

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2



Institut d'Hygiène et Sécurité
Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI)

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

DOCTEUR EN SCIENCES

En

Hygiène & Sécurité Industrielle

Option : Gestion des Risques

Par

Mr. Hefaidh HADEF

Magister en Hygiène et Sécurité Industrielle

Thème

Apport des outils de concertation à la gestion des risques majeurs en Algérie

Soutenue publiquement le 19/06/2019 devant le Jury composé de :

Dr. Rachid NAIT-SAID	Professeur	Université de Batna 2	Président
Dr. Mébarek DJEBABRA	Professeur	Université de Batna 2	Rapporteur
Dr. Rachid CHAIB	Professeur	Université de Constantine 1	Examineur
Dr. Ahmed BELLAOUAR	Professeur	Université de Constantine 1	Examineur
Dr. Nouredine BOURMADA	Professeur	Université de Batna 2	Invité

Année Universitaire : 2018-2019



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que Dieu la garde ;

À la mémoire de mon père (Puisse Allah avoir pitié de lui). À toi je dédie amour, ma plume et ma thèse, mon effort et ma vie.

À ma très chère épouse, ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments de faiblesse. Je prie Dieu le tout-puissant pour qu'il te donne bonheur et prospérité.

À mes chers frères et sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral; ainsi que mes très chers neveux et nièces (les anges) Dieu les bénisse tous.

Sans oublier la contribution et les encouragements de tous les membres de ma famille. Ainsi que mes amis, les meilleurs qui soient.

À tous ceux qui ont sacrifié leurs temps pour les recherches scientifiques, qui ont permis à la science d'atteindre le stade actuel, à l'ensemble des chercheurs qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.

À mon pays l'Algérie, A chaque Algérien jaloux de son pays

À tous ceux qui me sont chers

.....Hadeef H.

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir imprégnés de la force, la volonté et ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés pour réaliser ce modeste travail.

Cette thèse de doctorat est réalisée au sein du Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI) de l'Institut d'Hygiène et Sécurité - Université Chahid Mostefa Ben Boulaid Batna 2 sous la direction du Professeur **Mébarek DJEBABRA** que je remercie beaucoup pour l'encadrement, l'accompagnement et le bon suivi de mes recherches scientifiques réalisées dans le cadre de cette thèse de doctorat. J'ai profité pendant longtemps du savoir et du savoir-faire dont j'ai pu bénéficier au cours de nombreuses discussions.

Je tiens à remercier également les membres du Jury d'avoir accepté d'évaluer mes travaux. Plus particulièrement, le Professeur **Rachid NAIT-SAID** de l'Institut Hygiène et de Sécurité de l'Université de Batna 2 d'avoir présidé ce Jury. Je lui exprime mon profond respect et mes vifs remerciements. Les Professeurs **Ahmed BELLAOUAR** et **Rachid CHAIB de l'Université de Constantine 1** et le Professeur **Noureddine BOURMADA** de l'Institut d'Hygiène et Sécurité de l'Université de Batna 2 d'avoir pris la lourde charge d'expertiser le contenu de ce manuscrit.

Mes remerciements vont également : à l'ensemble de mes enseignants de l'Institut d'Hygiène et Sécurité - Université de Batna 2, à son corps administratif, à mes collègues en post graduation et ainsi que mes collègues enseignants au Département génie appliqué de l'Institut de Technologie - Université de Kasdi Merbah - Ouargala.

Enfin un merci très particulier à ma grande famille qui, grâce à son soutien, ce travail a abouti dans les délais.

.....*Hadef H.*

Apport des outils de concertation à la gestion des risques majeurs en Algérie

Résumé – La gestion des risques est un domaine de recherche scientifique porteur où plusieurs pistes d’exploration sont, non seulement, possibles mais également valorisantes. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes focalisés sur le problème de décision collective et la nécessité de le cadrer par la concertation qui à son tour est appuyée par la négociation à base d’arguments.

Dans notre cas, le problème de la décision collective réside dans la fixation du niveau d’acceptabilité des risques dans les grilles des risques où nous avons proposé un processus de négociation argumenté par deux outils qui sont : le retour d’expérience et l’analyse en composante principale.

Mots-clés : risques, gestion, grilles, concertation, argumentation, retour d’expérience, analyse en composantes principales.

Contribution of consultation tools to the major risks management in Algeria

Abstract - Risk management is a promising field of scientific research in which several avenues of exploration are not only possible, but also rewarding. In this thesis, we focused on the problem of collective decision-making and the need to frame it through consultation, which in its turn is supported by argument-based negotiation.

In our case, the issue of collective decision lies in determining the risk acceptability level in risk matrices. To solve this issue, we have proposed a negotiation process argued by two tools, which are feedback and principal component analysis.

Keywords: risk, management, matrices, consultation, argumentation, feedback, Principal Components Analysis.

مساهمة أدوات التشاور في إدارة المخاطر الكبرى في الجزائر

ملخص - تعد إدارة المخاطر مجالاً واعداً للبحث العلمي، حيث لا تكون العديد من طرق الاستكشاف ممكنة فحسب بل أيضاً مجزية. ركزنا في هذه الرسالة على مشكلة صنع القرار الجماعي والحاجة إلى تأطيرها من خلال التشاور المدعوم بالتفاوض القائم على الحجج.

في حالتنا، تكمن مشكلة القرار الجماعي في تحديد مستوى مقبولية المخاطر بواسطة مصفوفة المخاطر، ولحل هذه المشكلة اقترحنا عملية تفاوض قائمة على حجج من خلال اداتين هما: التغذية الراجعة للخبرات وتحليل المكونات الرئيسية.

الكلمات المفتاحية: المخاطر، الإدارة، مصفوفة المخاطر، التشاور، الجدل، التغذية الراجعة للخبرات، تحليل المكونات الرئيسية.

Table des matières

Dédicaces	iii
Remerciements	iv
Résumés	v
Table des matières	vi
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	xi
Liste des abréviations	xii
Introduction Générale	12
CHAPITRE 1 – A propos de la concertation pour une meilleure gestion des risques	17
1.1. Introduction	18
1.2. A propos des risques majeurs : Cas de l'Algérie	18
1.3. Rappels des concepts de base relatifs à la concertation	21
1.3.1. Cadre d'usage de la concertation	21
1.3.2. Définition et objectifs de la concertation	25
1.4. Management des risques : cadre idéal pour l'exploration des concepts de concertation et de négociation	27
1.4.1. Rappel du processus de management des risques	27
1.4.2. Place de la concertation dans le processus de management des risques	29
1.4.2.1. Critères d'acceptabilité des risques	31
1.4.2.2. Zonage des risques	32
1.5. Apport de la négociation à base d'arguments pour une meilleure définition de l'acceptabilité des risques	33
1.6. Conclusion	35
CHAPITRE 2 – Etat de l'art sur les grilles des risques	36
2.1. Introduction	37
2.2. Concepts de base relatifs aux grilles des risques	37
2.2.1. Grilles des risques	37
2.2.2. Caractéristiques des grilles des risques	38
2.2.3. Typologie des grilles des risques	38
2.2.3.1. Grilles des risques du type qualitatif	39
2.2.3.2. Grilles des risques du type semi-quantitatif	40
2.2.4. Autres utilisation des grilles des risques	42
2.3. Problèmes liés à l'utilisation des grilles des risques	42
2.3.1. Scores des risques et mise à l'échelle	43
2.3.2. Classification subjective de la probabilité et de la gravité	43
2.3.3. Cohérence de la grille des risques	44
2.3.4. Agrégation des risques	45
2.3.5. Grille des risques de l'entreprise	47
2.4. Extensions des grilles des risques	47
2.4.1. Rezonage des cellules de la grille des risques	47

2.4.2.	Grille des risques avec indice de Borda	48
2.4.3.	Classification des risques par la méthode k-means	49
2.4.4.	Grille des risques floue	50
2.4.5.	Constats et recommandations de Merad	51
2.5.	Conclusion	52
CHAPITRE 3 – Le retour d’expérience : un cadre théorique de la capitalisation de la construction des grilles des risques		53
3.1.	Introduction	54
3.2.	Pratiques du REX dans les organisations industrielles	54
3.3.	Méthode proposée	60
3.3.1.	Repérage des invariants dans les grilles des risques existantes pour l’élaboration de la liste des arguments Ar	61
3.3.2.	Identification des niveaux des risques associés aux cellules de l’ensemble « Gr » de la grille des risques	63
3.3.2.1.	Premier cas relatif aux risques de fréquences	64
3.3.2.2.	Deuxième cas relatif aux risques de gravités	64
3.3.2.3.	Troisième cas relatif à l’hybridation des trois types du REX	65
3.4.	Résultats	66
3.5.	Discussions des résultats	67
3.6.	Conclusion	68
CHAPITRE 4 – Classification des scénarios d’accidents basée sur une Analyse en Composantes Principales		70
4.1.	Introduction	71
4.2.	Contexte d’application de la méthode ACP	71
4.2.1.	Concepts de base de l’ACP	71
4.2.2.	Objectifs de l’ACP	72
4.2.3.	Champs d’application de l’ACP	73
4.2.4.	Principales étapes de l’ACP	74
4.3.	Proposition d’une ACP améliorée pour la classification des scénarios d’accidents industriels	76
4.3.1.	Principes de l’ACP Améliorée	76
4.3.2.	Etapes de l’ACP Améliorée	77
4.3.3.	Illustration de l’ACP Améliorée sur un exemple d’illustration	80
4.4.	Proposition d’une ACP Amélioré Floue pour la classification des scénarios d’accidents industriels	85
4.4.1.	Principes de l’ACP Améliorée Floue	85
4.4.2.	Résultats d’application de l’ACP-AF sur un exemple d’application	86
4.5.	Conclusion	92
Conclusion générale		93
Références bibliographiques		96
Annexes		107
Travaux scientifiques réalisés		119

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1	<i>Effet des accidents industriels (Nichan, 2006)</i>	19
Figure I.2	<i>Problématique de concertation en gestion des risques majeurs en Algérie</i>	20
Figure I.3	<i>Elaboration de Plan de Prévention des Risques Technologiques PPRT (MEDAD, 2007)</i>	22
Figure I.4	<i>Articulation des acteurs dans un processus de décision</i>	23
Figure I.5	<i>Formes de prise de décision</i>	24
Figure I.6	<i>Classement de certains concepts proches à la concertation par niveaux d'implication des acteurs</i>	24
Figure I.7	<i>Processus de la prise de décision gouvernée par la concertation</i>	25
Figure I.8	<i>Démarche de concertation en vue d'une prise de décision collective</i>	26
Figure I.9	<i>Modélisation systémique de la négociation</i>	26
Figure I.10	<i>Processus global d'appréciation et de traitement des risques (Tiré de la norme ISO 31000 :2009)</i>	28
Figure I.11	<i>Méthodes d'évaluation de la criticité des risques</i>	30
Figure I.12	<i>Principe de l'approche ALARP</i>	32
Figure I.13	<i>Facteurs de dimensionnement des risques</i>	35

Chapitre II

Figure II.1	<i>Exemple d'une grille de risques du type qualitatif</i>	39
Figure II.2	<i>Exemple d'une grille des risques semi-quantitative</i>	40
Figure II.3	<i>Grille de risque 4x4 avec des scores de risque obtenus à partir de la multiplication des nombre ordinaire des catégories de probabilité et de gravité</i>	46
Figure II.4	<i>Grille de risque 4x4 avec des scores de risque obtenus à partir l'addition des nombre ordinaire des classes de probabilité et de gravité</i>	46
Figure II.5	<i>Rezonage de matrice de risque</i>	48
Figure II.6	<i>Algorithme k-means</i>	49

Chapitre III

Figure III.1	<i>Grille de sélection du type de REX</i>	55
Figure III.2	<i>Usage des types de REX dans des grilles des risques</i>	56
Figure III.3	<i>Exemple d'une grille des risques priorisée au niveau de ses cellules extrêmes</i>	58
Figure III.4	<i>Apport des objectifs de sécurité pour le redimensionnement de la gravité de la grille DICMA-Italie</i>	59
Figure III.5	<i>Organigramme de la théorie « Ti » retenue par un agent Agi</i>	61
Figure III.6	<i>Grilles des risques conçues à partir de l'argumentation à base du REX</i>	66
Figure III.7	<i>Apport de la méthode proposée pour le réajustement de la grille DICMA-Italie</i>	68

Chapitre IV

Figure IV.1	<i>Étapes visualisées pour calculer l'espace ACP à l'aide de la méthode de la matrice de covariance (Tharwat, 2016)</i>	75
Figure IV.2	<i>Étapes de la méthode ACP améliorée</i>	77
Figure IV.3	<i>Classification des dix scénarios d'accidents étudiés par la grille des risques.</i>	81
Figure IV.4	<i>Visualisation des dix scénarios d'accidents sur les axes F_1 et F_2</i>	84
Figure IV.5	<i>Principe général de l'ACP-AF</i>	86
Figure IV.6	<i>Procédure de classification floue des scénarios d'accidents difficiles à classer</i>	86
Figure IV.7	<i>Fonction d'appartenance des entrées (F_1 et F_2) et les sorties (niveaux des risques) sous forme d'intervalles flous</i>	88
Figure IV.8	<i>Processus des règles d'inférence floue</i>	90
Figure IV.9	<i>Classes floues des risques</i>	90

Annexes

Figure A1-1	<i>Courbe F-N pour les résultats hypothétiques QRA</i>	109
Figure A2-1	<i>Exemple d'un grille de risque utilisée pour formuler les invariants du REX</i>	110
Figure A3-1	<i>Éléments caractéristiques d'un ensemble flou: noyau, support, hauteur et α-coupe</i>	114
Figure A3-2	<i>Illustration de la propriété du tiers-exclu</i>	115
Figure A3-3	<i>Principe de fonction d'appartenance</i>	116
Figure A3-4	<i>Procédure d'inférences sous l'environnement MATLAB</i>	117

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1	<i>Principaux accidents technologiques enregistrés en Algérie</i>	19
Tableau I.2	<i>Terminologie des critères d'acceptation des risques dans différentes industries</i>	31

Chapitre II

Tableau II.1	<i>Exemples de catégories des conséquences.</i>	39
Tableau II.2	<i>Exemple de catégories des fréquences.</i>	40
Tableau II.3	<i>Exemple des niveaux du risque.</i>	40
Tableau II.4	<i>Niveaux des risques associés à la grille de la figure II.2</i>	41
Tableau II.5	<i>Catégories de gravités des risques associées à la grille semi-quantitative</i>	41
Tableau II.6	<i>Catégories de fréquences des risques associées à la grille semi-quantitative</i>	41
Tableau II.7	<i>Constats et recommandations de Merad (2004)</i>	51

Chapitre III

Tableau III. 1	<i>Invariants issus du REX relatif aux grilles des risques existantes</i>	61
Tableau III.2	<i>Objectifs de sécurité des grilles des Figures III.2 et III.6</i>	66

Chapitre IV

Tableau IV.1	<i>Extrait des domaines d'application de la méthode ACP</i>	73
Tableau IV.2	<i>Classification des scénarios d'accidents obtenue par une grille de risques</i>	82
Tableau IV.3	<i>Normalisation des données de classification des dix scénarios d'accidents</i>	83
Tableau IV.4	<i>Valeurs propres obtenues par l'ACP</i>	83
Tableau IV.5	<i>Coordonnées des dix scénarios d'accidents par rapport aux principaux facteurs de leur classification</i>	84
Tableau IV.6	<i>Distances géométriques entres les scénarios non-classés avec les scénarios</i>	85
Tableau IV.7	<i>Matrice de décision</i>	89
Tableau IV.8	<i>les valeurs d'appartenance des scénarios d'accidents classés obtenues par la méthode ACP-AF</i>	91

Annexes

Tableau A1-1	<i>Données issues de la méthode QRA pour dix scénarios</i>	109
Tableau A3-1	<i>Différents type de fonctions d'appartenance</i>	116
Tableau A3-2	<i>Différentes méthodes utilisées pour la défuzzification (Mogharreban & Dillalah, 2006 ; Saad & Diab, 2004)</i>	118

Liste des abréviations

REX	<i>Retour d'EXpérience</i>
ACP	<i>Analyse en Composantes Principales</i>
ACP-A	<i>Analyse en Composantes Principales Améliorée</i>
ACP-AF	<i>Analyse en Composantes Principales Améliorée Floue</i>
EDD	<i>Etude de Danger</i>
PGPRM	<i>Plan Générale de Prévention des Risques Technologique</i>
PII	<i>Plan interne d'intervention</i>
ORSEC	OR ganisation des SEC ours
PPRT	<i>Plans de Prévention des Risques Technologiques</i>
ALARP	<i>As Low As Reasonably Practicable</i>
AIChE	<i>American Institute of Chemical Engineers</i>
CCPS	<i>Center for Chemical Process Safety</i>
DOD	<i>Department of Defense</i>
OPS	<i>Objectifs relatifs à la Politique de Sécurité</i>
OSR	<i>Objectifs de Sécurité Règlementaires</i>
QCC	<i>Qualité du Classificateur d'une Cellule</i>
QRA	<i>Quantitative Risk Assessment</i>
FIS	<i>Fuzzy Inference System</i>
ISO	<i>International Standard Organisation</i>
HSE	<i>Health and Safety Executive</i>
PHA	<i>Process Hazard Analysis</i>

Introduction Générale

Introduction Générale

Les catastrophes naturelles et technologiques qu'a connues l'Algérie depuis son indépendance ont causées de lourdes conséquences de différents types (économiques, sociales et environnementales). Afin de réduire ces conséquences dévastatrices, l'Algérie a déployé une stratégie de prévention des risques majeurs dont le but est de les réduire.

En effet, la stratégie de prévention des risques majeurs en Algérie est basée sur quatre axes principaux qui sont : la réduction des risques à la source (moyennant les études de dangers –EDD–), Elaboration et la mise en œuvre des plans d'urgences et de secours (PII, PPI), la maîtrise de l'urbanisation autour des sites à risques majeurs (Prévention et PGPRM) et le développement d'une culture de prévention permettant une information et participation du public pour une meilleure concertation dans le cadre de la prise de décision.

Pour rappel, cette politique est communiquée par la loi¹ mère de prévention des risques majeurs en Algérie qui constitue l'ossature d'une stratégie d'action globale initiée et conduite par l'Etat, mise en œuvre par les institutions publiques et les collectivités territoriales dans le cadre de leurs compétences respectives en concertation avec les opérateurs économiques, sociaux et scientifiques et en associant les citoyens.

D'après cette loi, la concertation avec les acteurs impliqués dans la stratégie de prévention des risques majeurs n'est pas une obligation réglementaire mais plutôt une recommandation qui conditionne la réussite de la politique de prévention des risques majeurs.

Par ailleurs, la détermination du "risque acceptable" doit être gouvernée par un processus de négociations et de concertation (Damart, 2003); car, plus la concertation est réussie mieux cette acceptabilité du risque est acceptée et par voie de conséquence, plus facilement légitimée (Amorim, 2000).

Mieux encore, la concertation est la manière d'établir des relations entre les acteurs impliqués dans la stratégie de la prévention des risques majeurs pour dégager, d'un commun accord, la définition des objectifs et des moyens de la prévention des risques majeurs (Chevallier, 2000).

Ce projet de thèse de doctorat, qu'est centré sur le concept de concertation, a pour objet de mettre en exergue deux évidences : la politique de prévention des risques majeurs en Algérie a besoin de plus de concertation et que cette concertation doit être positionnée par rapport à la consultation et à la négociation.

Le triptyque « consultation – concertation – négociation » renvoi au processus de décision collective (Touzard, 2006). En conséquence, les objectifs scientifiques retenus dans le

¹ La loi 04-20 et ses textes d'application.

cadre de cette thèse de doctorat visent à valoriser la concertation basée sur la décision collective en vue d'une meilleure prévention des risques majeurs.

Le cas le plus intéressant à retenir comme une illustration de nos propos est celui de la grille des risques qui constitue un vrai outil de concertation pour la définition de l'acceptabilité des risques (Merad, 2004).

L'intérêt de concevoir une grille des risques basée sur la concertation est de promouvoir cette grille de sorte à ce qu'elle joue son rôle en tant qu'outil d'aide à la décision pour la maîtrise des risques. En d'autres termes, la conception d'une grille des risques gouvernée par une concertation permet d'accroître la légitimité de la décision.

A l'inverse, une grille des risques conçue sans concertation risque de remettre en cause sa fonction de communication et, par voie de conséquences, sa pertinence.

Dans ce mémoire de thèse, nous allons nous focaliser d'avantage sur le problème de la pertinence des grilles des risques et l'apport de certains outils² pour faciliter (ou guider) la concertation dans la conception et le réajustement des grilles des risques.

En effet, la grille des risques permet d'évaluer le niveau des risques dans une entreprise. C'est donc un outil d'aide à la prise de décision en matière de maîtrise des risques. En conséquence, sa conception est d'une grande importance ; car, elle permet de jouer le vrai rôle d'un tableau de bord de l'entreprise en matière de gestion des risques.

La conception d'une grille des risques doit être réalisée autour de la fixation des objectifs de sécurité qui sont en nombre de deux (Lienvens, 1976) : objectifs règlementaires traduits par la frontière qui sépare les zones des risques «non-acceptables » et « tolérables » et les objectifs de culture de sécurité qui séparent entre les zones des risques « tolérables » et « acceptables ».

L'hypothèse retenue dans cette thèse de doctorat consiste à répondre à deux questions clés :

- Q₁- Comment capitaliser une grille des risques sous forme d'objectifs de sécurité (règlementaire et de culture de sécurité) ?
- Q₂- Comment guider le processus de concertation pour une meilleure fixation de ces objectifs de sécurité ?

Pour fournir des éléments de réponse à ces deux questions fondamentales, la structure retenue du présent manuscrit est la suivante :

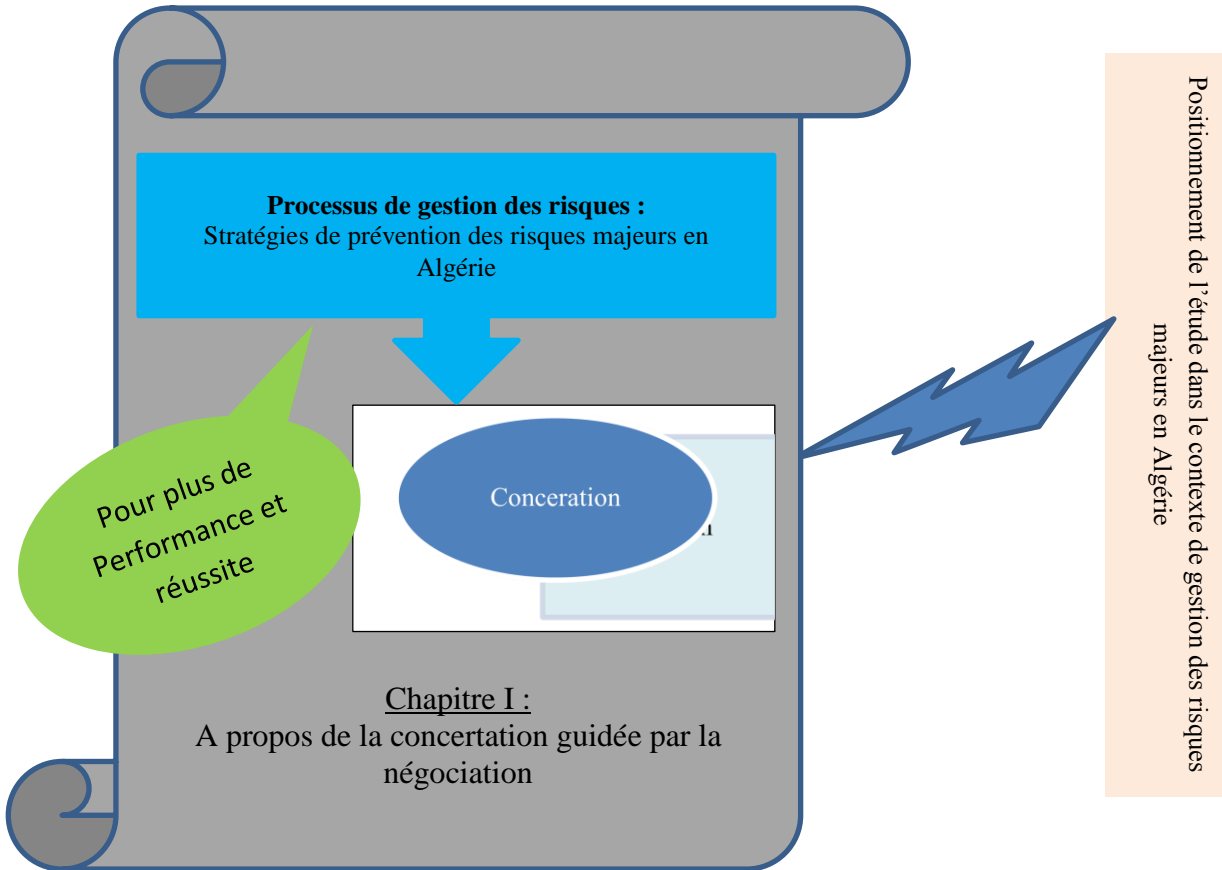
- *Le chapitre 1* de cette thèse s'attache à présenter le cadre conceptuel et théorique de la concertation et son apport dans l'aide à la prise de décision collective. Le but de ce chapitre est de remédier aux procédures actuelles pratiquées dans le déploiement des démarches de concertation. Plus précisément, ce chapitre a pour mérite de mettre en lumière l'intérêt de guider la concertation par la négociation appuyée par des outils adéquats tels que le REX et l'ACP.

² Tels que le Retour d'Expérience (REX) et l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

- *Le chapitre 2* présente dans sa première partie une revue de la littérature sur les grilles des risques (concepts de base, typologie des grilles, ...). Dans la deuxième partie de ce chapitre, les problèmes récurrents des grilles des risques sont présentés de manière détaillée afin de mieux situer les tendances d'extension des grilles des risques notamment les recommandations de [Merad \(2004\)](#) que nous avons retenu comme référentiel pour la présentation détaillée de nos contributions dans la suite de ce manuscrit (Chapitres trois et quatre).
- *Le chapitre 3* a pour objet de présenter l'apport du Retour d'Expérience (REX) en tant que cadre théorique pour guider la négociation de la conception des grilles des risques. Afin de justifier notre recours au REX, nous rappelons dans la première partie de ce chapitre les apports multiples du REX et ses pratiques dans les organisations industrielles. Dans le deuxième partie, nous présentons les invariants du REX relatif aux grilles des risques. La négociation envisagée pour la conception des grilles des risques que nous proposons est axée sur l'exploitation de ces invariants pour la délimitation des zones des risques des grilles (zones : acceptable, tolérable et non-acceptable).
- *Le chapitre 4* est dédié à la validation des grilles des risques moyennant des méthodes de classification telle que la méthode « Analyse en Composante Principale –ACP–» qui est retenue dans ce dernier chapitre. Le recours à l'ACP se justifie par la nécessité de cadrer la négociation de la classification des scénarios d'accidents par ce type d'outil. Malgré la puissance approuvée de l'ACP dans la classification des données d'une manière générale, nous remarquons dans ce chapitre que son usage pose un problème de classification de certains scénarios. Pour solutionner ce problème, nous proposons dans ce chapitre l'usage d'une ACP améliorée (ACP-A) pour la classification des scénarios d'accidents que nous validons par une ACP-A-Floue.

Evidemment, ces quatre chapitres sont cadrés par une introduction et une conclusion générales complétées par des annexes.

Le schéma de la page suivante présente de manière synthétisée la structure du présent manuscrit ainsi que l'articulation de nos contributions.



Chapitre II :
Exemples des grilles des risques comme outils d'aide à la concertation en gestion des risques majeurs
Limites et extensions

Outils supports proposés pour la concertation

Chapitre III :
Apport du REX pour la négociation des niveaux des risques dans les grilles

Chapitre IV :
Apport de l'ACP et ses variantes (ACP-A et ACP-A-F) pour la négociation de la classification des scénarios d'accidents dans les grilles des risques.

Chapitre I *À propos de la concertation pour une meilleure gestion des risques*

Sommaire

1.1. Introduction	18
1.2. A propos des risques majeurs : Cas de l'Algérie	18
1.3. Rappels des concepts de base relative à la concertation	21
1.3.1. Cadre d'usage de la concertation	21
1.3.2. Définition et objectifs de la concertation	25
1.4. Management des risques : cadre idéal pour l'exploration des concepts de concertation et de négociation	27
1.4.1. Rappel du processus de management des risques	27
1.4.2. Place de la concertation dans le processus de management des risques	29
1.4.2.1. Critères d'acceptabilité des risques	31
1.4.2.2. Zonage des risques	32
1.5. Apport de la négociation à base d'arguments pour une meilleure définition de l'acceptabilité des risques	33
1.6. Conclusion	35

I.1- Introduction

L'évaluation des risques occupe une place de choix dans le processus de gestion des risques ; car, c'est elle qui conditionne la maîtrise des risques. En effet, une bonne évaluation des risques permet de mieux édicter les moyens de prévention et/ou de protection des risques.

Evidemment, l'évaluation des risques est conditionnée à son tour par l'analyse des risques qui nécessite le déploiement de méthodes appropriées (Villemeur, 1988). Ces méthodes ainsi que les outils³ d'évaluation des risques sont pratiqués dans un cadre collectif.

La finalité du processus de gestion des risques est l'aide à la prise de décision quant à la maîtrise des risques. La pertinence de cette aide à la prise de décision est conditionnée par la réussite de la concertation entre les membres de l'équipe impliquée dans le processus qu'est obligatoirement pluridisciplinaire.

La question à laquelle s'attache ce chapitre pour fournir des éléments de réponse est la suivante : Comment structurer le processus d'aide à la prise de décision pour favoriser la concertation entre les membres d'une équipe chargée de la gestion des risques afin d'accroître la légitimation d'aide à la décision ?

La réponse à cette question, nous incite logiquement à rappeler dans la première partie de ce chapitre les définitions des concepts « concertation » et « aide à la prise de décision ». Dans la seconde partie, nous évoquerons le processus de concertation et la nécessité de l'orienter vers la négociation. Enfin, la dernière partie sera consacrée au cas des grilles des risques où la décision d'acceptabilité des risques est un exemple qui permet de valoriser nos propos.

I.2- A propos des risques majeurs : Cas de l'Algérie

D'après la loi 04/20 du 25/12/2004, le risque majeur c'est « toute menace probable pour l'homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels et/ou du fait d'activités humaines ». Donc, le risque industriel majeur est un concept intégrant des composantes techniques, économiques, sociales et organisationnelles (Hadeef & al, 2011). D'où la difficulté de l'aborder en se focalisant sur l'une de ses composantes et sa complexité lorsqu'on décide d'en tenir compte de l'ensemble de ses composantes.

Pour qu'un risque industriel soit qualifié d'un risque majeur, trois types d'effets sont susceptibles d'être générés par les installations industrielles: les effets thermiques, les effets de surpression et les effets toxiques (Figure I.1).

³ Il s'agit principalement de la grille des risques qu'est de loin l'outil le plus utilisé en évaluation des risques.

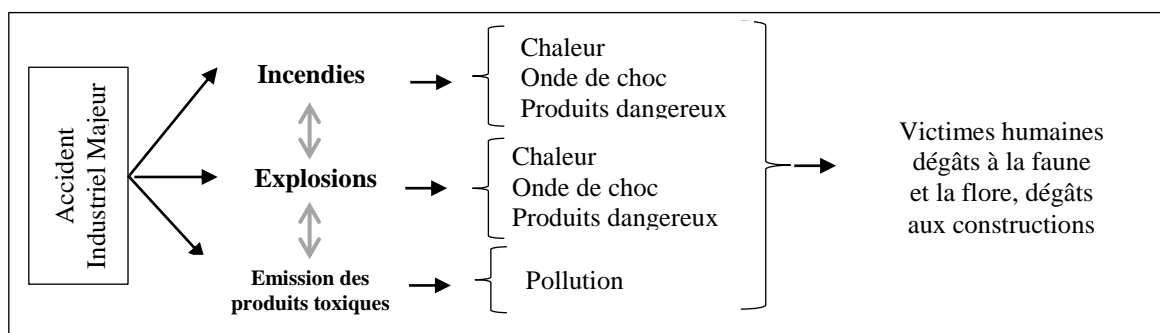


Figure I.1 Effet des accidents industriels (Nichan, 2006)

Les risques industriels majeurs ont marqué l'histoire de l'humanité. En effet, la révolution industrielle a entraîné à travers le monde de nombreux accidents dont certains ont marqué les esprits par leur ampleur, leur violence et leurs conséquences. Le Tableau I-1 fourni un extrait de ces accidents qui sont survenus en Algérie.

Tableau I.1 : Principaux accidents technologiques survenus en Algérie

Sources : Site Officiel de Protection Civile Algérie, 2012 ; Hadeif & al, 2011

Lieu	Date	Incidents/Accidents	Dégâts
Sétif	Mai 1978	Perte d'une source radioactive d'iridium 192 de 17 Ci	01 décès, 07 personnes exposées à des fortes doses.
Ouargla	Aout 1988	Explosion d'un centre enfuté	10 décès, 05 blessées
EPA-Oran	28.12.1990	Feu d'un condensateur	05 décès (1 Algérien et 4 Philippins)
Ammoniac-Oran	22.10.1994	Fuite de NH3	01 décès, 32 asphyxies
Gazoduc-Skikda	03.03.1998	Explosion d'un gazoduc	07 décès, 44 blessées. 10 habitations détruites, 50 habitations endommagées
ENCG-Bejaia	01.10.1998	Incendie	02 décès, 03 ateliers endommagés
SH/DP/Hassi R'Mel	Janvier 2000	Eruption non contrôlé de puits de gaz HR64	Puits abandonné
Ammoniac-Oran	10.06.2003	Explosion d'un filtre à air	01 décès, 02 blessées
GP2Z, SH/Activité Aval, Arzew	15.11.2003	Incident de GP2Z, incendie sur four rebouilleur	Four rebouilleur totalement détruit et un autre partiellement
Complexe GL1K, SH/Activité Aval, Skikda	19.01.2004	Accident de GL1K, forte explosion de gaz sur unité de liquéfaction	27 décès, 74 blessés et destruction totale de l'unité 6 du complexe (3 modules indisponibles)
Terminal Arrivée RTE, SH/Activité TRC, Skikda	04.10.2005	Accident de RTE, incendie sur deux bacs de stockage de brut S105, S106	02 décès et les deux bacs S105/S105 furent totalement détruits
Mascara	19.10.2006	Explosion (canalisation gaz)	54 blessés, 25 habitations endommagées
Gazoduc-Relizane	18.05.2008	Explosion (canalisation gaz)	09 blessés
Gazoduc-Relizane	11.08.2008	Explosion (canalisation gaz)	21 blessés

L'occurrence de ces accidents et en particulier celui de Skikda 2004 à inciter l'Algérie a prolongé la loi mère qui trace les grands axes de la politique de prévention des risques majeurs en Algérie. Cette loi est dédiée à la lutte contre les accidents majeurs au niveau des zones classées⁴ à hauts risques. Cette politique, cadrée par la loi 04/20, est basée sur quatre axes principaux qui sont : la réduction des risques à la source (EDD), Élaboration et la mise en œuvre des plans d'urgences et de secours (PII⁵, ORSEC⁶), la maîtrise de l'urbanisation autour des sites à risques majeurs (Prévention et PGPRM), et enfin, le développement d'une culture de prévention axée sur l'information et la participation du public (Figure I.2).

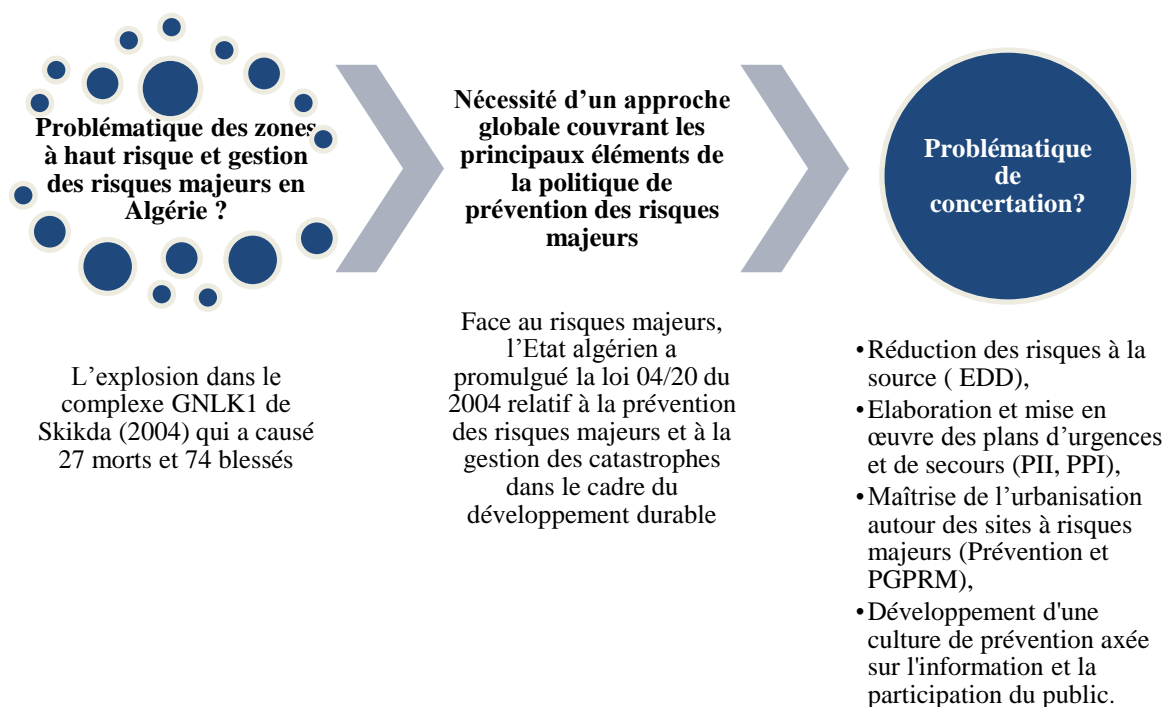


Figure I.2 : *Problématique de la concertation en gestion des risques majeurs en Algérie*

Un examen de la figure ci-dessus montre que la concertation occupe une place de choix dans la mise en œuvre des quatre piliers de la prévention des risques majeurs et pour assurer une certaine cohérence entre eux (Hassani & al, 2018). Pour illustrer nos propos, nous rappelons que :

- Dans le cadre des études de dangers, la concertation entre les acteurs de gestion de risques permet de juger quant à l'acceptabilité de risques ;
- Pour la mise en œuvre des plans d'urgence et la maîtrise de l'urbanisation auteurs ces zones, la concertation entre les acteurs (exploitant, autorités locales, citoyens) permet de réussir la collaboration entre eux en vue de prendre des décisions

⁴ Il s'agit des Installations Classées pour la protection de l'Environnement (ICPE)

⁵ Plan d'Intervention Interne

⁶ Plan d'ORganisation des SECours

collectives permettant de tracer les lignes directrices d'intervention en cas de catastrophes ;

- Pour le développement d'une culture de sécurité à travers l'information et la participation du public, l'intégration du public dans le processus d'évaluation des risques majeurs et dans le processus de maîtrise de ces risques permet de légitimer la décision.

