéresse alors est de mesurer les échanges entre ce sous-groupe et le reste de l'équipe.

**Tableau 7 : Comptabilisation des tours de parole sur P**

Catégorie de tours de parole	« Non adressés »	Adressés chef-opérateur	Adressés Opérateur-opérateur
Type de tours de parole par catégorie	- CdQ - Kr +RR - Ke - Km +RM	- CdQ-Kr + CdQ-RR - CdQ-Ke - CdQ-Km + CdQ-RM	- Kr-Ke + RR-Ke - Kr-Km + RR-Km + RR-RM + Kr-RM - Ke-Km + Ke-RM

### 2.2.2 Matériau utilisé

L'analyse des échanges verbaux pour caractériser le fonctionnement du travail collectif se fait sur le temps du diagnostic. Comme constaté dans le chapitre précédent, la phase de diagnostic peut durer plus ou moins longtemps en fonction de la complexité de la situation ou du système considéré. Pour les scénarios P stand 1 et P stand 2 la phase de diagnostic ne dure que 3 ou 4 minutes. Pour pouvoir analyser le fonctionnement de l'équipe sur une durée représentative, on a choisi de rallonger la transcription des scénarios P stand 1 et P stand 2 de la durée du premier « bouclage » de la procédure type approche par état (voir §3.3 de l'Introduction). Le Tableau 8 présente le temps des phases de diagnostic (rallongées pour les scénarios P stand 1 et P stand 2) sur lequel les échanges verbaux entre les opérateurs vont être analysés ainsi que le nombre de tours de paroles pour chaque équipe.

**Tableau 8 : Durée d'enregistrement et tours de parole pris en compte dans l'analyse du travail collectif**

Equipes	S s 1	S s 2	S a 1	S a 2	P s 1	P s 2	P a 1	P a 2
Temps en minutes	21	23	37	35	44	19	47	52
Nombre total de tours de parole	512	419	807	678	533	319	513	570
Nombre de tours de parole pris en compte dans l'analyse du travail collectif	314	243	523	378	408	229	419	380

Il y a un écart important entre le nombre total de tours de parole et celui pris en compte. Cela est dû aux verbalisations entre les opérateurs de l'équipe de quart « centralisée » et les autres opérateurs du bord (joués par les formateurs) qui ne sont pas prises en compte dans l'analyse du travail d'équipe.

### 2.3 Identification des conversations

L'objectif de cette dernière étude est d'observer comment les opérateurs sont engagés dans la gestion de la situation qui est ici la gestion d'un accident de la chaufferie nucléaire. Pour ce faire, les verbatim ont été partitionnés en conversations. Une conversation est un échange verbal entre deux opérateurs ou plus et elle se caractérise par une unité temporelle et une unité thématique. Une conversation porte sur un sujet précis, par exemple la définition d'un objectif de conduite, un point sur l'état du système, le déroulement d'une consigne ou encore une prise de décision. L'unité temporelle de la conversation fait référence au fait que les échanges verbaux sur le même thème doivent être suivis dans le temps.

Le codage des conversations s'appuie à nouveau sur les verbalisations des opérateurs pendant les phases de diagnostic, « étendues » pour les scénarios P stand 1 et P stand 2 (cf Tableau 8 lignes 1 et 2).

Pour chaque conversation sont notés l'opérateur initiateur, les opérateurs participants, le thème abordé, le nombre de tours de parole et à quelle thématique plus globale se rapporte la conversation. Les thèmes des conversations peuvent être : la conduite du réacteur, la conduite

de l'usine électrique, la conduite de la machine, la gestion du bord<sup>10</sup> ou le simulateur. Une très large majorité des conversations, entre 70% et 90%, concerne la conduite du réacteur. Ce qui n'est pas surprenant compte tenu du scénario proposé, qui est un accident sur le réacteur.

Pour comprendre comment les membres de l'équipe sont engagés dans la gestion de la situation, l'analyse porte sur les initiateurs des conversations dont le thème est la conduite du réacteur. Parmi les membres de l'équipe, certains par leur poste vont être dédiés à la conduite du réacteur, il s'agit du CdQ, de l'opérateur Kr et du rondier RR (sur P). Les autres opérateurs (Ke, Km et RM sur P) ne sont pas spécifiquement en charge de la conduite du réacteur et nous les qualifierons de « non-dédiés ».

## 3 Résultats

### 3.1 Analyse qualitative du travail collectif

Une première analyse qualitative des situations en simulateur permet de mettre en lumière ce qui est marquant au niveau du travail collectif dans chaque système.

#### 3.1.1 *La réallocation des tâches au sein de l'équipe sur S*

L'analyse ci-dessous porte sur l'attribution des tâches « collectives » (voir §2.1) pour chaque équipe de S. Le Tableau 9 permet d'identifier par quel(s) opérateur(s) ces tâches sont effectuées.

---

<sup>10</sup> Il s'agit de la gestion du personnel et de la contamination à bord.

**Tableau 9 : Réallocation des tâches entre opérateurs sur S**

	S stand 1	S stand 2	S amb 1	S amb 2
Calculs – bilan d'eau	Km	Kr	Km & Ke	Kr
Tests contamination	Ke	Km	Km	Km
Communications <sup>11</sup>	Ke 14 (100%)	Ke 5 (31%) Kr 9 (57%) Km 1 (6%) CdQ 1 (6%)	Ke 23 (82%) Kr 5 (18%)	Ke 24 (80%) Kr 3 (10%) CdQ 3 (10%)
Lecture procédures	Ke & Kr	Ke & Kr	Kr, Ke, CdQ & Km	Ke, Kr, CdQ & Km

Concernant la tâche de bilan d'eau, on voit que les trois opérateurs l'ont prise en charge dans l'une ou l'autre des équipes. Comme le montre l'extrait de l'entretien avec l'équipe S amb 2, il s'agit d'une auto-organisation en amont des séances sur simulateur. Les opérateurs définissent entre eux quel est l'opérateur le plus à même d'effectuer la tâche de calcul et lui attribuent la tâche de bilan d'eau. L'allocation de cette tâche à un opérateur se fait en fonction de ses compétences.

La tâche de tests de contamination (tests T1, T3) est effectuée soit par le Ke, soit par le Km. La répartition est vraisemblablement décidée en amont comme le laissent supposer les extraits d'entretiens proposés, cependant il arrive qu'en situation le chef de quart demande explicitement à un opérateur de s'en charger. On constate qu'il y a une allocation variable des tâches qui est propre à chaque équipe. De plus cette allocation peut être modifiée en fonction de la situation. L'équipe permet alors de réguler la charge de travail.

Les communications auprès des différents acteurs du bord sont effectuées en priorité par le Ke et on retrouve ce résultat pour trois équipes S stand 1, S amb 1 et S amb 2 où le Ke prend en charge au moins 80% des communications. Pour l'équipe S stand 2 on constate que l'opérateur Ke ne réalise que 31 % des communications. Dans cette équipe, c'est le Kr qui réalise la majorité des communications. Le recueil du parcours des opérateurs montre que le

<sup>11</sup> Pour les communications, le nombre indiqué à côté de l'opérateur correspond au nombre de fois où l'opérateur décroche l'interphone pour assurer une communication, entre parenthèses se trouve le pourcentage des communications passées par l'opérateur par rapport au nombre total de communications passées par l'équipe.

Ke de l'équipe S stand 2 est novice. Il est qualifié au poste de Ke mais n'a jamais fait de mission. Ce qu'on observe c'est que le Ke est soutenu par l'ensemble de l'équipe pour la tâche des communications qui lui est « prescrite » par la conception du poste de conduite. On peut supposer que cette répartition de la tâche de communication pour l'équipe S stand 2 se fait dans le but de maintenir un certain niveau de performance et de sécurité puisque le Ke novice n'a pas l'expérience des communications à bord. Ces communications s'appuient sur un langage opératif précis dont on peut faire l'hypothèse qu'il s'acquiert par l'expérience en plus de la formation initiale. A nouveau l'équipe considère les compétences de chaque opérateur et s'adapte pour maintenir le niveau de performance.

La tâche de lecture des consignes est partagée par plusieurs opérateurs pour les quatre équipes. Pour cette tâche on peut faire l'hypothèse d'un impact de la complexité du scénario sur le nombre d'acteurs mobilisés dans la lecture des procédures de Kr. En effet pour les deux équipes placées face au scénario ambigu, c'est la totalité des opérateurs qui va s'investir dans la lecture des procédures. A l'inverse, dans les équipes face au scénario standard, seuls Kr et Ke se partagent la tâche de lecture des consignes. Ce résultat n'est pas surprenant dans le sens où en situation ambiguë l'équipe se pose davantage de questions sur la nature de la situation et la procédure à utiliser et ainsi elle est amenée à parcourir une documentation plus importante qu'en situation standard. Cette surcharge de lecture des procédures est prise en compte par l'ensemble de l'équipe pour les deux équipes rencontrées. On peut donc faire l'hypothèse ici que l'équipe permet de réguler la charge de l'opérateur Kr qui est très mobilisé dans ces scénarios d'accident sur la chaufferie.

*Kr (S amb 2, Entretien) : on a cette phase d'entraînement où on fait du simulateur et chacun en fait dans l'équipe on a un rôle qui nous est attribué, pas parce que c'est comme ça, [...], c'est plus par rapport aux qualités intrinsèques de chacun. Ça veut dire que le Km par exemple s'il est fort en bilan d'eau, au lieu que ce soit le Ke qui fasse un contradictoire avec moi, ce sera le Km et puis le Ke prendra les tests T1 T3, vous voyez ce que je veux dire ? Par rapport aux points forts de chacun, on se module nous.*

*CdQ (S stand 1, Entretien) : ça déjà c'est propre à chaque équipe, il n'y a rien de fixé. Pour un accident chaufferie, on va laisser le Kr vraiment à piloter et pas l'embêter avec des prises de paramètres à faire en plus. Le Ke comme il est près de l'interphone en fait, on va l'envoyer justement*

*pour prendre ces paramètres [...] le Km [...] on le met pour tout ce qui est bilan.*

Ces constats permettent d'avancer l'idée qu'il y a différentes formes de travail collectif sur S :

- De la collaboration parce que dans sa composition et dans ses tâches, le fonctionnement en équipe prescrit une collaboration entre les opérateurs
- De la coopération, c'est notamment le cas lorsque les opérateurs se chargent de lire les procédures du Kr,
- De l'entraide, lorsque l'opérateur novice Ke est soutenu par l'équipe dans la tâche de communication

La répartition et la réallocation des tâches en situation n'ont été observées que sur S. Sur P ces formes de travail collectif n'apparaissent pas dans les situations de conduite analysées.

### 3.1.2 Une co-action sur P ?

Les scénarios sur P ont été effectués chronologiquement après ceux effectués sur S. Lors des entretiens, les intervenants ont demandé aux opérateurs sur P s'ils pouvaient s'entraider en situation comme par exemple lire la procédure de Kr qui est très sollicité pendant la gestion des scénarios. Comme l'indique les verbalisations de deux opérateurs pendant un entretien, il n'apparaît pas évident que les opérateurs puissent s'entraider aussi facilement que ce qui est observé sur S.

*Ke (P amb 1, Entretien) : on peut chercher des idées, mais on va pas aller chercher dans sa doc, déjà on a un petit peu de mal parce que ce n'est pas notre pupitre. On a des idées un petit peu générales, mais on va pas lui... on peut peut-être lui suggérer quelque chose qui peut les décoincer mais on fera pas les démarches à sa place [...]*

*Km (P amb 1, Entretien) : après c'est vrai que la doc c'est vraiment lui qui la connaît le mieux [...] il sait mieux où aller, quels classeurs [...] chacun fait son avarie et si on a créneau on peut aider.*

Dans les scénarios standards sur P, l'avarie est repérée sans difficultés et rapidement le réacteur est arrêté. Cela implique entre autres que le système de la machine est arrêté puisqu'il n'y a plus de production d'énergie. De plus le compartiment de la machine est intégralement

évacué parce qu'il y a un risque possible de contamination du fait de la nature de la fuite. Dans le cas des scénarios standards, l'opérateur Km se retrouve rapidement en situation de sous-charge. Dans le scénario P stand 1, l'opérateur Km, n'ayant plus grand-chose à faire, quitte le simulateur en milieu de séance. Lors de l'entretien, les intervenants reviennent sur cet évènement et questionnent l'opérateur sur la raison de son départ.

P stand 1, Entretien

*Km : c'est-à-dire que dans un cas réel j'aurais d'autres choses à faire, mais là sur le simulateur [...]*

*Intervenant : si on avait eu le même incident à bord, qu'est-ce que vous auriez fait ?*

*Km : après je me serais mis à disposition du personnel, de toutes les manières il y aurait eu le renfort machine qui serait arrivé aussi [...]*

*Intervenant : et vous vous n'auriez pas été obligé de rester à votre poste non plus ?*

*Km : ah moi de quart si. Alors moi lorsque je suis de quart, je suis de quart. C'est pour ça qu'on appelle des renforts, ils sont là pour...*

Cet événement donne une indication sur la vision qu'a cet opérateur de son rôle dans la gestion collective de la situation. A partir du moment où il a terminé les actions sur le sous-système dont il a la charge, ici la machine, cet opérateur ne s'estime probablement plus nécessaire à l'équipe pour la fin de la séance en simulateur.

Ces premiers résultats permettent d'identifier que le travail collectif ne tient pas la même place dans l'activité de supervision sur les deux systèmes. Alors qu'on observe sur S une régulation de la charge, la prise en compte des compétences des membres de l'équipe, une auto-organisation qui font intervenir de l'entraide, de la coopération et de la collaboration, les équipes de P semblent fonctionner sur le seul mode de la collaboration.

L'objectif du paragraphe suivant est de tenter de quantifier et objectiver les différences dans le fonctionnement des équipes sur S et P. Un point d'entrée pour analyser le travail collectif est l'étude des dialogues pendant l'activité (Falzon, 1994a).

### 3.2 Analyse quantitative des échanges verbaux

Dans ce paragraphe, l'analyse porte directement sur les échanges verbaux lors de la phase de diagnostic. Les tours de paroles ont été identifiés dans les différentes catégories : « non adressés », Adressés CdQ-Opérateur, Adressés Opérateur-Opérateur. Ils ont ensuite été comptabilisés.

L'histogramme ci-dessous (Figure 21) présente la répartition des tours de paroles entre les trois catégories identifiées pour chaque équipe.

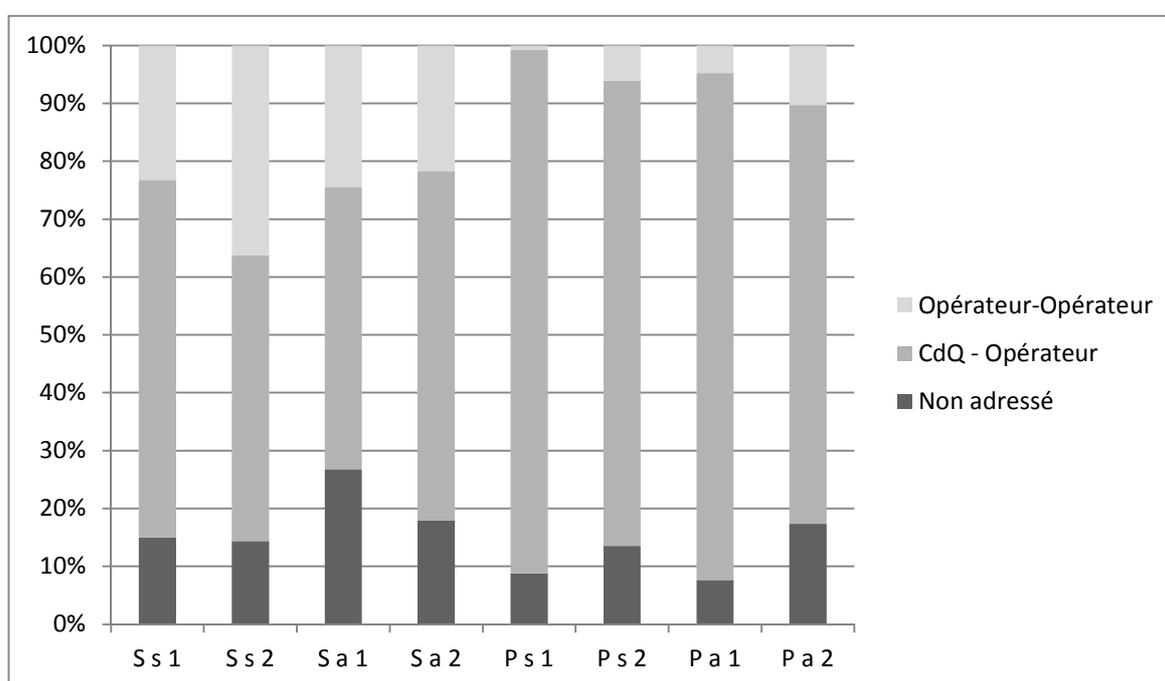


Figure 21 : Histogramme des tours de parole

La répartition des tours de parole présentée dans la Figure 21 s'appuie sur les chiffres du Tableau 10 ci-dessous.

Dans les 8 équipes, les échanges CdQ-Opérateurs sont majoritaires. Ils varient entre 49% et 62% sur S et entre 72% et 90% sur P. Sur ce dernier la large prédominance des échanges CdQ-Opérateur est remarquable. Ce qui amène à dire que les communications au sein des équipes sur P font intervenir en très grande majorité le CdQ. Il semblerait alors que le fonctionnement de l'équipe et son organisation s'appuie en grande partie sur le rôle pivot du CdQ. De ce fait on peut qualifier que la gestion collective des situations se fait « en étoile » centralisée par le CdQ.

Sur S, on observe une part non négligeable d'échanges entre les opérateurs. Elle varie de 22% à 37% en fonction des équipes. A l'inverse sur P, les échanges entre opérateurs varient de 1% à 10%. Ceci nous amène à dire que les opérateurs sur S échangent davantage entre eux que sur P. Les échanges entre opérateurs sur S permettent une gestion collective qui n'est pas uniquement centrée sur le CdQ, même s'il est évident que ce dernier reste très présent. On dira alors que le collectif sur S fonctionne davantage en « réseau ».

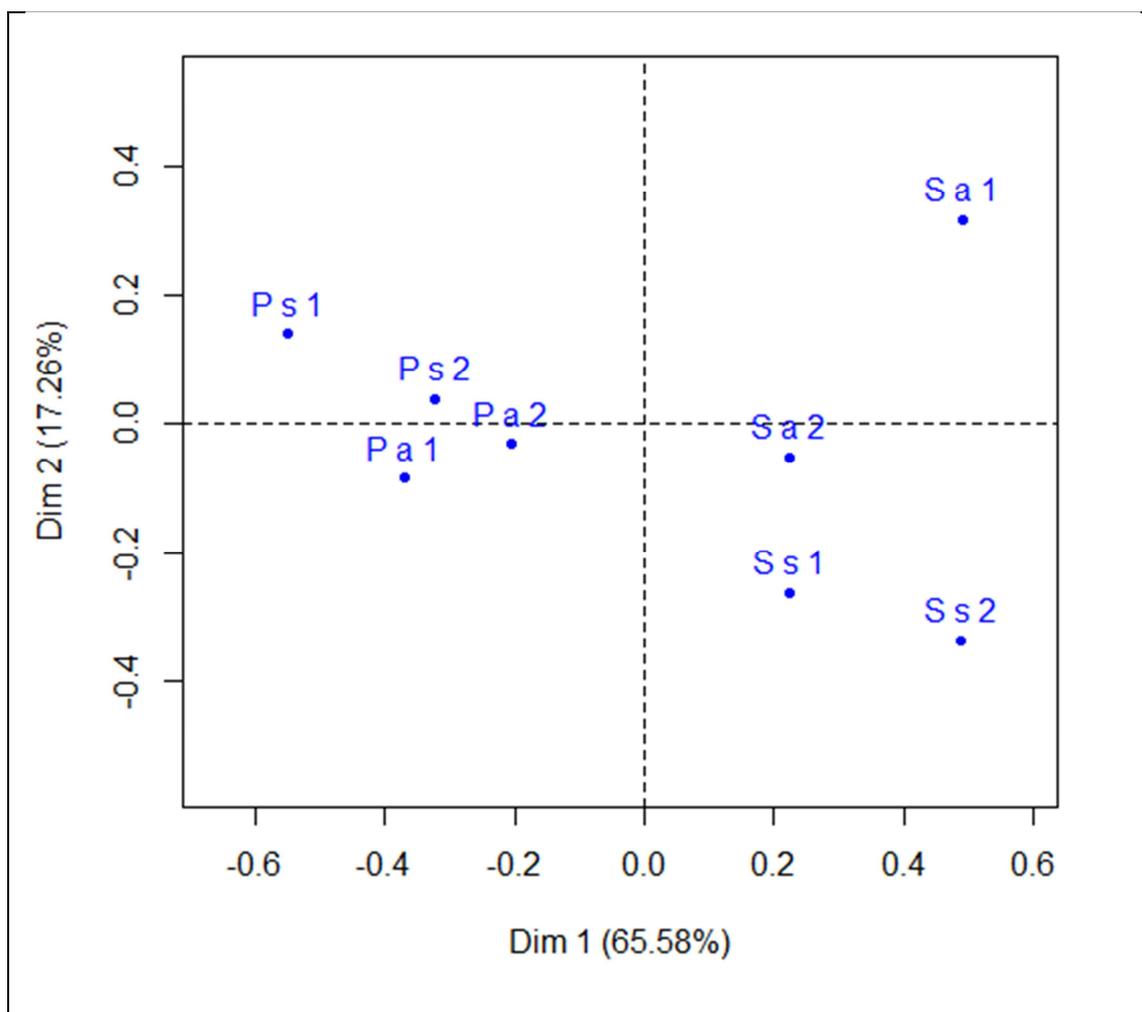
Enfin le nombre des verbalisations « non adressées » est sensiblement supérieur sur S que sur P ce qui pourrait pointer la volonté de créer un contexte mutuellement partagé. Sur S les échanges entre les opérateurs de l'équipe et les autres opérateurs du bord se font par le biais d'interphones qui sont audibles de tous. Cela renforce encore une « *situation awareness* » collective.

