

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mostafa Ben Boulaid – Batna-2
Institut d'Hygiène et Sécurité
Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI)



THESE

Présentée pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN SCIENCES

EN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE

Option : Gestion des Risques

Par

SI MOHAMMED Antar

Magister en Hygiène et Sécurité Industrielle

Thème :

Impact de l'imprécision sur la prise de décision dans le management des risques industriels

Soutenu publiquement le 29 janvier 2020 devant le jury d'examen :

Dr.	DJEBABERA Mébarek	Professeur	Univ. Batna 2	Président
Dr.	SMAIL Rachid	Maître de conférences - A	Univ. Batna 2	Rapporteur
Dr.	ALI-KHODJA Hocine	Professeur	Univ. Constantine 1	Examineur
Dr.	INNAL Fares	Professeur	Univ. Skikda	Examineur
Dr.	NAIT-SAID Rachid	Professeur	Univ. Batna 2	Invité

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents et à toute la famille...

A l'âme de mon ex-directeur de thèse : TAMRABET Abdallah, رحمه الله...

A mon fils Mohcene ...

Antar SIMOHAMMED...

10/02/2020

Remerciements

Ce travail de recherche doctorale a été réalisé au sein du Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI) de l'institut d'Hygiène et Sécurité de l'université Mostafa Ben Boulaid - Batna 2.

Mes remerciements vont particulièrement à mon directeur de thèse, Dr. SMAIL Rachid, pour sa grande disponibilité, sa gentillesse, son encadrement, sa confiance et ses conseils avisés.

Je remercie aussi et profondément mon frère et mon ami, Dr. CHEBILA Mourad, pour m'aider à réaliser ce travail, malgré ses nombreuses charges et occupation.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des membres du jury, à savoir :

- Monsieur DJEBABERA Mébarek, Professeur à l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle et directeur du laboratoire LRPI, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

- Messieurs ALI KHODJA Hocine, Professeur à l'université de Constantine -1, INNAL Fares, Professeur à l'université de Skikda, et NAIT-SAID Rachid, Professeur à l'université de Batna -2 d'avoir accepté d'expertiser ce travail.

J'exprime également, ma profonde gratitude à Mr. GHETTAS Salim, EHS Specialist – Oman Oil & Gas Company pour ses améliorations de ce projet de recherche. Et également à : Melle DJAGHROURI Hassina, Chef de Service QHSE-NAFTAL BAG, & Mr. MAHJOUB Sofiane, Ingénieur HSE –JV GAS, pour leurs aides précieuses et fournitures des données utilisées dans ce travail.

Sans oublié, Dr. Ouazraoui Nouara, Maître de conférences à l'institut d'hygiène et sécurité, merci pour vos conseils et surtout vos encouragements.

Je tiens aussi à adresser mes chaleureux remerciements à qui m'a non seulement accompagné durant ces années de recherches mais aussi guidé, soutenu et encouragé, à ma femme Dr. ZEGUERROU Nadia.

Enfin, je présente mes profonds remerciements à tous mes collègues doctorants de la promotion «2015 - 2020» notamment : Rahmouni Sofiane, Touaher Hafed & Belmazouzi Yassine.

*Merci à toutes et à tous.
Antar SIMOHAMMED.*

Dédicace	I
Remerciements	II
Abréviations, acronymes	VII
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XII
Introduction générale	
Problématique.....	2
Objectif de la recherche	4
Organisation de la thèse.....	5
Chapitre I : <i>Prise de décisions en situation d'incertitude</i>	
Résumé	7
Introduction	8
I. 1. Historique des accidents	8
I.1.1. Eruption de Snorre –A (2004)	8
I.1.2. Accident de Deepwater horizon (2010)	9
I.1.3. Accident de Fukushima (2011)	10
I.1.4. Accident de l'aviation : TransAsia (2015)	11
I. 2. Notions de « décisions » et « prise de décisions » dans la littérature	12
I. 3. Classification de décisions	14
I.3.1. Décisions de planification	14
a. Les décisions stratégiques.....	15
b. Les décisions opérationnelles	15
I.3.2. Décisions d'exécution	15
a. Les décisions instantanées	15
b. Les décisions d'urgences	15
I.4. Quels facteurs mènent aux erreurs de décisions	16
I.4.1. Ambiguïté (incertitude) de données et d'informations	18
a. Temps disponible (y compris le degré d'urgence).....	18
b. Connaissances disponibles	18
I.4.2. Risques sous estimés.....	19
I.4.3. Objectifs en conflits	20
I.4.4. Conséquences non évaluées	20
I.5. Gestion des alarmes et la prise de décisions	20
I.6. Description du cas d'étude	23
I.7. Critères de choix et de sélection	24
I.8. Traitement statistiques du cas d'étude	25

I.8.1. Données numériques de l'installation	25
I.8.2. Description des pertes en fonction des alarmes enregistrés	26
I.8.3. Causes possibles	28
a. Causes immédiates possibles	28
b. Systèmes causes possibles	28
c. Autres	28
Conclusion	30
Références bibliographiques	31
Chapitre II : Théories et modèles de prises de décisions	
Résumé	35
Introduction	36
II.1. Théories de prises de décision	36
II.1.1. La théorie du choix rationnel	37
II.1.2. La théorie de la rationalité bornée	37
II.1.3. La théorie de la prise de décision naturaliste	37
II.2. Contextes de décisions	38
II.2.1. Les modèles de comportement du décideur	38
a. Modèle classique	38
b. Modèle des relations humaines Herbert Simon	39
II.2.2. Les modèles de comportement décisionnel de l'organisation.....	39
II.3. Modèles de prise de décisions naturalistes	40
II.3.1. Le modèle de la prise de décision distribuée	40
II.3.2. Prise de décision collective (<i>Team-based decision making</i>)	42
II.3.3. Le modèle de l'image	42
II.3.4. Le modèle de récit (<i>Story Model</i>)	44
II.3.5. Le modèle de mise à jour des croyances (<i>belief updating model</i>)	45
II.3.6. Le modèle S.H.O.R	46
II.3.7. Le modèle R/M (reconnaissance / métacognition)	48
II.3.8. Le modèle du raisonnement analogique	49
II.3.9. Le modèle de la première reconnaissance	50
a. Cas de la simple correspondance	50
b. Cas du diagnostic de la situation	50
c. Cas d'évaluation du cours de l'action	51
II.3.10. La boucle OODA	51
II.4. Approches quantitatives	53
II.4.1. <i>k</i> - plus proches voisins (<i>k-Nearest Neighbors Algorithm</i>).....	53
II.4.2. Le modèle mathématique du processus décisionnel humain	54
II.4.3. Processus d'Analyse Hiérarchique	56

II.5. Modèles cognitives	57
II.5.1. Le Modèle SB-RB-KB de Rasmussen.....	57
a. Basé sur les compétences (Skill based)	58
b. Basé sur les règles (Rule based)	58
c. Basé sur les connaissances (Knowledge based).....	58
II.5.2. La conscience de la situation	59
Conclusion	60
Références bibliographiques	61
Chapitre III : Approche d'évaluation de la situation en présence d'incertitude	
Résumé	64
Introduction	65
III.1. A propos des déviations de systèmes et prise de décisions.....	65
III.2. La boucle OODA en détail.....	68
III.2.1. Comment fonctionne la boucle OODA	68
III.2.2. Etapes de la boucle OODA et la gestion des risques	68
a. Observer	68
b. Orienter	69
c. Décider	69
d. Act	69
III.2.3. Utilité de la boucle OODA (OODA Loop)	70
III.2.4. Inconvénients de la boucle OODA	71
III.3. Les réseaux bayésiens	73
a. Acquisition des connaissances	74
b. Représentation des connaissances	74
c. Utilisation des connaissances	74
d. Qualité de l'offre en matière de logiciels	74
III.4. Présentation de la démarche préconisée.....	76
III.4.1. Description de la démarche	76
III.4.2. Mise en œuvre de la démarche	77
a. Observer	78
b. Orienter	78
c. Décider	79
d. Act	79
III.4.3. Résultats	80
III.4.4. Discussions des résultats	82
Conclusion.....	83

Références bibliographiques	84
Chapitre IV : Modèle de prise de décision sous incertitude relatif aux systèmes d'alarmes industriels	
Résumé	87
Introduction	88
IV.1. Etat de l'art	88
IV.2. Analyse d'incertitude et gestion des risques.....	90
IV.3. Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP)	91
IV.4. Implémentation d'AHP dans un contexte industriel	94
IV.4.1. Alternatives de comparaisons	94
a. Réaction immédiate (I).....	94
b. Ignorer l'alarme (<i>Disregard, D</i>).....	95
c. Confirmation (C)	95
IV.4.2. Critères de comparaisons	96
a. Sécurité générale de l'installation (<i>General Safety, GS</i>)	96
b. Production (PO)	96
c. Sécurité du personnel (Personal Safety, PS)	96
d. Efficacité (Practicality, PA)	96
IV.5. Application numérique	96
IV.5.1. Description de l'incident	97
IV.5.2. Résultats et discussions	98
Conclusion.....	102
Références bibliographiques	104
Conclusion générale et perspectives	107
Annexes	110
ملخص	115
Abstract	115
Résumé	116

Abréviations

AHP: *Analytic hierarchy process*

BDT: *Behavioral Decision Theory*

BP: *British Petroleum*

C: *Confirmation*

CDM: *Classical Decision Making*

D: *Disregard*

DDM : *Distributed decision making*

DMU : *Decision making units*

ENS : *Événement Non souhaité*

EOS: *End-of-Sequence*

ESC: *Equipements sous controle*

FD: *Fault detectors*

GS: *General Safety*

HE: *Human error*

I: *Immediate reaction*

IEC: *International Electrotechnical Commission*

IH: *Inhibition*

JDM: *Judgment and Decision Making*

k-NN: *k- Nearest Neighbor*

LFPP: *logarithmic fuzzy preference programming*

MGT: *Management*

MIRMAP: *Modelling Instantaneous Risk of Major Accident Prevention*

Mm³: *Millions Mètres cubes*

MNT: *Maintenance*

MOC: *Management of Changes*

M-OODA: *Modified- Observe- Orient- Decide- Act*

NA: *Not Applicable*

NASA-TLX: *NASA Task load index*

NDM: *Naturalistic Decision Making*

ODM: *Organizational Decision Making*

O&G: *Oil & Gas*

OGP: *Oil & Gas Producers*

OODA: *Observe- Orient- Decide- Act*

PA: *Practicality*

PDG: *Président directeur générale*

PI: *Panel Issue*

PO: *Production*

PR : *Perte de Production*

PS : *Personal Safety*

PT : *Perte de Temps*

R/M : *Reconnaissance / Métacognition*

RB : *Réseaux Bayesiens*

SA: *Situation Awareness*

SAGAT: *Situation Awareness Global Assessment Technique*

SART: *Situational Awareness Rating Technique*

SASS: *situation awareness support system*

SB-RB-KB: *Skill based, Rule based, Knowledge based*

SBS: *Step-by-Step*

SHOR: *Stimulus-Hypothesis-Option-Response*

SIS: *Safety Instrumented System*

SMS: *Safety Management System*

SPP: *Standards- Procedures-Practices*

TAR: *Turnaround*

UN: *Unkown*

WR: *Work- related*

w: *Poids*

λ : *Degré d'adhésion minimum (minimum membership degree)*

δ : *Variable d'écart non négative*

η : *Variable d'écart non négative*

Liste des figures

Chapitre I

<i>Figure I.1 : Processus décisionnel</i>	13
<i>Figure I.2 : Types de décisions selon (Yang et Haugen, 2015)</i>	16
<i>Figure I.3 : Causes humaines et organisationnelles de l'accident de Macondo</i>	17
<i>Figure I.4 : Représentation graphique des alarmes incendie</i>	26
<i>Figure I.5 : Représentation graphique des pertes potentielles</i>	27
<i>Figure I.6 : Représentation graphique des causes possibles</i>	29

Chapitre II

<i>Figure II.1 : Prise en compte d'incertitude dans les modèles de décisions</i>	39
<i>Figure II.2 : Classification de décision distribuée</i>	41
<i>Figure II.3 : Modèle de l'image</i>	43
<i>Figure II.4 : Story Model</i>	44
<i>Figure II.5 : Modèle de mise à jour des croyances</i>	46
<i>Figure II.6 : Modèle S.H.O.R</i>	47
<i>Figure II.7 : Model R/M</i>	49
<i>Figure II.8 : Modèle de première reconnaissance</i>	51
<i>Figure II.9 : Boucle OODA modifiée</i>	52
<i>Figure II.10 : Modèle mathématique du processus décisionnel humain</i>	55
<i>Figure II.11 : Exemple d'une AHP, sélection d'un manager</i>	57
<i>Figure II.12 : Modèle simplifié SB-RB-KN</i>	58
<i>Figure II.13 : Modèle de la situation awareness</i>	59

Chapitre III

<i>Figure III.1 : Boucle de décision des déviations de système proposée</i>	76
<i>Figure III.2 : Réseau bayésien pour les causes d'occurrences d'alarmes</i>	80
<i>Figure III.3 : Fonctions de densité de probabilités normales</i>	82

Chapitre IV

<i>Figure IV.1 : Diagramme logique d'exploitation d'AHP</i>	93
<i>Figure IV.2 : Processus hiérarchique proposé pour traitement des alarmes</i>	95
<i>Figure IV.3 : Plan de situation de l'installation industrielle étudiée</i>	97
<i>Figure IV.4 : Priorités des alternatives obtenues</i>	101
<i>Figure IV.5 : Comparaison des poids globaux des trois alternatives</i>	102

Annexe

<i>Figure 1 : Relations entre les principes, le cadre organisationnel et le processus de management du risque</i>	112
---	-----

Liste des tableaux

Chapitre I

<i>Tableau I.1 : Nombre d'alarmes enregistrées dans l'installation</i>	25
<i>Tableau I.2 : Grille des pertes de production et de temps potentielles.....</i>	27
<i>Tableau I.3 : Participation des causes à la réalisation de l'ENS.....</i>	29

Chapitre II

<i>Tableau II.1 : Les variables du Modèle S.H.O.R</i>	47
<i>Tableau II.2 : Table de vérité.....</i>	55

Chapitre III

<i>Tableau III.1 : Evaluation de différents modèles de cycle de décision.....</i>	72
<i>Tableau III.2 : Avantages comparatifs des réseaux bayésiens</i>	75
<i>Tableau III.3 : Nombre d'alarmes enregistrées dans l'installation.....</i>	76
<i>Tableau III.4 : Distributions de probabilités</i>	80
<i>Tableau III.5 : Résultats obtenus sans prise en compte de l'alarme inconnue</i>	81
<i>Tableau III.6 : Résultats obtenus avec prise en compte de l'alarme inconnue</i>	81

Chapitre IV

<i>Tableau IV.1 : Mesures de performance du système d'alarme industrie</i>	89
<i>Tableau IV.2 : Echelle fondamentale de AHP</i>	92
<i>Tableau IV.3 : Matrice floue de comparaison deux à deux des critères étudiés</i>	99
<i>Tableau IV.4 : Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère: sécurité générale</i>	100
<i>Tableau IV.5 : Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère: production</i>	100
<i>Tableau IV.6 : Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère: sécurité du personnel</i>	100
<i>Tableau IV.7 : Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère: efficacité</i>	100

Annexe

<i>Tableau1 : Avantages et inconvénients des méthodes d'évaluations des risques.....</i>	111
--	------------

Introduction générale

Introduction générale

1. Problématique

La prise de décision est un processus cognitif fondamental qui aboutit à la sélection d'un plan d'action parmi plusieurs scénarios alternatifs. D'autant plus, la décision peut être vue comme «un engagement spécifique à l'action» faisant référence «au fait que les individus ou les organisations, en suivant le chemin d'une action, renoncent à d'autres actions». Le manager¹ est de plus en plus appelé à prendre des décisions fondées sur des paradigmes s'écartant des modèles traditionnels de traitement de l'information. Cependant, cela n'est pas toujours vrai dans des situations de crise où la décision sera limitée par la disponibilité de peu de temps et d'informations fiables et précises. Cependant, Sayeght et al., (2014), ont récemment aboutis que le soutien empirique et théorique de l'intuition et des connaissances tacites dans le processus de décision sont des facteurs clés.

En effet, selon une étude de Theophilus et al., (2017), l'erreur humaine et les mauvaises décisions ont été blâmées dans la plupart des catastrophes dans l'industrie pétrolière tel que : Alexander L. Kielland (1980) avec 123 morts, Ocean Ranger (1982) avec 84 morts, Glomar Java Sea (1983) avec 81 morts, Piper Alpha (1988) avec 167 morts et Sea Crest (1989) avec 91 morts.

Par ailleurs, les investigations sur des accidents majeures indiquent habituellement des failles dans le processus décisionnel à un moment donné quand ces mêmes accidents ont été élucidés. Des décisions importantes peuvent être prises bien avant la survenue d'un accident, comme celles liées à la conception ou à la planification à long terme, mais également par le personnel de « *sharp end* » juste avant le déclenchement de l'événement initiateur (Reniers et al., 2006). En outre, les accidents majeurs sont souvent associés à des interventions humaines erronées et confirmées par les enquêtes qu'ont identifiées que ces décisions ont contribué à la perte des barrières et au déclenchement réel de l'événement accidentel.

Les décisions d'urgence visent plus la sauvegarde et la minimisation des dégâts que la résolution de la situation de crise. Le challenge est de maîtriser le temps dans un procédé d'urgence. Il a été prouvé que, pour retrouver une bonne prise de décision en situation de crise, il est important de passer par un processus de normalisation visant à réduire l'incertitude et à renforcer le sentiment de maîtrise de la situation (Guarnelli, 2014).

¹ Manager vs Gestionnaire : ce dernier exprime ses qualités par l'aptitude au calcul, alors que ce qui est attendu du premier est une vision proactive de la situation (voir plus vite, plus loin et autrement) (Guarnelli, 2014).

De son côté, Forgues (1993) a analysé les processus de décision en temps de crise, il a proposé un modèle de l'évitement, en soumettant à la réflexion plusieurs éléments importants du comportement organisationnel pendant la crise. Parmi les comportements les plus fréquents, il relève le rejet des responsabilités, le conformisme aux procédures existantes, les gains de temps, la décision de ne pas décider ou le déni de la réalité. Pour lui, l'évitement est une explication du comportement des décideurs qui cherchent à éviter le risque en basculant leur responsabilité vers des experts externes. Ces derniers, temporisent beaucoup avant de prendre des décisions et rejettent souvent la possibilité d'évaluer l'action appropriée.

Par contre, les recherches réalisées dans le cadre de projet *Modelling Instantaneous Risk of Major Accident Prevention* (MIRMAP, 2014) montrent qu'il est plus correct de parler de «réaction» que de processus de décision en situations d'urgence. Cela signifie que le temps est insuffisant pour l'évaluation systématique des alternatives, du fait que les mesures doivent être prises immédiatement, et les raisons du choix ne peuvent être données que rétrospectivement.

La prise de décision implique donc, la formulation d'hypothèses et de plans ainsi que l'utilisation de l'intuition pour juger de la décision à prendre, des résultats probables et des actions appropriées à entreprendre. En effet, nous devons sans cesse effectuer des choix sans pour autant en connaître les conséquences potentielles, ni les probabilités qui régissent ces conséquences. Afin de mieux définir les processus en jeu dans le développement de ces capacités décisionnelles sous incertitude.

Dans le même contexte, la sécurité n'est que l'une des nombreuses exigences que les responsables doivent prendre en compte lors du choix des actions. Les décisions relatives aux questions de sécurité varient considérablement en fonction des informations disponibles sur les risques à gérer telles que les situations d'urgences relatives à l'occurrence des alarmes anti-incendie et d'évacuation générale. Ces situations d'urgences sont souvent caractérisées par un flux d'informations incomplètes et incertaines. A ce niveau, le manager est obligé à chercher des solutions efficaces dans un temps très court. L'outil le plus adéquat est bien évidemment le jugement d'expert qu'est fréquemment utilisé pour solliciter des jugements éclairés en fonction de la formation et de l'expérience de ces derniers. Cependant ces jugements sont également entachés d'incertitudes.

Le développement des outils d'aide à la prise de décisions en tenant compte de l'incertitude devient une nécessité pour une meilleure maîtrise des risques industriels.

2. Objectif de la recherche

L'objectif principal de cette thèse de doctorat étant de contribuer à la résolution de certains aspects problématiques des processus décisionnel dans un environnement dynamique qui dépend de plusieurs facteurs, tels que la complexité, les contraintes de temps, la pression (stresse) et l'incertitude et l'imprécision des informations. Il s'agit d'étudier le processus de prise de décision dans une situation de crise réelle dans le cadre de management des risques industriels.

Des modèles issus de ceux de prises de décision naturalistes (Observe-Orient-Decide-Act) combinés avec les techniques de l'intelligence artificielle (réseaux bayésiens et AHP flous) sont proposés tout en considérant les incertitudes associées aux différents paramètres relatifs à la situation à étudier. Ces modèles offrent plus de souplesse lors de la prise de décision quant à la réduction du risque, en fournissant un soutien crédible au manager pour faire face aux diverses contraintes (pression, temps). Et ceci pour une meilleure gestion de la sécurité conformément aux ressources disponibles et aux objectifs fixés.

Nos travaux développés dans ce manuscrit se focalisent sur:

- ✚ L'adaptation et l'intégration des différentes méthodes et outils d'aides à la décision dans le contexte du management des risques industriels.
- ✚ L'étude des effets de l'incertitude et de l'imprécision de l'information sur la prise de décision dans la gestion des risques industriels.
- ✚ L'utilisation de plusieurs cadres et méthodes selon la nature des données et d'informations disponibles.

3. Organisation de la thèse

Le présent manuscrit est scindé en quatre chapitres :

- ✚ Au niveau du premier chapitre seront présentés, dans un premier temps, quelques exemples de cas d'accidents à conséquences catastrophiques dans différents domaines d'activités. Le but de ce rappel d'accidents est de mettre en évidence le lien entre cas d'accidents et «l'erreur» commise dans la prise de décision en situation réelle. Nous

évoquerons ensuite les concepts et définitions liés aux notions de « décision » et « prise de décision », ainsi que, les critères de classification des décisions et les facteurs qui mènent aux erreurs de décision. Enfin, nous clarifions l'interaction entre la gestion des alarmes incendie et la prise de décision en expliquant le cas d'étude choisis.

✚ Le deuxième chapitre est consacré à une étude bibliographique pour établir un état de l'art sur les théories de la prise de décision ainsi les principaux modèles de recherches élaborées dans la littérature qui s'intéressent à la prise de décision dans un contexte opérationnel. Ce chapitre est scindé en trois parties:

- la première partie concerne les modèles de décision, notamment le modèle de la première reconnaissance;
- la deuxième partie s'intéresse aux formalismes et quantifications des processus de décisions ;
- la dernière partie est consacrée à l'étude des fonctions cognitives mises en œuvre pour l'évaluation des situations de prise de décision réelles.

✚ Le troisième chapitre présente notre première contribution qui consiste à proposer une démarche d'aide à la prise de décision pour l'évaluation de la situation. Cette contribution est valorisée par une étude de cas relative aux déclenchements des alarmes d'une installation industrielle. Le modèle consiste à fournir des conseils sur la confirmation et la classification des déviations du système. En effet, ce modèle est une représentation d'une boucle OODA « Observe – Orient - Decision – Act » par le biais du formalisme réseaux bayésiens.

✚ Le quatrième chapitre représente un complément de l'idée développée dans le chapitre trois au sens de « confirmation de déviation ». Pour ce faire, un modèle de prise de décision associé à la réponse aux alarmes critiques a été détaillé et validé par un exemple illustratif. Le modèle consiste en une proposition d'un Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP) flou en considérant trois alternatives et quatre critères. Une méthode logarithmique à priorité non linéaire, basée sur la programmation par préférence floue, est également utilisée pour analyser le modèle suggéré. L'apport du modèle proposé est qu'il fournisse des réponses aux alarmes critiques avec une facilité approuvée et dans un temps de réaction relativement court.

In fine, ce travail de recherche doctorale sera clos par une conclusion générale résumant le travail réalisé et donnant les perspectives de recherche envisageables.

Références bibliographiques

Forgues, B., (1993) : Processus de décision en situation de crise, thèse de doctorat, université de Paris IX- Dauphine.

Guarnelli, J. (2014) : Le paradoxe de la décision en situation de crise sur-médiatisée. Gestion et management. Thèse de doctorat, Université Nice Sophia Antipolis. Français. <NNT : 2014NICE0029>. <tel-01127422>

MIRMAP (2014): MIRMAP project, no 228237/E30, funded by PETROMAKS2/The Norwegian Research Council

Reniers, G.L.L., Ale, B.J.M., Dullaert, W., et Foubert, B. (2006): *Decision support systems for major accident prevention in the chemical process industries: A developers' survey. Journal of loss prevention in the process industries*, Vol. 19, No.6, pp. 604-611.

Sayegha, L., Anthony, W.P. et Perrewe, P. L. (2004): *Managerial decision-making under crisis: The role of emotion in an intuitive decision process, Human Resource Management Review*, Vol. 14, No. 2, pp. 179-199

Theophilus, S.C. Ekpenyong, I.E., Ifelebuegu, A.O., Arewa, A.O., Mensah, G.A., and Ajare, T.O. (2017): *A technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors for the oil and gas industry (TRACEr-OGI). MDPI, Journal of Safety*, Vol. 13, No. 4, pp. 1-23. [doi:10.3390/safety3040023](https://doi.org/10.3390/safety3040023)

Chapitre 1:

Prise de décisions en situation d'incertitude

Résumé:

Ce premier chapitre a pour objectif d'analyser la prise de décisions en situation d'incertitude. Dans une première partie, nous nous focalisons sur « l'erreur » comprise dans la prise de décision en situation réelle par quelques exemples illustratifs d'accidents à conséquences catastrophiques. Les concepts et définitions liés aux notions de « décision » et « prise de décision » ainsi que, les critères de classifications et les facteurs contribuent aux erreurs de décisions feront l'objet de la seconde partie du présent chapitre. Enfin, la troisième partie a pour objet de clarifier l'interaction entre la gestion des alarmes incendie et la prise de décision à l'aide d'un cas d'étude choisis.

Introduction

La « prise de décision » est l'élément guide dans le processus de la gestion des opérations critiques de la sécurité. Les décisions stratégiques dans une installation industrielle s'inscrivent bien dans : les caractéristiques de la théorie du choix rationnel, les décisions opérationnelles qui sont bien décrites en termes de rationalité limitée et, finalement, les décisions instantanées qui sont généralement prises comme décrit par la théorie décisionnelle naturaliste (MIRMAP, 2014).

Rappelons que les questions de recherche à la quelle s'attache cette thèse est de comprendre comment un « décideur » doit prendre une décision efficace et rapide dans une situation de crise industrielle (cas d'alarme générale feu et gaz d'un complexe industriel) ou l'information qu'il dispose est incomplet et/ou incertaine. Comprendre la décision à prendre est important pour prévenir les accidents majeurs dans les installations industrielles. Il ne s'agit pas seulement d'avoir la bonne information et les bons outils, mais aussi de prendre les bonnes décisions.

Dans ce contexte, il nous semble judicieux de commencer par une revue de littérature sur la prise de décision dans des situations réelles.

I.1. Historiques des accidents

Dans cette section, nous rappelons un extrait des accidents survenues à conséquences catastrophiques de différents domaines d'activités (nucléaire, hydrocarbure et aviation). Ces cas ont été choisis pour la diversité qu'ils reflètent quant à « l'erreur » comprise dans la prise de décision face à une situation réelle. Les circonstances étaient marquées par d'énormes quantités d'incertitudes, de confusion et de peur, qui ont obligé les managers à prendre des décisions dans la précipitation qui sont judicieuses dans certains cas et mauvaises dans d'autres cas.

I.1.1. Eruption de *Snorre-A*, 2004 (Norvège)

Le 28 novembre 2004, environ 19h00, une éruption de puits de gaz a eu lieu sur la plateforme *Snorre-A*. Une grande partie du personnel a été évacuée par hélicoptère vers d'autres plateformes voisines. L'équipe d'intervention d'urgence à bord a envisagé une évacuation complète à trois reprises. La torche a continué de brûler pendant l'accident ce qui a

constitue une source potentielle d'inflammation du gaz provenant de la mer. Le flux de gaz a été arrêté et le puits s'est stabilisé à 10h22 le 29 novembre 2004 (PSA, 2005).

Les études réalisées sur l'éruption du Snorre – A mettent en évidence les décisions prises à différents stades des opérations; ces décisions contribuaient au développement de phénomène de l'éruption et éventuellement à la prévention d'une catastrophe plus grave (Schiefloe et Vikland, 2006, 2009 cité par MIRMAP, 2014).

Des exemples de ces décisions sont les décisions inscrites dans le programme de travail établis par le département de planification (*onshore department*) pour tirer le *scab-liner*² ainsi de réduire le nombre de barrières intactes de puits (décision de planification - stratégique); la décision de mettre en œuvre le plan et de tirer le *scab-liner* (décision de planification - opérationnelle), et les décisions prises par un équipage de 35 personnes de ne pas évacuer l'installation malgré le risque de chavirement de l'installation (décision instantanée) et de basculer l'alimentation électrique pour que les pompes de la boue puissent être utilisées pour étouffer et sécuriser le puits (décision instantanée).

I.1.2. Accident de *Deepwater Horizon*, 2010 (USA)

Un autre exemple d'intérêt d'avoir une décision claire et prise dans des situations de crise est l'explosion de la plateforme pétrolière *Deepwater Horizon* survenu le 20 avril 2010, ce qui a provoqué la mort de onze personnes et une marée noire de très grande ampleur dans le Golfe du Mexique, aux États-Unis. La commission nationale a affirmé qu'une meilleure gestion des processus décisionnels à BP et à d'autres sociétés était un facteur important qui pourrait avoir empêché l'incident, et plusieurs exemples concrets des décisions qui ont augmenté le risque à Mocondo avant la survenue de la catastrophe (National Commission, 2011).

Que s'est-il exactement passé sur la plateforme pétrolière *Deepwater Horizon* ? Le rapport conclut en effet que la cause principale de l'accident est liée "*au défaut du coffrage en ciment du puits*", qui aurait dû empêcher le pétrole et le gaz de remonter. Les enquêteurs accusent ainsi BP d'avoir essayer de gagner du temps et réduire les coûts sans considérer les conséquences (CSB, 2016).

² Une technique de réparation de tubage qui utilise une garniture d'étanchéité en haut et en bas avec une pipe de diamètre inférieur entre les deux pour isolation des brèches dans les tuyauteries.

Le rapport de la commission nationale (2011) après l'accident, décrit des décisions prises à différents moments qui ont contribué à la catastrophe, par exemple : les décisions liées au changements des procédures de forage (stratégique), la décision de dévier et d'effectuer des opérations simultanées pendant le déplacement (opérationnelle), et la décision pour ne pas effectuer d'autres diagnostics d'intégrité de puits après des résultats d'essai de pression inexplicables (instantané). En outre, Dans une étude réalisée par (Sarshar *et al.*, 2015), ils ont trouvé que 18 cas parmi 24 cas d'accidents à risques majeurs sont due aux facteurs de planification. Une grande proportion était liée à la planification opérationnelle (décision de planification et d'opération).

I.1.3. Accident de Fukushima, 2011 (Japon)

Le 11 Mars 2011, un séisme d'une magnitude de 9 sur l'échelle ouverte de Richter impacte la centrale nucléaire du site de Fukushima (Japon) affectant les réacteurs de 1 à 6 de Fukushima Dai-ichi et les réacteurs de 1 à 4 de Fukushima Dai-ni (ITER, 2011). Il s'agit de la plus grave catastrophe nucléaire du XXI^e siècle, classée au niveau 7, la plus élevée sur l'échelle internationale des événements nucléaires (AIEA, 2011).

Les conséquences potentielles de l'événement résultant en deux scénarios (ITER, 2011), (AIEA, 2011):

- Le séisme a provoqué la coupure de six lignes d'alimentation électrique externe, la procédure à suivre est donc d'utiliser les groupes électrogènes de secours (plusieurs par réacteurs et fonctionnant au diesel) pour assurer la fonction de refroidissement.
- La majorité des groupes électrogène sont endommagés (12 groupes électrogènes de secours) par la vague de tsunami de 15 mètres (dans certaine zone atteint 30 mètres) ayant comme résultat une insuffisance totale des systèmes de refroidissement sur les dix réacteurs. Cet évènement majeur conduit à transformer cette situation en crise catastrophique.
- Les dépressurisations entreprises volontairement par l'exploitant TEPCO³ pour limiter la pression dans l'installation conduisent aux premiers dégagements radioactifs dans l'environnement. Des incendies suivis d'explosions vont contribuer à relâcher des quantités massives d'effluents radioactifs liquides.

³ TEPCO : *Tokyo Electric Power Company*

Selon une étude, menée conjointement par plusieurs instituts de recherche, la détection de *xénon 133* vers 15 heures donc avant la première dépressurisation volontaire des réacteurs (décision opérationnelle), prouverait une dégradation et une perte de confinement de la partie nucléaire de l'installation ayant conduit à un rejet de radionucléides immédiatement après le séisme. L'Agence japonaise de sûreté nucléaire a d'abord écarté cette hypothèse, néanmoins reprise par la commission d'enquête indépendante gouvernementale qui l'appuie, et recommande la réalisation d'une enquête complémentaire sur ce problème particulier auquel elle consacre le second point de sa conclusion (NAIIC, 2012)

I.1.4. Accident de l'aviation: TransAsia, 2015 (Taïwan)

Le vol 235 de *TransAsia Airways*, vol intérieur taïwanais à destination de l'île de Kinmen assuré par un ATR 72-600, s'est écrasé dans la rivière de Keelung le 04 février 2015 à 10h55 résultant en 58 morts. Deux minutes et quarante secondes après son décollage, le turbopropulseur droit fut tombé en panne ; normalement, cela ne conduirait pas à un crash, car les avions modernes sont conçus pour fonctionner sur un seul moteur si nécessaire. Malheureusement, le pilote a confondu entre le moteur en fonctionnement et celui qui est en panne et eut été arrêté par erreur.

Le site *Flightglobal* indique les circonstances suivantes de l'accident (Flightglobal, 2018):

- Décollage normal durant les 45 premières secondes, jusqu'à 1200 pieds (365 m);
- Une extinction de turboréacteur retentit pour le moteur droit, et alarme correspondante;
- L'avion continu à monter avec la puissance de son second moteur jusqu'à 1650 pieds (502 m) ;
- Manœuvre volontaire d'arrêt et de redémarrage du moteur gauche par le pilote :
 - réduction progressive de la puissance du moteur gauche ;
 - mise à la puissance maximale du moteur droit (sans effet) ;
 - mise en arrêt du moteur gauche ;
 - interruption de l'alimentation en carburant sur le moteur gauche ;
 - redémarrage du moteur gauche ;
- 42 secondes après son extinction volontaire, le moteur gauche a été correctement redémarré. À cet instant, l'avion a passé 1 minute 15 secondes en vol plané ;

- à peu près au même moment l'avion est entré en décrochage, 16 secondes avant l'impact

Le rapport de l'association internationale du transport aérien (IATA) a révélé qu'environ 80% des accidents d'avion sont dus à une erreur humaine (pilotes, contrôleurs aériens, mécaniciens, etc.) et 20% à des défaillances de machines (équipements) (site internet : Boeing, 2018). De plus, (Bliss, 2003) a réalisé une enquête sur les accidents liés aux alarmes dans l'aviation et conclu que environ 27% des événements navals mentionnaient des problèmes d'alarme. Dans ce contexte, une revue de plus de 200 accidents d'avions a révélé que la mauvaise connaissance de la situation était le facteur principal de ces catastrophes (Orasanu et Mosier, 2019).

I.2. Notion de « décisions » et « prise de décisions » dans la littérature

La notion de « décisions » et « prise de décision », étant au cœur de cette recherche, il est important de rappeler les éléments essentiels de la littérature qui y sont reliés.

En effet, la décision peut être vue comme «un engagement spécifique à l'action» faisant référence «au fait que les individus ou les organisations, en suivant le chemin d'une action, renoncent à d'autres actions». Dans la théorie classique, elle est considérée comme le résultat d'un processus logique « au bout duquel les doutes disparaissent et les actions commencent» (Bénédicte, 2008).

La définition de la décision donnée par le dictionnaire Larousse : «*Acte par lequel quelqu'un opte pour une solution, décide quelque chose ; résolution, choix* ». Cependant, le dictionnaire Oxford propose deux autres définitions de la décision : le premier point à l'issue d'un processus: «*le résultat final et définitif de l'examen d'une question; une conclusion, un jugement* ». L'autre se concentre sur le processus lui-même: «*la constitution de son esprit sur n'importe quel point ou sur une ligne de conduite; une résolution, détermination*». Ce processus est généralement appelé prise de décision (Traduction non officielle).

