



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT Année 2021
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en science

**EVALUATION DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT
DES SYSTEMES INDUSTRIELS**

Spécialité : Génie Mécanique

Par :

MOUMENI Chaouki

DIRECTEUR DE THESE : HAMADACHE Hamid

Pr. U. Badji Mokhtar Annaba

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : KHELIF Rabia Professeur Université Badji Mokhtar Annaba

EXAMINATEURS :

- | | | |
|-----------------------|------------|---------------------------------|
| 1. BOUZAOUIT Azzedine | Professeur | Université de Skikda |
| 2. DIB Amar | MCA | Université Badji Mokhtar Annaba |
| 3. NAHAL Mourad | MCA | Université de Souk Ahras |
| 4. SAHRAOUI Yacine | MCA | Université de Souk Ahras |

Remerciements

Un grand merci est à adresser particulièrement à mon directeur de thèse, **HAMADACHE Hamid**, Professeur à l'Université Badji Mokhtar Annaba pour la confiance et l'autonomie qu'il m'accordé en acceptant d'encadrer mon travail de recherche, qu'il trouve ici l'expression de ma plus grande gratitude pour sa qualité scientifique et humaine. Sans oublier mon premier directeur de thèse Professeur **TADJINE Kamel**, du centre universitaire de Tamanrasset, qui a accepté dès le début de diriger cette thèse, et m'a aidés à mener à bien ce travail de recherche dans un environnement favorable, et j'en profite de le souhaiter une très bonne retraite.

J'exprime aussi ma gratitude à Monsieur **KHELIF Rabia**, Professeur à l'université d'Annaba pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

J'adresse mes remerciements aux :

- Professeur **BOUZAOUIT Azzedine** de l'Université de Skikda, qui m'a fait l'honneur d'être examinateur de thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma vive gratitude et ma sincère reconnaissance.
- Messieurs **DIB Amar** Maitre de conférences à l'université d'Annaba de m'avoir honoré en acceptant d'être examinateur.
- Messieurs **SAHRAOUI Yacine** Maitre de conférences à l'université de Souk Ahras, pour avoir accepté de faire partie du jury.
- Messieurs **NAHAL Mourad** Maitre de conférences à l'université de Souk Ahras, pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je n'oublierai pas de remercier surtout mes parents et ma petite famille, pour le soutien moral qu'ils m'ont apporté pour mener à bien ce travail.

Résumé

Le risque est une propriété inhérente de chaque projet, puisque chaque projet est soumis à de nombreux risques de différentes natures durant son cycle de vie, qui sont d'origine interne et externe. Plusieurs outils de gestion des risques ont été développés, mais ont la faiblesse récurrente de ne représenter que le projet et traitent le risque de façon isolée. Bien qu'il est nécessaire de prendre en compte les relations d'interdépendances entre les différentes conséquences d'un même risque. Le travail présenté dans le cadre de cette thèse a pour objectif de hiérarchiser les risques par priorité d'importance pour la réalisation d'un projet d'installation de pipes, en se basant sur deux approches multicritères d'aide à la décision : le processus d'analyse hiérarchique et le modèle de produit pondéré. L'analyse multicritères est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes de décision à plusieurs critères. L'approche utilisée a permis de décomposer un problème complexe en une structure hiérarchique montrant les relations entre l'objectif, les critères et les alternatives, à procéder ensuite à des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions et d'évaluer les risques de notre projet selon les trois critères : coût, délai et qualité, ainsi la détermination de la criticité pondérée de chaque risque selon les trois caractéristiques du projet : la probabilité d'occurrence, la gravité et le coefficient de non détectabilité.

Mots clés : évaluation des risques, Le processus d'analyse hiérarchique, Modèle de produit pondéré, analyse multicritère à la décision, risques projet.

Abstract

Risk is an inherent property of each project, because a project life cycle is subjected to different nature's risks, such as internal or external origins. Several tools of risk management have been developed in recent years, it's limits lie in the recurring weakness of only representing the project and deal with the risk in isolation. Although it is necessary to take into account the interdependent relationships between the different consequences of the same risk. The work presented as part of this thesis aims to prioritize the risks by priority of importance for the realization of a pipe installation project, based on two multi-criteria decision support approaches: the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Weighted Product Model (WPM). Multi-criteria analysis is a decision support tool developed to solve multi-criteria decision problems. The used approach allows a complex problem to be broken into a hierarchical structure showing the relationships between the objective, the criteria and the alternatives, then proceed to pairwise comparisons of hierarchy elements, and finally to determine actions priorities. and assess the risks of our project according to the three following criteria: the cost, delay and quality criteria. The weighted criticality of each risk was determined according to the project characteristics, the probability of occurrence, aggregate impact and the non-detectability factor.

Keywords: Risk assessment, Analytic Hierarchy Process, Weighted Product Model, multi-criteria decision analysis, project Risks.

ملخص

تعتبر المخاطر خاصة متصلة في كل مشروع، لأن كل مشروع معرض لمخاطر عديدة من مختلف الأنواع خلال دورة حياته، التي هي من أصل داخلي أو خارجي. تم تطوير العديد من أدوات تسيير المخاطر، ولكن تكمن محدوديتها في الضعف المتكرر المتمثل في تمثيل المشروع فقط ومعالجة الخطر بمعزل عن غيره. بالرغم أنه من الضروري مراعاة العلاقات المترابطة بين النتائج المختلفة لنفس الخطر. العمل المقدم في إطار هذه الأطروحة يهدف إلى تحديد أولويات المخاطر حسب الأهمية لإنجاز مشروع تركيب الأنابيب، بناءً على نهجين لدعم القرار متعدد المعايير: عملية التحليل الهرمي ونموذج الضرب المرجح.

التحليل متعدد المعايير هو أداة لدعم القرار تم تطويره لحل المشاكل المتعلقة بالقرار متعدد المعايير. يسمح النهج المستخدم بتقسيم مشكلة معقدة إلى هيكل هرمي يوضح العلاقات بين الهدف، المعايير والبدائل، ثم المضي قدماً في المقارنات الزوجية لعناصر الهيكل الهرمي، وأخيراً لتحديد أولوية الإجراءات المتخذة و تقييم المخاطر المتعلقة بمشروعنا وفقاً للمعايير الثلاثة: التكلفة، الوقت والجودة، بالإضافة إلى تحديد الأهمية المرجحة لكل خطر وفقاً للخصائص الثلاثة للمشروع: احتمالية الحدوث، الخطورة ومعامل عدم الكشف.

كلمات البحث: تقييم المخاطر، عملية التحليل الهرمي، نموذج الضرب المرجح، تحليل متعدد المعايير لأخذ القرار، مخاطر المشروع.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
RESUME	3
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	10
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	12
PRINCIPALES NOTATIONS.....	13
Introduction générale	14
CHAPITRE I: Etat de l'art sur l'analyse multicritère d'aide à la décision	16
I.1. Introduction.....	17
I.2. Qu'est-ce qu'une décision ?	17
I.3. Aide à la décision.....	18
I.4. Les acteurs impliqués dans le processus de décision	18
I.5. Procédure d'agrégation.....	20
I.6. Approche monocritère et multicritère.....	20
I.6.1. Approche monocritère	20
I.6.2. Approche multicritère.....	21
I.7. Les principales méthodes multicritères.....	21
I.7.1. Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse.....	21
I.7.2. Les méthodes de surclassement selon l'approche du surclassement de synthèse...	23
I.7.3. Les méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif.....	24
I.8. Les avantages et les limites de l'analyse multicritères.....	24
I.8.1. Avantages.....	24
I.8.2. Limites.....	25
I.9. Etat de l'art sur l'intégration de l'approche AHP avec d'autres méthodes.....	26
I.10. Conclusion.....	29
CHAPITRE II: Sûreté de fonctionnement et gestion des risques.....	30
II.1. Introduction.....	31
II.2. Notions fondamentales.....	31
II.2.1. Sûreté de fonctionnement.....	31
II.2.1.1. Historique.....	31
II.2.1.2. Définitions.....	32
II.2.1.3. Quelques méthodes de sûreté de fonctionnement.....	34

II.2.1.4. Enjeu de la sûreté de fonctionnement.....	35
II.2.2. Notion de risque.....	35
II.2.2.1. Notions de gravité et de fréquence d'occurrence.....	36
II.2.2.2. Classification du risque	37
II.2.2.3. Acceptabilité du risque.....	38
II.2.2.4. Risque vs. Danger.....	40
II.3. Gestion des risques.....	40
II.3.1. Identification des risques.....	40
II.3.2. Evaluation et classement des risques.....	40
II.3.3. Traitement ou acceptation des risques.....	40
II.4. Représentation des différentes typologies des risques.....	41
II.4.1. Risques majeurs.....	41
II.4.1.1. Risque de la vie quotidienne.....	42
II.4.1.2. Risque technologique.....	43
II.4.1.3. Risques industriels.....	45
II.4.1.4. Risques environnementaux.....	46
II.5. Conclusion.....	47
CHAPITRE III: Risques projet et management de risques projet	48
III.1. Introduction.....	49
III.2. Définition de risques projets.....	49
III.3. Typologie des risques projets.....	50
III.3.1. Les risques organisationnels et humains.....	50
III.3.2. Risques liés au management du projet.....	52
III.4. Management de risques projet.....	52
III.5. Processus de management des risques.....	53
III.6. Processus de management des risques de la norme ISO 31000 :2018.....	54
III.6.1. Communication et Consultation.....	55
III.6.2. Périmètre d'application, contexte et critères.....	55
III.6.3. Appréciation du risque.....	57
III.6.4. Traitement du risque.....	65
III.6.5. Suivi et revue.....	65
III.6.6. Enregistrement et élaboration de rapports.....	65

III.7. Conclusion.....	66
CHAPITRE IV : L’approche AHP et WPM pour un cas réel.....	67
IV.1. Introduction.....	68
IV.2. Principe de la méthode AHP.....	68
IV.3. Démarche de la méthode AHP.....	69
IV.4. La méthode WPM.....	71
IV.5. L’approche AHP et WPM pour l’évaluation des risques projets.....	72
IV.5.1. Définition de l’impact agrégé du risque.....	72
IV.5.2. Définition de la criticité pondérée du risque.....	73
IV.6. Etude de cas : projet de réalisation d’une installation des pipelines.....	74
IV.6.1. Présentation du projet.....	74
IV.6.2. Identification des risques.....	76
IV.6.3. Evaluation des risques.....	77
IV.6.3.1. Mise en œuvre de modèles de cotation de la probabilité d’occurrence P....	77
IV.6.3.2. Définition des poids de non détectabilité.....	77
IV.6.3.3. Calcul de l’impact des risques.....	78
IV.6.3.3.1. Établissement la matrice de décision de comparaison des critères.....	78
IV.6.3.3.2. Détermination de ratio de cohérence des critères.....	79
IV.6.3.3.3. Détermination de ratio de cohérence de critère délai.....	82
IV.6.3.3.4. Détermination de ratio de cohérence de critère coût.....	85
IV.6.3.3.5. Détermination de ratio de cohérence de critère qualité.....	88
IV.6.3.4. Calcul de la criticité pondérée des risques.....	91
IV.7. Conclusion.....	91
Conclusion générale et perspectives.....	92
Références	93

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Acteurs impliqués dans un processus de décision.....	19
Figure II.1. Arbre de la Sûreté de Fonctionnement.....	33
Figure II.2. 2 familles de risques.....	39
Figure III.1. Matrice de risque.....	60
Figure III.2. Réduction de risque.....	61
Figure IV.1. Hiérarchie de la décision.....	68
Figure IV.2. Structure hiérarchique de l'effet global des risques.....	72
Figure IV.3. La hiérarchisation de la criticité des risques.....	74
Figure IV.4. Carte du réseau de transport du gaz naturel.....	75
Figure IV.5. Les étapes de réalisation d'une installation de pipeline.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Echelles de gravité selon la norme ISO 14971.....	36
Tableau II.2. Echelles de fréquence d'occurrence selon la norme NF EN 50126.....	37
Tableau II.3. Matrice de criticité (G/O) - NF EN 50126.....	37
Tableau III.1. Exemples de mesures de prévention.....	62
Tableau III.2. Exemples de mesures de protection.....	63
Tableau IV.1. Echelle de mesure de la méthode AHP.....	69
Tableau IV.2. Valeurs de la cohérence aléatoire.....	71
Tableau IV.3. Ratio de cohérence acceptable.....	71
Tableau IV.4. La matrice de décision relative au calcul de l'impact des risques.....	73
Tableau IV.5. Définition de la pondération standard des risques.....	73
Tableau IV.6. Liste des risques identifiés.....	77
Tableau IV.7. Correspondance entre estimation déclarative et probabiliste.....	77
Tableau IV.8. Grille de cotation de la probabilité de non détection.....	77
Tableau IV.9. Probabilité d'apparition et non détectabilité des risques.....	78
Tableau IV.10. Tableau de comparaison des critères D/C/Q.....	78
Tableau IV.11. Matrice de décision entre les critères D/C/Q.....	78
Tableau IV.12. Matrice cohérente normalisée des critères D/C/Q.....	79
Tableau IV.13. Matrice de comparaison des risques pairs par rapport au délai.....	80
Tableau IV.14. Matrice de comparaison des paires (Délai).....	81
Tableau IV.15. Matrice cohérente normalisée de paramètre délai.....	82
Tableau IV.16. Matrice de comparaison des risques pairs par rapport au coût.....	83
Tableau IV.17. Matrice de comparaison des paires (Coût).....	84
Tableau IV.18. Matrice cohérente normalisée de paramètre coût.....	85
Tableau IV.19. Matrice de comparaison des risques pairs par rapport au qualité.....	86
Tableau IV.20. Matrice de comparaison des paires (Qualité).....	87
Tableau IV.21. Matrice cohérente normalisée de paramètre qualité.....	87
Tableau IV.22. Poids des risques suivant les paramètres : délai, coût et qualité.....	88
Tableau IV.23. Matrice de décision obtenue de l'impact des risques.....	89
Tableau IV.24. Impacts agrégés des risques.....	89
Tableau IV.25. Tableau de comparaison des paramètres P.O/I.A/N.D.....	89
Tableau IV.26. Matrice de décision entre les paramètres P.O/I.A/N.D.....	90
Tableau IV.27. Matrice cohérente normalisée des paramètres P.O/I.A/N.D.....	90

Tableau IV.28. Poids des paramètres P.O/ I.A/ N.D.....	90
Tableau IV.29. Hiérarchisation des risques identifiés.....	91

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AAE	Analyse par Arbre d'Événements
Add	Arbre de Défaillances
AHP	Analytic Hierarchy Process
AMDE	Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire de Risques
BDF	Blocs Diagrammes de Fiabilité
DEA	Data Envelopment Analysis
ELECTRE	Élimination et Choix Traduisant la Réalité
EN	European Norm
IRC	Importance Relative des Critères
ISO	International Organization for Standardization
MAUT	Multiple Attribute Utility Theory
MAVT	Multiple Attribute Value Theory
MBF	Maintenance Basée sur la Fiabilité
NF	Norme Française
OGM	Organismes Génétiquement Modifiés
PDAM	Prise de Décision à Attributs Multiples
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
RIP	Réalisation d'une Installation de Pipes
SAW	Simple Additive Weighting
SdF	Sûreté de Fonctionnement
SIRH	Système d'Information sur les Ressources Humaines
SST	Santé et Sécurité au Travail
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	Multicriteria Optimization and Compromise Ranking
WPM	Weighted Product Model

PRINCIPALES NOTATIONS

W	Vecteur d'importance relative (ou poids)
g_i	critères d'évaluation des colonnes i
g_j	Critères d'évaluation des lignes j
g_A	critère unique de synthèse
M	Matrice de décision
n	dimension d'une matrice
λ_{max}	valeur propre maximale
IC	L'indice de cohérence
R_c	Ratio de cohérence
C_a	Cohérence aléatoire
$P(A_K)$	Poids global d'alternative
a_{Kj}	Poids de l'alternative A_K
a_{Lj}	Poids de l'alternative A_L
w_j	Poids du critère j
w_i	Poids du critère i
I_{Ri}	Impact agrégé du risque
C	Criticité pondérée
PO	Probabilité d'Occurrence
ND	Non-DéTECTABILITÉ
P_p	poids de probabilité d'occurrence
P_i	poids de l'impact agrégé
P_{ND}	poids de non-déTECTABILITÉ

Introduction générale

Le transport des hydrocarbures, en Algérie, est à assurer à cent pour cent par l'entreprise nationale de transport et de la commercialisation des hydrocarbures (Sonatrach). Elle a pour missions de valoriser de façon optimale les ressources nationales d'hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays [1].

Parmi les activités de cette entreprise est la réalisation des systèmes de transport par canalisation des hydrocarbures, ce type de transport joue un rôle très important à Sonatrach pour le marché Algérien et le commerce international.

Pour tout projet de réalisation d'une installation de pipelines de transport d'hydrocarbures, une identification des risques doit être effectuée en même temps que les études techniques et économiques, de manière à déterminer suffisamment à l'avance toutes les alternatives possibles, et à s'assurer de la prise en compte de toutes les mesures de préservation et de protection nécessaires [2].

Les risques d'un projet deviennent d'autant plus préoccupants que les projets sont de plus en plus complexes, soit par leur nature technique, soit par la multiplicité des intervenants [3].

Dans le secteur de transport d'hydrocarbures, la complexité des projets de réalisation d'une installation de pipes est due aux différents types de risques suivants :

- financiers : coût supérieur à l'estimation, manque de budget, etc.
- humains : manque de compétences, absentéisme, conflits au sein de l'équipe, etc.
- temporels : retards des sous-traitants ou des fournisseurs, mauvaise estimation des délais, etc.
- techniques : pannes des engins, matériel obsolète, etc.
- juridiques : réglementations et lois à respecter, faillite d'un fournisseur, etc.
- environnementaux: impacts négatifs du projet sur l'environnement, ou environnement ayant un impact sur le projet (inondation, sécheresse, tempête...).

L'objectif de notre étude est d'introduire les deux approches AHP (Analytic Hierarchy Process) et WPM (Weighted Product Model) dans l'évaluation des risques projet en sélectionnant les risques par ordre d'importance affectant les étapes de réalisation d'un système de transport par canalisation de gaz naturel.