I.3- Rappels des concepts de base relatifs à la concertation

1.3.1- Cadre d'usage de la concertation

Il est important de souligner que la littérature spécialisée dans la concertation s'accorde que son usage est dans le but de prendre une décision collective (Heitz, 2013).

Ainsi et à titre d'illustration, nous signalons que dans le cadre de la mise en place de PPRT⁷, la concertation est à l'origine de la parution de la notion de décision concertée qui s'est matérialisée à travers des dispositifs d'information et de concertation sur les risques industriels majeurs (Grembo & al. 2013 ; INERIS, 2010) : la décision négociée, la diffusion de la connaissance des processus et des choix de gestion et la prise en compte des différentes perceptions des acteurs.

Cette forme de décision concertée rend le processus de gestion des risques plus efficace et plus démocratique. En effet, dans ce cadre plusieurs organismes ont été créés afin d'assurer une meilleure concertation entre les acteurs de gestion des risques majeurs. C'est le cas par exemple des Comités locaux d'information et de concertation (CLIC) en France.

Par ailleurs et dans le cadre du PPRT, la concertation se matérialise comme une phase stratégique qui joue un rôle d'intermédiaire entre les deux autres phases de PPRT (l'étude technique et l'élaboration du projet PPRT) afin de gérer les flux des connaissances, les différentes opinions et les conflits entre les acteurs de décisions pour trouver un compromis entre eux (Figure I.3).

⁷ Plan de Prévention des Risques Technologique

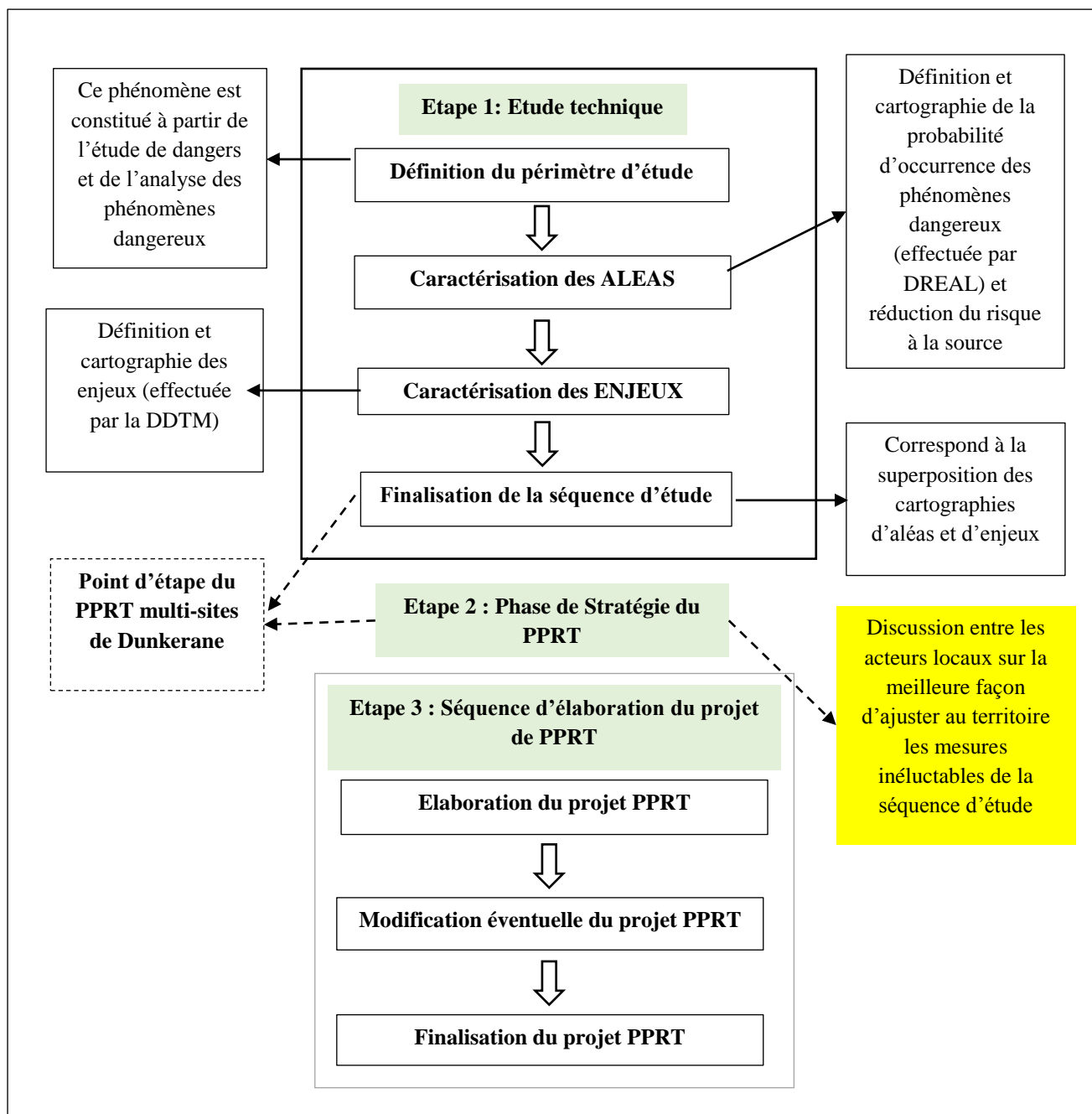


Figure I.3: *Elaboration du Plan de Prévention des Risques Technologiques PPRT (MEDAD, 2007)*

Il est également important de faire la distinction entre « une prise de décision » et « une aide à la prise de décision » afin de mieux positionner le cadre préférentiel d'usage de la concertation. En effet, on parle d'une décision collective dans des situations que l'on retrouve dans les organisations industrielles (Heitz, 2013). L'exemple qui illustre nos propos est celui de la politique de prévention des risques majeurs qui exige l'implication de différents acteurs.

Pour différencier entre une prise de décision et une aide à la prise de décision en HSE, nous nous référons aux acteurs impliqués dans le processus de décision (Hadeef, 2015) qui sont synthétisés par la Figure I.4.

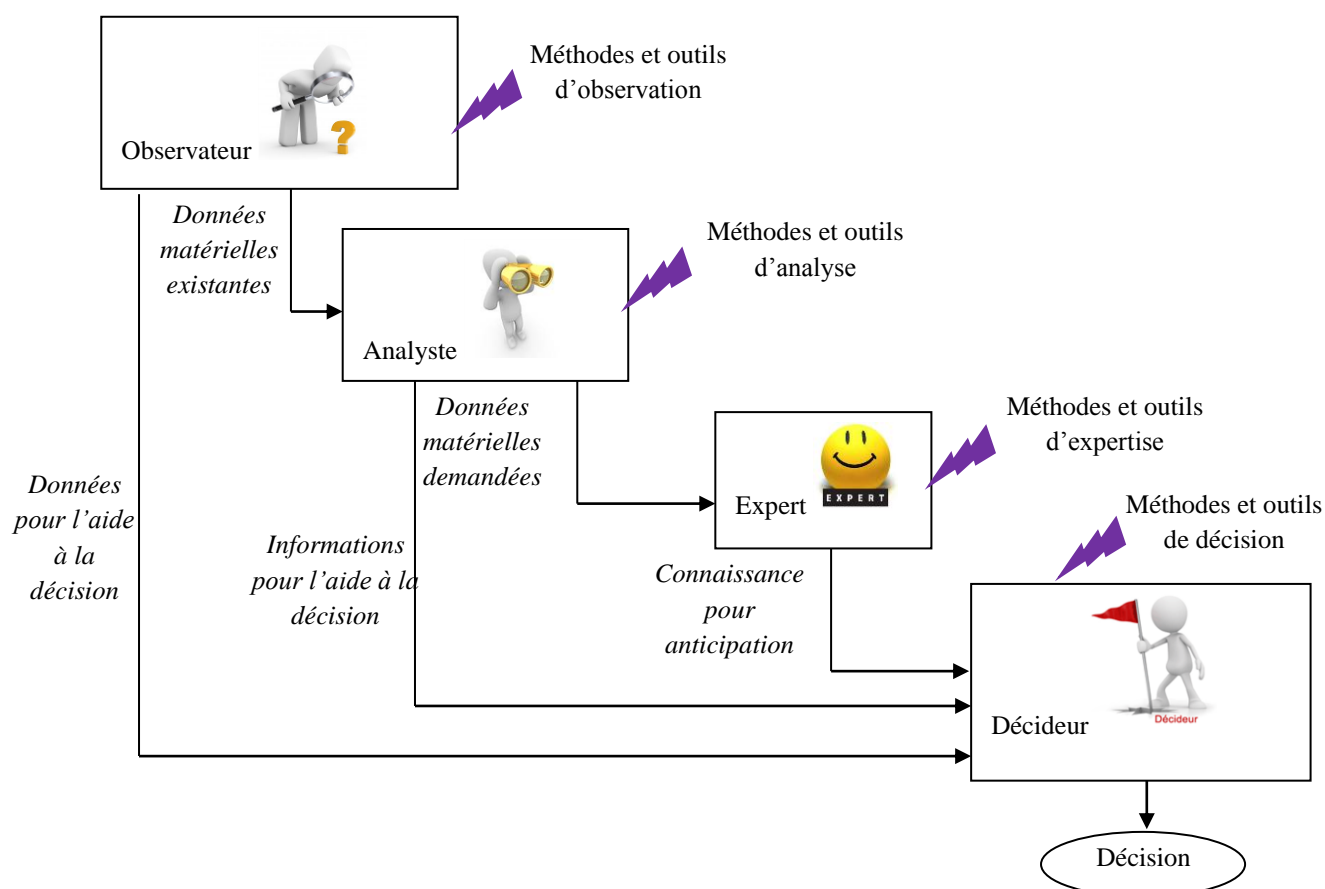


Figure I.4 : Articulation des acteurs dans un processus de décision (Hadeef, 2015)

L'examen de la Figure ci-dessus montre que les acteurs impliqués dans le processus de décision permettent de fournir au décideur des éléments de la prise de la décision. Donc, leur implication se limite à des fins d'aide à la prise de décision et que la décision est du sort du décideur qu'est souvent le premier responsable d'une organisation. En d'autres termes, l'aide à la prise de décision vise à traiter la complexité associée à la décision (Roy, 1985).

Pour rappel, le processus de décision prend plusieurs formes (Ponclin, 2019 ; Bonnaz, 2017) :

- la domination où le décideur annonce sa décision sans échanges d'avis avec les acteurs impliqués dans le processus de décision. Cette forme de décision est également appelée décision autoritaire (Figure I.5-a),
- la consultation où le décideur consulte son entourage sans aucune garantie de partager avec eux la prise de décision (Figure I.5-b),
- la concertation et participation où le décideur associe son entourage dans la réflexion et par voie de conséquence dans la prise de décision (Figure I.5-C).

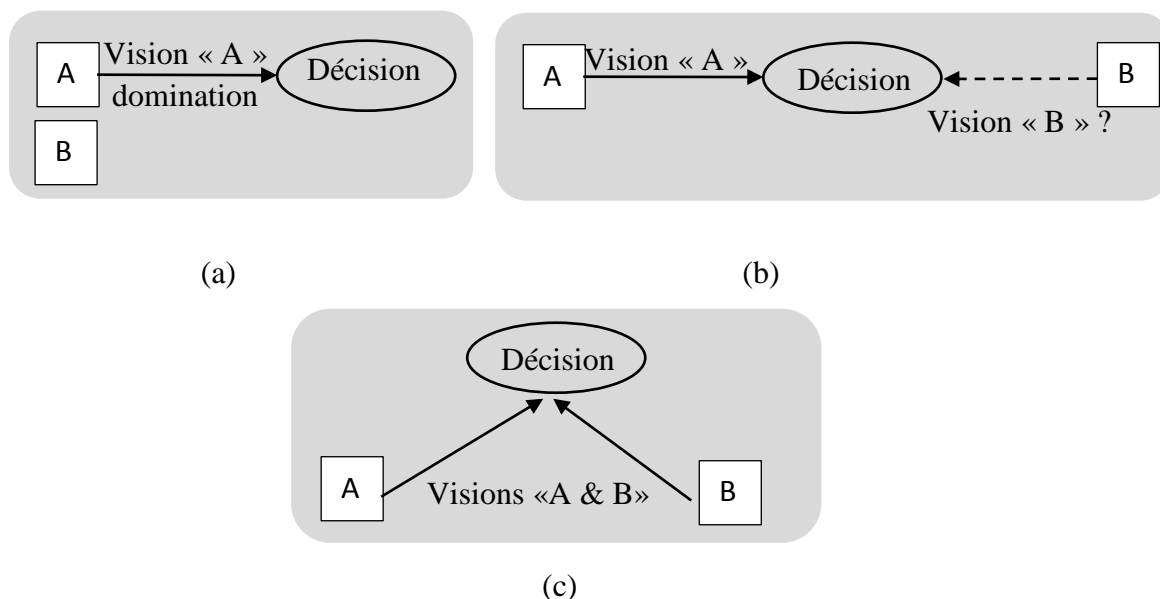


Figure I.5 : Formes de prise de décision (Ponclin, 2019 ; Bonnaz, 2017)

Afin de mieux différencier entre les concepts « consultation » et « concertation », nous retenons la proposition de Damart & al, (2001) qui considèrent que la consultation constitue un premier niveau⁸ d'implication des acteurs concernés par la prise de décision. Tandis que la négociation⁹ est un mode de décision par consensus. La négociation constitue donc le second niveau d'implication des acteurs. Enfin, la concertation est le troisième niveau qu'est le plus élevé dans l'implication des acteurs dans la prise de la décision (Figure I.6).

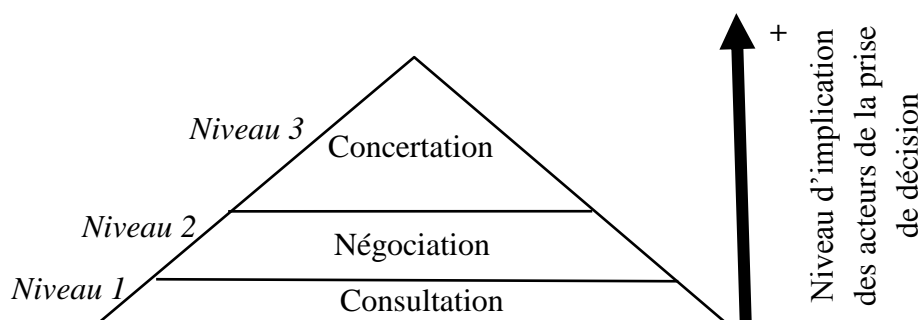


Figure I.6 : Classement de certains concepts proches à la concertation par niveaux d'implication des acteurs

Dans la Figure I.6, la différence entre consultation et concertation est claire. Par contre, la distinction entre négociation et concertation nécessite plus d'éclaircissement. En effet, selon des auteurs (Martel & Kiss, 1994), la concertation est une sorte de prise de décision

⁸ A ce niveau, le décideur qu'est unique prend connaissance des différents points de vue des acteurs impliqués dans le processus de décision.

⁹ C'est une situation où plusieurs décideurs s'entendent sur une solution.

participative tandis que la négociation est la cessation par le décideur d'une partie de son pouvoir aux acteurs impliqués dans le processus de décision.

1.3.2- Définition et objectifs de la concertation

D'une manière générale, la concertation est une manière d'établir des relations de coopération permettant de solutionner un problème et, donc, d'aboutir à une décision collective et participative.

En référence à un processus de décision, la concertation s'applique dans une situation caractérisée par trois dimension (Damart & al, 2001) : (i) la nature et le degré de la structuration de la décision, (ii) la nature et le degré de la concertation et (iii) la composition du collectif décideur.

Pour le processus de décision, la concertation est également une action omniprésente dans toutes les étapes du processus. Elle est matérialisée par des spirales dans le processus de décision (Figure I.7).

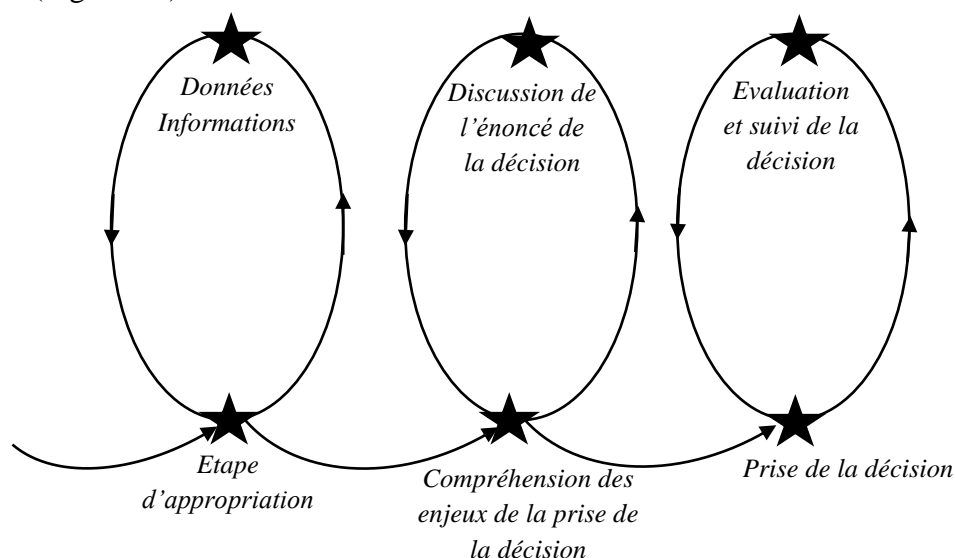


Figure I.7 : *Processus de la prise de décision gouverné par la concertation d'après (Damart, 2003).*

Dans la figure ci-dessus, le processus de décision est une succession des évènements qui aboutissent à la prise de la décision. Ce processus est schématisé comme étant une manière d'évoluer vers la décision prise. En conséquence, cette évolution est facilitée d'avantage par la concertation (Damart, 2003).

Par ailleurs, cette même figure montre que la concertation est également un processus ou une démarche composée d'un certain nombre d'étapes. Par exemple, à partir de la Figure I.7, nous pouvons dégager les étapes suivantes (Boudaraa, 2012) :

- introduction et position du problème (nature du problème, enjeux que présentent la résolution du problème),
- exploration du problème et formulation des idées ou des pistes permettant sa résolution,

- localisation des propositions émergentes permettant de solutionner les préoccupations majeures du collectif impliqué dans la concertation,
- formulation de la décision,
- vérification, test et suivi de son application.

Ces étapes peuvent être formalisées par l'organigramme suivant (Figure I.8).

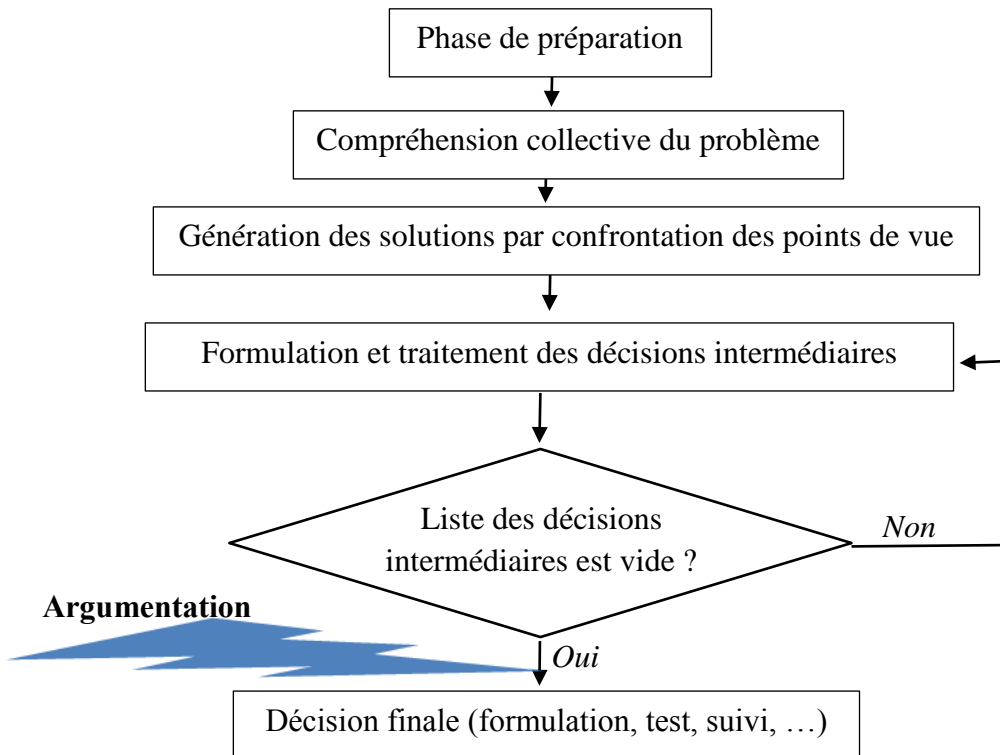


Figure I.8 : Démarche de concertation en vue d'une prise de décision collective.

Un examen de la Figure I.8 ci-dessus montre que la démarche de concertation conduit à l'élaboration des décisions intermédiaires qu'il faut promouvoir pour aboutir à une décision finale et pérenne. Or, cette concertation autour d'une décision finale doit être positionnée par rapport à la discussion et à la négociation. Car, une négociation s'impose lorsque des propositions de solutions antagonistes (décisions intermédiaires) et lorsque l'accord final (décision finale) satisfait au mieux tous les acteurs.

La modélisation systémique que nous proposons pour le concept de négociation est fournie par la Figure I.9.

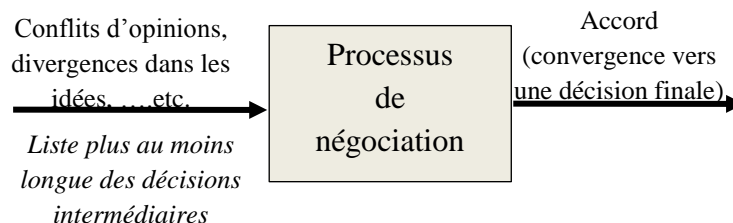


Figure I.9 : Modélisation systémique de la négociation.

L'examen de la Figure I.9 montre que l'exploration approfondie du processus de négociation s'impose. A ce propos, la dernière partie de ce chapitre présente les mécanismes de cette boîte noire pour rendre ce concept de négociation plus transparent (cf. section 5).

Les objectifs d'une concertation sont multiples, nous retenons les plus remarquables à notre domaine de recherche (gestion des risques majeurs) : l'élaboration d'une connaissance partagée sur les risques, définition des orientations de prévention partagées et adoption des moyens (ou mesures) acceptés.

Il est important de souligner que nos investigations sur le concept de concertation nous a permis de retenir également l'objectif suivant de la concertation : « la concertation a pour principal objectif de gérer la complexité de l'évaluation des risques ». Plus précisément, l'objectif de la concertation est de trouver des réponses à la question suivante : « comment faire pour mieux cadrer la subjectivité de certains paramètres du risque ? ». En effet, la concertation a pour objectif de cadrer cette subjectivité par des raisonnements simples intégrant du bon sens¹⁰.

1.4- Management des risques : cadre idéal pour l'exploration des concepts de la concertation et la négociation

1.4.1- Rappel du processus du management des risques

La norme [ISO 31000 \(2009\)](#) définit le management du risque en tant que : « *activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque* ». Selon cette norme, le processus de management des Risques (Figure I.10) est composé de sept étapes détaillées ci-après.

¹⁰ Les chapitres trois et quatre fournissent plus de détails sur cet objectif de la concertation.

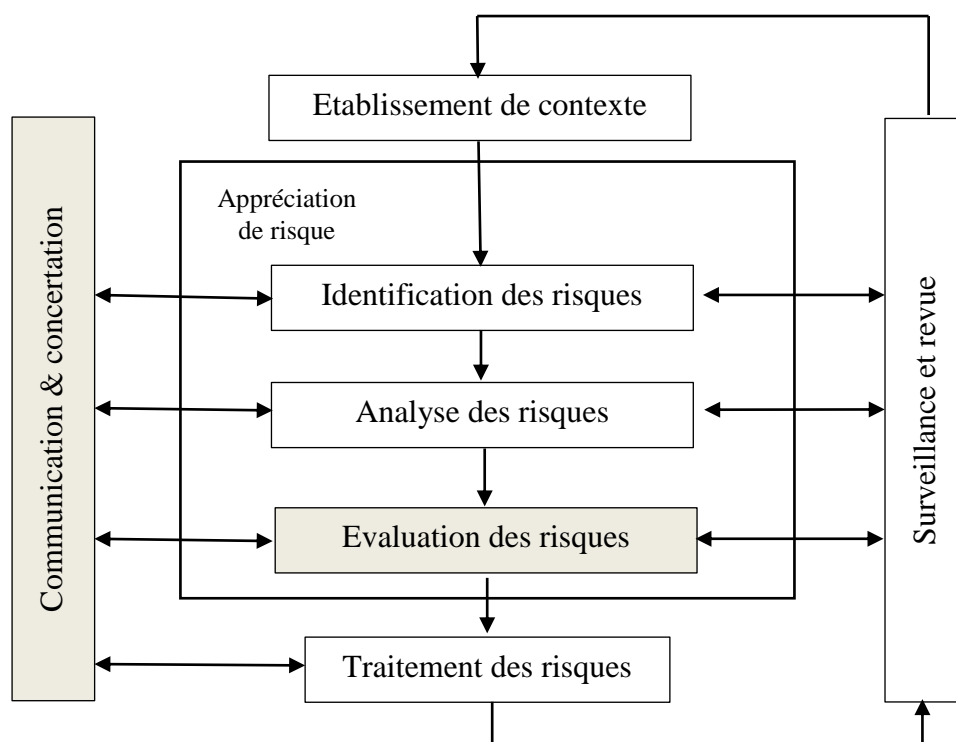


Figure I.10 : Processus global d'appréciation et de traitement des risques (tiré de la norme ISO 31000: 2009)

A- La communication et la concertation

La communication et la concertation sont des activités transversales à toutes les étapes du processus de management des risques qui permettent d'assurer son bon déroulement. En effet, il est essentiel que les acteurs de gestion des risques communiquent entre eux et travaillent dans un cadre de concertation durant les différentes étapes de ce processus afin de définir les deux exigences suivantes : obtenir des informations sur les risques (à leurs causes, à leurs conséquences et aux mesures prises pour les maîtriser) et la gestion des perceptions des parties prenantes pour la gestion des risques.

B- L'établissement du contexte

L'établissement du contexte comprend la planification du reste du processus et l'alignement des objectifs en matière de gestion de risque avec les objectifs de l'entreprise. Cette planification touche les points suivants : l'établissement des contextes internes et externes, l'établissement du contexte de gestion des risques, le développement des critères des risques et, enfin, la définition de la structure pour l'analyse des risques.

C- L'appréciation des risques

L'appréciation des risques est le processus global permettant : l'identification des événements indésirables, l'estimation¹¹ qualitative ou quantitative de ces événements et leurs évaluations pour planifier les actions de traitement.

¹¹ Selon la disponibilité des données.

Evidemment, le noyau de cette étape est l'évaluation des risques qui consiste à comparer le niveau de risque constaté au cours du processus d'analyse avec les critères d'acceptabilité des risques. La finalité de cette évaluation des risques consiste en la hiérarchisation ou le référencement des risques (Vilneuves, 2012) selon la criticité des risques qu'est une combinaison des dimensions « fréquence » et « gravité ».

D- La réduction des risques

La réduction des risques est matérialisée par quatre actions qui sont les suivantes :

- transférer le risque vers des fournisseurs ou des sous-traitances afin de minimiser les conséquences financières d'un évènement (généralement applicable pour les risques majeurs).
- mettre fin au risque qualifié de majeur,
- tolérer le risque en référence à l'utilité de l'activité en question (principe ALARP).
- traiter le risque par application des mesures additionnelles portant soit sur la minimisation de sa probabilité d'occurrence (prévention) soit sur la gravité des conséquences (protection) ou sur les deux paramètres simultanément pour le rendre acceptable ou à défaut tolérable.

E- Surveillance et revue

Le suivi et la révision constituent une étape essentielle et intégrale du processus de management des risques. Lors de cette étape, il s'agit d'examiner l'efficacité du plan de traitement, des stratégies et du système de gestion mis en place pour gérer efficacement les risques.

1.4.2- Place de la concertation et négociation dans le management des risques

Dans le processus de management des risques de la Figure I.10, la concertation est commune à toutes ses étapes (appréciation et traitement des risques). L'utilité de cette concertation se justifie par le fait qu'en analyse des risques, toutes les méthodes d'analyse des risques doivent être appliquées collectivement et, donc, en concertation avec les équipes d'analyse des risques. De même, dans l'étape d'évaluation des risques (Figure I.11) qui assure la cartographie des risques (Baybutt, 2016 ; Moore, 2004), la concertation occupe une place de choix notamment dans la définition du niveau des risques et dans leur acceptabilité.

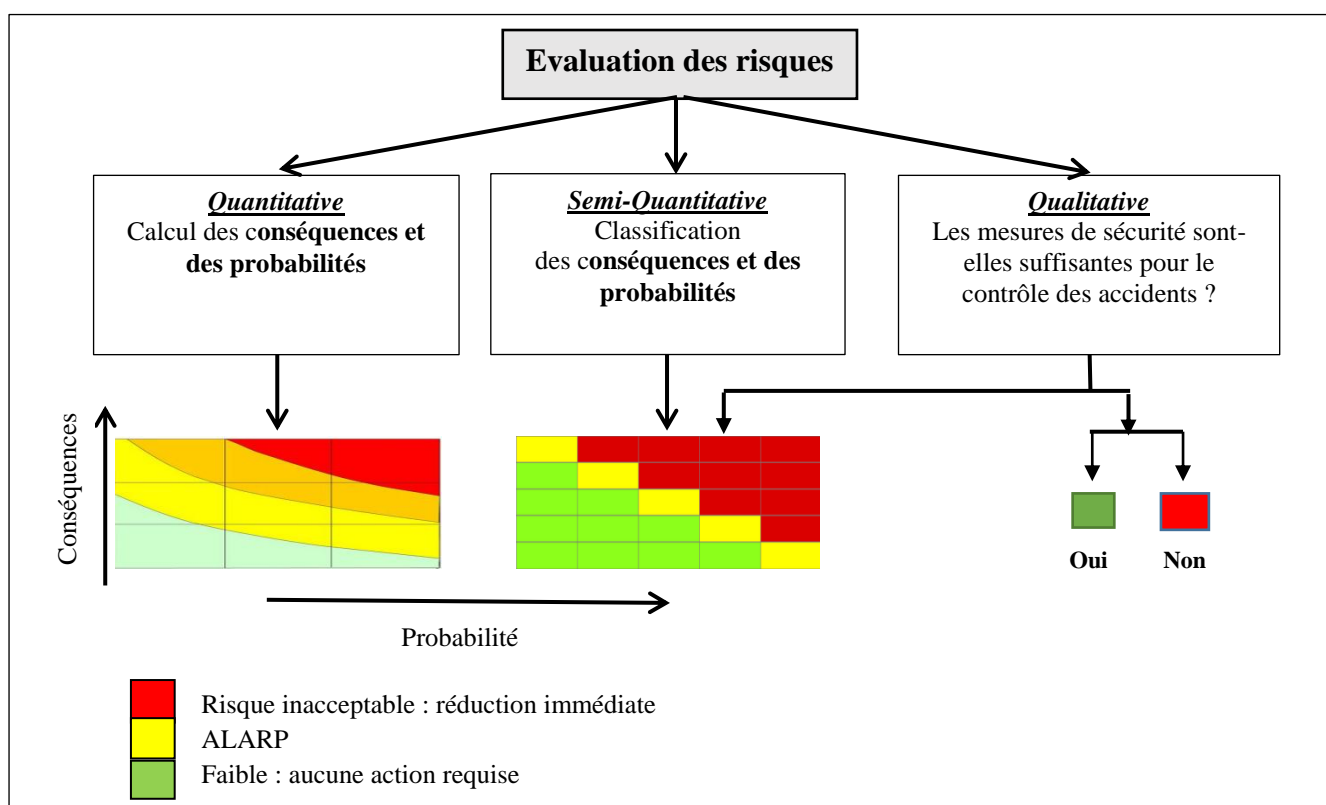


Figure I.11 : Méthodes d'évaluation de la criticité des risques d'après (Dziubiński, 2006)

Afin de mettre en exergue l'intérêt de la concertation dans l'évaluation des risques, nous rappelons que cette évaluation s'effectue suivant plusieurs approches (Dziubiński, 2006) :

- une évaluation subjective des risques qu'est inhérente aux appréciations individuelles qui capitalisent la connaissance acquise des évaluateurs (Baybutt, 2016) et une évaluation objective qui s'attache à l'exploitation statistique des événements déjà produits (Da-Cunha, 2016);
- une évaluation qualitative des risques qui consiste en une appréciation non-numérique des grandeurs des risques qui permet d'aboutir à un classement de ces grandeurs en termes de probabilité d'occurrence et de gravité des conséquences. Cette évaluation est basée sur un jugement de conformité par rapport aux règlements et aux normes (Dziubiński, 2006). Les outils les plus utilisés pour cette évaluation sont la grille de risque et le graphe-risques pour calculer le niveau d'intégrité de sécurité (Achouri, 2009; IEC, 1998; Hadeef & al, 2018). Par contre, l'évaluation quantitative d'un risque consiste à caractériser numériquement les grandeurs¹² du risque à analyser (CCPS, 2000). Généralement, le risque individuel et le risque sociétal sont les deux métriques utilisées pour l'évaluation quantitative des dommages causés sur les personnes qui sont les mesures de risque auxquelles les critères de risque s'appliquent (Hourtoulou, 2000).

¹² Telles que : la probabilité d'occurrence du risque chiffrée entre 0 à 1 et la gravité du risque matérialisée par une valeur numérique traduisant les coûts au sens large du terme (taux de mortalité, d'invalidité, ...etc.).

La finalité de ces évaluations des risques est la détermination de l'acceptabilité (ou au zonage) des risques en référence à des critères qui traduisent les objectifs de sécurité fixés par l'organisation.

1.4.2.1- Critères d'acceptabilité des risques

Il est important de souligner que l'acceptabilité des risques et sa tolérance sont deux principes fondamentaux de la sécurité industrielle. La littérature relative à ces deux notions a donné plus d'éclaircissement sur leurs définitions. Ainsi, pour :

- Health & Safety Executive du Royaume-Uni (HSE, 2001), «tolérable» ne signifie pas «acceptable», Il s'agit plutôt d'une volonté de la société dans son ensemble de vivre avec un risque afin d'obtenir certains avantages en sachant que le risque en vaut la peine et qu'il fait l'objet d'un contrôle adéquat;
- Schjøberg & Østdahl (2008), le risque tolérable se réfère toujours au risque acceptable et l'acceptabilité d'un risque représenterait un sous-ensemble de la tolérance au risque. Ces auteurs définissent le risque tolérable comme un risque «accepté» dans un contexte donné, en fonction des lois/normes et des valeurs et les cultures existantes dans la société ;
- l'OHSAS 18001 (OHSAS, 1999), « le risque acceptable est un risque qui a été réduit à un niveau tolérable pour un organisme en regard de ses obligations légales et de sa propre politique de santé et de sécurité au travail »,
- le guide ISO/IEC 51 (ISO, 1999), le risque acceptable « est un risque accepté dans un certain contexte et fondé sur les valeurs admises par la société ».

Le Tableau I.2 résume la terminologie équivalente aux critères d'acceptation des risques dans différentes industries.

Tableau I.2 : Terminologie des critères d'acceptation des risques dans différentes industries d'après (DNV-GL, 2015)

Industries	Terminologie
Transport aérien	Niveau de sécurité visé
Transport routier	Objectifs de sécurité
Transport routier de marchandises dangereuses	Critère de risque
Transport ferroviaire	Critères d'acceptation des risques
Industrie nucléaire	Limites de dose
Industrie de traitement à terre	Critère de risque

Selon l'ISO (2010) «les critères de risque "Risk criteria"» sont définis comme : termes de référence par rapport auxquels l'importance d'un risque est évaluée », alors, les critères de risques nous aident à répondre à des questions comme par exemple :

- dans quelle mesure, la sécurité est-elle suffisante ?
- lequel des risques les plus différents est le moins élevé ?

Parmi les critères de risque évoqués dans la littérature, nous citons :

- critère de grille de risque qui indique les régions acceptables sur une grille de fréquence d'accidents (ou probabilité) et de conséquence (ou gravité),
- critère de risque individuel ou sociétal qui définit le niveau de risque de décès acceptable pour un individu (pour le risque individuel) et le niveau de risque de décès acceptable pour l'ensemble de la population exposée¹³. (voir annexe 1 pour plus de détails).
- critère coûts-avantages qui s'intéresse au coût acceptable des mesures de réduction des risques,
- critère qualitatif de risque définissant les conditions dans lesquelles un risque est accepté de manière qualitative.