Le processus décisionnel s'amplifie lorsque le décideur est confronté à une situation actuelle qu'il juge insatisfaisante et face à laquelle une décision s'impose. Décider, c'est essentiellement choisir entre des options dont la mise en œuvre permettrait de réduire l'écart entre la situation actuelle, et la situation future désirable.

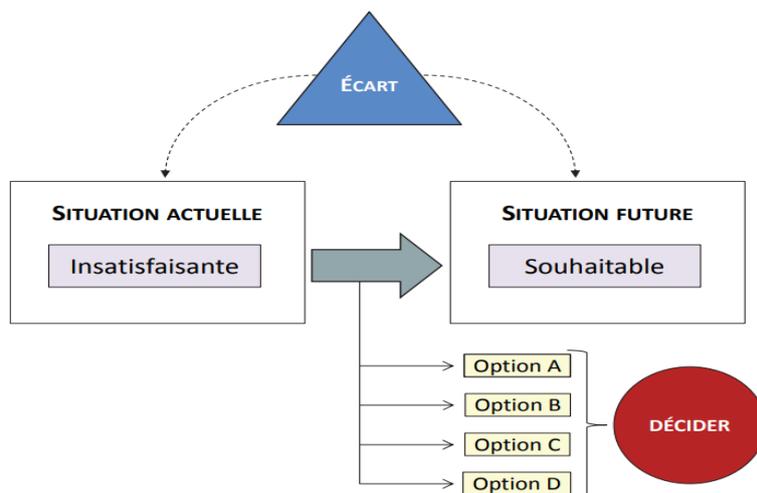


Figure I.1 : Processus décisionnel (site internet : Coozook, 2018)

Dans des situations de crises les managers sont appelés à prendre une décision et doivent agir et décider à temps. C'est-à-dire, ajuster leurs décisions et leurs actes au déroulement du temps. L'action en temps réel, l'adaptabilité, la réactivité se posent comme des valeurs centrales pour le décideur (Guarnelli, 2014).

Pour Goldstein (2003), la crise génère des contraintes relatives aux comportements individuel et collectif : effet de pression et de stress.

Certaines décisions sont prises trop rapidement et sont souvent basées sur une information asymétrique ou non exhaustive.

Rappelons également que, la situation de crise est définie comme le passage d'un état stable à un état instable, par le biais d'un événement déclencheur (Lagadec, 1991). Selon Pearson et Clair (1998), la crise est une situation de faible probabilité et de conséquences élevées.

Parmi la première tentative de l'étude des processus de décisions en temps de crise, nous citons celle présentée par Forgues (Forgues, 1993) qui propose un modèle de l'évitement, il soumet à la réflexion plusieurs éléments importants du comportement organisationnel en temps de crise.

A l'inverse de Forgues, les recherches réalisées dans le cadre de projet MIRMAP (2014) concluent qu'il peut être plus correct de parler de «réaction» que processus de décision dans les situations d'urgence.

Dans ces situations de crise, trop d'informations sont diffusées, ce qui peut conduire à un circuit d'information. Cela peut être un facteur d'appauvrissement au lieu d'enrichissement de la situation (Bartošíková, et *al.*, 2014). En effet, le processus de prise de décision affecte considérablement les conditions dans lesquelles elles se déroulent, notamment le temps disponible ou les catégories de décision. Les problèmes de décision peuvent être divisés en quatre catégories:

- ✚ Problèmes de décision bien et mal structurés (exp. Décision politique) ;
- ✚ Prise de décision avec certitude, incertitude et risque ;
- ✚ Processus de décision dépendants et indépendants⁴;
- ✚ Autres types de problèmes de décision.

Notons que, dans cette étude, nous considérons l'action prise par le manager et/ou le personnel de *sharp-end* dans la situation de crise en tant que décision d'urgence (Yang et Haugen, 2015) car elle est limitée dans le temps et peut avoir des effets divers (positifs et/ou négatifs).

I.3. Classification de décisions

Dans le domaine de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles et notamment dans la perspective « *information risk assessment* », Yang et Haugen (2015, 2016) ont parlé de deux types d'intérêt en matière de la prise de décision en indiquant que l'information sur les risques devrait permettre identifier clairement les facteurs de risque les plus importants afin que l'effort et les ressources puissent être mis sur les mesures les plus appropriées pour réduire efficacement la probabilité d'un accident, et/ou minimiser les conséquences d'un éventuel accident. En effet les types de décisions identifiés sont rappelées ci-après:

I.3.1. Décisions de planification: Les décisions de planification et de gestion prises dans les bureaux et les salles de réunion (à la «*blunt end*»). Ces décisions sont caractérisées par un décalage (relativement long) entre la décision et l'action. Le délai

⁴ Les décisions dépendantes sont les décisions qui, à l'aide du passé, sont préparées, exp.: décisions répétitives. Les décisions indépendantes sont les décisions qui sont prises sans aucun problème antérieur ou antérieurement résolu, les décisions sont uniquement nouvelles en son genre. Elles sont établies par les responsables de haut niveau et sont prises de manière à ne pas affecter les autres décisions de l'organisation (Bartošíková, et *al.*, 2014).

est suffisamment long pour identifier et évaluer systématiquement différentes alternatives. En outre, les décisions de planification sont divisées en deux catégories:

- a) *Les décisions stratégiques* qui se caractérisent par : un horizon de planification de long terme, une basse fréquence de décision et des effets à long terme. L'inconvénient est que moins de détails sont souvent disponibles, ce qui limite l'information disponible ou la rend incertaine. Décisions prises à un niveau managérial. Exemple : approbation de grands projets, en choisissant parmi des conceptions alternatives.
- b) *Les décisions opérationnelles* sont liées aux mesures qui seront prises et mises en œuvre dans un délai court. Cependant, la période de planification est relativement courte, pour permettre une évaluation formelle des risques. Les décideurs de niveau intermédiaire, tels que les gestionnaires des opérations, prennent généralement ces décisions. Exemple : approbation de plans opérationnels à moyen terme pour une période de 1 à 3 mois.

I.3.2. Décisions d'exécution: Prise par le personnel de «*sharp-end*», elle est basée sur les observations de terrain (salles de contrôle, postes de pilotage...). Les décisions d'exécution sont également prises par du personnel expérimenté (personnel qui surveille ou contrôle les opérations et/ou les équipes d'intervention d'urgence) avec beaucoup moins de temps entre l'action et la décision et sera caractérisé par une planification minimale ou nulle (bien que des décisions puissent être prises sont basées sur la «planification générique», tels que les plans d'intervention d'urgence). Les décisions d'exécution sont divisées en deux types en fonction du degré d'urgence de la situation:

- a) *Les décisions instantanées* qui sont prises spontanément par des opérateurs (*sharp-end personal*), par exemple suivre ou dévier des procédures de travail; ignorer ou réagir aux écarts dans les conditions de travail normales. La prise de décision met l'accent sur l'évaluation de la situation et l'appariement des modèles, et «lorsque l'action est l'objectif central, l'interprétation, et non le choix, est le phénomène central» (Weick et al., 2005). Ces décisions sont généralement prises rapidement.
- b) *Les décisions d'urgences* qui sont les décisions prises en cas d'urgence pour éviter ou s'adapter à des situations dangereuses. La dynamique temporelle est

souvent si rapide que l'appariement de motifs peut ne pas prendre en compte le développement de la situation. Exemple : cas de jugement médical (Cosby, 2003), décisions dans les incidents critiques en positionnement dynamique, domaine maritime (Sorensen et *al.*, 2014) et les décisions dans le domaine d'aviation (Orasanu et *al.*, 1998).

Le risque considéré lorsque nous prenons des décisions de planification ne sera pas le même que le risque que nous considérons pour les décisions d'exécution (Yang et Haugen, 2015). Les différentes caractéristiques des décisions stratégiques et des décisions opérationnelles résultent en différentes expressions de risque qui sont nécessaires pour faire un choix rationnel. De plus, l'information des risques qui est requis par le personnel de « *sharp-end* » sous différents niveaux d'urgence pour prendre des décisions d'exécution varie également.

La figure I.2 présente une classification des décisions dans une perspective d'évaluation des risques édités par Yang et Haugen (2015).

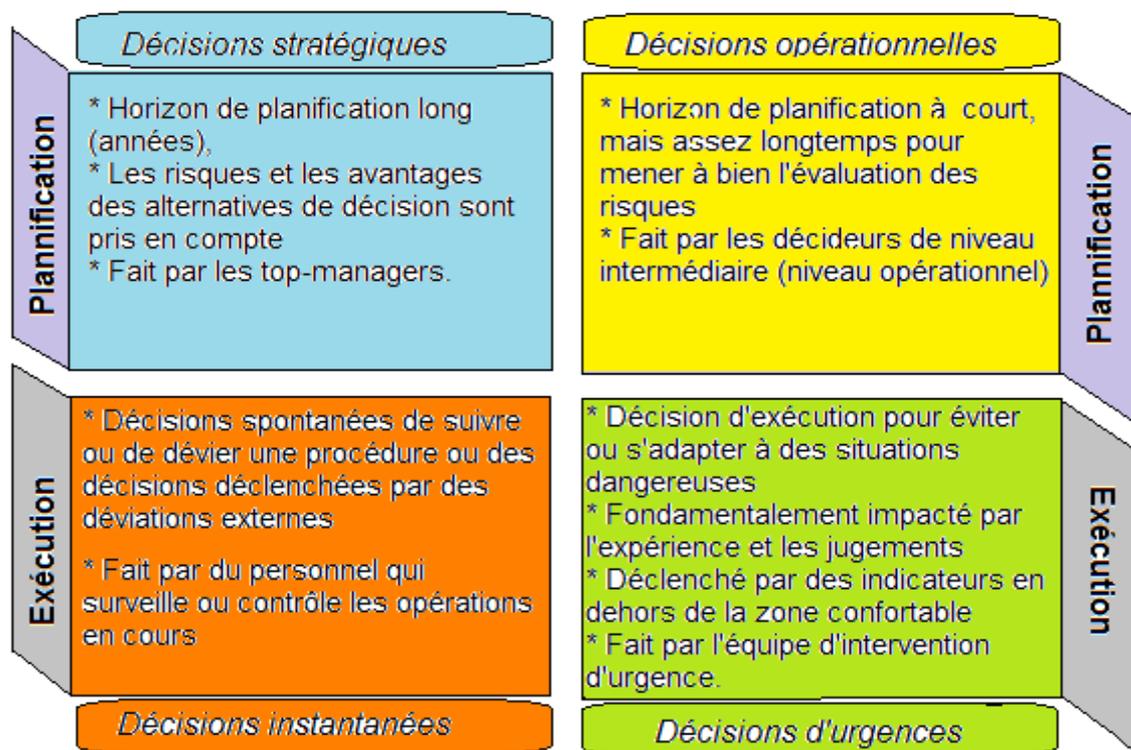


Figure I.2 : Types de décisions selon (Yang et Haugen, 2015).

I.4. Quels facteurs mènent aux erreurs de décision?

Il est généralement entendu que la quasi-totalité des accidents majeurs comprennent les facteurs humains parmi les causes profondes et que la prévention des accidents majeurs

dépend de la fiabilité humaine (IOGP, 2010). Le challenge est de créer une fiabilité humaine !! La figure I.3 suivante montre les causes racines déterminées lors de l'accident de Mocondo, «l'élément commun essentiel est un engagement indéfectible envers la sécurité au top management: le PDG et le conseil d'administration doivent créer la culture et établir les conditions dans lesquelles tous les membres d'une entreprise partagent la responsabilité de la prévention des accidents » (National Commission, 2011). L'identification des différents types de décisions dans la figure suivante a été proposée par nos soins.

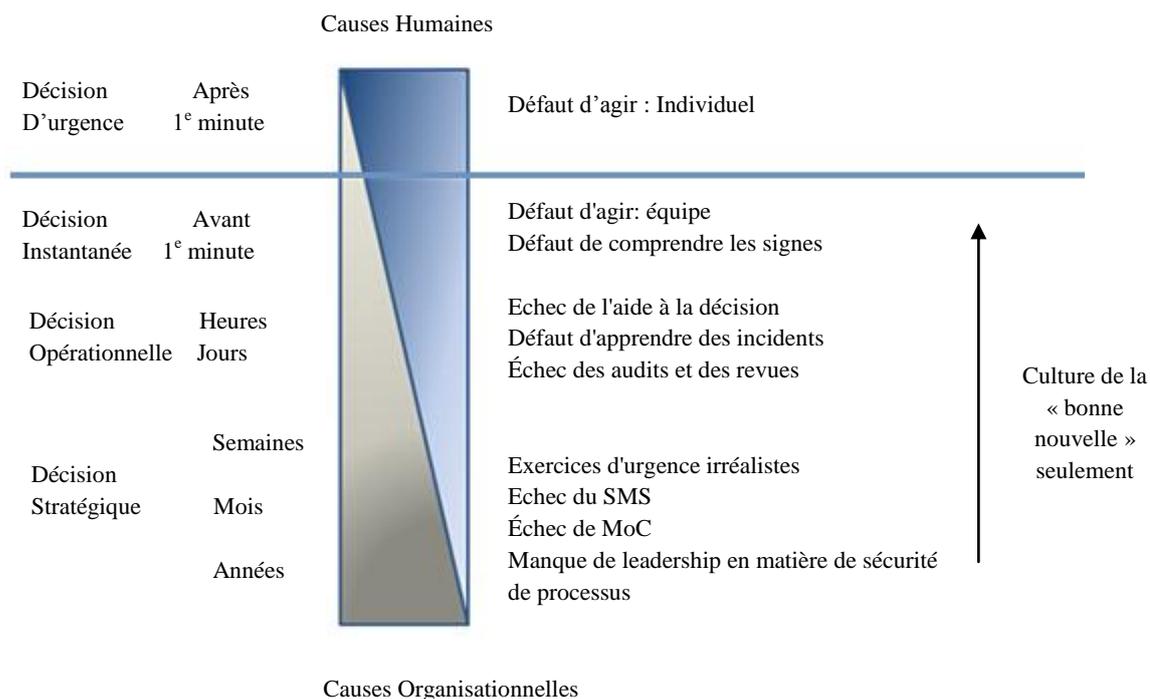


Figure I.3: Causes humaines, organisationnelles et types de décisions de l'accident de Macondo.

Les facteurs identifiés ci-dessous ont été tirés de la littérature des activités à hauts risques tout en combinant ceux déterminés dans le secteur d'aviations et du secteur d'hydrocarbures (Orasanu et Martin, 1998 ; Deacon et al., 2010; Anderson, 2017 ; Baillon et L'haridon, 2016). En effet, on résume quatre facteurs possibles qui contribuent aux erreurs de décision :

- ✚ Ambiguïté (incertitude) de données et d'informations, inclut deux critères :
 - ❖ Le temps disponible ;
 - ❖ La connaissance disponible.
- ✚ Risques sous-estimés ;
- ✚ Objectifs en conflits (sécurité par rapport à la productivité, achèvement de la mission ou facteurs sociaux);

✚ Conséquences non évaluées.

Ces facteurs sont détaillés ci-après.

I.4.1. Ambiguïté (incertitude) de données et d'informations : la décision en ambiguïté (incertitude de décision) est l'usage de considérer que lorsque les probabilités associées aux différents états de la nature sont inconnues, le décideur se trouve en situation d'incertitude, par opposition au risque où elles sont connues (Knight, 1921 cité par Baillon et L'Haridon, 2016).

Les données qui signalent un problème ne sont pas toujours évidentes. Les conditions peuvent se détériorer progressivement et l'évaluation de la situation du décideur peut ne pas suivre le même rythme. Si les événements se produisent rarement, le décideur peut ne pas avoir accumulé l'expérience pour reconnaître les signaux associés à de telle situation. Les deux facteurs inclus dans l'amorçage de l'ambiguïté sont :

- a. *Temps disponible (y compris le degré d'urgence)* (Orasanu, 1995): les décisions de planification impliquent qu'il y a un temps relativement court (de quelques jours à quelques semaines). Cela donne un certain temps pour établir une base systématique sur laquelle la décision sera prise. Les décisions qui doivent être prises immédiatement n'entrent pas dans le cadre d'une décision de planification opérationnelle. Le facteur temps (court ou long) est l'élément le plus critique dans l'évaluation de l'ambiguïté de l'information. Notons que, la maîtrise de l'information dans un temps bien précis demeure l'axe d'actualité de recherche.
- b. *Connaissances disponibles* : lorsque nous prenons des décisions de planification opérationnelle, nous pouvons avoir des informations assez détaillées sur les facteurs pertinents qui peuvent influencer le risque disponible. En théorie, nous pouvons avoir des informations telles que les conditions techniques des barrières de sécurité, qui sont effectuées : le travail, la compétence des travailleurs, les ressources disponibles, les conditions météorologiques, etc. Le niveau de détail de l'information qui peut être disponible est donc élevé.

En économie de la décision, l'ambiguïté a un tout autre sens. Ce terme, introduit par Ellsberg dans un article critiquant la théorie savagienne de la décision en incertitude (Ellsberg, 1961) est utilisé pour qualifier des situations de choix dans

lesquelles les probabilités des événements possibles sont imprécises et incertaines. Lorsqu'un décideur ne peut émettre que des jugements de probabilité imprécis, parce qu'il n'a qu'une connaissance imparfaite du phénomène en jeu et/ ou manque de données statistiques. Par exemple, on dit que la situation est « ambiguë ». En économie de la décision, l'ambiguïté est donc un synonyme de l'incertitude (Cabantous et Hilton, 2006). C'est d'ailleurs pour cette raison, et afin d'éviter des confusions liées aux différents sens du terme ambigu, que les auteurs proposent de remplacer le terme d'« ambiguïté » par celui d'incertitude imprécise (Cabantous et Hilton, 2006).

1.4.2. Risques sous-estimés : toute situation dans laquelle un décideur est confronté à un choix entre des actions alternatives constitue un problème de décision. La plupart des décisions du monde réel sont prises face au risque et à l'incertitude. C'est-à-dire que le résultat précis d'une action particulière n'est pas connu du décideur. Il est plus pratique de formuler et d'analyser tout problème de décision dans un cadre simple qui comprend: un ensemble d'actions $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ avec a : un ensemble d'états de nature $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)$, et une fonction de résultat u_{ij} qui définit pour chaque action a_j et chaque état s_i . Dans les problèmes de décision sous risque, une distribution de probabilité peut être attachée aux états de la nature S (Officer et Anderson, 1968).

Le risque est l'un des critères de décision, général, en combinaison avec d'autres paramètres. En effet, une nouvelle notion a été développée s'agissant de la notion de *risque moyen*⁵ (Yang et Haugen, 2015) ; cette notion est basée sur des données rétrospectives sans tenir en compte les attributs spécifiques du système. D'où ; c'est une expression des performances passées, mais cela est généralement combiné avec des hypothèses sur les activités futures, les changements de technologie, etc. Sur cette base, il est supposé applicable aussi comme une prévision du risque futur.

L'expression du risque doit tenir en compte les caractéristiques du site (telles que la localisation, les barrières de sécurité : systèmes de sécurité, protection, voies d'évacuation et l'exposition du personnel, etc), des informations spécifiques sur la manière de développement des scénarios, depuis les premiers échecs jusqu'à la fin de la séquence

⁵ Cinq catégories de *risk information* ont été proposés « risque moyen, risque moyen spécifique au site, risque liés à l'activité (risque de performance et risque de conséquence), risque lié à la période et risque lié aux mesures prises en fonction de temps) (Yang et Haugen, 2015).

d'événements, sont reflétées dans la modélisation pour estimer le *risque moyen spécifique au site*, sur la base de bases de données génériques non précise (Yang et Haugen, 2015).

I.4.3. Objectifs en conflits : Les facteurs organisationnels mettent l'accent sur la productivité, par ex. les arrivées et les départs ponctuels, ou économiser du carburant, ce qui peut entrer en conflit avec la sécurité (Orasanu et Martin, 1998).

Les facteurs sociaux sont également influents. Pour atteindre les objectifs organisationnels et sociaux semble souvent l'emporter sur les objectifs de sécurité, en particulier dans des conditions ambiguës.

I.4.4. Conséquences non évaluées : les risques et les contraintes de temps peuvent augmenter en fonction de la dégradation d'un système. Ces conditions peuvent limiter la capacité du décideur à projeter la situation dans l'avenir et simuler mentalement les conséquences potentielles. Le stress peut interférer avec la récupération de multiples hypothèses et contraintes de capacité de mémoire de travail, limitant ainsi l'évaluation des options (Orasanu et Martin, 1998). Sous la contrainte de stress, les décideurs se replient sur leurs réponses les plus connues, ce qui peut ne pas convenir à la situation actuelle (parce que les événements anormaux ont tendance à être assez rares, les réponses correctes peuvent ne pas être familières.) Le stress peut interférer avec l'évaluation et la reconnaissance de l'inadéquation des mauvaises réponses, par exemples, actions humaines en cas de rassemblement d'urgences (Deacon et al., 2010).

Les activités qui mettent l'accent sur les décisions de planification opérationnelle sont typiques d'une durée relativement courte, et il peut donc y avoir aussi tendance à se concentrer principalement sur les effets à court terme. Cependant, ces décisions peuvent avoir des effets à long terme (par exemple des années), à moyen terme (par exemple des mois à des semaines) et / ou à court terme (par exemple des jours).

L'étude de (Orasanu et Martin, 1998) a conclu que : « *la question de savoir, si les erreurs de processus peuvent être identifiées en l'absence d'un résultat négatif, reste donc sans réponse* ».

I.5. Gestion des alarmes et la prise de décision

Un système efficace de gestion de l'information relatifs aux accidents doit relever plusieurs défis : il doit prendre en charge des données hétérogènes, permettre aux décideurs de

détecter des anomalies et d'extraire des connaissances utiles et les aider à évaluer les risques et à choisir la solution appropriée au cours de l'accident, et aussi de fournir des services différenciés pour répondre aux exigences des différentes phases de gestion des accidents (Peng et al., 2011).

Une décision robuste devrait être prise en se basant sur des preuves techniques suffisantes offrant le dernier état de la connaissance (Zio et Pedroni, 2012). Ceci signifie que l'information s'attend à refléter la situation opérationnelle actuelle d'une manière valide et soit sans interruption de risque mis à jour tandis que les nouvelles preuves entrent.

En outre, les études des processus décisionnel ont systématiquement montré que le choix d'une stratégie décisionnelle dépend de facteurs liés à la tâche, tels que la complexité et les contraintes de temps (Kerstholt, 1994). Sur la base de telles études, Payne et al. (1993) ont conclu que la sélection de stratégies n'était pas seulement contingente, mais fondamentalement adaptative: *les individus choisissaient une stratégie qui aboutissait à des décisions relativement précises, mais nécessitant un minimum d'effort.*

Dans les environnements dynamiques, les décisions sont prises en temps réel (Brehmer, 1992). En conséquence, le décideur doit traiter explicitement de la dimension du temps. Un opérateur d'exploitation (tableautiste en raffinerie), par exemple, peut avoir une idée globale de l'état du système en surveillant les alarmes indicatrices du process, mais en cas de perturbation, un processus de diagnostic doit être initié. Ainsi, dans les tâches dynamiques, les décideurs décident non seulement quoi faire ? Ou comment le faire ?, mais aussi quand acquérir plus d'informations sur les valeurs réelles des paramètres de système ?, ou quand agir et ajuster le système sous contrôle ?

Les systèmes d'alarme sont considérés comme l'un des principaux types de barrières de sécurité, leurs missions sont réalisées soit comme mesure de sauvegarde indépendante ou d'un système de surveillance pour une autre barrière de sécurité. Cependant, ils sont largement utilisés avec une intervention humaine en tant que couche de prévention indépendante, ce qui est clairement démontré dans la norme de sécurité fonctionnelle IEC 61511 (2016).

Les déclenchements de systèmes d'alarmes peuvent être classés en deux groupes: les alarmes réelles (confirmées) et les alarmes intempestives (fausses). Du point de vue de la sécurité, l'activation des fausses alarmes représente un souci majeur pour l'organisation, les fausses alarmes contribuent inévitablement à affaiblir l'efficacité et la fiabilité du système

d'alarme. Soares et *al.*, (2016) ont démontré que les opérateurs d'exploitation peuvent négliger une alarme réelle lors du déclenchement de plusieurs et répétitives fausses alarmes. L'impact d'avoir plusieurs fausses alarmes est clairement identifiées dans l'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island en 1979 et de la catastrophe de la raffinerie de BP au Texas en 2005 (BP, 2007). De plus, l'impact économique de la mauvaise gestion des alarmes est indiscutable. Il est considéré dans (Stauffer et *al.*, 2010) comme l'une des principales causes de temps d'arrêt non planifié, contribuant à plus de 20 milliards de dollars de production perdue chaque année.

Plusieurs tentatives et essais expérimentales ont été réalisés pour évaluer et étudier les réactions des opérateurs et décideurs dans un environnement dynamique, on cite par exemple l'expérimentation de José H. Kerstholt (1995). L'auteur a étudié l'effet de *la probabilité a priori* de fausses alarmes et contraintes de temps sur le comportement décisionnel dans un environnement de tâches dynamique (étude cognitive). L'objectif de cette expérimentation est de déterminer si la sélection d'une stratégie de décision dans un environnement de tâches dynamique serait adaptative par la modélisation de la tâche de manière mathématique de comparer les stratégies de décision réelles aux stratégies optimales.

Plus spécifiquement, plusieurs chercheurs ont abordé le problème des fausses alarmes par différents aspects. Par exemple, l'approche statistique proposée par (Chen, 2010) pour réduire les fausses alarmes dans le contrôle du processus statistique multi-variée mettant l'accent sur ceux induits par des effets aléatoires en utilisant les distributions de Bernoulli et Binomiale. Une application à long terme d'un protocole de gestion des alarmes est décrite dans (Soares et *al.*, 2016) sur la base de la priorisation des données aux alarmes à trois grandes installations de traitement du gaz naturel, avec une étude des avantages possibles de l'utilisation de nombreuses techniques d'analyse de corrélation pour la réduction du nombre des alarmes. Une nouvelle mesure de résilience est proposée dans (Yoon et *al.*, 2017), qui tient compte des taux de fausses alarmes et la fiabilité est formulée dans un cadre probabiliste.

En outre, de nombreuses stratégies de gestion des alarmes sont également proposées dans :

- ❖ (Zhu et *al.*, 2014) : l'approche proposée est basée sur l'intégration de la méthode de diagnostic de panne des système immunitaire artificiel (AISFD) et de la

méthode de gestion d'alarme dynamique qu'est basée sur une estimation bayésienne (BEDAM) ;

- ❖ (Hu et Yi, 2016) : un cadre de gestion d'alarme intelligente à deux niveaux (IAMF) est proposé compte tenu de l'interdépendance de défaut dans le fonctionnement de l'installation, et,
- ❖ (Capacho et *al.*, 2017) : propose une nouvelle approche de gestion des alarmes basée sur un processus de diagnostic.

I.6. Description du cas d'étude

Il peut y avoir plusieurs raisons pour lesquelles les mauvaises décisions conduisent plus tard à des accidents. Cependant, il est improbable que ces mauvaises décisions soient prises «sur le tas», même si le recul peut montrer qu'il aurait fallu faire un choix différent. Les décisions qui ont été prises semblent être le meilleur choix en fonction de l'information disponible au moment de prendre la décision. L'hypothèse est donc que l'information sur le risque fournie aux décideurs était insuffisante et ou incomplète. Cela ne veut pas dire que des informations plus nombreuses et améliorées auraient donné des décisions différentes dans toutes les situations, car les informations peuvent également être incorrectes, elles peuvent être mal interprétées ou être ignorées (Yang et Haugen, 2016). En général, nous pouvons toutefois supposer qu'une meilleure information est plus susceptible de donner de meilleures décisions. Il est donc important de s'assurer que toutes les informations utiles sur les risques sont fiables et disponibles.

L'explosion de la raffinerie Texaco Milford Haven en 1994 qui a causé la blessure de vingt-six personnes et des dommages d'environ de 48£ millions et des pertes de production importantes. Les facteurs clés qui ont émergé de l'enquête menée par les responsables de la santé et de la sécurité étaient les suivants (HSE, 2018-a):

- ✓ Il y avait trop d'alarmes et elles étaient mal classées;
- ✓ L'affichage de la salle de contrôle n'a pas aidé les opérateurs à comprendre ce qui se passait ;
- ✓ La formation inadéquate du personnel pour faire face à des situations stressantes (situation de crises);

- ✓ Dans les 11 dernières minutes avant l'explosion deux opérateurs ont dû reconnaître, reconnaissent et acte sur 275 alarmes.

Sur la base de ces résultats, ce travail est appuyé sur un retour d'expériences des alarmes incendie enregistrées dans un complexe algérien de traitement de gaz naturel de la période du 2008 au 2017. Tous les cas enregistrés ont été classés en deux volets : Alarme réelle (confirmée) et Fausse Alarme (intempestive). Par la suite nous avons traité chaque situation séparément en précisant les paramètres suivants :

- ❖ Classification (réelle / fausse) ;
- ❖ La date d'enregistrement de l'alarme ;
- ❖ L'heure d'enregistrement (*reporting hours*) ;
- ❖ Description du cas ;
- ❖ Causes possibles : pour unifier les causes racines de chaque situation, nous avons utilisé le matrice complète des causes (*comprehensive list of causes*) (HSE, 2018-b) ;
- ❖ Perte de production potentielle : la perte de production potentielle est estimée manuellement ;
- ❖ Perte de temps potentielle ;
- ❖ Autres.

I.7. Critères de choix et de sélection

Notre choix est justifié par:

- ❖ L'opération de traitement de gaz est l'activité la plus dangereuse que l'opération de transport et de forage des installations *offshore* et *onshore* (Khan et al., 2017). Ces opérations créent des risques pour les personnes, l'environnement et la propriété. Pour maîtriser ces aléas, plusieurs études et techniques ont été développées en fonction de la disponibilité et de la qualité des informations et des données. Lorsque des risques sont jugés inacceptables, des solutions doivent être trouvées soit par des modifications de conception fondamentales, soit par des mesures de protection technique ou organisationnelles ou des systèmes de contrôle de sécurité utilisant des dispositifs d'alarme ou des commandes automatiques (Macdonald, 2004).
- ❖ Les systèmes d'alarmes sont prévus pour attirer l'attention des opérateurs à des conditions qui sont en dehors de la plage de fonctionnement normal (Macdonald, 2004). Le taux d'alarme cible définis par *the Engineering Equipment and Materials Users Association*

est : « le taux d'alarme moyen à long terme pendant le fonctionnement normal ne doit pas être plus d'un, toutes les dix minutes, et pas plus de dix affiché dans les dix premières minutes après l'arrêt général de l'installation » (EEMUA Guide, 1999).

❖ L'étude de Michael Carey (2000) sur 13 différents établissements industriels a constaté : une alarme chaque deux minute pendant le fonctionnement normal et environ 6% des alarmes permanentes étaient liées à des problèmes opérationnels. En outre, Tang et al., (2017) ont démontré sur une étude réalisée sur les compagnies de O&G Malaisienne que les défauts en équipements de sécurité et en défauts d'alarmes ont un facteur alpha de Cronbach⁶ égale à 0.934 en tant que facteurs affectant la sécurité des installations. Ces indicateurs ont été introduits pour déclarer que l'analyse des risques est souvent effectuée avant que les décisions ne soient entièrement définies, et l'un de ses objectifs est alors d'identifier et de caractériser les options d'atténuation des risques (Poté-Cornell, 2007), d'où, prendre une décision plus facile pour le manager et même les membres des comités exécutifs et le personnel de *sharp-end*.

I.8. Traitement statiques du cas d'étude

I.8.1. Données numériques de l'installation

Le nombre des alarmes incendie enregistré dans le complexe de la période de septembre 2008- février 2017 est illustré dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : Nombre d'alarmes enregistrées dans l'installation

Année Type	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Totale
Réelle	1	4	1	1	0	1	0	2	1	0	11
Fausse	4	28	16	16	12	3	11	7	4	3	104
Simulation	0	0	0	1	2	0	0	2	0	0	5
Totale	5	32	17	18	14	4	11	11	5	3	120

On observe un ratio de 0.105 (10%) de cas d'alarme d'incendie réelle par rapport au nombre d'alarme enregistrée et un ratio de 0.044 (4,4%) de cas de simulation et d'exercices par rapport au nombre total des alarmes enregistrées dans l'installation de la période d'étude.

⁶ Le facteur alpha de Cronbach permet de mesurer la cohérence interne (ou la fiabilité) des questions posées lors d'un test, c'est-à-dire évaluer le degré auquel l'ensemble des questions qu'il inclut mesurent bien la même chose. Le facteur alpha de Cronbach varie entre 0 et 1.

La figure I.4 suivante donne une représentation graphique des alarmes incendie enregistrées.

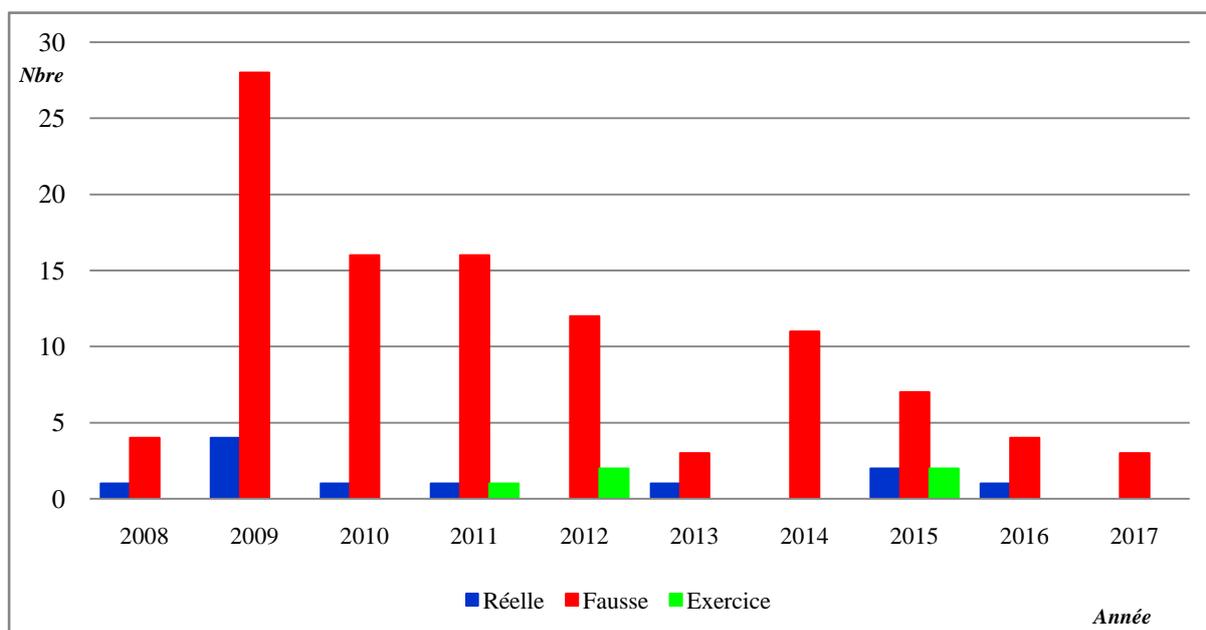


Figure I.4 : Représentation graphique des alarmes incendie.

I.8.2. Description des pertes en fonction des alarmes enregistrées

A cause de manque de données précises sur les pertes de production (PR) et les pertes de temps (PT) enregistrées lors des fausses alarmes, l'estimation des pertes potentielles a été réalisée en fonction de trois critères :

- ❖ L'arrêt potentiel de l'équipement régis par l'alarme ;
- ❖ L'heure d'arrêt et de redémarrage de l'équipement ;
- ❖ Considérer seulement les arrêts qui ont des effets et conséquences sur l'installation (en utilisant la matrice de cause-effet de l'entreprise).

Le barème suivant est utilisé pour quantifier les pertes de production et perte de temps.

Tableau I.2 : Grille des pertes de production et de temps potentielles

Description du cas	PR (million m ³)	PT (h)
Arrêt total de l'installation	22.6	22 (jusqu'au la stabilisation de l'installation)
Arrêt d'une machine maîtresse	6.2	7

Description du cas	PR (million m ³)	PT (h)
<i>Perturbation dans les paramètres du process</i>	N/A	7
<i>Alarme dans l'installation sans arrêt d'une machine (Alarme de rassemblement)</i>	N/A	2
<i>Alarme générale hors installation (Administratives building)</i>	N/A	2
<i>Cas imprécis (manque de donnée)</i>	N/A	N/A
Totale	125.8	253

La représentation graphique de pertes est donnée par la figure I.5.