Nous structurons ce présent mémoire de thèse en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'état de l'art dans le contexte de d'analyse multicritère d'aide à la décision. Nous dévoilons dans ce chapitre les notions de décision, aide à la décision et les acteurs impliqués dans le processus de décision. Les principales méthodes multicritères sont présentées, dont la méthode d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse constituant la base de nos contributions dans le cadre de cette thèse. Les avantages et les limites de d'analyse multicritère seront discutés.

Le deuxième chapitre est dédié à une présentation des concepts et définitions de la Sûreté de Fonctionnement (SdF), le risque et la gestion des risques. Nous développons quelques méthodes de sûreté de fonctionnement ainsi les diverses typologie des risques

Nous détaillons dans le chapitre trois, les typologies des risques projet ainsi que le processus de management des risques projet. Les stratégies de réponse au risque sont présentées, en décrivant les différentes solutions pour le traitement de risque.

Dans le quatrième et le dernier chapitre, nous présentons le principe des deux méthodes AHP et WPM. Pour cela, nous introduisons les deux approches dans un projet réel de réalisation d'un système de transport par canalisation de gaz naturel afin de déterminer les risques critiques menaçant l'aboutissement des objectifs projets.

CHAPITRE 1

Etat de l'art sur l'analyse multicritère d'aide à la décision

I.1. Introduction

La plupart des problèmes de décision qu'ils soient économiques, industriels, financiers ou politiques sont de nature multicritère, l'existence d'une pluralité de critères utilisés est le signe manifeste de la complexité des problèmes de choix [4].

Les méthodes multicritères sont des outils d'aide à la décision, leur développement a débuté dans le contexte militaire depuis les années 1960 pour deux raisons essentielles :

l'amélioration de la gestion et la fourniture des moyens nécessaires pour les soldats [5].

Dans ce que suit nous détaillons les notions de décision et les acteurs impliqués dans le processus de décision.

Avant de présenter une revue de littérature sur l'intégration de l'approche AHP avec d'autres méthodes, nous décrivons les principales méthodes multicritères ainsi les avantages et les limites de ces méthodes.

I.2. Qu'est-ce qu'une décision ?

Le mot décision prend son origine étymologique du mot latin « *decidere* » qui signifie « trancher » [6]. Le dictionnaire Robert l'a définie comme « la fin de délibération dans l'acte volontaire de faire ou de ne pas faire » [7]. La compare à un processus chaotique issu de nombreuses confrontations entre des systèmes de préférence de plusieurs personnes. Cette définition renvoie ainsi à deux aspects de cet acte :

- inhérent au processus de décision (délibération, confrontation), se baser sur une multiplicité de choix et est généralement imprégné d'hésitation ;
- aspect qui se rapporte aux personnes ou aux groupes censés émettre cette décision.

Les différentes confrontations permettent d'aboutir à la décision. Ces confrontations sont fondées sur des actions de régulation compensatrices propres au concept de système. D'autres auteurs ont fait référence à d'autres types de décision. En fonction de la situation, les décisions peuvent être automatiques, habituelles ou urgentes [8]. En fonction des conditions de temps et d'espaces dans lesquelles la décision est émise, elle peut être émergente, anticipée ou occurrente [9].

Marle [10], définit la décision comme étant un « choix humain effectué entre plusieurs alternatives ». Le terme décision correspond à la fois au processus de prise de décision, autrement dit aux actions qui amènent à la décision et au résultat de ce processus qui est la décision elle-même. On peut également discuter de la difficulté de faire un choix optimal entre différentes alternatives sur la base des connaissances disponibles [11,12].

I.3. Aide à la décision

Selon Roy et Bouyssou [13], l'aide à la décision est définie comme l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à recommander, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. Pour cette raison Chakhar [14], a défini que l'aide à la décision ne relève que de façon très partielle de la recherche d'une vérité.

Les théories ou, plus simplement, les méthodologies, les concepts, les modèles, les techniques sur lesquels elle s'appuie ont, le plus souvent, une ambition différente : raisonner le changement que prépare un processus de décision de façon à accroître sa cohérence avec les objectifs et le système de valeurs de celui pour qui ou au nom de qui l'aide à la décision s'exerce. En effet, Martel [15], soutient le fait qu'une activité d'aide à la décision implique un minimum d'insertion dans le processus de décision : elle se fait essentiellement avec les acteurs du processus dans l'établissement d'une véritable relation d'aide. Dans ce sens, Landry [16], remarque que le succès d'une démarche d'aide à la décision dans une organisation nécessite la compréhension de l'ensemble du processus de décision dans lequel s'insère cette aide, ce qui implique une capacité d'appréhender adéquatement le problème qui justifie l'origine et qui alimente par la suite ce processus.

I.4. Les acteurs impliqués dans le processus de décision

Considérons une réalité humaine de système social particulier. Les acteurs impliqués dans un processus de décision sont respectivement: [17]

- le décideur (D),
- l'homme d'étude (HE) ou l'analyste, ou ingénieur de la décision,
- le personnel opérationnel et technique du système (T),
- les agis, qui bénéficient ou subissent les décisions prises (A).

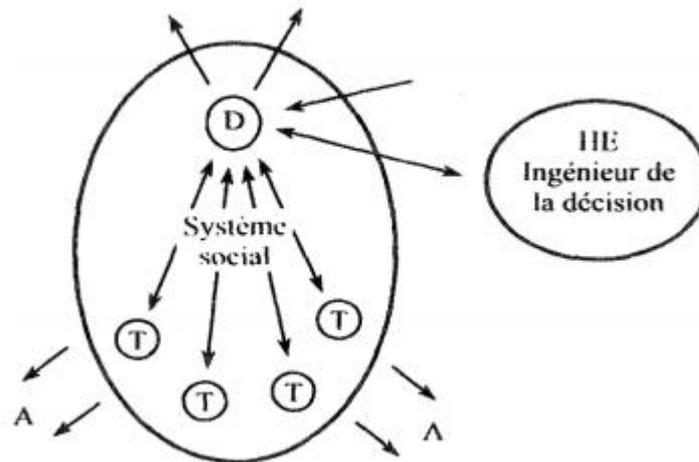


Figure I.1. Acteurs impliqués dans un processus de décision [17].

Les acteurs qui nous intéressent ici sont respectivement le décideur et l'analyste. Ces acteurs ne sont pas nécessairement des personnages uniques. Le décideur peut être un conseil d'administration, l'ensemble des responsables d'une entreprise...etc. d'autre part, l'homme d'étude peut se composer d'une équipe comprenant (des ingénieurs, des mathématiciens, des économistes, des psychologues, des sociologues,...). L'homme d'étude n'est présent que dans la mesure où le décideur fait appel à lui. Il peut appartenir au système social ou non. Si ce n'est pas le cas, ce peut être un bureau d'experts consulté pour l'analyse d'un problème [17].

- Le décideur (decision maker en anglais) :

Un décideur est un individu (ou un groupe d'individus) qui face à une situation de décision, a la responsabilité d'évaluer les différentes alternatives possibles afin de proposer ou de mettre en œuvre une solution (ou des solutions). Une des tâches importantes du décideur est de se dévoiler ses jugements personnels, de s'en convaincre lui-même, et de décider [18].

- L'analyste (analyst en anglais) ou l'homme d'étude :

L'analyste c'est le responsable de la définition du modèle de décision, de la conduite du processus de décision, et de la présentation des résultats au décideur. Les activités de l'analyste concernent donc la formulation et l'analyse qualitative et quantitative du problème. L'interaction entre l'analyste et le décideur est une caractéristique intrinsèque au processus de décision. Le niveau de cette interaction dépend généralement du niveau de connaissance du décideur, de sa volonté à participer au processus, de la règle de décision à appliquer et de la nature du problème [19].

I.5. Procédure d'agrégation

C'est une procédure qui permet de comparer deux actions quelconques d'un ensemble A d'actions en prenant en compte (de façon globale) les performances de chacune d'elles selon tous les critères d'une famille donnée [20].

I.6. Approche monocritère et multicritère

Les premières réflexions sur la décision ont été émises par les penseurs et philosophes des siècles passés comme Aristote, Platon et Thomas Aquinas, Benjamin Franklin, etc., qui considéraient déjà qu'une décision complexe était intrinsèquement liée à une pluralité de points de vue pouvant être grossièrement définie comme des critères. Toutefois, pendant de nombreuses années, la seule façon d'énoncer un problème de décision était de le définir sur un critère unique (monocritère) fournissant les aspects multidimensionnels d'une situation de décision dans une seule échelle [21]. Nous avons exposé une présentation des deux approches (monocritère et multicritère) en analysant leurs avantages et leurs inconvénients.

I.6.1. Approche monocritère

L'approche monocritère comme son nom l'indique est un problème décisionnel lorsque la prise de décision se base sur un seul critère. Selon Schârlig [7], l'approche monocritère appréhende les situations décisionnelles en ne considérant qu'une seule dimension, un seul aspect de ces situations. Elle est fondée sur le principe de rationalité «pure» de la décision qui sous-tend l'optimisation d'un critère unique donné, d'où le nom de monocritère. La prise en compte d'un seul critère présente l'avantage d'élaborer des modèles généralement bien structurés et mathématiquement bien posés. D'après Roy [22], elle est basée sur le postulat selon lequel dans toute situation devant entraîner une décision, il existe au moins une décision, qui avec suffisamment de temps et de moyens, puisse être objectivement démontrée comme étant optimale et ceci en restant neutre par rapport au processus de décision.

L'optimisation est sous-tendue par trois contraintes: la globalité, la stabilité et la complète comparabilité transitive. Dans ce contexte, l'approche monocritère consiste à comparer les projets sur la base d'un aspect qui sera le plus souvent la dimension économique. Les projets ayant les coûts les moins élevés ou ceux avec les meilleurs profits sont favorisés dans cette approche. Selon Zeleny [23], cette discipline a connu divers développements au cours du temps et a vu son champ d'intérêt s'accroître au fur et à mesure. En premier lieu, elle a émergé durant la deuxième guerre mondiale en réponse aux préoccupations du moment et était centrée sur les problèmes tactiques de défense nationale.

En deuxième lieu, elle s'est intéressée à l'analyse des contextes relatifs au domaine industriel en mettant l'accent. L'auteur Zeleny [23], s'appuie sur l'efficacité qu'il définit comme

l'accomplissement d'une certaine tâche de la meilleure façon possible, et ce, en regard d'un critère unique prédéterminé. Les principaux concepts de la recherche opérationnelle ainsi développés dans les années cinquante, se sont de plus en plus affinés et ont été de plus en plus appliqués dans les années soixante.

I.6.2. Approche multicritère

L'approche multicritère a comme principale caractéristique de formaliser (ou modéliser) la préparation des décisions. Elle améliore la transparence du processus de décision. Ensuite, elle définit, précise et met en évidence la responsabilité du décideur dès que ce dernier prend en compte la complexité de la réalité et se base sur plusieurs critères, de son point de vue, le problème devient alors multicritère. Pour cette raison Vincke [24], souligne que l'analyse multicritère a pour objet d'accompagner le décideur dans son processus décisionnel, et ce, en élaborant des outils qui permettent de rendre compte et de prendre en compte la multiplicité des aspects relatifs à ce contexte. En d'autres termes, l'approche multicritère aide le décideur, tout en tenant compte des contraintes de l'environnement, à évoluer dans la recherche du compromis le plus satisfaisant entre plusieurs objectifs. Cette recherche est censée se faire pour et avec le décideur, qui devient, selon Aouni [25], la pierre angulaire des modèles développés en aide multicritère à la décision. Ainsi, l'aide à la décision multicritère est étroitement liée à la façon dont les humains prennent des décisions. Par conséquent, et en dépit de la diversité des approches, méthodes et techniques, les éléments ou paramètres de base d'aide à la décision multicritère sont très simples ; à savoir : un ensemble fini (ou infini dans le cas continu) de mesures (alternatives, actions ou solutions potentielles), au moins deux critères, des objectifs et, évidemment, au moins un décideur. Compte tenu de ces éléments de base, l'aide à la décision multicritère est une activité qui contribue à la prise de décisions notamment en termes de choix, classification ou de tri des alternatives ou actions potentielles [21].

I.7. Les principales méthodes multicritères

La littérature en aide multicritère à la décision renferme de nombreuses méthodes. Roy [22], a regroupé ces dernières dans trois catégories principales représentant chacune d'entre elles des approches différentes. Ces catégories se présentent comme suit :

I.7.1. Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse

Selon Roy [22], cette approche est la plus classique. Les méthodes appartenant à cette catégorie sont généralement désignées sous le nom des méthodes d'agrégation complète. Elles consistent à agréger l'ensemble des critères, de manière à obtenir une fonction critère unique

qui synthétise cet ensemble. Ainsi, cette fonction à optimiser, qui peut être par exemple une fonction d'utilité ou de valeur, agrège les préférences locales, au niveau de chaque critère ou attribut. En d'autres termes, ceci revient, selon Schärliig [7], à transformer un problème multicritère en un problème monocritère. Cependant, il est important de ne pas confondre analyse multicritère et analyse monocritère. Roy [22], souligne à ce sujet, que même lorsqu'une analyse multicritère s'achève par l'agrégation des critères en un critère unique, celle-ci diffère d'une analyse monocritère. Il considère que cette dernière prend a priori comme référence un critère unique en faisant l'économie de la détermination de l'ensemble des critères pertinents eu égard au contexte décisionnel en présence.

Dans cette famille de méthodes, qui évacuent selon Roy [22] toute incomparabilité entre les actions, nous retrouvons différentes méthodes d'inspiration anglo-saxonne telles que : la méthode de l'utilité multiattribut [18], et la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) de Saaty [26].

- MAVT : Multiple Attribute Value Theory

La méthode MAVT, développé par Keeney et Raifa [18], repose sur l'idée fondamentale suivante : tout décideur essaie inconsciemment (ou implicitement) de maximiser une fonction $V = V [g_1, \dots]$ qui agrège tous les attributs. La particularité de cette méthode réside dans l'idée de construction d'une fonction de valeur partielle pour chaque attribut. La meilleure action sur un attribut aura une valeur partielle (par rapport à l'attribut étudié) égale à 1 et la pire des actions aura une valeur partielle égale 0 [27].

- MAUT : Multiple Attribute Utility Theory (La théorie de l'utilité multi-attribus)

Cette méthode, développée aussi par Keeney et Raifa [18], repose sur la même idée que la méthode MAVT. En revanche, elle s'applique dans le cas où les évaluations des actions par rapport aux attributs sont imprégnées d'incertitude (aléatoire). A ce moment, on parle de fonction d'utilité et non plus de fonction de valeur. La méthode MAUT s'applique alors dans un contexte caractérisé par un ensemble d'actions explicite (fini), une articulation a priori des préférences, et un univers incertain (les évaluations des actions par rapport à chaque attribut sont incertaines). La méthode MAUT exige les mêmes étapes que la méthode MAVT [27].

- AHP : Analytic Hierarchy Process

La méthode AHP, inventée et développée par Saaty en 1980 [26], permet de décomposer un problème complexe en un système hiérarchique, dans lequel sont établies des combinaisons binaires à chacun des niveaux de la hiérarchie. Classant hiérarchiquement les situations que rencontre l'entreprise, le décideur peut en déduire des priorités relatives, en faire une synthèse

plus facile à appréhender et s'en servir pour allouer efficacement ses ressources et définir les objectifs prioritaires dans une meilleure cohérence.

I.7.2. Les méthodes de surclassement selon l'approche du surclassement de synthèse

A l'inverse de la première catégorie, cette classe de méthodes accepte, selon Roy [22], considéré généralement comme le fondateur de ces méthodes, l'incomparabilité entre les différentes actions. Les méthodes appartenant à cette approche, d'inspiration française, sont appelées également les méthodes d'agrégation partielle. Cette appellation est due au fait que ces méthodes procèdent, généralement, par paires d'actions. En effet, les actions sont comparées deux à deux pour pouvoir vérifier l'existence d'une relation de surclassement ou pas. Une fois toutes les actions comparées de cette façon, une synthèse de l'ensemble des relations binaires est élaborée afin d'apporter des éléments de réponse à la situation décisionnelle posée. Il est à souligner qu'en général, ce type de méthodes s'applique aux cas où l'ensemble des actions est fini.

Parmi les méthodes de surclassement les plus connues, nous retrouvons la méthode ELECTRE de Roy [22], ainsi que les divers développements qu'elle a connus et la méthode PROMETHEE de Brans [28].

- PROMETHEE: Preference ranking organization method for enrichment evaluations

PROMETHEE est une famille de méthodes d'aide à la décision multicritère développée en Belgique. Depuis 1983, les méthodes PROMETHEE ont connu de nombreuses évolutions à l'initiative de leurs auteurs Brans et al. [28]. Elles se basent sur une extension de la notion de critère par l'introduction d'une fonction exprimant la préférence du décideur pour une action par rapport à une autre action.

- Electre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité

Cette méthode, inventée par Roy [22], relève de la problématique de choix (P_a) [29]. Elle vise à obtenir un sous-ensemble N d'actions tel que toute action qui n'est pas dans N elle est surclassé par au moins une action de N . N est appelée le noyau du graphe de surclassement : c'est le siège des actions non surclassées. Ce sous-ensemble (qu'on rendra aussi petit que possible) n'est pas donc l'ensemble des bonnes actions, mais c'est l'ensemble dans lequel se trouve certainement le meilleur compromis recherché.

- Electre II

Electre II a été mise au point en 1973. Cette version relève de la problématique de rangement P_γ (la procédure d'investigation est une procédure de classement). Elle vise à ranger les actions de la meilleure à la moins bonne [30].

- Electre III

Cette version, mise au point en 1978, relève de la problématique de rangement P_γ (procédure de classement). Son but est de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes", la méthode s'appuie sur la définition d'une relation de surclassement S permettant de comparer deux actions a et b distincts [30].