1.4.2.2- Zonage des risques

Il existe différents niveaux/classes/catégories des risques, pour lesquels des risques plus élevés nécessitent une maîtrise plus stricte (des actions de prévention et/ou de protection). La courbe de Farmer illustre cette classification des zones ou des régions de risque. En effet, cette courbe (Figure I.12), qui exprime les aspects sociaux et humains des risques, permet de définir trois régions en fonction du couple (Gravité et Probabilité) (Farmer, 1967) :

- une région (A) dans laquelle le risque est jugé intolérable (fréquence trop élevée ou conséquence trop importante),
- une région intermédiaire (B) dans laquelle il est jugé tolérable. Cette région dite « zone ALARP » correspond au risque qui peut être ramené à un niveau aussi bas qu'il est raisonnable sans induire des coûts supplémentaires prohibitifs,
- une région (C) dans laquelle le risque est acceptable. Cette région est celle d'amélioration continue parce que la notion de « risque zéro » n'existe pas.

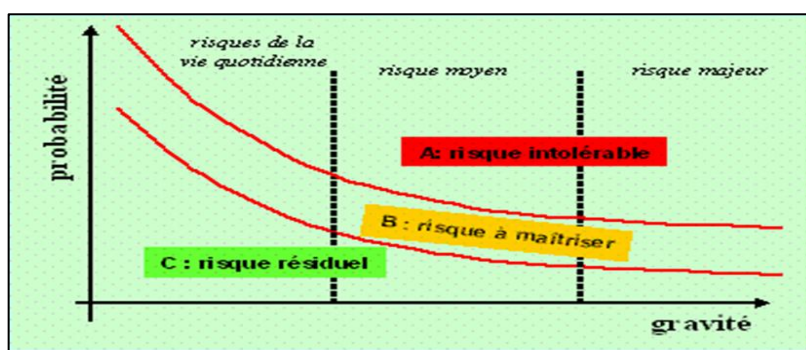


Figure I.12 : Principe de l'approche ALARP (Farmer, 1967)

Dans la Figure I.12, le passage d'une zone de risque à une autre correspond au dysfonctionnement des barrières de sécurité existantes (Hadeff & al, 2019).

¹³ La représentation graphique s'effectue sous forme de courbes « FN ».

1.5- Apport de la négociation à base d'argument pour une meilleure définition de l'acceptabilité des risques

Rappelons que la définition de l'acceptabilité des risques est une décision collective. En conséquence et dans certaines circonstances, cette définition provoque des conflits entre les acteurs impliqués dans l'évaluation des risques. La résolution de conflits se base sur la recherche d'un compromis accepté par les acteurs. Dans ce contexte, la négociation permet d'aboutir à un accord commun.

La négociation utilise des ressources et des méthodes. Donc, elle est de différents types (Verrons, 2001; Mermet, 2000). Ce qui nous intéresse dans notre travail est bien la négociation à base d'arguments où l'argumentation est capable de convaincre les acteurs et, en conséquence, accélère la convergence vers la décision finale.

Parmi les arguments qui peuvent être utilisés dans l'évaluation des risques, nous citons : le référentiel « retour d'expérience¹⁴ » et les stratégies de fixation des objectifs de sécurité.

Le mérite de ces deux argumentations est qu'elles sont basées sur la logique et le bon sens. En effet, plusieurs stratégies de fixation des objectifs de sécurité ont été abordées par la littérature. Généralement, elles sont groupées en deux grandes catégories :

- *Les stratégies internes à une organisation* : parmi les stratégies de cette première catégorie, nous citons la stratégie résumée par l'énoncé suivant (Dubiez & Benaceur, 1993) : tout nouveau système qui va être mis en service doit avoir un niveau de sécurité au moins équivalent à celui d'un système dit de référence¹⁵ ». C'est une stratégie qui s'appuie sur le retour d'expérience et qui stipule que l'objectif de sécurité doit être comparable aux performances de sécurité de systèmes communs et semblables.

Une autre stratégie interne à une organisation est celle dénommée « stratégie de l'exploitant » où l'organisme peut imposer la valeur de l'objectif de sécurité avec une probabilité « P » donnée sur une plage de temps « t » :

$$\lambda = \frac{\text{Log}(1-P)}{t} \quad (\text{I.1})$$

Où : P est une probabilité fixée par une décision politique et « λ » étant l'objectif de sécurité par heure.

Dans la stratégie de l'exploitant, la définition de l'objectif de sécurité est directement liée aux risques acceptés ou imposés. La décision relative à la définition des objectifs de sécurité est politique.

- *Les stratégies externes à une organisation* : une stratégie, qui fait partie de cette famille, est celle qui se réfère aux risques¹⁶ de la vie courante. Cette stratégie est individualiste dans le sens où elle se réfère aux divers risques dont un individu peut être exposé au cours de sa vie.

¹⁴ Pour plus de détails sur ce référentiel, le lecteur est invité à consulter le chapitre trois du présent manuscrit.

¹⁵ Un système de référence est un système dont les données qui le caractérisent sont exhaustives et statistiquement fiables.

¹⁶ On parle des risques ambiants.

Une autre stratégie de cette seconde famille est la stratégie médiatique qui s'applique aux risques collectifs dont leur caractère est catastrophique. Suivant cette stratégie, la fixation des objectifs de sécurité est directement liée aux catastrophes naturelles.

Ce qu'il faut souligner également dans la fixation des objectifs de sécurité est que pour le responsable d'une organisation, qu'est le décideur, la sécurité représente un coût qui se traduit par les dépenses. Pour ce décideur, ces dépenses permettant d'améliorer la sécurité doivent être justifiées par un bénéfice. Donc, toute implémentation d'une barrière de sécurité doit être négociée en termes de son coût et ce qu'elle rapporte.

Dans le cadre de cette négociation, qualifiée de supervisée, les autorités publiques doivent veiller à ce qu'un certain niveau minimum de sécurité soit atteint. En ce sens, l'Etat impose des règles et des normes techniques permettant de gérer, non seulement, les aspects techniques mais également les aspects psychosociaux et environnementaux ([Kouabenan, 2006](#)).

Ainsi, l'acceptabilité du risque dépasse la seule préoccupation du décideur de l'organisation et l'Etat pour impliquer d'autres acteurs (les travailleurs, les riverains, les clients, ...etc.). Donc, l'acceptabilité du risque devient un conflit d'acteurs multiples comme le souligne [Partoune \(2009\)](#).

La cause profonde de ce conflit réside, en réalité, dans la perception du risque où [Fucks & Mbaye \(2016\)](#) soulignent qu'en gestion des risques, le problème réside dans la perception du risque qui résulte à la fois de l'expérience accumulée suite à la confrontation avec le risque et de la communication dont l'individu est la cible ([Dubiez & Benaceur, 1993](#)).

En termes d'acceptabilité des risques, un risque perçu peut être « accepté » ou « subi » en fonction de trois grandes familles de facteurs de dimensionnement du risque (Figure I.13). D'où l'intérêt de prendre en considération ces facteurs de dimensionnement du risque dans la négociation de l'acceptabilité des risques. Plus précisément, dans les entrées de la boîte du processus de négociation de la Figure I.9.

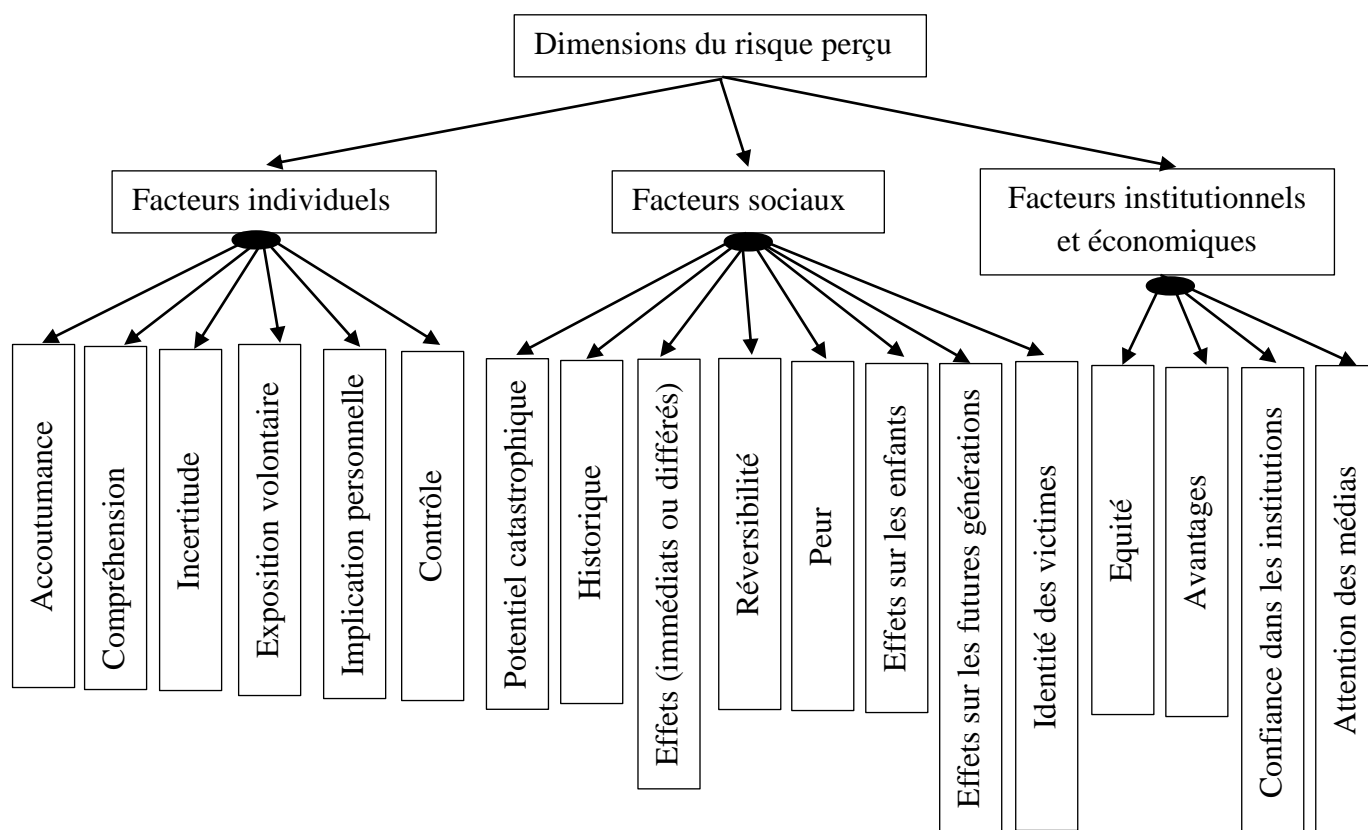


Figure I.13 : Facteurs de dimensionnement des risques d'après (Dubiez & Benaceur, 1993)

La négociation par argumentation consiste donc à filtrer la liste des décisions primaires qui résulte des perceptions individuelles des risques (cf. Figure I.8) de sorte à converger les avis vers une acceptabilité du risque approuvée (décision finale, dans la Figure I.8).

1.6- Conclusion

Le long de ce premier chapitre, nous avons fait un survol des concepts associés à la concertation ainsi que leur importance dans le domaine de la gestion des risques où nous nous sommes focalisés sur la négociation basée sur l'argument pour gérer les conflits entre les acteurs de gestion des risques quant à son acceptabilité.

Le premier argument exploré dans ce chapitre est celui des stratégies de fixation des objectifs de sécurité. L'autre argument, qu'est celui du recours au retour d'expérience sera détaillé dans le chapitre trois du présent manuscrit.

Pour une meilleure justification de cet argument (apport du retour d'expérience dans la définition de l'acceptabilité des risques), nous présentons dans le chapitre suivant un état d'art sur les problèmes récurrents des grilles des risques qu'est l'outil privilégié pour la cartographie des niveaux des risques et, donc, à leur éventuelle acceptabilité.

Chapitre II

Etat de l'art sur les grilles des risques

Sommaire

2.1. Introduction	37
2.2. Concepts de base relatifs aux grilles des risques	37
2.2.1. Grilles des risques	37
2.2.2. Caractéristiques des grilles des risques	38
2.2.3. Typologie des grilles des risques	38
2.2.3.1. Grilles des risques du type qualitatif	39
2.2.3.2. Grilles des risques du type semi-quantitatif	40
2.2.4. Autres utilisation des grilles des risques	42
2.3. Problèmes liés à l'utilisation des grilles des risques	42
2.3.1. Scores des risques et mise à l'échelle	43
2.3.2. Classification subjective de la probabilité et de la gravité	43
2.3.3. Cohérence de la grille des risques	44
2.3.4. Agrégation des risques	45
2.3.5. Grille des risques de l'entreprise	47
2.4. Extensions des grilles des risques	47
2.4.1. Rezonage des cellules de la grille des risques	47
2.4.2. Grille des risques avec indice de Borda	48
2.4.3. Classification des risques par la méthode k-means	49
2.4.4. Grille des risques floue	50
2.4.5. Constats et recommandations de Merad	51
2.5. Conclusion	52

II.1- Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les fondements de la concertation en matière de prise de décision pour la maîtrise des risques et nous avons montré que la grille des risques¹⁷ occupe une place de choix en tant qu'outil d'aide à la décision pour la gestion des risques.

Le présent chapitre aborde cet outil de grilles des risques d'une manière détaillée en se focalisant sur : (i) les concepts de bases liés aux grilles des risques (utilisation, typologie et caractéristiques), (ii) les limites et les difficultés évoquées par les différentes études scientifiques issues de l'application de ces grilles des risques et (iii) enfin, nous mentionnons les différentes extensions développées par des scientifiques afin de surmonter ces limites.

II.2- Concepts de base relatifs aux grilles des risques

II.2.1- Grilles des risques

La grille des risques est un outil simple d'évaluation des risques pour le classement (hiérarchisation) des scénarios d'accidents (Hadeff & Djebabra, 2019). En effet, cet outil est largement utilisé en tant qu'outil d'aide à la décision dans le cadre de jugement d'acceptabilité du risque (Bourarache, 2009).

La grille des risques visualise graphiquement les risques en fonction de deux dimensions (ou paramètres) qui sont la probabilité d'occurrence¹⁸ d'un risque et la gravité¹⁹ de ces conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement.

La conception de ces grilles, débute par la construction des catégories (ou classes) des probabilités et de gravités. Ensuite, de donner à chaque risque à classer deux valeurs (de sa probabilité d'occurrence et sa gravité de conséquences) en référence aux classes des risques établis précédemment. Enfin, chaque risque est caractérisé par une combinaison de probabilité et de gravité (G-P) qui exprime son degré de criticité. Ces combinaisons de risques (G-P), qui définissent les niveaux²⁰ de criticité des risques, sont mappées sur une grille de risques (souvent visualisées avec des couleurs différentes).

Il est important de rappeler que la criticité d'un risque est définie au préalable pour chaque entreprise sur la base de plusieurs considérations telles que (Hadeff & Djebabra, 2019a) : la nature d'activité de l'entreprise, sa taille, la réglementation en vigueur, le jugement d'experts, et l'engagement de responsable de l'entreprise en matière de sécurité et d'environnement, ... etc.

¹⁷ Il s'agit également de la matrice des risques ou de la criticité des risques. Pour des raisons d'homogénéisation, nous avons retenu, l'appellation "grilles des risques".

¹⁸ Cette dimension reflète soit la probabilité soit la fréquence d'occurrence d'un risque (scénario d'accident, par exemple).

¹⁹ Appelée également par certains auteurs, « sévérité ».

²⁰ Généralement, nous avons trois niveaux de risques : acceptable, tolérable et non-acceptable.

Ainsi, de nombreuses grilles de risques ont été développées et mises en œuvre dans différentes industries et pays. Cependant, le développement de nouvelles grilles d'évaluation des risques reste un défi particulier (Restic, 2013) vu la diversité des paramètres à prendre en considération à leurs conceptions et les considérations subjectives qui caractérisent cette cartographie.

Vu l'importance des grilles des risques en tant qu'outil d'aide à la décision, celles-ci sont mentionnées dans diverses normes internationales telles que : ISO (2010) ; CEI (60812), et ISO (2002)) et dans des pratiques nationales et internationales de gestion des risques. Par exemple, DNV-GL(2015), PPRT(2005), Carter & al, (2003).

II.2.2- Caractéristiques des grilles des risques

Selon Restic & al, (2008), une grille des risques efficace pour le classement des risques devrait avoir les caractéristiques suivantes :

- être simple à utiliser et à comprendre ;
- ne nécessite pas une connaissance approfondie de l'utilisation de l'analyse quantitative des risques ;
- avoir une orientation claire sur l'applicabilité ;
- avoir des plages de vraisemblance cohérentes qui couvrent tout le spectre des scénarios potentiels ;
- avoir des descriptions détaillées des conséquences liées à chaque gamme de conséquences ;
- avoir clairement défini le niveau de risque tolérable et intolérable ;
- montrer comment un scénario présentant un niveau de risque intolérable peut être réduit à un niveau de tolérance de la matrice ;
- des indications claires sur les mesures à prendre pour atténuer les scénarios présentant des niveaux de risque intolérables.

II.2.3- Typologie des grilles des risques

La littérature spécialisée dans l'évaluation des risques évoque deux formes d'évaluation (Schmidt, 2016; AIChE, 1992) : évaluation subjective / objective et évaluation qualitative / quantitative.

L'évaluation subjective est inhérente aux appréciations individuelles qui capitalisent la connaissance acquise des évaluateurs (Baybutt, 2016). Quant à l'évaluation objective elle s'attache à l'exploitation statistique des événements qui se sont déjà produits (Da-Cunha, 2016). Ensuite, une évaluation qualitative d'un risque consiste en une appréciation non-numérique des grandeurs des risques qui permet d'aboutir à un classement de ces grandeurs en termes d'occurrence et de gravité. Par contre, l'évaluation quantitative d'un risque consiste à caractériser numériquement les grandeurs du risque à analyser (probabilité d'occurrence du risque chiffrés de 0 à 1 et gravité du risque matérialisée par une valeur numérique traduisant les coûts au sens large du terme (taux de mortalité, d'invalidité, ... etc.).

Il est important de souligner l'intérêt de l'évaluation qualitative qui permet de surmonter, dans certains cas, les difficultés d'acquisition des données quantitatives (Ferjencik, 2004). Cependant, cette substitution du qualitatif au quantitatif ne doit pas être généralisée. Il est donc préférable que l'évaluation qualitative des risques conçoive clairement son apport en complément et non en opposition de l'évaluation quantitative (Baybutt, 2014; Reniers & al, 2005). C'est cette complémentarité qui définit l'évaluation semi-quantitative des risques qui est d'usage très répandu dans la cartographie des risques grâce à l'élaboration des grilles des risques (Da-Cunha, 2016; Gul & al, 2016) : définition des classes des risques par le biais de délimitation des frontières d'acceptabilité des risques où l'on énumère trois grandes classes de risques (acceptables, tolérables et non-acceptables).

Par conséquent, il existe deux types de grilles des risques (Ristic, 2013 ; CCPS, 2009) : les grilles qualitatives et les grilles semi-quantitatives.

II.2.3.1- Grilles des risques du type qualitatif

Les équipes d'analyse de risque des processus (PHA²¹) utilisent souvent une grille de risques qui est illustrée par la Figure II.1, pour favoriser une prise de décision qualitative plus cohérente en matière de risques et documenter les résultats. Les deux échelles de la grille décrivent des niveaux croissants de gravité et de fréquence. Cette grille de risques est typique pour les applications dans lesquelles les jugements sur la fréquence et la gravité sont purement subjectifs (CCPS, 2009).

Les cellules de la grille de la Figure II.1, qui correspondent aux couples (G-P), définissent quatre niveaux des risques (Tableau II.3) en référence aux catégories de fréquences et conséquences décrites dans les Tableaux II.1 et II.2.

<i>Fréquence</i>	4	IV	II	I	I
	3	IV	III	II	I
	2	IV	IV	III	II
	1	IV	IV	IV	III
		1	2	3	4
		<i>Gravité</i>			

Figure II.1 : Exemple d'une grille de risques du type qualitatif d'après (CCPS, 1992).

Tableau II.1 : Exemples de catégories des conséquences.

<i>Catégorie</i>	<i>Description</i>
1	Aucune blessure ou effets sur la santé.
2	Blessure mineure à modérée ou effets sur la santé
3	Blessure modérée à grave ou effets sur la santé
4	Blessure invalidante permanente ou décès

²¹ Process Hazard Analysis.

Tableau II.2 : Exemple de catégories des fréquences

Catégorie	Description
1	Ne devrait pas se produire pendant la durée de vie de l'installation.
2	Peut se produire une fois au cours de la vie de l'installation.
3	Peut se produire plusieurs fois au cours de la vie de l'installation.
4	Devrait se produire plus d'une fois par année.

Tableau II.3 : Exemple des niveaux du risque

Niveau de risque	Description	Réponse requise
I	Inacceptable	Atténuation immédiate ou cessation d'activité
II	Élevé	Atténuation dans les 6 mois
III	Modéré	Atténuation dans les 12 mois
IV	Acceptable telquel	Aucune mesure d'atténuation requise

Un examen du Tableau II.3 et la grille de la figure II.1 montre que les niveaux de risques sont notés de manière à mettre en exergue la priorité qu'il faut accorder à la criticité du risque. Ainsi, le niveau de risque (I) est prioritaire en termes de réduction des risques par rapport aux autres niveaux des risques. En d'autres termes, cette notation des niveaux des risques a pour but la hiérarchisation (ou priorisation) des actions de prévention et/ou de protection pour réduire le risques à un niveau jugé ALARP ou acceptable.

II.2.3.2- Grilles des risques du type semi-quantitatif

Un exemple d'une grille des risques semi-quantitative est fourni par la Figure II.2 qu'est inspirée de la norme militaire relative à la sécurité du système (DOD, 2000).

	Catastrophique	Critique	Marginal	Négligeable
<i>Frequent</i>	1	3	7	13
<i>Probable</i>	2	5	9	16
<i>Occasionnal</i>	4	6	11	18
<i>Éloigné</i>	8	10	14	19
<i>Improbable</i>	12	15	17	20

Figure II.2 : Exemple d'une grille des risques semi-quantitative (DOD, 2000)

La grille des risques ci-dessus est caractérisée par une échelle plus fine des catégories de risque (1 à 20) où quatre niveaux de risques sont identifiés (Tableau II.4).

Tableau II.4 : Niveaux des risques associés à la grille de la figure II.2 d'après (DOD, 2000)

Valeur de l'évaluation du risque d'accident	Catégorie de risque d'accident	Niveau d'acceptation des risques d'accident ²²
1-5	Elevée	Responsable de l'acquisition des composants
6-9	Sérieuse	Directeur (chargé) de programme
10-17	Moyenne	Gestionnaire de programme
18-20	Faible	Comme indiqué

Evidemment, les valeurs de la criticité des risques de la grille de la figure II.2 sont obtenues à partir de l'estimation des grandeurs (gravité et fréquence) du risque qui sont fournies par les tableaux II.5 et II-6.

Tableau II.5 : Catégories de gravités des risques associées à la grille semi-quantitative d'après (DOD, 2000)

Description	Catégories	Critères de résultats HSE ²³
Catastrophique	I	- Peut entraîner la mort, une invalidité totale permanente, - Perte dépassant 1 M \$, ou dommages environnementaux irréversibles (non-respect de la réglementation).
Critique	II	- Peut entraîner une invalidité partielle permanente, des blessures ou maladie professionnelle qui peut entraîner l'hospitalisation d'au moins trois personnes, - 200 000 \$ < Perte <1 M \$, ou dommages environnementaux réversibles provoquant une violation de la réglementation.
Marginale	III	- Peut entraîner une blessure ou une maladie professionnelle entraînant une ou plusieurs journée(s) de travail perdue(s), - 10 000 \$ < Perte <200 000 \$, ou dommages environnementaux atténuables sans violation de la réglementation lorsque la restauration des activités peuvent être accomplies.
Négligeable	IV	- Peut entraîner une blessure ou une maladie n'entraînant pas une journée de travail perdue ; - 2 000 \$ < Perte <10 000 \$, ou dommages environnementaux minimes (non violation de la réglementation).

²² Le terme «niveau d'acceptation» (plutôt que niveau de tolérance) a été utilisé pour être cohérent avec la source originale de ce tableau.

²³ Hygiène, Sécurité et Environnement.

Tableau II.6 : Catégories de fréquences des risques associées à la grille semi-quantitative d'après (DOD, 2000)

Description	Niveau	Caractérisation
Fréquent	A	Susceptible de se produire souvent dans la vie d'un objet, avec : $P > 10^{-1}$
Probable	B	Se produira plusieurs fois dans la vie d'un objet, avec : $10^{-1} > P > 10^{-2}$
Occasionnel	C	Susceptible de se produire quelque temps dans la vie d'un objet, avec : $10^{-2} > P > 10^{-3}$
Rare	D	Peu probable mais possible de se produire dans la vie d'un élément, avec : $10^{-3} > P > 10^{-6}$
Improbable	E	Si peu probable, on peut supposer que cet événement peut ne pas se produire, avec : $P < 10^{-6}$

Des ressources documentaires (par exemple : CCPS, 2009) affirment l'existence de divergence entre les experts lors de l'évaluation de risques en compréhension des estimations des fréquences et des conséquences. En effet, la plupart des membres de l'équipe seront influencés par leurs expériences personnelles ou de leur prise de conscience d'autres événements survenus ailleurs dans l'industrie.

II.2.4- Autres utilisations des grilles des risques

En plus de l'évaluation des risques, la grille des risques a d'autres usages. Nous citons quelques-uns à titre d'illustration (CCPS, 2009) :

- priorisation des activités de maintenance et d'inspection sur la base des risques évalués,
- priorisation basée sur le risque des activités de suivi des enquêtes d'accidents et des actions correctives après les audits,
- détermination du niveau de rigueur requis dans une enquête d'incident en fonction des scénarios des risques évalués,
- détermination en fonction des risques de la rigueur requise de la revue ou le niveau d'autorisation pour la gestion des demandes de changement,
- spécification de la réduction de risque requise pour un système de protection instrumenté (IPS).

Récapitulatif 1 : Les grilles des risques ont pour objectifs : (i) la prise de la décision en terme d'acceptation du risque et (ii) la priorisation des actions de réduction des risques (prévention et/ou protection) sur la base de la hiérarchisation de la criticité des risques.

II.3- Problèmes liés à l'utilisation des grilles des risques

La littérature spécialisée dans le domaine d'utilisation des grilles des risques montre que leurs usages sont entachés de problèmes relatifs à :

- la pertinence des décisions basées sur les grilles des risques (Levine, 2012 ; Flage & Röed, 2012; Cox, 2008),

- la classification subjective des catégories des conséquences et de probabilités (ISO, 2010; Hubbard & Evans, 2010; Smith & al, 2009; Cox, 2008),
- la définition des scores de risque (les classes de risques ou la limite entre les différentes classes de risques) et sa relation avec la mise à l'échelle des catégories - linéaire ou logarithmique- (Levine, 2012; Ni & al. 2010; Hubbard & Evans, 2010; Franks & Maddison, 2006; Ruge, 2004),
- la résolution limitée des grilles des risques aboutissant à des «liens de risque : ensemble des risques classés dans la même classe mais ils ont des valeurs de probabilité et des conséquences différentes» (Ni & al, 2010 ; Cox, 2008),
- l'agrégation des scénarios et risques (Flage & Røed, 2012 ; ISO, 2010 ; Franks & Maddison, 2006 ; PPRT, 2005),
- l'utilisation des grilles de risques standards ou même à l'échelle de l'entreprise (Flage & Røed, 2012 ; ISO, 2010).

II.3.1- Scores de risques et mise à l'échelle

Les niveaux de risques sont attribués aux cellules de la grille des risques en donnant des scores de risque numérique basés sur des opérateurs mathématiques utilisant des nombres ordinaux attribués à chaque catégorie de probabilité et de gravité des événements à évaluer. Ces scores sont ensuite complétés par des couleurs traduisant les classes (ou les niveaux des risques).

Ni & al. (2010) évoque différentes manières d'utiliser des opérations mathématiques pour obtenir un score de risque numérique à partir des numéros de catégorie ordinaire comme par exemple : l'addition, la multiplication, la soustraction et division. De plus, les échelles à utiliser sont en nombre de deux (une échelle linéaire ou une échelle logarithmique). D'après Levine (2012), le choix d'une échelle dépend de l'opérateur mathématique utilisé.

Il est important de mentionner que la notion de risque peut inclure d'autres aspects autres que la probabilité et la gravité. Flage & Røed (2012) mentionnent la facilité de gestion, l'incertitude et la criticité comme autres aspects du risque, qui, en raison de la nature de la bi-dimensionnalité de la grille de risque, ne peuvent pas être exprimés par des scores de risque colorés ou calculés mathématiquement. Ces mêmes auteurs proposent d'autres moyens de décrire ces dimensions.

II.3.2- Classification subjective de la probabilité et de la gravité

Pour la conception d'une grille de risque, il est nécessaire de définir des catégories (ou classes) de probabilité et de gravité. Certains auteurs (par exemple : Hubbard & Evans, 2010; Smith & al, 2009) soulignent qu'en raison du manque des données²⁴ dans certaines situations, il est primordial de passer à des évaluations de type subjectif qui ne sont pas précises. En effet, selon l'ISO (2010), « Il est difficile de définir des échelles de probabilité

²⁴ Comme par exemple : les données statistiques pour l'évaluation des catégories des probabilités d'occurrence et données sur des modèles mathématiques pour l'évaluation des catégories des conséquences (sur : les personnes, les biens et l'environnement).

et de gravité sans ambiguïté», et « l'utilisation de ces échelles est très subjective et les écarts entre les évaluateurs sont généralement importants». Inversement, [Smith & al, \(2009\)](#) reconnaissent que la catégorisation peut être nécessaire ; car, « l'échelle continue d'évaluation des risques (l'approche quantitative) est difficile ou impossible à réaliser dans certaines situations vue au manque des données et par conséquent il est difficile à évaluer/classifier les risques». Pour cela, les managers en gestions des risques ont besoin de grilles des risques avec une granularité suffisante, mais pas excessive et les utiliser comme un outil d'aide à la décision pour faciliter la classification ou la priorisation des scénarios des risques.

Pour [Hubbard & Evans \(2010\)](#), cette subjectivité est due : aux expériences individuelles, au biais d'optimisme, à la confiance excessive et à la variabilité individuelle²⁵ ainsi que la variabilité dans la compréhension des descriptions verbales qui affectera également les évaluations par la subjectivité.

[Hubbard & Evans \(2010\)](#) soulignent, enfin, qu'il est peu pratique d'attribuer des significations quantitatives à des nombres simples ordinaux qui sont les catégories de probabilité et de gravité.

Par ailleurs, [Smith & al. \(2009\)](#) ont mené une étude sur les grilles des risques qui a permis de mettre en exergue le biais de centrage (les évaluateurs choisissent de préférence l'utilisation des valeurs situées au centre de l'échelle proposée) ainsi que le biais asymétrique (visiblement les conséquences tendent à être estimées vers le haut de l'échelle).

Pour remédier à la subjectivité des grilles des risques, il existe quelques techniques pour réduire cette subjectivité. Nous citons une technique à titre de rappel qui consiste à ([Ni & al, 2010](#)) :

- utiliser des données quantitatives aussi fréquemment que possible,
- ajouter des descriptions quantitatives (plages, points d'ancrage) à la définition des catégories pour limiter la variabilité dans la compréhension des descriptions verbales,
- élargir la plage des catégories afin d'éviter le biais de centrage.

II.3.3- Cohérence des grilles des risques

Parmi les études qui ont critiqué les grilles des risques nous citons les études publiées par ([Levine, 2012; Flage & Røed, 2012; Cox, 2008](#)), qui ont recommandé qu'une grille des risques bien définie (y compris sa coloration) doit remplir trois exigences :

- une faible cohérence signifie que les risques classés dans la catégorie "rouge", par inférence, représente un risque plus important que ceux classés en catégorie "verte" ;

²⁵ Le même individu faisant des évaluations différentes à des moments différents affectant le jugement de la probabilité et la gravité.

- entre les deux catégories des risques "rouge" et "vert", il existe toujours une zone tampons (intermédiaire) ;
- une coloration uniforme signifie que les dangers présentant un risque (approximativement) égal doivent avoir la même couleur.

En effet, Cox (2008) exige une compatibilité (cohérence) entre les deux approches d'évaluation des risques (semi-quantitative et quantitative). Autrement-dit, entre la grille de risques (sa coloration) et une définition indépendante d'une mesure quantitative du risque. C'est un vrai problème ; car dans les approches quantitatives, le risque est évalué en tant que des fonctions continues de fréquences et de gravité, alors que ce n'est pas le cas pour les grilles de risques où il n'est pas clairement trivial de créer des grilles de risque cohérentes avec de telles fonctions continues. En effet, les courbes quantitatives d'iso-risque traversent n'importe quelle cellule, en divisant les cellules dans les zones où les risques sont «faibles» et/ou «plus élevés». Ces courbes d'iso-risque ne suivront pas les limites des cellules carrées. Donc, Cox (2008) souligne que le niveau de risque varie dans la même cellule d'une grille des risques plutôt que de considérer le risque dans une seule cellule comme une valeur unique et discrète.

Dans cette approche d'évaluation semi-quantitative des risques, la coloration de la grille des risques elle-même est la seule définition pertinente du risque.

Les exigences des grilles des risques, évoquées précédemment, sont ambiguës. Mais, il convient de s'assurer que le risque est une fonction à la fois croissante de probabilité et de gravité, qui peut être définie comme suit :

sachant que: A, B deux catégories des conséquences et M, N deux catégories de probabilité.

si: $A > B$ et $M > N$

Donc: $R(B, N) \leq R(A, M)$ pour toutes combinaisons possibles de A, B, M et N.

Donc, la cohérence d'une grille des risques conditionne grandement sa performance. D'où l'intérêt qu'il faut accorder à la conception des grilles des risques afin de bien définir les catégories des gravités, des probabilités et les niveaux de risque pour une meilleure exploitation de ces grilles en tant qu'outil d'aide à la décision en évaluation des risques.

II.3.4- Agrégation des risques

Cox (2008) considère la résolution limitée comme un inconvénient inhérent aux grilles des risques. En effet, la compatibilité avec les pertes attendues et l'exigence d'une coloration cohérente sont problématiques ; car, la mise à l'échelle linéaire entraîne une grande variation du risque (quantitatif) au sein d'une cellule unique, en particulier près des coins supérieur gauche et inférieur droit (lorsque les catégories sont alignées comme sur les Figures II.3 et II.4).

		Categories des conséquences			
		C1	C2	C3	C4
Categories des probabilités	F4	R4	R8	R12	R16
	F3	R3	R6	R9	R12
	F2	R2	R4	R6	R8
	F1	R1	R2	R3	R4

Figure II.3 : Grille de risque 4x4 avec des scores de risque obtenus à partir de la multiplication des nombre ordinaire des catégories de probabilité et de gravité

		Categories des conséquences			
		C1	C2	C3	C4
Categories des probabilités	F4	R5	R6	R7	R8
	F3	R4	R5	R6	R7
	F2	R3	R4	R5	R6
	F1	R2	R3	R4	R5

Figure II.4 : Grille de risque 4x4 avec des scores de risque obtenus à partir l'addition des nombre ordinaire des classes de probabilité et de gravité

Outre les problèmes de résolution liés à l'exigence de compatibilité avec la perte attendue, une résolution limitée peut entraîner de nombreuses combinaisons de probabilité et de gravité conduisant au même score de risque (ou couleur). Ceci est souligné par (Ni & al. 2010) et communément appelés liens de risque (risk ties) : si la matrice de risque est utilisée pour hiérarchiser les risques et les mesures de maîtrise des risques, les liens de risque empêchent les risques d'être classés sans ambiguïté. (Ni & al. 2010) proposent l'utilisation d'une méthodologie basée sur le comptage de Borda, utilisant les classements de probabilité et de gravité comme scores indépendants, pour fournir un classement plus détaillé. Néanmoins, plusieurs combinaisons peuvent aboutir à des comptes Borda égaux²⁶.

Par ailleurs, nous signalons que le problème d'agrégation se manifeste en deux niveaux différents :

- L'agrégation de l'impact d'un seul événement sur des différentes dimensions (financière, de sécurité, environnementale, de réputation,). Ce problème est abordé par [Flage & Røed \(2012\)](#) ainsi que par l'[ISO \(2010\)](#) : «Il est difficile de combiner/comparer le niveau de risque pour différentes catégories de conséquences».
- Toutefois, si les caractéristiques des échelles ordinales sont connues, c'est-à-dire lors de la comptabilisation des limites quantitatives des catégories, il est possible de formuler certaines déclarations valides, qui ont été utilisées pour dériver des règles d'agrégation dans certaines applications spécifiques. Pour les catégories de fréquences essentiellement à échelle logarithmique, où chaque catégorie est un

²⁶ Rappelons que la méthodologie Borda, lorsqu'elle est utilisée comme un classement par priorité de risque, accorde implicitement le même poids à la probabilité et à la gravité.

facteur "n" plus probable que la catégorie précédente : lorsque n événements sont classés dans la même catégorie, la probabilité que l'un de ces événements se produise est affectée à la catégorie suivante. Cette règle a été utilisée dans la directive française pour les évaluations de risques industriels majeurs (PPRT, 2005).

- Des fois, plusieurs risques partagent la même cellule de la grille (et par conséquent le même niveau de risque) mais pratiquement ce n'est pas le cas ; car, ils ont des ampleurs différentes.

II.3.5- Grille des risques de l'entreprise

Il y'a une grande diversité de pratique en matière des grilles des risques. A ce effet, plusieurs grandes entreprises ont tenté de standardiser leurs grilles des risques dans l'ensemble de l'organisation. Dans ce contexte, un exemple est décrit par Ruge (2004).

Les arguments en faveur des grilles des risques standardisées de l'entreprise sont : l'introduction d'une méthode unifiée d'évaluation des risques (homogénéité des évaluations), l'alignement de la terminologie et des critères d'acceptation des risques dans la même entreprise. Cependant, l'ISO (2010) met en garde contre l'utilisation des grilles des risques standardisées pour les entreprises : «Une matrice doit être conçue pour être adaptée aux circonstances, de sorte qu'il peut être difficile de disposer d'un système commun s'appliquant à une gamme de circonstances pertinentes pour une organisation». Flage & Røed (2012) ont également abordé cette question de standardisation des grilles de risques, en faisant observer que ce qui peut être tolérable au niveau de l'entreprise, n'est pas nécessairement tolérable au niveau des départements.