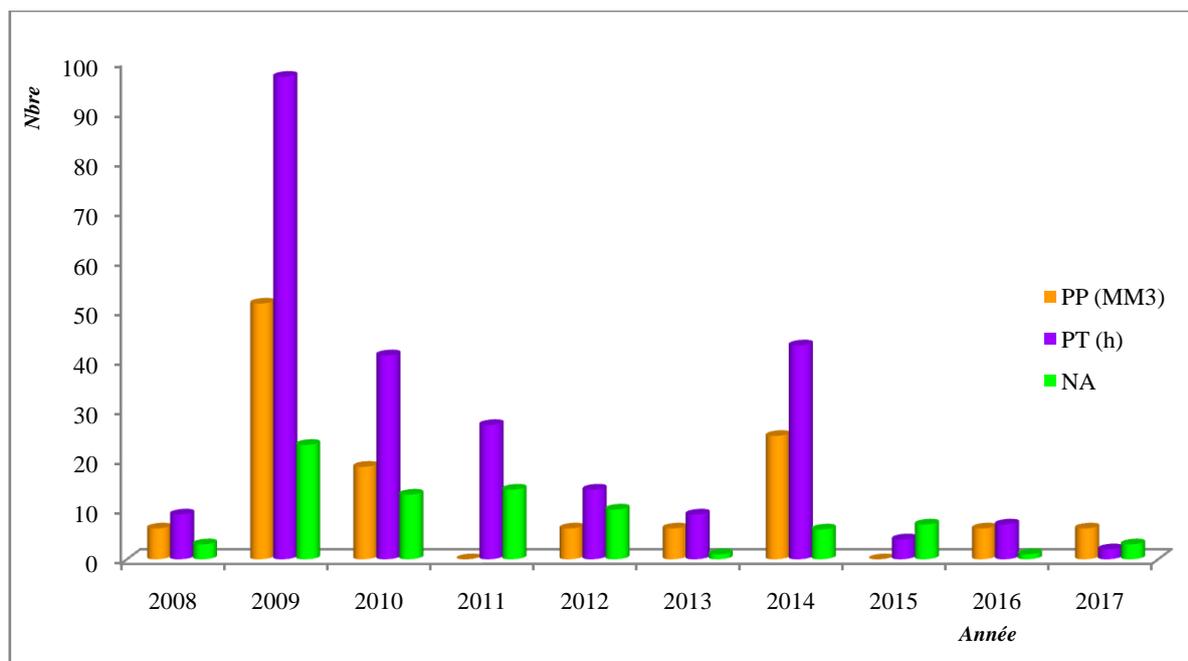


Figure I.5 : Représentation graphique des pertes potentielles.

Commentaires :

Comme conclusion, dans les 104 cas de fausses alarmes reportées dans l'installation, l'unité a perdu environ de 120 million m³ de gaz naturel et environ de 250 heures de travail. Ceci nous amène à proposer un/des modèles de gestion des alarmes.

I.8.3. Causes possibles

Dans cette partie, la matrice des causes a été utilisée (HSE, 2018-b), cette dernière est une liste de sélection prédéfinie des causes immédiates et racines. Elle est utilisée dans des enquêtes d'accidents critiques, presque accident et dans le cas de l'occurrence des événements de process indésirables. Les alarmes d'incendie générales ont été considérées comme événements indésirables qui nuiraient le bon fonctionnement de l'installation. En revanche, notre objectif consiste à réaliser un diagnostic des causes racines des alarmes survenues, ce processus permettrait de détecter les causes similaires répétées dans chaque cas qui seraient traitées et corrigées pour éviter le déclenchement des procédures d'urgences. Les causes identifiées sont énumérées ci-dessous:

a. Causes immédiates possibles, résumées par:

- ✓ Détecteurs de défaut (*Fault detectors*)
- ✓ Armoires de commandes en pannes (*Panel Issue*)
- ✓ Conditions météorologiques (*Weather conditions*)
- ✓ Erreurs humaines (*Human errors*)

b. Causes possibles de systèmes, résumées par:

- ✓ Erreurs d'équipe de travail (*work-team errors*)
- ✓ Equipements et installations en défaut (*equipments failures*)
- ✓ Arrêt de maintenance générale (*TAR*)
- ✓ Management / Supervisions / leadership
- ✓ Normes / pratiques / procédures

c. Autres : causes non identifiées (*unidentified causes*).

La participation de chaque cause dans la réalisation de l'événement indésirable (déclenchement d'alarmes) est fournie par le tableau suivant.

Tableau I.3 : Participation des causes à la réalisation de l'événement non souhaité

	<i>Causes</i>	<i>Nbre Reg.</i>	<i>%</i>
	Défaillance des détecteurs	42	33,33%
Causes possibles immédiates	Défaut d'armoire de commande	11	8,73%
	Erreurs humaines	15	11,90%
	Conditions météorologiques	5	3,97%

	<i>Causes</i>	<i>Nbre Reg.</i>	<i>%</i>
Causes possibles du système	Erreurs d'équipe de travail	8	6,35%
	Management/supervision/leadership	13	10,32%
	Alarme de Sureté (Sécurité)	1	0,79%
	Standards/Pratiques/Procédures	10	7,94%
	TAR	3	2,38%
	Défaillance d'équipement	3	2,38%
Autres	Causes non identifiées	15	11,90%
Total		126	100,00%

La représentation graphique de ces causes possibles sous forme d'un secteur est schématisée dans la figure suivante.

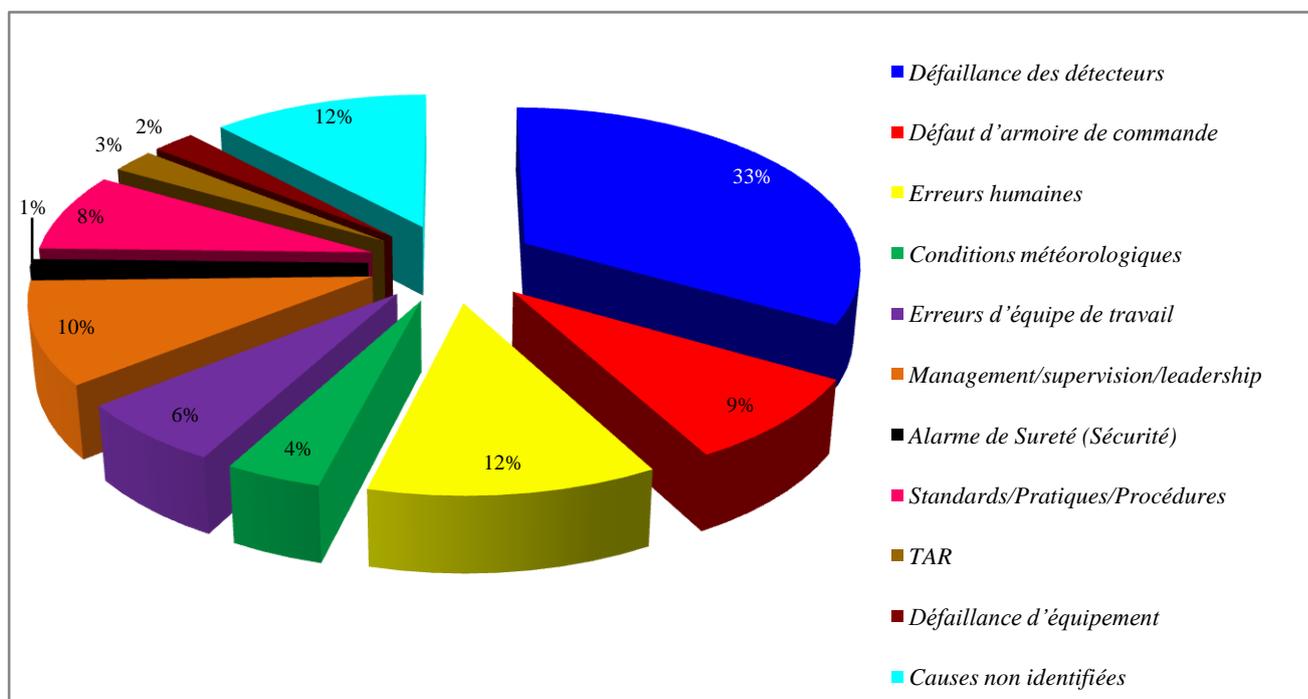


Figure I.6 : Représentation graphique des causes possibles.

Commentaires :

Il est clair que la défaillance des détecteurs et leurs accessoires participe en majorité à la réalisation de l'événement indésirable (déclenchement des alarmes) suivi par des causes liées aux procédures opératoires et aux gestions des équipes de travail. Cette diversité peut être justifiée par la complexité de l'installation étudiée, en outre, la difficulté de

prendre une décision efficace et rapide relative à la gestion des alarmes dans un temps restreint même par le biais de retour d'expérience.

Conclusion

Dans ce premier chapitre, les différentes acceptions des concepts clés de notre recherche ont été présentées, à savoir la prise de décision et la gestion des alarmes et une brève description du cas d'étude sur les états d'alarmes d'incendie d'un complexe algérien de traitement de gaz naturel.

Cette revue de littérature nous amène à conclure que la prise de décision dans une situation de crise ne peut être considérée comme logique ou processus normal de décision. En effet, dans une situation de crise industrielle (situation d'alarme générale d'incendie dans un complexe de traitement de gaz), les managers/personnel de *sharp-end* sont plus attentifs aux décisions de leurs homologues qu'à leurs propres expertises.

Plusieurs modèles d'aide à la décision naturaliste ont été développés. Ils seront abordés dans le chapitre suivant.

Références bibliographiques

AIEA (2011): *International fact finding expert mission of the Fukushima daiichi NPP accident following the greatest Japan earthquake and tsunami*, Rapport de la mission d'experts de l'AIEA (rapport disponible online:

http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf)

Anderson, M. (2017): *Human & organisational factors in oil and gas*, DMP Forum, Perth, Australia

Baillon, A. et L'Haridon, O. (2016) : La décision en ambiguïté : modèles et évaluations expérimentales. *L'Actualité économique, Revue d'analyse économique*, Vol. 92, No. 1-2, pp. 81-111

Bartošíková, R., Bilíková, J., Strohmandl, J., Šefčík, V., et Taraba, P. (2014): *Modelling of Decision-making in Crisis Management, Proceedings of the 24th International Business Information Management Association Conference - Crafting Global Competitive Economies: 2020 Vision Strategic Planning and Smart Implementation*. pp. 1479-1483

Bénédicte, N. (2008) : La prise de décision stratégique: l'investissement direct des PME manufacturières Québécoises en Chine. Thèse de doctorat, Département de management, faculté des sciences de l'administration, Université Laval, Québec.

Bliss, J.P. (2003): *Investigation of Alarm-Related Accidents and Incidents in Aviation*, *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 13, No. 3, pp. 249-268,

BP Process safety series (2007): *LNG Fire Protection & Emergency response*, institution of chemical engineers, Davis building, UK

Brehmer, B. (1992): *Dynamic decision making: Human control of complex systems'*, *Acta Psychologica*, Vol. 81, No. 3, pp. 211-241

Cabantous, L., et Hilton, D. (2006) : De l'aversion à l'ambiguïté aux attitudes face à l'ambiguïté, Les apports d'une perspective psychologique en économie, *Revue économique*, Vol. 57, pp. 259-280

Capacho, J.W.V., Subias, A., Travé-Massuyès, L. et Jimenez, F. (2017): *Alarm management via temporal pattern learning*. *Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 65, No. Issue C, pp. 506-516.

Carey, M.S. (2000): *Human factors in the design of safety-related systems*. *Computing & Control Engineering Journal*, Vol. 11, No. 1, pp. 28–32

Chen, T. (2010): *On reducing false alarms in multivariate statistical process control*. *Journal of Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 88, No.4, pp. 430–436

Cosby, K.S.(2003): *A framework for classifying factors that contributes to error in the emergency department*. *Annals of Emergency Medicine*, Vol. 42, No.6, pp. 815-823

CSB (2016): *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, investigation report executive summary, drilling rig explosion and fire at the Macondo well, report no. 2010-10-i-os 04/12/2016*

Deacon, T., Amyotte, P.R., et Khan, F.I. (2010): *Human error risk analysis in offshore emergencies. Journal of Safety Sciences*, Vol. 48, pp. 803–818

EEMUA Guide (1999): *Alarm systems, a guide to design, management and procurement No. 191 Engineering Equipment and Materials Users Association 1999. Disponible en format électronique: <https://www.eemua.org/Products/Publications/Digital/EEMUA-Publication-191.aspx>*

Ellsberg, D. (1961): *Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms, the Quarterly Journal of Economics*, Vol. 75, No. 4, pp. 643-669

Forgues, B. (1993) : *Processus de décision en situation de crise, thèse de doctorat, université de Paris IX- Dauphine.*

Goldstein, P. (2003) : *L'organisation hospitalière confrontée à une crise et la coordination avec les autres structures sanitaires et sociales. Conférence Gestion de la crise dans les établissements de santé face aux risques exceptionnels, Paris.*

Guarnelli, J. (2014) : *Le paradoxe de la décision en situation de crise sur-médiatisée. Gestion et management. Thèse de doctorat. Université Nice Sophia Antipolis. Français. <NNT : 2014NICE0029>. <tel-01127422>*

HSE (2018-a): *Health and safety executive: better alarm handling, download from: <http://www.hse.gov.uk/pubns/chis6.pdf>*

HSE (2018-b): *Health and safety executive: Appendix 3 - BP Initiatives and investigation BP incident investigation, <http://www.hse.gov.uk/comah/bpgrange/append/bpinvest.htm>*

Hu, J. et Yi, Y. (2016): *A two-level intelligent alarm management framework for process safety. Journal of Safety Science*, Vol. 82, pp. 432-444.

IEC 61511 (2016): *Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector. International Electrotechnical Commission*

IOGP (2010): *International Association of Oil and Gas Producers, Report 460. Rapport disponible online: <https://www.iogp.org/>*

ITER (2011): *Independent Technical Evaluation and Review Consultation: Fukushima Daiichi Nuclear Accident, first considerations, preliminary report.*

Khan, F.I. et Seyed, J.H. (2017): *Chapter 1: Introduction, Methods in Chemical Process Safety, ISSN 2468-6514, <http://dx.doi.org/10.1016/bs.mcps.2017.01.001>*

Kerstholt, J.H. (1994): *Decision Making in a Dynamic Situation: The Effect of False Alarms and Time Pressure, Journal of Behavioral Decision Making*, Vol. 8, No.3, pp.181-200

Kerstholt, J.H. (1995): *The effect of time pressure on decision-making behavior in a dynamic task environment, Acta Psychologica*, Vol. 86, No.1, pp. 89-104

Lagadec, P. (1991) : *La gestion des crises : outils de réflexion à l'usage des décideurs, Paris; Montréal: McGraw-Hill.*

Macodanld, D. (2004): *Practical Hazops, Trips and Alarms*, IDC Technologies, Cape Town, South Africa. *Series editor:* Steve Mackay

MIRMAP (2014): *MIRMAP project, no 228237/E30, funded by PETROMAKS2/The Norwegian Research Council*

NAIIC (2012): Rapport officiel de la commission d'enquête indépendante sur l'accident nucléaire de Fukushima (disponible online : <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/en/report/>)

National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling (2011): *Deep Water. The Gulf oil disaster and the future of offshore drilling, report to the president* (Rapport disponible online: <https://www.nrt.org/sites/2/files/GPO-OILCOMMISSION.pdf>)

Officer, R.R., et Anderson, J.R. (1968): *Risk, uncertainty and farm management decisions*, *Review of Marketing and Agricultural Economics*, Australian Agricultural and Resource Economics Society, Vol. 36, No.1, pp. 1-17.

Orasanu, E.J. (1995): *Training for aviation decision making: the naturalistic decision making perspective. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.*

Orasanu, E.J. et Martin, L. (1998): *Errors in aviation decision making: A factor in accidents and incidents. NASA-Ames Research Center*

Orasanu, E.J. et Mosier, K.L. (2019): *Flight Crew Decision-Making, Crew Resource Management (Third Edition)*

Paté-Cornell, E. (2007): *Probabilistic Risk Analysis Versus Decision Analysis: Similarities, Differences and Illustrations. Part of the Theory and Decision Library book series (TDLC, volume 41)*

Payne, J.W., Bettman, J.R. et Johnson, E.J. (1993): *The Adaptive Decision Maker*, Cambridge: Cambridge University Press

Pearson, C.M., Clair, J.A., (1998): *Reframing crisis management*, *Academy of Management Review*, Vol. 23, No. 1, pp. 59-76.

Peng, Y., Zhang, Y., Tang, Y., et Li, S. (2011): *An incident information management framework based on data integration, data mining, and multi-criteria decision making. Journal of Decision Support Systems*, Vol. 51, No. 2, pp. 316–327

PSA (2005): *Petroleum Safety Authority Norway Investigation of gas blowout on Snorre A, Well 34/7-P31A, 28, site web: <http://www.psa.no/articles-in-safety-status-and-signals-2012-2013/snorre-a-an-intense-drama-article9148-1095.html>, (date de consultation: 17.07.2018)*

Sarshar, S., Haugen, S., et Skjerve, A.B. (2015): *Factors in offshore planning that affect the risk for major accidents. Journal of loss prevention in the process industries*, Vol. 33, pp. 188–199

Sorensen, L.J., Øvergård, K.I. et Martinsen, T.J.S. (2014): *Understanding human decision making during critical incidents in dynamic positioning, Department of Maritime Technology and Innovation Maritime, Vestfold University College, 3103 Tønsberg, Norway, disponible sur: <https://www.sintef.no/globalassets/project/hfc/documents/sorensen-et-al-critical-incidents-dp.pdf>*

Soares, V.B., Pinto, J.C. et De Souza, M. B.(2016): *Alarm management practices in natural gas processing plants. Journal of Control Engineering Practice*, Vol. 55, pp. 185-196.

Stauffer, T., Sands, N.P. et Dunn, D.G. (2010): *Alarm Management and ISA-18 – A Journey, Not a Destination*. Texas A&M Instrumentation Symposium.

Tang, D.K.H., Leiliabadi, F., Olugu, E.U., et Md Dawal, S.Z.b. (2017): *Factors affecting safety of processes in the Malaysian oil and gas industry, Journal of Safety Sciences*, Vol. 92, pp. 44–52.

Weick, K.E., Sutcliffe, K.M., et Obstfeld, D. (2005): *Organizing and the process of sense making. Organization Science*, Vol. 16, No. 4 , pp. 409–421

Yang, X. et Haugen, S. (2015): *Classification of risk to support decision-making in hazardous processes, Journal of Safety Sciences*, Vol. 80, pp. 115–126

Yang X. et Haugen, S. (2016): *Risk information for operational decision-making in the offshore oil and gas industry, Journal of Safety Sciences*, Vol. 86, pp. 98–109

Yoon, J.T., Youn, B.D., Yoo, M. et Kim, Y. (2017): *A newly formulated resilience measure that considers false alarms. Journal of Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 167, pp. 417-427

Zhu, J., Shu, Y., Zhao, J. et Yang, F. (2014): *A dynamic alarm management strategy for chemical process transitions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 30, pp. 207-218.

Zio, E., et Pedroni, N., (2012): *Overview of Risk-informed Decision-making Processes, foundation for an Industrial Safety Culture, Toulouse, France. Disponible sur: <https://www.foncsi.org/en/publications/collections/industrial-safety-cahiers/risk-informed-decision-making-processes/CSI-RIDM.pdf>*

Sites internet :

<https://www.coozook.com/static/book-samples/79BC2FE214-sample.pdf>, consulté, 20.07.2018

<https://www.flightglobal.com/news/articles/video-transasia-atr-72-crashed-four-minutes-after-take-off-408675/>
dernier accès, 15.10. 2018

https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_2_07/article_03_2.html, dernier accès,
15.10. 2018

Chapitre II:

Théories et modèles de prises de décisions

Résumé:

Ce deuxième chapitre est consacré à une revue de la littérature des théories de la prise de décision et les principaux modèles de recherches qui s'intéressent à la prise de décision dans un contexte opérationnel. Notamment, les modèles de décision qui sont à l'origine du modèle de la première reconnaissance, la formulation et quantifications des processus de décisions et les fonctions cognitives mises en œuvre dans des situations de prise de décision réelles.

Introduction

La prise de décision peut être étudiée selon trois unités d'analyse distinctes : l'individu, le groupe, et l'organisation. D'une manière générale, étudier la prise de décision renvoie à la compréhension des choix qu'opèrent des individus confrontés à un problème (Lebraty, 2007). Une rapide revue de la littérature confirme que décision et choix sont synonymes. En outre, la prise de décision peut être dominée par acronymes à trois lettres désignant des différentes sous-disciplines développant cette notion, ces disciplines sont : CDM (*Classical Decision Making*: Bernoulli, 1738 ; Savage, 1934 ; Von Neumann et Morgenstern, 1944), BDT (*Behavioral Decision Theory*: Edwards, 1934), JDM (*Judgment and Decision Making*: Meehl, 1934), ODM (*Organizational Decision Making*: Simon, 1937), March et Simon, 1938 et Cyert et March, 1963) et plus récemment, NDM (*Naturalistic Decision Making*: Klein et al., 1993) (Lipshitz et al., 2001).

Les recherches naturalistes portent sur la manière avec laquelle des personnes expérimentées travaillent dans des environnements fortement dynamiques et incertains (Guarnelli, 2014). La nature des processus décisionnels naturalistes fonde l'approche dite de théorie de la « *décision en situation* » (Lebraty, Pastorelli-Nègre, 2004; Klein, 1999; Rasmussen 1986). En effet, l'analyse d'une décision doit intégrer le contexte dans lequel elle est conçue et mise en œuvre. Ce qui correspond à l'ensemble des éléments perçus par le décideur et exerçant une série de contraintes sur les décisions.

Dans ce chapitre, nous aborderons les théories de prises de décision et les principaux modèles de recherches qui s'intéressent à la prise de décision en contexte opérationnel. En effet, cette section s'articule autour de trois axes : le premier concerne les modèles de décision qui sont à l'origine du modèle de la première reconnaissance, le deuxième s'intéresse aux formulations quantitatives des processus de décisions, enfin, le troisième axe est consacré à l'étude des fonctions cognitives mises en œuvre dans des situations de prise de décision réelles.

II.1. Théories de prises de décision

Plusieurs théories et approches méthodiques ont donné la description de la notion de prise de décision, celles-ci sont liées au cheminement de la pensée sur la prise de décision. Parmi-ceux-ci, nous rappelons trois théories rappelées ci-après (Lipshitz et al., 2001) :

II.1.1 La théorie du choix rationnel : cette théorie suppose : des situations clairement identifiées et définies, des rôles et des responsabilités clairement définis, des alternatives clairement définies et un temps et des ressources illimités.

II.1.2 La théorie de la rationalité bornée : dans cette théorie, les situations sont clairement identifiées et définies, mais le rôle et les responsabilités peuvent être moins clairs (précise). Les décisions alternatives ne peuvent être que partiellement développées et le temps et les ressources peuvent être limités. En outre, Simon (1978) a suggéré qu'une analyse complète n'est souvent pas nécessaire pour l'adaptation, car les problèmes du monde réel ont tendance à être faiblement couplés et peuvent être traités de manière séquentielle par une rationalité limitée.

II.1.3 La théorie de la prise de décision naturaliste : basée sur des études empiriques approfondies des processus de décision «réels». Elle reconnaît que : les situations peuvent être difficiles à identifier et à définir, les rôles et les responsabilités peuvent être confus et que les alternatives de décision peuvent être peu développées et aussi fortement limitées par le temps et les ressources.

Selon Klein (2008), la prise de décision naturaliste est l'axe de la recherche décisionnelle le plus orienté vers les décisions au fur et à mesure qu'elles se déroulent dans des contextes réels. Elle représente un changement d'un domaine dans l'approche générale dépendante à la prise de décision, à une approche basée sur la connaissance s'adressant aux décideurs ayant une expérience substantielle. Le courant de la « décision en situation » ne prétend donc pas rendre compte de l'ensemble des processus décisionnels, mais se focalise sur une classe d'entre eux dont les caractéristiques ne peuvent qu'intéresser le manager (Klein, 2008):

- ✚ des objectifs spécifiques, partiellement définis par la hiérarchie et évolutifs ;
- ✚ une absence de certitude quant au champ des possibles (données incertaines et non précises) ;
- ✚ des logiques contradictoires et non hiérarchisées ;
- ✚ des déterminants du problème changeant continuellement ;
- ✚ un horizon temporel limité exigeant des réactions rapides ;
- ✚ des enjeux importants ;
- ✚ de nombreux acteurs ;
- ✚ des normes et des objectifs globaux contraignant l'ensemble de l'organisation;
- ✚ un décideur possédant un niveau d'expertise élevé pour la tâche qui lui est dévolue.

Aujourd'hui, les recherches naturalistes portent sur la manière avec laquelle des personnes expérimentées travaillent dans des environnements fortement dynamiques et incertains. Ces individus experts identifient et évaluent des situations, prennent des décisions dont les conséquences sont lourdes pour eux comme pour leur organisation (Zsombok et Klein, 2014).

II.2. Contextes des décisions

De multiples décisions sont prises quotidiennement par les différents acteurs de l'organisation (dirigeants, cadres, employés, ouvriers...). Les décisions doivent servir les objectifs et les stratégies qu'ils ont eux-mêmes définis. Chaque décision est prise en tenant compte de plusieurs facteurs (caractéristiques de l'organisation, technologie utilisée, évolution du marché, contraintes légales, dynamique des relations sociales...).

Il est possible de classer les multiples décisions en étudiant : leur horizon temporel (court terme, long terme), leur caractère répétitif ou non, le niveau hiérarchique du décideur,... etc. L'analyse des décisions et des processus décisionnels permet d'identifier les logiques entrepreneuriales et managériales mises en œuvre dans chaque entreprise.

Igor Ansoff dans (Filali, 2014) a proposé une classification des décisions en fonction de leur objet. Certaines décisions répétitives peuvent être traitées par des processus standards, quasi automatiques (exp. déclenchement d'une commande); mais les décisions les plus importantes sont soumises à de nombreux paramètres et reposent principalement sur l'intuition ou l'expérience des décideurs (exp. décision en situation de crise).

Les modèles de décisions sont présentés brièvement ci-après :

II.2.1. Les modèles de comportement du décideur isolé

On distingue deux modèles qui sont :

a. Modèle classique : (exp. modèle de Harvard, Taylor, Ford.) où le décideur évalue rationnellement toutes les alternatives avant d'effectuer son choix. Ce dernier est exempt de contraintes et correspond à une stricte logique de maximisation du profit.

b. Modèle des relations humaines (exp. Herbert Simon) où la rationalité du décideur est nécessairement limitée car la décision s'intègre dans un environnement

complexe qui restreint la perception des choix et impose de nombreuses contraintes au décideur.

La cohérence des décisions est également limitée par d'autres facteurs comme l'émotivité du décideur, la personnalité même du décideur, son profil psychologique...

II.2.2. Les modèles de comportement décisionnel de l'organisation

Les décisions ne reposent pas sur une seule personne. Il est alors intéressant d'étudier les mécanismes décisionnels au sein de l'organisation, qui s'avèrent souvent complexes et peu rationnels.

Trois modèles de comportement décisionnel de l'organisation sont d'actualité: la multiplicité des objectifs (Cyert et March), la réduction d'incertitude (Théorie comportementale de la firme) et la théorie de la poubelle (March, Cohen et Olson).

Éric Marsden (2016) a étudié la situation d'incertitude dans les modèles de décisions. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante:

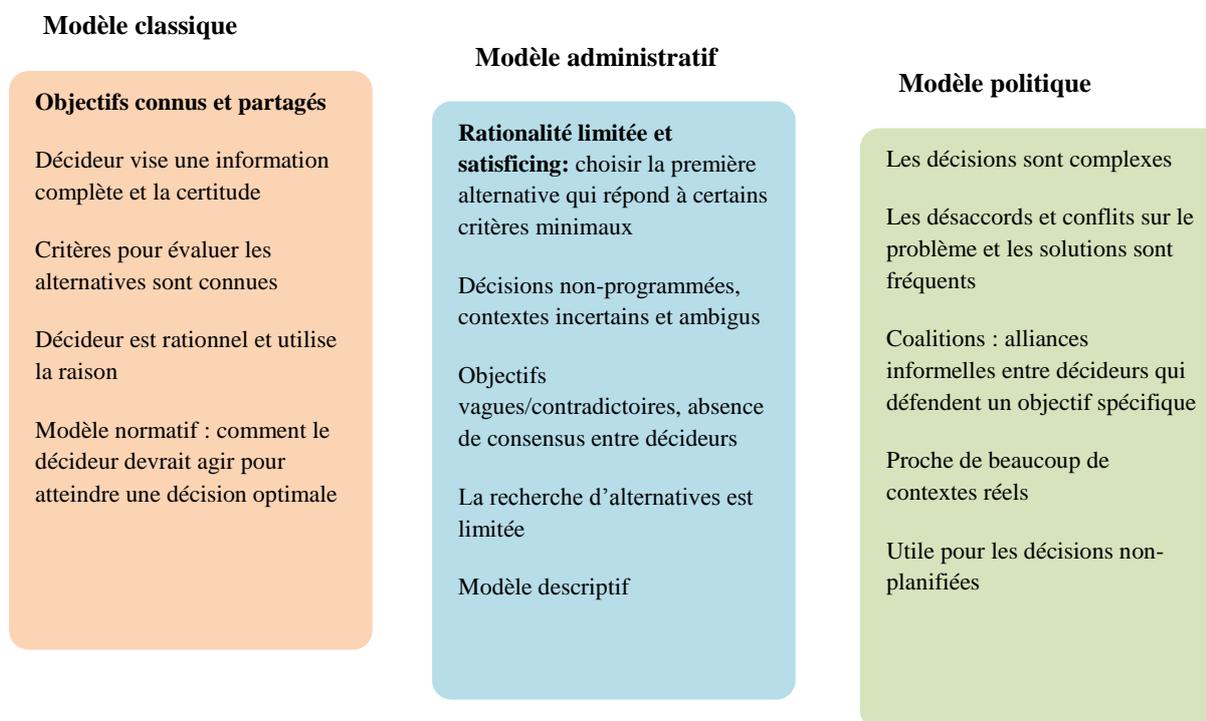


Figure II.1 : Prise en compte d'incertitude dans les modèles de décisions (Marsden, 2016).

Commentaires :

D'après Eric Marsden (2016), ces trois modèles, dédiés de la théorie classique de la décision de H. Simon (1978), ont une même direction ; c.-à-d. la prise d'une décision implique de ne pas posséder à la totalité après avoir coupé (sentiment de perte !!).

II.3. Modèles de prise de décisions naturalistes

II.3.1. Le modèle de la prise de décision distribuée

Ce modèle de prise de décision a été largement étudié dans le domaine de la gestion de crise. Flin et *al.*, (1996) ont procédé à l'évaluation de ce modèle dans le cas d'accident catastrophique sur une plateforme pétrolière et ils ont aboutit au constat suivant : « *en cas d'accident grave en mer, l'équipe d'intervention d'urgence à terre s'est réunie au bureau de la base, dont certains disposent de centres de contrôle d'urgence. Cela peut créer une situation de prise de décision répartie impliquant des gestionnaires et des spécialistes à terre* ».

On peut donc conclure que la prise de décision distribuée diffère de la prise de décision en groupe dans laquelle le problème est d'obtenir un consensus entre les membres du groupe qui sont tous capables de comprendre intégralement la situation à gérer. Dans le cas de décisions distribuées, chaque décideur possède une partie du problème (Lebraty, Puidupin, 2007).

Quatre éléments devront être pris en compte pour caractériser une décision distribuée (Decker, 1987) :

- ✚ La granularité, c'est-à-dire le niveau de détail des différentes sous-parties de la décision ;
- ✚ La manière avec laquelle les connaissances, en termes d'expertise, sont réparties entre les décideurs ;
- ✚ La structure du contrôle permettant de gérer la distribution de la décision ;
- ✚ Les processus de communication entre les décideurs.

La figure II.2 fournit une classification de décision distribuée individuelle et en groupe.

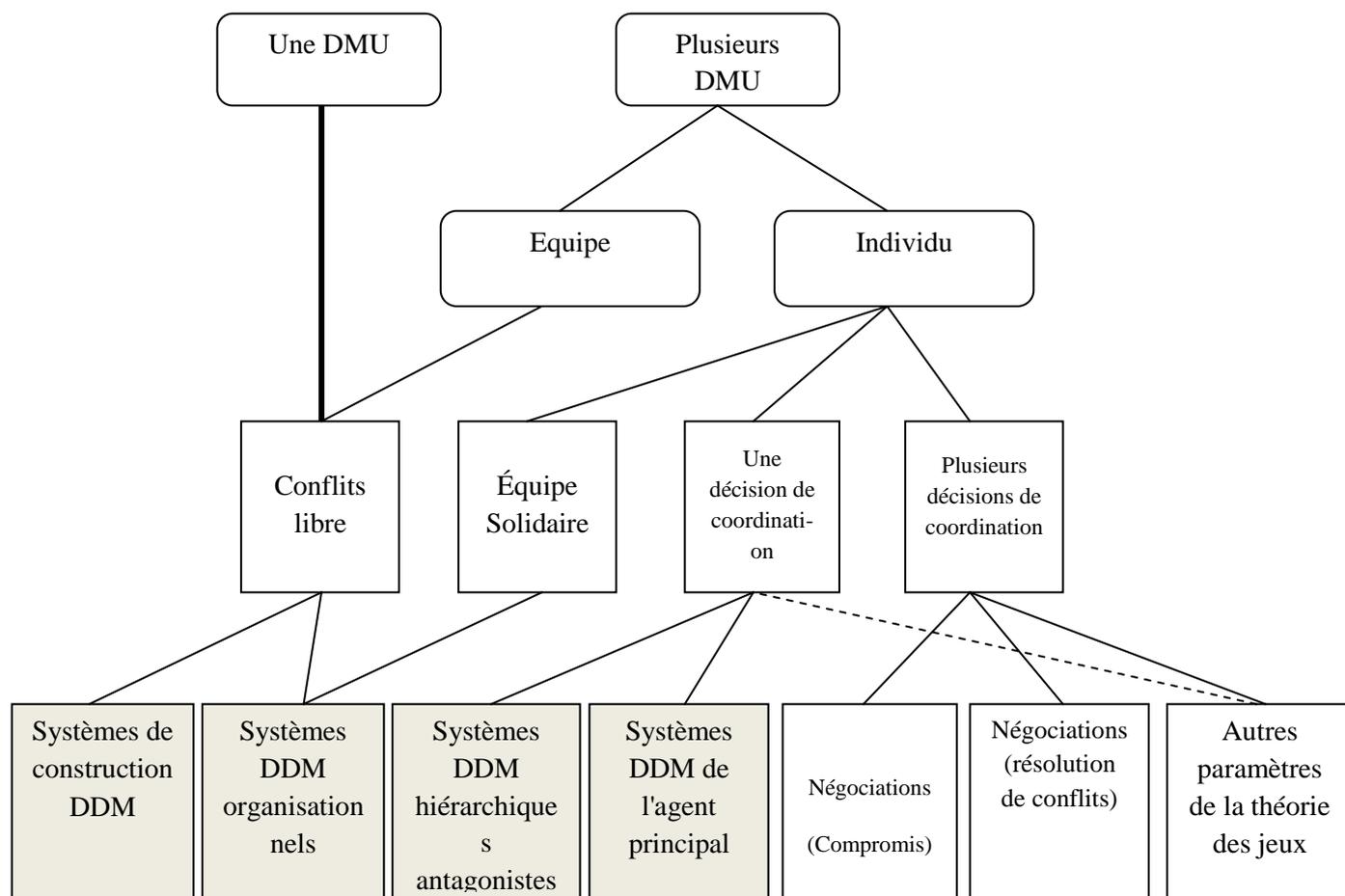


Figure II.2 : Classification de décision distribuée (Schneeweiss, 2003)

Selon Guarnelli et Lebraty (2014), les tenants de l'approche naturaliste considèrent que les modèles de prise de décision distribuée ont contribué à enrichir les caractéristiques du modèle de la première reconnaissance dans le cas d'une simple correspondance. Leurs caractéristiques étaient plus détaillées sur certains aspects que le modèle de la première reconnaissance, mais plus limitées sur d'autres.

Deux mises en correspondance sont possibles. Cela concerne les cas dans lesquels les informations en situation et les problèmes de références sont stockés en mémoire (Guarnelli et Lebraty, 2014) :

- a. « *Forte activation* » : si toutes les propriétés du problème de référence correspondent à celles du problème actuellement rencontré, le problème de référence devient « *fortement activé* ». Cela correspond au cas de la simple correspondance du modèle de la première reconnaissance. La solution au problème est alors activée ;

- b. « *Activation plus faible* » : Elle se produit lorsque les propriétés du nouveau problème ne parviennent pas à satisfaire les critères spécifiés dans le problème de référence. Dans cette hypothèse, le décideur doit comprendre que la solution au problème de référence ne peut être appliquée et qu'il doit donc la modifier pour que cela fonctionne.