**Tableau 10 : Nombre de tours de parole par équipe, par type et catégorie**

	S s 1	S s 2	S a 1	S a 2	P s 1	P s 2	P a 1	P a 2
CdQ	25	13	45	39	23	14	6	28
Kr	11	14	49	21	12	16	11	37
Ke	8	8	24	2	0	1	14	1
Km	3	0	22	6	1	0	1	0
<b>Tot. « Non adressés »</b>	<b>47</b>	<b>35</b>	<b>140</b>	<b>68</b>	<b>36</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>66</b>
CdQ-Kr	123	79	171	158	320	148	275	222
CdQ-Ke	24	17	55	21	31	15	27	23
CdQ-Km	47	24	29	49	18	21	65	30
<b>Tot. CdQ-K</b>	<b>194</b>	<b>120</b>	<b>255</b>	<b>228</b>	<b>369</b>	<b>184</b>	<b>367</b>	<b>275</b>
Kr-Ke	42	47	49	46	2	4	2	22
Kr-Km	27	34	45	18	1	9	17	17
Km-Ke	4	7	34	18	0	1	1	0
<b>Tot. K-K</b>	<b>73</b>	<b>88</b>	<b>128</b>	<b>82</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>39</b>
<b>Tot. Tours de parole</b>	<b>314</b>	<b>243</b>	<b>523</b>	<b>378</b>	<b>408</b>	<b>229</b>	<b>419</b>	<b>380</b>

Le test de Khi2 mené sur le total des verbalisations non adressées, CdQ-Opérateur et Opérateur-Opérateur indique une différence significative dans la répartition des verbalisations (« Non adressés », CdQ-Opérateur et Opérateur-Opérateur) entre les quatre équipes de S et les quatre équipes de P ( $\chi^2=314,8$ ,  $df=2$ ,  $p<0.001$  ; détails en annexe 4). La visualisation

graphique d'une analyse factorielle des correspondances confirme une distinction significative entre les profils des équipes de S et ceux des équipes de P comme représenté sur la Figure 22 (détails en annexe 4). L'axe « Dim 1 » qualifie la qualité des profils d'équipe. Il oppose les modalités S et P. L'axe « Dim 2 » qualifie la quantité des échanges au sein des équipes. Ceci est très clair pour les équipes Sa1 et Ss2 qui ont un profil similaire concernant le type d'échanges au sein de l'équipe et un écart important du point de vue du nombre de verbalisations échangées.



**Figure 22 : Analyse factorielle des correspondances**

Ces résultats permettent de confirmer la différence importante dans la gestion collective des situations entre S et P. Un fonctionnement de l'équipe centré sur le CdQ sur P, une meilleure répartition des échanges sur S permettant d'identifier un fonctionnement davantage en réseau. L'analyse des échanges concorde avec l'analyse de la répartition des tâches présentée au

début de ce chapitre. En effet, sur S le travail collectif est plus riche et diversifié, ce qui implique des interactions plus nombreuses entre les opérateurs.

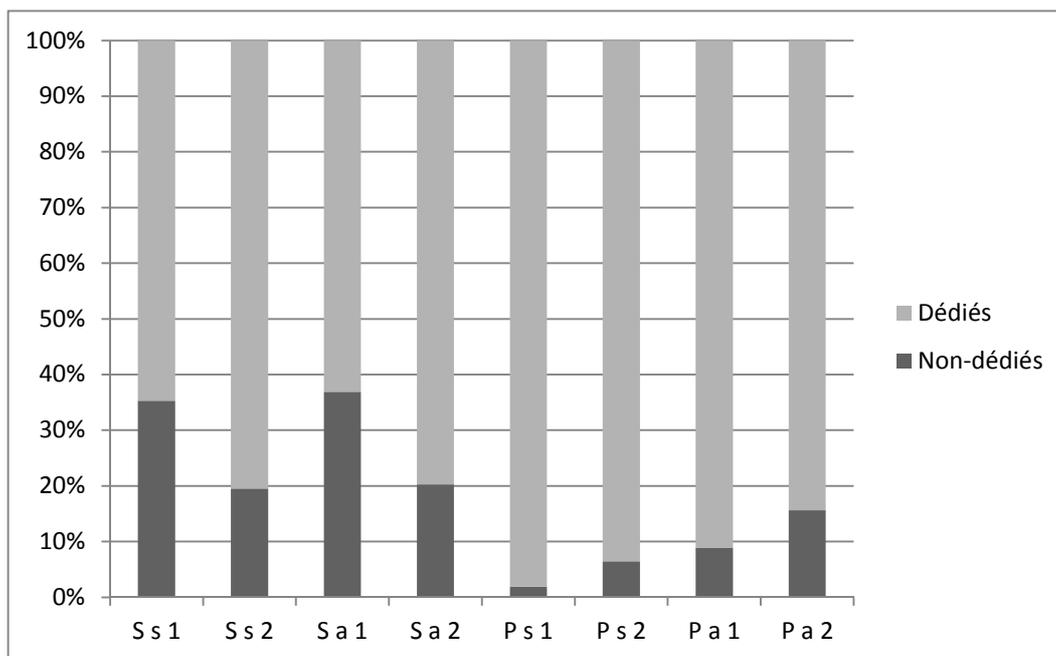
### 3.3 Analyse des conversations

Le découpage de l'intégralité des échanges en conversations donne un nombre de conversations variable d'une équipe à l'autre. Le Tableau 11 permet d'identifier le nombre de conversations recensées par équipe. On y trouve en outre le nombre de conversations initiées par les opérateurs de l'équipe sur le thème de la conduite du réacteur. Les conversations initiées par des opérateurs extérieurs ont été retirées ainsi que les conversations ne portant pas sur la conduite du réacteur. Enfin le Tableau 11 mentionne le nombre de conversations sur la conduite du réacteur initiées par les opérateurs « dédiés » ainsi que celles initiées par les opérateurs « non-dédiés »

**Tableau 11 : Nombre de conversations par équipe**

	S s 1	S s 2	S a 1	S a 2	P s 1	P s 2	P a 1	P a 2
Nombre total de conversations	84	68	99	108	80	55	85	89
Conversations sur la conduite du réacteur	51	41	65	69	52	31	56	64
Conversations sur la conduite du réacteur initiées par les opérateurs « dédiés »	33	33	41	55	51	29	51	54
Conversations sur la conduite du réacteur initiées par les opérateurs « non-dédiés »	18	8	24	14	1	2	5	10

La Figure 23 montre la répartition des initiateurs de conversations portant sur la thématique de la conduite du réacteur entre les opérateurs « dédiés » et les opérateurs « non-dédiés ».



**Figure 23 : Histogramme des initiateurs de conversations sur la conduite du réacteur**

Logiquement, les opérateurs « dédiés » initient la grande majorité des conversations portant sur la conduite du réacteur. Ce qui est notable c'est la différence entre S et P sur la part des conversations sur le réacteur initiées par les opérateurs « non-dédiés ». Sur S cette part varie entre 20% et 35%, alors qu'elle varie sur P entre 2% et 16%.

Le test de Khi2 mené sur les conversations initiées par les opérateurs « dédiés » et « non-dédiés » indique une différence significative dans la répartition des initiateur (« dédiés », et « non-dédiés ») entre les quatre équipes de S et les quatre équipes de P ( $\chi^2=26.1$ ,  $df=1$ ,  $p<0.001$  ; voir les détails en annexe 4).

On peut donc en déduire que les opérateurs « non-dédiés » sur S sont significativement davantage engagés dans la gestion du réacteur que sur P. Cette différence s'explique en partie par la réallocation des tâches observée sur S, évoquée au début de ce chapitre.

## 4 Conclusions préliminaires

Les résultats présentés dans ce chapitre rendent compte d'une gestion des situations s'appuyant d'avantage sur le collectif sur S que sur P.

## 4.1 Vers un collectif de travail sur S

Sur S les opérateurs travaillent en équipes de quart constituées. Les équipes sont amenées à déterminer une organisation qui leur est propre pour les situations accidentelles qui s'exprime dans la répartition des tâches de bilan d'eau, communication, lecture des procédures et tests de contamination. La répartition des tâches se fait de manière autonome par chaque équipe et tient compte des compétences des opérateurs. En situation, les équipes s'adaptent :

- à la composition de l'équipe : un novice dans l'équipe est soutenu dans ses tâches
- à la complexité de la situation : dans les situations complexes, la répartition des tâches évolue pour permettre de réguler la charge de travail.

Le travail collectif sur S réside aussi dans une communication entre tous les membres de l'équipe. Le chef de quart tient un rôle important dans les communications au sein de l'équipe, cependant on observe des échanges entre tous les membres. De plus les annonces « à la cantonade » et les diffusions à l'interphone permettent de maintenir une « *situation awareness* » partagée.

Enfin tous les opérateurs sur S semblent mobilisés sur la gestion de l'événement en cours. Même les opérateurs qui ne sont pas censés intervenir sur une avarie initient un nombre non négligeable de conversation. Cela montre leur compétence sur les sujets qui ne les concernent pas a priori, cela montre aussi leur investissement dans la gestion collective des situations.

## 4.2 Un travail collectif limité sur P

Sur P le fonctionnement des équipes est significativement différent. Le CdQ par son rôle « pivot » assure la synchronisation cognitive et opératoire requise pour tout travail en équipe. Cependant les opérateurs ne sont pas investis dans une activité collective. Ils ont un objectif commun à moyen terme mais des buts à court terme différents. De ce fait ils ne s'engagent pas dans une gestion réellement collective des situations. Cela est illustré notamment par le départ d'un opérateur au cours de la simulation une fois qu'il n'avait « plus rien à faire » dans le cadre de la simulation.

L'hypothèse (H2, §2.1.2 du Chapitre 5) est vérifiée dans ce chapitre. Le travail collectif est plus développé et constitue une ressource pour les opérateurs de S. De plus la possibilité d'une auto-organisation des tâches au sein des équipes sur S révèle des marges de manœuvre signe d'une relative autonomie des opérateurs. On ne constate pas la même possibilité d'auto-organisation sur P. Ce constat tend à renforcer l'hypothèse (H3, §2.1.3 du Chapitre 5).



# Chapitre 8 : Forme des débriefings et paradigmes de sécurité

---

L'étude présentée dans ce chapitre vise à comprendre comment les séances de débriefings suivant les passages sur simulateur sont mises à profit par les opérateurs et les formateurs pour :

- Développer l'analyse réflexive par la relecture de ce qui s'est passé sur simulateur
- Améliorer la pratique des opérateurs
- Discuter les aspects géré et réglé de la sécurité

## 1 Méthode

### 1.1 La forme des débriefings

Les débriefings sont constitués de différents types de retours. La grande majorité des retours formulés au cours des débriefings analysés sont « ciblés » et font référence à un événement particulier, un moment spécifique du temps de jeu sur simulateur. En plus des retours ciblés, les formateurs peuvent au cours des débriefings formuler des informations d'ordre général : donner une appréciation globale sur la conduite des opérateurs, apporter des précisions sur l'objectif du débriefing ou encore revenir sur la progression de l'équipe dans le cadre du programme d'entraînement.

#### Retours ciblés

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : Pour le confinement pensez à regarder de suite sur KrC. C'est clair on l'a à Kr, on voit bien qu'on a les demi verrines qui sont allumées, ça mange pas de pain d'aller sur KrC aussi qu'on ait bien le confinement réalisé, autant prendre l'habitude de le faire.*

*Formateur (Débriefing, P stand 2) : Sur apparition du premier seuil de radio protection, les réactions côté machine elles sont bien, elles sont bonnes, c'est ce qu'il faut faire, mettre en sécurité l'installation et se préparer au port du masque, normalement c'est ce qui est marqué dans le message... c'est pas évacuer la machine, c'est se préparer pour l'évacuation*

Information d'ordre général

*Formateur (Débriefing, S amb 2) : L'objectif du debriefing, ce n'est pas de juger la plateforme quoi que ce soit, c'est de faire un debriefing type, on va parler un petit peu de ce qu'il s'est passé.*

*Formateur (Débriefing, P stand 1) : Je ne dis pas qu'après vous avez mal conduit parce que quand on regarde les courbes, on sent qu'à la fin c'est pas mal. Le point d'arrivée il est pas mal. Mais le premier flottement dans les premières minutes, forcément va venir vous décontenancer et finalement ça va vous gêner tout le long*

Les retours ciblés constituent 70% à 75% des débriefings. Le Tableau 12 ci-dessous rassemble quelques chiffres sur le nombre total de mots des débriefings transcrits, le nombre total de mots des retours ciblés et le nombre de retours ciblé sur chaque système.

**Tableau 12 : Données quantitatives sur les débriefings**

Système	Nombre de mots pour les 4 débriefings	Nombre de mots de l'ensemble des retours ciblés	Nombre de retours ciblés
S	16755	12450	64
P	4906	3491	19

## 1.2 Caractéristiques des retours ciblés

Les retours ciblés se rapprochent des « séquences typiques de l'activité des formateurs lors des débriefings » caractérisées par Horcik et Durand (2011, p. 179).

### 1.2.1 Identification d'un événement

Ils débutent par l'identification d'un fait, d'un moment ou d'une discussion qui s'est passé pendant le temps de la simulation. Ensuite les formateurs peuvent formuler une évaluation de l'évènement et poursuivent avec des commentaires.

### 1.2.2 Evaluation

Le formateur peut évaluer de différentes façons l'évènement rapporté. Il y a soit une évaluation clairement positive ou clairement négative, soit une évaluation mitigée plutôt positive ou plutôt négative, soit enfin une évaluation neutre, qui est une absence de positionnement sur l'évènement rapporté.

Evaluation positive :

*Formateur (Débriefing, P stand 1) : au niveau du critère confinement par contre là cette fois **c'est bon, vous avez bien confiné la machine***

Evaluation négative :

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : Ensuite l'objectif des 212 degrés pour moi **il n'était pas bon cet objectif***

Evaluation mitigée positive :

*Formateur (Débriefing, S amb 1) : on part sur une décalibration de 2 chaines, **c'est bien on se stabilise bien, on essaie d'avoir les bons paramètres [...] par contre au moment où vous calibrez, bon demandez le à l'avant.***

Evaluation mitigée négative :

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : La contamination, alors effectivement vous avez une contamination de CTA. Alors au début vous le jouez pas trop, **je pense que vous devriez être plus précis ou plus critique sur les verrines.***

Evaluation neutre :

*Formateur (Débriefing, S amb 2) : bon vous avez l'autorisation de mettre en alarme et tu veux refaire un point... Alors je n'ai pas compris l'utilité de ton point.*

Comme le mentionnent Falzon et Darses (1992), les évaluations négatives sont toujours suivies d'une justification alors que ce n'est pas nécessairement le cas pour les évaluations positives. Dans notre codage, les justifications seront identifiées comme des commentaires.

### 1.2.3 Commentaires

Les commentaires peuvent être des justifications de l'évaluation formulée mais aussi des compléments d'information sur différents sujets. Les opérateurs peuvent s'exprimer lors des commentaires pour répondre aux sollicitations des formateurs ou clarifier un événement.

Les commentaires sont de deux ordres :

- Ils peuvent porter globalement sur les stratégies de conduite : celle qui a été effectuée, celle(s) qui aurait pu ou aurait dû être effectuée. On distingue la conduite observée, la conduite prescrite, la conduite attendue et les alternatives possibles.

Conduite observée :

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : Ensuite vous avez les conditions pour mettre le réacteur en alarme [...]. Alors c'est marrant parce que vous anticipez, [...] la mise en alarme, et finalement tu prends pas la delta et on y va avec les automatismes sur les SAA alors que vous l'aviez anticipé. Peut-être que vous auriez pu le faire... c'est bien, les automatismes fonctionnent, vous auriez pu prendre toi ta delta tranquillement, toi fermer tes SAA, ainsi de suite*

Conduite prescrite :

*Formateur (Débriefing, P stand 2) : mettre en sécurité l'installation et se préparer au port du masque, normalement c'est ce qui est marqué dans le message*

Conduite attendue :

*Formateur (Débriefing, S amb 1) : on fait ses actions immédiates. Là on sent il y a un petit... oui un peu plus de 10 minutes où il n'y a pas trop d'objectifs, on fait plus rien, on attend un peu donc ça, il y a un moment donné où on peut essayer quand même de se remettre dans le truc et donner des objectifs même si on les fait pas de suite de dire dans quelle direction je veux aller*

Alternative possible :

*Formateur (Debriefing, P stand 1) : vous avez confiné le compartiment, c'est un choix. On n'est pas obligé de confiner le compartiment, on peut très bien confiner par CK, fermer CK et tout ça. C'est un choix mais il n'est pas mauvais.*

- Ils peuvent constituer un complément d'information ou une clarification en s'appuyant sur différents arguments ; le fonctionnement technique du système, le travail collectif, le mode opératoire mis en place par un opérateur, le contexte de conduite, et l'utilisation des procédures.

Le fonctionnement technique du système :

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : c'est pas spécialement joué finement ici, mais si vous avez déjà pris 10 degrés de température, la contraction du fluide, ta citerne elle va être impactée aussi, vous aurez des difficultés à faire un bilan d'eau sur le secondaire avec un refroidissement de tout le système.*

Le travail collectif :

*Formateur (Débriefing, S stand 2) : enfin toi tu commences à t'alerter sur tes radioéléments qui augmentent. Annonce le bien, le truc à ton chef de quart, tu lui dis, j'ai quand même un truc qui m'interpelle, même si c'est pas grave annonce le*

Le mode opératoire

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : Pour le confinement pensez à regarder de suite sur le pupitre KrC. C'est clair on l'a à Kr, on voit bien qu'on a les demi verrines qui sont allumées, ça mange pas de pain d'aller sur KrC aussi vérifier qu'on ait bien le confinement réalisé*

Le contexte de conduite

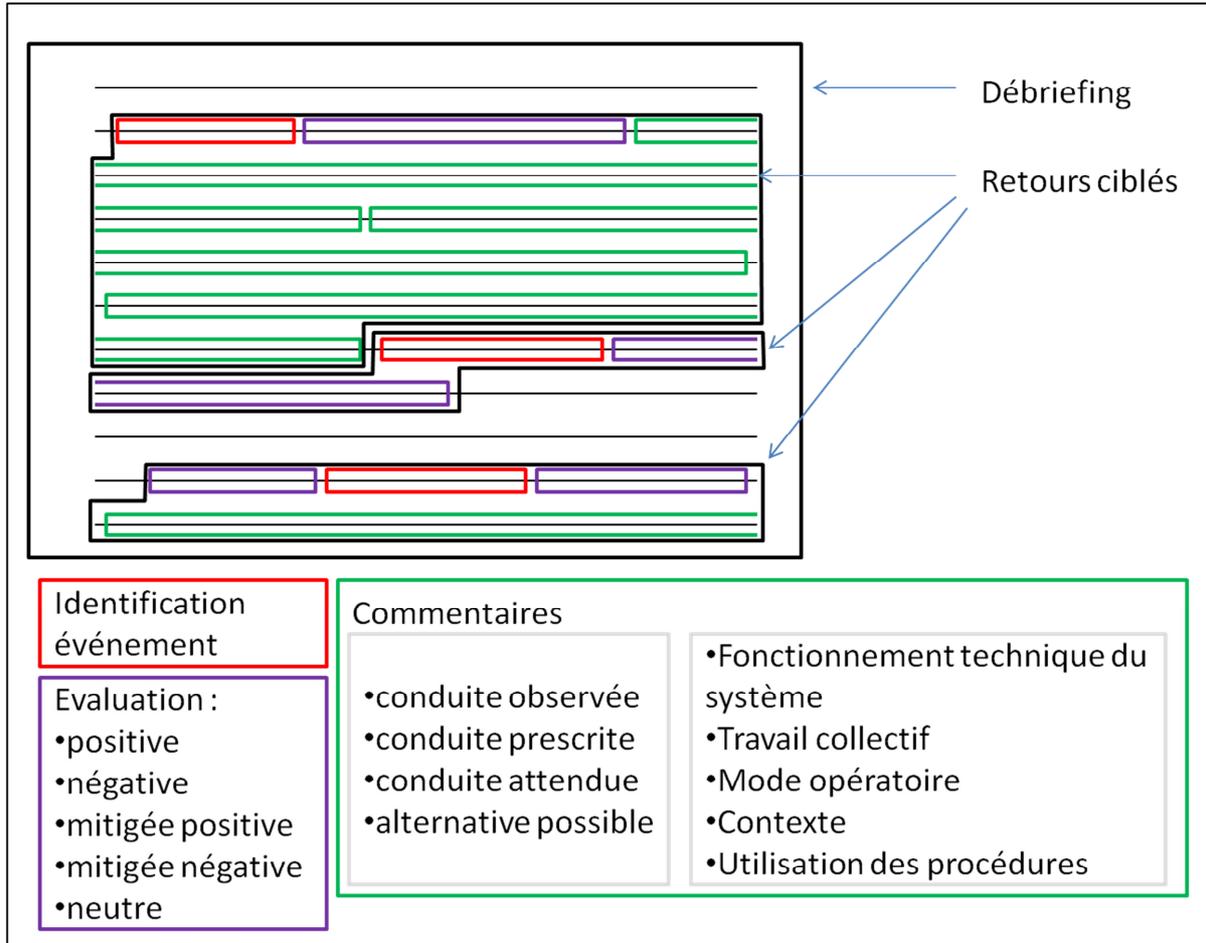
*Formateur (Débriefing, P amb 1) : Les décharges vapeur... de toute façon les capteurs ne déclenchent pas, vous pouvez les utiliser y a pas de soucis*

L'utilisation des procédures

*Formateur (Débriefing, P stand 1) : on fait de l'évènementiel, on ne fait plus de l'approche par état<sup>PN</sup>. Ça c'est pas bon non plus, donc recentrez bien, révisez bien votre conduite accidentelle, parce que là je trouve quand même qu'il y a beaucoup de hors piste, alors que normalement quand on*

*est dans ce genre de consigne, il n'y a pas de hors piste.*

Le codage ainsi choisi permet de rendre compte du point de vue des formateurs sur la conduite des opérateurs et des thèmes abordés lors des débriefings dans l'intégralité des retours ciblés, sur S et sur P. Il est illustré dans la Figure 24 ci-dessous.