Récapitulatif 2 : L'usage des grilles des risques est confronté à de multiples problèmes que la littérature spécialisée dans ce domaine a tenté de solutionner moyennant des exigences qui conditionnent la raison d'être des grilles des risques en tant qu'outil incontournable d'aide à la décision dans l'évaluation des risques.

II.4- Extensions des grilles des risques

Afin de solutionner certains problèmes liés aux grilles des risques, des extensions de ces grilles ont fait l'objet de concrétisation. Certaines de ces extensions sont rappelées ci-après.

II.4.1- Re-zonage des cellules de la grille des risques

Le rezonage²⁷ de cellules de la grille des risques a fait l'objet d'une étude réalisée par Markowski & Mannan (2008) qui proposent une classification plus exacte des indices du risque et réorganisent la distribution des niveaux des risques pour rendre le résultat d'évaluation moins vague. Deux grands étapes doivent être mises en œuvre pour le rezonage : (i) diviser la gravité, la probabilité et l'indice de risque en plusieurs niveaux pour augmenter le nombre des cellules de la grille des risques et (ii) modification de toutes

²⁷ Rezoning of matrix cells (RMC).

les cellules en zonage conformément au principe de base de la grille des risques (c.-à-d., que plus le niveau de risque est proche de l'origine plus qu'il est faible).

La Figure II.5 illustre un exemple d'une grille des risques rezonée.

Critique	M	H	H	H	H
Sérieux	M	M	M	H	H
Modéré	L	M	M	M	H
Mineur	L	L	M	M	H
Négligeable	L	L	L	M	M
	0.00-0.10	0.10-0.40	0.40-0.60	0.60-0.90	0.90-1.00

(a) : Matrice de risque initial.

Critique	M	M	H	H	VH	VH	VH
Sérieux	L	M	M	H	H	VH	VH
Modéré	L	L	M	M	H	H	VH
Mineur	L	L	L	M	M	H	H
Négligeable	L	L	L	L	M	M	H
	0.00-0.10	0.10-0.20	0.20-0.40	0.40-0.60	0.60-0.80	0.80-0.90	0.90-1.00

(b) : Matrice finale.

Figure II.5 : Rezonage de matrice de risque *Markowski & Mannan (2008)*

II.4.2- Grille des risques avec indice de Borda

L'application de la méthode Borda aux grilles des risques réduits considérablement le nombre de liens de risques (risk ties) en raison de son calcul quantitatif (*Zhu & al, 2003*). L'équation du calcul de l'indice Borda, pour chaque risque, est la suivante :

$$b_i = \sum_{k=1}^m (N - R_{ik}) \quad (II.1)$$

Où :

- N est le nombre de risques à évaluer (ou scénarios de risques),
- k est le critère d'évaluation (probabilité, gravité),
- m est le nombre de k (généralement m =2),
- R_{ik} est le nombre de risques à haut niveau où le risque "i" est en évaluation avec le critère "k",
- b_i est l'indice de Borda pour le risque "i".

Les résultats d'évaluation des risques sont triés par rapport à la valeur de l'indice de Borda afin d'exprimer leur criticité. En effet, une fois que les gravités et les probabilités des risques sont saisies, l'indice Borda de chaque risque peut être déterminé.

Selon [Zhu & al. \(2003\)](#), cette méthode est une bonne solution pour réduire les liens de risques (risk ties), mais elle présente trois limites majeures :

- elle élimine partiellement²⁸ les liens de risque
- elle ignore les caractéristiques différentes des paramètres de classification des risques (gravité et probabilité) et les considère comme des critères additifs à la même importance.
- la valeur de différence entre les indices Borda ne peuvent pas exprimer exactement la valeur de l'écart entre les risques classés dans des classes différentes.

Rappelons que pour le calcul de l'indice de Borda, la grille des risques n'est pas obligatoire (il n'existe pas de dépendance entre la grille et l'indice de Borda).

II.4.3- Classification des risques par la méthode k-means

Compte tenu du caractère statique et la classification méticuleuse des catégories de probabilité et de gravité (la catégorisation se réalisée sans prendre en compte le contexte de l'étude), ces deux caractères de la grille des risques mettent en question la classification réalisée par ce dernier. Afin de surmonter ces deux limites [Line & al. \(2013\)](#) proposent une extension de la grille des risques traditionnelle en intégrant une nouvelle étape de classification dynamique des catégories des probabilités et des gravités moyennant l'algorithme de K-means afin de calculer l'indice de risque. Le principe de l'algorithme k-means est fourni par la Figure II.6.

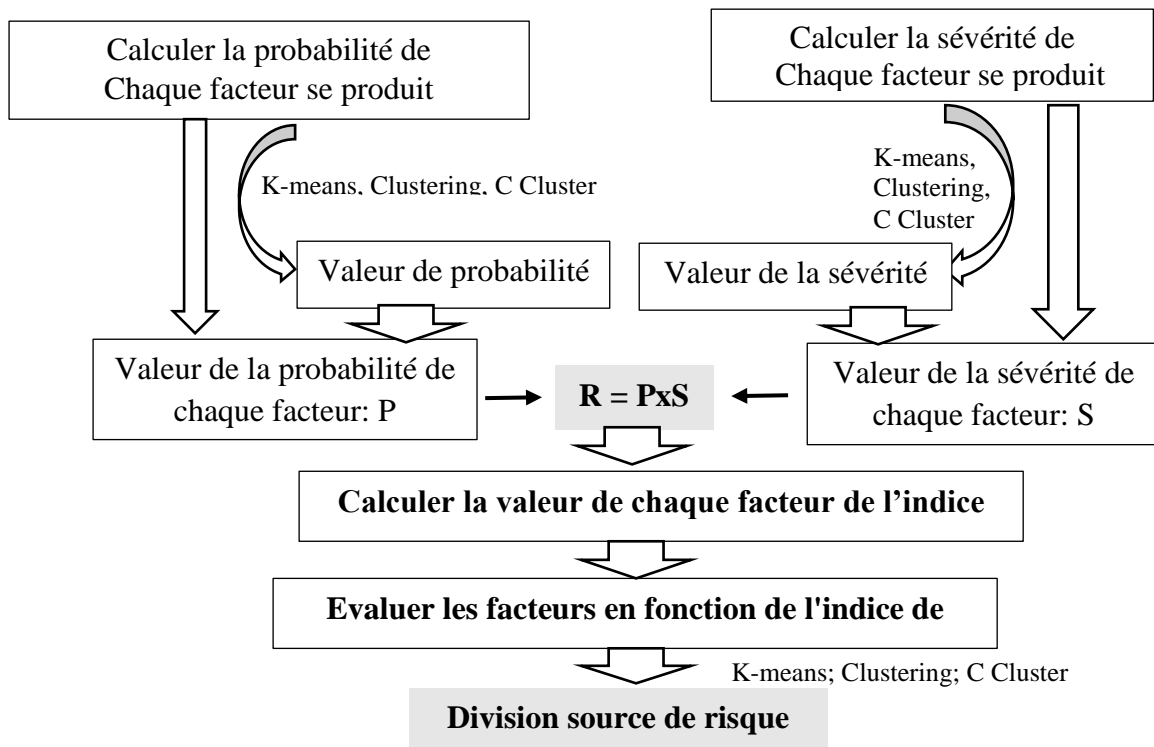


Figure II.6 : Algorithme k-means d'après [Line & al. \(2013\)](#).

²⁸ En effet, des entrées différentes peuvent totalement produire le même résultat.

II.4.4- Grille des risques floue

Le technique de la logique floue est largement utilisée dans plusieurs domaines : prise de décision, ingénierie de fiabilité, la classification des données, le jugement d'experts, automatique, ... etc. En effet, plusieurs chercheurs ont utilisé cette technique notamment dans les études de la sécurité industrielle comme par exemple :

- l'arbre de défaillances flou (Yazdi & al, 2017),
- le graphe d'états flou (Nait-Said & al, 2009),
- la grille floue (Achouri, 2009 ; Markowski & Mannan, 2008 ; Nait-Said & al, 2005),
- le graphe-risques flou avec la méthode LOPA (Ouazraoui & al. 2013) et le graphe de risque amélioré –floue avec la méthode AHP-Floue (Yazdi, 2017).
- la sélection des scénarios de risque moyennant la méthode HAZOP (Markowski & Siuta, 2018),
- la méthodologie floue d'évaluation quantitative des risques orientée vers l'usage de TOPSIS-Floue -FTOPOSI²⁹- AHP-Floue pythagoricien -PFAHP³⁰- (Ak & Gul 2018).

Cet extrait des études réalisées en sécurité industrielle par la logique floue atteste de la robustesse de cette technique notamment en l'absence de données (ou en cas de données incertaines et imprécises).

Rappelons que le concept d'ensemble flou a été introduit pour éviter le passage brusque d'une classe à une autre (passage entre les niveaux de risque en particulier) et permettre l'appartenance partielle à chacune d'elles selon un degré graduel d'appartenance entre 0 et 1 (Nait-Said & al, 2005).

Parmi les applications de la logique floue qui nous intéresse dans nos travaux nous intéressons au cas de la grille floue dont son élaboration permet de surmonter un problème récurrent dans les grilles de risque : cas où les valeurs de la même variable d'entrée « probabilité ou gravité » sont proches à une valeur critique (à des intervalles adjacents), deux résultats possibles de la classification des risques sont obtenus (deux niveaux de risques différents).

Les étapes d'évaluation floue des risques sont les suivantes (Markowski & Mannan, 2008) :

- *La fuzzification* : en se basant sur les principes de base de la logique floue. Des intervalles flous sont élaborés pour les entrées (probabilité et gravité) et les sorties de la grille (score de risque).
- *Inférence floue* qu'est une transformation des entrées floues de probabilités et de gravités en des sorties floues « indice de risque » par un système d'inférence basé sur des règles linguistiques et des opérateurs d'implication floue. Dans ce cas-là, on réalise une évaluation de risques floue.

²⁹ Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.

³⁰ Pythagore and Fuzzy Analytic Hierarchy Process.

- *La défuzzification* qui permet de déduire le score de risque. La défuzzification est un processus d'agrégation des sorties floues par une seule valeur de sortie qui correspond au score du risque.

Parmi les travaux qui ont attiré notre attention sur l'évaluation floue des risques, nous citons l'étude réalisée par Naît-Said & al (2005) qui s'est consolidée par une grille des risques floue.

Les étapes retenues dans cette étude pour l'élaboration de la grille floue sont les suivantes : définition des niveaux des paramètres de risque → la partition floue des échelles → la construction de la grille floue.

Une autre étude réalisée par (Achouri, 2009) a permis d'évaluer la criticité de quatre scénarios de risque retenus sur un four (au niveau de Hassi R'Mel) moyennant le système d'inférence floue de Mamdani. L'auteur de cette étude confirme que l'évaluation de la criticité des risques à base de la logique floue peut être une alternative prometteuse aux grilles des risques conventionnelles.

II.4.5- Constats et recommandations de Merad (2004)

L'analyse critique réalisée par Merad (2004) sur une trentaine des grilles des risques selon plusieurs critères (gravité, probabilité et niveaux criticité et d'acceptabilité) a permis de proposer quelques recommandations ou suggestions pour améliorer les grilles actuelles. Ces recommandations sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau II.7 : Constats et recommandations de Merad (2004)

<i>La fonction d'une grille</i>	C'est un outil d'aide à la concertation et à la prise de décision en matière de HSE. Merad (2004) souligne l'existence de plusieurs grilles des risques de différentes tailles (3x3) à (5x6). Mais, la taille la plus raisonnable et la plus fréquente est la grille (4x4).
<i>Le niveau de probabilité</i>	Deux cas sont possibles : (i) si les données sont disponibles (possibilité de manipulations statistique), les résultats prennent la forme quantitative ou semi-quantitative comme par exemple 10^{-n1} , 10^{-n2} , 10^{-n3} , ... etc. (avec $n1 > n2 > n3$) et (ii) si les données sont moins disponibles, il faut faire le recours aux approches multicritères. Sur la base de ces deux cas, Merad (2004) propose de passer d'une évaluation partielle (multicritère) à une évaluation global pour le niveau de probabilité moyennant des outils d'agrégation.
<i>Le niveau de gravité</i>	Tout d'abord, plusieurs cibles peuvent être prises en compte (humaines, matérielles, environnementales, réputation, ...etc.). L'évaluation du niveau total gravité est effectuée en deux temps : (i) évaluation des niveaux de gravité partielles pour chaque cible et (ii) identification des règles de passage d'une évaluation de gravité partielle à une évaluation globale de niveau de gravité à l'aide des outils d'agrégation.

<i>Le niveau de risque</i>	Le niveau de risque est obtenu en positionnant le scénario sur la grille des risques (cartographie des risques). Merad (2004) recommande de caractériser chaque scénario par son couple (G-P).
<i>Le niveau d'acceptabilité</i>	La cartographie des risques permet de positionner les risques par ordre de priorité. Plus précisément, il faut mettre en lumière les risques qui méritent des actions prioritaires de ceux qui sont acceptables ou à défaut tolérables. Merad (2004) insiste sur la nécessité de distinguer entre l'évaluation des couples (G-P) des risques et le jugement du niveau d'acceptabilité afin que la grille des risques soit un vrai outil d'aide à la décision.

Récapitulatif 3 : La conception des grilles des risques est un domaine de recherche porteur où plusieurs pistes ont fait l'objet d'exploration pour solutionner les problèmes récurrents des grilles des risques.

II.5- Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons rappelé succinctement les fondements des grilles des risques et les problèmes qui leurs sont associés en construction et exploitation de ces grilles.

La seconde partie du chapitre, qu'est dédiée aux travaux d'extension des grilles des risques, nous a permis de cibler des pistes de recherche qui nous permettent de contribuer modestement quant à la capitalisation des grilles des risques en tant qu'outil d'aide à la décision en matière de maîtrise des risques industriels.

Parmi les travaux de recherche qui ont attiré notre attention, nous citons les constats et recommandations de Merad (2004) qui servent pour nous comme support de base pour formuler des propositions relatives à la construction des grilles des risques cadrée par le retour d'expérience.

Ceci, fera l'objet du chapitre suivant

Chapitre III

Le retour d'expérience REX– un cadre théorique³¹ pour la capitalisation de la conception des grilles des risques

Sommaire

3.1. Introduction	54
3.2. Pratiques du REX dans les organisations industrielles	54
3.3. Méthode proposée	60
3.3.1. Repérage des invariants dans les grilles des risques existantes pour l'élaboration de la liste des arguments Ar	61
3.3.2. Identification des niveaux des risques associés aux cellules de l'ensemble « Gr » de la grille des risques	63
3.3.2.1. Premier cas relatif aux risques de fréquence	64
3.3.2.2. Deuxième cas relatif aux risques de gravité	64
3.3.2.3. Troisième cas relatif à l'hybridation des trois types du REX	65
3.4. Résultats	66
3.5. Discussions des résultats	67
3.6. Conclusion	68

³¹ Le contenu de ce chapitre a fait l'objet d'un projet de publication soumis à la revue "International Journal of Systems Assurance Engineering and Management (IJSAM)" édité par Springer.

III.1- Introduction

Le recours au retour d'expérience (REX) pour la capitalisation des grilles des risques permet d'atteindre un double objectif : un moyen de la gestion des divergences entre les acteurs impliqués dans la conception d'une grille des risques et une source de connaissance et d'apprentissage permettant une meilleure valorisation de la grille.

C'est dans ce contexte que s'intègre ce chapitre qui a pour but de montrer que le REX peut servir comme un cadre théorique pour la conception des grilles des risques.

III.2- Pratiques du REX dans les organisations industrielles

L'état de l'art relatifs aux grilles des risques présenté par le chapitre 2 montre qu'il n'existe pas une grille standard des risques (Peeters & Peng, 2015 ; Dejan, 2013, Qichao & al, 2003). Ceci se justifie par la diversité des grilles exploitées dans différents secteurs industriels (Muriana & Vizzini, 2017) ou autres et dans différents pays (Abreu-Saurin & Basso-Werle, 2017.). A ce propos, une analyse de plusieurs grilles des risques effectuée par Merad (2004) a mis en évidence trois types de problèmes :

- *un problème dit structurel* caractérisé par la présence de certains biais dans la composition des échelles de gravité et de probabilité, et dans l'identification des niveaux de risque et de leurs classes,
- *un problème de normalisation* dans les grilles pour cause d'une grande diversité de pratique. Ce qui peut remettre en cause la raison d'être de la grille en tant qu'outil d'aide à la prise de décision,
- *un problème dans la fonction de communication* des grilles où chaque grille de criticité présente les conclusions de l'analyse de manière différente. Ainsi, chaque classe de risque peut renvoyer, d'une grille à l'autre, à des significations différentes.

Ces problèmes résument, en réalité, des difficultés rencontrées à la fois dans la conception des grilles et dans leurs exploitations (Duijm, 2015 ; He & al, 2013 ; Huihui & al, 2010). Des auteurs (Hadeef & Djebabra, 2019a ; Duijm, 2015 ; Du & al, 2014) confirment que la bonne exploitation d'une grille dépend en grande partie de sa pertinence. En conséquence, sa conception qui doit être supportée par des modèles appropriés tels que : l'Agile Reengineering Performance Model (Petrillo & al, 2018), the model to optimise inventory management (Forcina & al, 2017) and the model based on advanced evidence theory (Qing & al, 2017).

D'autres auteurs (Zazhigalkin & al, 2019; Callon & al, 2018 ; Heitz, 2013 ; Amorim, 2000) soulignent que la conception de la grille des risques doit être gouvernée par une concertation entre ses acteurs. Car, plus la concertation est réussie mieux l'acceptabilité du risque est acceptée et par voie de conséquence, plus facilement légitimée. A ce propos, des auteurs (Bourgoin & al, 2018; Jobert, 2000) s'accordent que le recours à une concertation est dans le but de prendre une décision collective et participative.

Par ailleurs, Hadeef & Djebabra (2019b) montrent que la concertation dans la conception des grilles des risques est un processus qui conduit à l'élaboration des décisions

intermédiaires qu'il faut promouvoir pour aboutir à une décision finale et pérenne (Figure I.8 de chapitre 1).

Dans le cas d'évaluation des risques moyennant les grilles des risques, l'argumentation est un fait de la concertation entre acteurs qui permet de justifier l'acceptabilité des risques dans une discussion contrainte par la logique. C'est dans ce contexte que s'intègre notre méthodologie qui a pour objectif de renforcer la concertation sur l'évaluation des risques par l'argumentation afin d'aboutir rapidement à une décision finale et légitime. Plus précisément, ce chapitre propose une nouvelle méthode d'argumentation basée sur le Retour d'EXpérience (REX) permettant une meilleure conception des grilles des risques.

Ainsi, avec le développement de la technologie, des organisations et des connaissances scientifiques, le Retour d'Expérience (REX) a d'abord été appliqué aux systèmes techniques (Potes-Ruiz & al, 2014). Il a permis des progrès spectaculaires dans la fiabilité des systèmes techniques comme l'aéronautique (Abreu-Saurin & Basso-Werle, 2017; Brissaud, 2017; Camara & al, 2016). Il s'est ensuite intéressé aux comportements des personnes et a permis d'étudier et de diminuer les erreurs humaines (Kanki, 2018; Jocelyn & al, 2016). Depuis une dizaine d'années, il s'applique à l'étude des comportements des organisations (Clermont & Foguem 2018) où le REX est considéré comme un élément clé d'une démarche de progrès (Nakai & O'Malley, 2015).

A ce propos, trois types d'application du REX dans une organisation sont possibles (Figure III.1), du simple au plus détaillé (Wybo, 2012) :

- le niveau 1 relatif au REX documentaire qui rassemble des données factuelles,
- le niveau 2 relatif au REX d'analyse qui complète le niveau précédent par le détail des causes et des moyens mis en œuvre,
- le niveau 3 relatif au REX approfondi qui complète le niveau 2 par une analyse de la dynamique des événements et des actions ainsi que des propositions d'amélioration fondées sur une analyse des renseignements tirés.

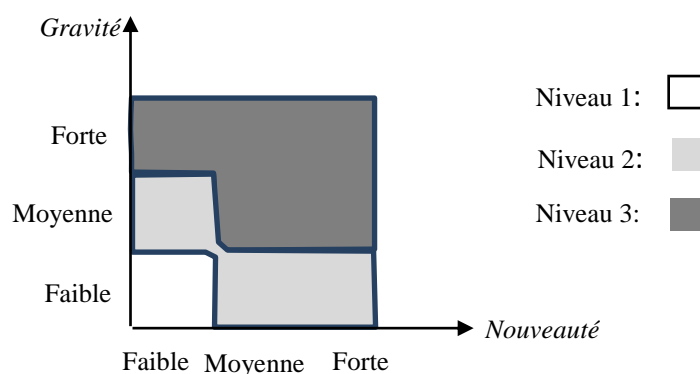


Figure III. 1 : Grille de sélection du type de REX d'après (Whybo, 2012)

Dans la Figure III.1, la nouveauté porte sur le déroulement et la gestion de l'évènement lui-même. Cette figure montre également que le REX occupe une place de choix en management des organisations (Sepczuk & Kotulski, 2018; Salmi & Chaib, 2017) et

participe, en conséquence, à l'amélioration de l'efficacité de la prévention et de la maîtrise des risques. Dans ce contexte, des auteurs (par exemple, Villeneuve, 2012) montrent que l'interaction entre le REX et le risque est forte, même dans les cas où aucun processus de REX n'est formalisé et aucune politique de maîtrise des risques sont explicitement définis.

Afin de confirmer l'interaction forte entre REX et risque, Villeneuve (2012) montre également le choix des types de REX pour la conception des grilles de criticité des risques (Figure III.2).

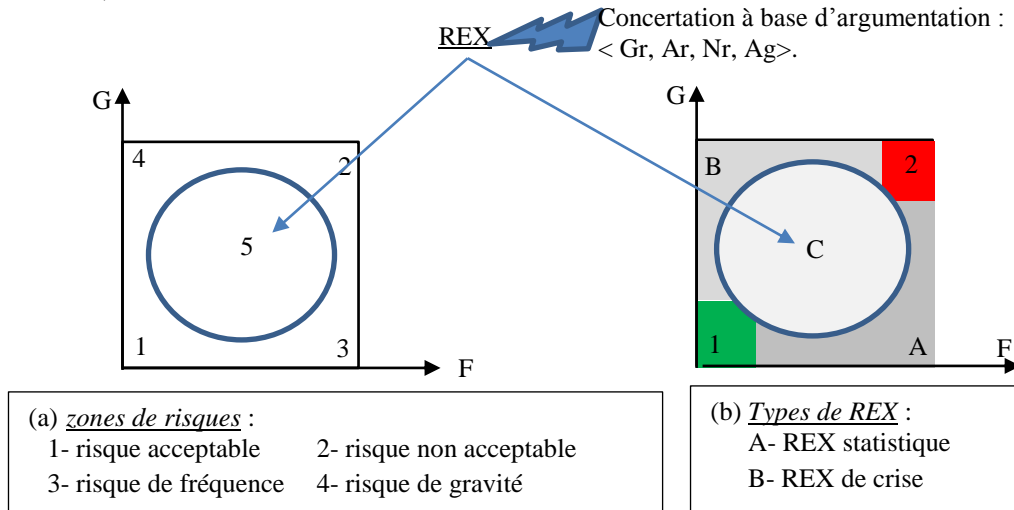


Figure III.2 : Usage des types de REX dans des grilles des risques d'après (Villeneuve, 2012)

Dans la Figure III.2b sont présentés les types de REX par rapport aux risques étudiés (figure III.2a) :

- *REX statistique* qui s'applique pour les risques de fréquence (probabilité d'occurrence est élevée),
- *REX de crise* qui concerne les risques de sévérité (sévérité est grande) et, enfin,
- *REX cognitif* qu'est relatif à la zone de gestion des risques où ces risques ont des caractéristiques variées.

Belser (2008) souligne que la distinction entre REX statistique et cognitif repose sur la technique employée pour l'extraction de la connaissance issue du REX. Ainsi, si l'information exploitée est en quantité suffisante et s'il est possible d'utiliser des techniques statistiques, le processus du REX est donc du type statistique. Par contre, si l'information est peu disponible, il est alors nécessaire de faire appel à l'expertise. Le processus du REX est, donc, du type cognitif. Pour le REX de crise, Kerven (1995) souligne que l'appréciation du risque est par rapport aux conséquences relatives à la perturbation des organisations et non pas sur l'étendue des dommages.

Des auteurs (Kanki, 2018 ; Salmi & Chaib, 2017 ; Gupta & Gupta, 2017 ; Mbave & al, 2009) soulignent l'existence des divergences dans la conception des grilles des risques notamment dans la zone 5 de la Figure III.2a gouvernée par le REX cognitif.

Par ailleurs, un REX issu des grilles de risque existantes montre que les échelles de fréquence et de gravité varient de 3 à 6 (Dubiez & Bennaceur, 1993). Dans ce contexte,

Merad (2004) affirme qu'une échelle réduite à trois classes présente l'inconvénient de masquer les classes intermédiaires ce qui se répercute sur les compromis et qu'une échelle exposée à six classes engendre la non-significativité des classes les plus basses. Sur la base de ces derniers constats, Merad (2004) souligne que quatre niveaux de probabilité et de gravité semblent être un nombre raisonnable que l'on retrouve le plus fréquemment dans les grilles des risques.

Un exemple d'une grille des risques (4x4) est fournie par la Figure III.3 où l'axe horizontal est relatif à la fréquence d'occurrence du risque (F) et son échelle est composée de quatre classes : f_1 = faible (une fois par an), f_2 = moyenne (une fois par mois), f_3 = fréquente (une fois par semaine) et f_4 = très fréquente (tous les jours).

L'axe vertical, relative à la gravité du risque, a également une échelle à quatre niveaux : g_1 = faible (sans arrêt de travail), g_2 = moyenne (avec arrêt de travail), g_3 = grave (incapacité permanente) et g_4 = très grave (mortel).

En fonction de ces deux échelles, chaque cellule de la grille représente un risque. Ainsi, seize risques sont définis par le produit suivant :

$$r_{ij} = f_i \times g_j \quad (\text{III.1})$$

Avec : f_i ($i = 1..4$) étant sa fréquence d'occurrence et g_j ($j = 1..4$) est sa gravité.

Le REX sur les grilles des risques (Jocelyn & al, 2016) montre que parmi les problèmes qui se posent dans les grilles des risques est que les risques appartiennent à une échelle discontinue (ayant pour valeurs extrêmes 1 et 16 pour le cas de la grille de la figure III.3a). Autrement dit, certains risques (5, 7, 10, 11, 13, 14 et 15) n'apparaissent pas sur cette grille. Cette discontinuité laisse difficile l'interprétation des différences entre les risques. (Nait-Said & al, 2005).

De plus, le produit (F x G) tend à amplifier les effets des dimensions du risque dont les valeurs sont les plus élevées. Ainsi, une petite variation dans l'une des deux dimensions d'un risque aura un effet notable sur le risque si la valeur de l'une de ces deux dimensions est plus élevée. Par exemple, $f_4 \times g_1$ et $f_4 \times g_2$. Donc, une petite divergence dans l'appréciation de la dimension G ($g_i = 1$ ou 2) aura des effets notables sur le risque : un saut direct de la classe 4 vers la classe 8.

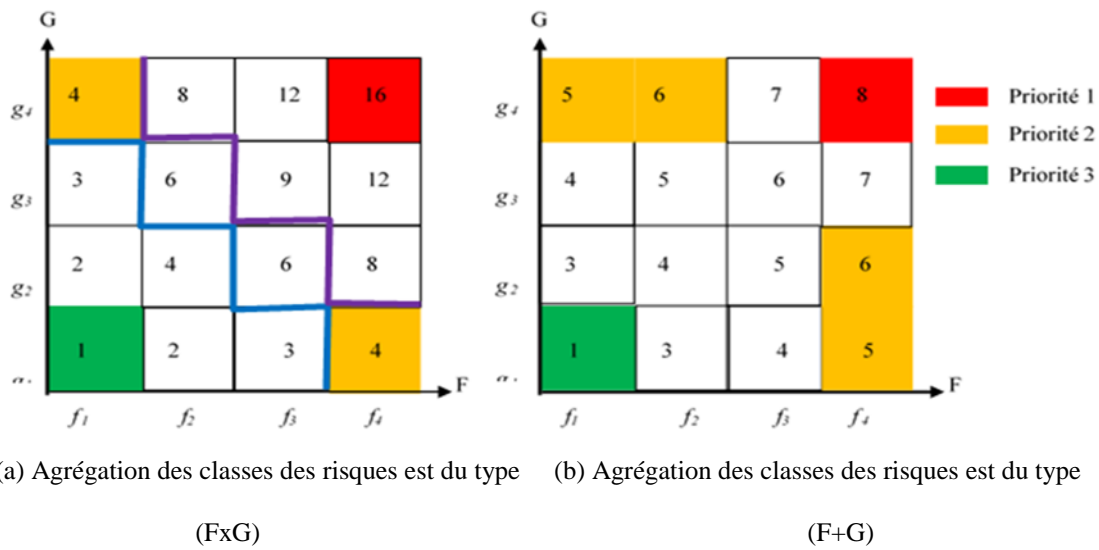


Figure III.3 : Exemple d'une grille des risques priorisée au niveau de ses cellules extrêmes.

Le REX montre qu'une autre manière permettant de faire face à cette discontinuité dans les risques est l'addition des dimensions F et G pour la détermination des risques dans la grille. Cette forme d'agrégation des dimensions du risque sous forme (F + G) est pratiquée dans la grille d'Aventis (Merad, 2004). Son usage à la grille de la Figure III.3 permet de surmonter la discontinuité dans les valeurs des risques. En effet et mise à part le risque « 2 » qui n'apparaissent pas dans la grille, les autres risques ont une croissance continue sur [1 – 8] (Figure III.3.b). Cette croissance continue des risques dans la Figure III.3b est remarquée à l'horizontal (axe des fréquences) et à la verticale (axe des gravités). Ainsi, le problème d'amplification des risques n'est plus posé avec les grandes valeurs de l'une des deux dimensions du risque (F ou G).

Un dernier constat sur l'apport du REX quant à la conception des grilles des risques est que ces grilles doivent être capitalisées sous forme d'objectifs de sécurité. A ce propos, le REX souligne l'existence de deux types d'objectifs de sécurité (Dubiez & Bennaceur, 1993) :

- *objectifs réglementaires* qui séparent le niveau « non-acceptable » des risques du niveau « tolérable »
- *objectifs de culture de sécurité* qui sépare le niveau « acceptable » des risques du niveau « tolérable ».

Une synthèse de la contribution du REX pour la conception des grilles des risques montre qu'elle réside à deux niveaux :

- zonage de la grille moyennant trois types de REX (statistique, crise et cognitif) avec un problème posé par le REX cognitif,
- capitalisation de la grille sous forme d'objectifs de sécurité.

La contribution du REX aurait été complète si le REX cognitif n'était pas problématique. Car, la phase cruciale de la conception de la grille est la zone 5 (ou C) dans les Figures III.2a et III.2b où les acteurs affichent publiquement des divergences dans leurs points de vue quant à la définition des niveaux des risques au sein de cette zone de la grille. D'où

l'intérêt de gérer cette divergence entre les acteurs par une concertation à base d'argumentation.

Pour illustrer nos propos sur la grille de la Figure III.3a, nous retenons les trois objectifs relatifs à la politique de sécurité (OPS_i) :

- $OPS_1 = \ll L'apparition de la gravité g_1 doit être au plus de fréquence f_3 \gg ;$
- $OPS_2 = \ll L'apparition de la gravité g_2 doit être au plus de fréquence f_2 \gg ;$
- $OPS_3 = \ll L'apparition de la gravité g_3 doit être de fréquence f_1 \gg .$

Pour les objectifs de sécurité relatifs aux exigences règlementaires (OSR_i), nous retenons :

- $OSR_1 = \ll L'apparition de la gravité g_2 doit être au plus de fréquence f_3 \gg ;$
- $OSR_2 = \ll L'apparition de la gravité g_3 doit être au plus de fréquence f_2 \gg ;$
- $OSR_3 = \ll L'apparition de la gravité g_4 doit être au plus de fréquence f_1 \gg .$

D'après la définition des objectifs de sécurité (règlementaire et de culture de sécurité) retenus ci-dessus pour la grille de la Figure III.3a, nous remarquons que ces objectifs sont fixés par rapport aux dimensions du risque (f_i et g_j) et que la fixation des objectifs de sécurité peuvent contribuer au réajustement des dimensions d'une grille. Pour illustrer nos propos, nous évoquons le cas de la grille (4x4) de la DICMA-Italie (Figure III.4.a) où l'on constate que l'objectif de sécurité règlementaire permet de fusionner les gravités g_1 et g_2 (Figure III.4b).

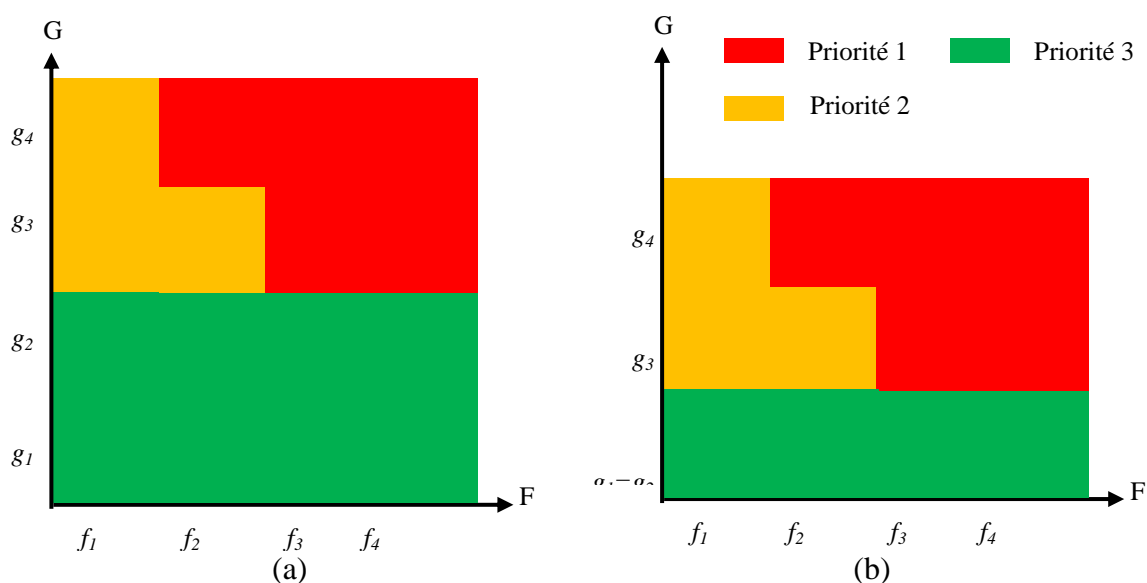


Figure III.4 : Apport des objectifs de sécurité pour le redimensionnement de la gravité de la grille DICMA-Italie (Merad, 2004)

La fixation des objectifs de sécurité dans une grille des risques est basée généralement sur un compromis entre l'utilité économique ou sociale d'une activité et ses coûts. Dans ce contexte, quatre approches sont d'usage courant (Liu & al, 2012) : interne, externe, médiatique et exploitant.

Le problème couramment rencontré dans la fixation d'un objectif de sécurité est que le retour d'informations sur le compromis retenu est relativement lent pour parvenir à un niveau de risque suffisamment représentatif de ce qu'accepte le consensus social ou économique. D'où l'intérêt d'orienter le référencement de la définition des frontières d'acceptabilité des risques au REX et plus précisément à la capitalisation des REX statistiques et de crise pour gérer les divergences rencontrées dans le REX cognitif.

S'intégrant dans ce contexte, la section suivante présente une procédure de conception des grilles des risques basée sur les invariants issus du REX des grilles des risques existantes. Plus précisément, la méthode proposée est basée sur l'usage du REX en tant que cadre théorique de la conception des grilles des risques.

III.3- Méthode proposée

Rappelons que l'argumentation est un processus permettant de résoudre des divergences d'opinions avouées par les acteurs (Chen & Endriss, 2019 ; Zhong & al, 2019, Hadeef & Djebabra, 2019b). Ce processus est fondé sur des déclarations « statements » avouées publiquement par le négociateur. Donc, le point de départ du déploiement du processus de négociation est « l'existence d'une divergence d'opinion avouée entre acteurs ». Dans le cas des grilles des risques, cette divergence se manifeste dans les zones 5 ou C (Figures III.2a et III.2b). D'où la nécessité de faire le recours à l'argumentation pour définir les niveaux des risques au sein de cette zone de la grille des risques.

Dans ce contexte, nous exprimons l'argumentation par $\langle Gr, Ar, Nr, Ag \rangle$. Où : Gr est l'ensemble des cellules de la zone de gestion des risques (zones 5 ou C des grilles des Figures III.2a et III.2b) pour lesquelles il existe des divergences quant à leur identification en terme d'acceptabilité du risque. Ar est la liste des arguments tirés des REX statistique et de crise. Nr est la liste des niveaux des risques. Ag est la liste des acteurs impliqués dans la conception de la grille.

La méthode préconisée dans ce chapitre consiste à représenter, de manière uniforme, le raisonnement fondé sur l'argumentation pour la définition des objectifs de sécurité qui capitalisent la grille des risques à concevoir. Pour cela, nous considérons qu'un acteur Ag_i est doté d'une théorie T_i qui résume ses connaissances issues de la liste d'arguments Ar. Cette théorie exprime "sa façon de penser" pour attribuer un niveau de risque Nr_i à une cellule $C_{i,j}$ de l'ensemble Gr. La théorie, T_i , développée par l'acteur Ag_i est résumée par la Figure III.5 et dont ses étapes sont détaillées ci-après.