II.3.2. Prise de décision collective (*Team-based decision making*)

Ce modèle est moins développé que les autres modèles de prise de décision 'individuelle'. Certaines tâches et applications nécessitent une prise de décision par groupe plutôt que par un seul individu (décideur), ou que les membres de l'équipe travaillent en étroite coordination et interdépendance. Les exemples de prise de décision collective incluent les salles de contrôles, les équipes sportives, les pompiers et la protection civiles, les équipes chirurgicales, ...etc.

L'un des objectifs de la prise de décision collective est la coordination implicite: l'état dans lequel les membres de l'équipe peuvent se coordonner sans communication, comme s'ils pouvaient lire les uns et les autres (Azuma et *al.*, 2005).

Les facteurs permettant d'établir une coordination implicite est d'avoir une compréhension profonde et partagée entre les membres de l'équipe, sous la forme de modèles mentaux partagés. Les chercheurs ont émis l'hypothèse que l'une des stratégies pour permettre aux modèles mentaux partagés est de faire de la formation croisée, de sorte que tous les membres de l'équipe connaissent mieux les tâches, responsabilités et devoirs des uns et des autres (Bowers et *al.*, 1998). Ceci permet à des membres de groupe d'améliorer les objectifs et former les prévisions ainsi les actions d'autres membres. Le groupe ne peut attirer l'attention que sur un aspect à la fois (une décision à la fois).

II.3.3. Le modèle de l'image

La modèle d'image, développée en 1987 par Lee Roy Beach (1987), fournit une description des décideurs en tant que personnes capables d'agir à la lumière de leurs principes (self-image) et capables de considérer l'acceptabilité des objectifs, des plans et des tactiques en termes de compatibilité et en termes de rentabilité potentielle de leurs conséquences éventuelles (décisions d'adoption). Ces décideurs ont également la capacité d'imaginer à la fois un futur aspiré (image de trajectoire) et un futur anticipé (image projetée). La comparaison des deux permet d'évaluer les progrès vers la réalisation des objectifs

(décisions d'avancement) et la conservation ou le remplacement des plans qui sont mis en œuvre pour atteindre ces objectifs.

Le modèle de l'image est distingué de modèles conventionnelles de décisions par cinq types d'images:

- ✚ L'image de la valeur, il s'agit de l'aspect moral et éthique d'une décision et des conséquences de la décision ;
- ✚ Les objectifs plutôt que les plans d'action alternatifs (plans) sont les objectifs principaux de la prise de décision. Les plans sont souvent prescrits par des objectifs ;
- ✚ La compatibilité et la rentabilité ;
- ✚ L'image de la trajectoire : c'est la poursuite des plans en cours et à accomplir ;
- ✚ L'image de la stratégie de développement.

La représentation du modèle de la théorie de l'image (figure II.3) permet de mettre en évidence le fait qu'un décideur peut représenter des informations sous forme d'images pour faciliter sa prise de décision. En effet, dans le cadre de l'adoption d'une décision, un individu doit être capable d'examiner plusieurs options afin de sélectionner l'alternative compatible avec sa représentation de la situation.

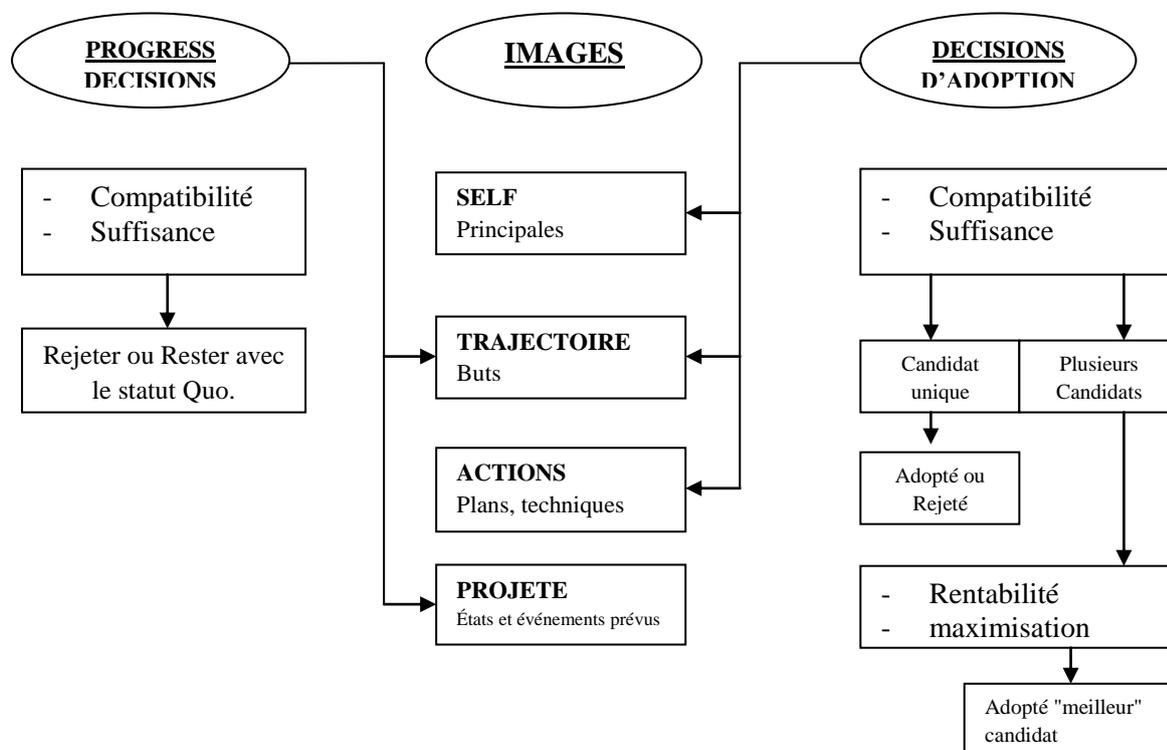


Figure II.3 : Modèle de l'image (Beach et Terence, 1987).

Cependant, les auteurs de l'approche naturaliste considèrent qu'un décideur n'adopte pas un comportement de type « *optimisateur* ». Bien au contraire, il adopte un comportement en lien avec le cours de l'action (Guarnelli et Lebraty, 2014).

II.3.4. Le modèle de récit (*Story Model*)

Le modèle de récit (où *Story Model*, en anglais) est développé dans le cadre de la procédure judiciaire nord-américaine par (Pennington & Hastie, 1993 ; Dumas, 2007) sur la base d'une recherche qualitative des procès criminels. Ce modèle suppose qu'une logique de construction narrative des preuves détermine les jugements des jurés. Ce modèle a été validé selon des méthodologies expérimentales reflétant le contexte procédural accusatoire (Pennington & Hastie, 1992). La figure II.4 représente les travaux de Pennington et Hastie au travers de leur modèle du récit.

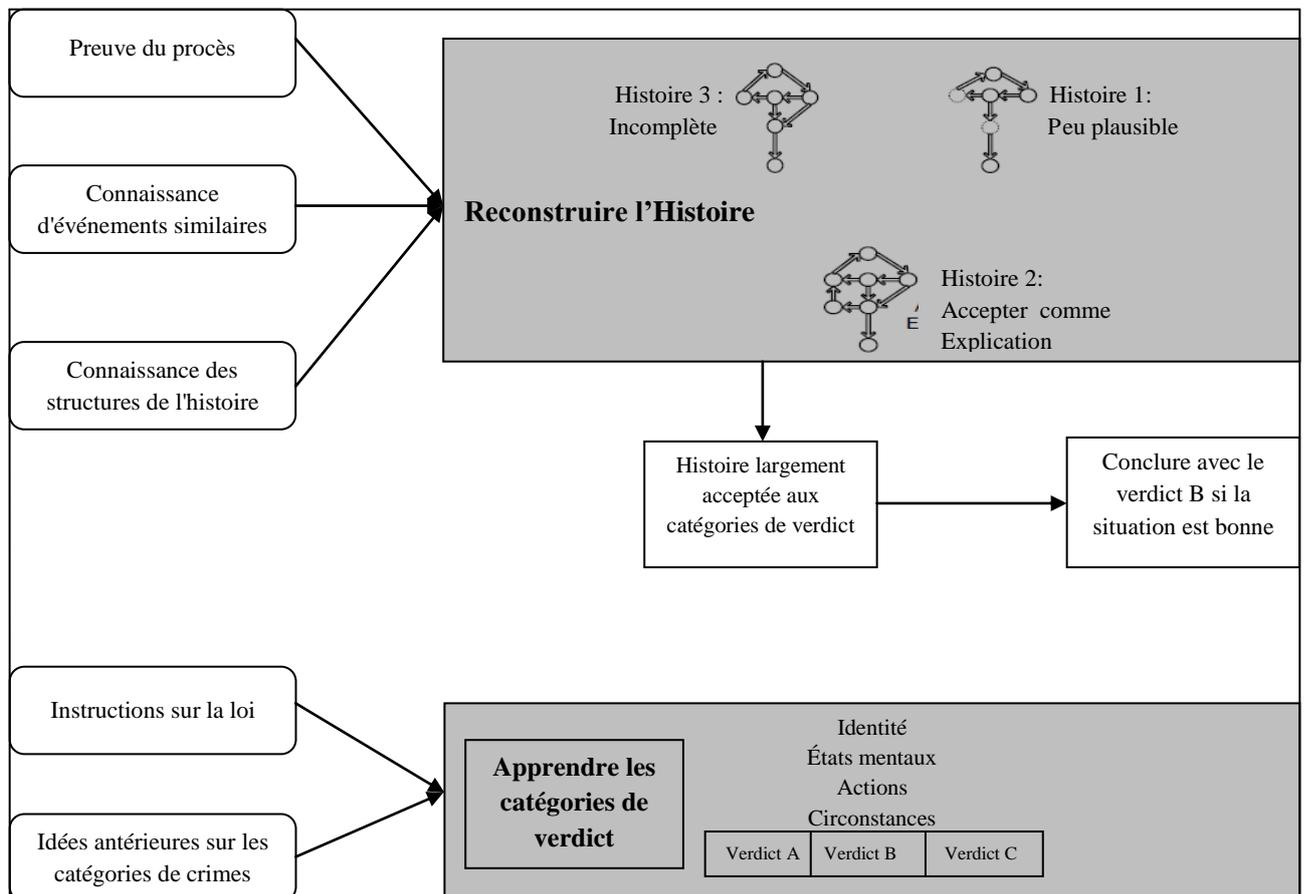


Figure II.4: Story Model (Pennington & Hastie, 1993)

Le principe de ce modèle est basé sur trois processus :

- a. Présentation des preuves : dans cette phase, le juré engage un processus actif de compréhension par lequel il organise les informations dans une représentation mentale cohérente dans une forme narrative. Cette activité de simulation mentale

résulte en une ou plusieurs interprétations des preuves qui prennent la forme d'un récit narratif (Guarnelli et Lebraty, 2014).

- b. Compréhension et l'apprentissage des verdicts alternatifs disponibles aux jurés : la plupart de ces informations sont fournies dans les instructions données par le juge, après la présentation des preuves (Pennington and Hastie 1993). Ces instructions précisent comment et sur quoi juger : les différentes catégories de verdict disponibles aux jurés sont présentées ainsi que les règles de jugement, notamment les principes de présomption d'innocence.
- c. Prise de décision : les jurés engagent un processus de classification de l'histoire sélectionné dans l'une des alternatives de verdict disponible en recherchant le meilleur ajustement entre les deux.

II.3.5. Le modèle de mise à jour des croyances (*belief updating model*)

Ce modèle s'intéresse à la façon dont les individus peuvent modifier leur jugement ou leurs croyances en fonction de la survenance de nouvelles informations. Il considère que les individus appréhendent les tâches de mise à jour des croyances par un processus séquentiel d'ancrage et d'ajustement qui dépend de six caractéristiques de la tâche: (1) si la tâche est une tâche d'évaluation ou d'estimation, (2) si la tâche est simple ou complexe, (3) la quantité d'informations présentée, (4) si les informations sont cohérentes ou mixtes (contradictoires), (5) l'ordre dans lequel l'information est présentée et (6) si le mode de réponse exige que les croyances soient obtenues après la présentation de chaque information (SBS) ou de toutes les informations (EOS) (Figure II.5). Au cœur du mécanisme de décision, l'attitude courante est ajustée par l'impact d'informations successives (Einhorn et Hogarth 1981).

Les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Processus SBS (*Step-by-Step*) : l'ordre dans lequel les informations sont présentées aux décideurs peut influencer le jugement final. Si les croyances sont mises à jour, l'information dans ce modèle est apparait, et influence les estimations de probabilité moyenne finale en entraînant un effet d'ordre.
- ✓ Processus EOS (*End-of-Sequence*) : les effets rencontrés peuvent être éliminés si un décideur attend d'avoir reçu toutes les informations avant de rendre son jugement. L'ordre dans lequel apparaissent les informations n'influence pas les estimations

réalisées par les individus. Cela suggère que les individus prennent de la hauteur dans la formation de leurs estimations.

		<u>Mode de réponse</u>	
		<u>SbS</u>	<u>EoS</u>
<u>Processus</u>	<u>SbS</u>		Preuves Complexes
	<u>EoS</u>	Impossible	Preuves Simples

Figure II.5 : Le modèle de mise à jour des croyances

II.3.6. Le modèle S.H.O.R

Joseph G. Wohl et son équipe ont construit un modèle non linéaire de prise de décision destiné aux sous-marinières. Ce modèle semble inspiré des mécanismes comportementaux et expérimentaux et permet la description d'un processus de collectes d'informations et de prises de décision (Wohl et *al.*, 1983). Le modèle s'appelle SHOR (**S**timulus, **H**ypothesis, **O**ption et **R**esponse). Les investigations ont été menées dans un programme de recherche de l'US Navy conduite par le département des psychologies cognitives. Il est inscrit dans une méthodologie analytique de résolution des problèmes de décision, dans sa phase d'évaluation d'un ensemble d'hypothèses. La figure II.6 montre que le décideur n'est pas contraint d'opérer dans un cycle particulier itérant entre les étapes dans un ordre fixe.

Plusieurs modèles S.H.O.R ont été développés, chacun concerne un aspect différent du processus de décision. Cependant, les chercheurs naturalistes s'intéressent au modèle S.H.O.R dans le cadre du processus de décision décomposé en plusieurs tâches (tableau II.1).

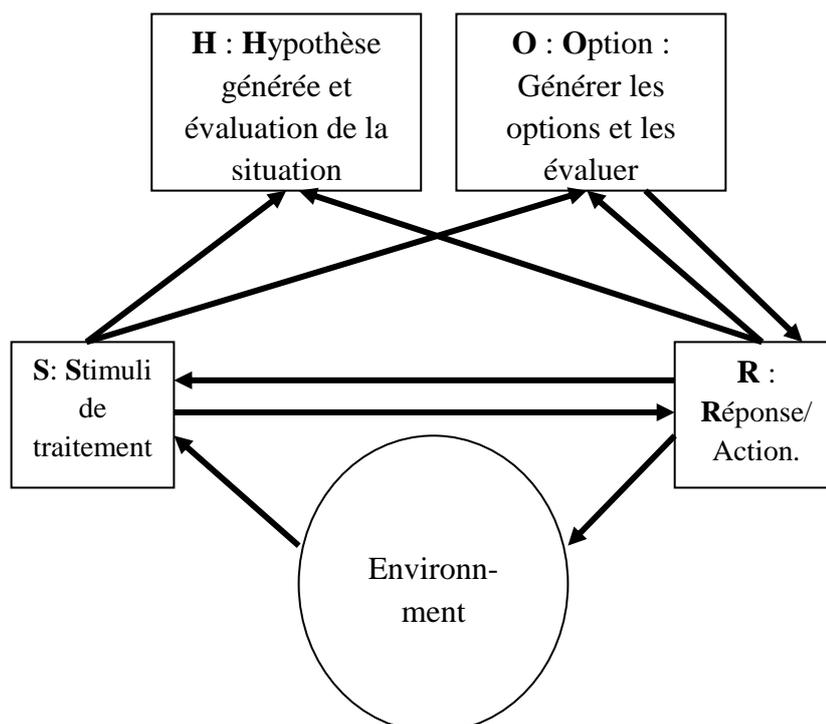


Figure II.6 : Modèle S.H.O.R (Azuma, 2005)

Tableau II.1 : Les variables du Modèle S.H.O.R. (Wohl et al., 1983)

	S : Stimulus	H : Hypothèse	O : Option	R : Réponse
TACHE	Données de processus	Cartographier les données en informations	Évaluer les actions admissibles	Exécuter des actions
INPUT	Données environnementales	<i>Sensory data</i>	Hypothèses sur l'état de la nature	Décisions qui affectent les états
OUTPUT	<i>Sensory Data</i>	Hypothèse sur l'état de la nature	Décisions qui affectent les états	Réponses

Guarnelli et Lebraty (2014) ont précisé deux points clés du modèle S.H.O.R:

- a. Le modèle se focalise sur l'évaluation de la situation dans la formulation d'hypothèses (décrire comment des individus experts prennent couramment des décisions dans un cadre opérationnel) ;
- b. Les options doivent être évaluées par le biais d'un processus analytique. Cette dernière fournit une estimation sur le coût des gains attendus. La phase de sélection examine les possibilités de mise en œuvre dans l'ordre des gains attendus.

Les travaux de Wohl et *al.*, (1983) s'inscrivent dans une logique optimisatrice de la prise de décision. Il considère dans ce sens que les décideurs doivent générer un ensemble d'hypothèses spécifiques pour mettre en place une solution appropriée à la situation. Ce modèle ne rompt donc pas avec la tradition de calcul optimisateur de la décision.

II.3.7. Le modèle R/M (reconnaissance / métacognition)

Cohen, Freeman et Wolf ont décrit un cadre de prise de décision, appelé modèle de reconnaissance et métacognition (R/M) en 1996 (Cohen et *al.*, 1996). Ce modèle explique comment les décideurs gèrent l'incertitude et la nouveauté tout en exploitant leur expérience dans des domaines réels. Le modèle décrit un ensemble de stratégies de pensée critique qui complètent les processus de reconnaissance en vérifiant les résultats de la reconnaissance et en corrigeant les problèmes.

Le R/M est un combinaison du style de prise de décision amorcé sur la reconnaissance (pour les situations routinières) avec un processus pour améliorer les résultats des situations nouvelles en recherchant les failles et les faiblesses et en évaluant les résultats (métacognition). Ces critiques recherchent des problèmes d'incomplétude, de conflit ou de manque de fiabilité. Le caractère incomplet signifie que l'argument ne soutient ni ne rejette une conclusion d'intérêt. Deux arguments sont en conflit s'ils fournissent simultanément des preuves à la fois pour et contre une conclusion d'intérêt. Un argument n'est pas fiable si le support qu'il fournit dépend d'hypothèses non examinées (Cohen et *al.*, 1996). La méta-reconnaissance a été décrite comme «l'observation de son comportement intuitif basé sur la pratique en vue de contester et peut-être d'améliorer l'intuition sans la remplacer» (Azuma et *al.*, 2005).

Le modèle R/M (figure II.8) est une stratégie dynamique et itérative de résolution de problèmes. L'étape antérieure est déterminée par les résultats des étapes postérieures, plutôt que par une "optimisation globale" représentée par la méthode rationnelle. Il génère progressivement de nouvelles hypothèses, tests et objectifs. Il concilie la reconnaissance de formes avec des stratégies de résolution de problèmes, combinant à la fois l'expérience acquise pour gérer les décisions courantes et une approche permettant de gérer l'incertitude et la nouveauté. En tant que tel, il semble être l'un des modèles les plus avancés de prise de décision en temps critique.

Le modèle R/M est pratiquement similaire au model de première reconnaissance de l'approche naturaliste, son convergence est peut être expliqué par les décideurs compétents, qui sont capables de reconnaître un grand nombre de situations comme familières et de récupérer une réponse appropriée. Des recherches récentes sur la prise de décision tactique suggèrent que des décideurs compétents sont également compétents en matière de méta-reconnaissance (Guarnelli et Lebraty, 2014 ; Guarnelli, 2014). Dans des situations nouvelles dans lesquelles aucun modèle familier ne s'inscrit, des décideurs compétents complètent la reconnaissance par des processus qui vérifient les résultats de la reconnaissance et corrigent les problèmes. Le cadre de reconnaissance de la reconnaissance suggère une variété de compétences de méta-reconnaissance qui peuvent se développer avec l'expérience ou servir d'objectifs de formation et de lignes directrices pour la conception d'aides à la décision.

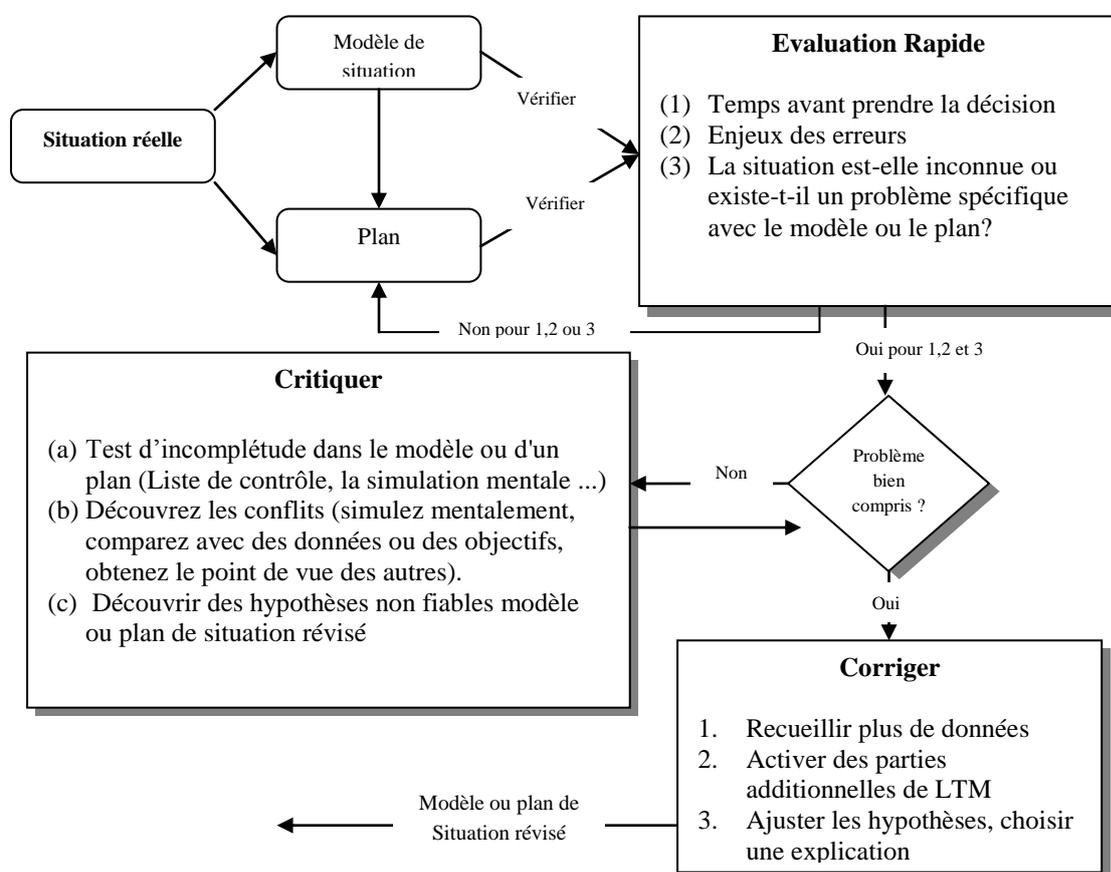


Figure II.7: Modèle R/M (Cohen et al., 1996)

II.3.8. Le modèle du raisonnement analogique

Le modèle du raisonnement analogique (Klein, 1987) vise à décrire des phases fonctionnelles de prise de décision. Il s'agit des phases de diagnostic de la situation, sélection, adoption et modification du plan d'action. En effet, son avantage peut être utilement appliqué

à des situations dans lesquelles il manque des données, des objectifs mal définis et une spécification incomplète des paramètres. Les avantages potentiels des méthodes de raisonnement analogique par rapport à des approches plus formelles sont décrits pour les domaines de la prise de décisions, de la conception d'affichage et représentant des informations. On en conclut qu'une compréhension du raisonnement par analogie peut fournir des outils pour une variété de problèmes appliqués.

Les principales caractéristiques du modèle sont les suivantes (Guarnelli et Lebraty, 2014):

- a. Les caractéristiques du domaine de base et du domaine cible sont mises en correspondance ;
- b. Les caractéristiques du domaine de base sont transférées vers le domaine cible ;
- c. Des connaissances sont transférées du domaine de base vers le domaine cible.

II.3.9. Le modèle de la première reconnaissance

Gary Klein (1998) et son équipe ont initié une étude de type naturaliste pour continuer à faire progresser la compréhension des mécanismes décisionnels. L'approche est fondée sur plusieurs études de terrain, en particulier en situation de pression temporelle (cadres pompiers dirigeant des groupes d'intervention). Grâce à ces recherches-actions, ils ont établi un modèle d'analyse, que l'on peut considérer comme une synthèse des travaux qu'ils ont menés sur cette thématique (figure II.8).

Ce modèle d'analyse est appelé « *modèle de la première reconnaissance* », traduction de « *Recognition-Primed Decision* » (Lebraty, 2007). Il décrit comment des individus expérimentés prennent couramment des décisions en tenant compte des paramètres opérationnels. Ce modèle distingue trois cas de décision possibles en fonction du caractère routinier ou non d'une situation. Chacun de ces modèles est déclenché par la détection d'un changement de situation :

- a. **Cas de la simple correspondance** : Le premier cas de décision est activé en réaction à des situations familières. Dans ce cadre, l'individu expert reconnaît la situation et connaît le plan d'action associé à appliquer ;
- b. **Cas du diagnostic de la situation** : Le deuxième cas de décision est activé en réaction à des situations moyennement familières. Dans ce cadre, l'individu expert ne reconnaît pas certaines caractéristiques de l'environnement liées aux informations

stockées en mémoire des situations précédentes. Aussi, l'individu expert procède à une simulation mentale du plan d'action ;

- c. **Cas d'évaluation du cours de l'action :** Le troisième cas de décision est activé en réaction à des situations peu familières. Dans ce cadre, le décideur doit aussi réévaluer la situation initiale afin de vérifier qu'elle correspond à une situation déjà éprouvée.

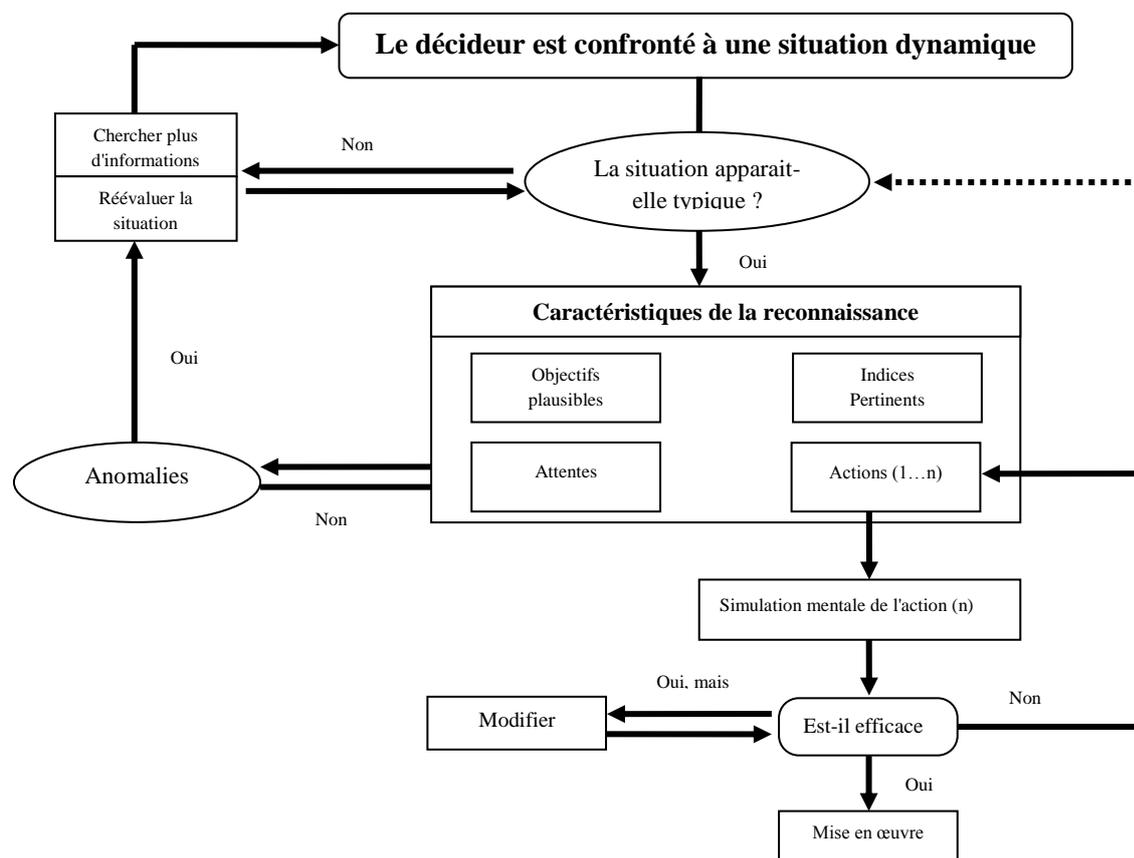


Figure II.8 : Modèle de première reconnaissance (Klein, 2008)

II.3.10. La boucle OODA

La boucle OODA (*OODA loop*, en anglais) est un concept inventé par John Boyd de l'United States Air Force en 1960 pour conceptualiser sa facilité à battre tous ses élèves lors de simulations de combats aériens, en itérant rapidement quatre processus (Azuma, 2005) :

- ✓ **Observe:** pour le premier « O », il s'agit d'observer. Sous ce terme sont réunies des circonstances en développement de l'action en cours, des informations extérieures et les influences du terrain sur l'action c.-à-d. prendre des observations sur la situation globale,

- ✓ **Orient**: pour le second « O », il s'agit de s'orienter. L'ensemble des informations et les expériences antérieures qui interagissent tous les uns sur les autres. Si plusieurs personnes doivent décider, elles n'auront pas les mêmes bases de données. Le blocage en devient quasiment naturel. Le filtrage sur les observations interdit une modélisation partagée de la situation. La décision en devient impossible.
- ✓ **Decide**: pour le « D », il s'agit de décider. La décision dans cette étape est considérée comme une hypothèse. Cette hypothèse n'est qu'une action est meilleure que les autres possibilités, cette action va donner de bons résultats et elle est complètement réalisable. Il est clairement admis ici que ce n'est qu'une hypothèse et qu'elle va être testée.
- ✓ **Act**: pour le « A », il s'agit d'agir. C'est-à-dire exécuter et surveiller la décision.

À l'usage, ce concept s'est révélé applicable dans bien d'autres situations. L'auteur a développé un concept permettant de formaliser le cycle des décisions face à un pilote ennemi. Les bonnes décisions, étant ici celles qui déroutent l'adversaire, donnent l'initiative et bloquent ou désamorcent les attaques adverses.

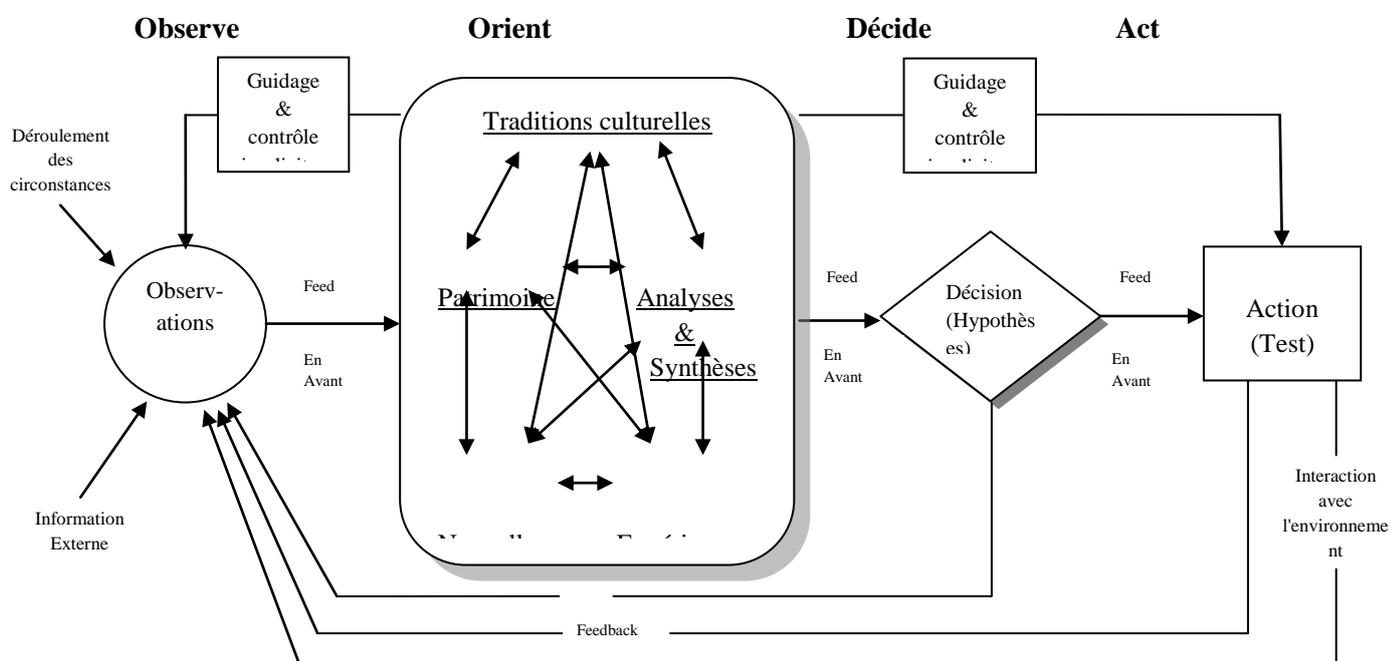


Figure II.9: Boucle OODA Modifiée (cité par : Azuma et al., 2005)

OODA permet de savoir quand une décision a été prise et d'éviter de rester immobile. L'objectif est aussi de pouvoir réévaluer très vite ses décisions à l'aide du test de la réalité. Il

est admis que toute observation, orientation, décision et action est imparfaite. Il faut donc reprendre le cycle. Le principe de l'outil *OODA* est illustré dans la figure II.9.

L'apport du modèle *OODA* au courant naturaliste peut être justifié par les travaux de Tim Grant (2009) où cet auteur a comparé ce modèle empirique standard avec d'autres modèles de processus similaires de la cybernétique et psychologie. Les lacunes identifiées ont été abordées dans le modèle de processus *OODA* rationnellement reconstitué (*OODA-RR*). Un banc d'essai *OODA-RR* de première génération a été mis au point et appliqué avec succès au domaine militaire et analogique à deux agents de l'intrusion informatique. A la fin de ces travaux, Grant (2009) a proposé des outils d'aides à la décision hybrides (rationnels et naturalistes) de la commande flexible et contrôle.

En outre, Azuma et *al.*, (2005) ont considéré que le modèle de décision naturaliste est identique au modèle *OODA Loop* mais dans un ordre différent. Cela devient la boucle *DAOO*: Décider, Agir, Observer, Orienter. Les processus de décision rationnels sont axés sur les résultats, tandis que les stratégies de prise de décision naturalistes sont axées sur les processus.

Notons à ce niveau que, la boucle *OODA* sera retenue dans la suite de cette thèse.

II.4. Approches quantitatives

Dans cette partie, quelques modèles mathématiques largement utilisés dans la quantification des processus décisionnels sont présentés ci-après.

II.4.1. *k*- plus proches voisins (*k-Nearest Neighbors Algorithm*)

La méthode des *k*- plus proches voisins est une méthode d'apprentissage et classification supervisée, décrite pour la première fois au début des années 1950.

L'algorithme *k*-NN figure parmi les plus simples algorithmes d'apprentissage artificiel. Dans un contexte de classification d'une nouvelle observation (x), l'idée fondatrice simple est de faire voter les plus proches voisins de cette observation. La classe de (x) est déterminée en fonction de la classe majoritaire parmi les k plus proches voisins de l'observation (x). La méthode *k*-NN est donc une méthode à base de voisinage, non-paramétrique ; Ceci signifiant que l'algorithme permet de faire une classification sans faire

d'hypothèse sur la fonction $y = f(x_1, x_2, \dots, x_p)$ qui relie la variable dépendante aux variables indépendantes (Mathieu-Dupas, 2010).