I.7.3. Les méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif

Les méthodes interactives sont également appelées méthodes d'agrégation locale et itérative. Cette appellation renvoie au fait que ces dernières procèdent, en premier lieu, par la détermination d'une solution de départ. Elles effectuent ensuite une recherche dans l'environnement de cette solution pour essayer d'aboutir à un meilleur résultat, d'où le qualificatif de locale. Ce procédé étant généralement répétitif et progressif, le terme itératif a été également utilisé pour qualifier les méthodes interactives [7]. Ainsi ces dernières permettent de modéliser les préférences du décideur de manière séquentielle et itérative. En effet, elles s'attachent à révéler progressivement la structure des préférences du décideur, en alternant des phases de calcul et de dialogue. Cette succession d'étapes a pour finalité d'arriver à un compromis final qui puisse satisfaire le décideur [31].

I.8. Les avantages et les limites de l'analyse multicritères

I.8.1. Avantages

- Trouver une solution dans des situations complexes

L'avantage le plus important de l'analyse multicritère est sa capacité à pouvoir simplifier des situations complexes. Il est en effet admis qu'au-delà de quelques critères, la plupart des décideurs ne sont plus capables d'intégrer la totalité de l'information dans leur jugement. L'analyse multicritère permet alors en décomposant et en structurant l'analyse de procéder pas à pas à la recherche d'une solution, en toute transparence.

- Une méthode compréhensible

Même si les outils mathématiques utilisés pour traiter l'information peuvent être complexes, les bases sur lesquelles s'effectuent les choix des critères et la notation des performances sont en revanche souvent simples, compréhensibles et mis au point par le groupe qui conduit l'analyse. De ce fait, les acteurs impliqués dans le processus ont une bonne visibilité de la démarche et des choix opérés successivement.

- Une méthode rationnelle

Grâce à une approche homogène et simultanée lors de l'évaluation d'un grand nombre d'objets, la méthode permet également une appréciation stable des différents éléments entrant dans l'analyse. En ce sens, elle rationalise le processus conduisant aux choix.

- Un outil de négociation utile aux débats complexes

Du fait de ses avantages, l'analyse multicritère est devenue un outil très utilisé dans la résolution de problèmes complexes, dans des contextes conflictuels comme l'aménagement du territoire par exemple. La clarté de la méthode permet de " dépassionner " le débat et de surcroît, de développer la communication entre les acteurs. Elle constitue ainsi un outil de négociation utile aux débats entre les usagers [32].

I.8.2. Limites

- Conditions préalables

Un minimum de points d'accord entre les acteurs est un préalable indispensable à l'analyse. Ainsi, par exemple, une analyse multicritère des objectifs opérationnels d'un programme ne peut être conduite que si les acteurs sont d'accord avec l'objectif global et si possible l'objectif spécifique du programme. Par exemple, il faut que les acteurs soient d'accord sur la nécessité d'améliorer la circulation automobile dans un secteur pour envisager de les faire travailler sur les variantes d'un projet routier.

- Lourdeurs des débats

Les difficultés opérationnelles pour choisir des actions ou des variantes à étudier, pour définir des critères de comparaison et pour produire des grilles de notation, ne sont pas à sous estimer. Les débats pour résoudre ces points essentiels à la réussite de l'exercice peuvent parfois être très longs et compliqués.

- Disponibilité des données

Le manque de données fiables, sur une durée suffisante pour mettre en place et valider les méthodes peut se révéler être un handicap dans certaines situations.

- Facteur temps

La durée de réalisation des analyses (et leur coût) est souvent le facteur le plus limitant dans le cadre d'une évaluation. Les analyses multicritères sont souvent basées sur des processus lents et itératifs, qui peuvent nécessiter une part de négociation importante et de longue durée. Dans le cadre de l'évaluation, ce besoin de temps peut s'avérer être une limite.

Technicité de la méthode

La technicité nécessaire à une bonne conduite de la démarche est évidente. Outre les outils informatiques qu'il faut savoir manier, les concepts ainsi que les méthodes mathématiques

d'agrégation des données nécessitent un savoir-faire de haut niveau pour ne pas produire des conclusions erronées ou conduire l'analyse dans la confusion.

- Dimension subjective de l'analyse

Enfin, bien que l'analyse multicritère rationalise sans contester l'approche des problèmes complexes, incluant des données objectives et subjectives, il n'en demeure pas moins qu'elle peut être considérée, par ses détracteurs, comme une approche subjective [32].

I.9. Etat de l'art sur l'intégration de l'approche AHP avec d'autres méthodes

Plusieurs auteurs ont exploité l'approche AHP et ont intégrées avec d'autres méthodes pour atteindre différents objectifs, on peut citer :

Al-Subhi Al Harbi [33], a appliqué AHP dans le domaine de la gestion de projet pour sélectionner le meilleur entrepreneur. Il a construit une structure hiérarchique pour les critères de pré-qualification et les entrepreneurs qui souhaitent se qualifier pour le projet. Au total, cinq entrepreneurs ont été considérés dans l'étude de cas. Chacun des contractants a été comparé par paires avec l'autre pour les différents critères «expérience, stabilité financière, performance qualité, ressources en main-d'œuvre, ressources en équipement et charge de travail actuelle».

Badri et al., [34], proposent une nouvelle approche basée sur les facteurs de risque comportant huit étapes et permettant l'intégration des risques de santé et sécurité au travail (SST), basée sur l'identification des éléments de risque et sur un nouveau concept de concentration pondérée des facteurs de risque par comparaison multicritères utilisant la méthode AHP et le logiciel Expert Choice. L'identification et l'évaluation des risques SST sont intégrées en amont dans le processus d'analyse des risques afin d'augmenter l'efficacité des mesures préventives prises au début de projet.

L'approche proposée permet de hiérarchiser rapidement les risques identifiés et permet aux évaluateurs d'identifier d'autres causes potentielles d'événements indésirables sans annuler l'effort de compilation des éléments de risque précédent. La simplicité de l'approche devrait faciliter son utilisation dans les petites et moyennes entreprises sans nécessiter un investissement majeur.

L'approche proposée par Ben Romdhane et al., [35], consiste à remplacer le calcul de criticité totale de la méthode d'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et leurs

criticités (AMDEC) par un moteur d'inférence floue délivrant cinq criticité différentes qui mesurent efficacement et séparément l'impact d'une défaillance sur les personnels, l'environnement, les équipements, la production et le management. Afin d'affiner la pertinence de la prise de décision, les auteurs ont utilisé la méthode multicritères AHP pour construire une matrice de criticité.

Wang et al., [36], proposent une nouvelle méthodologie intégrée AHP-DEA pour évaluer les risques de centaines de structures de ponts.

La méthodologie AHP-DEA proposée utilise uniquement l'AHP pour déterminer les poids des critères, des termes linguistiques tels que Elevé, Moyen, Faible et Aucun pour évaluer les risques de pont sous chaque critère, modèle DEA avec des pondérations communes pour déterminer les valeurs des termes linguistiques, et la méthode de pondération additive simple pour agréger les risques liés aux ponts selon différents critères en une note de risque globale de chaque structure de pont.

Kanyarat et al., [37], ont mené une étude sur les facteurs de sécurité du système d'information sur les ressources humaines (SIRH) où le processus d'analyse hiérarchique (AHP) est utilisé comme outil, et l'importance de chaque facteur influençant le climat de travail a été explorée. . Le résultat expérimental de cette étude montre que le facteur trouvé le plus important est la confidentialité suivie de la non répudiation et de la vie privée. Cependant, la nature de l'organisation peut influencer la variabilité des rangs des facteurs. De plus, l'aspect le plus important pour soutenir la sécurité est la gestion, suivie de la technologie et de la culture organisationnelle. La priorité de chaque facteur a été reflétée par les classements obtenus pour les entreprises pour atteindre le climat de travail ouvert. Pour donner un aperçu des préoccupations managériales, les facteurs organisationnels favorisant la sécurité du SIRH ont été classés.

Sur la base de l'approche AHP, Anna et Wojciech [38], dans leurs article intitulé (Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method.) Ont confirmé l'adéquation d'une méthode multi-critères pour déterminer le meilleur itinéraire utilisé dans la ville de Szczecin (Pologne). Les paramètres de remorquage ont été sélectionnés, le point de départ et le point de destination de la cargaison surdimensionnée dans la ville de Szczecin sur la base des données disponibles concernant l'état de la route et

l'infrastructure du tramway ainsi que les projets d'ingénierie en cours. Conformément à ces hypothèses, trois itinéraires alternatifs ont été sélectionnés pour le transport de marchandises surdimensionnées. Le résultat de cette recherche basée sur la conduite de la méthode AHP et le développement de l'arbre de hiérarchie montre que la priorité générale la plus élevée est donnée par la route T3 (0,6750), ce qui signifie que c'est la route la plus préférée pour le transport de cette cargaison surdimensionnée à travers la ville de Szczecin. Le transport de marchandises surdimensionnées sur cet itinéraire aura le plus faible impact sur la qualité de vie des habitants de la ville, en limitant la congestion, les dommages à la verdure urbaine et aux infrastructures routières, l'importance de ces dernières étant également la sécurité de toutes les personnes participant au trafic dans la ville.

L'article de Devatha et Kumar [39], présentent une procédure logique qui est utilisée pour gérer un ensemble d'alternatives pour atteindre le modèle de culture rabi grâce à une approche de prise de décision à attributs multiples (PDAM). La zone d'étude concerne le distributeur de banahil du canal de branche akaltara de Hasdeo Bango Irrigation Command, district de Janjgir Champa, Chattisgarh, Inde. Il couvre 8 villages du bloc Akaltara et 14 villages du bloc Pamgarh dans le district de Janjgir-Champa. Les résultats obtenus par l'approche PDAM sont évalués et comparés aux résultats du progiciel d'optimisation standard LINGO. Le résumé de cette recherche peut être énoncé comme suit:

1. Différents types d'attributs tels que. La superficie cultivée, l'utilisation de l'eau, le prix de vente des cultures, le coût de la culture et la production agricole ont été décidés pour chaque culture en fonction de l'importance d'un modèle de culture optimal à partir des informations recueillies.
2. Quatre méthodologies à savoir: Simple Additive Weighting (SAW), Weighted Product Method (WPM), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) de MADM ont été utilisées pour faire le modèle de culture.
3. Les résultats obtenus par SAW et WPM étaient légèrement différents, peut-être en raison des poids affectés à chaque attribut, mais pas en comparaison avec les attributs.
4. Les résultats obtenus par TOPSIS et PROMETHEE ont montré un bon jugement dans le classement des alternatives. Ces méthodes se sont révélées efficaces pour acquérir diverses informations d'attributs pour la comparaison, le classement et la sélection du modèle de culture optimal. Cette méthode vous permet d'ajouter ou de négliger n'importe quel attribut en

fonction de l'importance des critères. Il permet au décideur de modifier ou de sélectionner l'importance des critères par rapport à l'objectif de l'étude.

5. Les résultats de MADM ont été évalués par rapport aux résultats du modèle LINGO et ils sont satisfaisants. Des décisions rapides peuvent être prises sur la base de l'approche MADM.

6. Dans la méthode PROMETHEE, la fonction de préférence est développée et des relations de surclassement ont été établies entre les alternatives à travers lesquelles le classement des alternatives est effectué de la meilleure à la pire en utilisant les valeurs de flux net.

7. Les résultats de MADM ont été évalués par rapport aux résultats du modèle LINGO et ils sont satisfaisants. Des décisions rapides peuvent être prises sur la base de l'approche MADM car le temps de calcul requis est inférieur à celui de la PNL.

I.10. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons passé en revue des différents travaux liés à l'aide à la décision multicritère.

D'abord, nous avons défini la décision, l'aide à la décision et les acteurs impliqués dans le processus de décision. Ainsi, nous avons abordé les deux approches monocritères et multicritères. Ensuite, nous avons détaillé les trois catégories d'aide à la décision multicritère dont la méthode d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse constituant la base de nos contributions dans le cadre de cette thèse. En conséquence, nous avons souligné les principaux avantages et limites de l'analyse multicritères, ensuite nous avons présentés une revue de littérature sur l'exploitation et l'intégration de l'approche AHP avec d'autres méthodes pour atteindre différents objectifs.

CHAPITRE 2

Sûreté de fonctionnement et gestion des risques

II.1. Introduction

Les activités industrielles et humaines font presque quotidiennement les grands titres des actualités avec leurs cortèges d'incidents, d'accidents ou d'événements catastrophiques. En effet, le zéro défaut ou le risque zéro n'existe malheureusement pas pour les activités industrielles à cause de l'occurrence de défaillances humaines ou matérielles [40].

Toutefois, pour tenter de réduire les risques à un niveau le plus faible possible et acceptable, des méthodes, des techniques et des outils scientifiques ont été développés dès le début du 20^{ème} siècle pour évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se produisent [40].

Dans ce chapitre, nous allons définir certaines notions telles que la sûreté de fonctionnement, le risque et le danger. On abordera ensuite les différentes méthodes de sûreté de fonctionnement, classification du risque et les principales phases de gestion des risques. Les diverses typologie des risques seront présentées.

II.2. Notions fondamentales

II.2.1. Sûreté de fonctionnement

II.2.1.1. Historique

Les problèmes de sûreté de fonctionnement existent depuis très longtemps, dès qu'un système a pu défaillir ou tomber en panne. Mais au départ, aucune étude spécifique de sûreté de fonctionnement n'était appliquée [41].

C'est dans les années 1930 que la première collecte d'informations statistiques sur des moteurs et des accidents d'appareils a été conduite dans le secteur du transport aérien.

Entre 1939 et 1942, on a vu apparaître les tous premiers objectifs quantifiés donnés par le capitaine A.F. Pugsley de la 7^{ème} brigade d'infanterie canadienne. Il évalua des taux de défaillances à hauteur de 10^{-5} /h pour les avions et 10^{-7} /h pour leurs structures. Puis dans les années 1940, des techniques de fiabilité commencèrent à se développer, avec notamment la conception des V1 en Allemagne ou encore celle des moteurs de traction des locomotives aux Etats-Unis.

Dans les années 1950, le concept de maintenance fait son apparition [42]. On assiste également aux toutes premières études sur la fiabilité humaine pour les nouvelles centrales nucléaires. A la même époque, des travaux de recueil de données de fiabilité électronique sont entamés.

A partir de 1960, les industries aéronautiques et spatiales firent des analyses relatives aux défaillances de composants. Le département de la défense américain (DoD) promulgua les premières vraies exigences de Sûreté de Fonctionnement suite à des accidents sur missiles. En 1961, les laboratoires Bell utilisent le nouveau concept d'arbre des causes sur le projet du missile Minuteman [43]. Cette technique va directement être reprise par Boeing. En France, la méthode des combinaisons de pannes est utilisée sur le projet Concorde, puis sur Airbus.

En 1962, l'Académie des Sciences accueille le mot « fiabilité » dans sa terminologie.

A partir de 1970, les premiers travaux sur la fiabilité des logiciels [44], commencent et de nombreuses études sont menées dans le domaine du nucléaire. Nous pouvons citer, par exemple, le rapport américain Rasmussen [45], sur les risques nucléaires des centrales de Surry 1 et Peach Bottom 2. En 1979, la catastrophe nucléaire de Three Miles Island [46], motive encore plus le développement d'outils de sûreté de fonctionnement. Puis, progressivement, les techniques de sûreté de fonctionnement vont largement se diffuser et s'étendre à de plus en plus de domaines : la chimie, le ferroviaire, l'automobile, le traitement et l'épuration de l'eau, et l'ensemble des grands secteurs industriels.

II.2.1.2. Définitions

La sûreté de fonctionnement concerne tous les domaines techniques, tous les génies. Elle a pour finalité le maintien du bon fonctionnement d'un système, d'un produit ou d'un de ses constituants, dans le temps, tout au long de son cycle de vie. La sûreté de fonctionnement est perçue à travers différents attributs : la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité, ou encore la sécurité. Son étude est devenue fondamentale pour les systèmes critiques, où un dysfonctionnement peut engendrer un risque humain ou financier important. Elle s'applique également aux systèmes d'information, où là encore un dysfonctionnement peut causer un risque financier conséquent, mais également un risque social.

Laprie & al. [47], a défini la sûreté de fonctionnement d'un système comme étant « la propriété qui permet à ses utilisateurs de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre », où un utilisateur est un autre système (humain ou physique) qui interagit avec le système considéré et où le service délivré est le comportement du système tel que perçu par ses utilisateurs.

Un bon moyen pour présenter la sûreté de fonctionnement est de s'appuyer sur l'arbre de la sûreté de fonctionnement [48], présenté en Figure II.1.

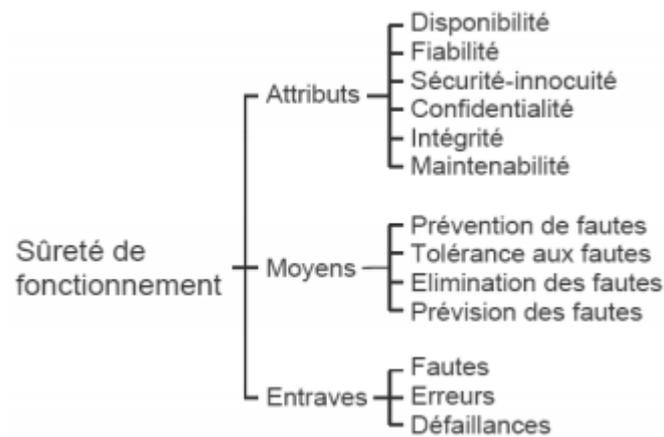


Figure II.1. Arbre de la Sûreté de Fonctionnement [48].

Ainsi, la sûreté de fonctionnement possède différents aspects : ses attributs, sur lesquels un concepteur mettra plus ou moins l'accent suivant le type d'utilisation du système :

- le fait d'être prêt à l'utilisation conduit à la disponibilité,
- la continuité du service conduit à la fiabilité,
- la non-occurrence de conséquences catastrophiques pour l'environnement conduit à la sécurité-innocuité,
- la non-occurrence de divulgations non-autorisées de l'information conduit à la confidentialité,
- la non-occurrence d'altérations inappropriées de l'information conduit à l'intégrité,
- l'aptitude aux réparations et aux évolutions conduit à la maintenabilité.