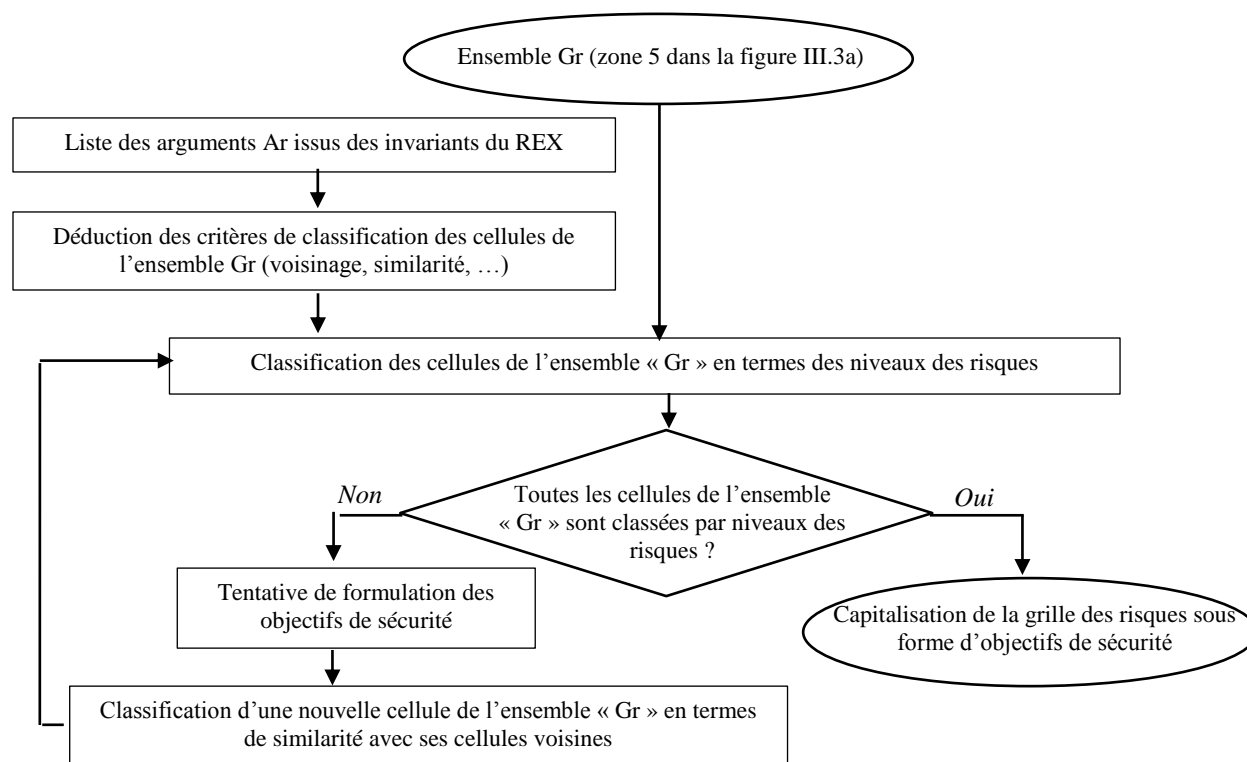


Figure III.5 – Organigramme de la théorie « T_i » retenue par un agent Ag_i

III.3.1- Repérage des invariants dans les grilles des risques existantes pour l'élaboration de la liste des arguments Ar

Cette première étape consiste en un repérage des invariants issus des études exploratoires d'une dizaine de grilles des risques de divers secteurs professionnels. Ces invariants (I_i) sont résumés par le Tableau III.1 où sa dernière colonne présente la liste des arguments Ar issus des grilles existantes.

Tableau III. 1 : Invariants issus du REX relatif aux grilles des risques existantes.

Invariant		Description de l'invariant	Élément de la liste des arguments Ari
I_1	Dimensions des grilles	Les dimensions des grilles varient de 3 à 6.	-Grilles carrées de dimensions $D = (i \times i)$ -Grilles non carrées de dimensions : $D = (i \times i+1)$ Ou bien $D = (i+1, i)$; avec : $i = 3..6$.
I_2	Criticité des risques	Chaque cellule de la grille correspond à un risque qui résulte de la combinaison de la fréquence et la gravité du risque	A chaque cellule est associé une criticité de risque c_{ij} . Où : i est le cardinal de l'échelle fréquence et j étant le cardinal de l'échelle gravité. Avec: $c_{ij} \in [1 - D]$.

I₃	<i>Niveaux des risques</i>	Chaque grille est caractérisée par trois niveaux de risques (acceptable, tolérable et non acceptable). Ces niveaux des risques définissent les priorités retenues pour la maîtrise des risques évalués (Pr ₁ , Pr ₂ et Pr ₃).	La zone relative à la priorité Pr ₂ doit être considérée comme une zone intermédiaire permettant d'éviter le passage directe entre les niveaux où les risques sont soit acceptables soit non acceptables.
I₄	<i>Particularité des cellules extrêmes de la grille</i>	-La cellule (C _{1,1}) appartient à la classe des risques acceptables (priorité Pr ₃) -La cellule (C _{m,n}) appartient à la classe des risques non-acceptables (priorité Pr ₁). Où m et n correspondent aux plus hauts niveaux de la fréquence et de la gravité.	Ces quatre parties de la grille permettant de délimiter le domaine de la grille caractérisé par l'ensemble Gr qui constitue le point de départ pour le déploiement de la théorie « Ti » de l'agent Agi basée sur les principes de voisinage et similarité.
I₅	<i>Particularité de la cellule relative aux risques de gravité</i>	Dans les grilles de dimensions (m x n) : -si m < 4 et n < 4, l'espace du domaine du REX de crise est limité à une seule cellule (C _{1,n}) qui a la priorité Pr ₂ . -si m ≥ 4 et n ≥ 4, la cellule de l'espace du domaine du REX de crise s'étend à « k » cellules (C _{k,n}) qui peuvent avoir les priorités Pr ₂ ou Pr ₁ . 1 ≤ k < m	
I₆	<i>Particularité de la cellule relative aux risques de fréquence</i>	Dans les grilles de dimensions (m x n) : -si m < 4 et n < 4, l'espace du domaine du REX statistique est limité à une seule cellule (C _{m,1}) qui a la priorité Pr ₂ . -si m ≥ 4 et n ≥ 4, l'espace du domaine du REX statistique s'étend à « k » cellules (C _{m,k}) qui peuvent avoir les priorités Pr ₁ ou Pr ₂ . 1 ≤ k < n	

III.3.2- Identification des niveaux des risques associés aux cellules de l'ensemble « Gr » de la grille des risques

Soit « Gr » une partie de la grille des risques (zone 5 de la Figure III.2a, par exemple). D'après l'invariant I₃ du Tableau III.1 et au sens mathématique, Gr est segmenté en zones qui correspondent aux niveaux des risques (NR_k). Si l'on admet l'existence de trois niveaux de risques (acceptable, tolérable et non-acceptable), la variable « k » varie de 1 à 3. D'où l'expression suivante du partitionnement du Gr :

$$Gr = \bigcup_{k=1}^3 NR_k \quad (III.2)$$

Chaque cellule, C_{i,j}, de l'ensemble « Gr » appartient à un seul niveau de risque. De même, aux cellules de l'ensemble « Gr » sont associés deux notions fondamentales : *le voisinage* (Sharma & Saxena, 2017) qui correspond à une proximité spatiale, et *la similarité* (Nikfalazar & al, 2016) qui correspond à l'appartenance au même niveau de risque.

Afin d'illustrer la première notion relative au voisinage de cellules de l'ensemble « Gr » d'une grille des risques, nous rappelons que ces cellules, C_{i,j}, sont carrées de côté « 1 ». En conséquence, nous considérons deux cellules comme étant voisines si et seulement si elles partagent au moins un côté en commun :

$$C_{i,j} \vee C_{i',j'} \Leftrightarrow C_{i,j} \cap C_{i',j'} = \{1\} \quad (III.3)$$

Où : \vee étant l'opérateur de voisinage entre deux cellules et «1» étant le côté d'une cellule.

Ainsi, chaque cellule de l'ensemble « Gr » a au moins deux cellules voisines et au plus quatre cellules voisines. De même, pour deux cellules voisines de l'ensemble « Gr » d'une grille des risques, la notion de similarité de ces deux cellules consiste à vérifier leur appartenance au même niveau de risque.

Ce sont ces deux notions importantes de voisinage et de similarité qui seront exploitées pour capitaliser la liste des arguments résumés dans la dernière colonne du Tableau III.1.

Evidemment, l'exploitation séquentielle des notions « voisinage » et « similarité » sur toutes les cellules de l'ensemble « Gr » de la grille des risques s'effectue à l'horizontale (suivant les lignes de la grille des risques) et à la verticale (suivant les colonnes de la grille des risques).

Cette exploration des cellules de l'ensemble « Gr » a besoin des connaissances issues de la liste des arguments (dernière colonne du Tableau III.1) :

$$Pr_{C_{1,1}} = 3 \quad (III.4)$$

$$Pr_{C_{m,n}} = 1 \quad (III.5)$$

$$Pr_{C_{m,j}} \in \{2, 3\}; j < n \quad (III.6)$$

$$Pr_{C_{i,n}} \in \{1, 2\}; i < m \quad (III.7)$$

L'attribution des niveaux des risques aux cellules de l'ensemble « Gr », suivant les notions de voisinage et similarité, s'effectue selon trois cas détaillés ci-après.

III.3.2.1- Premier cas relatif aux risques de fréquence

L'invariant I_6 du Tableau III.1 montre que l'espace du domaine du REX statistique s'étend à « k » cellules similaires ($\mathcal{C}_{m,q}$; $\mathcal{C}_{m,q+1}$; ... ; $\mathcal{C}_{m,k}$) qui peuvent avoir les priorités Pr_3 ou Pr_2 . Avec : $q < k < n$.

L'équation (III.6), permet d'écrire :

$$Pr_{\mathcal{C}_{m,q}} = Pr_{\mathcal{C}_{m,q+1}} = \dots = Pr_{\mathcal{C}_{m,k}} = \{2,3\}. \quad (III.8)$$

$$\text{Si } Pr_{\mathcal{C}_{m,q}} = 2 \Rightarrow \begin{cases} Pr_{\mathcal{C}_{m,q-1}} = 3 ; \text{ si } (q-1) \geq 1 \\ Pr_{\mathcal{C}_{m-1,q-1}} = 3 ; \text{ si } (q-1) = 0 \\ Pr_{\mathcal{C}_{m,k+1}} = 1 \end{cases} \quad (III.9)$$

$$\text{Si } Pr_{\mathcal{C}_{m,q}} = 3 \Rightarrow \begin{cases} Pr_{\mathcal{C}_{m,q+1}} = \dots = Pr_{\mathcal{C}_{m,k}} = 3. \\ Pr_{\mathcal{C}_{m,k+1}} = 2 \\ Pr_{\mathcal{C}_{i,q}} = 3 ; \forall i = 2..q-1 \end{cases} \quad (III.10)$$

L'illustration des équations (III.8 à III.10) sur les grilles de la Figure III.3 montre que la variable « k » a, successivement, les valeurs 1 pour le cas de la Figure 3a (cellule $\mathcal{C}_{4,1}$) et 2 pour celle de la Figure 3b (cellules $\mathcal{C}_{4,1}$ et $\mathcal{C}_{4,2}$).

L'équation (III.9) permet d'écrire :

- pour la Figure III.3a : $Pr_{\mathcal{C}_{4,2}} = Pr_{\mathcal{C}_{4,3}} = 1$ et $Pr_{\mathcal{C}_{3,1}} = Pr_{\mathcal{C}_{2,1}} = 3$.
- pour la Figure III.3b : $Pr_{\mathcal{C}_{4,3}} = 1$ et $Pr_{\mathcal{C}_{3,1}} = Pr_{\mathcal{C}_{2,1}} = 3$.

III.3.2.2- Deuxième cas relatif aux risques de gravité

L'invariant I_5 du Tableau III.1 montre que l'espace du domaine du REX de crise s'étend à « k » cellules similaires ($\mathcal{C}_{q,n}$; $\mathcal{C}_{q+1,n}$; ... ; $\mathcal{C}_{k,n}$) qui peuvent avoir les priorités Pr_2 ou Pr_1 . Avec : $1 \leq q < k < n$.

L'équation (III.7), permet d'écrire :

$$Pr_{\mathcal{C}_{q,n}} = Pr_{\mathcal{C}_{q+1,n}} = \dots = Pr_{\mathcal{C}_{k,n}} \in \{1,2\}. \quad (III.11)$$

$$\text{Si } Pr_{\mathcal{C}_{q,n}} = 2 \Rightarrow \begin{cases} Pr_{\mathcal{C}_{q-1,n}} = 3 ; \text{ si } (q-1) \geq 1 \\ Pr_{\mathcal{C}_{q-1,n-1}} = 3 ; \text{ si } (q-1) = 0 \\ Pr_{\mathcal{C}_{k+1,n}} = 1 \end{cases} \quad (III.12)$$

$$\text{Si } Pr_{\mathcal{C}_{q,n}} = 1 \Rightarrow \begin{cases} Pr_{\mathcal{C}_{q-1,n}} = 2 ; \text{ si } (q-1) \geq 1 \\ Pr_{\mathcal{C}_{q-1,n-1}} = 2 ; \text{ si } (q-1) = 0 \\ Pr_{\mathcal{C}_{q+1,n}} = \dots = Pr_{\mathcal{C}_{k,n}} = Pr_{\mathcal{C}_{k+1,n}} = \dots = Pr_{\mathcal{C}_{m,n}} = 1 \end{cases} \quad (III.13)$$

L'illustration des équations (III.11) à (III.13) sur les grilles de la Figure III.3 montre que la variable « k » a, successivement, les valeurs 1 pour le cas de la Figure III.3a (cellule $\mathcal{C}_{1,4}$) et 2 pour celle de la Figure III.3b (cellules $\mathcal{C}_{1,4}$ et $\mathcal{C}_{2,4}$).

L'application de l'équation (III.12) permet d'obtenir :

- pour la grille de la Figure 3a : $Pr_{\mathcal{C}_{1,3}} = Pr_{\mathcal{C}_{1,2}} = 3$ et $Pr_{\mathcal{C}_{4,2}} = Pr_{\mathcal{C}_{4,3}} = 1$.

- Pour la grille de la Figure 3b : $Pr_{\mathcal{C}_{1,3}} = Pr_{\mathcal{C}_{1,2}} = 3$ et $Pr_{\mathcal{C}_{4,3}} = 1$.

III.3.2.3- Troisième cas relatif à l'hybridation des trois types de REX

La généralisation de l'extension de la notion de similarité sur les cellules de l'ensemble « Gr » des cellules d'une grille des risques est gouvernée par le principe de tolérance des risques. Ce principe stipule que le niveau « tolérable » des risques doit être considéré comme étant un niveau tampon entre les niveaux des risques « acceptable » et « non-acceptable ».

Ce principe de tolérance des risques s'exprime par :

$$\text{Si } Pr_{\mathcal{C}_{i,j}} = 3 \text{ et } Pr_{\mathcal{C}_{k,j}} = 1 \Rightarrow \exists \mathcal{C}_{q,j} / Pr_{\mathcal{C}_{q,j}} = 2 ; \forall i < q < k \quad (\text{III.14})$$

$$\text{Si } Pr_{\mathcal{C}_{i,j}} = 3 \text{ et } Pr_{\mathcal{C}_{i,k}} = 1 \Rightarrow \exists \mathcal{C}_{i,q} / Pr_{\mathcal{C}_{i,q}} = 2 ; \forall j < q < k \quad (\text{III.15})$$

L'illustration des équations (III.14 et III.15) sur la grille de la Figure III.3a permet d'affirmer que les cellules ($\mathcal{C}_{3,2}$ et $\mathcal{C}_{2,3}$) doivent avoir la priorité 2. D'où les priorités possibles des deux autres cellules de cette grille qui sont qualifiées comme étant des cellules de confusion :

$$Pr_{\mathcal{C}_{3,3}} \in \{2, 1\} \text{ et } Pr_{\mathcal{C}_{2,2}} \in \{2, 3\}.$$

Pour la grille de la Figure III.3b, les quatre cellules non priorisées sont qualifiées comme étant des cellules de confusion et dont les priorités possibles des cellules ($\mathcal{C}_{2,2}$; $\mathcal{C}_{3,2}$; $\mathcal{C}_{2,3}$) sont égales à 2 ou à 3 tandis que celles de la cellule $\mathcal{C}_{3,3}$ sont égales à 2 ou 1.

Afin de trancher sur la priorité que peut avoir les cellules dites de confusion des grilles (a et b) de la Figure III.3, nous déployons un classificateur de similarité suivant :

$$QCC_{i,j} = \frac{\text{priorité provisoire de la cellule de confusion } (\mathcal{C}_{i,j})}{\text{Priorité dominante des priorités des cellules qui entourent la cellule de confusion } (\mathcal{C}_{i,j})} \quad (\text{III.16})$$

Dans l'équation (III.16), $QCC_{i,j}$, exprime la qualité du classificateur d'une cellule de confusion ($\mathcal{C}_{i,j}$). Les cellules qui entourent une cellule de confusion $\mathcal{C}_{i,j}$ sont des cellules qui partagent avec cette cellule au moins un point commun. Conséquemment, si $QCC_{i,j} = 1$, la classification de la similarité de la cellule de confusion est déclarée bonne et elle est validée.

L'application de l'équation (III.16) aux cellules de confusion des grilles de la Figure III.3 permet d'obtenir les priorisations suivantes :

- Pour la grille de la figure 3a : $Pr_{\mathcal{C}_{3,3}} = 1$ et $Pr_{\mathcal{C}_{2,2}} = 3$.
- Pour la grille de la figure 3b : $Pr_{\mathcal{C}_{2,3}} = Pr_{\mathcal{C}_{3,2}} = Pr_{\mathcal{C}_{3,3}} = 2$ et $Pr_{\mathcal{C}_{2,2}} = 3$.

III.4- Résultats

L'application de la méthode proposée aux deux grilles de la Figure III.2 permet d'aboutir aux grilles suivantes (Figure III.6).

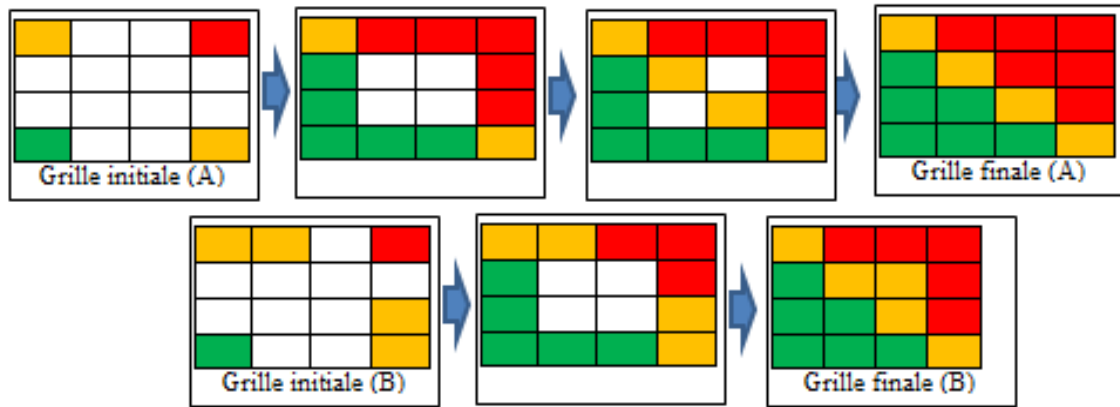


Figure III.6 – Grilles des risques conçues à partir de l'argumentation à base du REX

Les grilles de la Figure III.6 sont obtenues à partir de l'exploration simultanée de la liste des arguments (dernière colonne du Tableau III.1) issus du REX sur les grilles existantes de dimensions 4x4. Cette exploration est guidée par la théorie « Ti » déployée par un acteur « Ag_i » dans le but de formuler les objectifs de sécurité de ces deux grilles. A ce propos, nous rappelons que la croissance de l'étendu de la similarité des cellules à partir de la cellule extrême :

- $\mathcal{C}_{1,1}$ est inversement proportionnel aux niveaux de la sévérité des risques : l'étendu de similarité est maximal pour le niveau g_1 et il est minimal (ou peut être nul) pour le niveau g_n ;
- $\mathcal{C}_{m,n}$ est proportionnel aux niveaux de la sévérité des risques : l'étendu de similarité est maximal pour le niveau g_n et il est minimal (ou peut être nul) pour le niveau g_1 .

La capitalisation des grilles (A et B) de la Figure III.6 sous forme d'objectifs de sécurité est fournie par le Tableau III.2.

Tableau III.2 – Objectifs de sécurité des grilles des Figures III.2 et III.6

Objectif	Grille (A)	Grille (B)
De sécurité (réglementaire)	<ul style="list-style-type: none"> - L'apparition de la gravité g_2 doit être de fréquence f_4 ; - L'apparition de la gravité g_3 doit être au moins de fréquence f_3 ; - L'apparition de la gravité g_4 doit être au moins de fréquence f_2. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'apparition de la gravité g_3 doit être de fréquence f_4 ; - L'apparition de la gravité g_4 doit être au moins de fréquence f_3.
De Culture de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - L'apparition de la gravité g_1 doit être au plus de fréquence f_3 ; - L'apparition de la gravité g_2 doit être au plus de fréquence f_2. - L'apparition de la gravité g_3 doit être de fréquence f_1. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'apparition de la gravité g_1 doit être au plus de fréquence f_3 ; - L'apparition de la gravité g_2 doit être au plus de fréquence f_2. - L'apparition de la gravité g_3 doit être de fréquence f_1.

III.5- Discussions des résultats

A travers le cadre théorique du REX issu des grilles des risques existantes, l'accent est mis, dans un premier temps, sur les invariants du REX qui permettent d'alimenter la liste des arguments. Dans un second temps, la propagation de la notion de similarité aux cellules des zones (5 ou C) de la Figure III.2 est réalisée moyennant des essais de classification.

A ce propos, la limitation du voisinage des cellules de la grille par la condition d'avoir au moins un coté en commun (Equation III.3) est justifiée par la propagation de la similarité des cellules de la grille. Cette propagation de la similarité s'effectue à l'horizontal (suivant l'axe des fréquences) et à la verticale (suivant l'axe des gravités).

Par ailleurs, la théorie « Ti » proposée pour argumenter la conception des grilles des risques montre la possibilité de s'entendre sur la conception des grilles en fonction de leurs dimensions. Les deux grilles de la Figure III.5 illustre nos propos.

De même, cette théorie permet également de critiquer les grilles existantes en vue de perfectionner leurs pertinences. C'est un autre apport de la méthode proposée dans ce chapitre. Pour illustrer nos propos, nous considérons la grille DICMA-Italie (Merad, 2004) de la Figure III.7a où les objectifs de culture de sécurité sont difficiles à formuler. Par contre, les objectifs de sécurité sont les suivants :

- L'apparition de la gravité g_3 doit être au moins de fréquence f_3 ;
- L'apparition de la gravité g_4 doit être au moins de fréquence f_2 .

Un examen de cette grille des risques montre également que les gravités g_1 et g_2 sont acceptables quelque soient les fréquences d'occurrence des risques. D'où l'utilité de les fusionner dans une seule gravité (Figure III.7b). Le même raisonnement s'applique aux fréquences (f_3 et f_4) qui méritent d'être fusionnées dans une seule fréquence (Figure III.6b). D'où la nouvelle grille (B) de la Figure III.7 qu'est de dimensions 3x3.

En référence à la liste des arguments du Tableau III.1 et compte tenu de la dimension de la grille 7-B, le risque de fréquences de cette grille (cellule $C_{3,1}$) doit être de priorité 3. D'où la grille réajustée de la Figure III.7c qui nous semble plus pertinente et qui du moins a le mérite de séparer entre les zones d'acceptabilité et de la non-acceptabilité des risques.

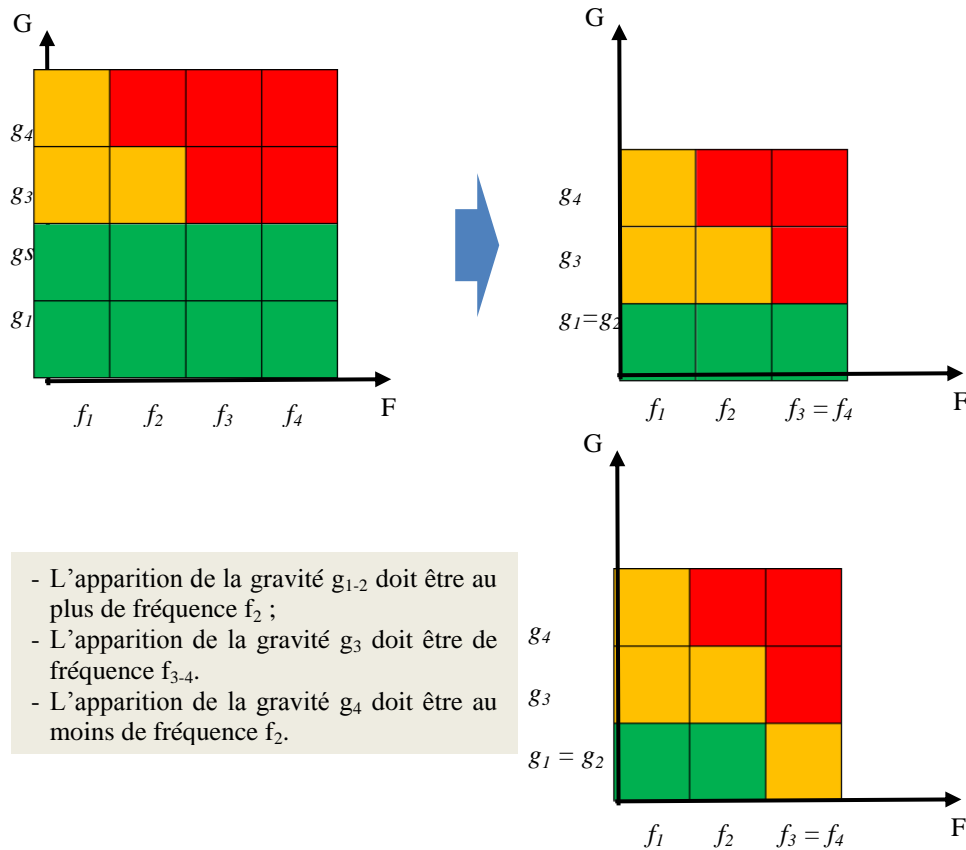


Figure III.7 – Apport de la méthode proposée pour le réajustement de la grille DICMA-Italie.

Cet apport de la méthode proposée en termes de critique des grilles existantes est d'une grande importance. Notamment en Algérie où l'étude critique des dangers est un problème récurrent. A ce propos, des auteurs (Saadi & al, 2011 par exemple) ont mis en évidence la nécessité de recommander l'usage des grilles des risques appropriées dans la réalisation des études de dangers. Dans ce contexte, la méthode du REX constitue une aide prometteuse pour réaliser une étude critique objective des études de dangers en termes de pertinence des grilles des risques utilisées dans ces études.

III.6- Conclusion

Dans ce contexte, la théorie d'argumentation développée dans ce chapitre offre un cadre conceptuel et méthodologique approprié pour explorer les relations entre fonctionnement et forme d'une grille des risques. A ce propos, les relations de voisinage entre les cellules de l'ensemble « Gr » d'une grille ont été explorées selon le critère topologique (contiguïté). Ces relations ont servies de base pour la conception des grilles moyennant la notion de similarité par rapport à un niveau de risque.

Enfin, les résultats issus du déploiement de la méthode proposée dans ce chapitre montrent que plus la formulation des objectifs de sécurité issus des REX statistiques et de crise est complète plus le nombre de cellules dites de confusion est réduit. D'où une meilleure classification de ces cellules en termes de niveaux des risques. A l'opposé, tant que la

formulation des objectifs de sécurité issus des REX statistiques et de crise est incomplète plus le nombre de cellules dites de confusion est important. D'où la difficulté de la classification de ces cellules en termes de niveaux de risques. Pour surmonter cette difficulté, nous recommandons l'usage des techniques de classification et de hiérarchisation des données (Hadeff & Djebabra, 2019b).

Signalons que les grilles des risques de référence (issues du REX) ou les autres grilles existantes peuvent faire l'objet d'une validation par des outils statistiques tel que l'Analyse des Composantes Principales (ACP) que nous détaillerons dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

***Classification des scénarios d'accidents basée
sur une Analyse en Composante Principales -
ACP-***

Sommaire

4.1. Introduction	71
4.2. Contexte d'application de la méthode ACP	71
4.2.1. Concepts de base de l'ACP	71
4.2.2. Objectifs de l'ACP	72
4.2.3. Champs d'application de l'ACP	73
4.2.4. Principales étapes de l'ACP	74
4.3. Proposition d'une ACP améliorée (ACP-A) pour la classification des scénarios d'accidents industriels	76
4.3.1. Principes de l'ACP-A	76
4.3.2. Etapes de l'ACP-A	77
4.3.3. Illustration de l'ACP-A sur un exemple d'illustration	80
4.4. Proposition d'une ACP-A Floue (ACP-AF) pour la classification des scénarios d'accidents industriels	85
4.4.1. Principes de l'ACP-AF	85
4.4.2. Résultats d'application de l'ACP-AF sur un exemple d'application	86
4.5. Conclusion	92

IV.1- Introduction

Dans les chapitres deux et trois, nous avons évoqué l'usage très répandu des grilles des risques par les industriels qui a conduit ces derniers à élaborer leurs propres grilles des risques. Ce qui a engendré une grande diversité des grilles exploitées dans différents secteurs industriels ou autres (Peeters & Peng, 2015) et dans différents pays (Merad, 2004). Nous avons évoqué également le problème majeur qui réside dans la fonction de communication des grilles des risques où Duijm (2015) affirme que ce problème résume des difficultés rencontrées à la fois dans la conception des grilles basée sur des jugements d'experts et dans leurs exploitations.

Afin de surmonter ces deux difficultés (conception et exploitation des grilles), ce chapitre propose le recours à la méthode Analyse en Composantes Principales (ACP) dont le choix se justifie par deux principales raisons :

- Son usage très répandu dans la classification des données dans différents domaines (Palese, 2018, Libing & al, 2017; Penkovaa, 2017; Ng, 2017; Manwendra & al, 2015). Malgré son champ d'application très vaste, l'ACP n'a pas fait d'objet d'application dans l'évaluation des risques industriels en termes d'hierarchisation.
- La gestion des entrées multiples pour l'évaluation des risques en optimisant les variables de classification et en se focalisant sur les principaux facteurs de classification des données. Afin de solutionner le problème d'exploitation des principaux facteurs de classification des données par ACP, ce chapitre propose de cadrer ces principaux facteurs par une formulation algébrique permettant d'améliorer la classification des risques.

Il est également important de signaler que deux approches complémentaires sont d'usage répandu pour la conception et l'exploitation des grilles des risques: (i) une approche du type "bottom-up" qui s'attache à l'identification des risques à l'échelle des processus/activités et par la suite l'évaluation de leurs impacts et (ii) une approche du type "top-down" qui se focalise sur les situations à hauts risques et l'étude des scénarios d'accidents qui leurs sont associés.

C'est cette seconde approche qu'est retenue dans ce chapitre afin de valoriser, dans un premier temps, la classification des scénarios d'accidents par ACP-améliorée et, dans un second temps, pour réajuster la grille des risques retenue pour la classification initiale des scénarios d'accidents relatifs à une situation réelle et à haut risque.

IV.2- Contexte d'application de la méthode ACP

IV.2.1- Concepts de base de l'ACP

L'ACP fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. En effet, La méthode ACP est l'une des plus fréquentes

méthodes utilisées en analyse des données multi-variées³² (Gupta & Barbu, 2018). L'ACP est très puissant pour l'analyse et la visualisation des données³³ multidimensionnelles.

L'ACP propose, à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de "p" variables quantitatives pour "n" unités (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables (Barshan & al, 2011). Ainsi, l'ACP est la meilleure méthode pour résumer (réduire) le nombre de dimensions des données, sans trop perdre d'information. En effet, L'ACP synthétise ces informations ou connaissances en seulement quelques nouvelles variables qui sont les *composantes principales* (ou les *facteurs principaux*). En d'autres termes, l'ACP consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ces nouvelles variables, appelées "composantes principales" (ou facteurs principaux) définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales³⁴.

En d'autres termes, l'ACP est un simple changement de base : passer d'une représentation dans la base canonique des variables initiales à une représentation dans la base des facteurs définis par les vecteurs propres de la matrice des corrélations (Ng, 2017).

La technique mathématique utilisée en ACP, qu'est appelée "eigen analysis", consiste à déduire les valeurs propres et les vecteurs propres d'une matrice symétrique carrée. Le vecteur propre associé à la plus grande valeur propre à la même direction que le premier principal composant. De même, le vecteur propre associé à la seconde plus grande valeur propre détermine la direction du second composant principal et ainsi de suite. La somme des valeurs propres est égale à la trace de la matrice carrée et le nombre maximum de vecteurs propres est égal au nombre de lignes (ou de colonnes) de cette matrice (Zeng & al., 2016).

L'ACP est une approche à la fois exploratoire et confirmatoire (Jolliffe, 1986) :

- une approche exploratoire qui s'attache à l'identification de la structure sous-jacentes des données et de résumer le nombre de variables en quelques facteurs,
- une approche confirmatoire qui permet de confirmer une structure factorielle documentée.

IV.2.2- Objectifs de l'ACP

Les objectifs de l'ACP sont multiples (Palese, 2018 ; Christoper, 2006) :

- fournir des outils simples et lisibles de représentation des informations traitées, permettant de faire ressortir des données brutes les éventuels liens existant entre

³² Données avec plusieurs variables.

³³ Elle exprime leurs similitudes et leurs différences tout en assurant une bonne représentation graphique de ces données.

³⁴ Nous confirmons ce constat dans la suite de ce chapitre.

les variables (en terme de corrélation). En effet, l'ACP est capable de fournir une représentation graphique optimale des données traitées ;

- donner des indications sur la nature, la force et la pertinence de ces liens, afin de faciliter leur interprétation et découvrir quelles sont les tendances dominantes de l'ensemble de données,
- réduire efficacement le nombre de dimensions étudiées (et ainsi simplifier l'analyse), en cherchant à exprimer le plus fidèlement possible l'ensemble original de données grâce aux relations détectées entre les variables.

IV.2.3- Champs d'application de l'ACP

L'ACP est publiée pour la première fois par Karl Pearson en 1901. Le père du Test du χ^2 prolonge ses travaux dans le domaine de la régression et des corrélations entre plusieurs variables. Pearson utilise ces corrélations non plus pour expliquer une variable à partir des autres (comme en régression), mais pour décrire et résumer l'information contenue dans ces variables.

Connue également sous le nom de transformée de Karhunen-Loève³⁵, l'ACP a été de nouveau développée et formalisée dans les années 30 par Harold Hotelling (Hotelling, 1933). La puissance mathématique de l'économiste et statisticien américain le conduira aussi à développer l'analyse canonique, généralisation des analyses factorielles dont fait partie l'ACP. Les champs d'application sont aujourd'hui multiples, allant de la biologie à la recherche économique et sociale, et plus récemment le traitement d'images (Ng, 2017).

Afin d'illustrer le champ large d'usage de l'ACP, le Tableau IV.1 présente quelques travaux réalisés sur la méthode ACP dans différents domaines (liste non exhaustive).

Tableau IV.1 : Extrait des domaines d'application de la méthode ACP

<i>Référence</i>	<i>Description succincte de l'étude</i>
Palese (2018)	Il affirme que l'ACP est la technique le plus souvent utilisé en matière d'analyse des données moyennant la matrice de covariance/corrélation.
Libing & al, (2018)	Usage de l'ACP pour fournir des classes stables du risque dans le secteur des banques chinoises moyennant la combinaison entre des mesures systématiques de risque et le traitement de ces données par la méthode ACP. Cette combinaison conduit à des classifications pertinentes des risques financiers afin de prévenir des crises financières à l'avenir.
(Penkovaa, 2017)	Usage de l'ACP dans le domaine de la sécurité des territoires où elle permet de réduire les dimensions des données utilisées ainsi que leurs classifications.
Ng & al, (2017)	Usage de l'ACP en tant qu'outil de réduction des dimensions des données afin de réduire la taille des images et comparer la qualité de ces images obtenues avec des degrés de variabilités différents.
Manwendra & al, (2015)	Usage de l'ACP sur les "bulk metallic glasses" pour une analyse multi-variée et une classification de ces données.
Reza & Yazdi	L'article propose un algorithme intégré à deux phases. Dans la première phase, ACP est utilisé pour réduire les scores des éléments liés à chacune des

³⁵ Appelée également la transformée de Hotelling.

(2015)	caractéristiques de la QS et les agréger en une mesure unique. Dans la deuxième phase, ACP est utilisée pour la quantification totale du QS. Pour la vérification et la validation, la classification floue est utilisée avec ACP pour regrouper les participants à l'enquête en différentes classes, qui peuvent posséder différents stocks de capitale spirituelle. et les classer en fonction de leur niveau de QS. Les résultats de la ACP sont vérifiés et validés par une classification floue révélant l'applicabilité et l'utilité de la ACP pour la quantification par capitale spirituelle.
Barshan & al, (2011)	Usage de l'ACP dans le cas des dimensions non-linéaires pour réduire la complexité des calculs dans le cas où le nombre des variables est supérieur aux nombres des observations.
Ringné (2008)	Il souligne que l'ACP est parmi les méthodes d'analyse des données multifactorielles qui vise à résumer les dimensions des données avec une grande capacité de préservation des informations importantes.
Bagui & al, (2003)	Segmentation by fuzzy logic to estimate the number of red blood cells in multi-spectral images of unstained blood smear.
Zhu, (1998)	Analyse d'enveloppement des données vs analyse en composantes principales: une étude illustrative de la performance économique de la théorie et de la méthodologie des villes chinoises

IV.2.4- Principales étapes de l'ACP

Dans le cadre du présent manuscrit de thèse de doctorat, nous présentons l'algorithme de calcul de l'ACP à l'aide de la méthode de la matrice de covariance³⁶. Notons que le calcul des facteurs principaux de l'espace ACP s'effectue en trois étapes principales :

- calcul de la matrice de covariance de la matrice de données (X),
- calcul des valeurs propres et des vecteurs propres de la matrice de covariance,
- projection des données sur les axes des principaux facteurs retenus.

La Figure IV.1 illustre les étapes permettant de calculer les facteurs principaux en utilisant la méthode de la matrice de covariance.