L'algorithme k -NN est largement utilisé dans différents domaines de recherche tels que la médecine notamment dans la classification des maladies cardiaques (Akhil-Jabbar et al., 2013), la maintenance, diagnostic et la détection des pannes dans une installation industrielle (Fillipe et al., 2014), et dans le domaine de la prise de décision qui est combinés généralement par la méthode de l'arbre de décision (Poterie, 2018).

II.4.2. Le modèle mathématique du processus décisionnel humain (Benzera et al., 1996)

Les auteurs de ce modèle ont examiné le processus de prise de décision du comportement humain. En effet, un modèle mathématique de prise de décision prenant en compte de leurs six étapes consécutives est développé, ces étapes ont été sélectionnées selon la méthode de raisonnement tactique et représentées par les deux modèles: personnalisation et état instantané.

Le principe de ce modèle est que :

- ✓ Chaque étape de processus de décision est constituée d'équations formelles appelées *fonctions d'influence*. Les neuf premières utilisent les caractéristiques de la personnalisation (la capacité de faire face à la réalité, la connaissance, la relation au temps, l'expansion, l'ego, la créativité, le changement de risque, le niveau d'anxiété et l'attitude autoritaire) et le dernier utilise les variables de l'état instantané (la fatigue, la capacité individuelle à faire face au stress à un moment donné (adaptation), la privation de sommeil, l'état de moral et le niveau de motivation) ;
- ✓ L'entrée du système comprend les étapes du processus de décision. Lors de la première étape, le modèle ne prend pas en compte les paramètres de la situation présentés à la figure II.10,
- ✓ La sortie du système consiste en une série d'étapes du processus. Le modèle prend en compte les hypothèses (A) et (B) de la table de vérité (tableau II.2).
- ✓ Les équations et le contenu de la table de vérité nous permettent d'établir le paradigme « expert-novice », ce qui nous permet de définir le type de décideur.

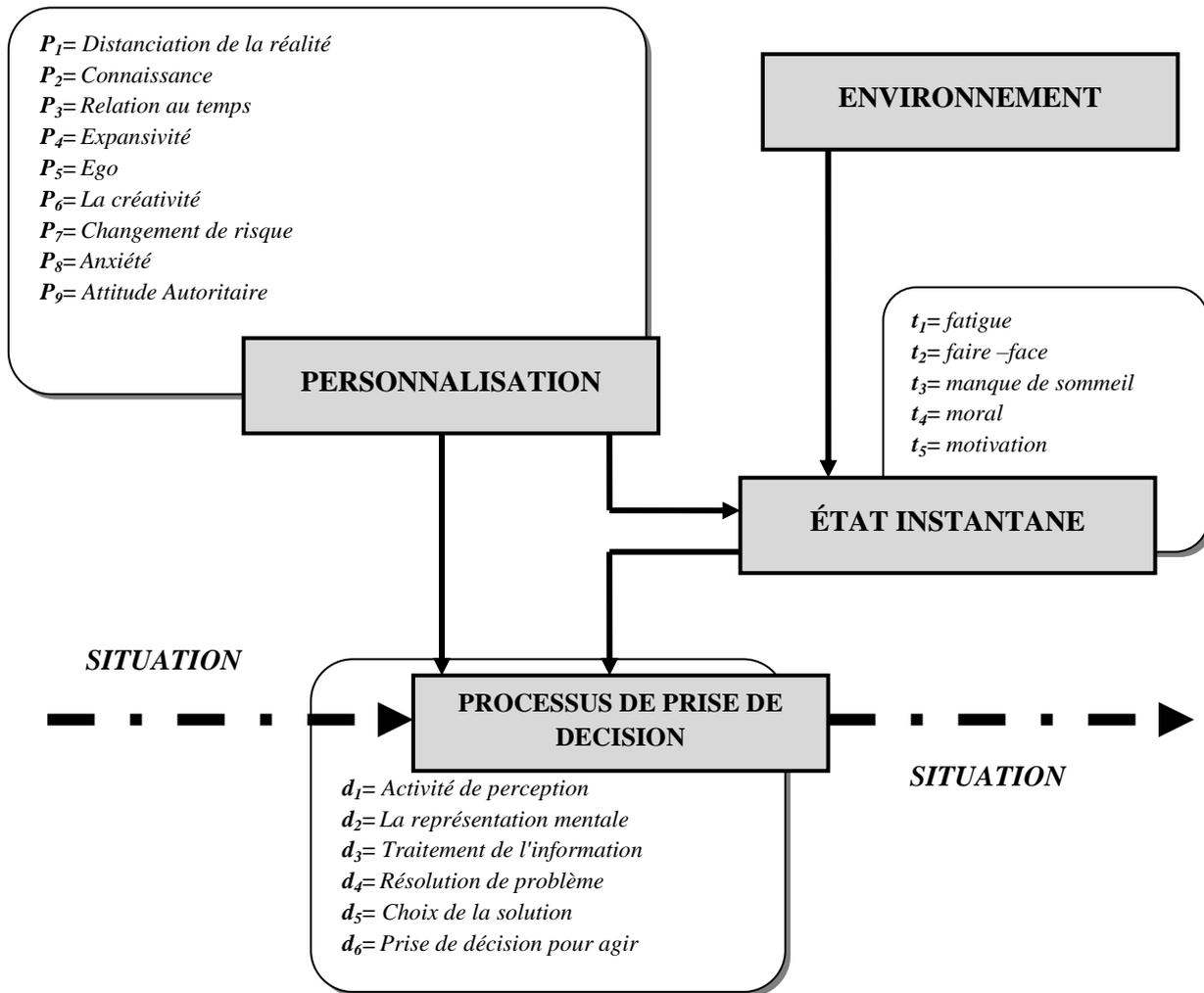


Figure II.10 : Modèle mathématique du processus décisionnel humain (Benzera et al., 1996)

Tableau II.2 : Table de vérité (Benzera et al., 1996)

A	B	A et B	A ou B
F	V	F	1 à 4
F	F	F	Stresse*/E
V	V	V	4/P
V	F	F	AI

- 1 Activité de perception
- 2 Représentation mentale
- 3 Traitement de l'information
- 4 Résolution de problème
- 5 Choix de la solution
- 6 Prise de décision

- E Environnement
- EI Etat instantané
- AI Action Individuel
- P Personnalisation
- F Faux
- V Vrai

II.4.3. Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP : *Analytic hierarchy process*)

Le processus d'analyse hiérarchique est une technique structurée pour organiser et analyser des décisions complexes, basée sur les mathématiques et la psychologie. Il a été développé par R.W. Saaty dans les années 1970 (Saaty, 1987). Il peut aider le décideur à établir des priorités et prendre la meilleure décision. En réduisant les décisions complexes à une série de comparaisons deux à deux, puis synthétiser les résultats, l'AHP aide à capturer les deux aspects subjectifs et objectifs d'une décision. En outre, l'AHP intègre une technique utile pour vérifier la consistance des évaluations du décideur, réduisant ainsi la partialité dans le processus de prise de décision.

Il a été appliquée à un large éventail d'applications dans divers problèmes de prise de décision dans différents domaines, notamment la gestion des risques et l'ingénierie de fiabilité et de la prise de décision de groupe, et est utilisée à travers le monde pour une grande variété, que ce soit des décisions gouvernementales, dans le monde des affaires, de l'industrie, de la santé, de la construction navale, sécurité incendie (Shields et al., 1986), dans laquelle, AHP est appliqué pour étudier la planification et la détermination des priorités en matière de la sécurité-incendie.

Caputo et al., (2013) ont développé une méthodologie systématique basée sur l'AHP pour sélectionner les mesures de sécurité visant à réduire les risques mécaniques en tenant compte de 15 facteurs de comparaison. Plus récemment, dans Zhang et al., (2016), une approche d'évaluation des risques pour les incendies et les explosions des réservoirs en acier d'hydrocarbures est proposée tout en combinant l'analyse par arbre de défaillances et l'AHP. Dernièrement, la méthode de l'arbre de défaillance (AdD), les réseaux bayésiens et AHP flou ont été intégrés dans (Ping et al., 2018) pour estimer la probabilité de succès de l'évasion, de l'évacuation et de sauvetage sur les plates-formes offshore.

Plutôt que de prescrire une décision « exacte », la procédure d'analyse hiérarchique aide les décideurs à trouver celle convenant le mieux à leur objectif et leur compréhension du problème réel. Elle fournit un cadrage complet et rationnel de structuration d'une prise de décision, de représentation et d'évaluation des éléments, afin de les relier aux objectifs et d'évaluer les solutions de rechange.

L'utilisation de l'AHP commence par décomposer la problématique devant aboutir à une décision en une hiérarchie de sous-problèmes de plus en plus facilement restreints pour

pouvoir être analysés de façon indépendante. Les éléments de la hiérarchie peuvent se rapporter à un aspect de la décision, à un problème matériel ou immatériel, soigneusement mesuré ou estimé (figure II.11). Une fois que la hiérarchie est construite, les décideurs évaluent systématiquement ses différents éléments en les comparant les uns aux autres, deux à la fois, en ce qui concerne leur impact sur un élément au-dessus d'eux dans la hiérarchie. En réalisant ces comparaisons, les décideurs peuvent utiliser des données concrètes d'éléments, mais utilisent leur jugement pour décider des éléments pertinents et d'importance.

Vu les intérêts et la simplicité de l'AHP, elle sera retenue dans la suite de cette thèse.

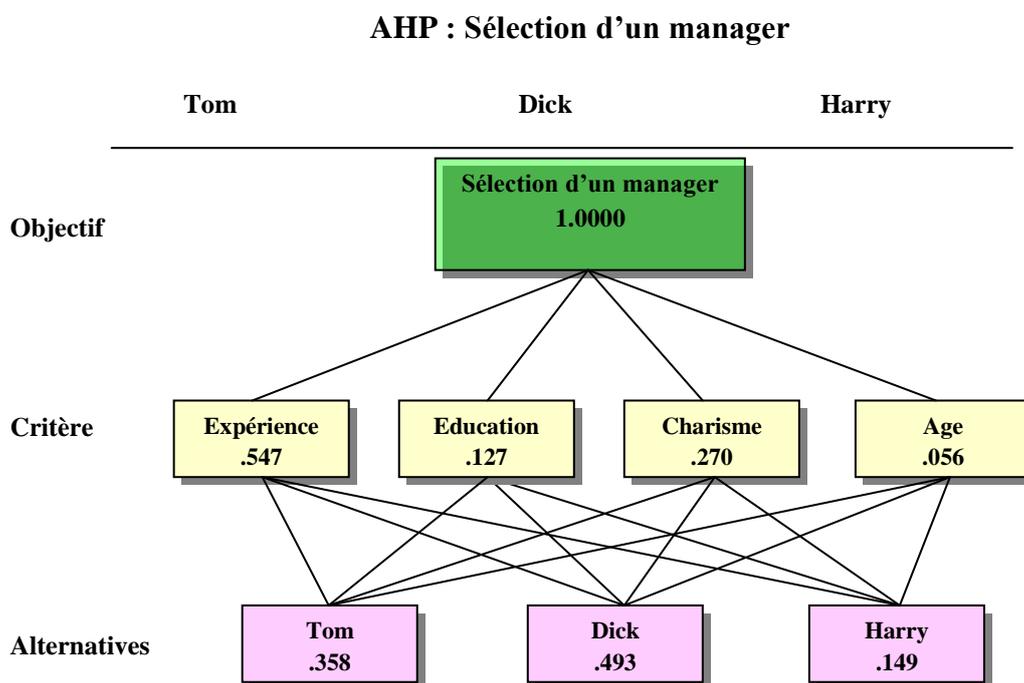


Figure II.11 : Exemple d'une AHP, sélection d'un manager

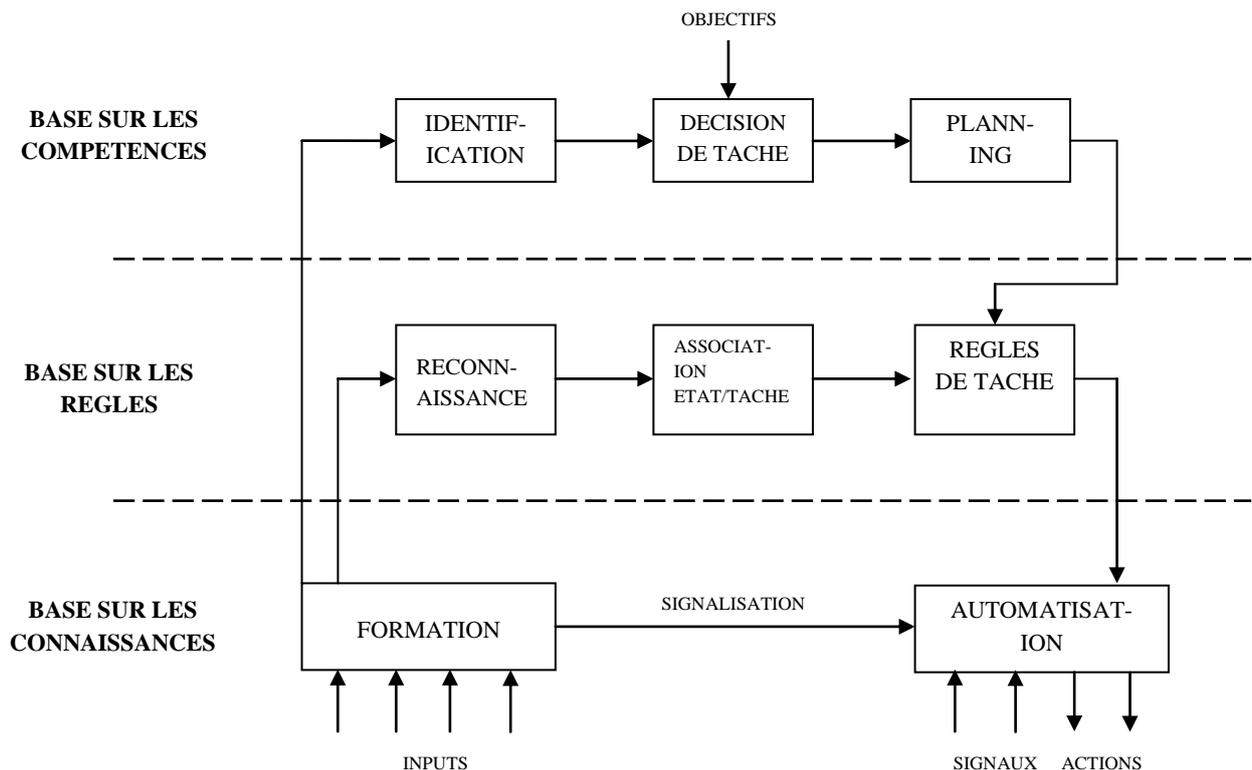
II.5. Modèles cognitives

II.5.1. Le Modèle SB-RB-KB de Rasmussen (Rasmussen, 1983)

Rasmussen a analysé la simulation de prise de décision de la part d'individus experts, expérimentée sur des systèmes automatisés complexes dans des centrales électriques. Son objectif était de diagnostiquer toutes les tâches d'une population donnée. Il s'agit des comportements sensori-moteurs que les individus experts adoptent inconsciemment, ainsi que ceux nécessitant des délibérations conscientes.

Rasmussen a élaboré un modèle cognitif détaillé en fonction de trois niveaux de contrôle basé sur :

- a. **Les compétences (*Skill based*)** : ce niveau de contrôle est fondé sur des automatismes (sensori-moteurs ou cognitifs) dont la régulation s'appuie sur des signaux ;
- b. **Les règles (*Rule based*)** : ce niveau de contrôle est fondé sur des règles, reliant des conditions à des activités. Ce niveau de contrôle s'applique à des situations d'exécution de procédures à forte composante attentionnelle symbolique ;
- c. **Les connaissances (*Knowledge based*)** : ce niveau de contrôle est fondé sur des connaissances déclaratives — des concepts — éloignées de l'action et nécessitant des interprétations. Ce niveau de contrôle est observé dans des situations de résolution de problème, surtout chez le débutant, mais aussi chez l'expert en



situation mal connue.

Figure II.12 : Modèle simplifié SB-RB-KN (Rasmussen, 1983)

II.5.2. La conscience de la situation « Situation Awareness »

Une extension du modèle de la première reconnaissance met l'accent sur la compréhension de la situation en cours ou «*Situation Awareness*». La conscience de la situation est décrite comme le modèle interne que l'opérateur construit à propos de son environnement. Plus précisément, Endsley (2000) la définit comme la «*perception d'éléments de l'environnement à l'intérieur d'un volume spatio-temporel, la compréhension de leur signification et la projection de leur statut dans un futur proche*».

Cette représentation mentale (figure II.13) constitue le principal précurseur de la prise de décision (Endsley, 2000). Son analyse semble essentielle dans le cadre de l'étude de la gestion des risques, puisque le fait qu'elle puisse être incomplète ou inadéquate peut, dans certains cas, être à l'origine de prise de décision erronée (Chauvin, 2003).

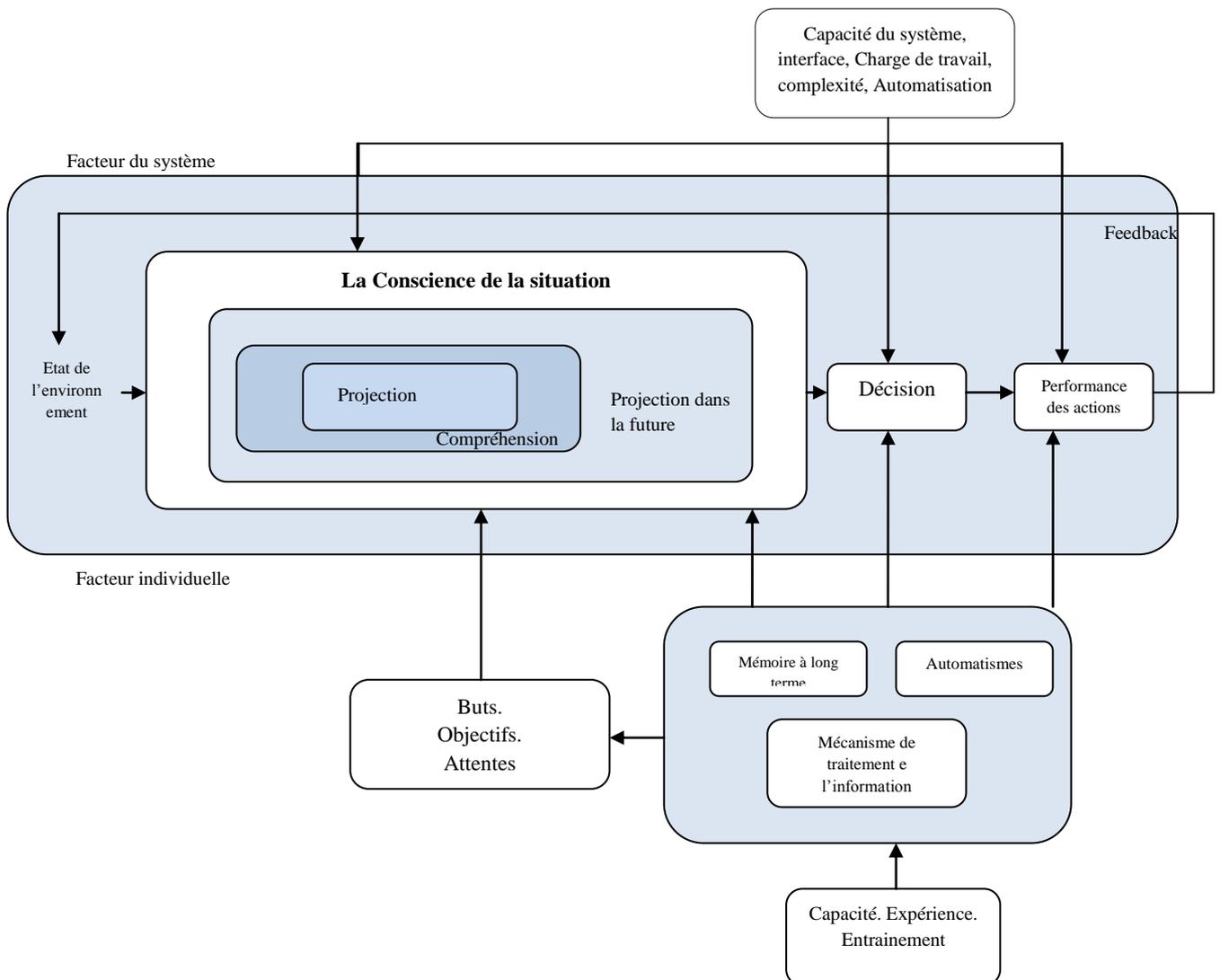


Figure II.13 : Modèle de la conscience de la situation (Endsley, 2000)

Selon Endsley (2000), cette construction est importante pour les décisions parce qu'elle est temporellement stable et parce qu'une fois établie, elle devient un cadre de référence pour l'individu qui en dispose. En résumé, Appréhender la gestion en termes de situation, c'est se préparer psychologiquement à ce que la situation change plus ou moins brutalement, sous l'effet d'un événement imprévu en fonction de ces évolutions, les individus experts doivent chercher à repérer pour maîtriser la situation (Guarnelli, 2014).

La conscience de la situation « *Situation Awareness* » est donc le résultat d'un processus qui comporte trois niveaux dépendants (Endsley, 2000):

- ❖ la perception des éléments de l'environnement;
- ❖ leur traitement;
- ❖ la projection de leur état dans un futur proche

Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté les principaux modèles de la prise de décision en situation naturelle. Notre revue a mis en évidence les contributions des modèles de prise de décisions dans le contexte naturaliste « *NDM* » et l'introduction de l'outil quantitatif dans ce processus par la présentation des nouvelles méthodes (par exemple, méthode AHP, *k*-NN).

On peut conclure que le *NDM* est un paradigme de recherche prometteur pour étudier la prise de décision, reliant ce domaine à la cognition appliquée, à la résolution de problèmes et à l'expertise, en effet, nous avons présenté brièvement quelques modèles de prise de décisions cognitives.

L'application de ces modèles dans une situation critique relative à l'occurrence des alarmes incendie dans une installation industrielle fera l'objet de chapitre suivant.

Références bibliographiques

- Akhil Jabbar, M., Deekshatulu, B.L, et Priti, C. (2013):** Classification of Heart Disease Using k -Nearest Neighbor and Genetic Algorithm, *Procedia Technology*, Vol. 10, pp. 85 – 94
- Antonio, C., Caputo, P., Pelagagge, M. and Paolo, S. (2013):** AHP-based methodology for selecting safety devices of industrial machinery, *Safety Science*, Vol. 53, pp. 202-218
- Azuma, R., Daily, M., and Furmanski, C. (2005):** A Review of Time Critical Decision Making Models and Human Cognitive Processes, 0-7803-9546-8/06/\$20.00 © 2006 IEEE
- Beach, L.R. and Terence R.M. (1987):** Image Theory: Principles, Goals, and Plans In Decision Making, *Acta Psychologica*, Vol. 66, No. 3, pp. 201-220
- Burak, O.S. (2013):** *Selecting industrial investment locations in master plans of countries*, *European Journal of Industrial Engineering*, Vol. 7, No.4, pp. 416–441
- Bezerra, S., Cberruault, Y., Fourcade J., and Veron G., (1996):** A Mathematical Model for the Human Decision-Making Process, *Mathematical Computure Modelling*, Vol. 24, No.10, pp. 21-26
- Cannon-Bowers, J. A. and E. Salas, E. (1998):** Individual and team decision making under stress: Theoretical underpinnings,” In J. A. Cannon-Bowers & E. Salas (Eds.), “Making decisions under stress: Implications for individual and team training,” *Washington, DC: APA Press*, pp. 17-38.
- Caputo Antonio, C, Pelagagge Pacifico, M. et Salini, P. (2013):** *AHP-based methodology for selecting safety devices of industrial machinery. Journal of Safety Science, Vol. 53. - pp. 202–218.*
- Chauvin, C. (2003) :** Gestion des risques lors de la prise de décision en situation d’interaction dynamique : approches systémique et cognitive. Deuxièmes Journées d’Étude en Psychologie Ergonomique, Institut de Psychologie, Boulogne Billancourt, France.
- Cohen, M.S., Freeman, J.T., and Wolf, S. (1996):** Meta-recognition in time-stressed decision making: Recognizing, Critiquing, and Correcting, *Human Factors*, Vol. 38, No. 2, pp. 206-219
- Decker, K.S., (1987):** Distributed problem-solving techniques: A survey, *Published in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 729-740.
- Dumas, R. (2007):** Juger en justice : influence de la mise en récit des conclusions du juge d'instruction sur les jugements judiciaires. Psychologies. Thèse de doctorat. Université Rennes 2, France.
- Einhorn, H.J. and Hogarth, R.M. (1981):** Behavioral Decision Theory: processes of judgment and choice, *Journal of Accounting Research*, Vol. 19, No. 1, pp. 1-31
- Endsley, M. R. (2000):** Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review», Situation awareness analysis and measurement. *Edition published in Taylor and Francis E-library*
- Fellipe do Prado, A., Valniria da Silva, B., Kleiton, V.B., Clarimar, J. C., Anderson da Silva, S., Telma, W.d.L., and Gustavo, T.L. (2014):** Fault Detection in Industrial Plant Using k -Nearest Neighbors with Random Subspace Method, *Proceeding of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied computing conference, July 21-24, LA, USA*

Filali, A. (2014): Les décisions stratégiques dans l'entreprise : Impact sur l'organisation de l'entreprise économique, Thèse de doctorat en sciences, Faculté des Sciences Économiques et Commerciales et des Sciences de Gestion, Université Abu Baker Belkaid, Tlemcen, Algérie.

Flin, R., Slaven, G. and Stewart, K. (1996): Emergency Decision Making in the Offshore Oil and Gas Industry, *Journal of Human Factors*, Vol. 38, No. 2, pp. 262-277

Grant, T., (2009): Towards mixed rational-naturalistic decision support for Command & Control, *Proceedings of the 6th International ISCRAM Conference – Gothenburg, Sweden.*

Guarnelli, J. (2014) : Le paradoxe de la décision en situation de crise sur-médiatisée. Gestion et management. Thèse de doctorat. Université Nice Sophia Antipolis. France.

Guarnelli, J., Lebraty, J.F. (2014) : Décider en situation : un état de l'art. Actes du 19ème du Colloques de l'Association Information et Management (AIM).Le Management à l'épreuve des Systèmes d'Information : enjeux, défis et perspectives, May 2014, Aix en Provence, France.

Klein, G. (1987): Applications of Analogical Reasoning, *Journal of Metaphor and Symbolic Activity*, Vol. 2, No. 3, pp. 201-218

Klein, G. (1999): Sources of Power: How people make decisions, *Cambridge, Mass: MIT Press.*

Klein, G. (2008): Naturalistic Decision Making, *Journal of human factors*, Vol. 50, No. 3, pp. 456–460.

Lebraty, J.F. (2007): Décision et Intuition : un état des lieux. *Education Management*, 2007, pp.33-37.

Lebraty, J.F., and Pastorelli-Nègre, I. (2004) : Biais cognitifs : quel statut dans la prise de décision assistée ?, *Systèmes d'Information et Management*, Vol. 9, No.3, pp. 87-116

Lebraty, J.-F., Puidupin, A., (2007) : Information, cognition et décision: le cas du projet-CORTIM, *Management, systèmes d'information et connaissances tacites*, Edition Hermes.

Lipshitz, R., Gary, K., Orasanu, J. and Salas, E. (2001): Taking Stock of Naturalistic Decision Making, *Journal of Behavioral Decision Making*, Vol. 14, No. 5, pp. 331–332

Marsden, É. (2016) : La décision en situation d'incertitude, *La Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle FonCSI*, France.

Mathieu-Dupas, E. (2010) : Algorithme des k plus proches voisins pondérés et application en diagnostic. 42èmes Journées de Statistique, 2010, Marseille, France.

Pennington, N., and Hastie, R. (1992): Explaining the Evidence: Tests of the Story Model for Juror Decision Making, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 62, No. 2, pp. 189-206

Pennington, N., and Hastie, R (1993): A theory of explanation-based decision making chapter in Judgment and decision making, *an interdisciplinary reader, second edition.*

Ping, P., Wang, K., Kong, D. et Chen, G. (2018): *Estimating probability of success of escape, evacuation, and rescue (EER) on the offshore platform by integrating Bayesian Network and Fuzzy AHP. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 54. - pp. 57-68.*

Poterie, A. (2018): Arbres de décision et forêts aléatoires pour variables groupées. Statistiques [math.ST]. INSA de Rennes, 2018. Français.

Rasmussen, J., (1986): *Information Processing and Human-Machine Interaction, An Approach to Cognitive Engineering*, North-Holland Series in System Science and Engineering, Elsevier Science Ltd; 1st Printing edition,

Rasmussen, J. (1983): Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models, *IEEE transactions on systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-13, No. 3, pp. 257-266

Saaty, R., W., (1987): The analytic hierarchy process—what it is and how it is used, *Journal of Mathematical Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176

Schneeweiss, C. (2003): Distributed decision making—a unified approach, *European Journal of Operational Research*, Vol. 150, No. 2, pp. 237–252

Shields, J., Silcock G., (1986): *An application of the hierarchical to fire safety, Fire Safety Journal*, Vol. 11, No. 3, pp. 235-242

Simon, H. (1978): De la rationalité substantive à la rationalité procédurale, *Revue PISTES* (3).

Wohl, J. G., Entin, E. E., and Eterno, J. S. (1983): *Modeling human decision processes in command and control,* DTIC Document (<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a125218.pdf>), dernier accès: Décembre 2019

Zhang, M., Song, W., Chen, Z. et Wang, J. (2016): *Risk assessment for fire and explosion accidents of steel oil tanks using improved AHP based on FTA. Journal of Process Safety Progress, Vol. 35. - pp. 200-207.*

Zsombok, C.E., Gary, K. (2014): *Naturalistic decision making, Psychology Press, 711 Third Avenue NY, USA*

Chapitre III:

Approche d'évaluation de la situation en présence d'incertitude

Résumé:

Dans ce chapitre, un système d'aide à la prise de décision pour l'évaluation des situations critiques dans une installation industrielle est proposé. Le système fournit à un opérateur humain des conseils sur la confirmation et la classification des déviations de système (Alarmes). Les entrées de système consistent en une information incertaine et incomplète. Afin de combiner les données de plusieurs sources et d'obtenir la meilleure classification possible à la lumière d'informations incertaines et incomplètes, différentes lois sur les incertitudes ont été associées à l'évaluation probabiliste de la boucle du système. Le modèle a été mis en œuvre en utilisant la boucle OODA combinée avec des réseaux bayésiens. Les résultats montrent que le système peut classer les déviations de système d'alarmes.

⁷ Le contenu de ce chapitre a fait l'objet d'une publication soumise à la revue : *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*. Titre : « A decision loop for situation risk assessment under uncertainty ». Etat: Under-review.

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons un système d'aide à la prise de décision pour l'évaluation de la situation associée à la réponse aux situations critiques d'une étude de cas relatifs à l'occurrence des alarmes d'une installation industrielle. Le système consiste à fournir au personnel d'opération (*sharp-end*) des conseils sur la confirmation et la classification des déviations du système. L'entrée du système consiste en des alarmes générées dans une installation de gaz. Toutefois, ces entrées sont généralement entachées d'incertitudes. Pour ce faire, il est avantageux de s'assurer que le personnel de *sharp-end* (d'exploitation) est au courant de la situation et qu'il a reçu une formation d'autodéfense pour combiner les données de plusieurs sources et pour arriver à la meilleure confirmation et classification possible des écarts du système en cas d'informations incertaines et incomplètes. Les différentes lois des incertitudes étant considérées dans l'évaluation probabiliste du système. Par conséquent, nous avons mis en œuvre le système en utilisant la boucle *Observe – Orient-Decision-Act* (OODA) combinée par les réseaux bayésiens.

III.1. A propos des déviations de systèmes et prise de décisions

L'exploitation des procédés industriels est l'activité la plus dangereuse après les opérations de transport et de forage sur les plateformes pétrolières et gazières (Khan et *al.*, 2002). Cette exploitation est une tâche dangereuse qui exige un personnel conscient de la gravité de la situation de travail (Sneddon, et *al.*, 2013). Les opérations de processus génèrent des risques pour les personnes, l'environnement et les biens. Pour maîtriser ces risques, plusieurs études et techniques ont été développées en fonction de la disponibilité et de la qualité des informations et des données, tel que l'approche proposée dans (Ouazaroui, 2014) pour l'évaluation et la réduction des risques inhérents aux systèmes industriels en présence d'informations incomplètes et/ou incertaines. Récemment, une étude sur le management des risques et la pratique actuelle de la responsabilité sociale de l'entreprise est effectuée, en utilisant des techniques de statistiques inférentielles, des analyses factorielles exploratoires et des modèles de régression linéaire multiple (Bou Nader, 2018).

Les facteurs critiques dans la prévention des accidents du travail incluent la capacité des travailleurs à rester conscients et vigilants de l'environnement de travail, à comprendre les informations disponibles et prévoir l'évolution de la situation (Sneddon, et *al.*, 2013). Lorsque les risques sont jugés inacceptables, des solutions doivent être suggérées : soit par des

modifications de conception fondamentales, soit par des mesures de protection et de prévention. Les mesures de protection peuvent être techniques ou organisationnelles, ou bien être fournies par des systèmes de contrôle relatifs à la sécurité en utilisant des dispositifs d'alarme ou des commandes automatiques.

Les systèmes d'alarme sont conçus pour attirer l'attention des opérateurs sur une condition anormale (Macdonald, 2004). Toutefois, ces systèmes peuvent présenter de graves problèmes tels que l'absence ou les fausses détections de pannes, ce qui constitue des données limitées pour la prise de décision. L'exemple typique dans ce cas est l'explosion et les incendies à la raffinerie de Texaco, Milford Haven (survenue le 24 juillet 1994) qui ont entraîné un coût d'accident estimé à 48 millions de livres sterling (£) pour la reconstruction, ont été attribués à plusieurs éléments, dont la modification d'un système de protection d'automatique à manuel sans aucune évaluation formelle des risques, un mauvais entretien des instruments, des écrans à affichage à écran plat mal conçus et des surcharges d'alarme en salle de contrôle. Plusieurs alarmes se sont produites dans la salle de contrôle avec une fréquence de pointe estimée à une toutes les 2 ou 3 secondes. La priorisation des alarmes était médiocre : 87% des alarmes étant classées comme hautement prioritaires (HSE, 2018).

En réalité, les opérateurs ne sont pas la cause de ces accidents, mais ils ont hérité des problèmes et des difficultés des technologies créées par les ingénieurs (Naderpour et al., 2014). Les opérateurs n'ont généralement aucune difficulté à effectuer physiquement leurs tâches, ni à savoir ce qu'il faut faire, mais ils sont stressés par la tâche de comprendre ce qui se passe dans la situation (Endsley, 2006). En particulier, il y a un manque de modèles de prise de conscience de la situation spécifique relative aux opérations offshore (Sneddon et al., 2013). La prise de conscience de la situation « *situation awareness* », *un état d'esprit chez l'homme, est essentielle à la conduite des activités de prise de décision. Cela concerne la perception des éléments de l'environnement, la compréhension de leur signification et la projection de leur statut dans un avenir proche* (Endsley, 1995). Pour assurer la sécurité des opérations dans les systèmes critiques pour la sécurité, il est nécessaire que les opérateurs maintenaient à un haut niveau la connaissance de la situation (Naderpour, et al., 2016).

Dans une étude réalisée par Carey (2000) sur 13 installations chimiques différentes, il a constaté que, pendant les quarts de travail⁸, une alarme était détectée toutes les deux minutes pendant la rotation de travail. En outre, environ 6% des alarmes continues étaient liées à des

⁸ Quart de travail : l'activité est répartie en deux périodes successives de 12h au cours d'une journée.

problèmes opérationnels. Le personnel de *sharp-end* est souvent obligé de prendre des décisions dans des environnements dynamiques avec des informations limitées et une pression temporelle limitée (Yang et Haugen, 2015). Le manque de temps peut être le résultat du déploiement et du changement rapide d'événements d'initiation indésirables. Par conséquent, l'information limitée est l'élément clé de la prise de décision entravée. Les informations impliquées dans la décision proviennent de sources multiples, peuvent être connues avec divers degrés d'incertitude et peuvent être difficiles à évaluer (Bolsover et Flack, 2014).