La Sûreté de Fonctionnement vise principalement à réduire le plus possible le nombre de défaillances d'un système. Autrement dit, elle fait en sorte que le système délivre au maximum les services normalement prévus, sans qu'ils dévient de leurs objectifs respectifs. Or, il est possible que des erreurs viennent perturber le bon fonctionnement du système et fassent défaillir le système. On définit d'ailleurs une erreur comme la partie de l'état du système susceptible d'entraîner une défaillance.

La sûreté de fonctionnement met à disposition différents moyens pour limiter la présence de fautes, et donc éviter l'occurrence de défaillances :

- la prévention des fautes : qui s'attache à empêcher l'occurrence ou l'introduction de fautes,
- la tolérance aux fautes : qui fait en sorte que le système délivre toujours un service acceptable, même en présence de fautes,
- l'élimination des fautes : qui veut réduire la présence (nombre, sévérité) des fautes,

- la prévision des fautes : qui cherche à estimer la présence, la création et les conséquences des fautes.

Pour résumer, les attributs de la sûreté de fonctionnement – disponibilité, fiabilité, sécurité-innocuité, confidentialité, intégrité et maintenabilité – correspondent aux propriétés du système liées à la sûreté de fonctionnement [49].

II.2.1.3. Quelques méthodes de sûreté de fonctionnement

Les principales méthodes de sûreté de fonctionnement consistent en des analyses des défaillances du système, de ses sous-systèmes et de ses composants pour déterminer leurs causes et estimer leurs conséquences sur le service rendu par le système. Ces analyses peuvent être qualitatives ou quantitatives, et elles se conforment à l'une des deux approches suivantes :

- L'approche **inductive** : qui correspond à un raisonnement du particulier vers le général, où l'on recherche les effets d'une défaillance sur le système ou son environnement.
- L'approche **déductive** : qui correspond à un raisonnement du général vers le particulier, où l'on recherche les causes possibles d'une défaillance.

Nous présentons ci-dessous quelques méthodes classiques de la sûreté de fonctionnement.

L'objectif n'est pas d'être exhaustif. Pour une revue complète des différentes méthodes de sûreté de fonctionnement, le lecteur est invité à consulter Villemeur [50].

- **Blocs – Diagrammes de Fiabilité (BDF)** : méthode graphique servant à visualiser les sous-ensembles d'un système pour en faire apparaître la façon dont ils contribuent aux différentes fonctions du système. Elle montre notamment les redondances, les éléments qui contribuent à une même fonction et les éléments de secours nécessaires. Elle sert de base à des analyses de fiabilité, de sécurité, de maintenabilité et de disponibilité.

- **Allocation de fiabilité** : pour décliner les objectifs de fiabilité spécifiés au niveau d'un produit complexe (par exemple le système) en objectifs applicables à différents niveaux de l'arborescence technique ou fonctionnelle du produit.

- **Analyse préliminaire de risques (APR)** : pour identifier les points du système qui peuvent être critiques pour la sécurité, évaluer les risques correspondants, les scénarios associés et définir les critères de conception à appliquer [51].

- **Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE) et Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)** : méthodes d'analyse inductive et rigoureuse ayant pour buts d'identifier les défaillances dont les conséquences peuvent

affecter le fonctionnement d'un système, et – pour l'AMDEC – de les hiérarchiser selon leur niveau de criticité afin de les maîtriser [52].

- **Méthode de l'Espace des Etats** : pour évaluer les principales caractéristiques de fiabilité et de disponibilité d'un système réparable.

- **Analyse par arbre de défaillances (AdD)** : permet une analyse déductive des causes techniques ou opérationnelles pouvant provoquer des situations contraires à un objectif spécifié, en particulier, de sécurité (situation redoutée) ou de disponibilité (événement indésirable) [53].

- **Analyse par arbre d'événements (AAE)** : permet d'identifier et d'évaluer les conséquences possibles d'un événement initiateur selon les circonstances ou dysfonctionnements avec lesquels il se combine.

- **Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF)** : pour optimiser la maintenance tout en maîtrisant la sécurité, la disponibilité et la durée de vie d'un équipement.

II.2.1.4. Enjeu de la sûreté de fonctionnement

Plus une erreur de conception est découverte tardivement, plus le risque technique induit peut être lourd et entraîner des surcoûts et des retards considérables pour le projet. L'apparition du risque peut notamment conduire à la mise en cause de la sécurité des personnes et des biens, à la dégradation de l'environnement, à la perte de fonctions ou tout simplement à la dégradation de l'image de marque.

L'enjeu de la sûreté de fonctionnement est donc d'identifier les risques au plus tôt dans la phase de développement du produit. Comme nous l'avons déjà vu, la sûreté de fonctionnement est une activité d'ingénierie système. Elle peut être qualitative ou quantitative. La part qualitative correspond à l'optimisation des études et elle représente environ 70% de l'activité totale. Les 30% restants représentent la partie quantitative consacrée à la maîtrise des risques avant fabrication à partir des architectures déjà élaborées. C'est donc une phase d'optimisation des architectures des systèmes et de leur mise en œuvre de façon à maximiser, à moindre coût, leur robustesse aux aléas.

En résumé, l'analyse de la sûreté de fonctionnement est une action de réduction des risques et donc du coût à l'achèvement. Elle s'exerce essentiellement pendant les premières phases des projets, jusqu'à la mise en production [49].

II.2.2. Notion de risque

Événement redouté évalué en termes de **gravité** et de **fréquence**. En sûreté de fonctionnement, il s'agit d'identifier les événements indésirables, d'évaluer la fréquence de

leurs survenues et de quoi elle dépend, d'évaluer la gravité de leurs survenues et de quoi elle dépend ; de prendre ses décisions en fonction de leurs impacts sur le triplet « événement, fréquence, gravité » qu'on appelle risque [50].

II.2.2.1. Notions de gravité et de fréquence d'occurrence

- Gravité

Le terme gravité (Severity) se dit de l'importance des choses. C'est le caractère de ce qui est important, de ce qui ne peut être considéré avec légèreté, de ce qui peut avoir des suites fâcheuses. La gravité caractérise globalement l'ensemble des conséquences parmi différentes classes d'importance. Cette classification est effectuée généralement par des experts.

Il convient de choisir des termes révélateurs et distinctifs afin d'éviter les mauvaises interprétations en cas d'audit ou de demande d'avis d'experts. En effet, certains préfèrent tout simplement numéroter les classes de gravité (niveau 0, niveau 1, niveau 2, niveau 3).

Dans le domaine du risque professionnel, la gravité concerne essentiellement les préjudices portés à l'Homme. Ceci amène à définir des échelles de gravité dans la forme suivante (voir Tableau II.1) :

Tableau II.1. Echelles de gravité selon la norme ISO 14971 [54].

Gravité	Signification
Négligeable	Incident n'exigeant aucun acte médical
Minime	Légères blessures relevant des premiers soins (ne nécessitant pas un traitement médical)
Mineure	Blessures ou maladies mineures nécessitant un traitement médical
Majeure	Blessures ou maladies graves, infirmité permanente
Catastrophique	Décès d'une ou plusieurs personnes

- Fréquence d'occurrence

La fréquence d'occurrence d'un événement est la mesure du nombre moyen d'occurrences attendues en un laps de temps donné dans des conditions connues. Cette fréquence est estimée sur une période de temps donnée (année, jour, heure, etc.).

Les classes de fréquence présentées dans la table suivantes (voir Tableau II.2) sont proposées dans la norme NF EN 50126 :

Tableau II.2. Echelles de fréquence d'occurrence selon la norme NF EN 50126 [55].

Niveau	Description
Invraisemblable	Extrêmement improbable. On peut supposer que la situation dangereuse ne se produira pas
Improbable	Peu susceptible de se produire mais possible. On peut supposer que la situation dangereuse peut exceptionnellement se produire
Rare	Susceptible de se produire à un moment donné du cycle de vie du système. On peut raisonnablement s'attendre à ce que la situation dangereuse se produise
Occasionnel	Susceptible de survenir à plusieurs reprises. On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survienne à plusieurs reprises
Probable	Peut survenir à plusieurs reprises. On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survienne souvent
Fréquent	Susceptible de se produire fréquemment. La situation dangereuse est continuellement présente.

II.2.2.2. Classification du risque

Généralement, les niveaux de gravité et de probabilité d'occurrence sont croisés dans une matrice de criticité afin de positionner les zones de risque. La matrice Gravité/Occurrence ci-dessous (voir Tableau II.3) est proposée par la norme NF EN 50126.

Tableau II.3. Matrice de criticité (G/O) - NF EN 50126 [55].

	Insignifiant	Marginal	Critique	Catastrophique
Invraisemblable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Improbable	Négligeable	Négligeable	Acceptable	Acceptable
Rare	Négligeable	Acceptable	Indésirable	Indésirable
Occasionnel	Acceptable	Indésirable	Indésirable	Inacceptable
Probable	Acceptable	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable
Fréquent	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable

- **Risques maîtrisés**

Risque négligeable

Un risque est négligeable s'il est inférieur à un seuil (par exemple : 10^{-9} par an).

Risque dont on ne se soucie pas de l'occurrence au quotidien [56].

Risque acceptable

Risque acceptable pour les personnes : un risque n'est accepté que s'il y a contrepartie ou/et s'il est inférieur au risque déjà encouru.

Risque acceptable pour les entreprises : le risque acceptable ne se conçoit que dans le cadre résiduel, après la mise en œuvre des mesures de prévention et de Protection notamment celles imposées par la législation et la réglementation en vigueur [57].

Un risque perçu comme insignifiant peut facilement être accepté. En d'autres termes, un accident potentiel caractérisé par une faible probabilité d'occurrence, peut facilement être accepté. En effet, nous continuons à prendre le train malgré les accidents possibles parce que la probabilité d'un déraillement ou d'une collision catastrophique est extrêmement faible.

- **Risques maitrisables**

Risque tolérable (Tolerable risk)

Risque que l'on ne peut pas considérer comme négligeable ou comme quelque chose que l'on peut ignorer mais que l'on doit garder présent à l'esprit et pour lequel on doit engager des mesures de réduction aussitôt qu'il est possible [58].

Risque indésirable (Undesirable risk)

Risque indésirable, tolérable uniquement s'il est impossible de réduire le risque ou si le coût de la réduction est disproportionné par rapport à l'amélioration possible [59].

- **Risques non maitrisables**

Risque résiduel (Residual risk)

Risque qui subsiste après avoir appliqué toutes les mesures de réduction disponibles [56].

Risque subsistant après que des mesures de prévention aient été prises [60].

Risque inacceptable (non acceptable risk)

Un risque inacceptable est un risque résiduel non tolérable.

II.2.2.3. Acceptabilité du risque

La mesure du risque peut rapprocher le degré de nuisance de deux situations dangereuses complètement dissemblables : l'une caractérisée par une pondération de fréquence et l'autre par une pondération de gravité.

L'acceptabilité concerne le risque et non la gravité du dommage ou la probabilité d'occurrence considérés séparément. En effet, la gestion des risques a pour objectif de consigner les aléas à l'intérieur de frontières jugées satisfaisantes. Un risque impossible à supprimer doit donc être réduit à un niveau acceptable fixé préalablement.

Le choix des actions de maîtrise des risques se fait en fonction de la fréquence et de la gravité des dommages relatifs à un accident potentiel. Les actions de protection (sécurité primaire)

sont prioritaires par rapport aux actions préventives (sécurité secondaire) ayant objectif de réduire les conséquences d'événements dommageables tandis que ces dernières ont pour but de limiter la possibilité de récurrence des événements redoutés [61].

- Pourquoi s'intéresser aux risques ?

La prise en compte des risques est essentielle pour une bonne conduite de projet. En effet, ils peuvent être responsables de l'échec du projet ou, tout du moins, d'une augmentation non négligeable du coût ou du délai de développement. S'intéresser aux risques permettrait donc d'éviter ce genre de problèmes. Cela permettrait de diminuer le nombre et le coût des accidents, d'empêcher les accidents handicapants ou mortels, ou plus simplement d'éviter l'insatisfaction du client.

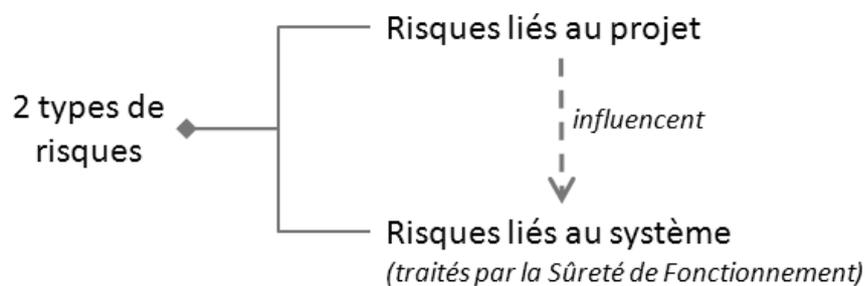


Figure II.2. 2 familles de risques [49].

D'un point de vue global, on peut identifier deux grandes familles de risques :

- Les risques présents lors de l'exploitation du système et directement liés au système et à son fonctionnement. Typiquement, il s'agit des risques que la sûreté de fonctionnement va traiter. Par exemple, on retrouve ceux relatifs à une défaillance d'un sous-système ou d'un composant, ou encore ceux en rapport avec la protection des personnes utilisant le système.
- Les risques liés au projet ou au développement lui-même. Ils n'interviennent pas directement dans la sûreté de fonctionnement du système. En revanche, ils peuvent être à l'origine de risques du premier type. Comme exemple, nous pouvons citer le risque dû au retard d'un fournisseur ou bien celui causé par la rencontre d'une difficulté technique plus importante que prévue dans la phase de développement. Ce qui dans les deux cas pourra se traduire par un retard de l'achèvement de la conception, accompagné éventuellement d'une pression plus importante sur les chargés de développement qui peut être un facteur d'augmentation du nombre de fautes de conception (d'où le lien avec les risques liés au système et la sûreté de fonctionnement) [49].

II.2.2.4. Risque vs. Danger

Le risque est lié à la prise de décision qui a pour objet à soumettre une cible à un danger. Le danger est une propriété intrinsèque à une source de danger.

Le Groupe de Travail « Méthodologie » [62], donne une définition intéressante aux concepts de risque et de danger : « Le risque constitue une potentialité. Il ne se réalise qu'à travers l'événement accidentel, c'est-à-dire à travers la réunion et la réalisation d'un certain nombre de conditions et la conjonction d'un certain nombre de circonstances qui conduisent, d'abord, à l'apparition d'un (ou plusieurs) élément(s) initiateur(s) qui permettent, ensuite, le développement et la propagation de phénomènes permettant au danger de s'exprimer, en donnant lieu d'abord à l'apparition d'effets et ensuite en portant atteinte à un (ou plusieurs) élément(s) vulnérable(s) ».

II.3. Gestion des risques

La gestion des risques est aujourd'hui pour les entreprises une préoccupation forte et un élément indispensable à leur performance. On assiste ainsi à la mise en place d'une gestion active des risques par des mesures offensives, préventives, etc. Traditionnellement, la gestion des risques est vue comme un processus participatif, structuré et itératif, décomposé en phases dont les principales sont [49] :

II.3.1. Identification des risques

Dans cette première étape, il s'agit de procéder à l'inventaire des risques. Tous les risques doivent être répertoriés, que ceux-ci soient de type financier, organisationnel, technique ou encore humain. Les sources d'information possibles pour réaliser cette identification des risques peuvent être des consultations, des archives ou encore des mémoires de projets.

II.3.2. Evaluation et classement des risques

Après la phase d'identification des risques, ces derniers doivent être évalués en tenant compte des conséquences possibles. C'est à cette étape qu'il est question d'évaluer la probabilité du risque et sa sévérité, pour en déduire sa criticité. Après l'évaluation de tous les risques, un classement peut être établi en fonction de la criticité associée à chaque risque. Il permettra de donner des priorités aux risques à étudier dans l'étape suivante.

II.3.3. Traitement ou acceptation des risques

A cette étape, il s'agit de traiter ou d'accepter les risques qui ont été identifiés et évalués lors des phases précédentes. Typiquement, les risques ayant une forte criticité vont sans doute être traités, tandis que certains risques ayant une criticité faible pourront être simplement acceptés, sans aucune modification. Le paramètre de jugement le plus important qui permettra

de choisir entre le traitement ou l'acceptation d'un risque correspond très souvent à la différence entre le coût des dégâts si le risque survient et le coût du traitement du risque.

En fait, dans cette phase de traitement ou acceptation, différentes stratégies de gestion des risques peuvent être employées, stratégies qui elles-mêmes disposent d'outils pour leurs mises en œuvre. Nous détaillons ces stratégies et ces outils dans les paragraphes suivants.

- Analyse des conséquences et suivi

En dernière étape, il convient de refaire une analyse en vue de réexaminer les éléments impactés par les traitements de risque, principalement pour vérifier si de nouveaux risques ne sont pas apparus. Il s'agit également de commencer un suivi des risques, et plus particulièrement un suivi de l'évolution de leurs criticités au cours du projet.

II.4. Représentation des différentes typologies des risques

Nous rappelons que tous les pays ne sont pas égaux face aux risques : certaines parties du globe sont plus vulnérables que d'autres. Le risque additionne les idées de danger, de hasard et de perte : c'est une potentialité de survenue d'un aléa qui affecterait un groupe social. C'est un danger potentiel qui, lorsqu'il survient, peut déboucher sur une catastrophe (réalisation d'un risque potentiel, à caractère exceptionnel, se traduisant par d'importants dégâts matériels et des pertes humaines). Pour certaines parties du monde, qui vivent sous la menace de risques majeurs et connaissent régulièrement des catastrophes de grande ampleur, ce phénomène peut même constituer un handicap réel pour le développement. Notre vision rejoint la définition proposée par Tazieff [63], le risque majeur se définit comme la survenue soudaine, inopinée, parfois imprévisible, d'une agression d'origine naturelle ou technologique et dont les conséquences pour la population sont dans tous les cas tragiques en raison du déséquilibre brutal entre besoins et moyens de secours disponibles. Les hommes sont ainsi confrontés à différents types de risques.