Ces étapes sont en nombre de huit. Elles sont présentées ci-après.

- (a) Soit une matrice de données ($X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$), où N représente le nombre total d'échantillons et x_i représente le $i^{\text{ème}}$ échantillon.
- (b) Calcule de la moyenne de tous les échantillons :

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{IV.1})$$

- (c) Normalisation de la moyenne de tous les échantillons :

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_N\} = \sum_{i=1}^N x_i - \mu \quad (\text{IV.2})$$

³⁶ Il existe d'autre méthode de calcul l'ACP en utilisant la méthode SVD

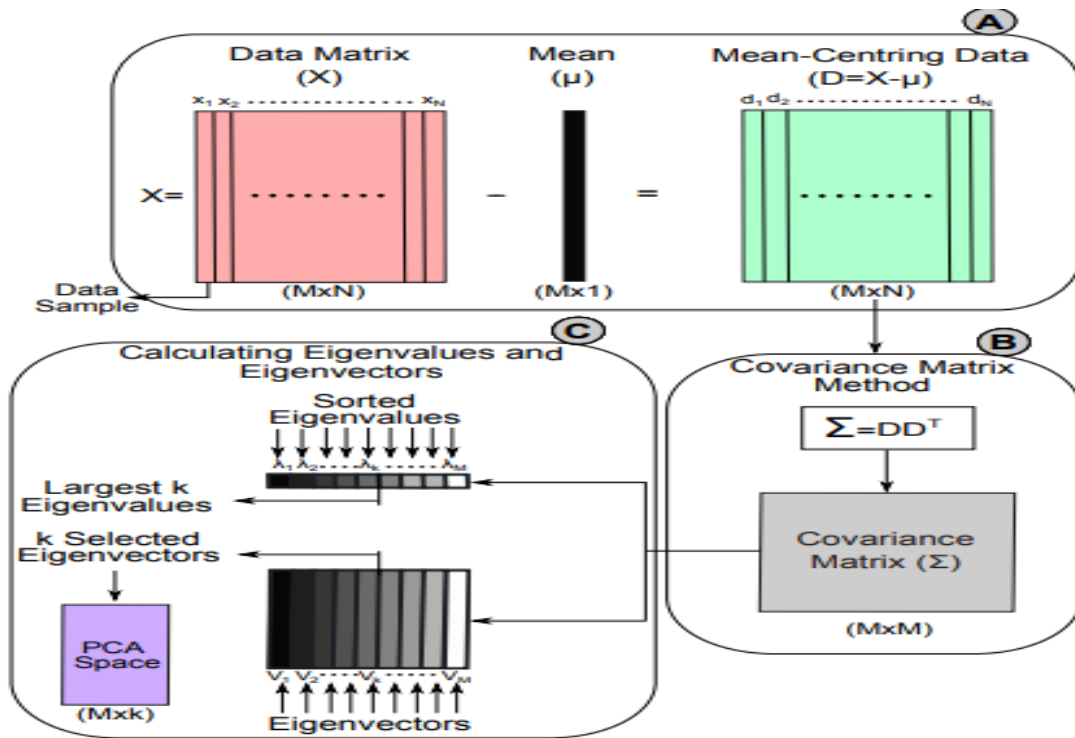


Figure IV.1 : Étapes visualisées pour calculer l'espace ACP à l'aide de la méthode de la matrice de covariance (Tharwat, 2016)

(d) Calcul de la matrice de covariance comme suit:

$$\Sigma = \frac{1}{N-1} D * D^T \quad (IV.3)$$

(e) Calcul des vecteurs propres V et les valeurs propres λ de la matrice de covariance (Σ).

La matrice de covariance est résolue en calculant les valeurs propres (λ) et les vecteurs propres (V) comme suit :

$$V \Sigma = \lambda * V \quad (IV.4)$$

Où : V et λ sont les vecteurs propres et les valeurs propres de la matrice de covariance respectivement.

Il est important de noter que les valeurs propres sont des valeurs scalaires, tandis que les vecteurs propres sont des vecteurs non nuls, qui représentent les composantes principales. C'est-à-dire que chaque vecteur propre représente une composante principale. Les vecteurs propres représentent les directions de l'espace ACP et les valeurs propres correspondantes représentent (Hyvärinen, 1970; Strang & Aarikka, 1986) : le facteur de mise à l'échelle, la longueur, la magnitude ou la robustesse des vecteurs propres. Le vecteur propre ayant la valeur propre la plus élevée représente la première composante principale et présente la variance maximale illustrée par la Figure IV.1.

(f) Tri des vecteurs propres en fonction de leurs valeurs propres correspondantes.

(g) Sélection des vecteurs propres ayant les plus grandes valeurs propres :

$PC = \{F_1, F_2, \dots, F_k\}$, les vecteurs propres sélectionnés (PC) représentent l'espace de projection de la ACP.

(h) Projection de tous les échantillons sur l'espace dimensionnel inférieur de l'ACP (sur les axes des facteurs principaux retenus par l'étude) :

$$Y = PC^T * D = \sum_{i=1}^N PC^T (x_i - \mu) \quad (IV.5)$$

IV. 3- Proposition d'une ACP améliorée pour la classification des scénarios d'accidents industriels

IV.3.1- Principes de l'ACP améliorée

Rappelons que l'objectif de l'ACP-améliorée que nous proposons dans ce chapitre est double : la classification des données relatives aux scénarios de risques et l'étude de ces scénarios d'accidents sous forme d'observations.

Pour ce qu'est du premier objectif, l'ACP s'attache à rechercher les éventuels liens existants entre les variables en termes de corrélation. Plus précisément, elle donne des indications sur la nature, la force et les pertinences de liens existants entre les différentes variables de classification afin de découvrir quelles sont les tendances dominantes de l'ensemble des données ainsi que les facteurs principaux qui expriment le plus fidèlement possible l'ensemble original des données selon les liens détectées entre les variables. Pour le second objectif, l'ACP recherche les ressemblances possibles entre les scénarios étudiés et, par voie de conséquence, elle fournit les différentes classes de risques qui leur sont associées.

Pour atteindre ces deux objectifs, deux approches sont possibles ([Gupta, 2018](#) ; [Jolliffe, 2002](#)) :

- une approche exploratoire qui s'attache à l'identification de la structure sous-jacente des données et de résumer le nombre de variables en quelques facteurs,
- une approche confirmatoire qui permet de confirmer une structure factorielle documentée.

Dans cette étude, nous retenons la seconde approche qui consiste à confirmer la classification des scénarios d'accidents étudiés. A ce propos, la finalité de l'ACP étant la classification des scénarios d'accidents mais il se trouve que la classification de certains scénarios reste ambiguë (voir la section des résultats). Pour solutionner ce problème nous proposons une ACP dite améliorée dont ses étapes sont présentées dans la Figure IV.2

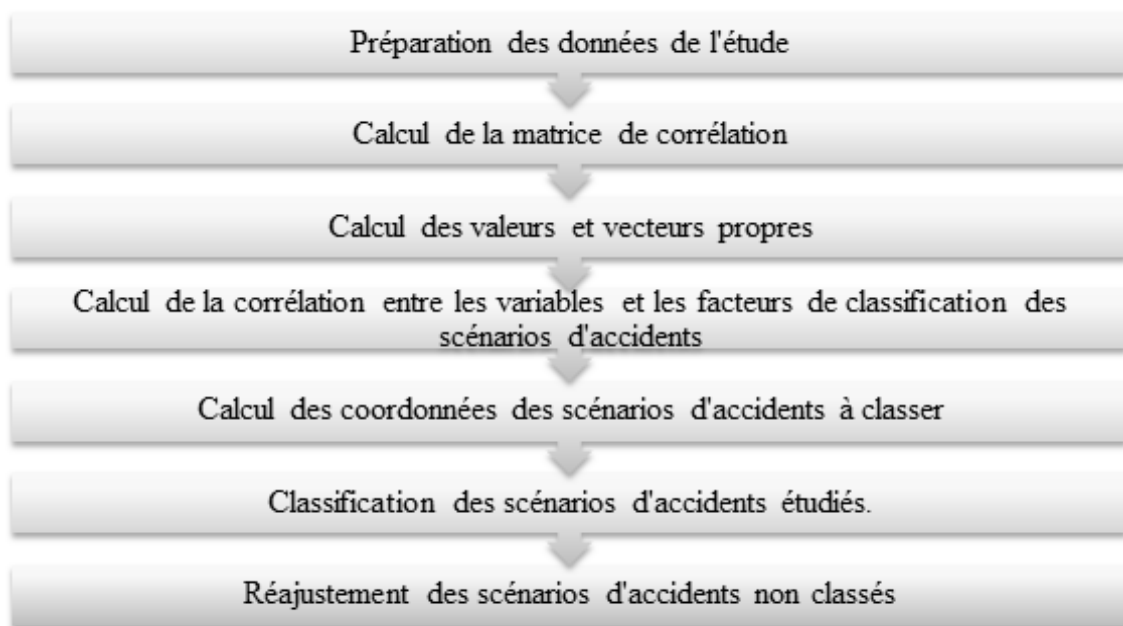


Figure IV.2 : Etapes de la méthode ACP améliorée (Hadeif & Djebabra, 2019a)

IV.3.2- Etapes de l'ACP améliorée

IV.3.2.1- Préparation des données de l'étude

L'application de l'ACP débute par la préparation des données de l'étude où il faut définir les variables originales à réduire. Pour rappel, l'ACP traite des données qui peuvent être : continues, dichotomique (0-1) et ordinales.

A noter également, que la taille de l'échantillon à traiter doit être de grande taille (> 100 individus). Cependant, certains auteurs (par exemple, Hair & al, 1998) estiment qu'un échantillon de taille égale à 10 est suffisante pour entamer l'étude par ACP.

Une autre exigence relative à l'usage de l'ACP concerne la nature des données qu'il faut normalisée lorsque on utilise des variables mesurées par des différentes unités (kilogrammes, kilomètres, centimètres, ...) afin de rendre les variables comparables.

Donc, pour plus de perfectionnement des calculs par l'ACP, il faut soustraire la moyenne de chacune des données en divisant chaque donnée par son écart type (Relation IV.6). Ces données sont appelées des "données centrées-réduites". Après cette transformation des données, l'ACP est dénommée "ACP normée".

$$\frac{x_i^k - \bar{x}^k}{s_k} \quad (IV.6)$$

Où : \bar{x}^k et s_k sont la moyenne et l'écart-type de la variable x^k .

IV.3.2.2- Calcul de la matrice de corrélation

La deuxième étape permet de calculer la matrice de corrélation entre les variables d'étude. Pour cela, ces variables sont prises deux à deux. La matrice de corrélation obtenue

permet de chercher les liens entre les différentes variables et les interpréter pour juger de la qualité de l'échantillon.

La matrice de variance/covariance est la matrice largement utilisée en statistique. C'est une matrice symétrique qui comporte les variances et les covariances associées à plusieurs variables et où :

- les *variances* des variables présentées par les éléments de la diagonale
- les *covariances* entre toutes les paires possibles des variables présentées par les éléments hors diagonale.

La matrice de corrélation obtenue permet de chercher les liens entre les différentes variables et les interpréter pour juger de la qualité de l'échantillon.

Afin de mesurer *le sens*³⁷ et *l'intensité*³⁸ de la relation entre deux variables, il est essentiel de calculer le coefficient de corrélation entre eux, qui est égal au rapport entre la covariance entre ces deux variables et le produit de leurs écart-types respectifs.

IV.3.2.3- Calcul des valeurs et vecteurs propres

La troisième étape relative aux calculs des valeurs et vecteurs propres est une étape très importante ; car elle permet de quantifier le degré de fidélité des facteurs obtenus par ACP à la représentation des variabilités totales.

Les valeurs propres quantifient la variance expliquée par chaque axe principal. En effet, les grandes valeurs sont prises pour les premiers axes (les plus représentatifs des informations) et les petites valeurs par les axes suivants. A cet effet, les valeurs propres relatives à la détermination de nombre des axes principaux se résument en deux cas :

- les données sont normalisées : si la valeur propre est supérieure à l'unité, elle indique que la composante principale en question représente plus de variance par rapport à une seule variable d'origine,
- la détermination du nombre des axes sur la base d'une fraction de la variance totale qui couvre un pourcentage de satisfaction prédéfinie selon le cas (80% dans notre cas).

Signalons qu'il n'existe pas de méthodes standards pour fixer le nombre des axes à retenir par l'étude ACP ; car, cela dépendra de plusieurs paramètres comme par exemple : le domaine d'application, types des données à traiter, ... etc. Cependant, certains auteurs (Peres-Neto & al, 2005; Jolliffe, 2002) utilise une méthode pour déterminer ce nombre d'axes à partir du graphique des valeurs propres (détermination du point au-delà duquel les valeurs propres restent relativement petites et de tailles comparables).

³⁷ Si la valeur est *négative*, alors, la variation des valeurs des deux variables sont inversement proportionnelle (si le premier augmente automatiquement le deuxième diminue et réciproquement). Si la valeur est *positive*, cela signifie que les deux variables varient ensemble (en augmentation et en diminution).

³⁸ La valeur *absolue* du coefficient, permet de quantifier l'intensité de la relation entre deux variables : si sa valeur est proche à 1 cela signifie que la relation est forte et réciproquement (si la valeur est proche de 0, alors la relation est faible). « si la relation est comprise entre (-1 et -0,5) ou (+ 0,5 et + 1) on peut dire que ces valeurs sont significatives dans les deux sens.

IV.3.2.4- *Choix des composants principaux et calcul de la corrélation entre les variables et les facteurs de classification des scénarios d'accidents*

C'est ici qu'intervient la notion de compression et de condensation des données et de dimensionnalité réduite. A noter qu'il faut bien analyser les valeurs et les vecteurs propres. Car, le vecteur propre ayant la valeur propre la plus élevée est la composante principale de l'ensemble de données

En d'autres termes et une fois que les vecteurs propres sont trouvés dans la matrice de covariance, on procède à leur ordonnancement par valeur propre, du plus élevé au plus faible. Ceci nous permet d'avoir les composants par ordre d'importance. En conséquence, les composants de moindre importance peuvent être ignorés.

Il est vrai que certaines informations soient perdues mais ces informations sont d'une faible importance d'une part et, nous avons, d'autre part, un degré de satisfaction qui se matérialise par le degré de fidélité des nouveaux variables que nous avons accepté au début pour avoir moins de dimensions et, par voie de conséquences, une meilleur analyse et visualisation de l'échantillon.

Ce qu'il faut noter également est que au cours de cette étape, l'intérêt est porté sur la corrélation entre les variables et les facteurs de classification des données (scénarios d'accidents, dans notre cas) dans le but d'étudier le lien entre les variables et facteurs retenus par la méthode ACP et la représentation de cette corrélation s'effectue sous forme d'un "cercle de corrélation"³⁹.

IV.3.2.5- *Calcul des coordonnées des scénarios d'accidents à classer*

Une fois choisi les composants principaux, nous calculons les coordonnées de nos scénarios des risques (ou individus). Cette étape consiste, donc, en une projection des scénarios des risques étudiés sur les axes des facteurs principaux retenus par la méthode ACP.

Cette étape fournit une plateforme des informations à exploiter dans l'analyse et l'interprétation des résultats selon les cas : la particularité des données utilisées, le contexte de l'étude et les objectifs fixés en amont.

Pour illustrer nos propos, nous rappelons que dans l'exemple d'application (présenté dans la suite de ce chapitre), cette étape permet de déduire les nouvelles coordonnées des scénarios des risques par rapports aux principaux axes retenus.

IV.3.2.6- *Classification des scénarios d'accidents étudiés*

L'avant dernière étape permet le classement des scénarios d'accidents étudiés. Cette étape permet d'exploiter les calculs des coordonnées des scénarios d'accidents après leur projection sur l'axe des facteurs principaux retenus. En effet, l'objectif de ces calculs est d'étudier les ressemblances possibles entre les scénarios d'accidents et leur classification

³⁹ Voir section résultats dans la suite de ce chapitre.

en termes de classes de risques : risque non-acceptable, risque tolérable, risque acceptable et risque négligeable.

C'est une étape primordiale pour exploiter le potentiel de la méthode à partir d'une analyse approfondie des résultats de l'application de la méthode ACP par des experts dans le domaine qui sont les garants de la performance de l'étude réalisée.

IV.3.2.7- Réajustement des scénarios d'accidents non-classés

La dernière étape étant le réajustement de la classification de certains scénarios par le biais de l'agrégation des facteurs de classification retenus dans l'ACP sous forme d'une moyenne pondérée (Hadeb & Djebabra, 2019a) :

$$R(Sc_i) = \frac{\sum_{j=1}^{N_F} K_j * F_j(Sc_i)}{N_F} ; i = 1..N_{Sc} \quad (IV.7)$$

Où : $R(Sc_i)$ est la valeur numérique du risque associé au scénario "i",
 N_{Sc} étant le nombre total des scénarios à classer,
 N_F est le nombre de facteurs à agréger,
 K_j est la valeur de la variabilité du facteur F_j
 $F_j(Sc_i)$ est la valeur numérique de la projection du scénario "Sci" sur l'axe du facteur F_i .

IV.3.2- Illustration de l'ACP Améliorée sur un exemple d'application

IV.3.2.1- Description de l'exemple d'application

Afin d'illustrer les étapes de l'ACP-améliorée sur un exemple de classification des scénarios d'accidents industriels, nous avons choisi un exemple d'application relatif à un groupe industriel où l'usage de la grille des risques (Figure IV.3) a permis d'obtenir la classification des dix scénarios d'accidents détaillés par le Tableau IV.2.

Pour rappel, les données utilisées dans cet exemple d'application sont issues du rapport d'analyse des accidents graves du groupe industriel "Total - Sonatarch - Repsol". Il est axé sur l'exploitation des gisements de gaz dans le sud de l'Algérie et vise principalement à évaluer les accidents graves causés par le processus de traitement de gaz. Ce rapport est réalisé par le groupe LLYOD'S REGISTER EMEA "énergie et transports" (LRET, 2007).

Par ailleurs, nous rappelons également que ce groupe industriel a conçu sa propre grille des risques sur la base d'un consensus entre tous les acteurs concernés (manager de groupement, responsable HSE, responsable de production, ... etc). A ce propos, ces acteurs ont été appelé à définir :

- les différentes catégories de conséquences que les accidents industriels potentiels peuvent entraîner en matière de gravité (leurs coûts liés à l'impact possible sur : les biens, les personnes, l'environnement et la réputation du groupe industriel),
- les fréquences d'occurrence de ces accidents qui sont estimées sur la base de l'occurrence d'accidents industriels dans le groupe ou dans d'autres groupes industriels partageant la même activité de production.

Un autre élément du choix de cette grille des risques (figure IV.3) par ce groupe industriel est qu'elle est la plus utilisée dans l'industrie pétrolière en Algérie. En conséquence, les accidents énumérés dans le tableau IV.2 ont été classés en fonction de leur criticité (figure IV.3).

Gravité	Conséquences				Vraisemblance croissante				
	Personnes	Biens	environnement	Réputation	Ne s'est jamais entendu dans le domaine pétrolier.	Entendu dans le domaine pétrolier	L'incident a eu lieu dans notre compagnie	Se produira plusieurs fois par an dans notre compagnie	Se produira plusieurs fois par an dans un lieu
0	Aucun effet ou blessure	Aucun dommage	Aucun effet	Aucun impact					
1	Effet faible sur la santé/blessure	Dompage léger	Effet léger	Impact léger					
2	Grand effet sur la santé/blessure	Dompage localisé	Effet localisé	Impact considérable	1	2. 9.10			
3	PTD ou fatalité de 1-3	Grand dompage	Grand Effet	Impact national		5.4.8	6.7		
4	Fatalités multiples	Dompage général	Effet massif	Impact international				3	





<i>Classes de risques</i>		<i>Action requise</i>
Elevé		Concevoir lorsqu'il est possible ou éliminer.
Moyen		Réduire à la source plus contrôle opérationnel.
Faible		Contrôle/ gérer le risque.
Négligeable		Aucune action n'est requise.

Figure IV.3 : Classification des dix scénarios d'accidents étudiés par la grille des risques d'après (LRET, 2007).

*Chapitre IV : Classification des scénarios d'accidents basée sur une Analyse
en Composante Principales-ACP-*

Tableau IV.2 : *Classification des scénarios d'accidents obtenue par une grille de risques (LRET, 2007).*

Equipements		Fréquence de l'événement	Coût prévu de dommages (\$ US)	Risque de dommages (\$ US)	Risque de perte de production (12 mois)	Risques
		a	b	c	d	f
Grandes explosions						
<i>Piège à condensat</i>	Sc₁	1.333E-06	4.576.500	6	1068	Risque faible
<i>Déséthaniseur</i>	Sc₂	4.82E-05	7.025.210	339	38705	Risque moyen
<i>Colonne de séparation du produit</i>	Sc₃	1.21E-04	130.922.162	15842	97163	Risque élevé
<i>Rebouilleur de la colonne de séparation du produit.</i>	Sc₄	1.01E-04	10.471.428	1058	81103	Risque moyen
<i>Sphères de stockage du GPL</i>	Sc₅	1.49E-07	42.733.888	6	120	Risque moyen
<i>Compresseur de gaz</i>	Sc₆	2.06E-04	37.990.544	7826	165418	Risque élevé
<i>Suppresseur</i>	Sc₇	2.06E-04	37.990.544	7826	47859	Risque élevé
Grands feux						
<i>Réservoir de condensats</i>	Sc₈	9.96E-05	11.955.965	713	47859	Risque moyen
<i>Réservoir de stockage du diesel</i>	Sc₉	1.99E-05	1.458.548	29	15980	Risque moyen
<i>Réservoir de stockage du pétrole lourd</i>	Sc₁₀	1.49E-05	1.458.548	29	11965	Risque moyen

L'examen du Tableau IV.2 montre que les scénarios d'accidents étudiés sont répartis en quatre classes de risques :

- Classe 1 (risque négligeable) = $\{\emptyset\}$;
- Classe 2 (risques faibles) = $\{Sc_1, Sc_2, Sc_9, Sc_{10}\}$;
- Classe 3 (risques moyens) = $\{Sc_4, Sc_8\}$;
- Classe 4 (risques élevés) = $\{Sc_3, Sc_6, Sc_7\}$.

Cette répartition montre que la classe des risques dite "négligeable" ne contient aucun scénario. Par ailleurs, les données du Tableau IV.1 servent comme support de base pour chercher les relations entre les variables de classification, d'une part, et pour chercher les ressemblances possibles (classes de risques possibles) entre les différents scénarios d'accidents, d'autre part.

En d'autres termes, l'application de l'ACP permet de refaire la classification de ces scénarios d'accidents afin d'affirmer cette classification ou de réajuster la grille avec un bien fondé.

IV.3.2.2- Résultats obtenus

Les résultats obtenus par l'ACP sont fournis par les Tableaux IV.3, IV.4 et IV.5. (Hadeff & Djebabra, 2019a)

Tableau IV.3 : Normalisation des données de classification des dix scénarios d'accidents

	Sc_1	Sc_2	Sc_3	Sc_4	Sc_5	Sc_6	Sc_7	Sc_8	Sc_9	Sc_{10}
a	-1.0234	-0.4274	0.4984	0.2441	-1.0385	1.5793	1.5793	0.2263	-0.7873	-0.8509
b	-0.6113	-0.5491	2.5959	-0.4617	0.3573	0.2369	0.2369	-0.4240	-0.6904	-0.6904
c	-0.6232	-0.5615	2.3129	-0.4282	-0.6232	0.8267	0.8267	-0.4921	-0.6190	-0.6190
d	-0.9590	-0.2321	0.8968	0.5867	-0.9773	2.2150	-0.0553	-0.0553	-0.6710	-0.7485

Tableau IV.4 : Valeurs propres obtenues par l'ACP.

	F_1	F_2	F_3	F_4
Valeur propre	2.9398	0.8247	0.2025	0.0331
Variabilité (%)	73.49%	20.61%	5.06%	0.82%
% cumulé	73.49%	94.1%	99.16%	100.00%

L'examen de tableau ci-dessus montre que la valeur propre liée au facteur de classification « F_1 » est égale à 2.93 et la variabilité totale, qu'est de 73.49%, affirme le pourcentage de la préservation des données initiales si on opte pour la présentation des scénarios d'accidents sur l'axe relatif au facteur de classification F_1 . De même, la variabilité totale de la classification des scénarios d'accidents suivant le facteur de classification F_2 est égal de 20.61%. Par contre, les variabilités totales de la classification des scénarios d'accidents selon les autres facteurs de classification F_3 et F_4 sont faibles et, en conséquences, à ne pas prendre en considération dans la classification des dix scénarios d'accidents.

Ces résultats nous incitent à choisir les deux premiers facteurs de classification des dix scénarios d'accidents du Tableau IV.4 (F_1 et F_2) comme des facteurs principaux de cette classification (Tableau IV.5 et Figure IV.4).

Tableau IV.5 : Coordonnées des dix scénarios d'accidents par rapport aux principaux facteurs de leur classification

	SC_1	SC_2	SC_3	SC_4	SC_5	SC_6	SC_7	SC_8	SC_9	SC_{10}
F_1	-1.5991	-0.8873	3.1645	-0.0423	-1.1659	2.4272	1.3097	-0.3848	-1.3764	-1.4456
F_2	0.3696	-0.2107	1.7543	-0.8330	1.0193	-1.4165	-0.3613	-0.5209	0.0655	0.1338

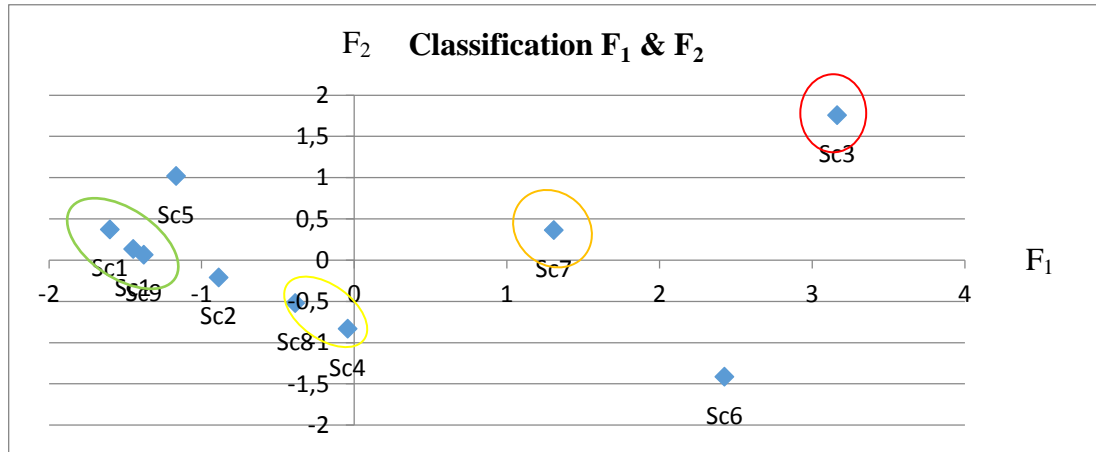


Figure IV.4 : Visualisation des dix scénarios d'accidents sur les axes F_1 et F_2 (Hadej & Djebabra, 2019a)

La Figure IV.4 ci-dessus permet de fournir les ressemblances possibles pour la classification des dix scénarios d'accidents (qui sont dans notre cas les classes de risques : risque non-acceptable, risque tolérable, risque acceptable et risque négligeable). Le critère de ressemblance retenu est celui de la distance géométrique entre les scénarios d'accidents. La distance géométrique de chaque scénario d'accident est calculée à partir de ses coordonnées par rapport aux axes des facteurs principaux retenus (F_1 et F_2). Ainsi, nous obtenons la classification suivante des dix scénarios d'accidents :

- classe 1 = $\{\emptyset\}$;
- classe 2 = $\{Sc_1, Sc_9, Sc_{10}\}$;
- classe 3 = $\{Sc_4, Sc_8\}$;
- classe 4 = $\{Sc_7\}$;
- classe 5 = $\{Sc_3\}$.

Ces résultats de classement montrent que sept scénarios d'accidents sont bien classés par l'ACP et que trois scénarios d'accidents risquent d'avoir un classement ambigu. En effet, les scénarios d'accidents Sc_2 et Sc_5 peuvent être classés en classes (1 ou 2) et le scénario Sc_6 en classes (3 ou 4).

L'ACP améliorée permet d'effectuer le classement de ces trois scénarios d'accidents par application de la relation (IV.7) qui permet de positionner ces trois scénarios par rapport aux autres scénarios les plus proches et qui appartiennent à des classes différentes. Nous obtenons les réajustements suivants qui sont fournis par l'ACP-améliorée :

$$R(Sc_2) = \frac{0.73 \cdot F_1(Sc_2) + 0.20 \cdot F_2(Sc_2)}{2} \quad (IV.8)$$

$$R(Sc_5) = \frac{0.73 \cdot F_1(Sc_5) + 0.20 \cdot F_2(Sc_5)}{2} \quad (IV.9)$$

$$R(\text{Sc}_6) = \frac{0.73 \cdot F_1(\text{Sc}_6) + 0.20 \cdot F_2(\text{Sc}_6)}{2} \quad (\text{IV.10})$$

Où : $F_1(\text{Sc}_2)$, $F_1(\text{Sc}_5)$ et $F_1(\text{Sc}_6)$ sont, respectivement, les valeurs numériques des projections des scénarios (Sc_2), (Sc_5) et (Sc_6) sur l'axe F_1 et $F_2(\text{Sc}_2)$, $F_2(\text{Sc}_5)$ et $F_2(\text{Sc}_6)$ sont, respectivement, les valeurs numériques des projections des scénarios (Sc_2), (Sc_5) et (Sc_6) sur l'axe F_2 . Les coefficients "0.73" et "0.20" sont les deux valeurs de la variabilité des facteurs F_1 et F_2 calculés par la méthode ACP.

Les résultats obtenus des réajustements des deux scénarios d'accidents (Sc_2 et Sc_6) sont résumés dans le Tableau IV.6.

Tableau IV.6 : Distances géométriques entre les scénarios non-classés avec les scénarios classés les plus proches (Hadeif & Djebabra, 2019a)

Scénarios classés les plus proches	Distances	Scénarios non-classés	Classement des scénarios non-classés
Sc_9 {classe 2}	0.1509	Sc_2	Classe 2
Sc_8 {classe 3}	0.1512		
Sc_9 {classe 2}	0.1722	Sc_5	Classe 3
Sc_8 {classe 3}	0.1311		
Sc_7 {classe 4}	0.3023	Sc_6	Classe 4
Sc_3 {classe 5}	0.5862		

Bien que la classification du scénario Sc_2 est effectuée (classe 1 d'après le Tableau IV.6). Cette classification mérite d'être affirmée ; car la décision pour la classification de ce scénario d'accident est prise sur la base des valeurs très proches (0.30 et 0.31 dans le Tableau IV.6). Le recours à la logique floue permet d'affirmer (ou d'infirmer) cette classification du Sc_2 .

IV. 4- Proposition d'une ACP Améliorée Floue pour la classification des scénarios d'accidents industriels

IV.4.1- Principe de l'ACP améliorée floue

L'utilisation de la logique floue dans la classification des scénarios d'accidents permet de décrire les scénarios difficiles à classer. En effet, la notion d'ensemble flou permet de définir une appartenance graduelle d'un scénario d'accident à une classe, c'est-à-dire appartenir plus ou moins fortement à cette classe. L'appartenance d'un scénario à une classe est ainsi définie par un degré d'appartenance entre 0 et 1.

Le principe général d'une ACP-améliorée-floue -ACP-AF- (Figure IV.5) est basé sur une loi $\text{NR}_j = g(F_i)$. Où : NR_j sont les coordonnées des risques calculés par l'ACP-A (Relation IV.7) et F_i sont les facteurs principaux de classification retenus par l'ACP.

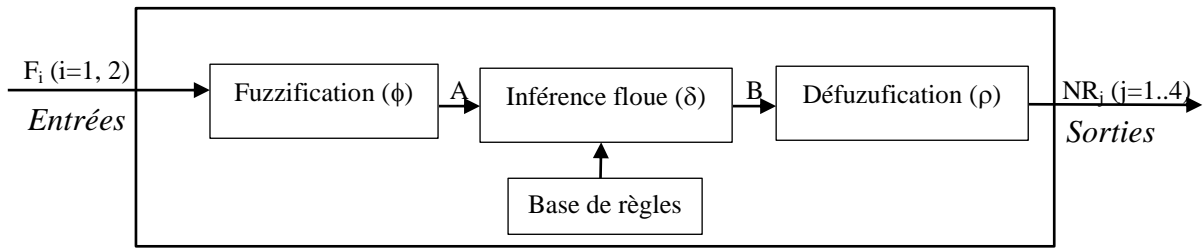


Figure IV.5 : Principe général de l'ACP-AF

Dans la figure ci-dessus, l'application « g » est considérée comme la composition de trois applications, notées ϕ , δ et ρ , correspondant respectivement aux trois opérations internes du contrôleur flou : la fuzzification, l'inférence floue et la défuzzification. Les sous-ensembles flous « A » et « B » sont le résultat de la fuzzification et de l'inférence (Bagui & al, 2003).

Les trois étapes de la Figure IV.5 appliquées aux résultats obtenus par la méthode ACP-A sont fournies par la Figure IV.6.

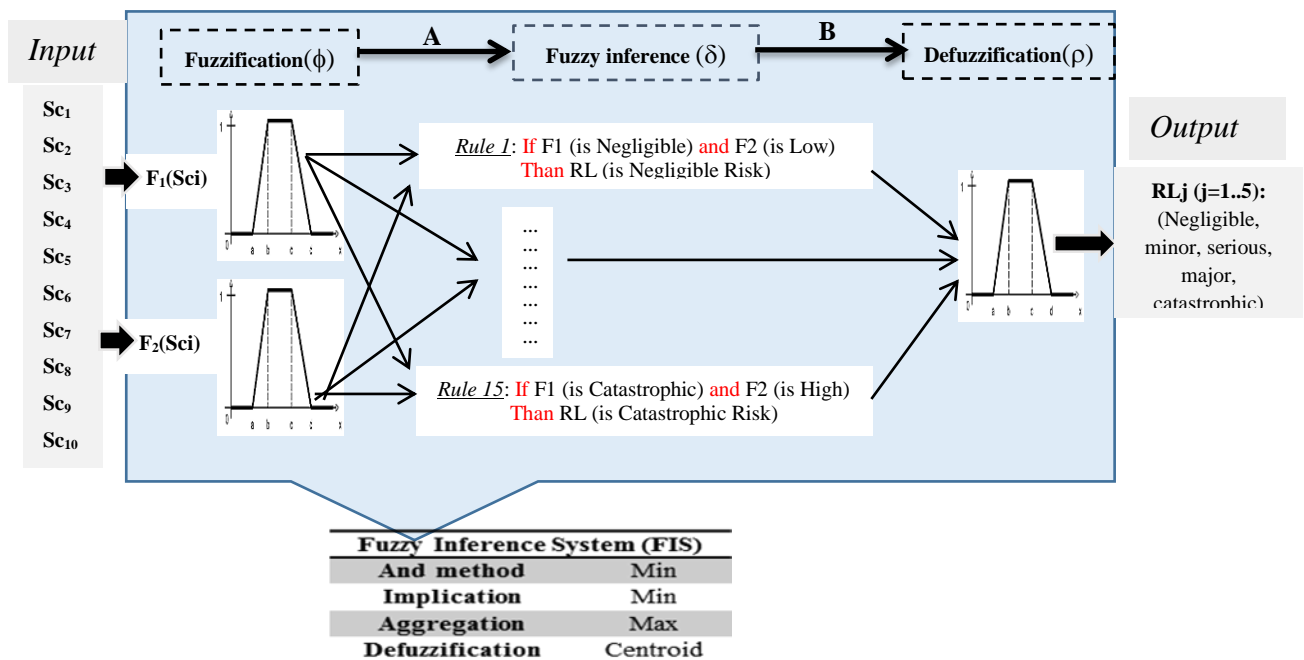


Figure IV.6 : Procédure de classification floue des scénarios d'accidents difficiles à classer.

IV.4.2- Résultats d'application de l'ACP-AF sur un exemple d'application

Les résultats obtenus par l'application de la logique floue à la classification des dix scénarios d'accidents et plus particulièrement au scénario Sc₂ sont obtenus moyennant les étapes suivantes :

A- Fuzzification :

En logique floue, les concepts des systèmes sont présentés par des variables linguistiques pouvant prendre des valeurs telles que « élevée, pas très élevée...etc ».

Chacune de ces valeurs linguistiques peut être interprétée comme l'étiquette d'un sous-ensemble flou⁴⁰ de l'univers du discours $X = [0, 100\%]$. Où chaque ensemble flou (deux entrées et une sortie) est caractérisé par une fonction d'appartenance « $\mu(x)$ » qui varie entre 0 et 1 et qui mesure le degré d'appartenance de chaque ensemble flou. La forme de la fonction d'appartenance est choisie arbitrairement : formes sigmoïde, trapézoïdale, gaussienne ou de toute autre nature sont utilisables (voir le Tableau A3-1 & Figure A3-3 de l'annexe 3).

Dans la Figure ci-dessus, la fuzzification des entrées (les coordonnées des scénarios d'accidents sur les deux axes F_1 et F_2) et de la sortie (les coordonnées de risque calculée par la Equation IV.7) s'effectue selon la fonction trapézoïdale où leurs intervalles sont définie sur la base des regroupements réalisés par l'ACP et l'ACP-A.

Notons également que dans la Figure IV.7, nous avons pris cinq intervalles flous pour l'entrée F_1 et trois intervalles flous pour l'entrée F_2 afin de donner plus d'importance au facteur de classification F_1 qui a un poids $w(F_1) \approx 3w(F_2)$. En sortie, nous avons cinq niveaux de risque selon le nombre de regroupement obtenus par l'ACP et l'ACP-A.

⁴⁰ Zadeh (1965, p. 338) a défini un ensemble flou comme une classe d'objets avec un continuum de niveaux d'appartenance.