**Figure 24 : Codage des retours ciblés**

L'exemple ci-dessous permet d'identifier comment sont codés les retours ciblés.

*Formateur (Débriefing, S amb 1) : C'est pareil, on tarde pas à reprendre à un moment donné on est restés longtemps à 75 bar alors qu'on avait quasiment 50 degrés de MdP et bien là il fallait... notre objectif c'est de passer sous les 63 bar surtout derrière on veut entrer et ça nous empêche de rentrer, donc on n'attend pas 50 degrés. Dès qu'on peut on douche.*

Identification de l'évènement : « *à un moment donné on est restés longtemps à 75 bar alors qu'on avait quasiment 50 degrés de MdP* »

Evaluation négative traduite par : « *on tarde pas à reprendre* » et « *longtemps* »

Commentaire type « fonctionnement système » : « *notre objectif c'est de passer sous les 63 bar surtout derrière on vent entrer et ça nous empêche de rentrer* »

Commentaire type « conduite attendue » : « *donc on n'attend pas 50 degrés. Dès qu'on peut on douche.* »

Il apparaît nécessaire d'apporter deux précisions sur le choix des catégories de commentaires. Premièrement, la conduite prescrite diffère de la conduite attendue dans le sens où la conduite attendue n'est pas formellement indiquée dans les prescriptions mais constitue une prescription officieuse de l'organisation (Chabaud, 1990). Lorsque la conduite prescrite est évoquée dans les débriefings elle s'accompagne d'une référence explicite aux procédures.

Deuxièmement, la distinction entre mode opératoire et stratégie est une question de niveau d'analyse. Les commentaires sur la stratégie tentent de discuter la stratégie globale de conduite ou les prises de décision de l'équipe, les commentaires sur le mode opératoire apportent des informations très pratiques sur la façon d'effectuer une action précise.

### 1.3 Modalités énonciatives d'injonction

Les formateurs peuvent se positionner de plusieurs façons vis-à-vis des opérateurs (Rudolph, *et al.*, 2007). Pour approfondir ce point, l'analyse faite dans ce paragraphe porte sur l'utilisation des modalités énonciatives d'injonction dans le discours des formateurs en tentant de discerner ce qui est de l'ordre de l'injonction de ce qui est de l'ordre du conseil.

Cette distinction s'appuie sur :

- Les verbes de modalité : devoir, falloir et pouvoir
  - Dans les injonctions on trouve les verbes de modalité devoir et falloir
  - Dans les conseils les verbes de modalité employés sont pouvoir et parfois falloir, cela dépend du contexte de la phrase.
- Les modes des verbes
  - Les modes utilisés dans l'injonction sont l'impératif et l'indicatif
  - Les modes utilisés dans le conseil sont le subjonctif et l'indicatif

Les conseils sont plus nuancés que les injonctions avec des formulations du type « peut-être », « moi à votre place », « je pense que », « ça mange pas de pain de », « attention » ou « prends l'habitude ».

#### Injonctions

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : Quand on vise les 54 bar, il faut mettre en parallèle avec la Wr*

*Formateur (Débriefing, P stand 1) : Il y a des ordres bien précis dans les messages qu'il faut respecter*

*Formateur (Débriefing, P amb 1) : CK aurait dû être confiné*

*Formateur (Débriefing, S amb 1) : Dès qu'on peut on douche*

*Formateur (Débriefing, S stand 2) : Ne faites plus ça*

#### Conseils

*Formateur (Débriefing, S amb 1) : mais attention ça peut perturber si tout le monde réfléchit pas comme toi*

*Formateur (Débriefing, P stand 2) : ça aurait peut-être mérité d'arrêter RF+*

*Formateur (Débriefing, S amb 1) : vous prenez cette décision là, moi je la prendrai pas sans qu'on m'en donne l'ordre*

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : je pense qu'il aurait fallu réagir peut-être un peu plus*

*Formateur (Débriefing, S stand 1) : prends l'habitude de vérifier, tout ce qui va se faire en démarrage auto*

Chaque retour ciblé ne donne pas lieu systématiquement à un conseil ou une injonction de la part du formateur.

## 2 Résultats

Le premier constat est que les débriefings sont menés très différemment sur S et sur P notamment d'un point de vue quantitatif. La transcription des débriefings donne un total de 16755 mots pour les 4 débriefings sur S et de 4906 mots pour les 4 débriefings sur P (voir le Tableau 12).

On peut faire l'hypothèse que l'écart observé s'explique en partie par le fait que les procédures étant moins volumineuses sur S que sur P, les formateurs de S sont davantage amenés à commenter la conduite et préciser la conduite attendue.

## 2.1 Les débriefings : des retours sur la conformité ou l'acceptabilité

Cette section s'intéresse uniquement aux retours ciblés parce qu'ils permettent d'accéder à des informations précises sur le point de vue des formateurs vis-à-vis de la conduite des opérateurs. L'objectif est de comprendre et d'accéder au paradigme de la sécurité qui sous-tend le discours des formateurs lors des débriefings.

Le nombre de commentaires par retour ciblé varie entre 0 et 6 pour l'ensemble des retours ciblés (S et P). Il se peut qu'il n'y ait aucun commentaire par exemple lorsqu'un formateur évalue positivement un événement et n'apporte aucun complément d'information. Certains retours sont beaucoup plus longs, notamment lorsqu'un ou plusieurs opérateurs interviennent dans le retour.

Le codage des retours ciblés de cette façon nous permet d'avoir une vision des évaluations formulées par les formateurs ainsi que de mesurer les thématiques les plus fréquentes.

### 2.1.1 La nuance dans les évaluations

Dans les retours ciblés, les formateurs évaluent l'action des opérateurs de façon plus ou moins nuancée. D'ailleurs, certains retours ciblés ne donnent lieu à aucune évaluation mais sont l'occasion d'aborder un point technique comme complément d'information. Le Tableau 13 indique la répartition des évaluations au sein des cinq catégories présentées dans le paragraphe précédent.

**Tableau 13 : Evaluations des formateurs dans les retours ciblés**

	S	P	S (%)	P (%)
Evaluation positive	15	4	24	21
Evaluation négative	11	10	17	53

Evaluation mitigée positive	5	0	8	0
Evaluation mitigée négative	13	2	20	10
Evaluation neutre	20	3	31	16

Les chiffres du tableau rendent compte d'évaluations plus ou moins nuancées en fonction du système. En effet, sur S, plus de la moitié des évaluations (59%) est neutre ou mitigée. A l'inverse sur P, la majorité des évaluations (74%) est clairement positive ou clairement négative. Ce premier résultat peut être interprété comme le fait que les retours sur P sont davantage centrés sur la conformité de la conduite observée à la conduite prescrite, alors que sur S il s'agit davantage de commenter et discuter la conduite observée. En effet, les retours neutres peuvent avoir pour objectif principal d'apporter des compléments d'information sans donner de jugement sur la conduite observée et les retours mitigés laissent à penser qu'il n'y a pas à proprement parlé de conduite prescrite mais plutôt une enveloppe de bonnes pratiques.

### 2.1.2 Du « réglé » au « géré » : les thématiques abordées en débriefing

Dans ce paragraphe est développée l'analyse des thématiques abordées lors des retours ciblés. Le Tableau 14 indique la répartition des 123 commentaires issus de 64 retours ciblés sur S et des 33 commentaires issus des 19 retours ciblés sur P.

**Tableau 14 : Répartition des commentaires par thématiques**

	S	P	S (%)	P (%)
Conduite observée	22	0	18	0
Conduite prescrite	1	7	1	21
Conduite attendue	11	1	9	3
Alternative possible	16	2	13	6
Fonctionnement du système	25	6	20	18
Travail collectif	18	2	14	6
Mode opératoire	16	5	13	15
Contexte	7	1	6	3
Utilisation des procédures	7	9	6	28

Si on s'intéresse dans un premier temps aux commentaires sur la stratégie de conduite (les quatre premières lignes du Tableau 14), on constate que les deux thématiques les plus fréquentes sur S sont la conduite observée et les alternatives possibles, vient ensuite la catégorie de la conduite attendue. Sur P, la thématique la plus présente concernant la stratégie de conduite est la conduite prescrite. Ce résultat tend à confirmer la tendance d'une discussion autour de la conformité sur P alors que sur S les échanges donnent lieu à une mise en débat de la stratégie observée qui se solde par une ouverture des possibles en terme de pratique ou une consolidation de la conduite attendue. Quoi qu'il en soit l'évocation du prescrit n'est pas faite de la même façon sur S et P.

L'existence d'une catégorie alternative possible largement présente sur S montre un souci des formateurs de donner aux opérateurs différents moyens d'action sans nécessairement trancher sur un « one best way ». Cette démarche a pour conséquence de développer les compétences et savoir faire des opérateurs.

Par ailleurs, sur P les séances de débriefings ne semblent pas être mises à profit pour discuter et débattre de la conduite effectuée, mais plutôt pour rappeler la conduite prescrite ou attendue. Cela peut nous amener à faire l'hypothèse que la sécurité gérée, celle en marge des prescriptions, ne semble pas être discutée sur P. Cette hypothèse rendrait de fait une articulation entre sécurité réglée et sécurité gérée difficilement ajustable.

Dans un second temps on peut se focaliser sur les cinq dernières lignes du tableau. On constate alors que les thématiques privilégiées sur S sont le fonctionnement du système et le travail collectif. Sur P la thématique privilégiée lors des débriefings est l'utilisation des procédures, vient ensuite le fonctionnement du système. Ces chiffres laissent à penser que la compréhension du système et le fonctionnement du travail collectif tiennent une place importante sur S alors que sur P le suivi des procédures semble être un enjeu considérable.

Dans ce cadre il apparaît que la sécurité portée par les règles est beaucoup plus présente sur P que sur S. De même la compréhension du système semble davantage peser dans les retours en débriefing sur S ce qui a pour conséquence d'accroître les connaissances des opérateurs.

Le nombre conséquent de commentaires sur le travail collectif sur S renforce les résultats du chapitre précédent sur la gestion collective des situations. Cela permet en outre de faire l'hypothèse que sur S, le travail collectif se développe entre autres à l'aide de la formation.

Pour compléter ces résultats, on peut rappeler que, dans l'approche par état<sup>PN</sup> telle qu'elle est déclinée en propulsion nucléaire notamment sur P, il est considéré que la sécurité est portée

par les procédures et que le respect des procédures permet de maintenir le niveau de sécurité attendu. Cela peut expliquer en partie l'importance des thèmes abordés sur le « réglé » lors des débriefings sur P. Cependant ce constat ne semble pas correspondre avec les résultats obtenus dans le chapitre 6. En effet des situations qui font intervenir le « géré » sur P existent en situation ambiguë comme en situation standard, cela n'est manifestement pas pris en compte lors des débriefings.

« La stratégie c'est la votre »<sup>12</sup>

A l'opposé sur S le niveau de guidage des prescriptions laisse la possibilité de mettre en œuvre plusieurs stratégies sans être en contradiction avec les règles écrites. Cela amène les formateurs en débriefing à commenter les stratégies choisies et à proposer d'autres stratégies possibles. Pour illustrer ce propos, on s'intéressera ici aux stratégies de conduite des équipes S amb 1 et S amb 2. La stratégie dite de « relevage » consiste en cas de fuite dans le circuit primaire à le réapprovisionner en eau<sup>13</sup>. Il s'agit de compenser l'effet de la fuite. Pour cela il y a deux possibilités pour les opérateurs sur S :

- Soit ils utilisent une réserve du circuit primaire (R1), qui est assez limitée dans le temps.
- Soit ils prennent de l'eau dans une réserve du circuit secondaire (R2), qui permet un relevage pendant un temps beaucoup plus long.

Nous nous intéressons ici aux choix de conduite des équipes S amb 1 et S amb 2 et des retours ciblés qui ont été faits sur cette stratégie en débriefing.

L'équipe S amb 1 choisit de commencer le relevage avec la réserve du primaire, puis au milieu de la gestion de la fuite, ils basculent le relevage sur la réserve du secondaire. A l'inverse l'équipe S amb 2 choisit de rester sur la réserve du primaire jusqu'à ce qu'elle se vide totalement. La séance sur simulateur s'est arrêtée avant qu'ils aient besoin d'utiliser une autre réserve.

---

<sup>12</sup> Extrait d'une réflexion du formateur lors du débriefing de l'équipe S stand 1.

<sup>13</sup> Dans ces scénarios de fuite, les opérateurs ne sont pas obligés d'utiliser les moyens d'urgence de réapprovisionnement en eau. Cette stratégie repose sur l'utilisation des moyens classiques de relevage.

Les extraits ci-dessous présentent les retours du formateur pour les deux équipes. Le formateur en charge de ces deux débriefings est le même.

Débriefing, S amb 1

*Formateur : Après on a vu la permutation de ton relevage, ça c'est à discuter, il y a des raisons, c'est marqué nulle part... on le voit régulièrement de plus en plus [...] à la limite ça fait bizarre de le voir en plein milieu de la gestion de la fuite.*

Débriefing, S amb 2

*Formateur : ça c'est un axe de réflexion, ce que vous avez fait, c'était correct, la gestion du relevage par R1. Mais il y a une gestion qui peut être peut-être un peu plus fine, R1 dès le départ c'est normal. On sait pas si y a une fuite, on sait pas où ça va, donc c'est R1. A partir du moment où on a diagnostiqué la fuite, on sait qu'on perd de l'eau, pourquoi on bascule pas dans une logique R2 où j'ai beaucoup d'eau et je garde R1 si jamais j'ai à subir un refroidissement, à subir une augmentation de fuite... donc ça c'est une réflexion que je vous donne, c'est marqué nulle part, y a des équipes qui font ça, c'est pas mal.*

On constate ici que les deux stratégies sont acceptables, elles sont aussi toutes deux remises en question par le formateur. La phrase du formateur « C'est une réflexion que je vous donne, c'est marqué nulle part, y a des équipes qui font ça, c'est pas mal » renforce l'analyse faite précédemment sur la volonté des formateurs en débriefing d'élargir les possibilités d'action des opérateurs sans nécessairement apporter une dimension normative. Ce type de retours peut inviter les opérateurs à une analyse réflexive sur leur activité.

Les thèmes abordés sur S et P diffèrent de manière importante. Il semblerait que les formateurs de P soient dans une démarche de conformité : ils vérifient que les actions effectuées sont conformes à ce qui est prescrit et attendu. A l'inverse sur S, les formateurs seraient davantage dans une démarche « d'acceptabilité » : ils étudient si les actions effectuées sont acceptables, si elles sont discutables et ce qu'il aurait aussi été acceptable de faire.

### 2.1.3 Le statut du formateur : du prescripteur au pair

L'analyse faite ci-dessous porte sur l'utilisation des modalités énonciatives d'injonction dans le discours des formateurs. On a dénombré les injonctions et les conseils des retours ciblés de S et P. Le Tableau 15 rassemble le nombre de retours ciblés dans lesquels sont émis un conseil ou une injonction du formateur ainsi que le nombre de total d'injonctions et de conseils sur chaque système.

**Tableau 15 : Modalités énonciatives d'injonction dans les retours ciblés**

	S	P
Nombre de retours ciblés contenant une injonction ou un conseil	41	11
Nombre total d'injonctions	16/41	15/11
Nombre total de conseils	28/41	3/11

Il arrive que, dans un retour ciblé, un formateur énonce plusieurs conseils, ou plusieurs injonctions ou même un peu de chaque.

Ces chiffres montrent une forte présence de l'injonction sur P à l'instar du conseil sur S. La prédominance des injonctions par rapport aux conseils sur P tend à placer les formateurs de ce système comme des prescripteurs hiérarchiquement supérieurs aux opérateurs, qui détiennent la connaissance que ce qu'il « faut » faire.

Sur S les formateurs formulent plus de conseils que d'injonction, cela pointe l'idée qu'il n'existe pas de « one best way ».

Par ailleurs, on peut noter dans trois des retours ciblés sur S, une reconsidération de l'évaluation initiale du formateur suite à un échange avec un opérateur.

**Débriefing, S amb 1**

*Formateur : Donc après vous tournez en boucle, on tourne en boucle dans la consigne d'orientation, parce qu'il n'y a pas de porte d'entrée donc on est un peu lent à arriver sur le bilan d'eau secondaire ça quand vous voyez que sur le primaire vous voyez de la perte mais que ça tourne en boucle...*

*Km : pourtant j'avais toujours mes 84% ça montait pas, il n'y a que quand il y a eu 80 litres d'eau que...*

*Formateur : mais ça tu l'avais vu avant que ça montait pas, tu faisais des*

*bilans d'eau réguliers ?*

*Km : je faisais des bilans d'eau réguliers, j'avais une référence*

*Formateur : d'accord parce que ça je ne le voyais pas forcément d'ici.*

Dans l'extrait de débriefing présenté ci-dessus, le formateur s'entretient avec une équipe qui vient d'être confrontée au scénario ambigu. Ce retour ciblé fait référence à la phase de diagnostic pendant laquelle les opérateurs ont des difficultés à identifier la fuite primaire secondaire parce qu'ils n'ont qu'un paramètre en évolution, le niveau pressuriseur. Le formateur dans sa remarque montre que l'opérateur Km semble lent à investiguer une évolution de niveau du circuit secondaire. Le Km se justifie en indiquant qu'il surveillait effectivement le niveau du circuit secondaire mais que ce dernier n'évoluait pas. Le Km rappelle à ce propos que le capteur a une inertie de 80 litres avant d'indiquer une évolution de niveau<sup>14</sup>. A la fin le formateur revient sur son évaluation.

Débriefing, S amb 2

*Formateur : La perte de flux, c'était un peu long, derrière la fuite arrive, finalement on reprend jamais la boucle.*

*CdQ : on n'a pas repris la boucle*

*Km : non parce que le flux n'est pas passé*

*Formateur : le flux n'est pas passé ?*

*Km : non*

*Formateur : c'est une avarie que je n'ai pas vue*

Dans l'extrait de débriefing ci-dessus, le formateur évalue négativement l'action que le Km n'a pas faite premièrement parce qu'il aurait été trop lent et deuxièmement parce que la situation de fuite l'en aurait empêché. Le Km n'a pas pu « reprendre la boucle » parce que le flux n'est jamais passé. Il ne s'agit pas d'une lenteur puis d'un oubli, mais d'une avarie que le formateur n'a « pas vue ». La dernière phrase du formateur montre qu'il remet en cause sa première évaluation négative.

Débriefing S stand 2

*Formateur (au Kr) : tu l'as pas annoncé le seuil radioéléments*

*CdQ : Si il me l'a dit*

*Formateur : ah oui ? [...] le seuil radioélément, ce qui est bien, faut le verrouiller*

---

<sup>14</sup> Cette inertie est tout à fait normale parce que la citerne considérée contient plusieurs centaines de litre d'eau.

Dans ce dernier extrait, le formateur pense qu'il y a un défaut de communication entre Kr et CdQ ce que le CdQ contredit.

Aucune réévaluation n'est observée dans les retours sur P. Ces trois extraits tendent à confirmer que les formateurs sur S semblent échanger entre pairs avec les opérateurs ou du moins qu'ils ne détiennent pas les réponses à toutes les questions.

## 2.2 Le débriefing : vers un environnement capacitant ?

Les paragraphes précédents montrent que la forme du débriefing sur S permet un élargissement des actions possibles par la proposition d'alternatives aux stratégies de conduite observées, cela favorise aussi le développement de l'activité réflexive par la mise en débat des pratiques. L'analyse approfondie des débriefings sur S révèle que ce sont aussi des espaces de réélaboration des règles et de développement des compétences.

### 2.2.1 Réélaboration de la règle

Lors des débriefings, opérateurs et formateurs peuvent être amenés à discuter la règle écrite et à préciser son cadre d'utilisation.

Débriefing, S amb 2

*Formateur : Et attention aussi l'ouverture des soupapes secondaires, c'est pas P1 c'est P2<sup>15</sup>.*

*CdQ : oui c'est P2, je disais plus ou moins 3*

*Formateur : parce qu'à un moment donné faut pas penser que c'est P1*

*CdQ : c'est mis P1 je crois dans la doc, mais c'est pour ça que...*

*Formateur : mais c'est pour ça que je trouve que c'est peut-être un peu mal écrit mais P1 c'est bien associé aux 269 degrés, à l'utilisation de CL, mais c'est vrai que la seule valeur de pression qui apparaît dans cette [procédure] c'est P1, mais attention à ne pas confondre.*

---

<sup>15</sup> Ici P1 et P2 sont des valeurs de pression.

Dans l'extrait présenté ci-dessus, le formateur rappelle les valeurs de pression à considérer pour la question de l'ouverture des soupapes et cela donne lieu à un échange sur les informations qui apparaissent dans la documentation et les informations nécessaires pour piloter le système. Cet échange montre qu'il est possible sur S de discuter des procédures écrites et même de les remettre en question.

Dans l'extrait suivant, le formateur et le CdQ discutent d'un seuil non prescrit que l'équipe doit se fixer pour éviter le déclenchement d'un automatisme qui se fait lorsque le paramètre atteint la valeur 30.

Débriefing, S amb 1

*Formateur : C'est ce qu'on a vu donc tu te prends une marge peut-être un peu grosse, 45 dans un premier temps c'est un peu large et ça t'embête*

*CdQ : avant je descendais plus, 33 et des brouettes, après on m'a dit remonte un peu parce que... 35 c'est bien je pense*

*Formateur : 33 c'est un peu... peut-être, entre 35 et 40, après il n'y a pas de valeur fixe, mais voilà.*

Cet échange permet d'ajuster la stratégie de l'équipe et ici le formateur et le CdQ s'accordent sur la plage de valeur du seuil. Il s'avère qu'il n'y a pas une valeur possible mais une plage de valeur, ce prescrit flou donne l'opportunité aux opérateurs d'ajuster leur stratégie de conduite au sein de la plage de valeur en fonction de la situation et des objectifs poursuivis.

Ces deux extraits montrent que les règles formelles comme les règles non formelles peuvent être discutées. Premièrement cela met en évidence qu'il est possible de débattre des règles et de les reformuler. Ce type de débat est une étape importante notamment pour l'appropriation des règles. Deuxièmement ces extraits révèlent qu'opérateurs et formateurs définissent ensemble la conduite à tenir. Il n'y a donc pas un formateur « sachant » et un opérateur « apprenant » mais bien des opérateurs et formateurs qui co-construisent l'enveloppe de bonnes pratiques.