II.4.1. Risques majeurs

Les différents types de risques auxquels nous pouvons être exposés de manière individuelle ou collective sont regroupés en quatre catégories principales tels que :

- les risques de la vie quotidienne ;
- les risques technologiques ;
- les risques industriels ;
- les risques environnementaux.

II.4.1.1. Risque de la vie quotidienne

Dans la vie quotidienne, la notion de risque est complexe et fait l'objet de nombreuses définitions. Il peut être défini comme $\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$, voire comme un phénomène (risque de mouvement de terrains), comme une perception (situation à risques), qui découle d'une part, de l'existence d'un danger (facteur de risque ou périls) et d'autre part, de la présence de l'homme dans la zone de danger (objet du risque). Il peut également qualifier un système complexe intégrant plusieurs niveaux de risques et plusieurs natures (risques attentats, urbains, politiques, pays, accident de voiture, incendie...) et nous proposons deux catégories parmi les différents risques de la vie quotidienne [64].

- **Risques urbains**

Le risque urbain est lié au développement de la mondialisation. Par exemple, la déforestation est susceptible d'augmenter le ruissellement et de déstabiliser des terrains, d'où les risques d'inondation ou de glissement de terrain. Un autre exemple, le lancement de vaisseau spatial détruit les couches atmosphériques [64]. Par ailleurs, l'émission de gaz par les grandes industries de productions, ces trois derniers exemples provoquent l'effet de serre qui pose la question de la survie de la planète. Selon Dubois-Maury et Chaline [65], les risques expriment des conflits entre territoires et entre échelles de territoire. Ainsi, l'urbanisation de secteurs considérés comme dangereux implique un risque urbain qui est devenu un véritable phénomène de société. Il concerne principalement les grandes agglomérations dont le développement accroît leur vulnérabilité aux accidents. Selon Gado [66], les risques urbains sont de différentes natures, ils regroupent les risques naturels, les risques technologiques, ainsi que les risques liés au développement du tissu social (mal-vivre, violence, délinquance, stupéfiants, insécurité, incivilités, criminalité, etc.) et aux nouvelles structures de la ville (grandes surfaces, transports urbains, quartiers dégradés, établissements scolaires, etc.).

- **Risque politique**

Actuellement, la notion de risque politique prend un sens large. Elle englobe une multitude de circonstances et c'est pourquoi ce concept est difficile à définir de manière détaillée et complète. Tous les spécialistes s'entendent cependant pour affirmer que le risque politique correspond à des conséquences non désirées d'activités politiques [67]. Le risque politique peut être défini comme une perte financière potentielle due à un événement politique.

Bernard [68], définit le risque politique comme le risque ou la probabilité de matérialisation d'un sinistre résultant du contexte économique et politique d'un état.

Selon Bernard [68], le sinistre peut être causé par l'immobilisation d'actifs (confiscation de biens, blocage de fonds, moratoire ou répudiation de dette), la perte d'un marché pour des raisons autres que commerciales ou par une atteinte à la sécurité des personnes. En outre, en ce qui concerne le contexte économique et politique d'un État, il peut s'agir de mesures prises par le gouvernement, d'événements internes tels que des émeutes ou une révolution, d'événements externes comme une guerre ou de situations particulières telles qu'une inflation en forte croissance ou un surendettement extérieur. Pour Habib-Deloncle [69], le risque politique est l'ensemble des événements ou décisions d'ordre politique ou administratif, nationales ou internationales, pouvant entraîner des pertes économiques, commerciales ou financières pour l'entreprise importatrice, exportatrice ou investissant à l'étranger.

II.4.1.2. Risque technologique

Toute technologie, toute industrie présente des risques. Chaque activité nouvelle, chaque progrès technologique, apporte sa part de risques nouveaux. Les risques technologiques majeurs peuvent déborder largement à l'extérieur d'un site industriel et acquérir une ampleur dépassant les moyens habituels d'intervention des services de secours locaux. Il existe des risques technologiques qui comptent un grand nombre de risques de natures différentes. Nous détaillerons les trois principaux risques technologiques que sont les risques nucléaires, risques de transport de matières dangereuses et les risques sanitaires [64].

- **Risques nucléaires**

Le risque nucléaire concerne le risque d'accident d'une centrale nucléaire. Citons quelques dates inoubliables « le 26 avril 1986, le réacteur numéro 4 de la centrale soviétique de Tchernobyl, dans le nord de l'Ukraine, explose au cours d'un test de sécurité, provoquant la plus grande catastrophe du nucléaire civil à ce jour. Le 24 Février 2015 la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a connu une défaillance de ses systèmes de refroidissement et plusieurs explosions sur ses réacteurs ont eu lieu contenant des particules radioactives [64]. Cependant, le nombre de personnes affectées par la radiation au Japon est comparable à celui de Tchernobyl ». Selon Vrousos, et Pages [70], le risque nucléaire peut entraîner une dégradation de l'environnement se manifestant par une atteinte de la flore (destruction ou pollution), de la faune (mêmes effets que sur l'homme), et de la terre (contamination, produits de consommation pollués, etc.).

- **Risques transports de matières dangereuses**

Le transport de matières dangereuses ne concerne pas que des produits hautement toxiques, explosifs ou polluants. Tous les produits dont nous avons régulièrement besoin, comme les

carburants, le gaz ou les engrais, peuvent, en cas d'événement, présenter des risques pour la population ou l'environnement. Le risque transport de matières dangereuses (TMD) se caractérise par un risque d'accident ayant des conséquences aggravées par les effets du produit dangereux transporté (incendie, explosion, pollution des eaux ou des sols). Le TMD concerne essentiellement les voies routières et ferroviaires ainsi que les voies d'eau (maritime ou fluviale) et les voies aériennes. Les principaux produits dangereux transportés par route sont les produits pétroliers et les produits chimiques. Les risques engendrés par cette activité sont difficiles à appréhender précisément, car, par définition, c'est une activité circulante donc difficile à identifier, à localiser et à quantifier. On considère que ce risque est diffus, car il est disséminé sur l'ensemble du territoire [64]. Les risques du transport par voie d'eau se caractérisent surtout par des déversements présentant des risques de pollution tels que les marées noires [71].

- **Risques sanitaires et risques alimentaires**

Le risque sanitaire et risque alimentaire sont étroitement liés. Tous deux sont au premier plan de l'actualité. L'actualité concernant la famine et la sous-alimentation en Afrique et à Madagascar et dans les pays moins développés en est une manifestation [64]. L'une et l'autre semblent sévir partout, depuis des siècles Gado [66], touchant les populations physiologiquement les plus vulnérables, victimes des conflits, soumises aux aléas climatiques ou fragilisés par les crises politiques avec ses multiples conséquences sanitaires, nutritionnelles et économiques. Le risque sanitaire est aujourd'hui l'objet de réflexions volontaristes fortes, relatives à la prévention, l'évaluation et la gestion qui peuvent en être faites. Les enjeux multiples qui lui sont associés l'expliquent, nous ne citerons que les principaux qui sont [72] :

- les enjeux sanitaires : pathologie infectieuse, cancer ;
- les enjeux sociaux : exposition des couches sociales les plus défavorisées, le développement des zones périurbaines ;
- les enjeux des équilibres écologiques : respect de l'environnement et des écosystèmes, améliorer la qualité des milieux (air, eau, sols) ;
- les enjeux internationaux : les travaux relatifs aux risques sanitaires liés à l'environnement ont une portée internationale ;
- les enjeux financiers : coûts liés à l'assurance maladie, coûts relatifs aux décisions à visée sanitaire et environnementale (pour lesquelles l'analyse coût-bénéfice est un préalable nécessaire à toute décision).

Le risque alimentaire, faisant partie du risque sanitaire, est associé à des agents chimiques et biologiques [73]. Il se manifeste dans le temps, de manière immédiate (cas des allergies et des toxi-infections alimentaires).

Le risque sanitaire peut être décomposé en fonction du degré d'incertitude scientifique :

- le risque identifié, dont la preuve est établie (cas du saturnisme ou de l'amiante) ;
- le risque controversé, pour lequel le débat scientifique n'a pas encore abouti à un consensus (cas des dioxines et des Organismes Génétiquement Modifiés ou OGM) ;
- le risque émergent pour lequel le débat scientifique en est à ses prémises (cas de l'hygiène et de l'immunologie).

II.4.1.3. Risques industriels

Le risque industriel peut se définir comme tout événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour les populations, les biens ou l'environnement [74]. Le risque industriel concerne les systèmes industriels dont les activités ou les procédés de fabrication nécessitent des quantités suffisantes de produits ou d'énergie pour qu'en cas de dysfonctionnement la libération intempestive de ces énergies ou produits ait des conséquences graves. Les principales manifestations de ce risque industriel sont [64]:

- l'incendie (risque incendie) : inflammation d'un produit au contact d'un autre, d'une flamme ou d'un point chaud, avec risque de brûlures et d'asphyxie ;
- l'explosion (risque explosion) : réaction entre des produits débouchant sur une libération brutale de gaz avec augmentation de pression (souffle de l'explosion) et de température (radiation), et risque de traumatismes soit directs, soit par l'onde de choc ;
- la dispersion dans les milieux (air, eau, sols) de produits dangereux avec toxicité par inhalation, ingestion ou contact.

Nous citons un historique de quelques accidents industriels :

- 1966 à Feyzin : explosion dans une industrie pétrochimique, 18 morts ;
- 1974 à Flixborough (Grande Bretagne) : explosion sur un site industriel, 28 morts ;
- 1976 à Seveso (Italie) : fuite de dioxine d'une usine chimique, pas de mort mais 37000 personnes touchées ;
- 1984 à Bhopal (Inde) : fuite d'un gaz toxique, environ 2500 morts et 250000 blessés ;
- 1984 à Mexico (Mexique) : explosion d'une citerne de gaz de pétrole liquéfié, plus de 500 morts et 7000 blessés ;
- 2000 à Enschede (Pays-Bas) : explosion d'un dépôt de feux d'artifices de divertissements, au moins 20 morts et plusieurs centaines de blessés ;
- 2001 à Toulouse : explosion sur un site industriel, 30 morts et plus de 2000 blessés.

- **Risques de l'entreprise**

Les risques de l'entreprise sont de deux natures : financiers d'une part, et juridiques d'autre part. Le risque financier est celui qui paraît le plus évident, dans la mesure où tout dommage s'accompagne en principe d'une perte et d'une réparation (pour certains, les entreprises ne connaissent qu'un risque, celui de perdre de l'argent).

Le risque juridique est celui de se voir condamné à des peines d'emprisonnement ou des interdictions d'exploiter par exemple [75].

II.4.1.4. Risques environnementaux

Le contexte de la gestion de l'environnement a fortement évolué au cours des dernières décennies : les organisations privées, tout comme les pouvoirs publics, cherchent à prendre en compte le plus largement possible les impacts économiques de leurs stratégies environnementales. Une première approche fait référence à l'environnement comme étant constitué au sens large de tout ce qui entoure l'homme. Le Petit Robert définit ainsi l'environnement comme « l'ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur les organismes vivants et sur les activités humaines ». Les risques environnementaux sont définis comme le risque d'atteinte à l'environnement. Risques majeurs et risques environnementaux sont étroitement liés. En effet, le risque majeur peut conduire à une dégradation de l'environnement. Inversement, les modifications anthropiques (occasionnées par l'homme) de l'environnement peuvent constituer des facteurs aggravants [76].

Risques Projets

Les risques de projet se définissent comme étant « la possibilité que se produise un événement, généralement défavorable, ayant des conséquences sur le coût ou le délai d'une opération et qui se traduit mathématiquement par un degré de dispersion des valeurs possibles autour de la valeur probable quantifiant l'événement et une probabilité pour que la valeur finale reste dans les limites de l'acceptable ». Cette approche probabiliste, fondée sur la mesure de probabilité d'un événement unique a été complétée par [77]. Le risque projet est la possibilité qu'un projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coût et de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables voire inacceptables. Le risque est ainsi étendu à la prise en compte d'un ensemble d'événements dont l'enchaînement peut conduire à l'événement redouté. Les événements « causes » peuvent être qualifiés d'aléas, d'imprévus ou d'incertitudes [78].

II.5. Conclusion

La sûreté de fonctionnement regroupe un ensemble de techniques mises en œuvre pour "identifier, analyser, gérer et éventuellement réduire les risques" liés aux systèmes industriels [79].

Suite à la définition de la sûreté de fonctionnement et la présentation des principales méthodes de cette approche, l'enjeu de la SdF a été présenté dans ce deuxième chapitre, celle-ci s'attachant à l'étude des risques associés au projet à réaliser,

Nous avons essayé tous au long de ce chapitre de mieux situer les notions de risques, et tous ce qui a rapport au risque, tels que : fréquence d'occurrence, gravité, danger,...etc, ainsi en se basant sur la matrice de criticité afin de positionner les zones de risque selon la norme NF EN 50126.

Nous présentons finalement les principales phases de gestion des risques, ainsi en détaillant les différentes typologies des risques.

CHAPITRE 3
Risques projet et management
de risques projet

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser aux typologies des risques projet d'une part et au management de risques projet d'autre part. Nous commencerons, tout d'abord, par expliquer ce que nous entendons par un risque projet, Nous verrons ensuite quels sont les types d'impacts majeurs ainsi les divers paramètres directement reliés aux objectifs et critères de succès du projet existant dans la littérature.

Nous finirons cette section par présenter les différentes phases de management de risques projet et nous irons un peu plus dans le détail en ce qui concerne les stratégies de réponse au risque, en décrivant les différentes solutions pour le traitement de risque.

III.2. Définition de risques projets

La norme ISO 31000 : 2018 [80], définit le risque projet comme un « événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont l'effet est susceptible d'affecter les objectifs du projet, dans ses périodes d'étude, de construction, et éventuellement d'exploitation ou de démantèlement. »

Pour Gourc [81], le risque projet est « La possibilité que survienne un événement dont l'occurrence entraînerait des conséquences (positives ou négatives) sur le déroulement de l'activité du projet »

Dans cette dernière définition on remarque les deux dimensions fondamentales du risque qui sont la probabilité d'occurrence et l'impact. L'impact en management de projet se traduit par le niveau de perturbations causées par l'occurrence. Gourc [81], propose trois types d'impacts majeurs directement reliés aux objectifs et critères de succès du projet :

- Les impacts de type délai : dérive positive ou négative des délais du projet ;
- Les impacts de type coût : économie ou surcoût par rapport au budget initial ;
- Les impacts de type performance ou qualité : amélioration ou dégradation par rapport à la performance prévue.

Hormis ses caractéristiques de probabilité et d'impact le risque projet peut aussi être caractérisé par divers paramètres [82,83] :

- **La nature** : elle se définit selon huit modalités d'ordre technique, financier, humain, organisationnel, managérial, juridique, réglementaire et commercial.
- **L'origine** : les risques peuvent provenir du client, du produit, des fournisseurs ou des sous-traitants, des pouvoirs publics ou des instances juridiques et réglementaires...
- **La contrôlabilité** : elle permet de déterminer les modes d'action possibles (choix des assurances ou de transfert de risques).

- **La détectabilité** : certains risques sont détectables, d'autres ne le sont pas. La détectabilité dépend entre autres de la complexité du projet et de la connaissance du projet par l'équipe en charge de l'étude des risques.
- **Les conséquences** : insatisfaction des bénéficiaires, abandon du projet, etc.

III.3. Typologie des risques projets

Hormis les risques d'ordre techniques, la typologie détaillée de Courtot [82], montre la très grande variété des risques auxquels peuvent être exposés les projets. Courtot distingue d'une part les risques organisationnels et humains, et d'autre part les risques liés au management d'un projet.

III.3.1 Les risques organisationnels et humains

- **Risques liés à la mise en place des structures de projet.**

Quel que soit le type de structure de projet (structure fonctionnelle, structure matricielle, structure divisionnaire), l'organisation transversale, pluridisciplinaire et temporaire du projet doit coexister avec la structure permanente de l'organisation.

Si les fonctions et les responsabilités de chacun ne sont pas clairement définies, des dysfonctionnements peuvent apparaître au niveau de la circulation des informations, de la cohérence des décisions et de la motivation des acteurs [82].

- **Risques liés à la prise de décision et aux processus décisionnels.**

Certains risques sont provoqués par le comportement des décideurs eux-mêmes qui ne recherchent pas un consensus avec les parties prenantes du projet, ne prennent pas en compte toutes les conséquences de leurs décisions, n'envisagent qu'un nombre limité de solutions, remettent en cause des décisions antérieures ou bien encore reportent leur décision à une date ultérieure.

Les décisions risquent d'être incohérentes, non satisfaisantes et générer des situations conflictuelles. De plus un processus décisionnel peu formalisé, l'absence de structure d'arbitrage, un manque de coordination entre les différents centres de décision, des difficultés de circulation des informations peuvent être à l'origine d'une prise de décision erronée, pas assez rapide ou impossible à appliquer [82].

- **Risques liés aux relations hiérarchiques.**

Courtot souligne que l'implication de la direction générale dans la définition des objectifs, dans les procédures d'arbitrage et dans le pilotage du projet est fondamentale pour sa réussite. Une seconde catégorie de risques concerne les relations hiérarchiques entre les différents

acteurs impliqués dans le projet. En effet le chef de projet ne possède pas la plupart du temps d'autorité formelle auprès des acteurs métier qui sont rattachés hiérarchiquement à leur direction fonctionnelle.

L'acteur métier est donc tiraillé entre des sollicitations contradictoires émanant de son supérieur hiérarchique et du chef de projet. Cette situation peut déboucher sur le court-circuitage des voies hiérarchiques ou une faible motivation de l'acteur métier et une désorganisation de l'activité projet.

- **Risques liés à la définition des rôles et des responsabilités.**

Les acteurs du projet contribuent plus efficacement à la réussite du projet si leur rôle est clairement défini et explicité. Le partage des responsabilités entre les différents acteurs est une source de difficultés supplémentaires.

- **Risques liés à la communication et aux échanges d'informations.**

Le succès du projet demande la collaboration et l'implication de chacun. La communication peut être rendue inefficace par le comportement de certains acteurs du projet faisant de la rétention d'information, dissimulant ou minimisant des erreurs. Les dispositifs de communication doivent assurer une bonne circulation de l'information ainsi que la qualité des informations échangées.