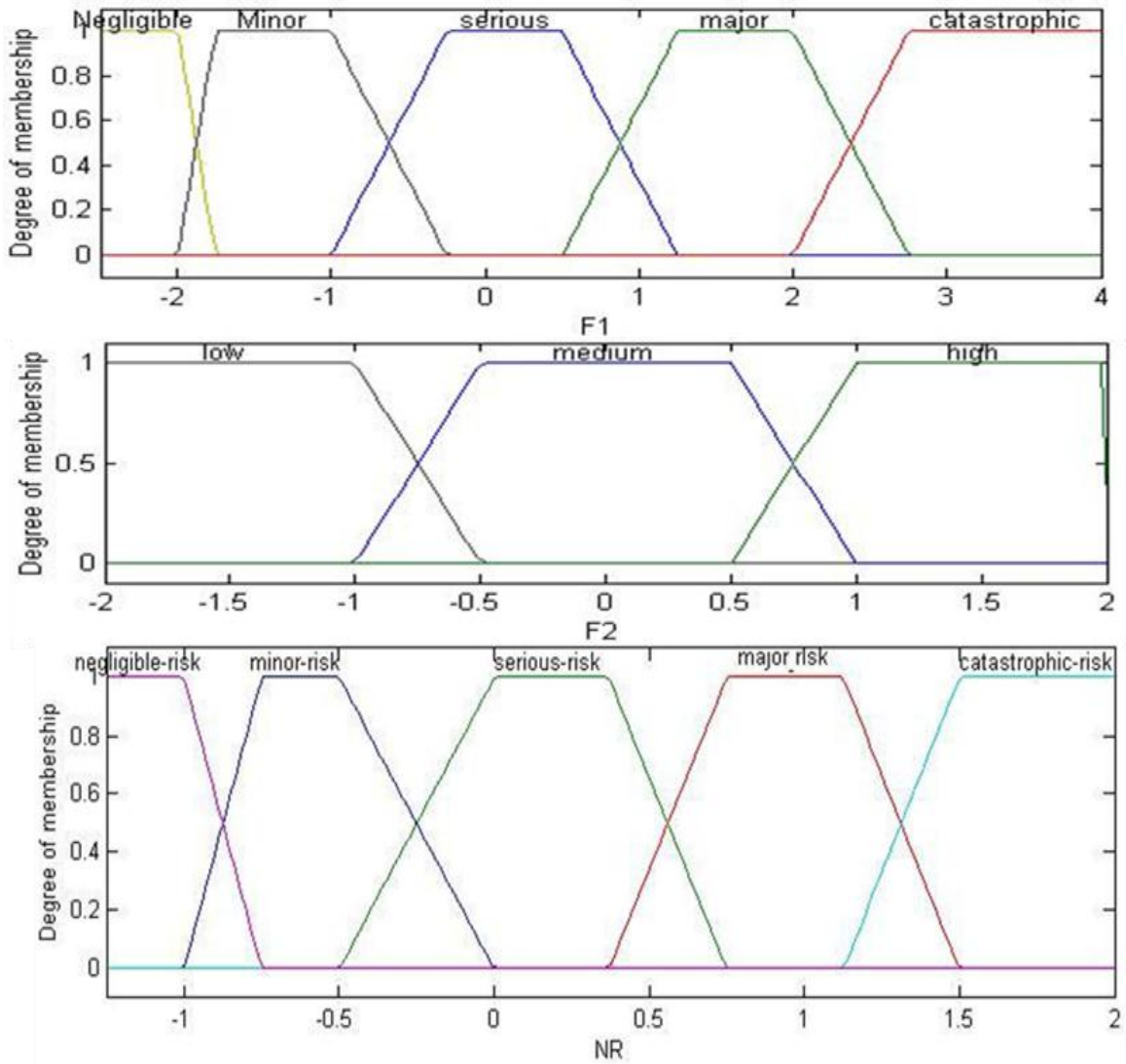


Figure IV.7 : Fonction d'appartenance des entrées (F_1 et F_2) et les sorties (niveaux des risques) sous forme d'intervalles flous.

B- Inférence floue

Pour paramétrer notre inférence floue, nous procédons à : la construction d'un ensemble des règles, la construction de la matrice de décision, implication (ou calcul de la règle d'activation) et l'agrégation.

Ces quatre sous-étapes de l'inférence floue sont détaillées ci-après.

B.1- Construction d'un ensemble de règles

La construction d'un ensemble de règles se réalise sur la base des catégories précédemment réalisées (Figure IV.7). Dans notre cas, un ensemble de quinze règles sont construites où les entrées et la sortie de l'ACP-AF sont cadrées par des règles du type « IF-THEN ». La structure de ces règles d'inférences est la suivante :

$$\text{IF } \overline{F}_1 \text{ AND } \overline{F}_2 \text{ THEN } \overline{NR} \quad (\text{IV.11})$$

Avec : \overline{F}_1 et \overline{F}_2 sont des ensemble flous des coordonnées d'un scénario d'accident sur l'axe de F_1 et F_2 respectivement et \overline{NR} sont les coordonnées du risque obtenues par l'application de la Relation (IV.7).

B.2- Construction de la matrice de décision

Afin d'attribuer une réponse à chaque règles, nous avons utilisé la matrice de décision présentée par le Tableau IV.7. D'où, une base de règles composée de quinze règles (Figure IV.8) à manipuler suivant la loi de Mamdani.

Tableau IV.7 : Matrice de décision

		\overline{F}_1				
		Négligeable	Mineur	Sérieux	Majeur	Catastrophique
\overline{F}_2	Faible					
	Moyen					
	Élevé					

B.3- Implication (ou calcul de la règle d'implication)

Pour obtenir une réponse unique, il est important de définir une règle d'activation. Cette opération s'effectue dans notre cas selon la règle de Mamdani⁴¹ comme suit :

Notons $x_0 = (\overline{F}_1, \overline{F}_2)$ les caractéristiques de scénarios d'accidents :

$$\mu(x)'_{\overline{NR}_i} = y \rightarrow \text{Min} (\mu(x)_{\overline{F}_1}, \mu(x)_{\overline{NR}_i}) \quad (\text{IV.12})$$

Avec : $\mu(x)_{\overline{F}_i}$ est le degré d'activation de la règle ; $\mu(x)_{\overline{NR}_i}$ est la fonction d'appartenance de l'ensemble flou de sortie en fonction de la règle de décision.

B.4- Agrégation

L'étape d'agrégation consiste à regrouper toutes les règles selon la règle logique «Ou», ce qui se traduit par des « Max » selon les règles mathématiques de la logique floue (voir l'annexe 3).

Alors, l'appartenance d'un scénario d'accident à une classe des risques est capitalisée par une fonction d'appartenance exprimée par :

$$\mu_R(Sc_i) = \max_k [\min \mu_{\overline{F}_1}^k(f_x), \mu_{\overline{F}_2}^k(f_y), \mu_{\overline{NR}}^k(f_z)] \quad (\text{IV.13})$$

Où : k est le nombre de règles, (x, y et z) sont les nombres des ensembles floue (F_1, F_2 et NR).

⁴¹ Notons l'existence d'une autre règle qui est la règles de Larsen exprimée par :

$$\mu(x)'_{\overline{NR}_i} = y \rightarrow \mu(x)_{\overline{F}_1} * \mu(x)_{\overline{NR}_i}$$

Les résultats de ces quatre opérations d'inférence floue sont schématisés par la Figure IV.8.

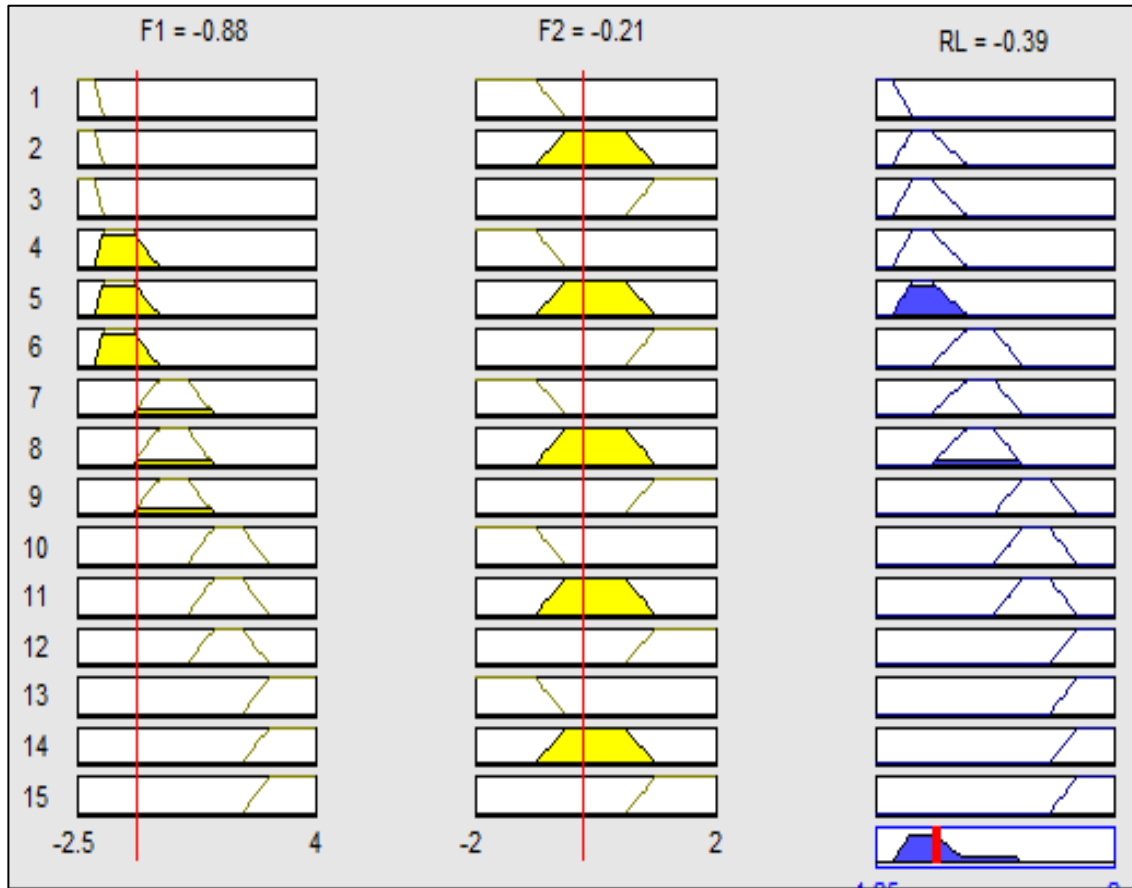


Figure IV.8 : Processus des règles d'inférence floue

A partir de cette base de règles, nous obtenons les cinq classes des risques (NRi) dont la présentation sous forme d'une surface à trois-dimensions est fournie par la Figure IV.9.

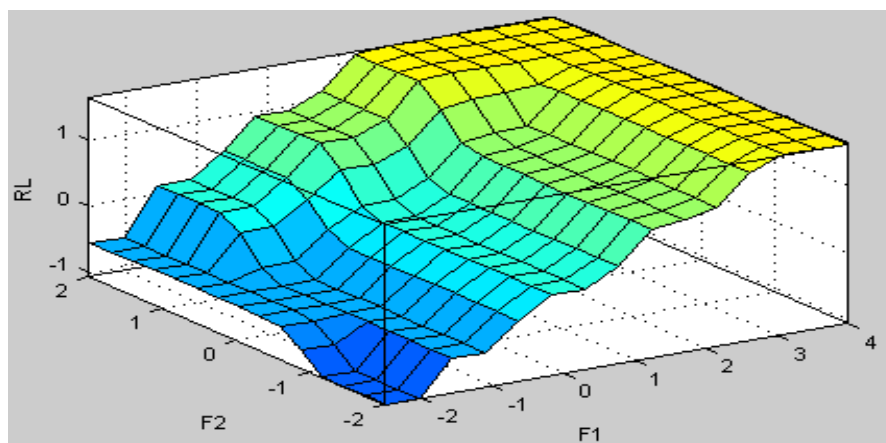


Figure IV.9: Classes floues des risques

C- Défuzzification

La défuzzification consiste à transformer la courbe d'activation finale obtenue lors de l'étape d'agrégation en une valeur réelle ou une sortie ponctuelle « non-floue » de la classe des risques. Plusieurs algorithmes ont été développés dans la littérature pour réaliser cette défuzzification (voir le Tableau A3-2 de l'annexe 3).

Dans notre étude, nous avons opté pour l'algorithme le plus utilisé qu'est appelé « centroid method » (Nilashi & Ibrahim, 2014) dont l'expression de défuzzification est fournie par la relation suivante :

$$NR = \frac{\int \mu_{NR}(nr) nr d nr}{\int \mu_{NR}(nr) d nr} \quad (IV.14)$$

L'ensemble de ces trois étapes (fuzzification, inférence floue et défuzzification) ont été réalisées dans le cadre de cette étude sous l'environnement Matlab.

Les résultats obtenus par l'ACP-AF confirment la classification des scénarios d'accidents dans leurs classes fournies par l'ACP et l'ACP-A (voir le Tableau IV.7). Par contre, pour le scénario d'accident Sc₂, l'ACP-AF infirme sa classification fournie par l'ACP-A. En effet, l'ACP-AF classe ce scénario d'accident (Sc₂) comme suit :

$$\begin{cases} R(Sc_2) = \text{classe 2 avec } \mu(Sc_2) = 0.78 \\ R(Sc_2) = \text{classe 3 avec } \mu(Sc_2) = 0.22 \end{cases}$$

Tableau IV.8 : les valeurs d'appartenance des scénarios d'accidents classés obtenues par la méthode ACP-AF.

	Valeur de la difuzzification	$\mu_{class 1}$	$\mu_{class 2}$	$\mu_{class 3}$	$\mu_{class 4}$	$\mu_{class 5}$	Classification obtenue
Sc ₁	-0.55	-	100%	-	-	-	Mineur (classe 2)
Sc ₂	-0.39	-	78%	22%	-	-	Mineur (classe 2)
Sc ₃	1.66	-	-	-	-	100%	Catastrophique (classe 5)
Sc ₄	0.143	-	-	100%	-	-	Sérieux (classe 3)
Sc ₅	0.15	-	-	100%	-	-	Sérieux (classe 3)
Sc ₆	1.28	-	-	-	88%	12%	Majeur (classe 4)
Sc ₇	0.936	-	-	-	100%	-	Majeur (classe 4)
Sc ₈	0.0512	-	/	100%	-	-	Sérieux (classe 3)
Sc ₉	-0.55	-	100%	-	-	-	Mineur (classe 2)
Sc ₁₀	-0.55	-	100%	-	-	-	Mineur (classe 2)

Ce résultat nous montre que la variabilité entre niveaux des risques peut être estimée et permet une augmentation de la performance de la classification des scénarios d'accidents. La nouvelle classification du scénario Sc₂ moyennant la logique floue permet d'aboutir à sa classification dans le niveau de risque de classe 2 avec une fonction d'appartenance nettement supérieure à son classement dans le niveau de risque de classe 1, ce qui démontre de l'efficacité et la robustesse de la logique floue.

Par ailleurs, l'application de l'ACP-AF nous a permis de confirmer le classement des dix scénarios d'accidents grâce aux fonctions d'appartenance à chaque classe de risque.

IV.5- Conclusion

Le problème récurrent de la classification des risques industriels moyennant les grilles des risques est dû aux jugements d'experts impliqués dans la conception des grilles des risques qui font appel à l'approche cognitive. Pour remédier à ce problème, nous avons présenté dans ce chapitre une classification des scénarios d'accidents par l'ACP et ses deux variantes (améliorée et floue).

Cet usage graduel de l'ACP (ACP \rightarrow ACP-A \rightarrow ACP-AF) pour la classification des scénarios d'accidents permet de surmonter les difficultés couramment rencontrées avec l'utilisation des grilles des risques pour la cartographie des scénarios d'accidents.

L'amélioration réside dans l'agrégation des facteurs prépondérants de classification des risques (F_1 et F_2 dans l'exemple de scénarios d'accidents retenus dans cette étude).

L'avantage majeur de la méthode ACP améliorée réside dans la réduction de l'information fournie par le nombre élevé des variables de classification. Cette réduction de l'information est matérialisée par les variables quantitatives synthétiques appelées facteurs principaux de l'ACP. Le problème de divergence de classification que peut avoir ces facteurs principaux est également solutionné par l'agrégation de ces facteurs sous forme d'une moyenne pondérée.

L'apport majeur de l'ACP amélioré est sa possibilité d'utilisation en tant qu'outil d'aide à l'amélioration des grilles des risques et par voie de conséquence à la solution du problème de communication souvent évoquée par la littérature spécialisée dans le domaine d'évaluation des risques et de leurs cartographie.

Conclusion générale

Conclusion générale

La gestion des risques constitue un champ privilégié pour l'analyse des conflits (divergences d'opinion) en vue d'une conception de grilles des risques permettant de réussir une concertation dans la gestion des risques.

Par ailleurs, un constat des grilles des risques existantes nous incite à revoir leur conception en intégrant d'avantage la concertation dans la re-conception de ces grilles.

Dans ce contexte et étant donné que les conflits sont proportionnels à l'effectif impliqué dans la conception des grilles, le recours à la négociation à base d'argumentation permet, sans doute, de gérer ces conflits (divergences d'opinions). En effet, le recours à des argumentations solides telles que l'exploitation des résultats issus du retour d'expérience permet de convaincre les acteurs et œuvrer dans le sens de la concertation.

Le mérite de cette approche de négociation à base d'arguments est bien adapté à notre contexte (gestion des risques) car, elle s'apparente plus à la façon dont les acteurs négocient l'acceptabilité du risque.

Dans cette optique nous avons proposé des outils agrémentistes permettant de consolider la négociation autour de l'acceptabilité des risques. En ce sens, nos contributions touchent deux aspects très importants pour la recherche scientifique en Algérie :

- Un aspect pratique où le processus de négociation par argumentation permet de réussir la concertation nécessaire dans toute stratégie de prévention des risques majeurs.
De même, l'intégration de la négociation par argumentation dans la conception des grilles des risques permet sans doute de solutionner le problème de la qualité des études de dangers où la performance de la grille des risques est la cause de profonde de ce problème.
- Un aspect théorique (académique) où nos travaux ont porté, dans un premier temps, sur la capitalisation des invariants du retour d'expérience en vue de mieux cadrer la définition de l'acceptabilité des risques par les grilles. Cette contribution est à notre avis d'un intérêt pour les managers pour revaloriser leurs grilles des risques qui doit être un vrai tableau de bord de leurs organisations en matière de la gestion des risques.

Dans un second temps, nous avons argumenté notre souhait à revaloriser la cartographie des risques en faisant appel à une méthode largement utilisée dans le domaine de la classification des données. Il s'agit de l'analyse en composante principale que nous avons déployée graduellement pour valider la cartographie des risques dans une organisation industrielle que nous avons pris comme exemple d'application.

Dans ce contexte, Le déploiement de l'ACP s'est effectué de manière graduelle où la classification des scénarios d'accidents est réalisée, dans un premier temps, par l'ACP, puis complétée par l'ACP-Améliorée pour certains scénarios d'accidents mal-classés et, enfin, par l'ACP-Améliorée-Floue pour les scénarios d'accidents difficiles à classer. L'application de l'ACP- Améliorée-Floue sur un exemple de classification des scénarios d'accidents par une grille des risques nous a permis de confirmer que les variantes de l'ACP proposées constituent une alternative prometteuse pour solutionner les problèmes récurrents des grilles des risques en termes de cartographie des risques (classification des scénarios d'accidents par niveaux des risques).

Comme tout travail de recherche scientifique, le nôtre est loin d'être achevé. Nous envisageons de le compléter tant sur le plan pratique que sur le plan théorique.

Sur le plan pratique, nous souhaitons développer un processus de négociation par argumentation dans les études de dangers pour remédier au problème de la qualité de ce type d'étude réglementaire. Une première réflexion est entamée pour gouverner les grandes lignes de la réalisation d'une étude de dangers par un processus de négociation par argumentation que nous avons développé spécialement pour cet outil réglementaire.

Sur le plan théorique, nous envisageons de perfectionner d'avantage le processus de négociation par argumentation où nous souhaitons de concrétiser ce perfectionnement par une étape d'apprentissage (neurones flous) ou à l'aide du retour des experts pour faire une modification sur la base des règles.

Ce sont des réflexions dont certaines sont déjà entamées. Ces réflexions attestent que la suite à donner à nos travaux s'annoncent encore plus pertinente.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Aarthi Chandramohan M-V-C-Rao., Senthil Arumugam M., 2006, "Two new and useful defuzzification methods based on root mean square value", *Soft Computing*, 2006
- Abreu-Saurin T., Basso-Werle N-J., 2017, "A framework for the analysis of slack in Socio technical systems", *Reliability Engineering & System Safety*, 167 (11): 439-451
- Achouri N., 2009, "Apport de la logique floue à l'analyse de criticité des risques industriels". Thèse de magister soutenue à l'institut d'hygiène et sécurité, Université de Batna
- Ak M. F., Gul M., 2018, "AHP – TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis", *Complex & Intelligent Systems*, pp.1-14
- American Institute of Chemical Engineers (AICE)., 1992, "*Guidelines for hazard evaluation procedures*". 2nd edn. New York
- Amorim N., 2000, "*Aide à la concertation et à la décision dans le cadre de processus de décision publique complexes*". Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine

B

- Bagui, O-K.; Zoueu, J.T.; Megnassan, E., 2003, "Segmentation by fuzzy logic to estimate the number of red blood cells in multi-spectral images of unstained blood smear". *Afrique Sciences*. 11(3), 27-36
- Ball D-J., Floyd P-J., 1998, *Societal Risks*, Final Report
- Barshan E., Ghodsi A., Azimifar Z., Jahromi MZ., 2011, "Supervised principal component analysis: visualization, classification and regression on subspaces and sub-manifolds". *Pattern Recogn* 44(7):1357–1371
- Baybutt P., 2016, "Guidelines for Designing Risk Matrices". *Process Safety Progress*, 37(1): 41-46
- Baybutt P., 2014, "The use of risk matrices and risk graphs for SIL determination". *Process Saf Prog*, 33(2), 179–182 (2014)
- Belar C., 2008, "Modélisation générique d'un retour d'expérience cognitif : application à la prévention des risques". PhD thesis presented at the University of Toulouse, France
- Bourgoin A., Marchessaux F. and Bencherki N., 2018, "We need to talk about strategy: How to conduct effective strategic dialogue? ", *Business Horizons*, 61(4): 587-597
- Boudaraa N., 2012, "Elaboration d'un système d'aide multicritères à la décision spatiale du groupe : vers une négociation par argumentation". Mémoire de magister soutenu à l'Université d'Oran-Algérie
- Bonnaz F., 2017, "Politiques publiques de la participation citoyenne". Rapport de recherche du Laboratoire PACTE de l'Université Grenoble-Alpes, France. <halshs-01467304>

- Bourareche M., 2009, "Apport des techniques floues et possibilistes à l'analyse semi-quantitative des risques industriels". Mémoire de magister soutenue à l'institut d'hygiène et sécurité, Université de Batna
- Brissaud F., 2017, "Using field feedback to estimate failure rates of safety-related systems". *Reliability Engineering & System Safety*, 159(3): 206-213

C

- Camara T., Kamsu-Foguen B., Diourte B., Issa Maiga A., 2016, "Experience feedback for risk assessment in aeronautic buildings", *Journal of Cleaner Production*, 137(11): 1237-1245
- Carter D.A., Hirst I.L., Maddison T.E., Porter S.R., 2003, "Appropriate risk assessment methods for major accident establishments". *Process Saf. Environ. Protect.: Trans. Inst. Chem. Eng.*, Part B 81 (1), 12–18
- Callon W., Beach M-C., Links A-R and Boss E-F., 2018, "An expanded framework to define and measure shared decision-making in dialogue: A 'top-down' and 'bottom-up' approach", *Patient Education and Counseling*, 8: 1368-1377
- CCPS, 1992, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", (2nd Edition) with Worked Examples, *Center for Chemical Process Safety*, New York, 1992
- CCPS, 2000, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", 2nd Edition, Wiley-AIChE, New York, NY
- CCPS, 2009, "Guidelines for Developing Quantitative Safety", *Center for Chemical Process Safety*
- CEI (60812), 2006, "Techniques d'analyse de la fiabilité du système – Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)". *Norme Internationale*, 2^{ème} édition
- Chevallier J.-J., 2000, "Introduction à une démarche participative multicritère et à quelques méthodes de modélisation", *cours FOR-A2542*, Université Laval, Québec, Canada
- Chen W. and Endriss U., 2019, "Preservation of semantic properties in collective argumentation: The case of aggregating abstract argumentation frameworks", *Artificial Intelligence*, 269(4):27-48
- Clermont P., Kamsu-Foguem B., 2018, "Experience feedback in product lifecycle management", *Computers in Industry*, 95(2): 1-14
- Cox L., 2008, "What's wrong with risk matrices? ". *Risk Analysis*, 28(2), 497–51
- Christopher M. Bishop, 2006, "Pattern recognition and machine learning". Edition Springer

D

- Da Cunha S.B., 2016, "A review of quantitative risk assessment of onshore pipelines". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 44(11): 282-298
- Damart S., 2003, "Une étude de la contribution des outils d'aide à la décision aux démarches de concertation. Le cas des décisions publiques de transport : gestion et aménagement". Thèse de doctorat soutenue à l'Université de Paris Dauphine – Paris IX. <tel-00421927>

- Damart S., David A., Roy B., 2001, "*Comment organiser et structurer le processus de décision pour favoriser la concertation entre parties prenantes et accroître la légitimité de la décision ?*". Rapport de recherche PREDIT 1996-2000 n°98 MT 32
- Dejan R., 2013, "A tool for risk assessment", *Safety Engineering*, 3(3): 121-127
- DNV-GL., 2015, "*Risk Acceptance Criteria and Risk Based Damage Stability. Final Report, part 1: Risk Acceptance Criteria*", Project name: EMSA/OP/10/2013, Report No.: 2015-0165, Rev.1
- Duijm N.J., 2015, "Recommendations on the use and design of risk matrices". *Saf Sci* 76:21–31
- Du Y., Mo H., Deng X., Sadiq R. & Deng Y., 2014, "A new method in failure mode and affects analysis based on evidential reasoning", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 5(1): 1-10
- DOD., 2000, "*Standard Practice for System Safety*", MIL-STD-882D, U.S. Department of Defense, <http://www.safetycenter.navy.mil/instructions/osh/milstd882d.pdf>
- Dubiez P., Bennaceur D., 1993, "*La gestion des risques industriels : état de l'art*". Document EDF-France, n°93NB00164
- Dziubiński M., Frątczak M., Markowski A. S., 2006, "Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines". *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 19: 399-408

F

- Farmer F-R., 1967, "Siting criteria, a new approach". *Atom*, Vol. 128, pp 152-170 (1967). Also presented at the IAEA Symposium on Containment and Siting, Vienna
- Ferjencik M., 2004, "The Role of the Two-Phase Scenarios Concept in the Matrix Relative Risk Ranking Procedure", *Process Safety Progress*, 16(2): 117-120
- Flage R., Røed W., 2012, "A reflection on some practices in the use of risk matrices", 11th *International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012, PSAM11* pp. 881–891
- Forcina A., Petrillo A., Di Bona G., De Felice F., Silvestri A., 2017, "An innovative model to optimise inventory management: A case study in healthcare sector", *International Journal of Services and Operations Management*, 27(4): 549-568
- Franks A.P., Maddison T., 2006, "A simplified method for the estimation of individual risk". *Process Saf. Environ. Prot.* 84 (2), 101–108
- Fucks I., Mbaye S., 2016, "Communication et perception des risques : des enjeux de formation aux méthodes". 20^{ème} *Congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement* - Saint-Malo 11-13 octobre 2016, France

G

- Grembo N., Le Blanc A., Gibout C., Zwarterook I., 2013, "*Les PPRT dans le Dunkerquois : des arti ces d'une concertation obligée à la construction de compromis. Cahier de la sécurité industrielle 2013-08, Fondation pour une culture de sécurité industrielle*". Toulouse, France. ISSN 2100-3874. ix, 4
- Gupta A., Barbu A., 2018, "Parameterized principal component analysis". *Pattern Recognition*, 78: 215-227

- Gupta S. and Gupta S., 2017, "Modeling economic system using fuzzy cognitive maps", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 8(2): 1472-1486
- Gul M., Guneri A.F., 2016, "A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry". *J. Loss Prev. Process Ind.* 40, 89–100

H

- Hadef H., Hassani M., 2011, "*Prévention des risques technologiques : proposition d'un Plan Général de Prévention des Risques Majeurs (PGPRM) au sens de la loi n° 04-20 Cas SH/DP/HRM*", Mémoire d'Ingénieur à l'Université de Batna-Algérie
- Hadef H., 2015, "*Contribution à l'évaluation de la fiabilité des produits en phase de conception*", Mémoire de Magister soutenu à l'Université de Batna – Algérie
- Hadef H., Djebabra M., Sedrat L., Taghelabet M., 2019, "Contribution to the evaluation of safety barriers performance", *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*. 16(1): 56-68
- Hadef H., Djebabra M., (2019a), "Proposal method for the classification of industrial accident scenarios based on the improved principal components analysis". *Production Engineering*, 13:53-60
- Hadef H., Djebabra M., (2019b), "PCA-I and AHP Methods: Unavoidable Arguments in Accident Scenario Classification", *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 19 (2) : 496-503
- Hadef H., Negrou B., Ayuso T-G., Djebabra M., (2018), "Preliminary hazard identification for risk assessment on a complex system of hydrogen production". *International Conference on Emerging and Renewable Energy: Generation and Automation in Sousse, Tunisia*
- Hair J., Anderson R., Tatham R., Black W., 1998, "Multivariate data analysis". 5th Prentice Hall International, London
- Hassani M., Chaib R., Bouzrara R., Hadef H., Belmazouzi Y., (2018), "Prevention of major industrial risks in the context of sustainable development: Proposal a draft general plan for the prevention of major risks GPPMR in Algeria according to the law 04/20", *ICEMAEP'18 Fourth International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution At Constantine Algeria*, 3: 1729-1736
- Heitz J-M., 2013, "La décision et ses manifestations", *Revue Interdisciplinaire Management, Homme & Entreprise*, 5 : 106-117
- He L., Chen Y. and Liu L-Y., 2013, "A risk matrix approach on clustering algorithm", *Journal of applied sciences*, 13 (20): 4188-4194
- Hotelling H., 1933, "Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components". *Journal of Educational Psychology*, 24: 417-441
- Hourtoulou D., 2000, "ASSURANCE - ASSessment of the Uncertainties in Risk ANALysis of Chemical Establishments, Cases study". Rapport INERIS-DRA 25 472
- Hubbard D., Evans D., 2010, "Problems with scoring methods and ordinal scales in risk assessment". *IBM J. Res. Dev.* 54 (3)

- Huihui N., Chen A. and Chen N., 2010, "Some extensions on risk matrix approach", *Safety Science*, 48(10): 1269-1278
- HSE. 2001, "Reducing Risks, Protecting People - HSE's Decision-making Process". Health and Safety Executive. 78p
- Hyvärinen L., 1970, «Principal component analysis». *Mathematical Modeling for Industrial Processes*, pp. 82–104

I

- IEC 61508, 1998, "Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) safety related systems", *International Electro-technical Commission (IEC)*
- IEC 60812: 2006(E), "*Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effect analysis (FMEA)*". 2^{ed}, Brussels
- INERIS, 2010, "*Guide des pratiques d'association et de concertation dans le cadre des PPRT. Appui à la mise en œuvre de la réglementation liée à l'appréciation de la maîtrise des risques et de l'urbanisation*". Rapport technique, INERIS
- ISO, 1999, "*Aspects liés à la sécurité : Principes directeurs pour les inclure dans les normes*". Organisation internationale de normalisation.
- ISO 17776: 2002 (EN), "*Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment*". ISO, Geneva
- ISO 31000:2009, "*Risk management – Principles and guidelines, ISO 31000:2009*", International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO, 2010. IEC/ISO 31010: 2009, "*Risk management – risk assessment techniques*". 2^{end} edition. CENELEC. Brussels

J

- Jocelyn S., Chinniah Y., Ouali M-S., 2016, "Contribution of dynamic experience feedback to the quantitative estimation of risks for preventing accidents: A proposed methodology for machinery safety". *Safety Science*, 88(10): 64-75
- Jolliffe LT., 1986, "*Principal Component Analysis*", Springer-Verlag. New York
- Jolliffe I.T., 2002, "*Principal Component Analysis*". 2nd edition, New York: Springer-Verlag. <https://goo.gl/SB86SR>
- Jobert A., 2000, "Les espaces de la négociation collective : branches et territoires", *Editions Octarès*, Toulouse-France

K

- Kanki B-G., 2018, "Cognitive functions and human error". *Space Safety and Human Performance*, Pages 17-52. Edited by Elsevier
- kaufmann A., 1977, "Introduction à la théorie des sous-ensembles flous à l'usage des ingénieurs, Tome I : Eléments théoriques de base", 2^{ème} édition, Ed. Masson, Paris, 1977
- Kerven G-Y., 1995, "*Eléments fondamentaux des cindyniques*", Ed. Economica – Paris, France, 112 p

Kouabenan D.R., 2006, "Psychologie du risque ou pourquoi étudier la perception et l'évaluation du risque ? ". in Kouabenan, D.R., Cadet, B., Hermand, D., Muñoz Sastre, M.T. (Eds.), *Psychologie du risque: Identifier, évaluer, prévenir*. Bruxelles, De Boeck, pp. 7-15

L

Levine E.S., 2012, "Improving risk matrices: the advantages of logarithmically scaled axes". *J. Risk Res.* 15 (2), 209–222

Libing Fang., Binqing Xiao., Honghai Yu., Qixing You., 2018, "A stable systemic risk ranking in China's banking sector: Based on principal component analysis". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492:1997-2009

Lievens, 1976, "Sécurité des systèmes", Editions Cépaduès

Lin H., Yan C., Lan Y.L., 2013, "A risk matrix approach based on clustering algorithm". *Journal of applied sciences.* 13(20), 4188-4194-2013

Liu H., Hu Y., Zhou E., Shao K., 2012, "Prediction of Safety Objective of an Enterprise Using Fuzzy Neural Network". *Procedia Engineering*, 43: 162-167

LRET (LLOYD'S Register Energy and Transport), 2007, "A severe accident analysis report of the industrial group Total-Sonatarch-Repsol", Report ABN0961615/01 REV.04, realized by LLOYD'S Register EMEA Group Energy and Transport

M

Manwendra K., Tripathi P-P., Padhyay C., Ganguly S., 2015, "Multivariate analysis and classification of bulk metallic glasses using principal component analysis". *Computational Materials Science*, 107:pp. 79-87

Markowski A-S., Siuta D., 2018, "Fuzzy logic approach for identifying representative accident scenarios". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 56, 414–423

Markowski A-S., Mannan M-S., 2008, "Fuzzy risk matrix". *Journal of Hazardous Materials*, 159(1), 152–157

Martel J-M., Kiss L-N., 1994, "A support to consensus reaching in group decision". *Group Decision and Negotiation*, 3: 93-119

Mbave S., Kouabenan R. Samin P., 2009, "Operational experience feedback and naïve causal explanations". Number 2009-08 of the "Cahiers de la Sécurité Industrielle", Foundation for an Industrial Safety Culture, Toulouse, France, Available at: foncsi.org/en/

Merad M-M., 2004, "Analyse de l'état de l'art sur les grilles de criticité". INERIS report, France, DRA-38

Mermet L., Touzard H., Dupont C., 2000, "La négociation. Situations et problématiques". Paris, Nathan, 2e éd. Dunod

MEDAD., 2007, "Le plan de prévention des risques technologiques (PPRT). Guide méthodologique", 156 p

Moore D.A., 2004, "The Use of a Ranking Matrix and Recommendation Prioritization System for Process Hazard Analysis Studies". *Process Safety Progress* 16(2): 83-85

- Mogharreban N., DiLalla L-F., 2006, "Comparison of Defuzzification Techniques for Analysis of Noninterval Data", *IEEE*, 2006
- Muriana C. and Vizzini G., 2017, "Project risk management: A deterministic quantitative technique for assessment and mitigation", *International Journal of Project Management*, 35(3): 320-340

N

- Nait-Said R., Djebabra M., Zidani F., 2005, "Nouvelle approche d'évaluation de la criticité des risques professionnels", *6^{ème} Congrès Int. de Génie Industriel*, 7-10 Juin Besançon-France
- Nait-Said R., Zidani F., Ouzraoui N., 2009, "Modified risk graph method using fuzzy rule-based approach". *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3), 651-658
- Nakai Y., O'Malley A., 2015, "Feedback to know, to show, or both? A profile approach to the feedback process". *Learning and Individual Differences*, 43(11): 1-10
- Ni H., Chen A., Chen N., 2010, "Some extensions on risk matrix approach". *Safety Science*, 48(10), 1269-1278
- Nilashi M., Ibrahim O.B., 2014, "A Model for Detecting Customer Level Intentions to Purchase in B2C Websites Using TOPSIS and Fuzzy Logic Rule-Based System". *Arab J Sci Eng.* 39 (3), 1907-1922
- Nikfalazar S., Khoshidi H-A., Hamadani A-Z., 2016, "Fuzzy risk analysis by similarity-based multi-criteria approach to classify alternatives", *International Journal of System Assurance Engineering and Management.* 7(3): 250-256
- Nichan M., 2006, "*Risques et accidents industriels majeurs : caractéristiques, Réglementation et Prévention*". Dunod, Paris, 2006, ISBN 2 10 0495216
- Ng S.C., 2017, "Principal component analysis to reduce dimension on digital image". *Procedia Computer Science*, 111 :113-119

O

- OHSAS 18001, "*Système de management de la santé et de la sécurité au travail-Spécification -BSI*", AFNOR
- Ouzraoui N., Nait-Said R., Bourareche M., & Sellami I., 2013, "Layers of protection analysis in the framework of possibility theory". *Journal of Hazardous Materials*, 262, 168-178