## 2.2.2 Développement des compétences

### Par le développement des connaissances

Le formateur peut aussi mettre à profit les débriefings pour inviter les opérateurs à une réflexion sur un aspect technique ou la raison d'être des procédures qui peut remettre en cause des pratiques établies.

Par exemple dans le cas de la fuite primaire secondaire, un des objectifs dans la gestion de la fuite est de diminuer l'écart de pression entre le circuit primaire et le circuit secondaire pour limiter et arrêter à terme le déversement du fluide primaire vers le circuit secondaire. Dans l'extrait ci-dessous, le formateur propose aux opérateurs de se questionner sur les situations de fuite dans lesquelles cette diminution de pression va avoir un impact sur le débit de la fuite.

Débriefing, S amb 1

*Formateur : Juste aussi pour vous faire réfléchir, alors c'est vrai qu'on en parle souvent, on parle diminuer la pression pour diminuer le débit de fuite, c'est vrai, maintenant c'est vrai mais ce n'est pas tout le temps. Parlez-en entre vous, ce que c'est qu'un débit critique, en fonction du diamètre de la fuite... le débit de fuite ne va pas forcément évoluer de suite en faisant chuter la pression...*

Dans l'extrait suivant on comprend qu'il apparaît nécessaire pour le formateur que les opérateurs se posent des questions sur les procédures.

Débriefing S stand 1

*Formateur : vous n'avez pas essayé de rassembler tous les objectifs de la documentation. Enfin vous n'avez pas répondu à la question pourquoi la documentation me demande ça.*

Ces extraits illustrent comment les débriefings peuvent servir à approfondir les connaissances des opérateurs en leur donnant accès à une représentation plus fine du système technique et des procédures.

Par le REX

Les stratégies de conduite observées en simulateur peuvent résulter de retours d'expérience des opérateurs. Dans l'extrait suivant, le formateur s'interroge sur la permutation de relevage : le passage du relevage par R1 au relevage par R2. L'opérateur Kr lui explique son point de vue. Le CdQ qui avait une autre raison de mettre en œuvre cette stratégie l'expose aussi.

Débriefing, S amb 1

*Formateur : Après on a vu la permutation de ton relevage, ça c'est à discuter, il y a des raisons, c'est marqué nulle part... on le voit régulièrement de plus en plus*

*Kr : moi je le vois d'un point de vue élec, pour avoir fait 2 arrêt réacteur à la mer, on voit que les [alim élec<sup>16</sup> sont très sensibles] et là [une fois que le réacteur est arrêté, c'est compliqué] de pouvoir alimenter notre pressu par R2. Autant utiliser ce qu'on a en réserve dans la citerne [de R2] peut être au départ et se garder une petite marge parce qu'on démarrera peut-être plus sûrement R1 derrière une fois qu'on aura les alim élec [en fonction]*

*CdQ : moi je ne suis pas du tout entré dans le côté élec, moi je suis parti dans le fait qu'on était en relevage, avec un niveau pressu qu'on maintenait tranquille et ma citerne [R1] qui se vidait et je me dis [...] là j'ai encore de la marge sur R1, de toute manière R2 je vais l'utiliser... parce qu'une fois que j'aurai plus R1 j'aurai R2 donc autant la lancer tout de suite et puis je me garde une marge sur [R1 si jamais la fuite augmente]...*

Dans ce cas, les débriefings sont l'occasion pour les formateurs d'accéder à des récits de situations réelles et pour les opérateurs de s'expliquer entre eux leur approche personnelle de la situation. Lors de ces échanges, chaque opérateur de l'équipe acquiert de nouveaux retours d'expériences et savoir faire.

Par le partage des bonnes pratiques

Les opérateurs qui ont participé à cette étude sont en formation continue et ont pu dans le cadre de leur activité développer des pratiques plus ou moins connues ou partagées par les autres opérateurs. En assistant aux séances sur simulateur, les formateurs peuvent identifier les pratiques performantes et les capitaliser. Ils deviennent un relais de ces pratiques et savoir faire lorsqu'ils les transmettent à d'autres équipes au cours des débriefings. L'extrait choisi ci-dessous illustre bien ce transfert de pratiques.

Débriefing, S stand 2

*Formateur : Si vous mettez [vos paramètres] sur un diagramme pressu [...], vous avez tous vos leviers pour vos points de situation ... je le vois de*

---

<sup>16</sup>Les « alim élec » sont des alimentations électriques de secours enclenchées en cas d'arrêt du réacteur.

*plus en plus moi maintenant à surveiller tout le monde, si vous arrivez à faire glisser vos paramètres là dedans, ça marchera mais du feu de dieu et ensuite on voit de suite ce qui nous gêne, où est-ce qu'on aura une butée.*

Dans l'extrait présenté, le formateur propose à l'équipe d'appliquer une méthode d'analyse des paramètres pour les aider à définir leur stratégie de conduite.

Ces extraits rendent compte de la richesse des échanges d'information, des régulations de l'activité qui peuvent se tenir lors de débriefings. Sur S les débriefings permettent aux opérateurs et aux formateurs une mise en débat des pratiques, des savoir-faire et des règles écrites comme non écrites. Cette mise en débat peut être considérée comme un véritable avantage pour articuler sécurité réglée et sécurité gérée. Cette façon de questionner l'activité et ce qu'il est acceptable de faire peut rappeler la sécurité négociée proposée par Terssac et Mignard (2011).

### **3 Conclusions préliminaires**

#### **3.1 Deux formes de débriefings...**

L'ensemble des résultats de ce chapitre pointe une gestion des débriefings très différente d'une installation à l'autre. Sur P la question en jeu lors des débriefings semble être la conformité au prescrit alors que sur S il s'agit davantage de discuter les pratiques et définir ce qu'il est acceptable de faire.

Les résultats présentés dans ce chapitre confirment l'hypothèse (H1, §2.1.1 du chapitre 5) selon laquelle le prescrit et notamment les règles formelles ne tiennent pas la même place en formation sur S et P. L'importante évocation de la prescription par les formateurs de P démontre la place prépondérante que doit avoir le réglé dans la conduite. Cela signifie aussi que la performance en quelque sorte repose sur le respect des procédures.

Sur S les formateurs combinent dans leur débriefings des éléments sur le réglé et le géré, rejoignant l'hypothèse (H1). Une explication de ce résultat est que les procédures accidentelles n'existaient pas au début de l'exploitation de S. De ce fait les opérateurs ont dû construire un répertoire de pratiques informelles qui se transmettait notamment par les formations et le travail collectif. L'introduction des procédures a vu se mêler une culture préexistante à des pratiques formelles. On constate que les débriefings constituent encore un espace de discussion des règles formelles et informelles, des situations réelles et des pratiques mises en œuvre par les opérateurs.

Les formateurs sur S formulent lors des débriefings un nombre conséquent de commentaires sur le fonctionnement de l'équipe. L'équipe est un sujet beaucoup moins évoqué par les formateurs sur P. Ce point rejoint l'hypothèse (H2, §2.1.2 du chapitre 5) sur un travail collectif davantage développé sur S par rapport à P

Enfin la façon de mener des débriefings « ouverts » sur S va nécessairement dans le sens de l'autonomie des opérateurs ce qui est le contraire sur P. Cela coïncide avec l'hypothèse (H3, §2.1.3 du chapitre 5).

La différence observée entre les débriefings de S et de P peut avoir des impacts importants sur l'activité :

- Sur S les débriefings tendent à élargir le domaine des actions possibles, à développer les connaissances et compétences des opérateurs et à encourager l'analyse réflexive
- Sur P les retours en débriefings rappellent aux opérateurs la conduite à tenir en s'appuyant sur les procédures. Cette démarche ne permet pas de développer les compétences globales des opérateurs au contraire elle tend à limiter et contraindre les moyens d'action de ces derniers.

### **3.2 ... deux visions d'atteinte de la sécurité**

Les deux formes de débriefings s'inscrivent dans deux paradigmes différents d'atteinte de la sécurité. De la posture du formateur « sachant » ou « pair » à l'utilisation de l'injonction ou du conseil en passant par les thématiques les plus abordées (utilisation des procédures et conduite prescrite ou fonctionnement du système et conduite observée), les débriefings démontrent une approche de la sécurité normative sur P et une approche adaptative sur S.

L'approche normative mise en œuvre lors des débriefings sur P, cohérente par rapport au paradigme général de la sécurité normative propre à l'APE<sup>PN</sup>, est cependant en décalage avec le recours à des situations « gérées » indiquées dans le Chapitre 6.

## DISCUSSION



# Chapitre 9 : Conclusions générales

---

## 1 Synthèse des résultats

Les systèmes S et P bien que comparables, se distinguent l'un de l'autre par de nombreux aspects. Le système P a bénéficié en conception d'une prise en compte du facteur humain plus poussée que S. Cela s'explique simplement par les 20 années d'écart entre les années de conception des deux systèmes. Dans ce laps de temps, on a assisté à une prise de conscience de l'importance du facteur humain dans l'industrie nucléaire. Cela s'est traduit en France notamment par la mise en place de l'approche par état dans la conception des procédures accidentelles. L'approche par état<sup>PN</sup> est conçue de façon à éviter les erreurs de diagnostic causal et permet aux opérateurs d'être mieux soutenus et aiguillés sur les actions à effectuer en situation accidentelle. En d'autres termes l'approche par état<sup>PN</sup> vise à aider les opérateurs à faire face dans les situations accidentelles.

Malgré des systèmes différents notamment par un écart dans la prise en compte des aspects facteur humain en conception, la réponse des équipes de S n'est pas moins performante que celle des équipes de P en situation accidentelle ambiguë. Les équipes des deux systèmes réalisent une conduite qui permet de mettre l'installation dans un état sûr.

En situation standard, les équipes adoptent une stratégie qui correspond à ce qui est attendu ou prescrit, sur S comme sur P. Cela n'exclut pas quelques décisions gérées sur les deux systèmes.

En situation ambiguë deux stratégies de conduite émergent, l'une est portée par l'action et l'autre est portée par la compréhension. Notamment, l'analyse de la conduite des équipes de P en scénario ambigu indique qu'elles s'éloignent du prescrit (pourtant existant) et arbitrent entre différentes façons de faire.

Quoi qu'il en soit, dans ces cas là, ce n'est plus la procédure qui permet de « faire face » mais la compétence des opérateurs. On arrive ainsi à un point de divergence entre des procédures

de type « par état<sup>PN</sup> » conçues pour guider les opérateurs dans les situations accidentelles et l'existence de stratégies de conduite sûres qui ne sont pas directement soutenues par les procédures.

Autrement dit l'anticipation des risques qui se traduit principalement par la mise en place de barrières qui pourraient être qualifiées de « ressources normatives » ne permet pas à elle seule la maîtrise des risques.

L'existence avérée de situations où le « géré » intervient sur S comme sur P rend nécessaire un questionnement sur les ressources « adaptatives » que requièrent ces situations et dont les opérateurs ont besoin pour développer leur capacité à faire face.

Sur P l'approche normative des formateurs en débriefing tend à limiter et contraindre le champ d'action des opérateurs. Le fonctionnement du travail collectif sur P ne semble pas constituer une ressource permettant l'adaptation de l'équipe face aux situations rencontrées. Il apparaît ainsi une incohérence entre d'une part les besoins des opérateurs de devoir agir à la marge de la prescription et d'autre part le fonctionnement du travail collectif et l'approche normative des formateurs en débriefings. Deux hypothèses sont envisageables.

La première est que l'APE<sup>PN</sup> telle qu'elle est déclinée sur P, c'est-à-dire avec des procédures accidentelles indiquant la nature de l'accident (procédure de la fuite primaire secondaire ou primaire externe) rend difficile une vision de la conduite réellement « par état » pour les opérateurs. Il est possible qu'ils éprouvent de la difficulté à se focaliser uniquement sur une représentation de l'installation à l'instant t, sans prendre en compte l'historique des tendances des paramètres et sans tenter de faire le diagnostic de la situation. Une option possible serait de faire évoluer les procédures APE<sup>PN</sup> pour faire davantage coïncider la conduite des opérateurs aux principes de l'approche par état.

La seconde hypothèse est que les situations d'arbitrages sont nécessaires pour conduire des installations de manière ultra-sûre, quel que soit le mode de conduite. Dans ce cas, l'option serait de soutenir les situations gérées par le développement de ressources adéquates telles que le collectif de travail ou des débriefings orientés sur les pratiques réelles et les situations d'arbitrage.

Sur S, des situations d'arbitrages existent, elles peuvent amener l'équipe à se reconfigurer, ces situations sont aussi l'objet d'échanges lors des débriefings. Les ressources mises en œuvre sur S permettent d'envisager des situations à la marge des procédures et tendent à développer l'autonomie des opérateurs, ce qui est cohérent avec la conduite observée.

## **2 Limites**

L'étude des systèmes S et P présentée dans cette thèse comporte plusieurs limites qui suggèrent des travaux complémentaires. Les trois principales sont exposées ci-dessous.

### **2.1 Le scénario**

Le scénario choisi ne permet pas d'observer une diversité des comportements dans la décision d'arrêt du système. En effet ce type de fuite (primaire secondaire) et son débit mènent nécessairement à l'arrêt du système. De ce fait il n'était pas possible face à ce scénario de constater une palette de comportements allant du plus sûr au moins sûr. Il est possible qu'un scénario avec plus d'options de conduite donne lieu à davantage de nuances dans la performance des équipes sur S et P.

### **2.2 Le nombre d'équipes**

L'étude s'inscrit dans une perspective clinique puisqu'elle se base sur l'analyse approfondie de quelques cas. Cette méthode « ne permet pas de généraliser facilement » (Falzon, 1998, p. 7). Mais « le fait de traiter de cas singuliers, dans la pratique d'intervention comme dans la recherche, ne signifie pas que la généralisation est impossible » (Falzon, 1998, p. 8). La réplique d'une expérience dans le domaine expérimental peut être transposée par un artifice dans le cas d'une démarche clinique à la pratique collective soutenue par l'ensemble des travaux de recherche menés dans une même visée théorique.

L'analyse d'un plus grand nombre de débriefings avec davantage de formateurs permettrait de caractériser plus finement les approches de sécurité sur S et P et de mesurer les différences interpersonnelles entre les formateurs.

## 2.3 La situation de simulation

L'étude présentée dans la thèse s'est faite sur simulateur pleine échelle. Il n'a pas été possible d'aller observer l'activité des opérateurs en situation réelle. Or il est évident que « faire "comme si" n'est pas faire » (Dubey, 1997, p.39). Cependant la situation de conduite en simulateur pleine échelle fait pleinement partie de l'activité des opérateurs de S et P. En effet, c'est dans cet environnement qu'ils effectuent leur formation initiale, ils ont aussi l'habitude de revenir régulièrement sur simulateur pour les séances d'entraînement ainsi que les qualifications. Certes l'activité qui s'est jouée en simulateur n'est pas directement transposable à celle effectuée en situation réelle cependant l'activité en simulateur correspond à une réalité de travail pour les opérateurs.

Une critique possible des études sur simulateur du traitement de situation à risque est que l'aspect « risque » n'est pas réellement pris en compte en simulation. En effet les opérateurs en simulateur ne font pas face aux risques qui existeraient en situation réelle pour un même scénario. Il est possible de formuler deux objections à cette critique :

- Les formateurs qui encadrent la simulation constatent toujours la forte implication des équipages qui se mobilisent pour traiter le problème : on n'est pas loin de la réalité.
- La situation de simulation est aussi une situation d'évaluation. Il existe un risque de « mal faire » du point de vue de l'évaluation professionnelle. Ceci encourage les opérateurs à se comporter le mieux possible.

De ce dernier point de vue, les résultats obtenus sur P sont frappants. Les opérateurs, se sachant évalués, pourraient adopter un comportement normatif, très proche de la prescription. Ce n'est pas ce que l'on constate.

Pour caractériser « l'écart » entre la situation simulée et la situation réelle, le point de vue des opérateurs de S et P a été recueilli lors des entretiens. Il apparaît que le plus grand écart entre la situation réelle et simulée est sur P.

Sur S les opérateurs rapportent que la conduite réalisée en simulateur est proche de celle qu'ils auraient effectuée en situation réelle si ce n'est qu'ils auraient été beaucoup plus sollicités par la cellule de réflexion et l'ensemble des opérateurs du bord pour communiquer sur l'évolution de la situation du réacteur.

Sur P, les opérateurs indiquent que la situation réelle serait assez différente de celle observée en simulateur. Un groupe important d'opérateurs parmi lesquels des supérieurs hiérarchiques

pourraient rejoindre la salle de conduite pour épauler l'équipe, intervenir dans la conduite voire même les remplacer à leur poste. L'absence de ce groupe d'opérateurs en situation simulée a plusieurs conséquences :

- Les opérateurs en poste se sentent plus « au calme » et il est plus aisé pour eux de réfléchir à la situation
- Les décisions prises en situation réelle relèveraient probablement davantage d'échanges entre l'ensemble des différents acteurs
- Une remarque d'un opérateur invite à formuler l'hypothèse que le « géré » sur P est pris en charge par le management plutôt que par les opérateurs en poste.

### **3 Apports de la thèse**

L'analyse du travail collectif et des débriefings sur S et P permet d'avancer l'idée de l'existence de deux paradigmes de la sécurité.

Sur S on constate une cohérence globale entre des prescriptions d'un niveau de guidage peu détaillé, un travail collectif en équipes constituées permettant les régulations et reconfigurations en fonction des situations, des débriefings ouverts donnant lieu à des débats sur les règles et un élargissement du champ des possibles. Cet ensemble permet et encourage une approche adaptative de la sécurité qui prend en considération et tente d'articuler réglé et géré.

Sur P il y a une cohérence globale entre des procédures d'un niveau de guidage très détaillé de type APE<sup>PN</sup>, un fonctionnement d'équipe prescrit et peu flexible, des débriefings orientés sur la prescription et son utilisation. Il s'agit là d'une approche normative qui s'appuie essentiellement sur le réglé.

#### **3.1 Une approche adaptative sûre elle aussi**

##### *3.1.1 Des scénarios ambigus « bien gérés »*

L'un des « mythes de la sécurité » proposé par Besnard et Hollnagel (2012) suppose que l'augmentation du nombre de « barrières et de protections » augmente la sécurité. Comme les

auteurs le mentionnent, l'introduction de nouvelles barrières destinées à rendre un système plus sûr peut induire des effets qui ne vont pas dans le sens de la sécurité. Il est possible en premier lieu que l'ajout de protection complexifie davantage le système et rende encore un peu moins visibles les conditions provoquant des événements indésirables. Deuxièmement l'introduction de nouvelles barrières ne peut se faire sans prendre en compte leur impact sur l'activité (Besnard & Hollnagel, 2012). Il ne s'agit pas uniquement de remplacer un jeu de procédures par un autre mais aussi de vérifier par exemple l'impact qu'il aura sur le travail collectif. Cependant, il est communément admis qu'un système davantage réglé, normalisé et standardisé est plus sûr. Les résultats obtenus dans la thèse ne montrent aucune différence sur la prise de risque ou la performance des équipes entre le système S et P. Cela nous amène à formuler l'hypothèse (pondérée par le faible nombre d'équipes) que les deux systèmes répondent aux caractéristiques des systèmes ultra-sûrs du point de vue de leur performance en termes de niveau de sécurité produit, sans pouvoir distinguer une différence de niveau entre les deux. Cela revient à dire que le système S n'apparaît pas moins sûr que le système P. Un système adaptatif laissant place à des espaces de débat sur les pratiques n'est pas nécessairement moins sûr qu'un système normatif. Cela vient justement à l'encontre de ce qui est communément admis. Les résultats présentés ici permettent ainsi de formuler une rupture par rapport aux démarches actuelles de sécurisation. La standardisation « top-down » ne constitue pas la seule voie d'atteinte d'un niveau de sécurité acceptable.

### *3.1.2 Emergence et consolidation des bonnes pratiques*

Sur S, compte tenu du fait que les opérateurs agissent davantage en autonomie, on aurait pu s'attendre à ce que les réponses des équipes face au scénario standard se ressemblent mais soient plus variables que les réponses des équipes de P face au scénario standard. En fait, les deux équipes de S agissent suivant le même mode opératoire tant au niveau de l'ordre des actions que de la temporalité de ces dernières. Il apparaît que de bonnes pratiques se sont développées et stabilisées au sein des équipes de S. Si elles ne peuvent s'appuyer uniquement sur les procédures du fait de leur faible niveau de guidage, il semble qu'à travers la formation, le collectif ou encore l'expérience, ces bonnes pratiques émergent et s'uniformisent. Ainsi l'existence de procédures détaillées n'est pas la seule façon de faire apparaître la standardisation de bonnes pratiques, comme le montre la gestion du scénario standard sur S. De ce constat une réflexion pourrait émerger dans les systèmes hyper-procéduralisés sur la façon dont on pourrait maintenir les bonnes pratiques existantes en réduisant la part de réglé.

## **3.2 Cohabitation d'une approche normative avec la sécurité gérée ?**

### *3.2.1 Une approche normative n'empêche pas le géré*

Sur P, la compétence des opérateurs est nécessaire pour arbitrer et prendre certaines décisions en marge des procédures (Chapitre 6). Ce constat est vrai en situation ambiguë comme en situation standard. Malgré l'attitude des formateurs en débriefing qui font du suivi des prescriptions la principale mesure de performance et focalisent la majorité de leurs retours sur la thématique des procédures, les opérateurs ne se contentent pas des procédures pour conduire. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce constat :

- L'incomplétude de la prescription ne permet pas de définir de façon univoque la conduite à tenir dans toute situation (voir § 3.1.2 du Chapitre 2). Cette incomplétude est de deux ordres : soit la situation est imprévue (i.e. non couverte par les règles) et demande donc à être gérée, soit la situation est prévue mais demande à être particularisée au regard des caractéristiques particulières du contexte.
- Le choix d'un suivi aveugle des règles est difficile pour les opérateurs malgré la mise en place de l'approche par état<sup>PN</sup>. Il réside toujours une volonté de comprendre et de ne pas être dépassé par la situation.