- **Risques liés à la capitalisation et à la transmission du savoir-faire.**

La capacité de l'organisation à formaliser les savoirs acquis dans des projets similaires antérieurs et à les mettre en commun permet d'éviter le risque de refaire les mêmes erreurs et de minimiser les dérives de coûts, de délais et de contenu.

- **Risques liés à la gestion des conflits et au management des ressources humaines.**

Un projet génère souvent des situations conflictuelles entre le chef de projet et les différents acteurs impliqués. Courtot énumère des types de conflit les plus fréquents en fonction de l'objet du conflit : la planification du projet, les priorités et les objectifs du projet, l'estimation des coûts et la négociation du budget, l'allocation des ressources, les exigences techniques du projet, les procédures mises en place, les structures de communication et le système d'information. Les sources de conflit varient d'un projet à un autre et évoluent tout au long du cycle de vie du projet.

La direction des ressources humaines doit faire face à un certain nombre de difficultés pouvant créer des risques pour le projet : le choix et le recrutement des acteurs projet, l'évaluation de la performance collective de l'équipe projet et la mesure des contributions individuelles, le système de rémunération, la formation et la gestion des compétences, la

gestion des carrières des acteurs projet, leur mobilité et leur reconversion à la fin du projet [82].

III.3.2. Risques liés au management du projet

Ses risques sont structurés en fonction de la phase du cycle de vie du projet : définition, planification, réalisation et livraison.

- Durant la phase définition et planification du projet

Cette phase a pour objectif de définir d'une part les tâches à exécuter, et d'autre part les ressources nécessaires.

La définition du programme de travail présente des risques internes liés à l'imprécision de certaines tâches, à l'ambiguïté des objectifs, aux incohérences du cahier des charges ainsi que des risques techniques. Une mauvaise planification des ressources matérielles et humaines peut entraîner des risques importants de retard et de surcoûts.

Le contenu du travail à réaliser dépend également du contexte politique, économique, commercial, juridique et réglementaire. Ces risques externes peuvent être classés en quatre catégories : les risques politiques, les risques d'obsolescence commerciale, les risques réglementaires et les risques liés aux relations avec les sous-traitants, les partenaires extérieurs et les clients. Le chef de projet doit vérifier l'adéquation des ressources disponibles et celles nécessitées par le projet.

- Durant la phase de réalisation

Chaque responsable de tâche va être confronté à un certain nombre d'événements inattendus qui risquent de compromettre les objectifs du projet en termes de coût, de délai et de spécifications techniques.

Courtot distingue d'une part les risques issus des insuffisances et des dysfonctionnements de l'instrumentation du projet (règles et procédures de management de projet, système de suivi et de pilotage), et d'autre part les risques dus à une détection tardive des problèmes, à un diagnostic erroné de la situation ou à la formulation de réponses inappropriées.

Durant la clôture du projet il n'est pas rare de se confronté à des risques d'ordre administratifs ou contractuels, c'est la raison pour laquelle il est indispensable de rassembler et d'archiver toutes les informations concernant le projet afin de formaliser son aboutissement, et sa réception.

III.4. Management de risques projet

Le risque étant inhérent à la gestion de projet, le management de risques projet n'a pas trop tardé à voir le jour après à la diffusion de bonnes pratiques de management de projet.

Manager les risques dans un projet est maintenant reconnu comme l'une des missions du chef de projet et de son équipe. C'est l'équipe projet, sur la base des risques identifiés et de leur analyse, qui doit proposer des actions de traitement adaptées. Cela nécessite d'identifier les points suivants [84] :

- les risques ou combinaisons de risques qui sont les plus dommageables pour le projet, (ceux qui entraînent les plus grandes perturbations).
- Les actions de traitement à retenir pour réduire le plus possible les perturbations tout en respectant des objectifs du projet. Par exemple, le coût des actions de traitement ne doit pas dépasser le gain total espéré par la mise en place des actions de traitement.

Pour cela, l'équipe projet doit être en mesure de répondre aux questions suivantes :

- Quelle est la durée maximale possible du projet ?
- Quelle est la probabilité qu'un scénario fictif de risque survienne ?
- Quel est le coût d'une stratégie de traitement déterminée ? Quel est l'impact de cette stratégie en termes de réduction du risque ?

Bien qu'il soit possible d'utiliser les méthodes de management des risques au sens large pour les risques projet, il existe des méthodes propres à ce domaine.

Un processus décrivant les différentes étapes à réaliser existe et est communément reconnu.

III.5. Processus de management des risques

Ce processus peut être décomposé en cinq étapes [80,82] :

- L'identification et l'analyse des risques,
- L'évaluation et la hiérarchisation des risques,
- La maîtrise des risques,
- Le suivi et le contrôle des risques,
- La capitalisation et la documentation des risques.

- L'identification et l'analyse des risques

Le recensement des risques susceptibles d'affecter le projet peut être effectué par interview d'experts, consultation de bases de données de projets similaires, réunions de brainstorming, utilisation de check-lists etc.

L'analyse consiste à étudier leurs causes et leurs conséquences éventuelles. Les différents facteurs de risque peuvent être interdépendants : chaque cause peut engendrer des effets multiples, chaque effet peut résulter de la conjonction de plusieurs causes et il peut se produire un effet cumulatif de « boule de neige ». Cette étape d'identification et d'analyse des

risques est très importante : elle doit être initiée dès le début du projet et être régulièrement réitérée au cours du projet.

- **L'évaluation et la hiérarchisation des risques**

L'évaluation et la hiérarchisation des risques permettent de concentrer l'attention uniquement sur certains risques préalablement identifiés. L'évaluation consiste à chiffrer la probabilité d'apparition de chaque risque recensé et à estimer la gravité des conséquences sur les objectifs du projet. Des grilles d'évaluations prédéfinies permettent par exemple de qualifier la probabilité d'occurrence sur une échelle de très faible à très forte probabilité et de classer les risques selon leur niveau de gravité en risques négligeables, risques mineurs ou risques majeurs. Le risque est caractérisé par sa criticité obtenue en multipliant sa probabilité d'occurrence par la note de sa gravité. La hiérarchisation des risques a pour but de distinguer les risques acceptables, des risques non acceptables pour le projet.

- **La maîtrise des risques**

La maîtrise des risques repose sur la définition et la mise en œuvre d'un certain nombre d'actions visant soit à supprimer ses causes, soit à externaliser le risque à un tiers (client, fournisseur, sous-traitant ou compagnie d'assurance), soit à réduire sa criticité.

- **Le suivi et le contrôle des risques**

Le suivi et le contrôle des risques au fur et à mesure de l'avancement du projet permettent de réévaluer leur criticité en fonction des informations recueillies et d'ajuster les actions de prévention et de réduction des risques.

- **La capitalisation et la documentation des risques**

La capitalisation et la documentation des risques permettent d'enrichir la connaissance des risques potentiels pour les projets futurs et d'organiser la réactivité c'est-à-dire « la capacité de modifier rapidement la définition du projet pour tenir compte d'informations nouvelles remettant en cause de manière significative les hypothèses de travail sur lesquelles la programmation courante est fondée ».

III.6. Processus de management des risques de la norme ISO 31000 : 2018

La nouvelle référence normative dans le domaine du management des risques l'ISO 31000 :2018 [80], que nous allons explorer avec un peu plus de détails. la norme définit un nombre de principe dans le but de rendre efficace le management des risques, cette norme s'applique aux diverses activités des entreprises (la stratégie et les prises de décisions, les opérations, les processus, les fonctions, **les projets**, les produits, les services et les actifs).

Le processus de management du risque implique l'application systématique de politiques, de procédures et de pratiques aux activités de communication et de consultation, d'établissement

du contexte et d'appréciation, de traitement, de suivi, de revue, d'enregistrement et de compte rendu du risque.

Il convient que le processus de management du risque fasse partie intégrante du management et de la prise de décisions et soit intégré à la structure, aux opérations et aux processus de l'organisme. Il peut être appliqué aux niveaux stratégique, opérationnel, programme ou projet.

III.6.1. Communication et Consultation

La communication et la consultation ont pour but d'aider les parties prenantes pertinentes à comprendre le risque, les principes de prise de décisions et les raisons pour lesquelles certaines actions sont nécessaires. La communication vise à accroître la sensibilisation et la compréhension du risque, alors que la consultation implique l'obtention d'un retour et d'informations pour étayer la prise de décisions. Une étroite coordination entre les deux facilite des échanges d'informations factuels, opportuns, pertinents, précis et compréhensibles tout en prenant en compte la confidentialité et l'intégrité des informations ainsi que le droit à la vie privée des personnes.

Il convient que la communication et la consultation avec les parties prenantes internes et externes concernées aient lieu à toutes les étapes du processus de management du risque.

La communication et la consultation visent à :

- réunir différents domaines d'expertise pour chaque étape du processus de management du risque;
- s'assurer que les différents points de vue sont pris en compte de manière appropriée dans la définition des critères de risque et lors de l'évaluation des risques;
- fournir suffisamment d'informations pour faciliter la surveillance du risque et la prise de décisions;
- faire naître un sentiment d'inclusion et de propriété parmi ceux affectés par le risque.

III.6.2. Périmètre d'application, contexte et critères

L'établissement du périmètre d'application, du contexte et des critères a pour but d'adapter le processus de management du risque, en permettant une appréciation du risque efficace et un traitement du risque approprié. Le périmètre d'application, le contexte et les critères impliquent de définir le périmètre d'application du processus et de comprendre le contexte interne et externe.

- Définition du domaine d'application

Il convient que l'organisme définisse le périmètre d'application de ses activités de management du risque.

Le processus de management du risque pouvant être appliqué à différents niveaux (par exemple au niveau de la stratégie, des opérations, d'un programme, d'un projet ou d'autres activités), il est important d'être précis quant au domaine d'application considéré, aux objectifs pertinents à prendre en compte et à leur alignement sur les objectifs de l'organisme.

Lors de la planification de l'approche, les éléments à prendre en compte comprennent:

- les objectifs et les décisions à prendre;
- les résultats attendus des étapes du processus;
- le temps, l'emplacement, les inclusions et exclusions spécifiques;
- les outils et techniques appropriés d'appréciation du risque;
- les ressources nécessaires, les responsabilités et la documentation à établir;
- les relations avec d'autres projets, processus et activités.

- Contexte interne et externe

Le contexte interne et externe est l'environnement dans lequel l'organisme cherche à définir et atteindre ses objectifs.

Il convient que le contexte du processus de management du risque soit établi à partir de la compréhension de l'environnement externe et interne dans lequel opère l'organisme et qu'il reflète l'environnement spécifique de l'activité à laquelle le processus de management du risque doit être appliqué.

La compréhension du contexte est importante car:

- le management du risque a lieu dans le contexte des objectifs et des activités de l'organisme;
- les facteurs organisationnels peuvent être une source de risque;
- la finalité et le domaine d'application du processus de management du risque peuvent être corrélés aux objectifs de l'organisme dans son ensemble.

Il convient que l'organisme établisse le contexte externe et interne du processus de management du risque.

- Définition des critères de risque

Il convient que l'organisme spécifie le niveau et le type de risque pouvant ou non être pris par l'organisme, en fonction des objectifs. Il convient également qu'il définisse des critères permettant d'évaluer l'importance du risque et d'étayer les processus décisionnels. Il convient que les critères de risque soient alignés sur le cadre organisationnel de management du risque et adaptés à la finalité et au domaine d'application spécifique de l'activité considérée. Il convient que les critères de risque reflètent les valeurs, les objectifs et les ressources de l'organisme et soient cohérents avec les politiques et déclarations en matière de management du risque. Il convient que les critères soient définis en tenant compte des obligations de l'organisme et de l'opinion des parties prenantes.

Bien qu'il convienne d'établir les critères de risque au début du processus d'appréciation du risque, ces critères sont dynamiques et il convient qu'ils soient revus en permanence et modifiés si nécessaire.

Pour fixer les critères de risque, il convient de prendre en compte les éléments suivants:

- la nature et le type d'incertitudes pouvant avoir une incidence sur les résultats et les objectifs (tangibles et intangibles);
- la façon dont les conséquences (positives et négatives) et la vraisemblance seront définies et mesurées;
- les facteurs liés au temps;
- la cohérence dans l'utilisation des mesures;
- la méthode de détermination du niveau de risque;
- la façon dont les combinaisons et séquences de plusieurs risques seront prises en compte;
- la capacité de l'organisme.

III.6.3. Appréciation du risque

L'appréciation du risque est le processus global d'identification, d'analyse et d'évaluation du risque.

Il convient que l'appréciation du risque soit menée de façon systématique, itérative et collaborative, en s'appuyant sur les connaissances et les opinions des parties prenantes. Il convient d'utiliser les meilleures informations disponibles, complétées si nécessaire par une enquête plus approfondie.

- Identification du risque

L'identification du risque a pour but de rechercher, reconnaître et décrire les risques qui peuvent aider ou empêcher un organisme d'atteindre ses objectifs. Il est essentiel que les informations utilisées pour l'identification des risques soient pertinentes, appropriées et à jour.

L'organisme peut utiliser un éventail de techniques pour identifier les incertitudes pouvant avoir une incidence sur un ou plusieurs objectifs. Il convient de prendre en compte les facteurs suivants et leurs relations:

- sources de risque tangibles et intangibles;
- causes et événements;
- menaces et opportunités;
- vulnérabilités et capacités;
- changements intervenus au niveau du contexte externe et interne;
- indicateurs de risques émergents;
- nature et valeur des actifs et des ressources;
- conséquences et leur impact sur les objectifs;
- limitations des connaissances et fiabilité des informations;
- facteurs liés au temps;
- biais, hypothèses et convictions des personnes impliquées.

Il convient que l'organisme identifie les risques, que leurs sources soient ou non sous son contrôle. Il convient de tenir compte du fait qu'il peut y avoir plusieurs types de résultat pouvant avoir diverses conséquences tangibles ou intangibles.

- Analyse du risque

L'analyse du risque a pour but de comprendre la nature du risque et ses caractéristiques, y compris le niveau de risque, le cas échéant. L'analyse du risque implique la prise en compte détaillée des incertitudes, des sources de risque, des conséquences, de la vraisemblance, des événements, des scénarios, des moyens de maîtrise et de leur efficacité. Un événement peut avoir des causes et conséquences multiples et affecter des objectifs multiples.

L'analyse du risque peut être menée à différents niveaux de détail et de complexité selon la finalité de l'analyse, la disponibilité et la fiabilité des informations et les ressources

disponibles. Les techniques d'analyse peuvent être qualitatives, quantitatives, ou une combinaison de celles-ci, selon les circonstances et l'utilisation prévue.

Il convient que l'analyse du risque prenne en compte des facteurs tels que:

- la vraisemblance des événements et des conséquences;
- la nature et l'importance des conséquences;
- la complexité et l'interconnexion;
- les facteurs liés au temps et la volatilité;
- l'efficacité des moyens de maîtrise existants;
- les niveaux de sensibilité et de confiance.

L'analyse du risque peut être influencée par toute divergence d'opinions, biais, perceptions du risque et jugements. Les influences supplémentaires sont la qualité des informations utilisées, les hypothèses et exclusions posées, toute limitation des techniques et la façon dont elles sont mises en œuvre. Il convient que ces influences soient prises en compte, documentées et communiquées aux décideurs.

Les événements extrêmement incertains peuvent être difficiles à quantifier. Cela peut poser problème lors de l'analyse d'événements ayant de graves conséquences. Dans de tels cas, l'utilisation d'une combinaison de techniques permet généralement d'acquérir une connaissance plus approfondie.

L'analyse du risque fournit des données permettant d'évaluer le risque, de prendre la décision de le traiter ou non et de quelle manière, et permet de choisir la stratégie et les méthodes de traitement les plus performantes. Les résultats fournissent des renseignements en vue des décisions quand il faut effectuer des choix et que les options impliquent différents types et niveaux de risque.

- Evaluation du risque

L'évaluation du risque a pour but de déboucher sur des décisions plus judicieuses. L'évaluation du risque consiste à comparer les résultats de l'analyse du risque aux critères de risque établis afin de déterminer si une action supplémentaire est exigée. Cela peut déboucher sur la décision:

- de ne rien faire de plus;
- d'examiner les options de traitement du risque;
- d'entreprendre une analyse plus approfondie afin de mieux comprendre le risque;

- de maintenir les moyens de maîtrise du risque existants;
- de réexaminer les objectifs [80].

La valeur du risque représente la criticité qui a été défini en amont de ce chapitre, cette valeur sera représenter dans une matrice du risque (Figure III.1) afin d’indiquer le niveau de risque constaté.

$$\text{Risque (R)} = \text{Criticité} = \text{probabilité (P)} \times \text{Gravité (G)}$$

G : la gravité des conséquences ;

P : Probabilité d’occurrence.

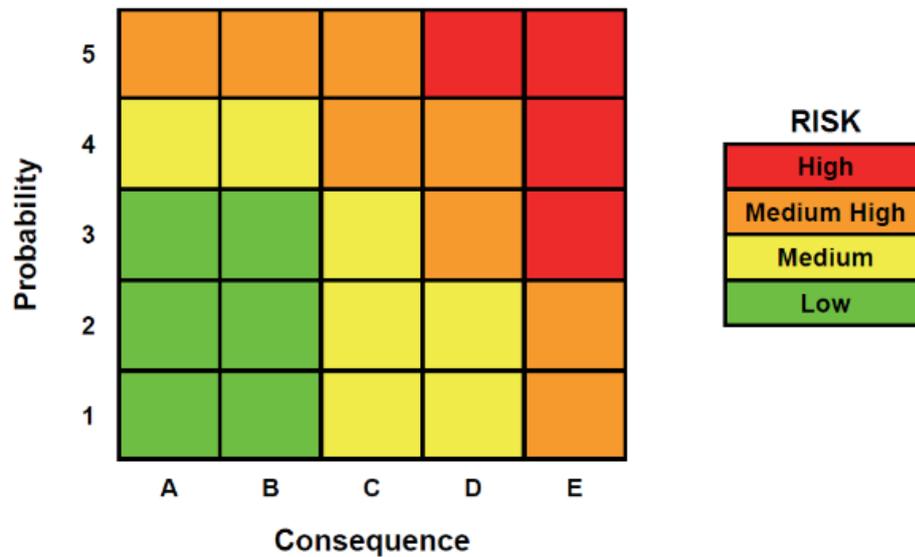


Figure III.1. Matrice de risque [85].