P

- Partoune C., 2009, "Comprendre la logique des acteurs in Tableau de bord : Participation et espaces publics - Pour un développement et une gestion concertée des espaces publics", *Recherche Topozym pour la Politique scientifique fédérale, partenariat Ulg (UGES), KUL (USEG), Institut d'Eco-Pédagogie (IEP), Vorming plus Antwerpen*, article 52, mis en ligne le 31janvier 2009, consulté le ...URL : http://www.topozym.be/spip/article.php3?id_article=52
- Palese L-L., 2018, "A random version of principal component analysis in data clustering". *Comput Biol Chem* 73(4):57-64

- Peeters W., Peng Z., 2015, "An approach towards global standardization of the risk matrix". *Journal of Space Safety Engineering*, 2(1): 31-38
- Penkova T-G., 2017, "Principal component analysis and cluster analysis for evaluating the natural and anthropogenic territory safety". *Procedia Computer Science*, 112: 99–108
- Petrillo, A., Di Bona, G., Forcina, A. and Silvestri, A. (2018), "Building excellence through the Agile Reengineering Performance Model (ARPM)", *Business Process Management Journal*, Vol. 24 No. 1, pp. 128-157
- Potes-Ruiz P., Kamsu-Foguem B., Grabot B., 2014, "Generating knowledge in maintenance from Experience Feedback". *Knowledge-Based Systems*, 68(9): 4-20
- Ponclin B., 2019, "Processus de prise de décision et concertation"
URL : www.blog.beatriceponcin.org/public/Documents/Prise_de_decision.pdf
Dernier accès : Février 2019
- PPRT., 2005, "Le plan de prévention des risques technologiques – Guide méthodologique". Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, Direction de la Prévention des pollutions et des risques, Service de l'Environnement Industriel. Paris
- Peres-Neto., Pedro R., Donald A., Jackson., Keith M., Somers., 2005, "How Many Principal Components? Stopping Rules for Determining the Number of Non-Trivial Axes Revisited", *British Journal of Statistical Psychology*, 49: 974-97

Q

- Qichao Z., Xinghua K. and, Yongping S., 2003, "Risk Matrix Method and Its Application in the Field of Technical Project Risk", *Management. Engineering Science* 5 (1), 89–94
- Qing H., Qingsheng X. & Shaobo, L., 2017, "The model of information security risk assessment based on advanced evidence theory", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 8(3): 2030-2035

R

- Reniers G-L-L., Dullaert W., Ale B-J-M., Soudan K., 2005, "Developing an external domino accident prevention framework: Hazwim". *J Loss Prev Process Ind* 18(3):127–138
- Reza M., Yazdi Y., 2015, "Quantitative assessment of spiritual capital in changing organizations by principal component analysis and fuzzy clustering". *Journal of Organizational Change Management*, 28(3), 469-485
- Ristic D., Stankovic M., Savic S., 2008, "Risk assessment matrices, Dependability and quality management". Research center of dependability and quality management, Prijedor, Srbija
- Ristic D., 2013, "Characteristics of Risk Matrices". *Safety Engineering*, 3(3), 121–127
- Ringnér M., 2008, "What is principal component analysis?". *Nat. Biotechnol*, 26(3): 303-304
- Roy B., 1985, "Méthodologie d'Aide Multicritère à la Décision", *Edition Economica*
- Ruge B., 2004, "Risk matrix as tool for risk assessment in the chemical process industries, In: Spitzer, C., Schmocker, U., Dang, V.N., (Eds.) ". *Probabilistic Safety Assessment and Management*, Springer. 2693–2698

S

- Saadi S., 2014, "*Développement et validation d'une approche globale, dynamique et participative d'évaluation environnementale stratégique*". PhD thesis presented at the University of Batna 2, Algeria
- Saadi S., Djebabra M. and Boubaker L., 2011, "Proposal for a new allocation method of environmental goals applied to an Algerian cement factory". *Management of environmental quality: an international journal*, 22(5): 581-594
- Saade J., Diab H-B., 2004, "Defuzzification Methods and New Techniques for Fuzzy Controllers". *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2004
- Salmi S., Chaib R., 2017, "Feedback a learning tool for future organizations". *World Journal of Engineering*, 14(6): 545-549
- Schjøberg I., Østdahl A.B., 2008. "Security and tolerable risk for hydrogen service stations". *Technol. Soc.* 30 (1), 64–70
- Schmidt MS., 2016, "Making sense of risk tolerance criteria". *J Loss Prev Process Ind* 41(5):344–354
- Sepczuk M., Kotulski Z., 2018, "A new risk-based authentication management model oriented on user's experience". *Computers & Security*, 73(3): 17-33
- Sharma P. and Saxena K., 2017, "Application of fuzzy logic and genetic algorithm in heart disease risk level prediction", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 8(2): 1109-1125
- Site Officiel de Protection Civile Algérie, 2012, "Historique des catastrophes 1962-2012". <http://www.protectioncivile.dz/?controller=article&action=contenu&idr=39&ida=43>, [Consulter le 19-02-2019].
- Smith E.D., Siefert W.T., Drain D., 2009, "Risk matrix input data biases". *Syst. Eng.* 12 (4), 344–360
- Strang G., Aarikka K., 1986, "Introduction to applied mathematics". *WellesleyCambridge Press*, Massachusetts, Fourth Edition, Vol. 16

T

- Touzard H., 2006, "Consultation, concertation et négociation". *Revue Négociation*, 5 :67-74
- Tharwat A., 2016, "Principal component analysis - a tutorial". *International Journal of Applied Pattern Recognition*, 2016 Vol.3 No.3, pp.197 - 240

V

- Verrons M-H., 2001, "*Etude de la négociation entre agents autonomes*". Rapport de stage de DEUA de l'Université des sciences et technologie de Lille – France.
- Villemeur A., 1988, "*Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*", Editions Eyrolles France
- Villeneuve E., 2012. "*Hybridization of the cognitive and static experience feedbacks for risks assessment*". PhD thesis presented at the University of Toulouse, France

Y

- Yazdi M., Nikfar F., Nasrabadi M., 2017, "Failure probability analysis by employing fuzzy fault tree analysis". *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 8, 1177–1193
- Yazdi M., 2017, "An extension of Fuzzy Improved Risk Graph (FIRG) and Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for determination of chemical complex Safety Integrity Levels (SILs)". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*

Z

- Zadeh L., 1965, "Fuzzy sets". *Information and Control*, vol. 8, pp. 338–353, 1965
- Zadeh L., 1975, "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I—II". *Information Sciences*, 8(3), pp. 199-249, 301-357, 1975
- Zadeh L., 1978, "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility". *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1, pp. 3–28, 1978
- Zadeh L-A., 1992, "The calculus of fuzzy if/then rules". *AI Expert*, vol. 7, pp.23-27, 1992
- Zazhigalkin A-Z., Aronoy J-Z., Maksimova O-V., & Papic Ljubisa, 2019, "Control of consensus convergence in technical committees of standardization on the basis of regular Markov chains model", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. pp. 1-8
- Zeng R., Jiasong W., Shao Z., Chen Y., Chen B., Senhadji L, Shu H., 2016, "Color image classification via quaternion principal component analysis network". *Neurocomputing*, Volume 216, 2016, Pages 416-428
- Zhong O., Fan X., Luo X. and Toni F., 2019, "An explainable multi-attribute decision model based on argumentation", *Expert systems with Application*. 117(3):42-61
- Zhu J., 1998, "Data envelopment analysis vs principal component analysis: an illustrative study of economic performance of Chinese cities theory and methodology". *European Journal of Operational Research*, Vol. 111 No. 1, pp. 50-61
- Zhu Q., Kuang X., Shen Y., 2003, "Risk matrix method and its application in the field of technical project risk management". *Eng Sci* 5(1):89–94

W

- Wybo J-L., 2012, "Le retour d'expérience : un processus d'acquisition de connaissances et d'apprentissage". M. Specht, G. Planchette. *Gestion de crise : le maillon humain au sein de l'organisation*, Economica, 19 p., 2009. <hal-00614238>

Annexes

Sommaire

Annexe 1 : La courbe F/N	108
Annexe 2 : Extrait du formulaire utilisé pour le traitement des informations spécifiques associées aux grilles en vue de formuler les invariants du REX	110
Annexe 3: Rappels de base sur la logique floue	113

Annexe 1 : La courbe F/N

Les courbes F-N peuvent être utilisés pour décrire des informations sur les risques sociétaux selon le cas (Ball & Floyd, 1998) : l'historique des incidents, les résultats d'une analyse de risque quantitative (QRA) et les critères permettant de juger de la tolérance du risque.

Dans cette annexe nous illustrons le développement d'une courbe F-N pour montrer des données historiques ou les résultats d'une QRA, et son utilisation pour communiquer les critères de risque.

A1.1- Fondements de la courbe F-N

Les dimensions de la courbe sont les suivantes :

- L'abscisse N : nombre prévu de décès associés à l'événement.
- L'ordonnée F : fréquence d'occurrence associée (exprimée en événements par an).

Généralement les résultats d'évaluation des risques sociétaux présentés sous forme des graphes avec une échelle log-log ; car, la plage de valeurs de F et N peut couvrir plusieurs ordres de grandeur.

Les risques sociétaux peuvent être représentés de deux manières :

- A la base de fréquence non cumulative (courbe F-N) : la valeur représentée sur l'axe des ordonnées est la fréquence discrète de l'expérience de N fatalités.
- A la base de fréquence cumulative (courbe F-N) : la valeur représentée sur l'axe des ordonnées est la fréquence cumulée des N ou de plusieurs décès.

Dans cette annexe, nous retenons le second cas pour construire la courbe F-N où nous considérons les événements « E_x » avec leurs fréquences associées « F_x » et leurs conséquences « N_x » (Tableau A1-1).

A1.2. Calcul et tracé d'un exemple de la courbe F-N

Pour illustrer la manière dont les risques sociétaux peuvent être présentés sous forme d'une courbe F-N, considérons les résultats présentés dans le tableau A1-1 qui représente une analyse QRA hypothétique couvrant dix événements pouvant entraîner plusieurs décès.

Dans ce tableau, les données sont réorganisées en ordre décroissant du nombre de décès et les fréquences sont exprimées en termes de fréquences cumulées (en commence en haut de la colonne de fréquence cumulée « F » pour la valeur la plus élevée de N).

Tableau A1-1 : Données issues de la méthode QRA pour dix scénarios

Événements	Fréquence (par an)	Conséquences de l'évènement	évenem ents	Nombre de fatalité	Fréquences f (par an)	Fréquence cumulative F (par an)
1	4.8×10^{-3}	12	2	123	6.2×10^{-5}	6.2×10^{-6}
2	6.2×10^{-6}	123	7	67	8.0×10^{-3}	8.6×10^{-3}
3	7.8×10^{-3}	33	9	52	1.2×10^{-6}	8.7×10^{-5}
4	9.1×10^{-4}	33	3	33	7.8×10^{-3}	7.9×10^{-3}
5	6.3×10^{-3}	29	4	33	9.1×10^{-4}	8.8×10^{-3}
6	7.0×10^{-4}	16	5	29	6.3×10^{-3}	1.5×10^{-2}
7	8.0×10^{-3}	67	6	16	7.0×10^{-4}	1.6×10^{-2}
8	4.0×10^{-3}	10	1	12	4.8×10^{-3}	2.1×10^{-2}
9	1.2×10^{-6}	52	8	10	4.0×10^{-3}	2.5×10^{-2}
10	3.4×10^{-4}	3	10	3	3.4×10^{-4}	2.5×10^{-2}

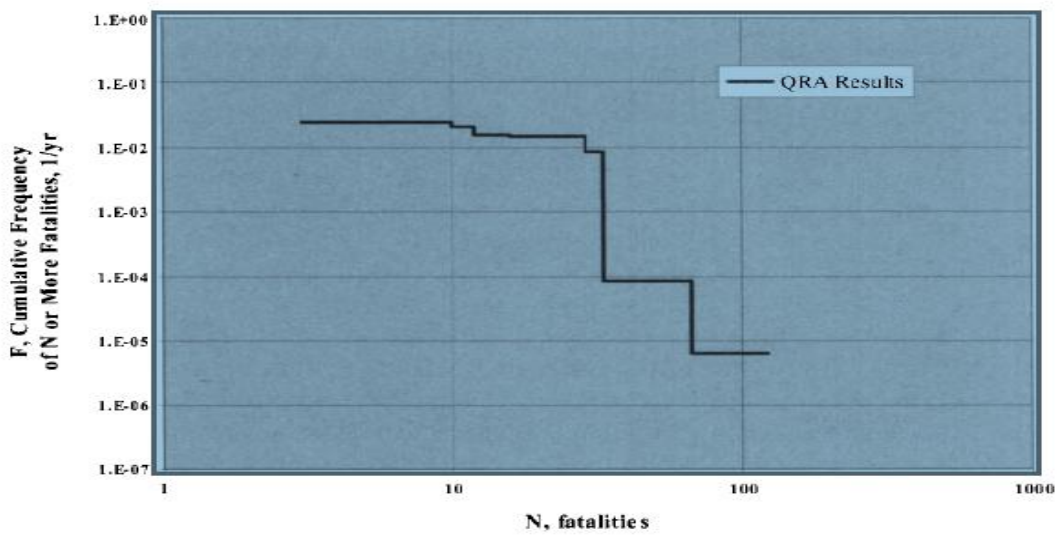


Figure A1-1 : Courbe F-N pour les résultats hypothétiques QRA

Annexe 2 : Extrait du formulaire utilisé pour le traitement des informations spécifiques associées aux grilles en vue de formuler les invariants du REX

A2-1. La grille explorée

La grille de cet exemple est fournie par la figure suivante.

Gravité	1				
	2				
	3				
	4				
		1	2	3	4
		Probabilité			

Figure A2-1 : Exemple d'un grille de risque utilisée pour formuler les invariants du REX.

Cette grille est ensuite synthétisée par la fiche technique suivante :

<i>Dénomination de la grille</i>	<i>Grille des risques DNV</i>
Auteur(s) ou organisme de développement de la grille	DNV
Année	
Référence bibliographique	Etude de danger SONATRACH DP
Organismes utilisateurs de la grille	SONATRACH DP
Autres informations jugées utiles	

A2-2. Procédure de déduction des invariants du REX à partir de cette grille

L'analyse de la grille est effectuée par la procédure suivante :

Niveau général de la grille

- Nature de la grille : carrée
 non-carrée
- Dimensions de la matrice carrée : 3x3
 4x4
 5x5
 6x6
 Autre

Annexe 2 : Extrait du formulaire utilisé pour le traitement des informations spécifiques associées aux grilles en vue de formuler les invariants du REX

- Nature des échelles de la grille :
 - Ordinal
 - Numérique
 - combiné
- Zones des risques dans la grille :
 - Acceptable
 - Tolérable
 - Non-acceptable
- Pourcentage des zones des risques dans la grille :
 - Acceptable = 25%
 - Tolérable = 37.5%
 - Non-acceptable = 37.5%
- Nature d'appréciation de la gravité :
 - Qualitative
 - Quantitative
 - Semi-quantitative
- Types de conséquences associées à la gravité :
 - Personnel
 - Biens
 - Matériel
 - Environnement
 - Image de marque
 - Autre (Public)
- Types de conséquences associées à la gravité :
 - Agrégée
 - Distinguée
- Règle d'agrégation des conséquences associées à la gravité :
 - Aucune
 - Max
 - Autre
- Etendue ou référencement à la gravité :
 - Spatiale
 - Temporelle
 - Autre
- Types de la grandeur « fréquence » :
 - Fréquence
 - Probabilité
- Etendue ou référencement à la fréquence :
 - Spatiale
 - Temporelle
 - Autre
- Approche d'appréciation de la fréquence :
 - Statistique
 - Avis d'experts
- Nature d'appréciation de la fréquence :
 - Qualitative
 - Quantitative
 - Semi-quantitative

- Logique d'appréciation de la fréquence :
 - Barrières
 - Autres critères
 - Non-spécifiée

Niveau des cellules de la grille

- Croisement des fréquences et gravités :
 - Produit
 - Somme
 - Autre Couple (G.P)
- Spécification des cellules de la matrice :
 - Criticité du risque
 - Priorité d'actions sur le risque
- Nature de la criticité des cellules à risque de gravité :
 - Acceptable
 - Tolérable
 - Non-acceptable
- Nature de la criticité des cellules à risque de fréquence :
 - Acceptable
 - Tolérable
 - Non-acceptable
- Règle d'attribution de la criticité (priorité) à des cellules :
 - Dominance de la fréquence
 - Dominance de la gravité
 - Autre règle
 - Non explicitée

Annexe 3 : Rappels de base sur la logique floue

La théorie des (sous-) ensembles flous est une théorie permettant de représenter mathématiquement l'imprécision relative à certaines classes d'objets, comme par exemple la notion de beauté est sujette à plusieurs discussions. Cette théorie s'intègre dans le domaine de l'algèbre abstraite développée par [Lotfi Zadeh en 1965](#).

A3-1. Caractérisation des sous-ensembles flous

Soit X un ensemble de référence ou univers. Soit x un élément quelconque de X . On dit qu'une partie A de l'ensemble de référence X est un ensemble flou lorsqu'elle est définie de la manière suivante ([kaufmann, 1977; Zadah, 1965](#)) :

$$\bar{A} = \{(x, \mu_{\bar{A}}(x)), x \in X\}$$

Avec : $\mu_{\bar{A}}: X \rightarrow [0, 1]$, une partie A d'un ensemble X est usuellement associée à sa fonction d'appartenance. Celle-ci s'applique sur les éléments x de X . elle prend la valeur 0 si x n'appartient pas à X et 1 si x appartient à \bar{A} . En attribuant les éléments x de X un degré d'appartenance, on remarque les trois cas suivants :

- $\mu_{\bar{A}}(x) = 0$, lorsque x n'appartient pas à \bar{A} de façon certaine ;
- $0 < \mu_{\bar{A}}(x) < 1$, lorsque x appartient partiellement à \bar{A} ;
- $\mu_{\bar{A}}(x) = 1$, lorsque x appartient à \bar{A} de façon certaine.

A3-2. Propriétés

On définit une partie floue (sous-ensemble flou) par sa fonction d'appartenance $\mu_{\bar{A}}(x)$ dont sa valeur est appelée *degré d'appartenance* de l'élément x au sous-ensemble \bar{A} . Cette fonction possède les propriétés suivantes -Figure A3-1- ([Zadah, 1975](#)) :

- Le noyau d'un ensemble flou \bar{A} de X , noté $n(\bar{A})$ ou $noy(\bar{A})$ est l'ensemble de tous les éléments qui appartiennent totalement ou de façon certaine à \bar{A} , c'est-à-dire dont le degré d'appartenance à \bar{A} vaut 1 :

$$n(\bar{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\bar{A}}(x) = 1\}$$

- Le point de croisement d'un ensemble flou \bar{A} de X est le sous-ensemble des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance prend une valeur égale à 0,5. C'est l'ensemble des éléments de X qui appartiennent autant à A qu'à son complémentaire :

$$C(\bar{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\bar{A}}(x) = 0.5\}$$

- Le support d'un ensemble flou \bar{A} de X , noté $supp(\bar{A})$ est l'ensemble des éléments appartenant, même très peu, à \bar{A} c'est-à-dire dont le degré d'appartenance à A est supérieur à 0 :

$$supp(\bar{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\bar{A}}(x) > 0\}$$

- La hauteur d'un ensemble flou \tilde{A} de X , notée $h(\tilde{A})$ est le plus fort degré avec lequel un élément de X appartient à \tilde{A} :

$$h(\tilde{A}) = \sup\{\mu_{\tilde{A}}(x) | x \in X\}$$

En particulier, si $h(\tilde{A}) = 1$, on dit que le ensemble flou est normalisé, et un ensemble flou non vide et fini peut toujours être normalisé en divisant sa fonction d'appartenance par sa hauteur.

- Une α -coupe d'un ensemble flou \tilde{A} ou ensemble de niveau α de \tilde{A} , noté A_α est le sous-ensemble (au sens de la théorie des ensembles classiques) des éléments ayant un degré d'appartenance supérieur ou égal à α :

$$A_\alpha = \{x \in X | \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

D'autre part, on peut définir l'ensemble :

$$A'_\alpha = \{x \in X | \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

L'ensemble A'_α est appelé α -coupe fort ou α -coupe stricte ; et A_α est un sous-ensemble ordinal dont la fonction caractéristique est :

$$\chi_{A_\alpha}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } \mu_A(x) \geq \alpha \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

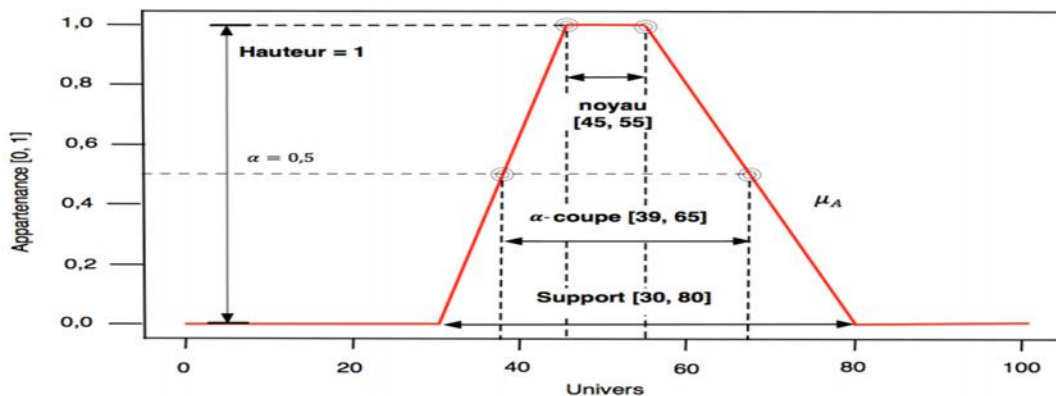


Figure A3-1 : Éléments caractéristiques d'un ensemble flou: noyau, support, hauteur et α -coupe

A3-3. Opérations sur les ensembles flous

Les opérations sur les ensembles flous sont rappelées ci-après (Zadah, 1978).

- **Égalité** : On dit que deux ensembles flous \tilde{A} et \tilde{B} de X sont égaux, si leurs fonctions d'appartenance prennent la même valeur pour tous les éléments x de X . On a $\tilde{A} = \tilde{B}$ si et seulement si :

$$\forall x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x)$$

- **Inclusion** : On dit que \tilde{A} est inclus dans \tilde{B} , qu'on note alors $\tilde{A} \subset \tilde{B}$, si tout élément x de X qui appartient à \tilde{A} appartient aussi à \tilde{B} avec un degré au moins aussi grand. On a $\tilde{A} \subset \tilde{B}$ si et seulement si :

$$\forall x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$$

- **Complémentaire** : Le complément d'un ensemble flou \tilde{A} de X est le sous-ensemble flou constitué des éléments x lui appartenant d'autant plus qu'ils appartiennent peu à \tilde{A} qu'est exprimé par: $\forall x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$

- **Réunion** : La réunion de deux ensembles flous \tilde{A} et \tilde{B} de X est l'ensemble flou constitué des éléments de X affectés du plus grand des degrés avec lesquels ils appartiennent à \tilde{A} et \tilde{B} : $\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$
- **Intersection** : L'intersection de deux ensembles flous \tilde{A} et \tilde{B} de X est l'ensemble flou constitué des éléments de X affectés du plus petit des degrés avec lesquels ils appartiennent à \tilde{A} et \tilde{B} : $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$

Il est à noter que l'algèbre des ensembles flous est la même que celle des ensembles ordinaires (toutes les propriétés sont vérifiées), sauf que le tiers-exclu n'est plus vérifié (Figure A3-2):

$$A \cap \tilde{A} \neq \emptyset$$

$$A \cup \tilde{A} \neq 1$$

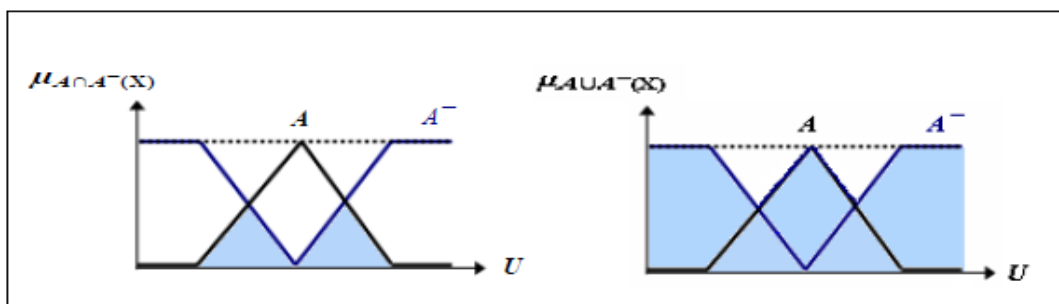


Figure A3-2 : Illustration de la propriété du tiers-exclu (Zadah, 1978)

A3-4. Système d'Inférence Floue

Un Système d'Inférence Floue (SIF) a comme but de transformer les données d'entrée en données de sortie moyennant une technique simple utilisant l'inférence max-min. Les entrées sont issues du processus de fuzzification et l'ensemble de règles normalement sont définies par le savoir-faire de l'expert. Ce processus est composé de trois étapes (Zadah, 1992 ; Aarthi-Chandramohan & al, 2006) : fuzzification, inférence et defuzzification.

- **Fuzzification** : Les variables linguistiques pour la description d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'un procédé contiennent en général des qualificatifs flous tels que : peu, beaucoup, énormément/ rarement, fréquemment, souvent/ froid, tiède, chaud, ...etc. comme par exemple : la variable linguistique « température » peut appartenir aux ensembles flous « froid », « tiède » ou « chaud ». Pour la fonction d'appartenance et à l'inverse de la logique binaire traditionnelle (appartenir à l'ensemble « vrai » ou à l'ensemble « faux »), la logique floue admet des degrés d'appartenance à un ensemble donné qui se matérialise par un nombre compris entre 0 et 1. Cette valeur de la variable est notée « μ » et appelée « facteur d'appartenance ».

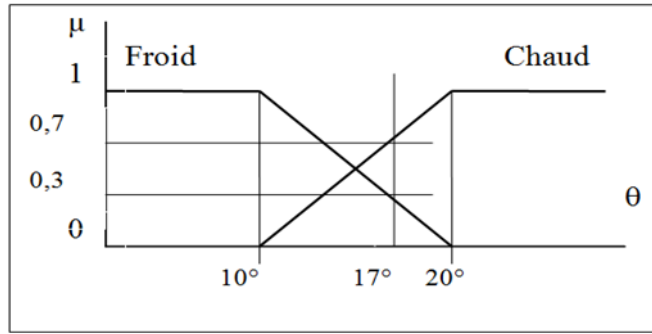


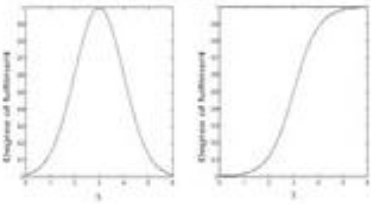
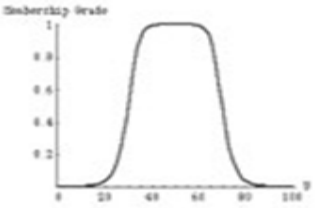
Figure A3-3 : Principe de fonction d'appartenance

D'après la Figure A3-3, on constate que pour une valeur $\theta = 17^\circ$, le facteur d'appartenance à l'ensemble « froid » vaut $\mu_{\text{froid}} = 0,3$ et le facteur d'appartenance à l'ensemble « chaud » vaut $\mu_{\text{chaud}} = 0,7$.

Théoriquement, les fonctions d'appartenance peuvent prendre n'importe quelles formes qui sont rappelées dans le tableau suivant.

Tableau A3-1: Différents type de fonction d'appartenance (Zadah, 1992 ; Aarathi-Chandramohan & al, 2006)

Triangulaire	
<p>Triangulaire ($x : a, b, c$)</p> $= \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$	
Trapézoïdale	
<p>Trapezoidal ($x : a, b, c, d$)</p> $= \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$	
Gaussian	

<p>Gaussien $(x: m, \sigma) = \exp\left\{-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right\}$</p> <p>Où : m le centre de fonction et σ largeur de la fonction</p>	
Bellshaped	
<p>Bell $(x: a, b, c) = \frac{1}{1 + \frac{ x - c }{a} 2b}$</p> <p>Lorsque le paramètre b est généralement positif et que nous pouvons ajuster c et a pour faire varier le centre et la fonction.</p>	

- *Inférences* : réalisées sous l'environnement Matlab (Figure A3-4).

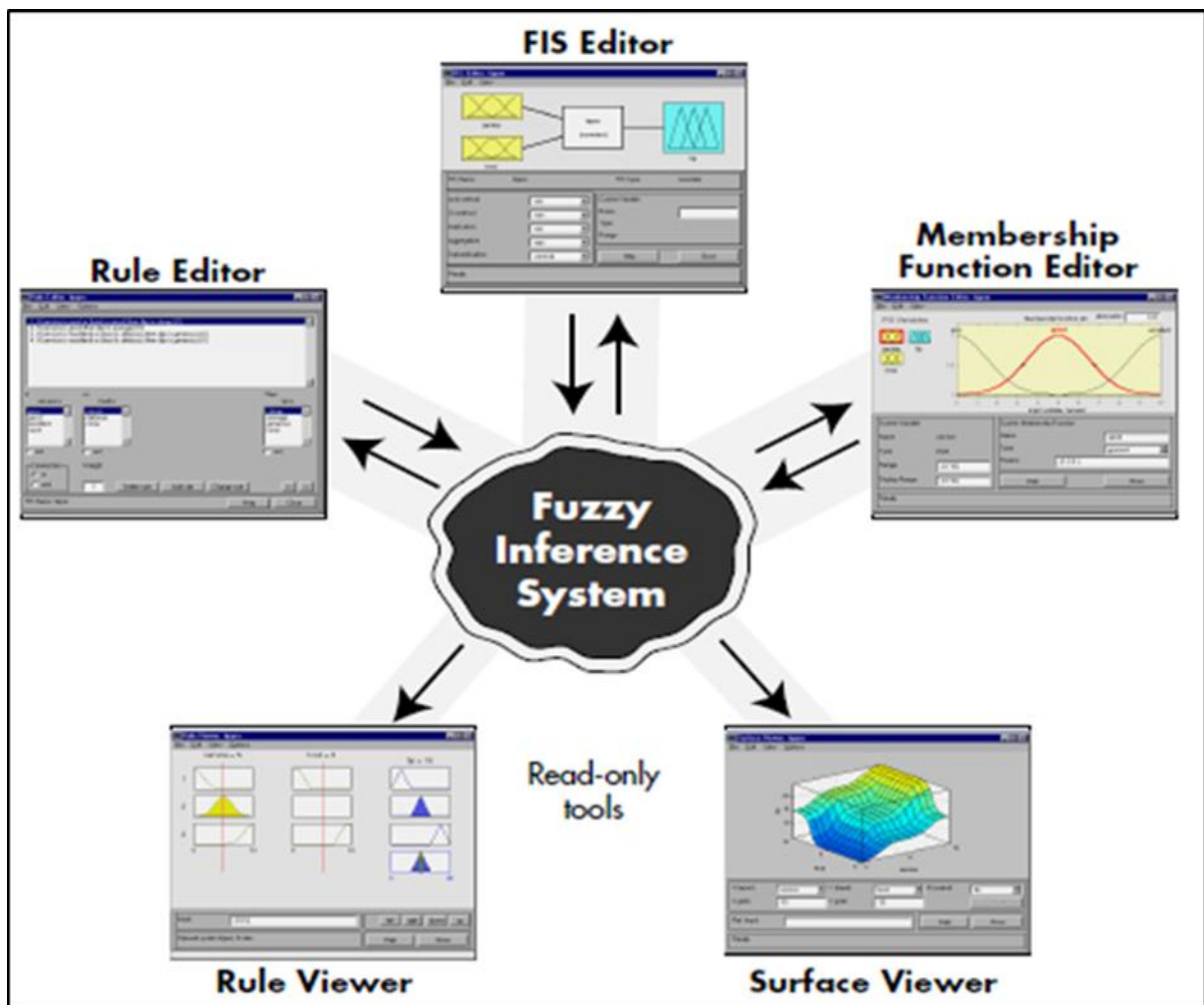


Figure A3-4 : Procédure d'inférences sous l'environnement MATLAB.

- *Défuzzification* : réalisée par différentes méthodes regroupées dans le tableau suivant.

Tableau A3-2 : Différentes méthodes utilisées pour la défuzzification (Mogharreban & Dillalah, 2006 ; Saad & Diab, 2004)

Nom de la méthode		Formule mathématique	Description
Méthode du centre de sommes	Center of Sums Method (COS)	$x^* = \frac{\sum_{i=1}^N x_i * \sum_{k=1}^n \mu_{A_k}(x_i)}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mu_{A_k}(x_i)}$	n est le nombre des ensembles flous, N est le nombre des variables flous, $\mu_{A_k}(x_i)$ est la fonction d'appartenance de k th ensemble floue.
Méthode du centre de gravité (COG) /du centroïde de la zone (COA)	Center of gravity (COG) / Centroid of Area (COA) Method	Pour la fonction d'appartenance discrète, la valeur défuzzifiée notée x^* à l'aide de COG est définie comme suit :	Ici x_i indique l'élément de l'échantillon, $\mu(x_i)$ est la fonction d'appartenance, et n représente le nombre d'éléments dans l'échantillon.
		$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}$	
		Pour la fonction d'appartenance continue, x^* est défini comme :	
		$x^* = \frac{\int x \mu_A(x) dx}{\int \mu_A(x) dx}$	
Méthode du centre de la région / Bisecteur de la zone (BOA)	Center of Area / Bisector of Area Method (BOA)	$\int_{\alpha}^{x^*} \mu_A(x) dx = \int_{x^*}^{\beta} \mu_A(x) dx$	$\alpha = \min\{x x \in X\}$ $\beta = \max\{x x \in X\}$
Méthode moyenne pondérée	Weighted Average Method	$x^* = \frac{\sum \mu(x)x}{\sum \mu(x)}$	Ici, \sum désigne la somme algébrique et x est l'élément ayant la fonction d'appartenance maximale.
Méthodes Maxima 1-Première de la méthode Maxima (FOM) 2-Dernière de la méthode Maxima (LOM) 3-Moyenne de la méthode Maxima (MOM)	1-First of Maxima Method (FOM)	1-cette méthode détermine la plus petite valeur du domaine avec une valeur d'appartenance maximale.	
	2- Last of Maxima Method (LOM)	2- Déterminer la plus grande valeur du domaine avec une valeur d'appartenance maximale ;	
	3- Mean of Maxima Method (MOM)	3- $x^* = \frac{\sum_{x_i \in M} x_i}{ M }$	Ici, $M = \{x_i \mu_A(x_i) \text{ est égal à la hauteur de l'ensemble flou A}\}$ et $ M $ est la cardinalité de l'ensemble M.

*Travaux scientifiques réalisés
Dans le cadre de cette thèse de doctorat*

Travaux scientifiques réalisés

- Hadef H.** Djebabra M., (2019), "Proposal method for the classification of industrial accident scenarios based on the improved principal components analysis (improved PCA) ", *Prod. Eng. Res. Devel.* 13(1): 53-60.
- Hadef H.** Djebabra M., (2019), "PCA-I and AHP Methods: Unavoidable Arguments in Accident Scenario Classification", *Journal of Failure Analysis and Prevention.* 19 (2) : 496-503.
- Hadef H.**, Djebabra M., Sedrat L., Taghelabet M., (2019), "Contribution to the evaluation of safety barriers performance", *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 16(1): 56-68.
- Hassani M., Chaib R., Bouzrara R., **Hadef H.**, Belmazouzi Y., (2018), "Prevention of major industrial risks in the context of sustainable development: Proposal a draft general plan for the prevention of major risks GPPMR in Algeria according to the law 04/20", *ICEMAEP'18 Fourth International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution At Constantine Algeria*, 3: 1729-1736.
- Hadef H.**, Negrou B., Ayuso T-G., Djebabra M., (2018), "Preliminary hazard identification for risk assessment on a complex system of hydrogen production", *International Conference on Emerging and Renewable Energy: Generation and Automation in Sousse, Tunisia.*

Apport des outils de concertation à la gestion des risques majeurs en Algérie

Résumé – La gestion des risques est un domaine de recherche scientifique porteur où plusieurs pistes d'exploration sont, non seulement, possibles mais également valorisantes. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes focalisés sur le problème de décision collective et la nécessité de le cadrer par la concertation qui à son tour est appuyée par la négociation à base d'arguments.

Dans notre cas, le problème de la décision collective réside dans la fixation du niveau d'acceptabilité des risques dans les grilles des risques où nous avons proposé un processus de négociation argumenté par deux outils qui sont : le retour d'expérience et l'analyse en composante principale.

Mots-clés : risques, gestion, grilles, concertation, argumentation, retour d'expérience, analyse en composantes principales.

Contribution of consultation tools to the major risks management in Algeria

Abstract - Risk management is a promising field of scientific research in which several avenues of exploration are not only possible, but also rewarding. In this thesis, we focused on the problem of collective decision-making and the need to frame it through consultation, which in its turn is supported by argument-based negotiation.

In our case, the issue of collective decision lies in determining the risk acceptability level in risk matrices. To solve this issue, we have proposed a negotiation process argued by two tools, which are feedback and principal component analysis.

Keywords: risk, management, matrices, consultation, argumentation, feedback, Principal Components Analysis.

مساهمة أدوات التشاور في إدارة المخاطر الكبرى في الجزائر

ملخص - تعد إدارة المخاطر مجالاً واعداً للبحث العلمي، حيث لا تكون العديد من طرق الاستكشاف ممكنة فحسب بل أيضاً مجزية. ركزنا في هذه الرسالة على مشكلة صنع القرار الجماعي والحاجة إلى تأطيرها من خلال التشاور المدعوم بالتفاوض القائم على الحجج.

في حالتنا، تكمن مشكلة القرار الجماعي في تحديد مستوى مقبولية المخاطر بواسطة مصفوفة المخاطر، ولحل هذه المشكلة اقترحنا عملية تفاوض قائمة على حجج من خلال اداتين هما: التغذية الراجعة للخبرات وتحليل المكونات الرئيسية.

الكلمات المفتاحية: المخاطر، الإدارة، مصفوفة المخاطر، التشاور، الجدل، التغذية الراجعة للخبرات، تحليل المكونات الرئيسية.