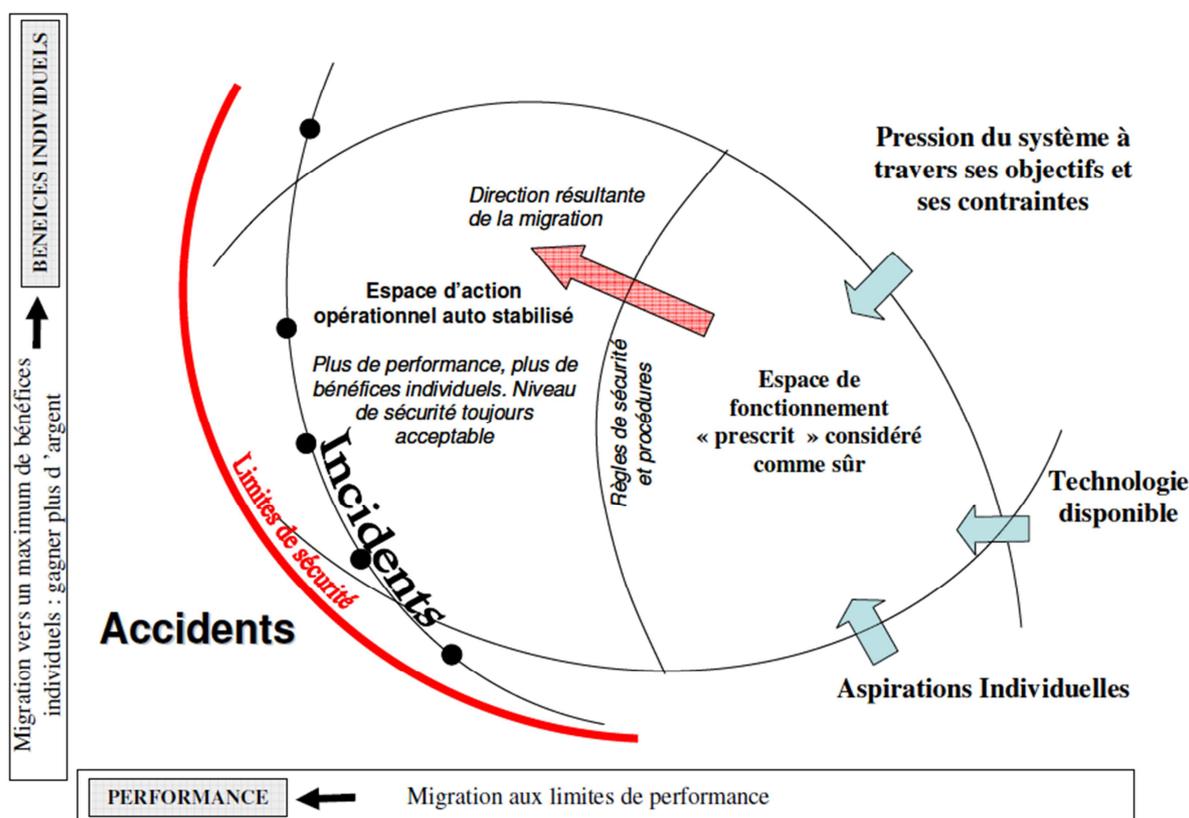
Dans ce contexte, taire les situations d'arbitrages, ne pas les prendre en compte ni les discuter peut constituer une prise de risque.

### *3.2.2 Négliger le « géré », une prise de risque ?*

Négliger les situations où les opérateurs ont recours à la sécurité gérée alors que c'est effectivement le cas peut révéler une incohérence au sein d'un système sociotechnique. Le décalage entre le discours et les pratiques de sécurité manifesté par l'absence de débats autour des pratiques « gérées » peut d'une certaine façon enrayer les efforts mobilisés par l'organisation pour mettre en place une culture de sécurité.

Absence de débats sur le géré

Négliger l'existence de situations où la sécurité gérée intervient revient à se priver d'un espace pour discuter et débattre de ce qu'il est acceptable de faire. Le modèle de la double migration proposé en Figure 25 (Amalberti, 2001) indique comment progressivement les opérateurs sortent de l'espace de fonctionnement prescrit considéré comme sûr sous la pression de la performance et des bénéfices individuels. La migration des pratiques est cadrée par un ensemble de barrières parmi lesquelles on trouve les règles de sécurité. Sous la pression de la performance, les pratiques des opérateurs peuvent migrer vers un espace d'action opérationnel auto-stabilisé qualifié de « illégal-normal » (Morel, 2007 ; Amalberti, 2002). Il est possible de rapprocher les situations d'arbitrages observées sur P, de cette zone « illégal-normal ». Dans ce contexte, le risque vient du fait qu'aucun cadre ne permet de discuter de l'acceptable dans cette zone bien qu'elle soit assez éloignée de la « limite de sécurité » et que le niveau de sécurité y soit acceptable. Lorsque le management ignore l'existence de cette zone il ne s'autorise ni à contrôler ni à évaluer les décisions délicates et leur distance à la limite de sécurité.



**Figure 25 : Modèle de la double migration**

(Amalberti, 2001 ; adapté par Morel, 2007)

Non-développement des ressources adaptatives

La mise en place de formations pour développer les ressources adaptatives des opérateurs s'impose dès lors que l'organisation reconnaît que des situations d'arbitrages peuvent survenir. Si ces dernières sont passées sous silence ou combattues, les opérateurs ne bénéficieront pas de ressources pour les soutenir face à des prises de décisions délicates. Il y a ici une incohérence entre l'injonction du management de rester dans la zone de fonctionnement prescrit et la réalité des situations rencontrées par les opérateurs qui les oblige à sortir de la zone. Le risque est alors de ne pas développer les compétences et savoir-faire nécessaires à « l'agir en sécurité » et dans ce cas, les opérateurs se retrouvent privés de ressources ou avec des ressources limitées lors des arbitrages.

### **3.3 Des débriefings constructifs**

Les débriefings sont le lieu de processus d'analyse de l'activité, ils permettent en outre de passer du vécu au récit et ce faisant ils transforment des connaissances privées en savoir public aboutissant à la mise en place de connaissances générales sur le fonctionnement du système (Pastré, 1999).

Dans cette étude il est possible d'observer des situations de débriefing où les formateurs adoptent une approche normative (Chapitre 8). L'objectif dans ce cas là est de mesurer l'écart entre ce que les opérateurs ont fait et ce que la prescription attendait d'eux. On y trouve un important rappel de la prescription et les formateurs se positionnent comme « sachants » vis-à-vis d'opérateurs « apprenants ». Cette étude a aussi permis d'observer des débriefings davantage « débatifs » inspirés par l'approche adaptative de la sécurité qui tend à faire cohabiter réglé et géré (Chapitre 8). En effet, ils permettent la mise en débat des règles formelles et réélaboration des règles informelles en concertation entre formateurs et opérateurs. Les formateurs se saisissent des débriefings pour ouvrir le champ des possibles des opérateurs, il apparaît donc pour chaque situation une enveloppe de bonnes pratiques acceptables. Ce faisant les formateurs s'éloignent de l'idée qu'il n'y a qu'une façon de faire, qui serait alors celle des procédures. Les débriefings sont l'occasion pour les formateurs de prendre la mesure de l'évolution des pratiques et notamment de propager d'une équipe à l'autre une bonne pratique observée un jour en simulateur. Enfin les formateurs sont dans une

attitude de « jugement positif » (Rudolph et al., 2007, voir § 3.3.3 du Chapitre 2). L'ensemble de ces éléments montrent que ces débriefings tendent à favoriser le développement de l'autonomie et des compétences des opérateurs. Il s'agit donc de débriefings constructifs.

Les situations de débriefings n'existent pas uniquement lors de situations de simulation. Il existe par exemple des débriefings permettant l'analyse de situations réelles dans le domaine médical (Salas, Klein, King, Salisbury, Augenstein, Birnbach, Robinson & Upshaw, 2008). Les auteurs proposent un ensemble de 12 « bonnes » pratiques (voir Tableau 16) pour améliorer les débriefings.

**Tableau 16 : Bonnes pratiques pour les débriefings collectifs**

(adapté de Salas *et al.*, 2008)

1	Les débriefings doivent être des diagnostics des forces et faiblesses de l'équipe.
2	L'organisation doit soutenir un environnement d'apprentissage pour les débriefings.
3	Porter l'attention sur la performance du travail collectif plutôt que sur la performance réalisée.
4	Former les formateurs (ou chefs d'équipe) au débriefing collectif pour qu'ils s'appuient sur les résultats des débriefings passés et motivent les membres de l'équipe à une participation active notamment sur le travail d'équipe.
5	S'assurer que les opérateurs sont « à l'aise » en favorisant les retours constructifs aux critiques, ceci dans le but de favoriser l'apprentissage.
6	Se concentrer sur quelques « performances clés » telles que les erreurs ou les exemples de bonne performance.
7	Aborder spécifiquement quelques traits du travail collectif tels que le leadership, la communication ou la conscience de la situation.
8	Etayer le débriefing d'indicateurs objectifs de performance
9	Pratiquer les débriefings indépendamment de l'atteinte ou non des objectifs
10	Apporter des retours au niveau individuel et collectif
11	Minimiser le délai entre l'action et le débriefing
12	Capitaliser les conclusions des débriefings

Certaines de ces 12 bonnes pratiques ont été observées lors des débriefings sur S et P. On peut noter ici l'importance du travail collectif comme point d'entrée du débriefing. Ces pratiques

peuvent constituer une nouvelle grille de lecture pour analyser les débriefings menés et tenter de les améliorer.

L'attitude du formateur lors des débriefings, son approche de l'évaluation et son positionnement vis-à-vis des opérateurs peut favoriser ou limiter l'apprentissage des opérateurs (Rudolph, *et al.*, 2007). Les auteurs préconisent des débriefings « démocratiques » où opérateurs et formateurs peuvent partager leur point de vue sur la conduite. Ceci rappelle les travaux menés dans la thématique de la dynamique des groupes où l'attitude du moniteur a des effets sur le fonctionnement du groupe d'enfants. Lorsque le moniteur adopte un fonctionnement démocratique, le travail au sein du groupe est moins agressif et davantage collaboratif (Lewin, 1967 ; Anzieu & Martin, 1990).

### **3.4 Un « géré » à prendre en charge**

Les études sur le facteur humain ont progressivement amené les industries à prendre en compte les compétences « non techniques ». Cela s'est traduit par la mise en place de formations adaptées notamment au travail collectif. L'existence de situations où la procédure ne suffit pas pour agir (Chapitre 6) pointe la nécessité de prendre en considération le « géré ». Il ne s'agit pas pour autant de régler le géré, mais plutôt de le soutenir, le développer par l'élaboration de ressources adéquates (Hale & Borys, 2013b). Développer le géré consiste alors à être en capacité de faire face à la variabilité, au lieu de chercher à l'éliminer. Pour aller dans ce sens, Grote (2012) formule plusieurs préconisations :

- Les prescriptions adaptées pour faire face sont celles qui se situent au niveau des objectifs ou du processus plutôt qu'au niveau des actions (voir § 3.1.1 chapitre 2)
- Les formations requises doivent être ouvertes, orientées vers des prises de décision adaptatives
- Le retour d'événements indésirables ou d'incidents ne peut fonctionner qu'à condition qu'il ne donne pas lieu à des sanctions et que la confidentialité soit assurée. Lorsque l'objectif est d'être en capacité de faire face, le retour d'expérience permet un partage des connaissances et contribue à développer les compétences.

Les observations menées sur S et P tendent à montrer que la capacité à faire face est davantage soutenue sur S que sur P. Le système S paraît en quelque sorte plus résilient. Les

résultats amènent à dire que la capacité à faire face apparaît limitée lorsqu'elle ne réside que dans le suivi strict d'une prescription parce qu'une telle activité semble difficilement observable d'une part – les opérateurs ne se contentent pas d'une application aveugle des procédures – et que d'autre part les prescriptions ne sauraient anticiper toutes les situations. A l'inverse, la capacité à faire face tend à se développer par le biais de formation permettant l'activité réflexive et le développement des compétences ainsi que par l'émergence d'un collectif de travail.

## **4 Un mode de conduite adapté pour agir en sécurité**

En conclusion la capacité à faire face et à agir en sécurité ne semble pas résider dans l'un ou l'autre des modes de conduite mais plutôt dans la façon de faire coïncider pratiques et discours sur la sécurité. En effet il ne s'agit pas d'étudier entre l'approche événementielle et l'approche par état<sup>PN</sup> l'approche la plus appropriée à la supervision d'installations nucléaires en situation accidentelle, mais plutôt de s'intéresser à l'ensemble des ressources mises en œuvre dans les systèmes pour soutenir les opérateurs lorsqu'ils sont confrontés à des arbitrages et sont dans la nécessité d'agir à la marge de la prescription.

Cette thèse s'intéresse en premier lieu aux ressources qui soutiennent l'articulation de la sécurité réglée et de la sécurité gérée. Les résultats présentés dans cette étude montrent qu'il est nécessaire d'intégrer cette question de l'articulation dans la réflexion sur la sécurité dans les systèmes dits « ultra-sûrs ». Concernant les résultats de la thèse, il est possible d'entrevoir des pistes d'amélioration de la sécurité à condition d'arriver à définir conjointement :

- un mode de conduite qui permet aux opérateurs de rallier systématiquement l'état sûr, ajusté à
- un ensemble de ressources qui visent l'agir en sécurité par l'articulation du réglé et du géré.

Sur le premier point, les opérateurs du système P bénéficient via l'approche par état<sup>PN</sup> d'un soutien face aux situations de cumul de défaillances. Ainsi une optimisation de la sécurité sur S pourrait passer par l'adaptation du mode de conduite existant pour aider les opérateurs à faire face à des situations de cumul de défaillances.

Sur le second point, les ressources étudiées en priorité dans l'étude sont le travail collectif et la formation. Il apparaît que ces ressources telles qu'elles existent sur S permettent de mieux articuler sécurité réglée et sécurité gérée que celles déclinées sur P. Une optimisation de la sécurité sur P pourrait reposer sur une adaptation du travail collectif et des formes de débriefings prenant en compte les pratiques réelles observées. Cela n'induit pas que le fonctionnement du travail collectif observé sur S doit être « calqué » dans le système P. Il s'agit plutôt de développer une forme du travail collectif cohérente avec le mode de conduite approche par état<sup>PN</sup> et favorisant le développement d'un collectif de travail. D'autres auteurs montrent les formes de coopération et collaboration au sein d'une équipe supervisant une installation nucléaire dans un mode de conduite de type approche par état (Filippi, Gody & Alengry, 2008). A ce sujet, il serait intéressant d'approfondir la connaissance de la mise en œuvre des ressources dans d'autres installations où le mode de conduite est l'approche par état. Il en est de même pour les installations où il y a une combinaison de l'approche par état avec l'approche événementielle (Theureau *et al.*, 2000).

Enfin il faut rappeler que les débriefings, le travail collectif ou les procédures ne sont pas les seules ressources à disposition des opérateurs. Dans cette étude il manque notamment l'analyse des interfaces homme-machine (IHM) ou encore l'étude du fonctionnement de l'organisation en situation dégradée. Ces deux éléments doivent être pris en compte dans une étude globale de la sécurité et ils constituent des moyens pour faire évoluer le paradigme de sécurité mis en place dans les systèmes ultra sûrs.

### **4.1 Le difficile équilibre entre standardisation et adaptation**

La majorité des ressources existantes dans les systèmes à hauts risques sont plutôt orientées vers la minimisation de la variabilité et la standardisation des pratiques. Elles relèvent donc du caractère réglé de la sécurité. L'objectif est alors de mettre en place des ressources adaptatives pour compléter les premières et développer l'autonomie et les compétences des opérateurs. Cette démarche se doit d'être soutenue par une organisation cherchant un équilibre entre la standardisation et l'adaptation (Grote, 2006).

Rééquilibrer le système pour introduire de la capacité à faire face nécessite probablement de reconsidérer le concept de violation. Au lieu d'être interdits, les écarts à la procédure

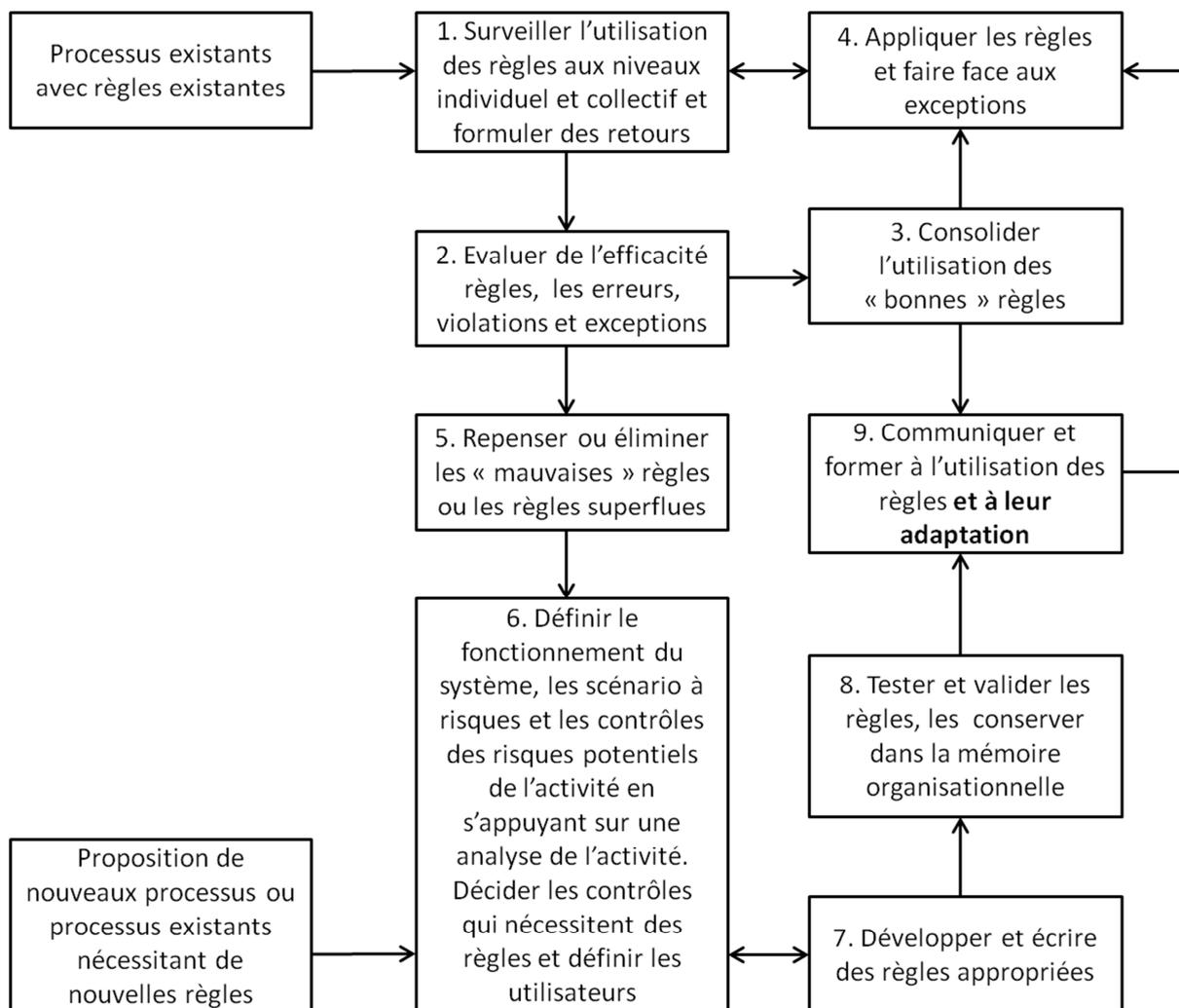
devraient être analysés et discutés parce qu'ils permettent notamment aux opérateurs de récupérer des situations dégradées (Besnard & Greathead, 2003). La réflexion déjà entamée par Dien (2011) doit se poursuivre en engageant les acteurs du système (concepteurs, rédacteurs de procédures, managers et opérateurs) sur les responsabilités associées en cas de « hors-piste<sup>17</sup> ».

## 4.2 La gestion des règles

Les systèmes ultra-sûrs sont caractérisés par une forte procéduralisation de l'activité. Le développement de ressources pour intégrer le géré et agir en sécurité doit s'accompagner d'une gestion des règles de sécurité (Hale & Borys, 2013b). Les auteurs proposent un cadre de gestion des règles (Figure 26) : il s'agit d'un processus dynamique en 9 étapes.

---

<sup>17</sup> Extrait d'une réflexion du formateur lors du débriefing de l'équipe P stand 1, voir p (163-164).



**Figure 26 : Cadre de gestion des règles**

(Hale & Borys, 2013b ; adapté de Larsen, *et al.*, 2004 ; notre traduction)

Ce cadre de gestion des règles est particulièrement propice à des échanges entre une formalisation des pratiques par les règles et une évaluation des règles par l'analyse des pratiques. Il permet à l'adaptation de s'exprimer et tend à améliorer la capacité à faire face lors des formations (étapes 9 et 4). Dans une certaine mesure, il est possible de rapprocher ce cadre dynamique de création, définition, suppression et adaptation des règles de la sécurité négociée qui propose des espaces de débats sur les règles et leur utilisation.

Une fois que les règles de sécurité sont repensées et adaptées pour sortir d'un schéma « top-down » et aller vers des boucles de régulation qui tiennent compte des pratiques réelles, d'autres ressources liées à la « capacité à faire face » doivent être développées. Il s'agit de ressources « non figées », non écrites, qui s'acquièrent par la pratique, la culture d'entreprise

ou le travail collectif. Elles permettent le développement des compétences et de l'autonomie des opérateurs.

### **4.3 Le développement de ressources adaptatives**

Les ressources adaptatives peuvent se définir comme des ressources permettant aux opérateurs d'être en capacité d'agir en sécurité. Ceci suppose, une capacité critique vis-à-vis des règles, l'émergence d'un collectif de travail, des dispositifs d'analyse soutenus par le management.