Aven et Zio (2011) ont fait valoir la nécessité de tenir compte des incertitudes dans la prise de décision en raison des défis que pose le traitement des incertitudes dans l'évaluation des risques. Flage et *al.*, (2014) ont présenté un point de vue sur les préoccupations, les défis et les orientations du développement pour représenter et exprimer l'incertitude dans l'évaluation des risques. L'analyse probabiliste est la méthode prédominante utilisée pour traiter les incertitudes liées à l'analyse des risques, tant aléatoires qu'épistémiques⁹ (plus de détail dans l'annexe 3). Pour représenter et exprimer l'incertitude épistémique, la réponse n'est pas aussi simple. Les approches de probabilité subjective bayésiennes sont les plus courantes (Aven, 2016). Cox (2012) fournit une analyse intéressante de l'utilisation de méthodes pour faire face à de grandes incertitudes¹⁰. Il préconise que ces méthodes permettaient d'améliorer les prévisions et les décisions lorsque le modèle correct était très incertain. Dix outils ont été examinés pour mieux comprendre l'incertitude profonde et prendre des décisions même lorsque les modèles corrects sont inconnus (Cox, 2012). Une évaluation adéquate de la situation peut systématiquement réduire l'incertitude inhérente à un modèle.

⁹ Les *incertitudes aléatoires* concernent les événements ou les phénomènes dont l'occurrence est considérée comme aléatoire ou stochastique. Les modèles probabilistes sont généralement utilisés pour décrire ces occurrences. Les incertitudes aléatoires sont souvent liées aux quantités observables. Une autre terminologie «variabilité» est également utilisée pour désigner ce type d'incertitude (SI MOHAMMED, 2015).

Les *incertitudes épistémiques*, quant à elles, sont liées à un manque de connaissances sur un phénomène, au niveau de confiance que des analystes ont dans le modèle lui-même, aux prédictions du modèle, etc. En théorie, elles peuvent être réduites voire éliminées par l'acquisition de connaissances supplémentaires. Les incertitudes épistémiques sont associées à des quantités non observables (SI MOHAMMED, 2015).

¹⁰ Lempert et al., (2003) ont défini *l'incertitude profonde* (en anglais : *deep uncertainty*) comme la situation dans laquelle les analystes ne connaissent pas ou les parties à une décision ne peuvent s'entendre sur (i) les modèles appropriés pour décrire les interactions entre les variables d'un système, (ii) les distributions de probabilité pour représenter l'incertitude des paramètres clés des modèles, et/ou (iii) comment évaluer le caractère souhaitable des autres résultats.

III.2. La boucle OODA en détail

Nous avons brièvement présenté la boucle OODA dans le chapitre II (Section II.3.10) et démontré qu'elle est reconnue comme un modèle de prise de décision naturaliste (Grant, 2009). La boucle OODA ne doit cependant pas être perçue comme une simplification des processus décisionnels, car sa transposition à des organisations plus grandes qu'un pilote et son avion révèle de multiples défis qui peuvent profondément influencer leur mode de fonctionnement. A cet effet, nous avons jugé utile d'élargir la présentation de ses principaux axes.

III.2.1. Comment fonctionne la boucle OODA ?

La boucle "Observe, Orient, Decide et Act" est un modèle dit « cognitif ». Ce modèle est intéressant en tant que modèle de recherche de la prise de décision optimum dans un contexte naturel qui décrit le processus d'un individu ou une organisation dans une situation nouvelle suite à son action dans cette nouvelle situation. Il est important de rappeler que les autres acteurs de la situation utilisent également la boucle, consciemment ou inconsciemment.

III.2.2. Etapes de la boucle OODA et la gestion des risques

a. Observer : La première étape de la gestion des risques consiste à identifier ou à observer les risques. Ne pas identifier les risques peut nuire gravement à la situation de travail. En comprenant rapidement ce qui se passe, les gestionnaires pourront observer clairement l'évolution de la situation.

Quatre facteurs influencent les observations dans la boucle OODA. Ces quatre facteurs incluent : des informations extérieures, les circonstances qui se déroulent, l'interaction avec l'environnement et guidage et contrôle implicites. Ces facteurs sont externes à la boucle. Ensemble, ils aident les gestionnaires et les évaluateurs de risques à identifier les risques associés aux situations de travail (Amsden et Shashidhar, 2012).

Tous les sens sont utilisés à ce stade, ce qui permet de recueillir autant d'informations que possible.

b. Orienter : Les informations recueillies par l'observation alimentent la deuxième étape de la boucle OODA "orient". L'orientation aligne les informations observées dans une manière bien définie et logique à partir de laquelle les décisions peuvent être prises

plus facilement. Au cours de cette étape, les risques doivent être évalués en fonction de la probabilité d'occurrence et de l'impact potentiel. De nombreux risques peuvent être classés en fonction d'indices de risque calculés. Plus l'indice de risque est élevé, plus le risque est grave.

Boyd (1976) a identifié cinq facteurs contribuant à l'orientation sur la base des informations observées. Ces cinq facteurs incluent : les traditions culturelles, les nouvelles informations, les analyses et synthèses, les expériences précédentes et le patrimoine génétique (Ullman, 2007).

La phase d'orientation est décrite comme le processus le plus important de la boucle OODA. Les informations de l'étape 1 sont organisées.

- c. **Décider** : Une fois les risques identifiés, analysés, et orientés vers les objectifs du projet, le gestionnaire doit choisir une stratégie de gestion des risques. Le risque peut-il être évité? Peut-il transférer le risque ailleurs? Si non, devrait-il atténuer le risque ou l'accepter? Rechercher des entrées de gestion. Élaborer les plans d'action pour les risques et les plans d'urgence au cas où un risque deviendrait un problème.

La revue des exigences est également un élément clé de la gestion des risques. La possibilité d'identifier, d'analyser, de surveiller et de suivre les exigences et l'état du projet tout au long du cycle de développement peut réduire considérablement les risques. Décider comment gérer et mettre en œuvre les exigences réduit considérablement les risques (Ullman, 2007 ; Amsden et Shashidhar, 2012).

Le retour d'information des décisions revient à l'étape d'observation. La stratégie de gestion des risques choisie peut affecter le calendrier ou le budget du projet. L'avantage de la gestion efficace des exigences est que la rétroaction est rapide lorsque les décisions sont prises, permettant une itération rapide à travers la boucle OODA.

- d. **Act** : Mettre en œuvre des stratégies! Gérer les risques! Dès que les décisions sont prises et que les stratégies de gestion des risques sont choisies, avancez et exécutez ! Bien que la gestion des risques ne soit pas nécessairement un processus rapide, le retour d'informations lors de la gestion des risques peut être rapidement réintroduit dans la phase d'observation. À mesure que le développement progresse, il convient de

prendre en compte les interactions entre le projet et l'environnement (Ullman, 2007 ; Amsden et Shashidhar, 2012).

Les risques doivent être suivis et les résultats des stratégies de gestion des risques enregistrés et partagés. Les membres de l'équipe et les parties prenantes doivent connaître l'état d'avancement de leur projet. Si le risque n'est pas réduit comme prévu, une autre itération de la boucle OODA est requise.

La boucle montre donc, que toutes les décisions sont basées sur des observations de la situation en évolution tempérée par le filtrage implicite du problème traité. Les observations sont les informations brutes sur lesquelles les décisions et les actions sont fondées. Les informations observées doivent être traitées pour orienter la prise de décision.

III.2.2.3. Utilité de la boucle OODA

La boucle est reconnue comme un outil efficace qui aide à améliorer la connaissance de la situation, à prendre des décisions cohérentes et réfléchies et à améliorer la sécurité, mais aussi à atteindre les résultats souhaités grâce à une approche continue, consciente et méthodique pour prendre des décisions efficaces (Omarova et *al.*, 2012).

Elle a été appliquée à un large éventail d'applications telles que les secteurs des affaires, du droit et de l'enseignement supérieur. Plus précisément, l'OODA a été utilisée pour évaluer la fiabilité d'un système de gestion organisationnelle (Wesner, 2015), et pour revoir les modèles décisionnels et les processus cognitifs humains (Azuma, 2006). Elle est également utilisée dans la gestion des catastrophes où Von Lubitz (2008) a démontré que l'intégration de la gestion modifiée de l'information et des connaissances dans les concepts d'opérations réseau-centrées et de capacités réseau, et l'utilisation de la prise de décision dans des environnements imprévisibles et dynamiques en évolution. De plus Huang (2015) a utilisé la boucle pour la modélisation et la simulation du système d'intervention d'urgence et également pour la modélisation de l'intervention d'urgence en cas de catastrophe d'engorgement des eaux urbaines à l'aide de réseaux de Petri stochastiques (Wang et Huang, 2018). Luis Cordeiro (2018) s'est enquis de la similitude entre la boucle OODA et le cycle PDCA dans le processus décisionnel entre quatre cas différents.

III.2.2.4. Limites de la boucle OODA

La boucle OODA a été proposée pour représenter le cycle de décision des pilotes dans les environnements de la force aérienne. L'un des avantages de la boucle est qu'elle capture la nature continue de commande et de contrôle. Elle fournit également un cadre utile pour identifier et comparer les phases critiques à la fois de la propre et de la les cycles de décision de l'opposant. Cependant, l'OODA est limité par deux problèmes majeurs (Breton et Rousseau, 2005) :

- ✚ Premièrement, sa représentation unidirectionnelle et séquentielle ne permet pas d'illustrer des situations dynamiques et complexes.
- ✚ Deuxièmement, sa représentation simple fournit un faible niveau de granularité cognitive. La boucle inclut des concepts abstraits qui ne fournissent pas le type de détails requis pour identifier une conception adéquate des systèmes de support et des programmes de formation.

De nombreuses alternatives ont été suggérées pour résoudre ces problèmes, telles que: la version cognitive de la boucle OODA qui a été proposée pour traiter le second problème. Cette version est basée sur une conception modulaire de la boucle OODA. La boucle M-OODA, proposée par Breton & Rousseau (2003) qui offre de bonnes possibilités de représenter des situations dynamiques et complexes.

Le tableau III.1 de la page suivante présente une évaluation de la boucle OODA, de la boucle étendue, de la boucle itérative. La version de Smith de la boucle et la boucle M-OODA en ce qui concerne leur capacité à représenter des situations dynamiques et complexes et leur niveau de granularité respectif.

Tableau III.1. Evaluation de différents modèles de cycle de décision (Breton et Rousseau, 2005)

	Capacité à représenter des situations dynamiques et complexes	Niveau de granularité
OODA classique	Très bas (représentation ascendante et séquentielle)	Très bas (uniquement une représentation des principaux processus de décisions)
OODA étendue (Fadok, Warden & Boyd, 1995)	Haut (présence de boucles de requête, de rétroaction (feedback) et de feed-forward)	Moyen (se concentrer uniquement sur le processus Orienter)
OODA itérative (Breton & Bossé, 2002)	Moyen (itérations possibles uniquement entre les processus Observer & Orienter)	Très bas (uniquement une représentation des principaux processus de décisions)
Smith (2002)	Très haut (inclusion de composants cognitifs et de boucles pour gérer des situations complexes)	Haut (fournit des détails sur les domaines physiques, informationnel et cognitif)
modèle CECA ¹¹ (Bryant, 2003)	Très haut (inclusion d'un processus d'adaptation)	Moyen (se concentrer principalement sur le processus de Orienter)
M-OODA loop ¹² (Rousseau et Breton, 2003)	Très haut (présence de boucles de requête, de rétroaction (feedback) et de feed-forward)	Moyen (représentation des fonctions cognitives soutenant les processus Observer-Orienter-Décider)

Les insuffisances de la boucle OODA nous ont incités à la formaliser avec les réseaux bayésiens, objet de la section suivante.

¹¹ Modèle CECA : *Critique, Explore, Compare, and Adapt*

¹² Modèle M-OODA : *modified version of the OODA loop*

III.3. Les réseaux bayésiens

Les réseaux bayésiens (RB) ne sont pas nouveaux et sont basés sur un théorème créé par Thomas Bayes en 1763 (Bays, 1773). Il s'agit d'un modèle graphique probabiliste qui décrit des réseaux de causes et d'effets, ainsi que des utilisations permettant de quantifier de manière rigoureuse les facteurs de risque et de communiquer clairement les résultats. Les RB sont maintenant largement reconnus comme une technologie puissante pour l'évaluation des risques, l'analyse des incertitudes et la prise de décision.

Le RB est issu de l'intelligence artificielle comme méthode de raisonnement avec incertitude basé sur les règles formelles de la théorie des probabilités. Un réseau bayésien représente la distribution de probabilités commune sur un ensemble de variables aléatoires $V = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$

$$P(V) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{parents}(X_i)) \quad (1)$$

Le réseau bayésien s'est avéré être une technique souple et robuste pour l'évaluation des risques et la prise de décision (voir Annexe 1). Le RB est largement utilisé dans le contexte de la fiabilité, la disponibilité, la sécurité des systèmes industriels, la prise de décision et l'analyse des incertitudes. Mecheri et *al.*, (2018) ont utilisé le RB et les boîtes de probabilité pour modéliser l'incertitude dans l'évaluation de l'indisponibilité des performances des systèmes instrumentés de sécurité. De même Chebila (2018) a utilisé un RB pour l'analyse de fréquence en matière de fiabilité. Enfin, une évaluation des risques et une analyse décisionnelle avec RB sont adoptées dans la deuxième édition d'un ouvrage de (Fenton et Neil, 2018).

Malgré ses avantages, les applications classiques du réseau bayésien ont été critiquées pour l'utilisation de valeurs de probabilités 'nettes' dans l'évaluation de l'incertitude (Zarei et *al.*, 2019). Pour résoudre ce problème, différentes lois sur les incertitudes ont été associées à l'évaluation probabiliste de la boucle du système.

Pour une meilleure compréhension de l'usage des RB, nous rappelons également que Naïm et al, (2004) ont abordé leurs mise en œuvre dans des applications pratiques tout en essayons de répondre à la question clé « pourquoi ? ».

L'utilisation pratique d'un réseau bayésien peut être envisagée au même titre que celle d'autres modèles : réseaux neuronaux, systèmes experts, arbres de décision, modèles d'analyse

de données (régressions linéaires), arbres de défaillances, modèles logiques, ...etc. Naturellement, le choix de la méthode fait intervenir différents critères, comme la facilité, le coût et le délai de mise en œuvre d'une solution. En dehors de toute considération théorique, les aspects suivants des réseaux bayésiens les rendent, dans de nombreux cas, préférables à d'autres modèles :

- a. Acquisition des connaissances :** La possibilité de rassembler et de fusionner des connaissances de diverses natures dans un même modèle : retour d'expérience (données historiques ou empiriques), expertise (exprimée sous forme de règles logiques, d'équations, de statistiques ou de probabilités subjectives), observations. Dans le monde industriel par exemple, chacune de ces sources d'information, quoique présente, est souvent insuffisante individuellement pour fournir une représentation précise et réaliste du système analysé.
- b. Représentation des connaissances :** La représentation graphique d'un réseau bayésien est explicite, intuitive et compréhensible par un non spécialiste, ce qui facilite à la fois la validation du modèle, ses évolutions éventuelles et surtout son utilisation. Typiquement, un décideur est beaucoup plus enclin à s'appuyer sur un modèle dont il comprend le fonctionnement qu'à faire confiance à une « boîte noire ».
- c. Utilisation des connaissances :** Un réseau bayésien est polyvalent : on peut se servir du même modèle pour évaluer, prévoir, diagnostiquer, ou optimiser des décisions, ce qui contribue à « rentabiliser » l'effort de construction du réseau bayésien.
- d. Qualité de l'offre en matière de logiciels :** Il existe aujourd'hui de nombreux logiciels pour saisir et traiter des réseaux bayésiens. Ces outils présentent des fonctionnalités plus ou moins évoluées : apprentissage des probabilités, apprentissage de la structure du réseau bayésien, possibilité d'intégrer des variables continues, des variables d'utilité et de décision, etc.

Pour synthétiser l'intérêt que présentent les RB par rapport à quelques techniques concurrentes, le tableau III.2 ci-dessous montre les points forts des RB par rapport à ces techniques. Raison pour laquelle, les RB sont retenus dans la suite de ce chapitre.

Tableau III.2. Avantages comparatifs des réseaux bayésiens (Naïm et al., 2004)

<i>Connaissances</i>	<i>Analyse de données</i>	<i>Réseaux neuronaux</i>	<i>Arbre de décision</i>	<i>Réseaux bayésiens</i>
ACQUISITION				
Expertise seulement				
Données seulement	+	★	+	+
Mixte	+	+	+	★
Généralisation	+	★	+	+
Données incomplètes		+		★
REPRESENTATION				
Incertitude				★
Lisibilité	+		+	★
Facilité		+	★	
Homogénéité				★
UTILISATION				
Utilité économique	+	+		★
Performances	+	★		

A chaque ligne correspond une caractéristique, qui peut être un avantage, ou la prise en compte d'un problème spécifique.

- ❖ Si la technique considérée permet de prendre en compte ce problème ou présente cet avantage, un signe + est placé dans la case correspondante.
- ❖ Un signe est ★ placé dans la case de la meilleure technique du point de vue de la caractéristique considérée.

III.4. Présentation de la démarche préconisée

III.4.1. Description de la démarche

La compréhension et la conscience de la situation est importante pour prévenir, détecter, contrôler et/ou réparer les événements indésirables. Une décision en une fraction de seconde doit souvent être prise sur la base des informations incomplètes ou incertaines (Dubois et *al.*, 2016).

Le responsable de l'entreprise, confrontait à de tels problèmes, doit connaître les réponses à des questions spécifiques telles que: que s'est-il réellement passé ? est-il sécuritaire de continuer à fonctionner et quels types d'actions seront pratiques et efficaces? De plus, les réponses à ces questions devraient être obtenues rapidement afin que les actions nécessaires puissent être prises rapidement (Bolsover et Flack, 2014). À ce niveau, le responsable est contraint par de nombreux facteurs critiques ayant une incidence sur la prise de conscience de sa situation, tels que le stress, la fatigue et, par conséquent, la sécurité de l'installation (Sneddon, 2013).

Un système d'aide à la conscience de la situation (SASS) a été développé pour gérer les situations incertaines (Naderpour, et al, 2016). L'approche consiste à évaluer systématiquement l'amélioration de la *situation awareness* (SA) dans SASS en appliquant une approche multi-perspectives dans laquelle deux métriques de connaissance de la situation (SAGAT et SART) et une métrique de charge de travail (NASA-TLX) ont été appliquées. Récemment, une tentative de modélisation des incertitudes associées aux réponses aux catastrophes est proposée par Ghasemi et *al.*,(2019). Ces auteurs ont modélisé l'incertitude associée à la phase de réponse du séisme en utilisant une approche de probabilité basée sur un scénario. Ce modèle proposé prouve sa vitalité dans la prise de décision multiple (décision en groupe).

Ce travail a été effectuée dans une installation Algérienne de traitement de gaz naturel où toutes les alarmes survenues ont été collectées via des systèmes automatiques / manuels et communiquées à la salle de contrôle centrale. Ces alarmes sont fausses ou réelles.

Le tableau III.3 de la page suivante illustre les alarmes enregistrées dans l'installation durant la période allant de septembre 2008 à février 2017.

Tableau III.3: Nombre d'alarmes enregistrées dans l'installation

Année Type	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Réelle	1	4	1	1	0	1	0	2	1	0	11
Fausse	4	28	16	16	12	3	11	7	4	3	104
Total	5	32	17	17	12	4	11	9	5	3	115

Une lecture du tableau ci-dessus montre clairement que 90% des alarmes déclenchées sont des fausses alarmes et donc une perte économique considérables pour l'installation.

En suivant une procédure opérationnelle, le personnel spécialisé (*sharp-end*) doit évaluer, classifier, identifier et prendre des décisions en fonction de la situation. Ce processus de décision peut être représenté par la boucle OODA, sa traduction dans le modèle proposé est décrite à la figure III.1.

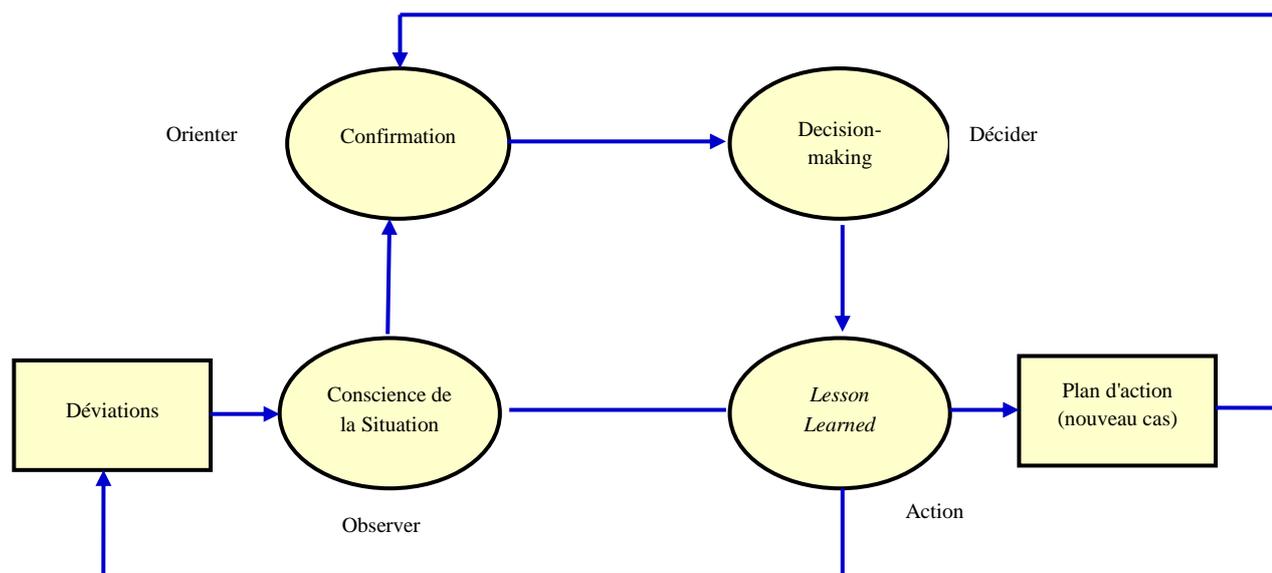


Figure III.1. : Boucle de décision des déviations de système proposée.

III.4.2. Mise en œuvre de la démarche

Une déviation du système se traduit par une information qui donne une représentation de la situation existante (activation du système d'alarme). Les données reçues sont comparées à une base de données existante pour évaluer si les alarmes sont vraies ou fausses. Toutes les déviations du système sont évaluées simultanément en parallèle. Les résultats du processus d'orientation ordonnent la prise de décision (figure III.1). Toutes les déviations enregistrées du système doivent être traitées, partagées, enregistrées et apprises. Ces nouvelles déviations

survenues dans le système doivent être enregistrées dans la base de données existante du processus d'orientation.

Les acronymes dédiés à la théorie selon le scénario étudié sont développés comme suit:

- a. **Observer:** cela correspond à la collecte des informations requises relatives à la déviation du système. Les alarmes locales, générales et de sécurité ont été prises en compte dans cette étude.
- b. **Orienter:** à ce niveau, le personnel de *sharp-end* est orienté vers la recherche de causes et menaces potentielles pour une comparaison et une classification possible de l'occurrence et de l'activation de l'alarme (locale, générale et de sécurité) par rapport aux cas précédemment identifiés. La classification et la confirmation est basée sur deux critères: les causes de systèmes et les causes immédiates (HSE, 2018). Il a été démontré que plusieurs causes courantes impliquées dans les fausses alarmes telles que des alarmes mal conçues, des équipements mal calibrés, des oscillations en général, des changements d'état lors de l'allumage / extinction ne sont pas prises en compte. Egalement, le bruit et / ou les valeurs aberrantes ne sont pas pris en compte (Peco Chacón et García Márquez, 2019).

Les critères suivants ont été dérivés du traitement statistique des alarmes survenues de l'installation étudiée (tableau III.3). En revanche, le personnel de *sharp-end* doit orienter la déviation en fonction de ces critères :

- Type des alarmes survenues (général/local): le personnel en charge de l'opération doit identifier la source des déviations survenues et donc la classer en alarme locale, par exemple : machines, zone et/ou alarme générale, par ex. train, installation.
- Zone/section/machine: une fois le type d'alarme identifié, la personne doit procéder à un classement approfondi de l'alarme pour détecter la source de l'alarme.
- En rapport avec le travail (y a-t-il des activités en cours dans la zone de travail?): À ce niveau, une enquête sur l'ensemble des autorisations de travail approuvés et même des activités de travail non autorisées sur le site doit être effectuée.
- Isolement/inhibition du système (s'effectue-t-il correctement?): Procéder à la vérification du registre d'isolation et d'inhibition pour confirmer si l'isolation et / ou l'inhibition ont été effectuées conformément aux procédures opératoires normales.

- Équipement défectueux (provient-il d'un équipement / d'une machine défectueux connu?): Confirmer si l'alarme qui s'est produite est générée à partir d'un équipement défectueux connu.
 - Activation du système instrumenté de sécurité (est-il activé?): le processus de confirmation exigeait aussi la réponse à cette question : y a-t-il une activation d'un système instrumenté de sécurité?
 - Alarme répétitive (s'agit-il d'une alarme connue et répétitive?): Lors d'un processus de révision pour classer l'alarme intempestive, le personnel de *sharp-end* doit comparer l'alarme survenue aux alarmes survenues précédemment.
 - Alarmes de sûreté (s'agit-il d'un événement de sécurité?): une fois que l'alarme entrante est liée à un événement de sûreté, le cas doit être traité comme un cas réel jusqu'à confirmation/affirmation par les autorités autorisées, le cas doit être enregistré dans la base de données.
 - Source inconnue : si l'alarme générée est inconnue et que le processus de confirmation peut prendre un temps considérable, l'alarme doit être considérée comme réelle. A ce niveau, la procédure d'urgence doit être mise en œuvre.
 - Confirmation visuelle (existe-t-il une confirmation visuelle?): Une fois que toutes les étapes précédentes sont terminées, une confirmation visuelle par un opérateur compétent ou une caméra de vidéosurveillance doit être effectuée avant la prise de décision.
- c. Décider:** Le personnel de *sharp-end* décidera en fonction du résultat de l'étape "*orient*", par conséquent, une classification de la déviation comme alarme réelle (sûreté, locale, générale) ou fausse alarme (sûreté, locale, générale).
- d. Act:** Agir en fonction du résultat du niveau décisionnel, enregistrer, apprendre, partager le cas et préparer un plan d'action.

Les fragments du réseau de classification qui déterminent les probabilités d'alarme déclenchée sont illustrés dans la figure III.2 ci-dessous. Le processus de classification et de confirmation des alarmes survenues a été mis en œuvre par des réseaux bayésiens.

III.4.3. Résultats

L'identification est effectuée sur la base du processus de confirmation / classification, plus particulièrement par le biais des causes du système et des causes immédiates (HSE Matrix, 2018). Les données de probabilités avec l'incertitude associées à des éléments du système considéré sont données dans le tableau III.4 suivant (Chen, 2010; HSE, 2019; QRA, 2010).

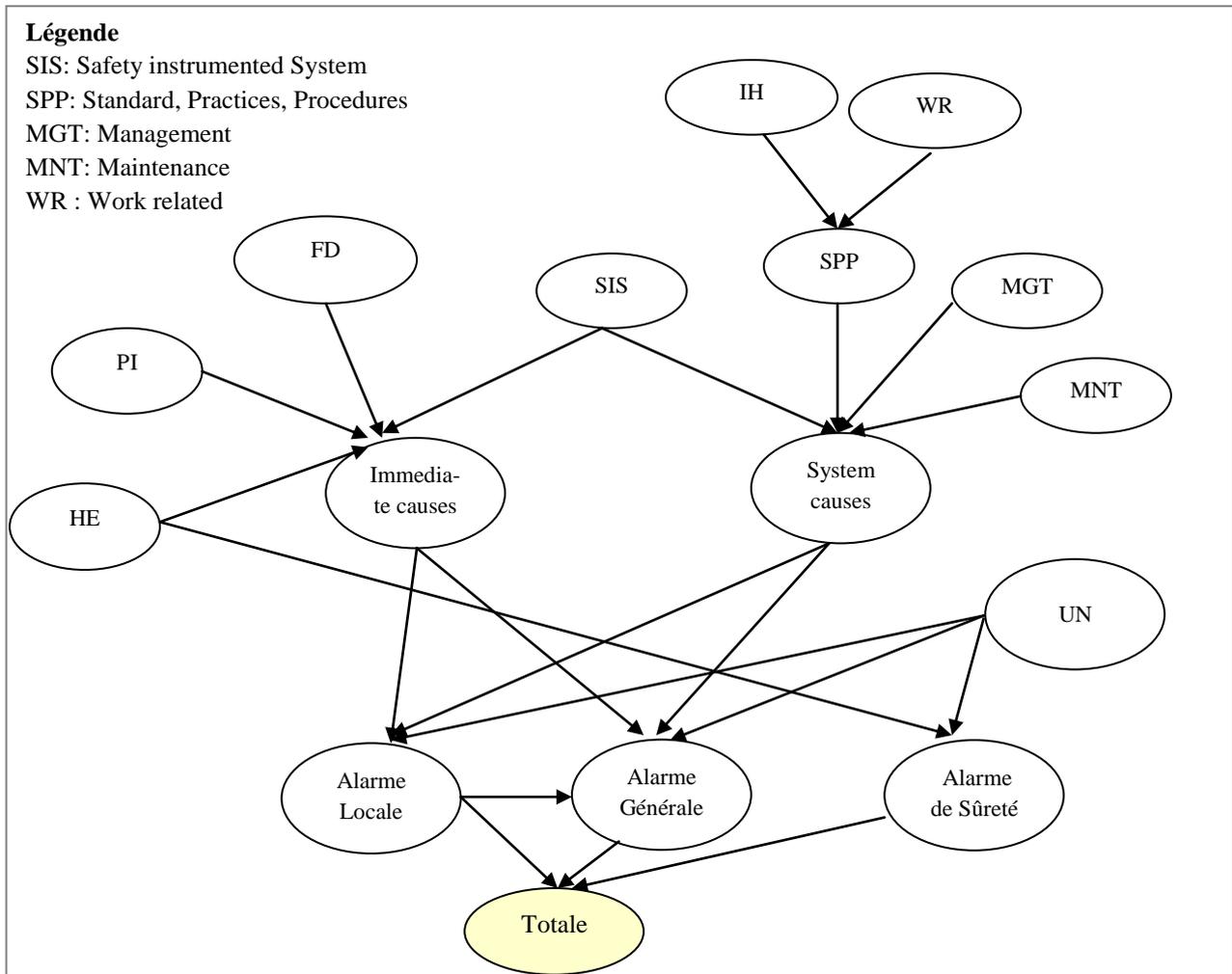


Figure III.2: Réseau bayésien des causes d'occurrences d'alarmes.

Tableau III.4. : Distributions de probabilités

Element	Distribution
HE (Human error)	$\text{Gam}^1 (4.94\text{E-}1, 4.94)$
PI (Panel Issue)	$\text{Bet}^2 (3.20\text{E-}1, 2.29\text{E}5)$
FD (Fault detectors)	$\text{LogN}^3 (-5.11, 1.003)$
IH (Inhibition)	$\text{Unif}^4 (1\text{E-}3, 0.01)$

Element	Distribution
WR (Work related)	Unif ⁴ (8E-4, 2E-2)
MGT (Management)	Unif ⁴ (4E-4, 1E-2)
MNT (Maintenance)	Bet ² (1.26E-1, 4.13E4)
UN (Unknown)	Unif ⁴ (4E-1, 6E-1)
SIS (Safety Instrumented system)	LogN ³ (-5.19, 0.389)

1. Gamma, 2. Beta, 3. Log-normal, 4. Uniform.

Rappelons que les données utilisées suscitent quelques commentaires :

- ✚ *Probabilité de défaillance de l'opération de maintenance (MNT):* les valeurs du tableau III.4 supposent une occupation à l'emplacement spécifié de 100%, calculée en supposant que la personne la plus exposée est présente trois mois sur quatre et reste à l'intérieur de l'établissement 12 heures par jour.
- ✚ *Probabilité de défaillance de management (MNGT):* qui considère seulement l'échec au niveau de la gestion des systèmes d'alarmes données (échec de la cellule de gestion de crises).

A partir de ces données, nous avons obtenus les résultats suivants (tableaux III.5 et III.6) en générant 1E6 échantillons.

Tableau III.5. : Résultats obtenus sans prise en compte de l'alarme inconnue

	Moyenne (μ)	Pourcentage		Ecart type (σ)
		5%	95%	
Totale	1.33E-1	2.96E-2	4.23E-1	1.36E-1
Alarme locale	1.33E-1	2.96E-2	4.23E-1	1.36E-1
Alarme générale	1.33E-1	2.96E-2	4.23E-1	1.36E-1
Alarme de sûreté	1.00E-1	3.87E-4	4.02E-1	1.40E-1

Tableau III.6. : Résultats obtenus avec prise en compte de l'alarme inconnue

	Moyenne (μ)	Pourcentage		Ecart type (σ)
		5%	95%	
Totale	5.66E-1	4.48E-1	7.16E-1	8.44E-2
Alarme locale	5.66E-1	4.48E-1	7.16E-1	8.44E-2
Alarme générale	5.66E-1	4.48E-1	7.16E-1	8.44E-2
Alarme de sûreté	5.50E-1	4.27E-1	7.00E-1	8.73E-2

III.4.4. Discussions des résultats

Fondamentalement, un petit écart-type signifie que les valeurs d'un ensemble de données statistiques sont proches de la moyenne de l'ensemble de données, en moyenne, et un écart-type important signifie que les valeurs de l'ensemble de données sont plus éloignées de la moyenne, en moyenne. L'écart type obtenu dans le tableau III.5 est relativement grand par rapport au tableau III.6. Cette variation peut être interprétée par la dispersion des données (figure III.3).

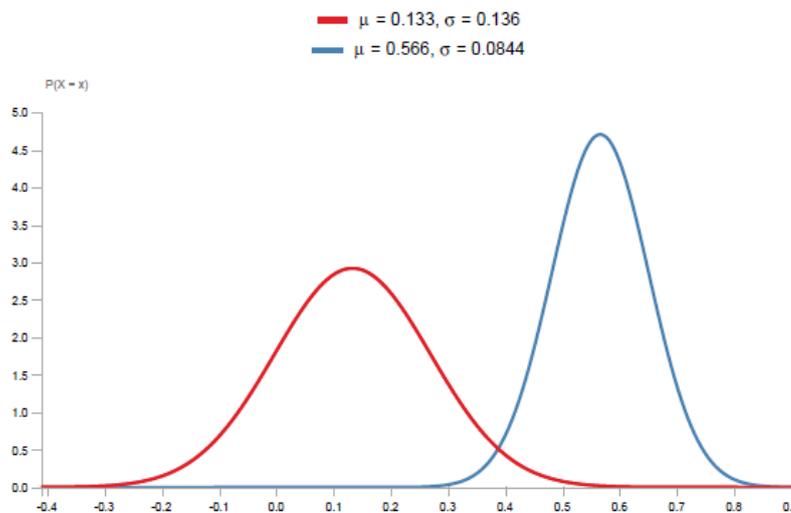


Figure III.3: Densités de probabilité

Les résultats obtenus montrent clairement la variation entre les deux distributions de probabilités représentées dans la figure ci-dessus. La réduction des écarts-types compte tenu de l'alarme inconnue survenue est affectée par la contribution des données enregistrées (causes). En d'autres termes, la valeur attribuée à l'événement inconnu est 0.5 (Loi Uniforme: 0.4-0.6) a donné une valeur de 0.566 de l'événement sommet (alarme totale). En effet; nous sommes à 56,6% de certitude que cet événement inconnu est une fausse alarme.

Dans ce scénario, nous avons à priori une connaissance du type d'alarme survenue et de la situation critique. Cette confirmation peut être validée par l'utilisation d'un outil spécifique de confirmation et de classification pour une plage plus large.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une boucle OODA modélisée par les réseaux bayésiens pour la confirmation et la classification du système d'alarmes d'une installation industrielle. L'incertitude associée au modèle a également été prise en compte par différentes lois. Cette mise en place d'un modèle de probabilité signifie que les phénomènes étudiés doivent être bien compris. Nous rappelons que la boucle OODA est une théorie simple et qu'elle présente un avantage, en particulier lorsque le personnel d'exploitation est au courant de la situation et a suivi une formation dans la matière. La boucle fournit une rétroaction immédiate tout au long du processus de prise de décision.

Le modèle a montré que toutes les informations associées aux données d'alarme survenues étaient collectées. Comme les déviations de système, les entrées peuvent conduire à une confirmation, une classification et une identification incorrectes, donc à une prise de décision inappropriée. Dans le cas étudié, une déviation du système peut être identifiée, confirmée et classée comme une alarme «fausse» ou «réelle» pendant une courte période, puis le même processus sera répété. En bref, le système lui-même a en mémoire les conclusions tirées précédemment (les derniers résultats doivent être enregistrés dans le système).