Les zones en couleur dans la matrice nous permettent de hiérarchisé les risques, aussi elles sont très utile pour le choix d’une stratégie de traitement des risques, par exemple :

- la zone rouge : éviter le risque ;
- la zone jaune : réduire ou transférer le risque ;
- la zone verte : accepter le risque.

- Stratégie de réponse au risque

Après avoir identifié, analysé et évalué les risques. Les différentes solutions pour les traiter sont : accepter le risque, réduire le risque, partage du risque, transfert du risque et éviter le risque.

Les solutions de réduction du risque sont [86] :

- Abandonner l’activité c’est-à-dire refuser le risque et donc abandonner le projet ou l’activité qui génère le risque ;

- Supprimer la source de risque, le danger, ou la cible ;
- Mettre le risque sous surveillance ;
- Réduire la vraisemblance par la prévention ou la gravité par la protection (Figure III.2).

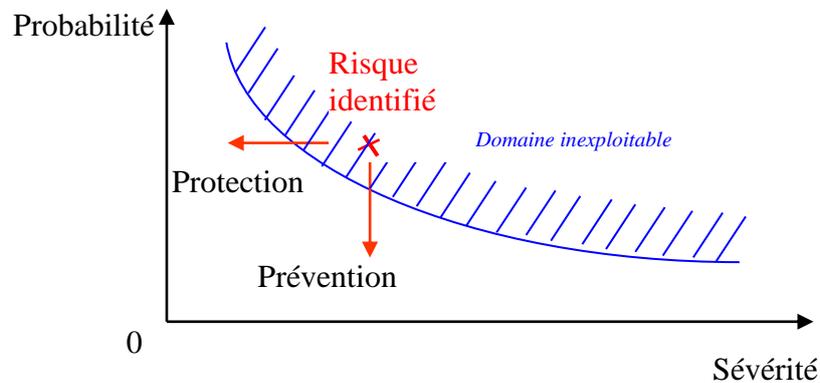


Figure III.2. Réduction de risque [85].

Réduire un risque, c'est soit réduire sa probabilité d'occurrence (prévention), soit réduire ses conséquences (protection).

Pour cela, on peut utiliser, seuls ou en combinaison :

• **Des instruments techniques :**

- De prévention, tels que des détecteurs, des équipements de sécurité, des contrôles d'accès,
- De protection, tels que des murs coupe-feu, des stockages cloisonnés, des équipements de protection individuels, des sauvegardes informatiques, des stocks de pièces détachées ou de produits finis, la partition des moyens, voire leur duplication (exemple : back-up informatique),

• **Des instruments d'organisation :**

- De prévention, par exemple des procédures opératoires, des consignes de sécurité, l'externalisation de certaines fonctions, la formation redondante,
- De protection, tels que des plans de sauvegarde ou de survie, des fournisseurs redondants,

• **Des instruments juridiques :** tels que des clauses contractuelles de limitation de responsabilités, des contrats de travail.

Ces instruments se classent en sept catégories :

- 1 – Suppression du risque ($P = 0$)
- 2 – Prévention ($P \searrow$)
- 3 – Protection ($G \searrow$)
- 4 – Ségrégation par partition ($G \searrow$)

5 – Ségrégation par duplication (G \searrow)

6 – Transfert contractuel (P \searrow)

7 – Stratégies aval (G \searrow)

La Suppression (P = 0) : Traitement radical, la suppression (ou évitement) élimine le risque par renoncement à une activité à laquelle ce risque est associé. La suppression agit donc sur la fréquence, qu'elle annule.

Cet instrument n'est pas aussi absurde qu'il peut paraître de prime abord. En effet, l'analyse des risques pesant sur une activité, en particulier une activité nouvelle, peut conduire à son abandon, s'il apparaît que les pertes potentielles sont supérieures aux gains escomptés. Combien de projets n'auraient-ils pas été abandonnés si une telle analyse avait été faite ! Il est en effet rare qu'une décision – même vitale pour l'entreprise – soit prise après une étude objective du caractère aléatoire des paramètres qui conditionnent sa réussite. La suppression peut ne concerner qu'une partie d'un processus. On peut par exemple abandonner un procédé au profit d'un autre, déplacer une activité sur un autre site, renoncer à la commercialisation d'un produit sur un marché où la contrefaçon est trop à craindre, etc.

La Prévention (P \searrow) : Comme nous l'avons dit précédemment, la prévention agit sur la probabilité d'occurrence d'un événement dommageable. En général, ces mesures sont prises pour des événements ayant une fréquence assez importante. Elles agissent sur l'un au moins des événements de la chaîne conduisant à l'événement dommageable.

Tableau III.1. Exemples de mesures de prévention [86].

Risque	Prévention
Accidents de circulation	Limitation de vitesse
Accidents du travail	Ergonomie des postes de travail
Vol, malveillance	Contrôle des accès
Défaillance d'un fournisseur	Audit du fournisseur
Espionnage informatique	Sécurisation des systèmes

La Protection (G \searrow) : La protection vise à limiter les conséquences d'un sinistre. On distingue deux types d'instruments de protection :

- Ceux qui sont mis en place et actifs avant le sinistre ;
- Ceux qui sont mis en place mais ne sont activés qu'au moment du sinistre.

Un mur coupe-feu appartient à la première catégorie ; un réseau d'extinction automatique appartient à la seconde. En fait la première catégorie contient principalement des instruments de séparation des risques ou de duplication des ressources.

Tableau III.2. Exemples de mesures de protection [86].

Risque	Protection
Accidents de circulation	Ceintures de sécurité
Accidents du travail	Equipements individuels de sécurité
Vol	Détections des intrusions, alarmes
Incendie	Extincteurs

La ségrégation par partition (G ↘) : Cet instrument de réduction des risques consiste à ne pas « mettre tous ses œufs dans le même panier ».

Par exemple :

- Couper un stockage en deux parties distinctes séparées par un mur coupe-feu, voire dans deux bâtiments différents,
- Produire avec deux machines de plus faible capacité plutôt qu'avec une seule de capacité double,
- Fabriquer un même produit sur différents ateliers, voire différentes usines,
- Ne pas s'approvisionner auprès d'un seul fournisseur,
- Ne pas mettre les sauvegardes informatiques à côté des ordinateurs,
- Ne pas faire voyager toute une équipe dans le même avion. Bien entendu, un sinistre affectera néanmoins l'entreprise, puisque la totalité des ressources est nécessaire, mais la perte sera moindre. Par ailleurs, la ségrégation par partition a un coût, par perte d'économie d'échelle, et par des frais de fonctionnement généralement plus élevés. Il importe donc de bien peser les avantages et les inconvénients de cet instrument avant de le mettre en œuvre.

La ségrégation par duplication (G ↗) : Au contraire de la ségrégation par partition, la ségrégation par duplication permet d'annuler totalement les conséquences d'un sinistre, puisque le « double » n'entre en service que lorsque la ressource dupliquée est hors d'usage. Le cas le plus fréquent de ségrégation par duplication se trouve dans le domaine informatique, où l'on n'hésite pas à maintenir inactif un « miroir » du système informatique en service, compte tenu des conséquences estimées d'une interruption du traitement de l'information, mais aussi du coût sans cesse décroissant des matériels informatiques.

Cette technique de réduction des risques est utilisable dans bien d'autres domaines. Par exemple :

- Ne pas concentrer le savoir-faire entre les mains d'une seule personne, mais imposer sa documentation et sa diffusion,
- Avoir des pièces de rechange d'avance, voire dupliquer l'outil de production,
- Avoir plus de véhicules que nécessaire,
- Qualifier plus de fournisseurs que nécessaire. Compte tenu de son coût d'immobilisation de ressources non productives, la ségrégation par duplication se justifie particulièrement dans le cas de risques de forte gravité.

Le transfert contractuel pour réduction (P ↘) : Instrument qui peut apparaître machiavélique, le transfert contractuel pour réduction consiste à faire prendre le risque par une autre entité juridique qui exécute une prestation ou fournit un produit en lieu et place de l'entité ayant ainsi transféré le risque. Le risque est réduit lorsque le prestataire est plus compétent dans le domaine concerné que l'entreprise elle-même. On peut alors espérer que sa gestion des risques spécifiques à son métier sera meilleure et que les sinistres seront moins importants ou moins nombreux, et en tous cas totalement supportés par le prestataire. Les risques ne sont cependant pas éliminés. En effet, certains risques sont transférés sur le prestataire, mais ils existent toujours. Ils peuvent même parfois revenir frapper l'entité qui croyait s'en être débarrassée, en particulier lorsque cette entité est plus importante, et donc plus responsable et plus solvable que le prestataire, et que des dommages aux personnes ou au bien public ont été causés par ce dernier. Par exemple, sous-traiter une fonction de maintenance n'exonère pas l'entreprise de veiller à ce que l'entreprise intervenante respecte le Code du Travail et ne mette pas en jeu l'intégrité physique de ses salariés. Une mise sous séquestre d'un équipement sur lequel travaillaient les salariés du sous-traitant reste possible suite à un accident. De même, acheter un composant à l'extérieur plutôt que le fabriquer soi-même n'exonère pas sa responsabilité en cas de produit défectueux. Bien des entreprises sous-estiment – voire ignorent totalement – ce « effet boomerang » et bien entendu n'en prévoient pas les conséquences civiles et pénales, qui peuvent être très lourdes dans le cas d'atteinte aux individus ou à l'environnement. D'autre part, une entreprise qui externalise réduit certains risques de non-qualité et réalise en général des économies, mais se place à la merci de ses partenaires : une grève chez l'un d'eux, un problème technique, l'inaptitude à suivre l'évolution de ses besoins, la perte du savoir-faire sont autant de risques générés par l'externalisation. En un mot, l'externalisation crée des risques de « carence fournisseur ».

Les stratégies de crise (G ↘) : Les stratégies de crise sont évidemment des instruments de réduction des risques. Elles sont sans effet sur la fréquence et n'agissent que sur la gravité. Ce sont des instruments très puissants, mais malheureusement peu souvent envisagés avant le

sinistre. Ce n'est que lorsque l'entreprise est en situation de crise qu'elle essaye – dans la panique – de trouver les moyens d'en limiter les effets induits et qu'elle n'avait pas envisagés. Les stratégies de crise doivent être élaborées à froid, sur des scénarios recensés et hiérarchisés, en donnant bien entendu priorité aux sinistres de gravité pour lesquels la réduction des conséquences prend tout son sens, et sans prendre en compte les assurances, dont les effets – exclusivement financiers – ne se feront généralement sentir que bien après que la crise soit calmée.

III.6.4. Traitement du risque

Le traitement du risque a pour but de choisir et de mettre en œuvre des options pour aborder le risque.

Le traitement du risque implique un processus itératif:

- formuler et choisir des options de traitement du risque;
- élaborer et mettre en œuvre le traitement du risque;
- apprécier l'efficacité de ce traitement;
- déterminer si le risque résiduel est acceptable;
- s'il n'est pas acceptable, envisager un traitement complémentaire.

III.6.5. Suivi et revue

Le suivi et la revue ont pour but de s'assurer et d'améliorer la qualité et l'efficacité de la conception, de la mise en œuvre et des résultats du processus. Il convient que le suivi continu et la revue périodique du processus de management du risque et de ses résultats soient planifiés dans le processus de management du risque, en définissant clairement les responsabilités.

Il convient que le suivi et la revue aient lieu à toutes les étapes du processus. Le suivi et la revue comprennent la planification, le recueil et l'analyse d'informations, l'enregistrement des résultats et le retour d'information.

Il convient d'intégrer les résultats du suivi et de la revue aux activités de management des performances de l'organisme, de suivi des résultats et d'élaboration de rapports.

III.6.6. Enregistrement et élaboration de rapports

Il convient que le processus de management du risque et ses résultats soient documentés et fassent l'objet de rapports selon des mécanismes appropriés. L'enregistrement et l'élaboration de rapports a pour but de :

- communiquer sur les activités de management du risque et leurs résultats au sein de l'organisme;
- fournir des informations en vue de la prise de décisions;
- améliorer les activités de management du risque;
- faciliter l'interaction avec les parties prenantes, y compris celles ayant la responsabilité des activités de management du risque.

Il convient que les décisions concernant la création, la conservation et le traitement des informations documentées tiennent compte, sans toutefois s'y limiter, de leur utilisation, du caractère sensible des informations et du contexte externe et interne.

L'élaboration de rapports fait partie intégrante de la gouvernance de l'organisme et il convient qu'elle améliore la qualité du dialogue avec les parties prenantes et aide la direction et les organes de surveillance à faire face à leurs responsabilités. Les facteurs à prendre en considération pour l'établissement de rapports comprennent, sans toutefois s'y limiter:

- les différentes parties prenantes et leurs besoins et exigences spécifiques en matière d'information;
- le coût, la fréquence et le caractère opportun de l'établissement de rapports;
- la méthode adoptée pour l'établissement de rapports;
- la pertinence des informations au regard des objectifs de l'organisme et de la prise de décisions [80].

III.7. Conclusion

Le risque pour un projet est la possibilité que survienne un événement dont l'occurrence entraînerait des conséquences (positives ou négatives) sur le déroulement de l'activité du projet, ce risque est de nature très diverse il peut être technique, organisationnel ou bien lié au management de projet. L'impact du risque sur le projet peut être de type délai, de type coût et de type performance ou qualité.

Pour faire face à ses risques il est nécessaire d'intégrer deux méthodes d'aide à la décision dans le projet, cette approche permet d'une part de déterminer l'impact agrégé de chaque risque selon les trois caractéristiques du projet : délai, coût et qualité, et d'autre part de calculer la criticité pondérée de chaque risque selon les trois paramètres : la probabilité d'occurrence, la gravité et le coefficient de non détectabilité.

Le processus de ces méthodes et outils qui peuvent être utiles pour gérer le risque projet que l'on va voir dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 4

L'approche AHP et WPM pour un cas réel

IV.1. Introduction

Les risques d'un projet deviennent d'autant plus préoccupants que les projets sont de plus en plus complexes, soit par leur nature technique, soit par la multiplicité des intervenants.

Le processus de hiérarchie analytique (AHP) est une méthode d'aide à la décision développée par Saaty [26]. Il vise à quantifier les priorités relatives pour un ensemble donné d'alternatives sur une échelle de rapport, sur la base du jugement du décideur, et souligne l'importance des jugements intuitifs d'un décideur ainsi que la cohérence de la comparaison des alternatives dans le processus de prise de décision.

Étant donné qu'un décideur fonde ses jugements sur ses connaissances et son expérience, puis prend ses décisions en conséquence, l'approche AHP s'accorde bien avec le comportement d'un décideur. La force de cette approche est qu'elle organise les facteurs tangibles et intangibles de manière systématique et offre une solution structurée mais relativement simple aux problèmes de prise de décision.

L'objectif de ce chapitre est d'introduire les deux approches AHP et WPM dans l'évaluation des risques projet de réalisation d'une installation de pipes.

IV.2. Principe de la méthode AHP

Le processus d'analyse hiérarchique ou AHP (de l'anglais Analytic Hierarchy Process) a été développée par Saaty en 1980 permet aux décideurs de modéliser un problème complexe dans une structure hiérarchique montrant les relations entre le but, les objectifs (critères), les sous-objectifs et les alternatives (voir la figure IV.1). Tout en accélérant et facilitant le processus de décision.

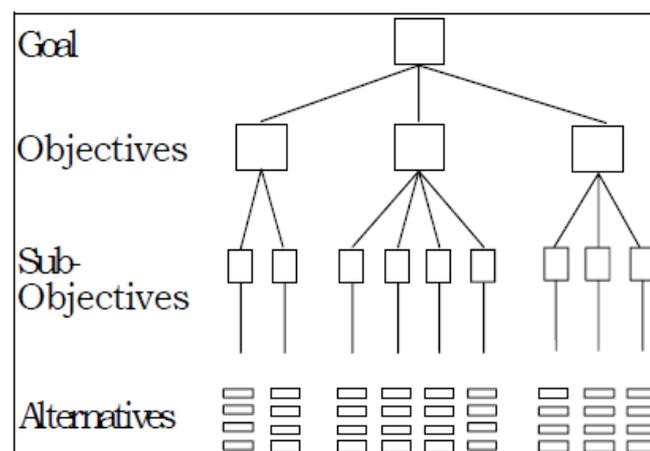


Figure IV.1. Hiérarchie de la décision [88].

IV.3. Démarche de la méthode AHP

La méthode AHP repose sur trois principes fondamentaux dont l'énoncé est donné dans les paragraphes qui suivent [88] :

- Construction de la hiérarchie

Cette phase consiste à décomposer le problème décisionnel en ses composantes principales. Ensuite, la construction de la hiérarchie s'opère selon une démarche descendante. Elle conduit à structurer la réalité complexe en une arborescence hiérarchique

- Etablissement de priorités

Cette étape consiste à comparer l'Importance Relative des Critères (IRC) ou (Poids) de tous les éléments appartenant à un même niveau hiérarchique. Cette comparaison s'effectue par éléments pris deux à deux par rapport à l'élément du niveau supérieur en tenant compte d'une échelle numérique présentée dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1. Echelle de mesure de la méthode AHP proposée par Saaty and Kearns [89].