#### *Un regard critique sur les règles*

Dans la situation d'application des procédures, l'opérateur peut avoir un rapport à la règle mouvant en fonction de son expertise et des possibilités de remettre en cause cette règle. Mayen et Savoyant identifient quatre niveaux de rapport à la règle (1999, p. 90) :

- Respect de la règle par absence de doute
- Remise en cause de la règle au profit de la référence à ses propres perceptions, à son propre raisonnement, à sa propre capacité d'initiative (et revendiquant une part de liberté individuelle)
- Respect de la règle reconnue et réinventée dans sa nécessité logique et certitude du bien-fondé de son action
- Discussion de la règle après l'action, éventuellement pour la remettre en cause et participer à son évolution

La construction de ce rapport à la règle permet in fine à l'opérateur de choisir et d'adapter l'application de la procédure correspondant à la situation rencontrée. Ce faisant il garde la maîtrise de la situation et est en capacité de faire face.

#### *Le collectif de travail*

Le travail collectif, lorsqu'il laisse place à l'émergence d'un collectif de travail devient un lieu de partage des connaissances, d'élaboration de règles de métiers et de facilitation de l'activité réflexive (Caroly, 2010). Les règles de métiers se distinguent des prescriptions formelles offrant ainsi aux opérateurs des ressources pour soutenir l'action en marge de la prescription.

Le collectif de travail engendre le développement des compétences individuelles et collectives.

### *Le soutien de dispositifs d'analyse*

Il s'agit ici de créer un contexte favorable à l'analyse de sa propre activité. Cette activité qu'on qualifiera de méta-fonctionnelle (ou réflexive) se construit en marge du travail et trouve sa source dans le travail (Falzon, 1994b). Ce type d'activité est peu formalisé et rarement reconnu. Cependant elle participe au développement des compétences.

Parmi les formes d'activité méta-fonctionnelles se trouvent les débriefings ou le retour d'expérience (Weill-Fassina & Pastré, 2004).

La situation de simulation peut être un cadre privilégié de l'émergence d'activités méta-fonctionnelles puisque les opérateurs savent bien que l'activité-cible n'est pas de produire, mais de se former, de s'entraîner ou encore de donner à voir leur activité en vue d'une analyse (Savoyant, 2005). Ainsi ils peuvent être davantage enclins à analyser leur activité, notamment lors des débriefings.

La prise en compte du besoin de « gérer » par une reconfiguration de l'organisation, un nouveau cadre pour la gestion des règles de sécurité et le développement de ressources adaptatives permet de réintroduire la cohérence qui manquait entre les discours normatifs sur la sécurité et les pratiques réelles de sécurité. Cette démarche ne peut que favoriser ou maintenir l'agir en sécurité.



# Chapitre 10 : L'approche adaptative, proposition d'action

---

## 1 Du normatif à l'adaptatif...

De nombreuses études (Falzon, 2011 ; Dekker, 2003 ; Hale & Borys, 2013a ; Nascimento *et al.*, 2013 ; Gilbert, Amalberti, Laroche & Paries, 2007) défendent l'idée que l'amélioration de la sécurité des systèmes ultra-sûrs avec des opérateurs aux commandes ne peut se faire par l'approche normative seule et qu'il est impératif de prendre en considération une nécessaire activité adaptative. Ce qui revient à dire qu'un passage de l'approche normative à l'approche adaptative doit s'opérer pour :

- considérer de façon réaliste la conduite telle qu'elle est effectuée par les opérateurs
- permettre l'articulation de la sécurité réglée et la sécurité gérée
- développer la capacité des opérateurs à faire face
- améliorer la sécurité des systèmes

Une telle transition n'est pas aisée compte tenu du risque que représente la survenue d'un accident. Un certain nombre d'éléments sont à prendre en considération pour permettre la transition (§4 du chapitre 9), s'appuyant notamment sur une nouvelle organisation, une gestion de la prescription et le développement de ressources adaptatives.

L'objectif est alors de trouver les moyens qui permettent de faire évoluer le paradigme de la sécurité sans faire table rase de celle qui s'est construite jusqu'à aujourd'hui. La proposition présentée ici est que la formation joue un rôle capital dans cette transition. D'une part la formation est un lieu d'expression de l'approche de sécurité adoptée par le système considéré. D'autre part, elle permet progressivement de :

- montrer l'évolution du point de vue de l'organisation,
- discuter les règles pour les adapter
- favoriser le développement des ressources adaptatives.

## **2 ...la formation outil de la transition**

Avant d'être un outil de la transition, la formation joue un rôle important et transmet le point de vue de l'organisation sur l'activité à mettre en œuvre dans les systèmes ultra-sûrs.

Elle est un moyen d'accéder à l'activité par le biais des séances en simulateur, et donc de saisir l'évolution des pratiques, de mesurer le niveau des opérateurs ou de constater des difficultés nouvelles. Elle est aussi un moyen d'agir sur l'utilisation des ressources à disposition des opérateurs : procédures, travail en équipe ou activité réflexive.

Les formateurs ont le double objectif d'amener les opérateurs à un certain niveau d'expertise défini par l'organisation et d'amener l'ensemble des opérateurs à ce niveau. Ils sont le relais de l'organisation pour les opérateurs et ils rendent compte du niveau d'expertise des opérateurs auprès de l'organisation. Dans la situation de formation, le formateur peut être vu comme un trait d'union entre les opérateurs et l'organisation.

Dans les systèmes ultra-sûrs, la formation et les entraînements sur simulateur, comprenant les débriefings, deviennent des incontournables de l'intervention ergonomique.

Les formations font partie des ressources évolutives d'un système (Crichton & Flin, 2004), elles sont en permanence adaptées et mises à jour. Il apparaît moins complexe, coûteux et risqué de modifier le sens et l'objectif d'une formation, que de modifier des procédures de conduite par exemple. De même, il est moins long d'adapter une formation que de faire émerger un collectif de travail. Ainsi porter les premiers efforts de la transition sur la formation semble possible d'un point de vue pratique et adapté pour prendre la mesure de l'évolution de la transition.

La formation considérée pour engager la transition du paradigme de la sécurité est la formation, au sens large, d'opérateurs déjà capables de contrôler un système.

D'une part, le niveau de discours des formateurs ne sera pas de simplifier les situations de travail permettant l'acquisition progressive des connaissances et compétences nécessaires à l'activité, mais plutôt de rendre compte de la conduite réelle et de la complexité des situations dans le but de développer les compétences et savoir faire des opérateurs. Ainsi le spectre d'opérateurs capables de contrôler le système va de l'opérateur en fin de formation initiale qui

a acquis suffisamment de connaissances et compétences pour accéder à une relative complexité des situations aux opérateurs en poste expérimentés.

D'autre part, la formation au sens large inclut toutes sortes de débriefing, réunion, compte-rendu ou rapport ayant pour visée le développement des compétences. Ainsi « formateur » peut s'entendre au sens large incluant les managers de proximité ou les chefs d'équipe du moment que leur action vise le développement des compétences.

Les débriefings lors d'entraînements sur simulateur (ou à la suite de situations réelles) répondent particulièrement à la formation telle qu'elle est spécifiée ici pour assister le changement de paradigme de la sécurité.

## **2.1 La formation révèle l'approche de sécurité**

Les débriefings constituent un espace privilégié pour comprendre le point de vue des formateurs et à travers eux de l'organisation sur l'attitude attendue des opérateurs. L'analyse des débriefings est donc un point d'entrée pour caractériser l'approche qui sous-tend le système. Sur S l'existence de débriefings constructifs démontre une vision davantage adaptative de la sécurité alors que sur P le discours normatif pointe une approche normative de la sécurité. Ainsi, il est possible à travers les débriefings d'évaluer l'importance de la transition qui devra s'opérer pour converger vers l'approche adaptative.

## **2.2 La formation permet...**

### *2.2.1 ... de développer les ressources adaptatives*

L'analyse des débriefings (Chapitre 8) montre sur S des débriefings constructifs. Les formateurs orientent la discussion sur les pratiques observées et des alternatives possibles, ils abordent des limites de la prescription, et ils s'intéressent au fonctionnement de l'équipe. Par ce type d'échanges ils invitent les opérateurs à une réflexion sur les actions réalisées en simulateur pouvant les amener à faire des liens avec les situations réelles rencontrées. La forme des débriefings observés sur S vise le développement des ressources adaptatives.

### 2.2.2 ...d'accompagner le changement de paradigme

La formation, en créant cet espace de discussion sur les pratiques réelles, permet d'initier la transition mais aussi de cadrer l'espace du géré. Comme il a été observé sur S, les formateurs définissent avec les opérateurs ce qui est du domaine de l'acceptable et ce qui est considéré comme inacceptable. Il n'est donc pas question de donner plus de liberté aux opérateurs en diminuant la prescription mais bien de développer avec eux le champ des possibles en définissant le domaine « acceptable ».

## 3 Mise en perspective

La tendance actuelle dans les systèmes sociotechniques tend à diminuer progressivement la part d'intervention des opérateurs en conduite. Ils sont davantage soutenus et « remplacés » par des systèmes toujours plus automatisés et informatisés. Dans ce contexte où l'opérateur est toujours un peu plus éloigné de la boucle de contrôle, est-il réaliste de mettre en œuvre une approche adaptative ? Pour continuer à améliorer la sécurité il semble que deux options soient possibles :

- L'opérateur sort de la « boucle de contrôle » : les technologies s'améliorant sans cesse, il est possible de concevoir des systèmes qui s'autogèrent complètement et dans lesquels il n'est plus nécessaire de faire intervenir des opérateurs. On peut citer l'exemple des drones qui de façon autonome rendent possible le vol d'un engin. Dans ce cadre là, l'approche normative seule est possible et fiable. En revanche il ne faut pas attendre de ces systèmes les capacités adaptatives propres aux opérateurs.
- L'opérateur reste dans la « boucle de contrôle » : il est indispensable à la sécurité du système. Son intelligence et sa capacité d'adaptation permettent au système de fonctionner dans des situations qui n'ont pas toujours pu être anticipées. Dans ce cas il est impératif de comprendre les besoins des opérateurs sans attendre d'eux qu'ils suivent « aveuglément » les consignes 95% du temps et qu'ils les appliquent intelligemment les 5% restant. La présence d'opérateurs dans la boucle de contrôle impose aux concepteurs, ingénieurs, ergonomes et décideurs de développer une approche adaptative de la sécurité.

L'ergonomie a un rôle majeur à jouer dans le déplacement du paradigme de la sécurité des systèmes ultra-sûrs par la conception de ressources qui permettent de tendre vers une approche adaptative de la sécurité sans diminuer le niveau de sécurité atteint.



# BIBLIOGRAPHIE



- Alengry, P. (1989). Analyse du travail de pilotage d'une centrale nucléaire (I): le système socio-technique. *Rapport de Recherche INRIA*.
- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris: PUF, Coll. Le travail humain.
- Amalberti, R. (2001). The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety Science*, 37(2-3), 109-126.
- Amalberti, R. (2002). Les effets pervers de l'ultra sécurité en médecine. *Revue hospitalière de France*, 489, 7-15.
- Amalberti, R. (2004). De la gestion des erreurs à la gestion des risques. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 285-300). Paris: PUF.
- Amalberti, R., Auroy, Y., Berwick, D. & Barach, P. (2005). Five system barriers to achieving ultrasafe health care. *Annals of Internal Medicine, Am Coll Physicians*, 142, 756-764.
- Amalberti, R. (2007). Ultrasécurité, une épée de Damoclès pour les hautes technologies. *Dossiers de la recherche*, 26, 74-81.
- Amalberti, R. (2010). Le risque d'accident peut-il se contrôler par des approches formelles ? *Science & Devenir de l'Homme, les Cahiers du M.U.R.S.*
- Anceaux, F., & Chauvin, C. (2010). Les activités de gestion de soins : un cadre d'étude privilégié de la cognition en situation naturelle. *Le travail humain*, 73(4), 293-297.
- Anzieu, D., & Martin, J.Y. (1990). *La dynamique des groupes restreints*. Paris : PUF.
- Appel, B., & Chambon, Y. (1998). Procédures de conduite et interface homme-machine. *Techniques de l'ingénieur. Traité Génie nucléaire BN 3421* (pp. 1-11).
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica, Elsevier*, 19, 775-779
- Bainbridge, L. (2002) The change in concepts needed to account for human behavior in complex dynamic tasks. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, IEEE*, 27, 351-359.
- Barré, B. (2009). Three Miles Island : Un accident riche d'enseignements. Rapport SFEN, GR21.
- Barthe, B., & Quéinnec, Y. (1999). Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *L'année psychologique*, 99(4), 663-686.
- Béguin, P. & Weill-Fassina, A. (1997) *La simulation en ergonomie : connaître, agir, interagir*. Toulouse : Octarès.
- Béguin, P., & Pastré, P. (2002). Working, learning and designing through simulation. In S. Bagnara, S. Pozzi, A. Rizzo & R. Wright (Eds.), *11th European Conference on Cognitive Ergonomics : cognition, culture and design*, (pp. 5-13). Catania, Italy.

- Béguin, P., & Clot, Y. (2004). L'action située dans le développement de l'activité. *Activités*, 1 (2), 27-49.
- Besnard, D. & Hollnagel, E. (2012). Some myths about industrial safety. CRC technical report.
- Besnard, D., & Greathead, D. (2003). A cognitive approach to safe violations. *Cognition, Technology & Work*, 5(4), 272-282.
- Boissières, I. (2009). La robustesse organisationnelle : entre perturbations et apprentissages. In G. de Terssac, I. Boissières & I. Gaillard (Eds.), *La sécurité en action*. Toulouse : Octarès
- Bourgy, M. (2012). *L'adaptation cognitive et l'improvisation dans les environnements dynamiques : Pour une intégration de l'expérience sensible dans les modèles de l'activité experte*. Thèse de doctorat en psychologie, Paris 8, Paris.
- Bourrier, M. (1998). Le pouvoir sur les règles : la gestion des procédures de maintenance dans l'industrie nucléaire. *Performances Humaines & Techniques*, 94(30-36).
- Bourrier, M. (1999). *Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation*. Paris: PUF.
- Bourrier, M. (2003). Facteurs organisationnels: du neuf avec du vieux. *Réalités Industrielles-Annales des Mines, Paris: Annales des mines*, 19-22
- Caroly, S. (2010). *L'activité collective et la réélaboration des règles : des enjeux pour la santé au travail*. Habilitation à Diriger des Recherches - Mention Ergonomie, Université Victor Segalen, Bordeaux 2.
- Caroly, S. & Barcellini, F. (à paraître, 2013). Le développement de l'activité collective. In P. Falzon (Coord.), *Ergonomie constructive*. Paris: PUF.
- Cellier, J.-M. (1990). L'erreur humaine dans le travail. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds.), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes* (pp. 193-209). Marseille: Octarès.
- Cellier, J.-M. (1996). Exigences et gestion temporelle dans les environnements dynamiques. In J.-M. Cellier, V. De Keyser, & C. Valot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (pp. 19-50). Paris : PUF.
- Cellier, J.-M. (2005). Caractéristiques et fonctions des textes procéduraux. In Alamargot, D., Terrier, P. et Cellier, J.-M. (Ed.), *Production, compréhension et usages des écrits techniques au travail* (pp.161-180). Octarès.
- Chabaud, C. (1990). Tâche attendue et obligations implicites. In M. Dadoy, C. Henry, B. Hillau, G. de Terssac, J.-F. Troussier & A. Weill-Fassina (Eds.), *Les analyses du travail, enjeux et formes* (pp. 174-182). Paris: CEREP.
- Chalandon, X. (2003). Situation Awareness en conception système. In J. M. C. Bastien (Ed.), *Actes des Deuxièmes Journées d'étude en Psychologie ergonomique - ÉPIQUE 2003* (pp. 55 - 62). Boulogne- Billancourt, 2-3 octobre; Rocquencourt: INRIA.

- Champalle, O. & Sehaba, K. (2012). Assistance aux formateurs pour l'observation et l'analyse des activités des opérateurs-stagiaires sur simulateurs pleine échelle de conduite de centrale. *Actes du colloque TICE : Intégration technologique et Nouvelles Perspectives d'Usage*, 17-27.
- Chauvin, C. (2003). Gestion des risques lors de la prise de décision en situation d'interaction dynamique : approches systémique et cognitive. In J. M. C. Bastien (Ed.), *Actes des Deuxièmes Journées d'étude en Psychologie ergonomique - ÉPIQUE 2003* (pp. 123 - 134). Boulogne-Billancourt, 2-3 octobre; Rocquencourt: INRIA.
- Chédotel, F. (2005). L'improvisation organisationnelle. Concilier formalisation et flexibilité d'un projet. *Revue française de gestion*, 1(154).
- Chevrau, F.-R. (2008). *Maîtrise des risques industriels et la culture de sécurité : le cas de la chimie pharmaceutique*. Thèse de doctorat, Ecole de Mines de Paris, Paris.
- Chevrau, F.-R. & Wybo, J.-L. (2007). Approche pratique de la culture de sécurité. Pour une maîtrise de risques industriels plus efficace. *Revue française de gestion*, 5(174), 171-189.
- Crichton, M. T., Flin, R. (2004). Identifying and training non-technical skills of nuclear emergency response teams. *Annals of Nuclear Energy*, 31(12), 1317-1330.
- Cru, D. (1995). Règle de métier, langue de métier : dimension symbolique au travail et démarches participative de prévention. Diplôme d'ergonomie. Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris.
- Cuvelier, L. (2011). *De la gestion des risques à la gestion des ressources de l'activité. Etude de la résilience en anesthésie pédiatrique*. Thèse de doctorat en ergonomie, Cnam, Paris.
- Cuvelier, L., Falzon, P., Granry, J-C. et Moll, M-C. (2012). Managing unforeseen events in anesthesia: collective trade-off between "understanding" and "doing". *Work* 41 (1972-1979).
- Daniellou, F. (1986). *L'opérateur la vanne l'écran. L'ergonomie des salles de contrôle*. Editions de l'ANACT. Collection Outils et Méthodes.
- Daniellou, F., Simard, M., & Boissières, I. (2010). Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art. Toulouse: FonCSI.
- Darses, F. & Falzon, P. (1996). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds). *Coopération et Conception*. Toulouse : Octarès.
- De Carvalho, P. V. R. (2006). Ergonomic field studies in a nuclear power plant control room. *Progress in Nuclear Energy*, 48(1), 51-69.
- Dekker, S. (2003). Failure to adapt or adaptations that fail: contrasting models on procedures and safety. *Applied Ergonomics*, 34(3), 233-238.
- De Keyser, V., & Nyssen, A. S. (1993). L'erreur humaine en anesthésie. *Le travail humain*, 56, 243-266.

- De Kleer, J. & Brown, J. (1984). A Qualitative Physics Confluences. *Artificial intelligence, Citeseer*, 24, 7-83.
- De la Garza, C. (1998). Le travail collectif en tant qu'activités de régulation. *Performances Humaines & Techniques*, 96(20-29).
- De la Garza, C., & Weill-Fassina, A. (2000). Régulations horizontales et verticales du risque. In T. H. Benchekroun & A. Weill-Fassina (Eds.), *Le travail collectif. Perspectives actuelles en ergonomie* (pp. 217-224). Toulouse: Octarès Editions.
- Dejours, C. (2010). *Le Facteur Humain*. Paris : P.U.F., coll. « Que sais-je ? ».
- Dicioccio, A. (2012). *Articuler sécurité et performance : les Décisions d'Arbitrage dans le risque en aéronautique*. Thèse de doctorat en ergonomie, Cnam, Paris.
- Dien, Y. (1998). Safety and application of procedures, or how do "they" have to use operating procedures in nuclear power plants? *Safety Science*, 29(3), 179-187.
- Dien, Y. (2011). Sécurité réglée, sécurité gérée : une problématique à redéfinir ? *Les entretiens du risque - Sécurité réglée et sécurité gérée : pour une complémentarité à partager par les acteurs*, 29-30 novembre, Paris, France (pp. 89-94).
- Dubey, G. (1997). Faire "comme si" n'est pas faire. In P. Béguin & A. Weill-Fassina (Eds.), *La simulation en Ergonomie : connaître, agir, interagir*. Octarès: Toulouse.
- Dumont d'Ayot, G. (2005). Coopération et évaluation cognitive d'agents artificiels pour la supervision. Thèse de doctorat en Systèmes Industriels. *Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse*
- Endsley, M.R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- Falzon, P. (1994a). Dialogues fonctionnels et activités collectives. *Le Travail Humain*, 57(4), 299-312.
- Falzon, P. (1994b). Les activités méta-fonctionnelles et leur assistance. *Le Travail Humain*, 57 (1), 1-23.
- Falzon, P. (1998). La construction des connaissances en ergonomie : éléments d'épistémologie. In M. F. Dessaigne & I. Gaillard (Eds.), *Des évolutions en ergonomie*. Toulouse: Octarès.
- Falzon, P. (2005). Ergonomics, knowledge development and the design of enabling environments. In *Humanizing Work and Work Environment Conference*. December 10-12, Guwahati, India.
- Falzon, P. (2011). Rule-based safety vs adaptive safety: An articulation issue 3<sup>rd</sup> *International Conference on Health care systems, Ergonomics and Patient Safety (HEPS)*. June 22-24, Oviedo, Spain.
- Falzon, P., & Darses, F. (1992) Les processus de coopération dans des dialogues d'assistance. *Communication au XXVIIème Congrès de la SELF*. Lille, 23-25 Septembre.