Une application numérique du modèle montre que le modèle de classification peut déduire la décision correcte si suffisamment d'informations sont disponibles. Les limitations du modèle sont liées à la «qualité» de l'opérateur humain lui-même (facteur de confirmation), le temps de réaction constituerait un facteur très difficile s'il n'était pas bien géré.

Un complément de l'idée développée dans ce chapitre fera l'objet du chapitre suivant.

Références bibliographiques

- Amsden, N.D., and Shashidhar, N.K. (2012):** 'Managing Software Development Risk with the OODA Loop'. *International Journal of Soft Computing and Software Engineering*, Vol.2, No.7, pp. 1-8
- Aven, T. (2016):** 'Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation'. *European Journal of Operational Research*, Vol. 253, No. 1, pp. 1–13
- Aven, T., and Zio, E. (2011),** 'Some considerations on the treatment of uncertainties in risk assessment for practical decision making'. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 96, No. 1, pp. 64–74.
- Azuma, R., Daily, M., Furmanski, C. (2006):** 'A Review of Time Critical Decision Making Models and Human Cognitive Processes'. *IEEE Aerospace Conference*, 4-11 March, Big Sky, MT, USA
- Boyd, J. R. (1976):** 'Destruction and Creation', U.S. Army Command and General Staff College, disponible sur: http://www.goalsys.com/books/documents/DESTRUCTION_AND_CREATION.pdf , dernier accès: décembre 2019.
- Bayes, T. (1763):** 'An essay towards solving a problem in the doctrine of chances'. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol. 53, pp. 370–418.
- Bolsover, A., and Falck A. (2014):** 'Real-time risk assessment and decision support using Bayesian networks'. *Symposium series no 159 Hazards 24, IChemE, NY, USA*
- Bou Nader, R. (2018):** 'Modélisation du management des risques industriels et de la responsabilité sociale des entreprises : Cas des entreprises libanaises'. Thèse de doctorat en Gestion et management. Université de Toulon; Université Saint-Joseph (Beyrouth), 2017. Français.
- Breton, R., and Rousseau R. (2005):** 'The C-OODA: a cognitive version of the OODA loop to represent command and control activities'. 10th International Command and Control Research and Technology Symposium the Future of C², 13-16 June 2005, MacLean, Virginia, USA
- Breton, R. and Rousseau, R. (2003):** 'Modelling approach for Team Decision Making'. Defence R&D Canada – Valcartier, TR 2003-368, 59 pages.
- Carey, M.S. (2000):** 'Human factors in the design of safety-related systems'. *Computing and Control Engineering Journal*. Vol. 11, No.1, pp. 28–32.
- Chebila, M., (2018):** 'Bayesian Networks for Frequency Analysis in Dependability'. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 18, N° 3, pp. 538–544
- Chen, T. (2010),** 'On reducing false alarms in multivariate statistical process control', *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 88, No. 4, pp. 430–436.
- Cox, L.A. (T) (2012):** 'Confronting deep uncertainties in risk analysis'. *Risk Analysis*, Vol. 32, No. 10, pp. 1607–1629.
- Dubois, D., Liu, W., Ma J. and Prade, H. (2016):** 'The basic principles of uncertain information fusion. An organised review of merging rules in different representation frameworks'. *Information Fusion*, Vol. 32, pp. 12-39.

Endsley, M.R., (2006): 'Situation awareness, In: Salvendy, G. (Ed.)', *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. John Wiley and Sons, pp. 528–542.

Endsley, M.R., (1995): 'Toward a theory of situation awareness in dynamic systems'. *Human Factors*, Vol. 37, No. 1, pp. 32-64.

Flage, R., Aven, T., Baraldi, P., and Zio, E. (2014): 'Concerns, challenges and directions of development for the issue of representing uncertainty in risk assessment'. *Risk Analysis*, Vol. 34, No. 7, pp. 1196–1207

Fenton, N. and Neil, M. (2018): 'Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks'. 2nd Edition, Chapman and Hall/CRC, 660 pages, NY

Grant, T. (2009): *Towards mixed rational-naturalistic decision support for Command & Control, Proceedings of the 6th International ISCRAM Conference – Gothenburg, Sweden, J. Landgren and S. Jul, eds.*

Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezolkotob, A., and Raissi, S. (2019). 'Uncertain multi-objective multi-commodity multi-period multi-vehicle location-allocation model for earthquake evacuation planning'. *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 350, pp. 105–132.

HSE (2019): 'Control systems'. Health and Safety Executive, Download from: <http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeascontsyst.htm#fivec9e460>, dernier accès: décembre 2019

HSE (2018): 'Better alarm handling'. *Health and safety executive*, download from: <http://www.hse.gov.uk/pubns/chis6.pdf>, dernier accès : octobre 2018

Huang, Y. (2015): 'Modeling and simulation method of the emergency response systems based on OODA'. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 89, pp. 527–540.

Khan, F.I, Rehan, S. and Tahir, H. (2002): 'Risk-based process safety assessment and control measures design for offshore process facilities'. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 94, No.1, pp. 1–36.

Lempert, R.J., Steven, W., Popper, Steven, C.B. (2003): 'Shaping the Next One Hundred Years, New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis', The Rand Paradee Center, California, USA.

Luís Eduardo Pombo Celles Cordeiro (2018): Cycle OODA X PDCA Cycle in the decision Making Process, *Preprint*, DOI: [10.13140/RG.2.2.21416.42240](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21416.42240)

Macdonald, D. (2004): 'Practical Hazops, Trips and Alarms'. 1st Ed., Newnes.

Mechri, W., Snene, W., and Ben Othman, K. (2018): 'Bayesian networks and probability boxes to model uncertainty in unavailability assessment'. *International Journal of Reliability and Safety*, Vol.12 No.3, pp.261-278.

Naderpour, M., Lu, J. and Zhang, G. (2016): 'A Safety- Critical Decision Support System Evaluation Using Situation Awareness and Workload Measures'. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 150, pp. 147-159.

Naderpour, M., Lu, J. and Zhang, G. (2014): 'A situation risk awareness approach for process systems safety'. *Safety sciences*, Vol. 64, pp. 173-189.

Naïm, P., Wuillemin, P.H., Leray, P., Pourret, O., and Becker, A. (2004): 'Réseaux bayésiens'. Groupe Eyrolles, 426 pages, ISBN : 2-212-1137-1

Omarova, A., Ireland, V., and Gorod, A. (2012): 'An Alternative Approach to Identifying and Appraising Adaptive Loops in Complex Organizations'. *Procedia Computer Science*, Vol.12, pp. 56–62.

Ouazraoui, N. (2014): Application des Techniques de l'Intelligence Artificielle aux Problèmes de Gestion des Risques Industriels. Thèse de doctorat, Institut d'hygiène et sécurité, université de Batna.

Peco Chacón, A.M., and García Márquez, F.P. (2019): 'False Alarms Management by Data Science'. *Data Science and Digital Business*, pp. 301–316, Springer, Cham.

QRA, 2010: *Evaluation of In Amenas CPF Explosion Risks, Report no/DNV Reg No.: 1/ 12JEZRS-4, Company internal document.*

SI MOHAMMED, A. (2015) : Propagation d'incertitude et analyse de sensibilité dans l'évaluation des performances des systèmes instrumentés de sécurité à l'aide de l'outil SIMLAB. Mémoire de Magistère, Institut d'hygiène et sécurité, université de Batna.

Sneddon, A., Mearns, K. and Flin, R. (2013): 'Stress, fatigue, situation awareness and safety in offshore drilling crews'. *Safety sciences*, Vol.56, pp. 80–88.

Ullman, D.G. (2007): 'OO-OO-OO!' The sound of a broken OODA Loop'. *Journal of Defense Software Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 22-25.

Xu, W. and Yanyan, H. (2018): 'Modeling of emergency response system on urban water logging disaster based on OODA loop'. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, Vol. 42, No. 2, pp. 234-242.

Yang, X. and Haugen, S. (2015): 'Classification of risk to support decision-making in hazardous processes'. *Safety Sciences*, Vol. 80, pp. 115–126.

Zarei, E., Khakzad, N., Cozzani, V., & Reniers, G. (2019): 'Safety analysis of process systems using Fuzzy Bayesian Network (FBN)'. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 57, pp. 7-16.

Chapitre IV:

Modèle de prise de décision sous incertitude relatif aux systèmes d'alarme industriels¹³

Résumé:

Ce chapitre propose un processus d'analyse hiérarchique flou développé pour traiter la prise de décision dans un environnement dynamique où la réaction nécessaire est relativement limitée ; en considérant trois alternatives possibles et quatre critères avec l'utilisation des nombres flous triangulaires pour gérer l'incertitude associée aux jugements impliqués. Une méthode de priorité non linéaire basée sur la programmation des préférences logarithmiques floues est utilisée pour analyser le modèle suggéré de manière hâtive. La validation d'une telle approche est effectuée à travers une situation réelle liée à une alarme de gaz inflammable dans une usine à gaz afin de vérifier et de souligner son éventuelle flexibilité et son efficacité.

¹³ Le contenu de ce chapitre a fait l'objet d'une publication internationale:

Si Mohammed, A., Smail, R. and Chebila, M. (2019), "Decision making under uncertainty in the alarm systems response", *International Journal of Quality & Reliability Management*, <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2019-0078>

Introduction

Les systèmes d'alarme sont considérés comme l'un des principaux types de barrières de sécurité. Ils peuvent jouer plusieurs rôles, à savoir : la mesure de sauvegarde et la mesure de surveillance.

Les fausses alarmes constituent un domaine de recherche important du point de vue académique et industriel. De nombreuses méthodes de détection et de contrôle ont été conçues et développées pour la détection des ces défauts. Certains systèmes peuvent être hiérarchisés en fonction de la gravité de l'alarme.

Dans ce chapitre, une approche du processus décisionnel associée à la réponse aux alarmes critiques a été proposée. Son but est de mener une analyse du risque permettant d'évaluer l'importance de chaque possibilité sur la base d'une définition rationnelle des priorités cruciales.

En effet, l'objectif de cette partie est de fournir un appui rationnel, simple et global à la prise de décision dans les situations d'urgences dont l'information qu'on dispose est incertaine (cas d'alarme générale feu et gaz d'un complexe industriel). Pour atteindre cet objectif, il est essentiel de garder les procédures opérationnelles aussi simples que possible pour faire face aux situations d'urgences et pour tenir en compte des différents objectifs, exigences et risques, en plus de l'expression claire de l'incertitude associée aux arrêts et aux missions en suspens.

IV.1. Etat de l'art

Un système d'alarme est un ensemble de matériel et de logiciels qui détecte un état de défaillance et communique l'indication de cet état aux opérateurs tout en enregistrant les modifications de l'état d'alarme (ANSI/ISA-18.2, 2009). D'autant plus, Peco Chacón et García Márquez, (2019) ont également défini les alarmes comme:

- Une fausse alarme est déclenchée lorsqu'il n'y a pas d'anomalie dans le système ;
- Une alarme intempestive se produit lorsqu'elle est vraie mais redondante, c'est-à-dire que l'opérateur reçoit plusieurs alertes à propos de cette alarme ;
- Une alarme manquée est l'opposé d'une fausse alarme. Elle se produit lorsqu'il y a une défaillance dans le système et qu'aucune alarme n'a pas été activée ;

- A *chattering alarm* effectue de nombreuses transitions entre les états « normal et anormal », elle franchit en permanence les seuils d'alarme. On rappelle que *chattering alarm* est une alarme qui se répète plus de 3 fois par minute (ANSI/ISA-18.2, 2009).

Du point de vue de la sécurité, les fausses alarmes contribuent inévitablement à affaiblir l'efficacité et la fiabilité du système d'alarme et, comme souligné dans (Soares et al., 2016), les exploitants peuvent ignorer une alarme réelle parmi des nombreuses intempestives déclenchements des fausses alarmes. On peut trouver des traces de l'impact de telles défaillances dans l'accident de la centrale nucléaire de *Three Mile Island* en 1979, du désastre de *BP* au Texas en 2005, etc (plus de détails : chapitre 1, pp 7-10).

L'impact économique de la mauvaise gestion des alarmes est incontestable. En effet, Stauffer et al., (2010) montrent comme l'une des principales causes des temps d'arrêt imprévus, contribuant à plus de 20 milliards de dollars en pertes de production chaque année, plus spécifiquement, l'entreprise américaine perd 13 milliards de dollars par an en raison de la gestion inappropriée des alarmes (Peco Chacón et García Márquez, 2019). Un essai de classification des alarmes en fonction d'heure d'appariation et secteur d'activité a été effectué dans une étude sur 39 installations industrielles américaines. Le résumé de cette étude est illustré dans le tableau IV.1. D'autres statistiques et études associées peuvent être trouvées dans (Goel et al., 2017).

Table IV.1. Mesures de performance du système d'alarme industrie (Rothenberg, 2009)

	EEMUA	Pétrole / Gaz	Pétrochimique	Energie	Autre
Alarmes moyennes par jour	144	1200	1500	2000	900
Peak alarms par 10mn	10	50	100	65	35
Alarmes moyennes par 10mn	1	6	9	8	5

Plusieurs normes et directives ont été élaborées pour traiter la gestion des alarmes, telles que (EEMUA-191, 1999), qui a été mis à jour en 2016 et prévoit des exigences pour le développement, la conception, l'installation et la gestion de systèmes d'alarme dans les installations industrielles. Dans le même contexte, la norme internationale (IEC-62682, 2014) spécifie les principes généraux et les processus de la gestion du cycle de vie des systèmes d'alarme dans les installations industrielles. En effet, lorsque une alarme est déclenchée, l'opérateur doit la reconnaître, la comprendre et en connaître la cause afin d'évaluer sa signification et d'agir pour ramener l'opération à son état normal. Selon le Standard EEMUA-

199 : « pour qu'un opérateur réponde correctement à une alarme, il doit y consacrer 10 minutes », par exemple, il ne doit pas recevoir plus de 6 alarmes par heure pour un fonctionnement cohérent du système.

Plusieurs chercheurs ont abordé davantage le problème des fausses alarmes et les alarmes intempestives dont l'occurrence provienne de différentes sources. Par exemple, l'approche statistique proposée dans (Chen, 2010) qui consiste à réduire les fausses alarmes dans le contrôle statistique multi-varié des processus en se concentrant sur celles induites par des effets aléatoires qui conformes aux distributions de Bernoulli et par la suite la résolution par les distributions Binomial.

Une application à long terme d'un protocole de gestion des alarmes est proposée dans (Soares et *al.*, 2016) sur la base de la priorisation des alarmes à trois grandes usines de traitement du gaz naturel avec une étude des avantages possibles de l'utilisation de nombreuses techniques d'analyses de corrélation pour réduire le nombre des alarmes. Une nouvelle mesure de la résilience est suggérée dans (Yoon et *al.*, 2017), qui prend en compte le taux des fausses alarmes et la fiabilité et la formulée dans un cadre probabiliste. Une matrice de confusion est proposée dans (Landgrebe et Duin, 2008) pour visualiser les fausses alarmes par opposition aux alarmes manquées, cette visualisation détermine si la valeur fournie par le système d'alarme correspond à la valeur réelle.

IV.2. Analyse d'incertitude et Gestion des risques

La nécessité de prise en compte des incertitudes dans la prise de décision a été argumenté par (Aven et Zio, 2011) par la raison des défis liés au traitement des incertitudes dans l'évaluation des risques utilisés dans des situations pratiques de prise de décision concernant des technologies à fortes conséquences comme les activités pétrolières et gazières. Une grande partie des sources et des types d'incertitude rencontrées lors de l'analyse de la sécurité des installation industrielle, ainsi que les méthodes permettant de les traiter, sont présentées dans (Markowski et *al.*, 2010). Parmi ces sources, celle liée à une identification incomplète et incertaine du scénario représentatif de l'accident et à d'autres informations vagues et ambiguës nécessaires à l'évaluation d'éléments de risque particuliers, notamment pour déterminer la fréquence et la gravité des conséquences d'accident.

Des exemples d'approches alternatives existantes pour représenter et décrire les incertitudes dans les évaluations de risques sont rappelés ci-après :

- ✓ Évaluation probabiliste (Apostolakis, 1990);
- ✓ Théorie de Dempster et Shafer (Shafer, 1976);
- ✓ Théorie de la possibilité (Dubois, 2006);
- ✓ Théorie de la logique floue (Zadeh, 1965);
- ✓ Diagrammes de risque (Goerlandt et Reniers, 2016).

L'analyse probabiliste et même l'évaluation quantitative des risques ont été largement utilisées comme base de l'évaluation des risques, ce qui remettrait en question l'analyse des risques et des incertitudes, la mauvaise connaissance du problème des risques à conséquences élevées (Karanki et *al.*, 2009). Les informations disponibles ne fournissent pas une base solide pour une affectation de probabilité spécifique qui a conduit à l'insatisfaction du décideur de l'évaluation de la probabilité fondée sur des jugements subjectifs faites par un groupe d'analystes. À ce niveau, les décideurs recherchent une protection supplémentaire en ajoutant des conservatismes et en appliquant les méthodes traditionnelles de «défense en profondeur» afin de dissiper les incertitudes (Aven et Zio, 2011).

IV.3. Processus d'Analyse Hiérarchique

Nous rappelons, qu'en références aux avantages de l'AHP évoqués dans le chapitre précédent (chapitre II, section II.4.3), elle sera retenue dans la section suivante.

En outre, son concept de base est d'atteindre un objectif spécifique en choisissant la meilleure solution parmi un ensemble d'alternatives disponibles, comparées les unes aux autres en fonction de plusieurs critères basés sur un formalisme simple, à la fois rationnel et intuitif. La procédure d'exploitation de l'AHP est représentée dans la figure IV.1.

Comme règle générale, l'AHP génère un poids pour chaque critère d'évaluation selon les comparaisons deux à deux (*pairwise comparisons*). Plus le poids est grand, plus le critère est important. Ensuite, pour un critère fixe, l'AHP attribue un score (tableau IV.2 de la page suivante) à chaque alternative en fonction de comparaisons deux à deux du décideur ; les alternatives sont fondées sur ce critère. Plus le score est élevé, la performance d'alternative est meilleure par rapport au critère considéré. Enfin, l'AHP combine les poids de critères et les scores des alternatives, déterminant ainsi un score global pour chaque option, et un classement qui en résulte. Le score global pour une option donnée est une somme pondérée des scores qu'il a obtenus à l'égard de tous les critères. Les comparaisons deux à deux sont présentées comme des matrices carrées dont les éléments diagonaux sont égaux à l'unité.

Table IV.2. Echelle fondamentale de AHP, adaptée de (Saaty et al., 2012)

Degrés d'importance	Définition	Explications
1	Importance égale	Deux entités contribuent de manière égale ou presque à la réalisation de l'objectif.
2	Importance faible	
3	Importance modérée	
4	Importance plus que modérée	L'expérience et le jugement favorisent légèrement une entité sur l'autre.
5	Importance forte	L'expérience et le jugement favorisent fortement une entité sur l'autre.
6	Importance plus que forte	
7	Importance très fortement demandée	Une entité est favorisée très fortement sur une autre ; sa dominance est démontrée en pratique.
8	Importance très, très forte	
9	Importance extrême	L'évidence favorisant une entité sur l'autre est hautement probable

Toutefois, en raison de l'incertitude et de l'imprécision pratiquement reconnues et associées à ces jugements, plusieurs tentatives ont été faites dans le but de traiter cette optique. L'une des solutions largement utilisées consiste à remplacer les valeurs nettes par des nombres triangulaires flous définis par le triplet (l, m, u) pour exprimer l'incertitude du décideur quant à l'importance d'un facteur donné sur un autre.

Par conséquent, la matrice de comparaison peut être écrite comme suit :

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \cdots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & 1 & \cdots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Avec, n : nombre de facteurs impliqués et $l_{ij} = 1/u_{ji}$, $m_{ij} = 1/m_{ji}$, $u_{ij} = 1/l_{ji}$. l_{ij} et u_{ij} représentant les bornes inférieures et supérieures, respectivement, alors que m_{ji} représente l'estimation la plus probable.

Afin d'extraire les poids associés à ces matrices de comparaison deux à deux floues, plusieurs méthodes peuvent être utilisées, parmi lesquelles la méthode de priorité non linéaire basée sur la programmation des préférences logarithmiques floues (LFPP : *logarithmic fuzzy preference programming*), cette méthode a été proposée et détaillée dans (Wang et Chin, 2011). Les avantages de cette développement peuvent être résumé en trois points essentiels (Ge et al., 2017) : (a) une meilleure modélisation de l'incertitude, de l'imprécision et de l'incohérence associées au processus de comparaison par paires, (b) cognitivement moins exigeant sur la prise de décision, et, (c) prise en compte adéquate de l'attitude du décideur à l'égard du risque et de son degré de confiance dans les évaluations subjectives.

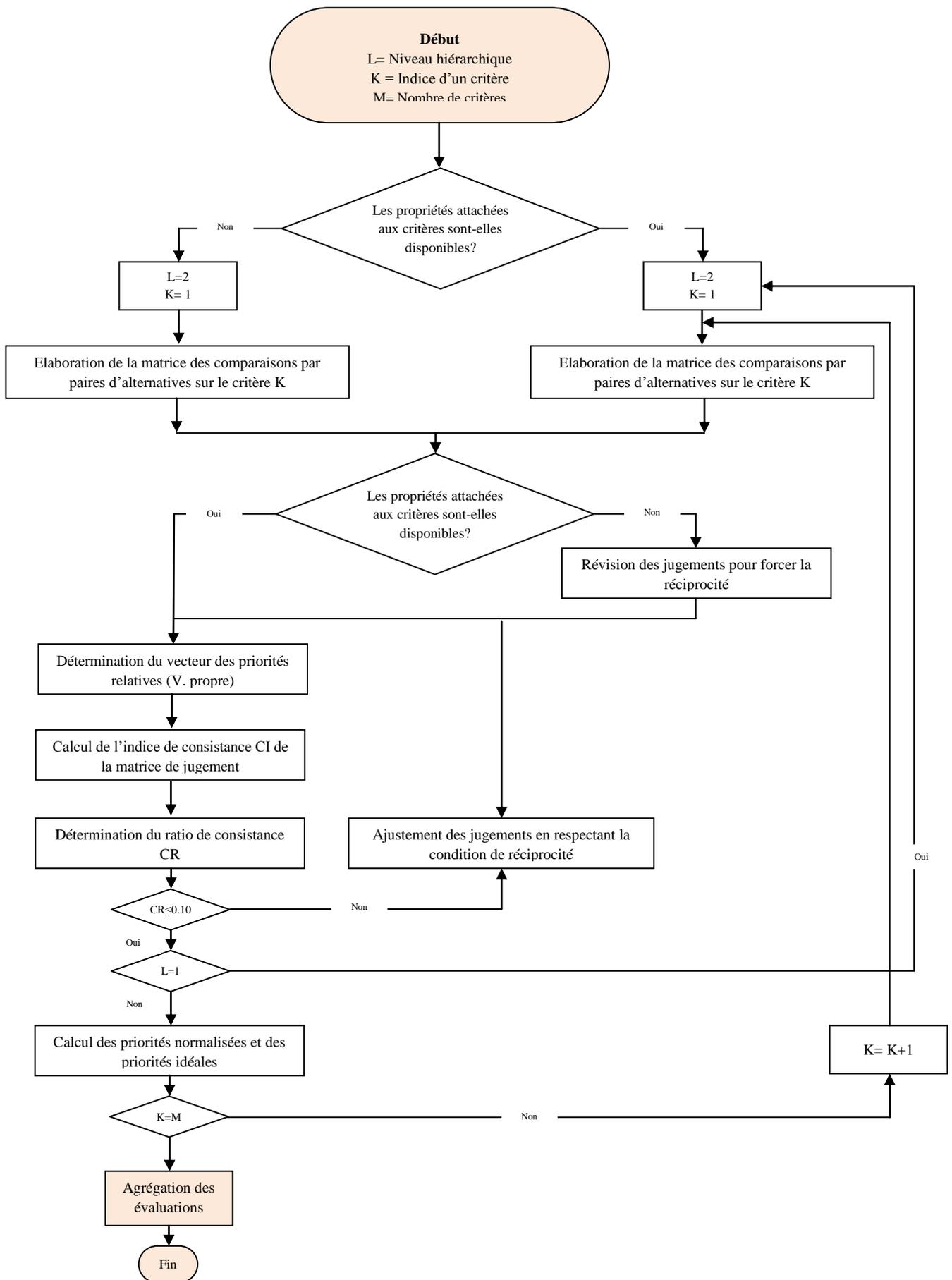


Figure IV.1 : Diagramme logique d'exploitation d'AHP (Louafa et Perret, 2008).

Le modèle LFPP développé est formalisé comme suit:

$$\text{Minimiser } J = (1 - \lambda)^2 + M \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2)$$

$$\text{Sous réserve } \begin{cases} x_i - x_j - \lambda \ln\left(\frac{m_{ij}}{l_{ij}}\right) + \delta_{ij} \geq \ln l_{ij}, & i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \\ -x_i + x_j - \lambda \ln\left(\frac{m_{ij}}{l_{ij}}\right) + \eta_{ij} \geq -\ln u_{ij}, & i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \\ \lambda, x_i \geq 0, & i = 1, \dots, n \\ \delta_{ij}, \eta_{ij} \geq 0, & i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

Avec, $x_i = \ln w_i$ pour $i = 1, \dots, n$;

λ : Degré d'adhésion minimum (*minimum membership degree*)

M est une constante spécifiée, tel que $M = 10^3$;

δ_{ij} et η_{ij} sont des variables d'écart non négatives pour $i = 1, \dots, n-1$ et $j = i+1, \dots, n$.

En outre, les poids normalisés peuvent être calculés comme suit :

$$w_i^* = \frac{e^{x_i^*}}{\sum_{j=1}^n e^{x_j^*}} \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

IV.4. Implémentation d'AHP dans un contexte industriel

Dans cette partie, nous proposons un processus de prise de décision comme montré dans la figure IV.2. L'objectif de ce processus est de traiter les problèmes liés à l'occurrence de plusieurs et répétitives alarmes d'incendie dans un système industriel d'une manière appropriée à travers la comparaison des différentes alternatives envisagées.

IV.4.1. Alternatives de comparaisons

- a. **Réaction immédiate (I)**: ce choix suppose la fiabilité totale de l'alarme, ce qui peut minimiser ou même éviter les effets négatifs de sa cause et donner le temps nécessaire pour traiter de manière appropriée la situation dans son ensemble, le cas échéant. Dans le cas contraire, cela peut entraîner des pertes économiques importantes et des problèmes techniques en plus de la réduction de la fiabilité du système d'alarme, ce qui peut affecter la sécurité de l'installation elle-même.

b. Ignorer l'alarme (Disregard, D): cette option consiste à contourner le système d'alarme (*bypasse*) pour éviter toute perturbation éventuelle dans le système d'exploitation. L'ignorance des alarmes peut être fait en supposant que :

- son activation est intempestive ;
- son origine ayant des impacts négligeables (causes négligeables).

Les restrictions et le degré de risque associés à un tel choix ne peut pas éliminer son existence réelle.

c. Confirmation (C): cette alternative est largement utilisée lorsqu'elle est possible de trouver un équilibre entre les deux autres extrémités (**I** et **D**) en ajoutant donc, un élément de confirmation de nature différente au système d'alarme. Cette confirmation est généralement effectuée physiquement à l'aide de la vérification visuelle d'un opérateur humain. Le biais de confirmation décrit la tendance à collecter des informations redondantes cherchant à confirmer une hypothèse existante au lieu d'obtenir des études qui la différencient des possibilités concurrentes. Ce facteur de confirmation est surtout utilisé dans les services d'urgence hôpitaux (Lighthall et Vazquez-Guillamet, 2015).

En effet, les avantages et les inconvénients de ce choix se combinent celles de la réaction immédiate et de l'ignorance de l'alarme avec une spécificité supplémentaire liée à l'implication du facteur de confirmation.

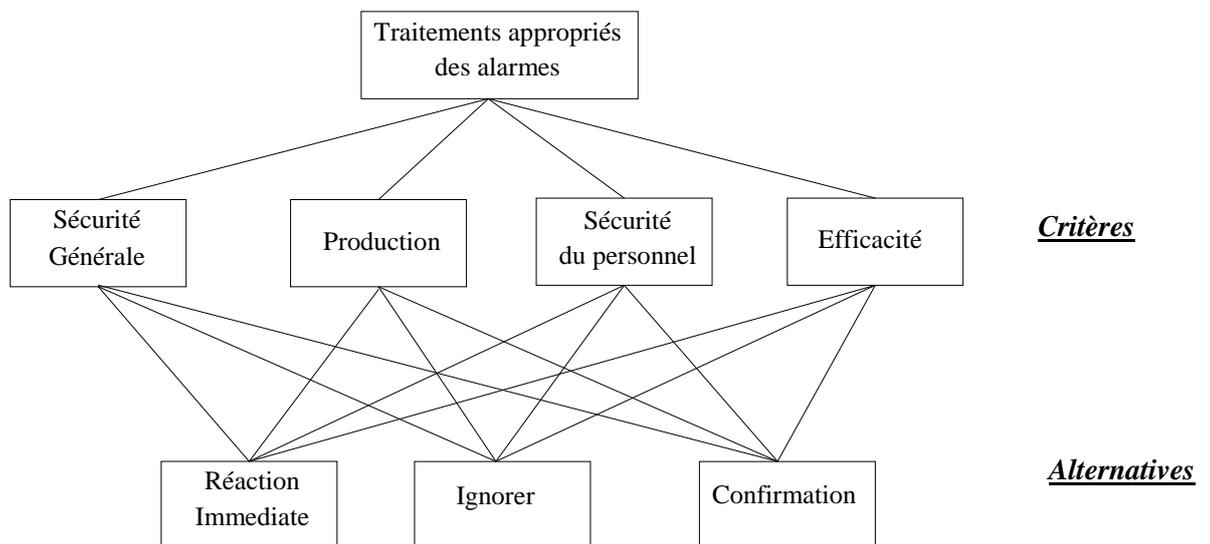


Figure IV.2 : Processus hiérarchique proposé pour traitement des alarmes.

IV.4.2. Critères de comparaisons

La comparaison de ces trois alternatives repose sur la prise en compte de quatre critères principaux dont l'importance varie dans le temps, même pour le même équipement sous contrôle (ESC) :

- a. **Sécurité générale de l'installation (General Safety, GS):** représente la protection de l'ensemble du système, y compris les personnes, l'installation et l'environnement, contre les événements dangereux générés par l'ESC spécifique et contre toute autre source potentielle liée (exp. source externe).
- b. **Production (PO):** représente le fonctionnement continu de l'ESC et son impact sur les installations associées.
- c. **Sécurité du personnel (Personal Safety, PS):** caractérise la sécurité des opérateurs impliqués dans la mise en œuvre des tâches données. Il est principalement dédié à la sécurité du facteur de confirmation proposé ainsi le personnel d'intervention.
- d. **Efficacité (Practicality, PA):** correspond à la possibilité et l'efficacité de réaliser les tâches données, y compris les facteurs de logistiques, techniques ainsi que le facteur temps.

Afin de quantifier ces attributions, le calcul numérique peut être effectué tel que présenté dans la section précédente (pages 90 et 91). Ces attributions font l'objet d'un jugement subjectif d'experts, mais également de nombreuses législations, pratiques et exigences de travail, ce qui rend le processus de décision spécifique à chaque situation d'urgence.

IV.5. Application numérique

Considérons le plan parcellaire de l'installation présentée dans la figure 3 suivante. L'installation est composée de deux trains identiques de traitement de gaz (*train 1 et 2*), une zone de stockage des hydrocarbures (*storage area*) et une zone des utilités, cette zone d'utilité comprend : la station d'alimentation électrique générale de l'usine de 30Kv (*Power generation*), la station d'eau anti-incendie de 3000 m³ (*water utilities*) et la station de compression basse pression haute pression (62 barg) (*process utilities*).

IV.5.1. Description de l'incident

Un déclenchement continu de l'alarme générale feu et gaz a signalé des concentrations élevées de gaz inflammable dans la zone de vulnérabilité de l'unité «Compresseur de gaz - Alpha». Cette zone, a connu plusieurs incidents de rejet atmosphérique dans le passé, cependant, les détecteurs de gaz concernés ont également provoqué de fausses alarmes à plusieurs occasions dans la même zone. La seule façon possible pour confirmer/affirmer l'existence réelle de la situation dangereuse était d'envoyer au site un opérateur équipé d'un détecteur de gaz portable. Cependant, la confirmation doit être effectuée dans un temps très limité, d'où, l'activation des plans d'intervention et l'évacuation et par conséquent l'arrêt de l'installation. Nous appliquons à ce niveau l'approche proposée pour modéliser cette situation critique.

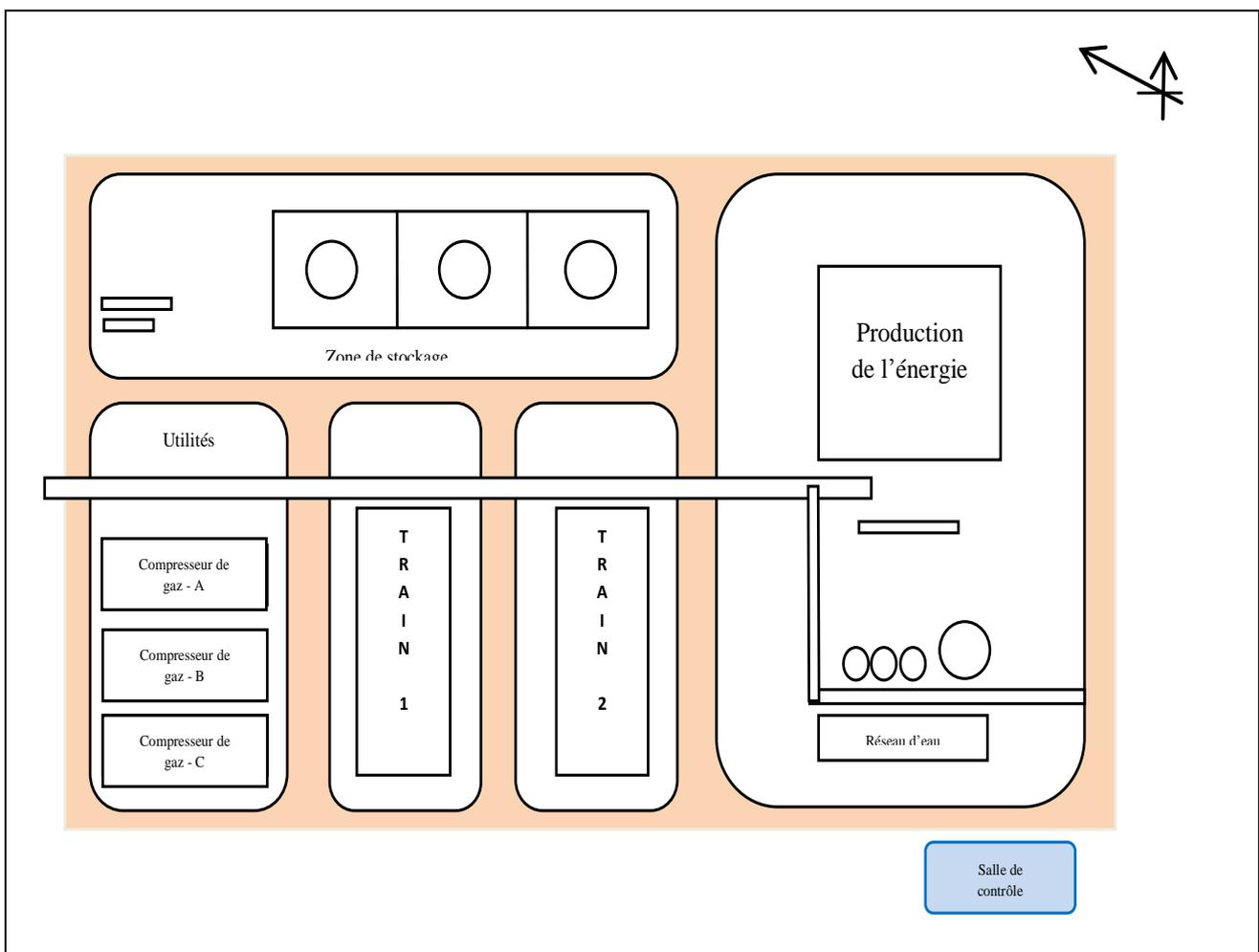


Figure IV.3 : Plan de situation de l'installation industrielle étudiée.