- Falzon, P., & Teiger, C. (1995). Construire l'activité. *Performances Humaines & Techniques, Hors Série (septembre)*, 34-39.
- Falzon, P., & Teiger, C. (2004). Ergonomie et formation. In P. Carré & P. Caspar (Eds.), *Le traité des sciences et techniques de la formation* (pp. 145-162). Paris Dunod.
- Fassert, C. (2012). Public experts and nuclear catastrophes. *Les chantiers du nucléaire*. Book of abstracts, 30-31, 27-29th June.
- Flin, R. & Maran, N. (2004). Identifying and training non-technical skills for teams in acute medicine. *Qual. Saf. Health Care*, 13(Suppl 1), i80-i84.
- Fribourg, C. (2001). Réacteurs nucléaires de propulsion navale. *Techniques de l'ingénieur. Génie nucléaire, BN 3141*.
- Gilbert, C., Amalberti, R., Laroche, H. & Paries, J. (2007). Errors and Failures: Towards a new Safety Paradigm. *Journal of Risk Research*, 10(7), 959-975.
- Grote, G. (2006). Rules management as source for loose coupling in high-risk systems. *In Proc. of the Second Resilience Engineering Symposium*, 116-124.
- Grote, G. (2007). Safety Understanding and assessing safety culture through the lens of organizational management of uncertainty. *Safety Science*, 45(6), 637-652.
- Grote, G. (2012). Safety management in different high-risk domains-All the same? *Safety Science*, 50(10), 1983-1992.
- Grote, G., Weichbrodt, J., Günter, H., Zala-Mezö, E. & Künzle, B. (2009) Coordination in high-risk organizations: the need for flexible routines. *Cognition, Technology & Work, Springer*, 11, 17-27.
- Guillermain, H. & Salazar-Ferrer, P. (1999). Contribution à l'identification des risques Facteurs Humains dans la conduite de processus à haut niveau de Sûreté de Fonctionnement. In J.G. Ganascia. *Sécurité et Cognition : Colloque Sécurité et Cognition du GIS Sciences de la Cognition, 16-17 septembre 1997, Paris-France*. Paris : Hermès.
- Guldenmund, F. W. (2000). The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science*, 34(1-3), 215-257.
- Hale, A. R. & Swuste, P. (1998). Safety rules: procedural freedom or action constraint? *Safety Science*, 29(3), 163-177.
- Hale, A. & Borys, D. (2013a). Working to rule or working safely? Part 1: A state of the art review. *Safety Science*, 55, 207-221.
- Hale, A. & Borys, D. (2013b). Working to rule or working safely? Part 2: The management of safety rules and procedures. *Safety Science*, 55, 222-231.
- Haukelid, K. (2008). Theories of (safety) culture revisited--An anthropological approach. *Safety Science*, 46(3), 413-426.

- Hermann, E. & Mazeau, M. (2011). Remplissage des tankers pétrolier en mer : sécurité réglée et sécurité gérée, lecture cindynique. In *Sécurité réglée et sécurité gérée : pour une complémentarité à partager par les acteurs*. IMdR. Les entretiens du risque, 29-30 novembre, Paris, France.
- Hoc, J.M. (1996). *Supervision et contrôle de processus : la cognition en situation dynamique*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Hoc, J.M. (2004). Vers une coopération homme-machine en situation dynamique. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 267 - 283). Paris: PUF.
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie française*, 39, 177-192.
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (1995). Diagnosis: Some theoretical questions raised by applied research. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition, CPC*, 14, 73-100.
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (2003). Adaptation et contrôle cognitif: supervision de situations dynamiques complexes. In J. M. C. Bastien (Ed.), *Actes des Deuxièmes Journées d'étude en Psychologie ergonomique - ÉPIQUE 2003* (pp. 135 - 148). Boulogne- Billancourt, 2-3 octobre; Rocquencourt: INRIA.
- Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. Aldershot, UK: Ashgate.
- Hollnagel, E. (2008). Risk + barriers = safety? *Safety Science*, 46(2), 221-229.
- Hollnagel, E. (2009). The ETTO Principle : Efficiency - Thoroughness Trade - Off. Why things that go right sometimes go wrong ? Farnham (U.K.): Ashgate.
- Hollnagel, E., & Woods, D. (2005). *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systemsengineering*. Boca Raton, FL: CRC Press - Taylor & Francis.
- Horcik, Z., & Durand M. (2011). Une démarche d'ergonomie de la formation : Un projet pilote en formation par simulation d'infirmiers anesthésistes. *Activités*, 8(2), pp. 173-188.
- INSAG-4. (1991). *Safety culture*: International Nuclear Safety Advisory Group - AIEA.
- Jancovici, J.M. (2003). Le nucléaire civil, péché majeur du XXe siècle ?. *Le Débat*, 123(1), 175-192.
- Jeffroy, F.; Theureau, J. & Vermersch, P. (1998). Quel guidage des opérateurs en situation incidentelle/accidentelle? Analyse ergonomique de l'activité avec procédures. *IPSN/DES/SEFH, CNRS*.
- Jouanneaux, M. (2002). Pour les pilotes de ligne, la prolifération non contrôlée de la prescription pose le problème des critères de son évolutivité. *Actes du XXVIIème congrès de la SELF « Les évolutions de la prescription »*, 209-215.
- Jouanneaux, M. (2005). La simulation d'entraînement professionnel des pilotes de ligne. In P. Pastré, et P. Rabardel (Ed.) *Apprendre par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Octarès, 285-311.

- Klein, G. (2008). Naturalistic decision making. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, SAGE Publications, 50*, 456-460.
- Klein, G. et Klinger, D. (1991). Naturalistic Decision Making. *Human Systems IAC Gateway, XI(3)*, 16-19.
- Largier, A. & Lot, N. (2010). Quand un train peut en cacher un autre. In : actes du 45<sup>ème</sup> Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, Liège (Belgique), 236-243.
- Lauvergeon, A. & Barré, B. (2009). *Les 100 mots du nucléaire*. Paris : P.U.F., coll. « Que sais-je ? ».
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris: A. Colin.
- Leplat, J. (1996). Quelques aspects de la complexité en ergonomie. In F. Daniellou (Ed.), *L'ergonomie en quête de ses principes*. Toulouse: Octarès.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique*. Paris: PUF.
- Leplat, J. (1998a). About implementation of safety rules. *Safety Science, 29(3)*, 189-204.
- Leplat, J. (1998b). A propos des procédures. *Performances Humaines & Techniques, 94(6-15)*.
- Leplat, J. (2000). Compétences individuelles, compétences collectives. *Psychologie du Travail et des Organisations, 6(3-4)*, 47-73.
- Leplat J. & Hoc J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de psychologie cognitive, 3/1*, 49-63.
- Letzkus, P. (2004). La gestion des conflits d'objectifs dans la conduite et l'exploitation d'installations nucléaires. Thèse de doctorat en Ergonomie. *Université de Toulouse II*
- Lewin, K. (1967). *Psychologie dynamique : les relations humaines*. Paris : PUF, 3<sup>ème</sup> édition.
- Libmann, J. (1992). *Approche et analyse de la sûreté des réacteurs à eau sous pression*. Collection enseignement. CEA
- Llory, M. (1996). *Les accidents industriels : le coût du silence – opérateurs privés de parole, cadres introuvables*. Editions L'Harmattan
- Llory, M., et Llory, A. (1998). Les procédures et le débat sur la sécurité. *Performances Humaines & Techniques, 95(18-23)*.
- Llory, M. & Dien, Y. (2010). Systèmes complexes à risques : Analyse organisationnelle de la sécurité. *Techniques de l'ingénieur. L'Entreprise industrielle*.
- Lu, C. S & Tsai, C. L. (2008). The effects of safety climate on vessel accidents in the container shipping context. *Accident Analysis & Prevention, 40*, 594-601.
- Marc, J., & Amalberti, R. (2002). Contribution de l'individu au fonctionnement sûr du collectif : l'exemple de la régulation du SAMU. *Le Travail Humain, 65*, 217-242.

- Marks, M. A., Sabella, M.J., Burke, C. S., Zaccaro, S. J. (2002). The Impact of Cross-Training on Team Effectiveness. *Journal of Applied Psychology*, 87(1), 3-13.
- Masson, C., Falzon, P., & Guillermain, H. (2012). Impact des modes de conduite des chaufferies nucléaires embarquées en situation accidentelle complexe. *47ème congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF)*, 58-64, 5-7 septembre, Lyon, France.
- Mayen, P., & Savoyant, A. (1999). Application de procédures et compétences. *Formation et Emploi*, 67, 77-92.
- Mhamdi, A. (1998). La conception des systèmes d'aide orientée par l'analyse de l'assistance naturelle Thèse de doctorat en ergonomie, Cnam, Paris.
- Mollo, V. (2004). Usage des ressources, adaptation des savoirs et gestion de l'autonomie dans la décision thérapeutique. Thèse de doctorat en ergonomie, Cnam, Paris.
- Mollo, V. & Nascimento, A. (à paraître, 2013). Pratiques réflexives et développement des individus, des collectifs et des organisations. In P. Falzon (Coord.), *Ergonomie constructive*. Paris: PUF.
- Montmollin, M. (de) (1995). *Vocabulaire de l'Ergonomie*. Toulouse: Octarès.
- Morel, G. (2007). Sécurité et résilience dans les activités peu sûres : exemple de la pêche maritime. Thèse de doctorat en ergonomie, Université de Bretagne Sud.
- Mumaw, R. J., Roth, E. M., Vicente, K. J. & Burns, C. M. (2000). There Is More to Monitoring a Nuclear Power Plant than Meets the Eye. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 42(1), 36-55.
- Nascimento, A. (2009). Produire la santé, produire la sécurité. Développer une culture de sécurité en radiothérapie. Thèse de doctorat en ergonomie, Cnam, Paris.
- Nascimento, A., Cuvelier, L., Mollo, V., Dicioccio, A. & Falzon, P. (à paraître, 2013). Du normatif à l'adaptatif : la construction de la sécurité. In P. Falzon (Coord.), *Ergonomie constructive*. Paris: PUF.
- Neboit, M., Cuny, X., Fadier, E. & Ho, M. T. (1990). Fiabilité humaine : présentation du domaine. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds.), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes* (pp. 23-46). Marseille: Octarès.
- Norros, L. (2004). Acting under Uncertainty. The Core-Task Analysis in Ecological Study of Work. Espoo: VTT publications 546.
- O'Connor, P. & Flin, R. (2003). Crew Resource Management training for offshore oil production teams. *Safety Science*, 41(7), 591-609.
- O'Connor, P., O'Dea, A., Flin, R. & Belton, S. (2008). Identifying the team skills required by nuclear power plant operations personnel. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (11-12), 1028-1037.

- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Education permanente*, 139, 13-35
- Pastré, P. (2004). L'ingénierie didactique professionnelle. In P. Carré & P. Caspar (Eds.), *Le traité des sciences et techniques de la formation* (pp. 465-480). Paris Dunod.
- Pastré, P. (2011). *La didactique professionnelle*. Paris: PUF.
- Pastré, P. & Rabardel, P. (2005). *Apprendre par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse: Octarès.
- Pavageau, P., Nascimento, A. & Falzon, P. (2007). Les risques d'exclusion dans un contexte de transformation organisationnelle. *PISTES*, 9(2).
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents: living with high risk technologies*. New York: Basic Books, Inc.
- Plat, M. (2001). Choisir de comprendre ou décider d'agir en environnement dynamique : le cas de l'activité de pilotage en situation incidentelle atypique. Thèse de doctorat en Psychologie. Université de Paris 8.
- Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human-machine Interaction*. Amsterdam, North Holland: Elsevier.
- Reason, J. (1987). The Chernobyl errors. *Bulletin of the British psychological society*, 40, 201-206.
- Reason, J. (1990). *Human error*. New York: Cambridge University Press.
- Reason, J. (1993). *L'erreur humaine*. Traduit par J.M. Hoc. Paris: P.U.F.
- Reason, J., Parker, D., & Lawton, R. (1998). Organizational controls and safety: The varieties of rule-related behavior. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 71, 289-304.
- Reuzeau, F. (2001). Finding the best users to involve in design: a rational approach. *Le Travail Humain*, 64 (3), 223-245.
- Rochlin, G. I. (2001). Les organisations à "haute fiabilité" : bilan et perspectives de recherche In M. Bourrier (Ed.), *Organiser la fiabilité* (pp. 39-70). Paris : L'Hamarttan.
- Roux, J.; Pelle, P. & Olivier, E. (2010) Actions menées en France suite à l'accident de Three Mile Island. *Revue générale nucléaire, Société française d'énergie nucléaire*, 39-46.
- Rudolph, J. W., Simon, R., Rivard, P., Dufresne, R. L., & Raemer, D. B. (2007). Debriefing with Good Judgment: Combining Rigorous Feedback with Genuine Inquiry. *Anesthesiology clinics*, 25(2), 361-376.
- Salas, E., & Cannon-Bowers, J. A. (2001). The science of training: A decade of progress. *Annual Review of Psychology*, 52(1),471-499.

- Salas, E., Klein, C., King, H., Salisbury, M., Augenstein, J. S., Birnbach, D. J., Robinson, D. W. & Upshaw, C. (2008). Debriefing medical teams: 12 evidence-based best practices and tips. *Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, 34(9), 518-527.
- Salazar-Ferrer, P. (1995). Raisonement causal et modélisation de l'activité cognitive d'opérateurs de chaufferie nucléaire navale. Thèse de doctorat en Psychologie Cognitive. *Université de Provence*
- Samurçay, R. et Rogalsky, J. (1998). Exploitation didactique des situations de simulation. *Le travail humain*, 61(4), 333-360.
- Savoyant, A. (2005). L'activité en situation de simulation : objet d'analyse et moyen de développement. In P. Pastré, et P. Rabardel (Ed.) *Apprendre par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Octarès, 41-54.
- Schmidt, K. (1991). Cooperative work : A conceptual framework : Introduction. In J. Rasmussen, B. Brehmer & J. Leplat (Eds.), *Distributed decision making : Cognitive models for cooperative work* (pp. 75-106). Chichester: John Wiley & Sons.
- Schmidt, K. (1994). Cooperative work and its articulation: requirements for computer support. *Le travail humain*, 57(4), 345-366.
- SFEN (2002). Accident de Tchernobyl, dossier 16 ans après. SFEN, GR21. <http://www.sfen.org/Accident-de-Tchernobyl-Premiere>
- Terressac, G. de, (1992). *Autonomie dans le travail*. Paris: PUF.
- Terressac, G. de, & Chabaud, C. (1990). Référentiel opératif commun et fiabilité. In J. Leplat & G. De Terressac (Eds.), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes* (pp. 110-139). Toulouse, France: Octarès.
- Terressac, G. de, & Gaillard, I. (2009). Règle et sécurité : partir des pratiques pour définir les règles ? In G. de Terressac, I. Boissières & I. Gaillard (Eds.), *La sécurité en action*. Toulouse: Octarès
- Terressac, G. de, & Mignard, J. (2011). *Les paradoxes de la sécurité. Le cas d'AZF*. Paris : PUF
- Theureau, J., (1997). L'utilisation des simulateurs de salle de contrôle de réacteur nucléaire et de cockpit d'avion à des fins autres que de formation : présentation et discussion des tendances actuelles. In P. Béguin, A. Weill-Fassina (Eds.), *La simulation en Ergonomie : connaître, agir, interagir* (pp. 104-123). Toulouse: Octarès Editions.
- Theureau, J.; Jeffroy, F. & Vermersch, P. (2000). Controlling a nuclear reactor in accidental situations with symptom-based computerized procedures: a semiological & phenomenological analysis. *CSEPC 2000 Proceedings, CSEPC 2000 Proceedings*, 22-25.
- Valot, C. (1996). Gestion du temps. Gestion du risque (à travers quelques situations aéronautiques). In J.-M. Cellier, V. De Keyser, & C. Valot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (pp. 244-265). Paris : PUF.

- Van Daele, A. (2001). Du simulateur à la simulation : l'activité des instructeurs. *Comptes rendus du congrès SELF ACE - Les transformations du travail, enjeux pour l'ergonomie*, 3, 142-147.
- Vaughan, D. (2001). La normalisation de la déviance : une approche d'action située. In M. Bourrier (Ed.), *Organiser la fiabilité* (pp. 201-234). Paris: L'Hamarttan.
- Vermersch, P. (2004). Aide à l'explicitation et retour réflexif. *Éducation Permanente*, 160, 71-80.
- Venero, F. & Montanari, R. (2010) Persuasive technologies in the interface of a high-risk chemical plant production processes management system. *Cognition, Technology & Work, Springer*, 12, 51-60.
- Veyrac, H. (1998a). Approche ergonomique des représentations de la tâche pour l'analyse d'utilisation de consignes dans des situations de travail à risques. Thèse de doctorat en ergonomie, Université Toulouse le Mirail.
- Veyrac, H. (1998b). Repères pour évaluer le caractère d'aide aux consignes. *Performances Humaines & Techniques*, 94(16-22).
- Vicente, K.J., Roth, E.M. et Mumaw, R.J. (2001). How do operators monitor a complex, dynamic work domain? The impact of control room technology. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54(6), 831-856.
- Weill-Fassina A. et Benchekroun T.H. (2000). Diversité des approches et objets d'analyse du travail collectif en ergonomie. In T.H. Benchekroun, A. Weill-Fassina (Eds.). *Le travail collectif. Perspectives actuelles en ergonomie*. Octarès, Collection Travail, p. 1-15. Toulouse.
- Weill-Fassina, A., & Pastré, P. (2004). Les compétences professionnelles et leur développement. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 213 - 231). Paris: PUF.
- Wickens, C. & Hollands, J. (1999). *Engineering psychology and human performance*. Prentice Hall.
- Wibaux, F. (1992). *L'implicite dans la prescription: le cas de la formation au pilotage de l'A320*. Mémoire de DEA d'Ergonomie, CNAM, Paris.
- Woods, D., Johannesen, L., Cook, R., & Sarter, N. (1994). *Behind Human Error: Cognitive Systems, Computers, and Hindsight*. Crew Systems Ergonomic Information and Analysis Center (CSERIAC), Dayton: OH (State of the Art Report).