IV.5.2. Résultats et discussions

En commençant par la comparaison deux à deux des quatre critères suggérés, le modèle associé peut s'écrire comme suit :

$$\text{Minimiser } J = (1 - \lambda)^2 + M \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 (\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2)$$

$$\text{Sous réserve } \left\{ \begin{array}{l} x_1 - x_2 - \lambda \ln \left(\frac{m_{12}}{l_{12}} \right) + \delta_{12} \geq \ln l_{12} \\ -x_1 + x_2 - \lambda \ln \left(\frac{u_{12}}{m_{12}} \right) + \eta_{12} \geq -\ln u_{12} \\ x_1 - x_3 - \lambda \ln \left(\frac{m_{13}}{l_{13}} \right) + \delta_{13} \geq \ln l_{13} \\ -x_1 + x_3 - \lambda \ln \left(\frac{m_{13}}{l_{13}} \right) + \eta_{13} \geq -\ln u_{13} \\ x_1 - x_4 - \lambda \ln \left(\frac{m_{14}}{l_{14}} \right) + \delta_{14} \geq \ln l_{14} \\ -x_1 + x_4 - \lambda \ln \left(\frac{m_{14}}{l_{14}} \right) + \eta_{14} \geq -\ln u_{14} \\ x_2 - x_3 - \lambda \ln \left(\frac{m_{23}}{l_{23}} \right) + \delta_{23} \geq \ln l_{23} \\ -x_2 + x_3 - \lambda \ln \left(\frac{m_{23}}{l_{23}} \right) + \eta_{23} \geq -\ln u_{23} \\ x_2 - x_4 - \lambda \ln \left(\frac{m_{24}}{l_{24}} \right) + \delta_{24} \geq \ln l_{24} \\ -x_2 + x_4 - \lambda \ln \left(\frac{m_{24}}{l_{24}} \right) + \eta_{24} \geq -\ln u_{24} \\ x_3 - x_4 - \lambda \ln \left(\frac{m_{34}}{l_{34}} \right) + \delta_{34} \geq \ln l_{34} \\ -x_3 + x_4 - \lambda \ln \left(\frac{m_{34}}{l_{34}} \right) + \eta_{34} \geq -\ln u_{34} \\ \lambda, x_1, x_2, x_3, x_4, \delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{14}, \delta_{23}, \delta_{24}, \delta_{34}, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{14}, \eta_{23}, \eta_{24}, \eta_{34} \geq 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

La matrice de comparaison avec les résultats obtenus est donnée dans le tableau IV.3. En effet, les données utilisées sont spécifiques à cet exemple, qui dépend de la combinaison aux objectifs et aux jugements d'experts et managers de site. Ces verdicts ne sont pas seulement contrôlés par leurs facteurs principaux (figure IV.2), mais aussi, par la nature de l'ESC et sa criticité, la nature de l'alarme et de nombreux autres facteurs variables qui les rendent extrêmement spécifiques à la situation elle-même et dépendant du temps.

Ces questions conduisent à la nécessité de maintenir les procédures opératoires aussi simples et unifiées que possible pour faciliter leurs mises en œuvre.

Table IV.3. Matrice floue de comparaison deux à deux des critères étudiés

Critères	GS	PO	PS	PA	w^*
GS	(1,1,1)	(7,7,9)	(5/2,3,5)	(7,8,9)	0.613
PO	(1/9,1/7,1/7)	(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1,3,5)	0.078
PS	(1/5,1/3,2/5)	(3,4,5)	(1,1,1)	(2,5,6)	0.240
PA	(1/9,1/8,1/7)	(1/5,1/3,1)	(1/6,1/5,1/2)	(1,1,1)	0.069

$\lambda^* = 0.109, \delta^* = 0$

Il est clair qu'il y'a une forte dominance du critère de la sécurité globale (GS) avec plus de 61% suivi de la sécurité personnelle (PS), puis, de la production (PO) et enfin, de l'aspect pratique et l'efficacité (PA). La cohérence des jugements fournis est vérifiée par la valeur nulle de δ (Wang et Chin, 2011) qui correspond à $\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\delta_{ij}^{*2} + \eta_{ij}^{*2})$ représentant le facteur de cohérence de la méthode adapté de priorité non linéaire, basée sur la programmation, des préférences logarithmiques floues (LFPP).

En cas d'alternative $n = 3$, d'où, l'équation (2) devient:

$$\text{Minimiser } J = (1 - \lambda)^2 + M \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 (\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2)$$

$$\text{Sous contrainte } \begin{cases} x_1 - x_2 - \lambda \ln \left(\frac{m_{12}}{l_{12}} \right) + \delta_{12} \geq \ln l_{12} \\ -x_1 + x_2 - \lambda \ln \left(\frac{u_{12}}{m_{12}} \right) + \eta_{12} \geq -\ln u_{12} \\ x_1 - x_3 - \lambda \ln \left(\frac{m_{13}}{l_{13}} \right) + \delta_{13} \geq \ln l_{13} \\ -x_1 + x_3 - \lambda \ln \left(\frac{u_{13}}{m_{13}} \right) + \eta_{13} \geq -\ln u_{13} \\ x_2 - x_3 - \lambda \ln \left(\frac{m_{23}}{l_{23}} \right) + \delta_{23} \geq \ln l_{23} \\ -x_2 + x_3 - \lambda \ln \left(\frac{u_{23}}{m_{23}} \right) + \eta_{23} \geq -\ln u_{23} \\ \lambda, x_1, x_2, x_3, \delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{23}, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{23} \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Les jugements appliqués et les résultats du traitement des trois alternatives sont présentés dans les tableaux IV.4, IV.5, IV.6 et IV.7:

Table IV.4. Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère : sécurité générale.

GS	I	D	C	w^*
I	(1,1,1)	(7,7,9)	(9/2,5,6)	0.747
D	(1/9,1/7,1/7)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	0.098
C	(1/6,1/5,2/9)	(1,2,3)	(1,1,1)	0.155

$\lambda^* = 0.661, \delta^* = 3.12E-7$

Table IV.5. Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère : production.

PO	I	D	C	w^*
I	(1,1,1)	(1/9,2/17,1/8)	(1/7,1/6,1/5)	0.065
D	(8,17/2,9)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	0.553
C	(5,6,7)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	0.382

$\lambda^* = 0.912, \delta^* = 5.58E-8$

Table IV.6. Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère : sécurité du personnel.

PS	I	D	C	w^*
I	(1,1,1)	(1,1,3/2)	(7,15/2,8)	0.483
D	(2/3,1,1)	(1,1,1)	(13/2,7,15/2)	0.451
C	(1/8,2/15,1/7)	(2/15,1/7,2/13)	(1,1,1)	0.065

$\lambda^* = 0.832, \delta^* = 7.89E-7$

Table IV.7. Matrice floue des comparaisons par paires d'alternatives, critère : efficacité.

PA	I	D	C	w^*
I	(1,1,1)	(2/17,1/8,1/7)	(1,2,3)	0.110
D	(7,8,17/2)	(1,1,1)	(8,17/2,9)	0.800
C	(1/3,1/2,1)	(1/9,2/17,1/8)	(1,1,1)	0.090

$\lambda^* = 0.287, \delta^* = 1.95E-6$

La cohérence des jugements fournis est vérifiée par la valeur faible de δ dans les quatre matrices de comparaison. Les poids locaux obtenus (w^*) montrent le sur-classement de la réaction immédiate pour la sécurité générale avec plus de 74% et l'ignorance de l'aspect efficacité avec 80%. La production est principalement menacée par la réaction immédiate de la sécurité générale avec près de 94%, alors que, cette proportion de menace est causée par

l'alternative "confirmation" pour la sécurité du personnel avec une affinité claire des impacts de la réaction immédiate et l'ignorance de ce critère. Ces résultats sont illustrés graphiquement à la figure 4.

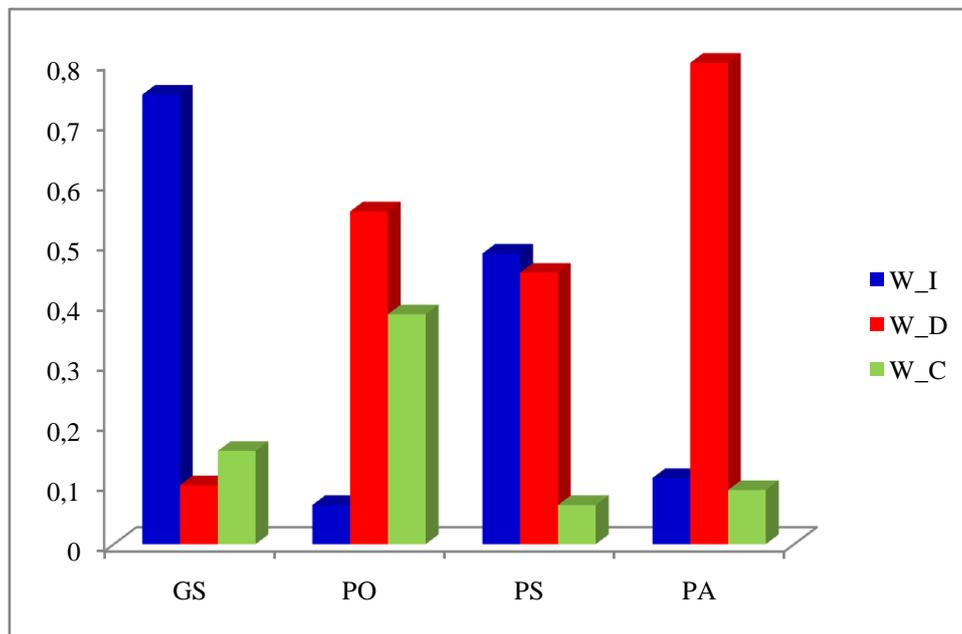


Figure IV.4 : Priorités des alternatives obtenues.

En combinant les résultats obtenus, nous pouvons obtenir les poids globaux associés à chaque alternative en multipliant la matrice 3×4 des poids locaux d'alternatives par la matrice 4×1 des poids des critères.

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure IV.5 de la page suivante, qui classe la réaction immédiate au premier ordre à 59%, suivie par l'option de l'ignorance avec 27% et enfin par la possibilité de confirmation par 14%.

Cela montre la limite de ce dernier choix pour cette situation spécifique dans le cadre des objectifs et priorités actuels, ce qui peut changer dans d'autres circonstances.

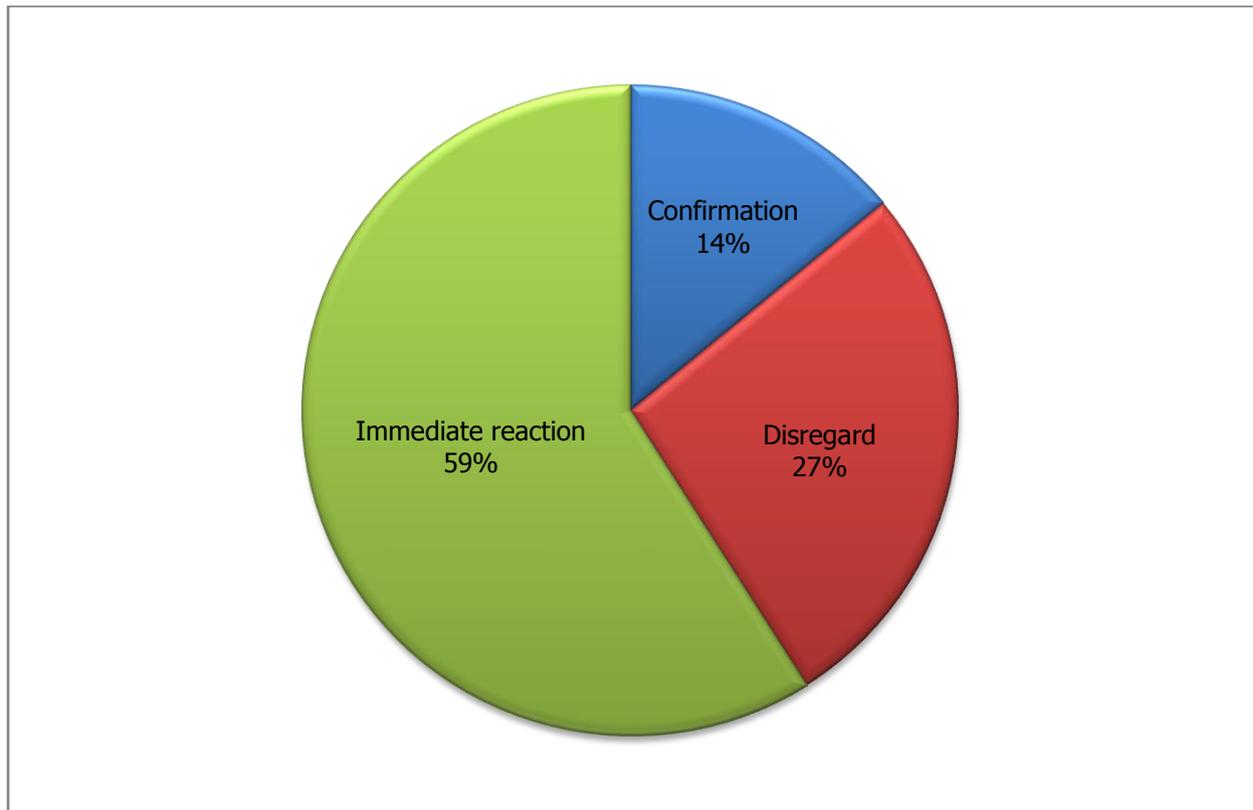


Figure IV.5: Comparaison des poids globaux des trois alternatives.

Conclusion

Dans le but de trouver un équilibre entre nombreux objectifs et exigences contradictoires concernant le fonctionnement des installations à haut risque, ce chapitre est consacré à l'étude de la problématique du traitement des alarmes critiques dont la source n'est pas connue pour être réelle ou non en temps précis et en dehors des procédures techniques et de gestion à long terme.

Par conséquent, un modèle d'aide à la prise de décision est élaboré sur la base du processus d'analyse hiérarchique prenant en compte la réaction immédiate, l'ignore de l'alarme et la confirmation comme alternatives, ainsi que, la sécurité générale, la production, la sécurité du personnel et l'efficacité comme critères d'évaluation. Les comparaisons impliquées ont été considérées en utilisant des nombres flous triangulaires pour modéliser l'incertitude associée, tandis que le traitement quantitatif a été effectué par le biais de la méthode de priorité non linéaire basée sur la programmation des préférences logarithmiques floues.

Un incident réel a été analysé en utilisant l'approche proposée, ce qui permet d'obtenir des résultats lucides et une vérification claire de la cohérence des jugements utilisés. En effet,

le temps nécessaire pour modéliser de telles situations revêt une grande importance, mais il peut fournir de nombreux avantages en termes de prise de décisions équilibrées basées sur la participation des entités impliquées.

De plus, le temps requis peut être négligeable du fait de la simplicité du modèle, car il peut encore être réduit en automatisant le processus et en formant ceux qui doivent effectuer de telles procédures dans les situations d'urgence.

Une autre solution envisageable consiste à étudier la combinaison potentielle entre les modèles de prise de décision naturalistes et celui proposé dans le présent document.

Toutefois, l'application réelle du modèle proposé en révélerait les inconvénients et pourrait aider énormément à réviser les éventuelles insuffisances du système choisi.

Références bibliographiques

ANSI/ISA-18.2 (2009): *Management of Alarm Systems for the Process Industries. The International Society of Automation.*

Apostolakis, G. (1990): “*The concept of probability in safety assessments of technological systems*”, *Science*, Vol. 250, pp. 1359–64

Aven, T., et Zio, E. (2011): “*Some considerations on the treatment of uncertainties in risk assessment for practical decision making*”, *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 96, No.1, pp. 64–74.

Capacho, J.W.V., Subias, A., Travé-Massuyès, L. et Jimenez, F. (2017): *Alarm management via temporal pattern learning. Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 65. - pp. 506-516.

Chen, T. (2010): *On reducing false alarms in multivariate statistical process control. Journal of Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 88, No. 4, pp. 430–436.

Dubois, D. (2006): “*Possibility theory and statistical reasoning*”, *Journal of Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 51, No. 1, pp. 47–69.

EEMUA-191 (1999): *Alarm systems - a guide to design, management and procurement. The Engineering Equipment and Materials Users Association.*

Ge, Y., Xiao, M., Yang, Z., Zhang, L., Hu, Z., et Feng, D. (2017): *An integrated logarithmic fuzzy preference programming based methodology for optimum maintenance strategies selection. Applied Soft Computing*, Vol. 60, pp. 591–601.

[doi:10.1016/j.asoc.2017.07.021](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.07.021)

Goel, P., Datta, A. et Mannan, M.S. (2017): *Industrial alarm systems: Challenges and opportunities. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 50. - pp. 23-36.

Goerlandt, F., et Reniers, G. (2016): “*On the assessment of uncertainty in risk diagrams*”, *Journal of Safety Science*, Vol. 84, pp. 67-77.

Hu, J. et Yi, Y. (2016): *A two-level intelligent alarm management framework for process safety. Journal of Safety Science*, vol. 82. - pp. 432-444.

IEC-62682 (2014): *Management of alarm systems for the process industries. International Electrotechnical Commission.*

Karanki, D.R., Kushwaha, H.S., Verma, A.K., et Ajit, S. (2009): “*Uncertainty Analysis Based on Probability Bounds (P-Box) Approach in Probabilistic Safety Assessment*”, *Journal of Risk Analysis*, Vol. 29, No.5, pp. 662–675.

Landgrebe, T.C. et Duin, R.P. (2008): *Efficient multi-class roc approximation by decomposition via confusion matrix perturbation analysis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 5, pp. 810–822.

Lighthall, G.K., et Vazquez-Guillamet, C. (2015): *Understanding Decision Making in Critical Care. Clinical Medicine & Research*, vol. 13, No. 3-4, pp 156-168.

Louafa, T. et Perret, F. (2008) : Créativité et Innovation, intelligence collective au service de management du projet, presse polytechnique et universitaire romande, 1^{er} édition, 345 p

Markowski, A.S., Mannan, M.S., Kotynia (Bigoszevska), A., et Siuta, D. (2010), “*Uncertainty aspects in process safety analysis*”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 23, No.3, pp. 446–454.

Peco Chacón, A.M., et García Márquez, F.P. (2019): *False Alarms Management by Data Science. Data Science and Digital Business*, pp. 301–316. [doi:10.1007/978-3-319-95651-0_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95651-0_15)

Rothenberg, D.H. (2009): *Alarm management for process control: A best-practice guide for design, implementation, and use of industrial alarm systems. Momentum Press*, 630pp.

Saaty Thomas, L. and Vargas, Luis G. (2012): *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Springer Science+ Business Media New York.*

Shafer, G. (1976), “*A mathematical theory of evidence*”. Princeton: Princeton University Press.

Soares, V.B., Pinto, J.C., et De Souza, M. B. (2016): *Alarm management practices in natural gas processing plants. Journal of Control Engineering Practice*, vol. 55. - pp. 185-196.

Stauffer, T., Sands, N.P., et Dunn Donald, G. (2010): *Alarm Management and ISA-18 – A Journey, Not a Destination. Texas A&M Instrumentation Symposium.*

Wang, Y.M, et Chin, K.S. (2011): *Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. Journal of International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 52. No.4, pp. 541-553

Yoon, J.T., Youn, B.D., Yoo, M. et Kim, Y. (2017): *A newly formulated resilience measure that considers false alarms. Journal of Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 167. - pp. 417-427.

Zadeh, L.A. (1965): “*Fuzzy Sets*”, *Journal of Information and Control*, Vol. 8, No. 3, pp. 338-353.

Zhu, J., Shu, Y., Zhao, J. et Yang, F. (2014): *A dynamic alarm management strategy for chemical process transitions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 30. - pp. 207-218.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail de thèse de doctorat s'est intéressé au traitement de l'incertitude de l'information dans la prise de décision en situation de crise. Le décideur doit prendre une décision dans des conditions et contraintes extrêmes (le manque de l'information, le temps et la pression).

La prise de décision peut généralement être décrite comme un processus commençant par une situation initiale (état initial) que les décideurs perçoivent comme déviation de la situation souhaitée (état d'objectif), bien qu'ils ne sachent pas à l'avance comment modifier l'état initial en l'état de but. Le décideur transforme l'état initial en état d'objectif en impliquant un ou plusieurs opérations ou activités pour modifier les états. Souvent, une séquence d'opérateurs est nécessaire pour provoquer le changement souhaité. Nous estimons que, assujetties aux risques de crise, les organisations ne peuvent plus continuer à opérer selon les modèles classiques habituels de décisions qui ont fait leur preuve par le passé tant aux contraintes technologique, économique, politique, ou autres, peut les briser à tout moment et les soumettre à de nombreuses difficultés accentuées par les contingences (la surprise, l'urgence, la gravité, l'amplification).

Dans cette perspective, notre démarche s'est fondée sur une méthodologie qualitative et quantitative visant à améliorer l'action prise par le « décideur » dans une situation extrême (cas d'alarme générale feu et gaz d'un complexe industriel) où l'information qu'on dispose est incertaine et imparfaite. La première porte sur une analyse de la prise de décision en situation d'incertitude par focalisation sur les erreurs comprises lors de cette action, les concepts et définitions liés aux notions de « décision » et « prise de décision » ainsi que, les critères de classifications et les facteurs contribuent aux erreurs de décisions ont été également abordés. L'interaction entre la gestion des alarmes incendie et la prise de décision à l'aide d'un cas d'étude choisis.

Notre deuxième effort est porté sur une revue de la littérature des théories de la prise de décision et les principaux modèles de recherches qui s'intéressent à la prise de décision dans un contexte opérationnel notamment: les modèles de décision qui sont à l'origine du modèle de la première reconnaissance, la formulation et quantifications des processus de décisions et les fonctions cognitives mises en œuvre dans des situations de prise de décision réelles.

L'évaluation de la situation associée à des conditions critiques dans une installation industrielle a été détaillée au cours de troisième chapitre. L'objectif de cette évaluation consiste à fournir au « décideur » des conseils sur la confirmation et la classification de la situation extrême, s'agissant d'une situation de déclenchement de plusieurs et répétitives alarmes d'incendie. Les inputs de système consistent en une information incertaine et incomplète. Pour résoudre ce problème, différentes lois sur les incertitudes ont été associées à l'évaluation probabiliste de la boucle du système. Le modèle a été mis en œuvre en utilisant une boucle OODA combinée avec des réseaux bayésiens. Les résultats montrent que le système peut classer les déviations de système d'alarmes.

Dans le souci de généraliser « le facteur de confirmation » proposé pour traiter le manque d'information dans les processus de prise de décision, un processus d'analyse hiérarchique flou a été mis en profit, par considération de trois alternatives possibles et quatre critères avec l'utilisation des nombres flous triangulaires pour gérer l'incertitude associée aux jugements impliqués. Une méthode de priorité non linéaire, basée sur la programmation des préférences logarithmiques floues, est utilisée pour analyser le modèle suggéré de manière hâtive. Un système d'aide à la décision n'est pas seulement une nécessité pour répondre aux alarmes critiques, il est également facile à mettre en œuvre même dans un temps de réaction relativement court. La confirmation peut ne pas être l'option appropriée pour faire face à une alarme critique même avec la disponibilité des ressources nécessaires.

Pour conclure, nous sommes conscients des limites de cette thèse :

- L'étude a été alimentée de données spécifiques relatives à l'occurrence des alarmes d'une installation industrielle dans l'activité des hydrocarbures. Ce travail en constitue une première initiative. Il sera élargi et approfondi par l'application d'autres méthodes et outils de prise de décision naturaliste dans d'autres secteurs (transport par exemple).
- La base de donnée collectée et utilisée dans le travail est de caractère « fragmenté » et parfois générale et non orienté, nous estimons donc que l'information reçue par les décideurs a le même caractère, pour surmonter ce problème, nous comptons développer une démarche de « *information risk assessment* ».
- Le comportement du personnel décideur « *sharp-end* » n'a pas été pris en considération dans notre problématique. Ceci constituera une autre perspective de

recherche, la démarche de la conscience de la situation « *situation awareness* » sera introduite dans le contexte Algérien.

- Le facteur de confirmation proposé pour traiter l'incertitude semble ne peut pas être l'option appropriée dans des cas extrêmes. Pour bien appréhender ce problème, nous envisageons d'élargir l'étude par l'identification et précision de ce facteur de confirmation ajouté, en outre, évaluer en première temps par la considération en tant que système technique, exp : système instrumenté de sécurité (étude technique) et pour la deuxième fois en tant que opérateur humain (étude cognitive).

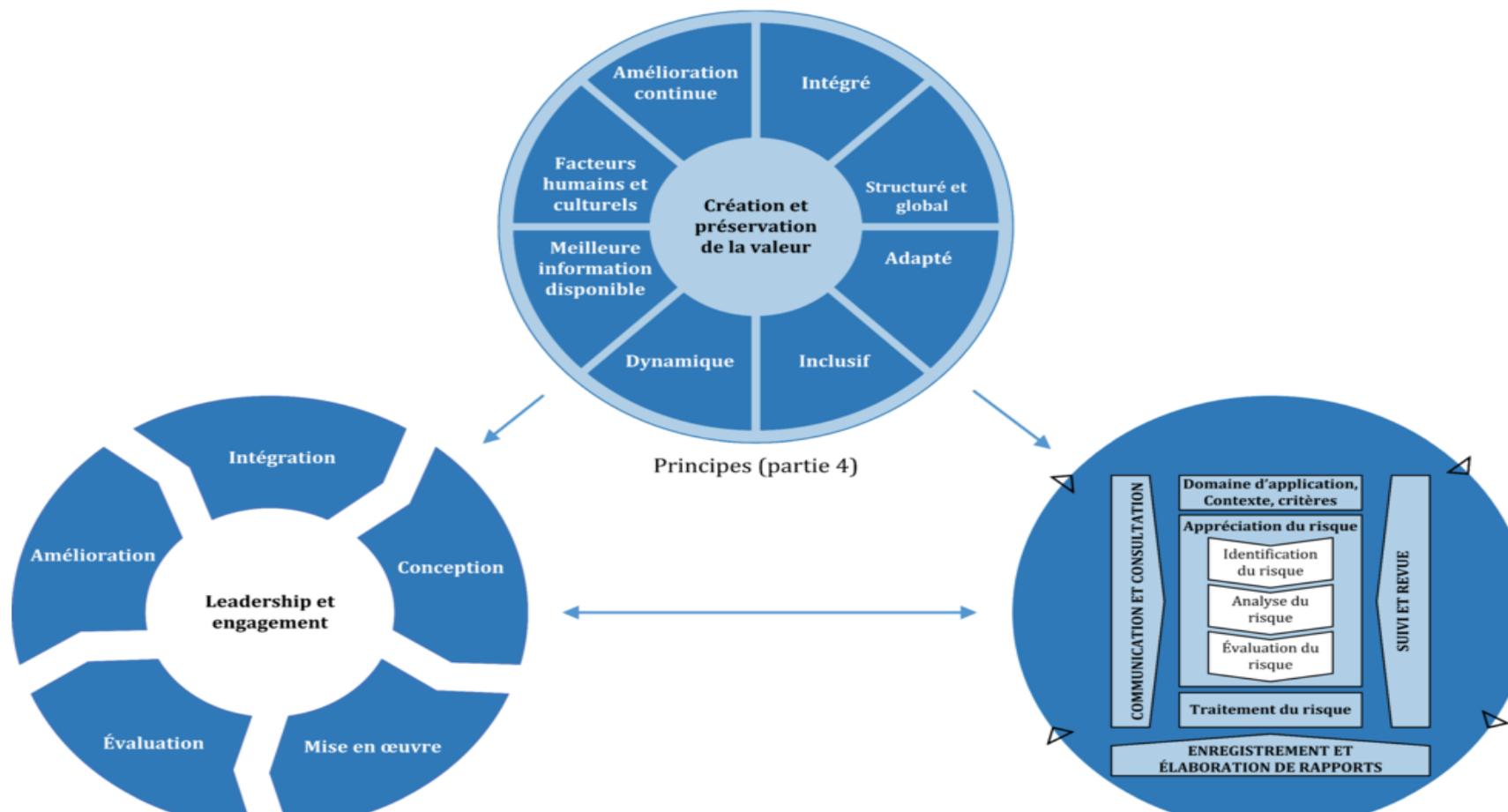
Annexes

Annexe 1 : Avantages et inconvénients des méthodes d'évaluation des risques (de prise de décision) (Li, et al, 2016)¹⁴

Méthodes	Exemple typique	Avantages	Inconvénients
Méthode qualitatives	<ul style="list-style-type: none"> • Retour d'expérience • What if • AMDE 	<ul style="list-style-type: none"> • Facile à comprendre et à exécuter • Facile à appliquer • Gain de temps et d'argent 	<ul style="list-style-type: none"> • biais subjectif dans le processus et les mesures • manque de clarté dans la différenciation des risques majeurs
Méthodes quantitatives	<ul style="list-style-type: none"> • Monte Carlo • Fuzzy Évaluation • Arbre de défaillance • Arbre des événements 	<ul style="list-style-type: none"> • Largement utilisés • Basé sur la méthode objective • Fournir des résultats relativement précis 	<ul style="list-style-type: none"> • Le processus est complexe et long • Requier des données qui ne sont pas toujours disponibles • S'appuie sur des méthodes mathématiques
Méthodes hybrides « <i>Comprehensive</i> »	<ul style="list-style-type: none"> • Fuzzy AHP • Delphi AHP • Entropy TOPSIS 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer des méthodes subjectives et objectives • Améliorer la précision 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus complexe • Difficile à mettre en œuvre • Disponibilité de données

¹⁴ Li, H., Sun, R., Wei-Jen, L., Dong, K. et Guo, R. (2016): 'Assessing Risk in Chinese Shale Gas Investments Abroad: Modelling and Policy Recommendations'. Sustainability, Vol 8, No. 8, pp. 1-17

Annexe 2 : Relations entre les principes, le cadre organisationnel et le processus de management du risque (ISO 31000, 2018)¹⁵



¹⁵ ISO 31000 (2018): "Risk management – Principles and guidelines", International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Annexe 3 : Classification des incertitudes

La classification des incertitudes diffère d'un domaine à un autre. À ce stade, il convient de noter que plusieurs documents considèrent que l'incertitude est liée au manque de connaissances et n'inclut donc que l'*épistémique*, alors que le terme *variabilité* est utilisé à la place d'incertitude aléatoire (Chebila, 2015)¹⁶.

Incertitude aléatoire :

Le caractère aléatoire inhérent est largement utilisé pour décrire cette catégorie. En effet, on peut conclure de cette brève description de deux faits importants: (i) les incertitudes aléatoires sont absolument liées à la nature du phénomène ou au système lui-même, de sorte que (ii) il n'existe aucun moyen de les réduire et d'évaluer leur contribution dans l'ensemble l'incertitude est la seule chose à faire. Ce type d'incertitude est connu par plusieurs nomenclatures telles que : *incertitude stochastique*, *incertitude irréductible* et *la variabilité*.

Incertitude épistémique :

Cette fois, le manque de connaissances, imprécision est la description utilisée de ce type d'incertitude. En fait, blâmer la nature intrinsèque du phénomène ou du système est loin de la réalité, mais les sources élémentaires de telles incertitudes résident dans l'incapacité d'obtenir les informations nécessaires pour réagir. En conséquence, lorsque les informations appropriées et suffisantes deviendront disponibles, ce type d'incertitude disparaîtra tout simplement. Cette catégorie pourrait également être trouvée dans la littérature comme : *incertitude subjective* et *incertitude réductible*.

Une autre catégorie d'incertitude est actuellement utilisée dans de nombreux domaines et plus particulièrement dans l'évaluation probabiliste des risques (PRA) de l'industrie nucléaire. Dans ce dernier cas, les incertitudes sont décomposées en *modèle*, *complétude* et *paramètre*.

¹⁶ **Chebila, M. (2015)** : 'Modélisation et Evaluation des Performances des Systèmes Instrumentés de Sécurité avec Prise en Compte des Incertitudes'. Thèse de doctorat, Institut Hygiène et Sécurité, Université de Batna.

Résumé

تتمثل المشكلة الرئيسية التي تُواجه صنّاع القرار في كيفية اتخاذ قرار فعال وسريع في حالة حدوث أزمة أمنية - صناعية حيث تكون المعلومات المتاحة غير كاملة وغير مؤكدة. الهدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو المساهمة في حل جوانب إشكالية معينة من عملية صنع القرار في بيئة ديناميكية تعتمد على عدة عوامل، مثل التعقيد، وضيق الوقت (الضغط) وعدم اكتمال و/أو حالات معلومات غير مؤكدة. تُقترح نماذج مستمدة من نماذج طبيعية لصنع القرار OODA (مراقبة-موجهة-اقرار-فعل) مع تقنيات الذكاء الاصطناعي (شبكات بايز و AHP غامض) أثناء النظر في الشكوك المرتبطة بالمعلومات المختلفة. يتكوّن النموذج المقترح الأول من نظام لدعم اتخاذ القرار لتقييم الموقف المرتبط بالحالات الحرجة في المنشآت الصناعية؛ يوفر النظام للمشغل البشري المشورة بشأن تأكيد وتصنيف نظام الإنذار الذي حدث. تم تطوير عملية تحليل هرمي غامض لمعالجة عملية صنع القرار في بيئة ديناميكية؛ وذلك اعتماداً على ثلاثة بدائل ممكنة وأربعة معايير رئيسية مع استخدام أرقام غامضة لإدارة عدم اليقين المرتبط بالأحكام المعنية. يتم استخدام طريقة الأولوية غير الخطية المستندة إلى برمجة تفضيلات لوغاريتمية غامضة لتحليل النموذج المقترح بطريقة سريعة. للتحقق من صحة هذه النماذج، تم تطبيقها على حالات الطوارئ المتعلقة بحدوث إنذارات الحريق والإخلاء العام لمخطة معالجة الغاز.

كلمات استدلالية: صناعة القرار، عدم اليقين، AHP غامض، OODA، أجهزة الإنذار، المخاطر

Abstract

A main problem facing the decision-makers is how to make an efficient and rapid decision in a critical situation of an industrial event where the available information and data are incomplete and uncertain. The objective of this thesis is to contribute to the resolution of some problematic aspects of the decision-making process in a dynamic environment that depends on several factors, such as complexity, time constraints (pressure) and incompleteness and uncertain information related to situations. Models derived from naturalistic decision-making models (Observe-Orient-Decide-Act) combined with artificial intelligence techniques (Bayesian networks and fuzzy AHP) are proposed while considering the uncertainties associated with the different parameters. The first model aims in proposing a decision-making support system for situation risk assessment associated with critical conditions in an industrial installation. The system provides a human operator with advice on the confirmation and classification of occurred alarms. A fuzzy hierarchical analysis process has been developed to address decision making in a dynamic environment; considering three possible alternatives and four main criteria with the use of triangular fuzzy numbers to manage the uncertainty associated with the judgments involved. A nonlinear priority method based on programming fuzzy

logarithmic preferences is used to analyze the suggested model in a hasty manner. In order to validate these models, they were applied to emergency situations relating to the occurrence of fire alarms and general evacuation of a gas facility.

Key words: Decision, Uncertainty, Fuzzy AHP, OODA, Alarms, Risk

Résumé

Un problème important auquel fait face les décideurs est comment prendre une décision efficace et rapide dans une situation de crise industrielle où l'information qu'on dispose est incomplète et incertaine. L'objectif principal de cette thèse étant de contribuer à la résolution de certains aspects problématiques des processus décisionnel dans un environnement dynamique qui dépend de plusieurs facteurs, tels que la complexité, les contraintes de temps (la pression) et le caractère incomplet et/ou incertain des informations de situations. Des modèles issus des modèles de prises de décision naturalistes (Observe-Orient-Decide-Act) combinés avec les techniques d'intelligences artificielles (réseaux bayésiens et AHP flous) sont proposés tout en considérant les incertitudes associées aux différents paramètres. Le premier modèle consiste à proposer un système d'aide à la prise de décision pour l'évaluation de la situation associée à des situations critiques dans une installation industrielle a été présenté ; le système fournit à un opérateur humain des conseils sur la confirmation et la classification du système d'alarme survenu. Un processus d'analyse hiérarchique flou a été développé pour traiter la prise de décision dans un environnement dynamique; en considérant trois alternatives possibles et quatre critères principaux avec l'utilisation des nombres flous triangulaires pour gérer l'incertitude associés aux jugements impliqués. Une méthode de priorité non linéaire basée sur la programmation des préférences logarithmiques floues est utilisée pour analyser le modèle suggéré de manière hâtive. Afin de valider ces modèles, ils ont été appliqués aux situations d'urgences relatives à l'occurrence des alarmes anti-incendie et d'évacuation générale d'une installation de traitement de gaz.

Mots Clé : Décision, Incertitude, AHP Flou, OODA, Alarmes, Risque