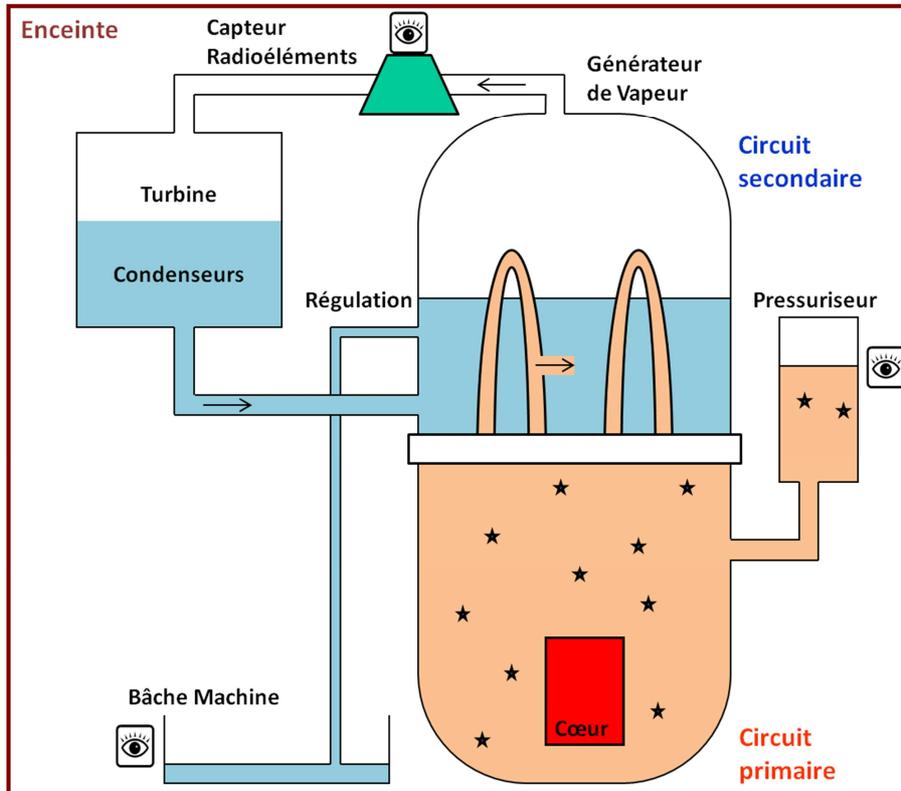
# ANNEXES



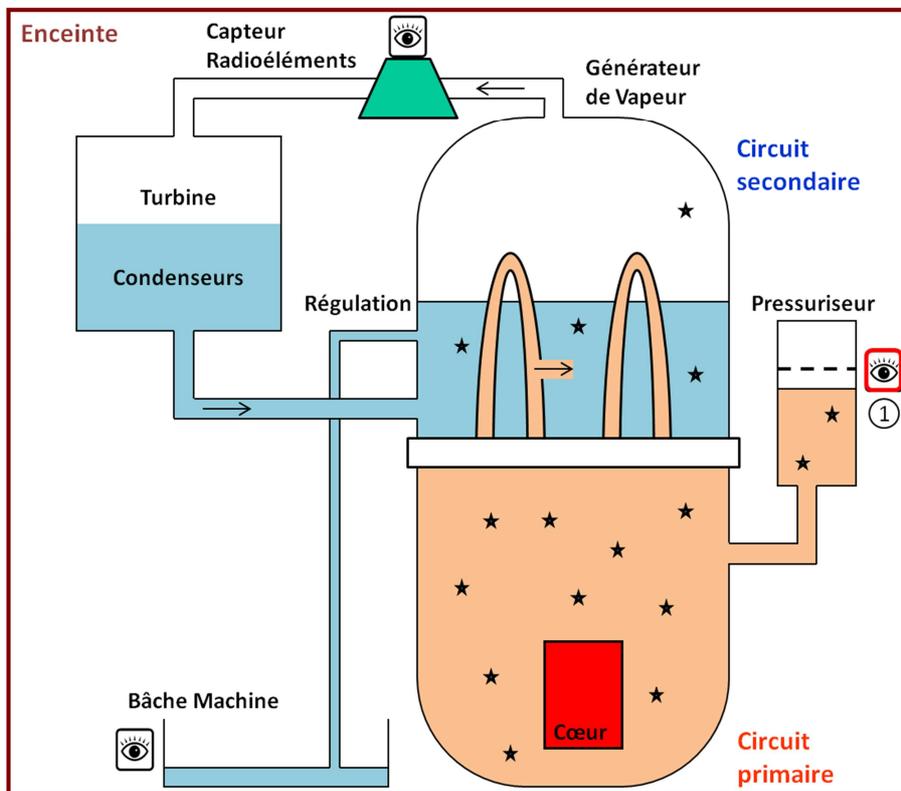


# Annexe 1 : Etapes du scénario standard

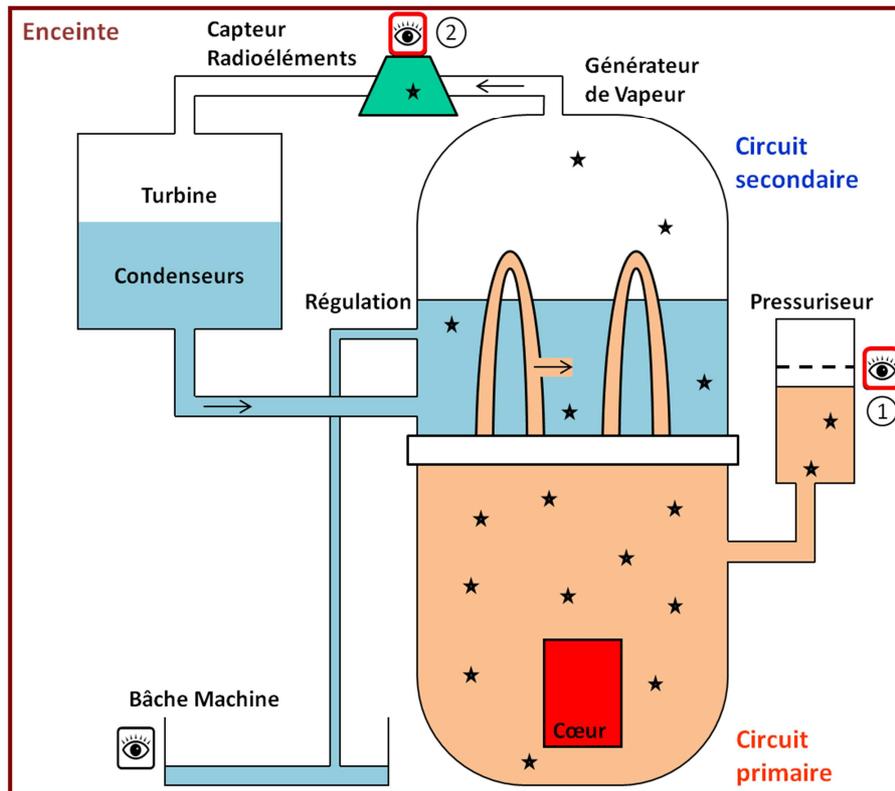
Scénario standard : Début de la fuite



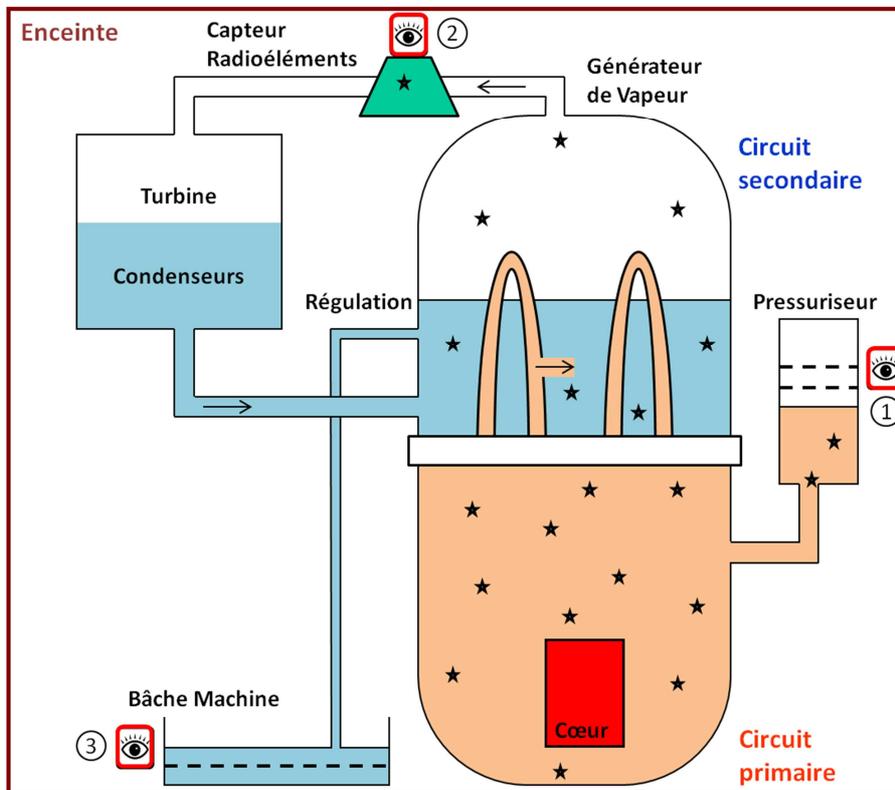
Scénario standard : 1<sup>er</sup> symptôme, baisse de niveau dans le pressuriseur



Scénario standard : 2<sup>ème</sup> symptôme, détection de radioéléments dans le circuit secondaire

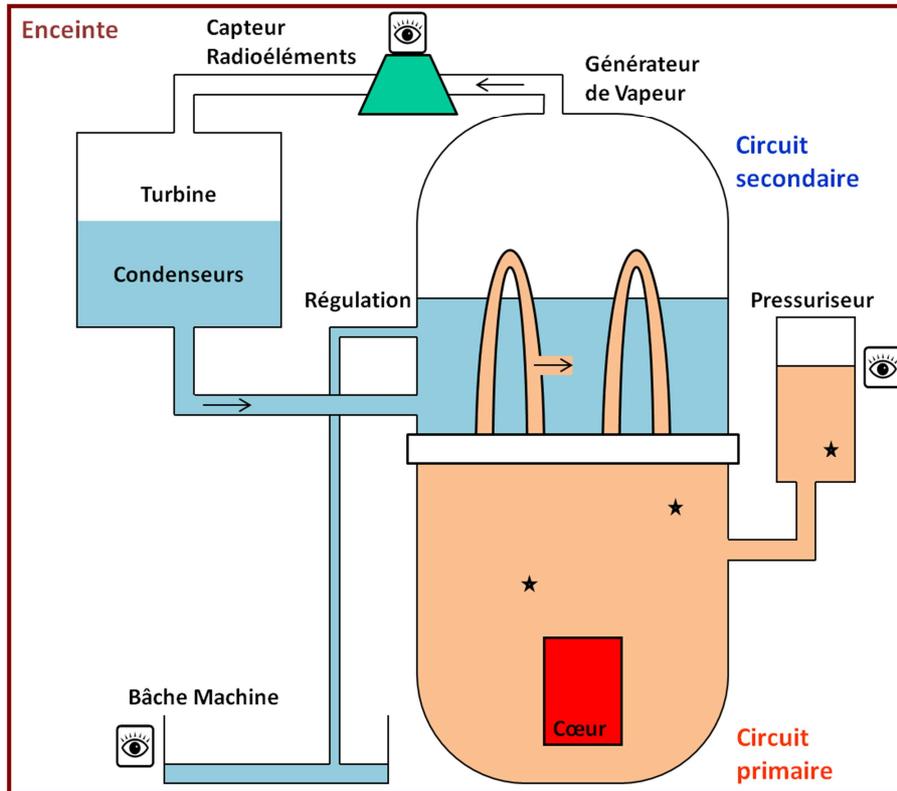


Scénario standard : 3<sup>ème</sup> symptôme, montée du niveau dans le circuit secondaire

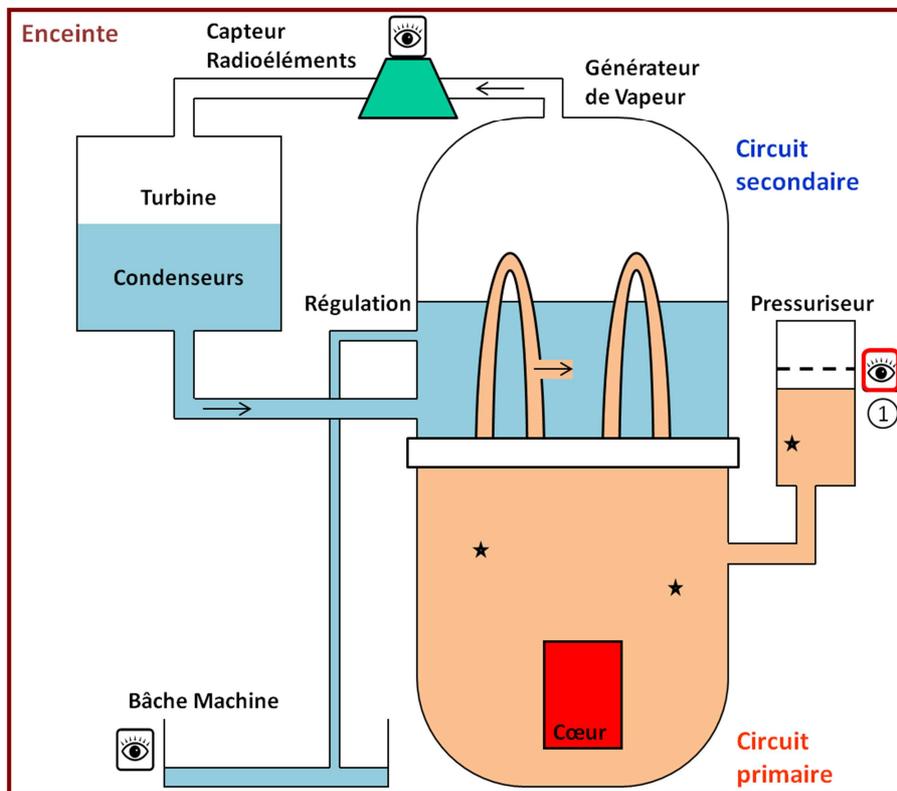


## Annexe 2 : Etapes du scénario ambigu

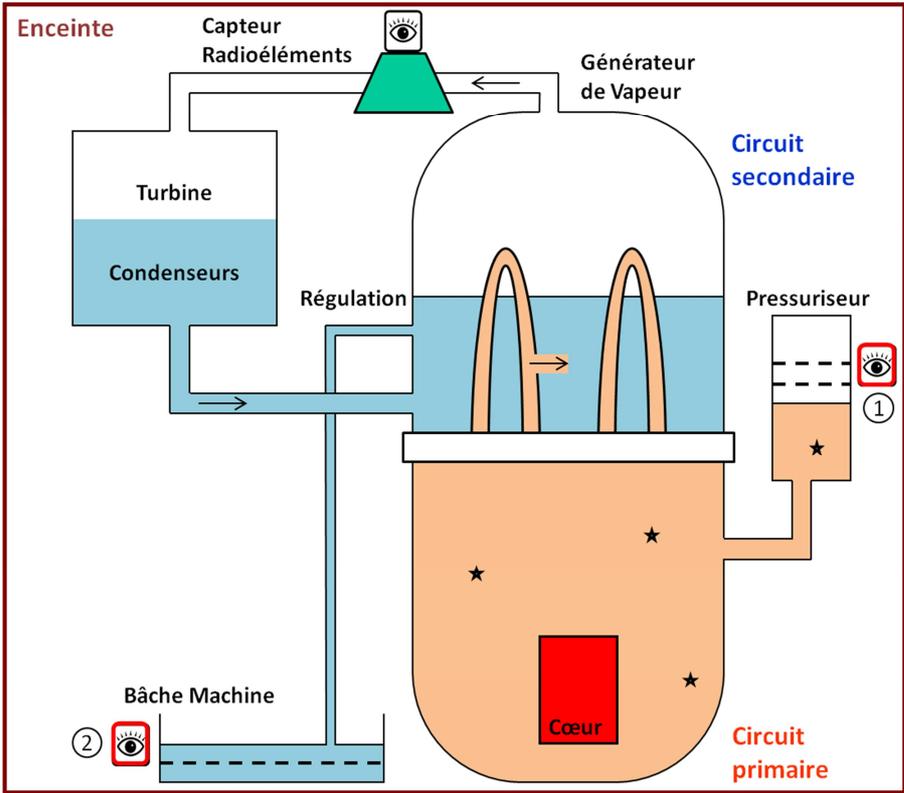
Scénario ambigu : Début de la fuite (très peu de radioéléments dans le circuit primaire)



Scénario ambigu : 1<sup>er</sup> symptôme, baisse de niveau dans le pressuriseur



Scénario ambigu : 2<sup>nd</sup> symptôme, montée du niveau dans le circuit secondaire





## Annexe 3 : Aperçu global du diagnostic pour les 8 équipes

	0	10	20	30	40	74	80	90
<b>S stand 1</b>								
Qualification de l'evt	■	■ 1	■	■				
Arrêt du système		■ 1	■	■	■	2		
Choix procédure		■ 2						
Quantifier fuite	■	■	■	■	■			
<b>S stand 2</b>								
Qualification de l'evt		■ 1	■	■				
Arrêt du système		■ 1	■	■	■	2		
Choix procédure		■ 2						
Quantifier fuite	■	■		■	■			
<b>P stand 1</b>								
Qualification de l'evt	■							
Arrêt du système	■ 2							
Choix procédure	■ 2							
Quantifier fuite								
<b>P stand 2</b>								
Qualification de l'evt	■ 1							
Arrêt du système	■ 2							
Choix procédure	■ 2							
Quantifier fuite								

### Synthèse du diagnostic, scénario standard



## Annexe 4 : Analyses statistiques

### Test du Khi<sup>2</sup> sur les tours de parole

Le tableau ci-dessous indique les valeurs prises pour mener le test du Khi<sup>2</sup> présenté dans le §3.2 du chapitre 7. Ce test a été effectué à l'aide du logiciel SAS.

	« Non Adressés »	CdQ-K	K-K	Total
S	290	797	371	1458
P	155	1195	76	1426
Total	445	1992	447	2884

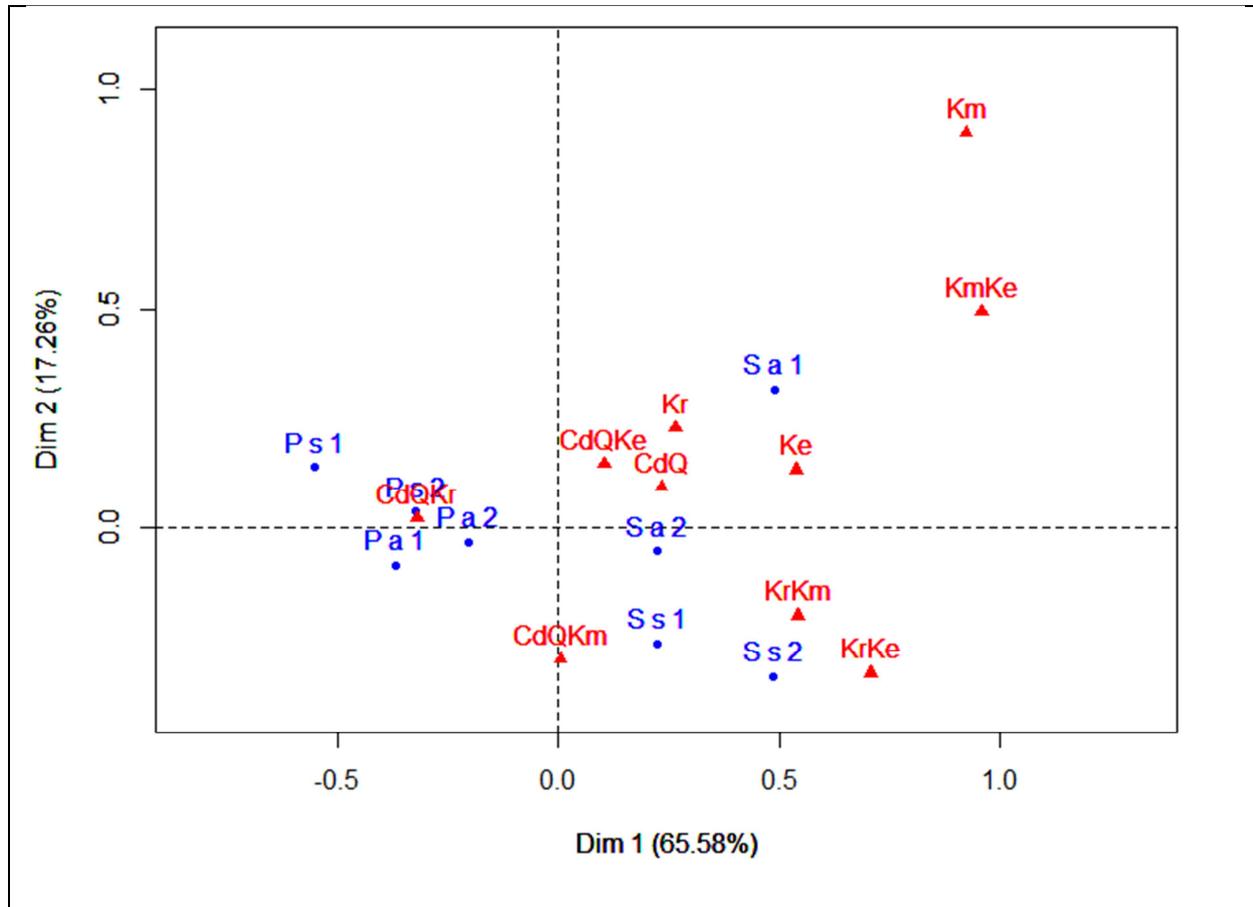
### Analyse factorielle par correspondances

Le tableau ci-dessous indique les valeurs prises pour mener l'analyse factorielle par correspondance présentée dans le §3.2 du chapitre 7. Cette analyse a été effectuée à l'aide du logiciel R.

Equipe	CdQ	Kr	Ke	Km	CdQKr	CdQKe	CdQKm	KrKe	KrKm	KmKe
S a 1	45	49	24	22	171	55	29	49	45	34
S a 2	39	21	2	6	158	21	49	46	18	18
S s 1	25	11	8	3	123	24	47	42	27	4
S s 2	13	14	8	0	79	17	24	47	34	7
P a 1	6	11	14	1	275	27	65	2	17	1
P a 2	28	27	1	0	222	23	30	22	17	0
P s 1	23	12	0	1	320	31	18	2	1	0
P s 2	14	16	1	0	148	15	21	4	9	1

L'analyse factorielle par correspondance permet de comparer les profils d'équipe. L'intégralité des informations contenues dans le tableau peut se représenter sous forme d'un « nuage de point » dans un espace à 7 dimensions. Les axes « Dim 1 » et « Dim 2 » sont construits de manière à représenter le maximum d'information projeté sur un plan à deux

dimensions. Pour ce tableau, les axes « Dim 1 » et « Dim 2 » rendent compte de 82,84% de l'information contenue dans le tableau.



**Analyse factorielle des correspondances, représentation des équipes et des types de verbalisations**

La représentation des équipes et des types de verbalisations montre que les verbalisations non adressées ou entre opérateurs sont représentées du même côté que les équipes de S. Les échanges entre le CdQ et le Kr sont représentées du même côté que les équipes de P.

## Test du $\text{Khi}^2$ sur les conversations

Le tableau ci-dessous indique les valeurs prises pour mener le test du  $\text{Khi}^2$  présenté dans le §3.3 du chapitre 7. Ce test a été effectué à l'aide du logiciel SAS.

	Non dédiés	dédiés	Total
S	64	162	226
P	18	185	203
Total	82	347	429

# Agir en sécurité : le réglé et le géré dans la propulsion nucléaire

## Résumé

La mise en place de barrières de sécurité notamment par la standardisation de l'activité des opérateurs a permis au fil des ans d'améliorer significativement la sécurité des systèmes, tels que les installations nucléaires, qui peuvent aujourd'hui être qualifiés de systèmes « ultra-sûrs ». La thèse défendue est que la sécurité de ces systèmes s'appuie à la fois sur ces barrières de sécurité mais aussi sur la compétence des opérateurs. Ainsi la sécurité aujourd'hui doit se penser comme l'articulation cohérente d'un ensemble de ressources normatives pour « maîtriser » les risques (la sécurité réglée) et d'un ensemble de ressources adaptatives pour permettre aux opérateurs de faire face à de potentielles situations imprévues (la sécurité gérée). Une étude empirique a été construite pour éclairer cette problématique. Elle met en œuvre des équipes supervisant des systèmes nucléaires similaires mais dans lesquels la place prescrite à l'opérateur dans la gestion de la sécurité n'est pas la même : sur l'un la sécurité normative prévaut ce qui implique la vision d'un opérateur conforme (sans quoi il est « défaillant »), sur l'autre la sécurité adaptative est développée considérant ainsi l'opérateur comme un acteur de la sécurité à part entière. Les résultats obtenus permettent d'identifier une gestion sûre des situations sur les deux systèmes, mais sur la base de comportements d'équipe très différents. Les comportements adaptatifs apparaissent dans les équipes « adaptatives » en cohérence avec l'organisation émergente du travail et avec les modalités formatives. Ces comportements adaptatifs se manifestent aussi dans les équipes « normatives » mais ne sont en revanche soutenus ni par l'organisation du travail ni par les modalités formatives, non constructives. Ces résultats sont discutés en termes de sécurité globale, de « l'agir en sécurité »

Mots clés : Sécurité réglée, sécurité gérée, collectif, formation, procédures, débriefing, ressources adaptatives.

## Abstract

The implementation of safety barriers - particularly through approaches based on the standardization of operator activity – has led, over the years, to significant improvements in the safety of systems such as nuclear power plants. Such systems can be considered today as ultra-safe systems. The thesis defended here posits that system safety lies both in these safety barriers and in the skills of the human operators involved. Safety should, therefore, be viewed as a combination of a consistent set of normative resources in order to control risks (regulated safety), and a set of adaptive resources enabling operators to cope with unexpected situations (adaptive safety). An empirical study was conducted to investigate this question. It focuses on teams supervising two nuclear systems that are similar, but where the role ascribed to the human operator regarding safety management varied. In the first system, normative safety predominates, leading to a vision of operators who must be compliant in order not to be viewed as “defective”. In the second system, adaptive safety is emphasized, and operators are viewed as full-fledged actors of system safety. The results show safe management of situations on both systems. However, this management is based on very different team behaviors. Adaptive behaviors appear in adaptive teams, supported both by the emergent team organization and by a specific training approach. Adaptive behaviors are also visible in normative teams. However, such behavior is at odds with team organization and with the training approach, which can be said to be non-constructive. The results are discussed in terms of global safety and of “safe action”.

Key words: regulated safety, adaptive safety, collective, training, rules, debriefing, adaptive resources.