Echelle numérique	Echelle verbale	Description
1	Importance égale des deux critères : Egalement important	Les deux critères contribuent autant au critère père.
3	Faible importance d'un critère par rapport à un autre : Légèrement plus important	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre.
5	Importance forte ou déterminante d'un critère par rapport à un autre : Fortement important	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un critère par rapport à un autre.
7	Importance attestée d'un critère par rapport à un autre : Très fortement plus important	Un critère est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Importance absolue d'un critère par rapport à un autre : Absolument plus important	Les preuves favorisant un critère par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible.
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations

Les comparaisons par paire sont présentées dans une matrice carrée, réciproque, de dimension n , notée $M = (m_{i,j})$ où $m_{i,j}$, représente l'importance de g_i sur g_j relativement à g_A et est telle que :

$$m_{i,j} > 0 \quad i, j = 1, \dots, n \quad (4.1)$$

La comparaison d'un critère avec lui-même donne l'unité :

$$m_{i,i} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (4.2)$$

Les positions de transposition de la matrice sont calculées selon l'axiome de réciprocity [88]:

$$m_{i,j} = \frac{1}{m_{j,i}} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (4.3)$$

L'étape de synthèse des appréciations permet d'évaluer l'IRC à partir des appréciations formulées au cours du processus de comparaison par paires. L'IRC prend la forme d'un vecteur :

$$W = (w_1, w_2 \dots w_n) \quad (4.4)$$

où w_i représente l'importance relative du critère g_i par rapport à sa famille d'appartenance. Le vecteur W peut être obtenu en calculant la moyenne de chaque colonne de la matrice M normalisée [89].

- Cohérence logique :

Des appréciations sont dites cohérentes si elles satisfont la propriété de transitivité suivante :

$$m_{i,j} = m_{i,k} \cdot m_{k,j} \quad i, j, k = 1, \dots, n \quad (4.5)$$

La méthode AHP propose de calculer un Indice de Cohérence (ou IC) qui mesure l'écart entre les réponses du ou des décideurs et des réponses jugées cohérentes. Selon T.L. Saaty [26], si la mesure de cet écart est inférieure à 0.1, les appréciations peuvent être considérées comme acceptables. Dans le cas d'appréciations cohérentes, on a [88] :

$$m_{i,j} = \frac{w_i}{w_j} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (4.6)$$

et

$$M.W = n.W \quad (4.7)$$

La matrice M ayant un rang unitaire (Chaque ligne de la matrice peut être obtenue en multipliant la première ligne par une constante), toutes ses valeurs propres λ_i sont nulles, à l'exception de l'une d'entre elles. Sachant que :

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{tr}(M) = n \quad i = 1, \dots, n \quad (4.8)$$

Où, la trace est la somme des éléments de la diagonale d'une matrice.

La valeur propre maximale de la matrice est $\lambda_{\max} = n$.

Une méthode simple pour approcher λ_{\max} est de considérer :

$$\hat{W} = M.W = (w_i) \text{ alors : } \lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{w_i'}{w_i} \text{ avec } i = 1, \dots, n \quad (4.9)$$

Ainsi, lorsque la matrice est cohérente, sa valeur propre maximale est égale à sa dimension. Dans le cas d'une matrice incohérente et donc pour laquelle $\exists i, j, k$ tels que $m_{i, j} \neq m_{j, k} \cdot m_{k, j}$, on a $\lambda_{\max} > n$. L'indice de cohérence IC est alors obtenu en calculant [90] :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (4.10)$$

Dans le cas d'une matrice cohérente $IC = 0$.

Le ratio de cohérence est déduit par la formule :

$$R_c = \frac{IC}{C_a} \quad (4.11)$$

C_a étant la cohérence aléatoire dont la valeur dépend de la dimension de la matrice selon les valeurs présentées dans le tableau IV.2.

La hiérarchie est jugée cohérente si R_c respecte les valeurs assignées au tableau IV.3.

Tableau IV.2. Valeurs de la cohérence aléatoire [89].

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_a	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tableau IV.3. Ratio de cohérence acceptable [89].

Taille de la matrice	Ratio de cohérence acceptable
3	0,05
4	0,08
5 et plus	0,10

IV.4. La méthode WPM

WPM est une méthode multicritère d'aide à la décision permettant de comparer des alternatives par rapport à plusieurs critères. Cette comparaison est effectuée en divisant les valeurs de tous les critères par l'un d'eux ensuite effectuer la multiplication de ces rapports. Chaque ratio est élevé à la puissance équivalente au poids du critère correspondant.

La formule traduisant cette méthode est la suivante :

$$P(A_K/A_L) = \prod_{j=1}^n (a_{Kj}/a_{Lj})^{w_j}, \quad K, L = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.12)$$

Où n désigne le nombre de critères, m le nombre d'alternatives, w_j le poids du critère j , A_K et A_L deux alternatives à comparer et a_{Kj} et a_{Lj} les poids des alternatives A_K et A_L selon le critère j .

Le poids global d'une alternative peut également être calculé selon l'équation 4.13 qui représente une alternative de l'utilisation de la méthode WPM [91].

$$P(A_K) = \prod_{j=1}^n (a_{Kj})^{w_j}, K = 1,2,3,\dots,m \quad (4.13)$$

IV.5. L'approche AHP et WPM pour l'évaluation des risques projets

L'approche utilisée permet d'évaluer les risques-projet de réalisation d'une installation de pipes (RIP) moyennant la notion de la « criticité pondérée ». Le but étant d'avoir un critère de hiérarchisation permettant de définir les risques majeurs qui seront l'objet d'actions de traitement.

Cette criticité sera calculée en utilisant les deux méthodes multicritères AHP et WPM sur deux phases :

- Calcul de l'**impact agrégé** de chaque risque selon les trois caractéristiques du projet : coût, délai et qualité.
- Définition de la **criticité pondérée** de chaque risque selon ses trois caractéristiques : la probabilité d'occurrence, la gravité et le coefficient de non détectabilité.

IV.5.1. Définition de l'impact agrégé du risque

La figure IV.2 présente la structure hiérarchique relative au calcul de l'impact (effet) global des risques :

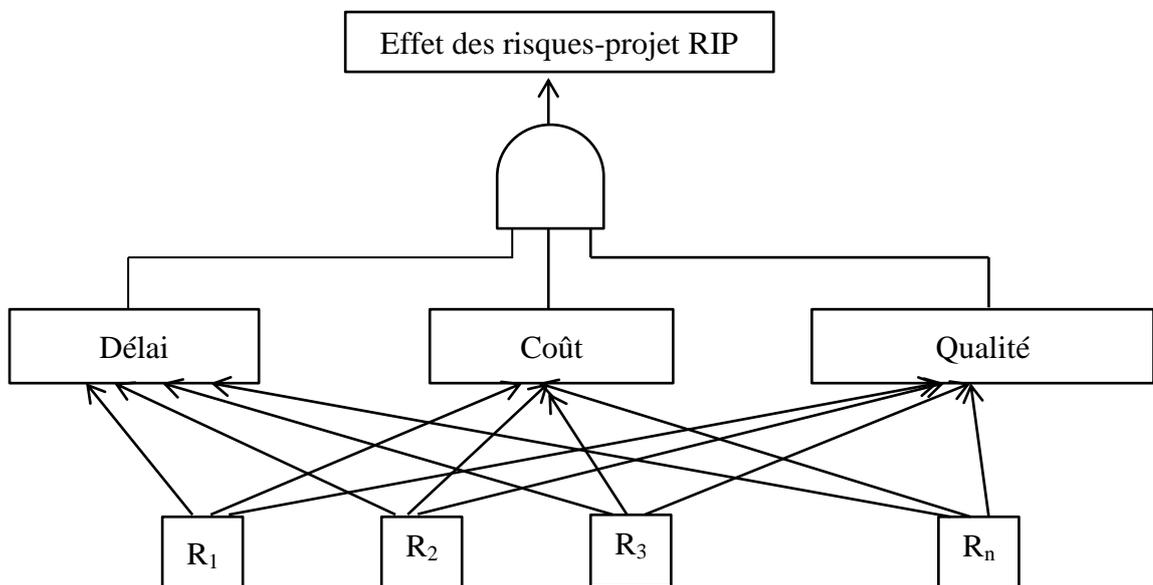


Figure IV.2. Structure hiérarchique de l'effet global des risques.

L'effet global des risques identifiés sera calculé par l'association des impacts sur chacun des trois caractéristiques du projet : coût, délai et qualité qui constituent le niveau1 de la hiérarchie. Le niveau 2 sera composé des N risques projet.

En suivant les étapes de mise en œuvre de la méthode AHP décrites précédemment, nous obtenons le vecteur poids correspondant à ces trois paramètres.

Nous procédons similairement pour les éléments du second niveau en comparant deux à deux chacun des risques par rapport au coût, au délai et à la qualité afin d'obtenir les poids de chaque risque relatifs à chaque paramètre.

Le tableau IV.4 présente le résultat de cette méthode.

Tableau IV.4. La matrice de décision relative au calcul de l'impact des risques.

	Délai	Coût	Qualité
	P_d	P_c	P_q
R₁	P_{R1d}	P_{R1c}	P_{R1q}
R₂	P_{R2d}	P_{R2c}	P_{R2q}
R₃	P_{R3d}	P_{R3c}	P_{R3q}
...			
R_N	P_{RNd}	P_{RNc}	P_{RNq}

Où P_d , P_c et P_q désignent respectivement les poids des paramètres délai, coût et qualité, et $[P_{R1d} P_{R2d} \dots P_{RNd}]$ le vecteur poids des risques R_i , $i=1 \dots N$ relatif au paramètre délai.

Ensuite, on classe les risques suivant leur poids relatifs à chaque paramètre en assignant à chacun une pondération standard suivant son classement et ce suivant les valeurs définies dans le tableau IV.5.

Tableau IV.5. Définition de la pondération standard des risques [88].

Classement du risque	Pondération assignée
1	N
2	N-1
3	N-2
...	...
N	1

A partir de l'équation 4.13, on calcul l'impact agrégé du risque I_{Ri} (Equation 4.14) :

$$I_{Ri} = (P_{Rid})^{P_d} \times (P_{Ric})^{P_c} \times (P_{Riq})^{P_q} \quad (4.14)$$

IV.5.2. Définition de la criticité pondérée du risque

Cette phase se déroulera en suivant le même cheminement du paragraphe **définition de l'impact agrégé du risque** appliqué à la hiérarchie présentée par la figure IV.3.

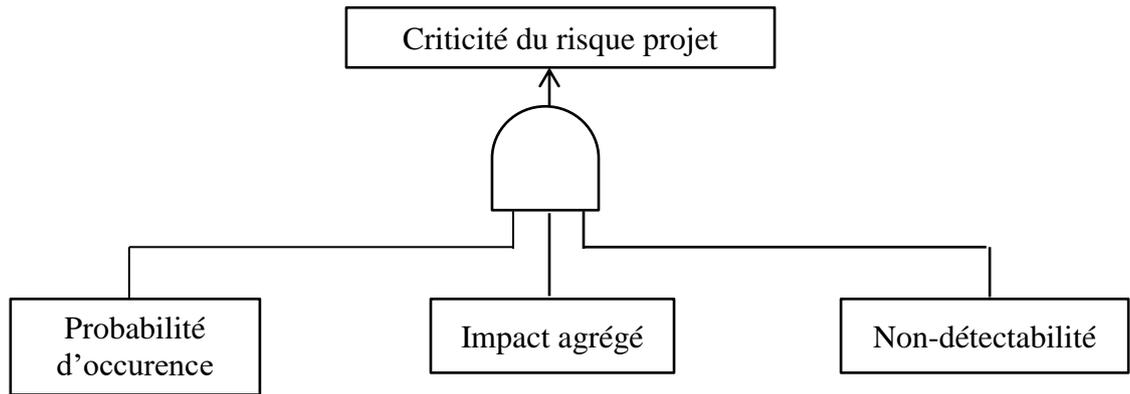


Figure IV.3. La hiérarchisation de la criticité des risques.

A cette hiérarchie, on déduit le vecteur $[P_p \ P_i \ P_{ND}]$ correspondant aux poids relatifs aux trois caractéristiques : Probabilité d’occurrence, Impact agrégé et Coefficient de non-défectabilité. Ainsi, et en utilisant l’équation 4.13, on définit la notion de la criticité pondérée. (Equation 4.15)

$$C = (P)^{P_p} \times (I)^{P_i} \times (ND)^{P_{ND}} \quad (4.15)$$

Telle que :

C : criticité pondérée,

P : probabilité d’occurrence,

I : impact agrégé,

ND : non-défectabilité,

P_p : poids de probabilité d’occurrence,

P_i : poids de l’impact agrégé,

P_{ND} : poids de non-défectabilité.

Cette criticité pondérée sera la base de la hiérarchisation des risques permettant de définir les risques majeurs qui nécessitent une priorité de traitement et de contrôle.

IV.6. Etude de cas : projet de réalisation d’une installation des pipelines

IV.6.1. Présentation du projet

Le projet étudié est relatif à la réalisation d’un système de transport par canalisation de gaz naturel par Sonatrach, cette compagnie étatique algérienne est un acteur international majeur dans l’industrie des hydrocarbures, elle a pour missions de valoriser de façon optimale les ressources nationales d’hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays.

Sonatrach et les sociétés Egyptienne Petrojet et Italienne Saipem Spa ont procédé, le mercredi 03 juin 2009, au siège de la Direction Générale de Sonatrach, à Alger, en présence de Ministre de l'Energie et des Mines, à la signature de contrats portant sur la réalisation d'un système de transport par canalisation de gaz naturel, dénommé GK3.

Le système de transport par canalisation GK3 est un gazoduc d'une longueur totale de 784 km et d'un diamètre de 48 pouces, reliera Hassi R'mel à El-Kala. (Figure IV.4.)

Ce système de transport de gaz naturel est composé de trois (03) lots identifiés comme suit :

- Lot 1 : Hassi R'mel (W. Laghouat) – Chaiba (W. Biskra), d'une longueur de 270 Km, attribué à la Société Petrojet,
- Lot 2 : Chaiba – Mechtatine (W. Batna), d'une longueur de 163 Km, attribué à la Société Pétrojet,
- Lot 3 : Mechtatine (W. Batna) – Tamlouka (W. de Guelma) / Tamlouka / Skikda et Tamlouka / El-Kala d'une longueur de 351 Km, attribué à la Société Saipem [1].

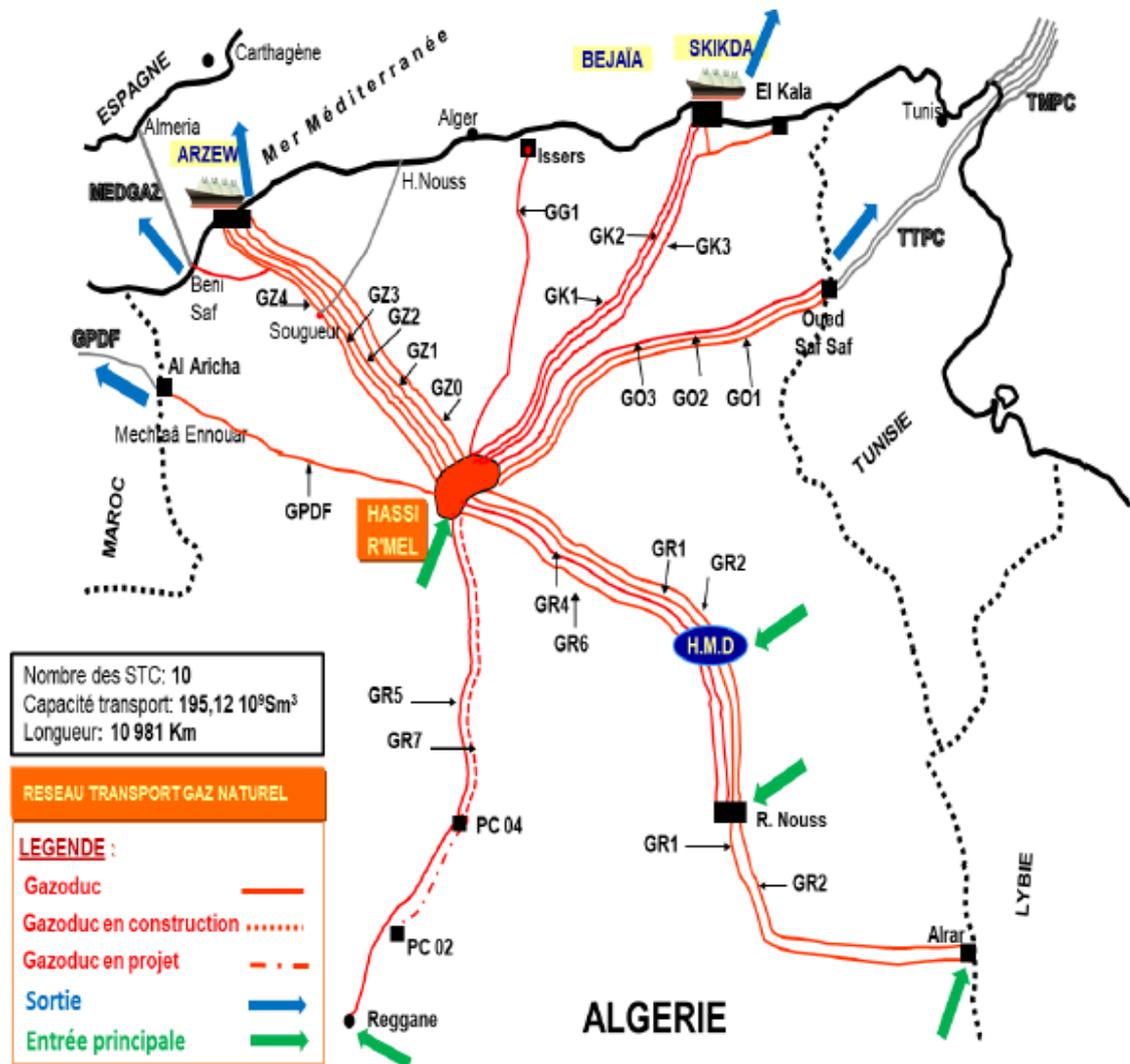


Figure IV.4. Carte du réseau de transport du gaz naturel [1].

Notre étude se focalise sur le lot 3.

Nous nous intéresserons aux risques inhérents à ce projet lors de sa phase de réalisation d'une installation de pipeline qui se déroule selon les étapes présentées dans la figure IV.5.

L'objectif de cette étude est d'évaluer et hiérarchiser les risques pouvant affecter ces étapes d'exécution en intégrant les deux approches AHP et WPM.

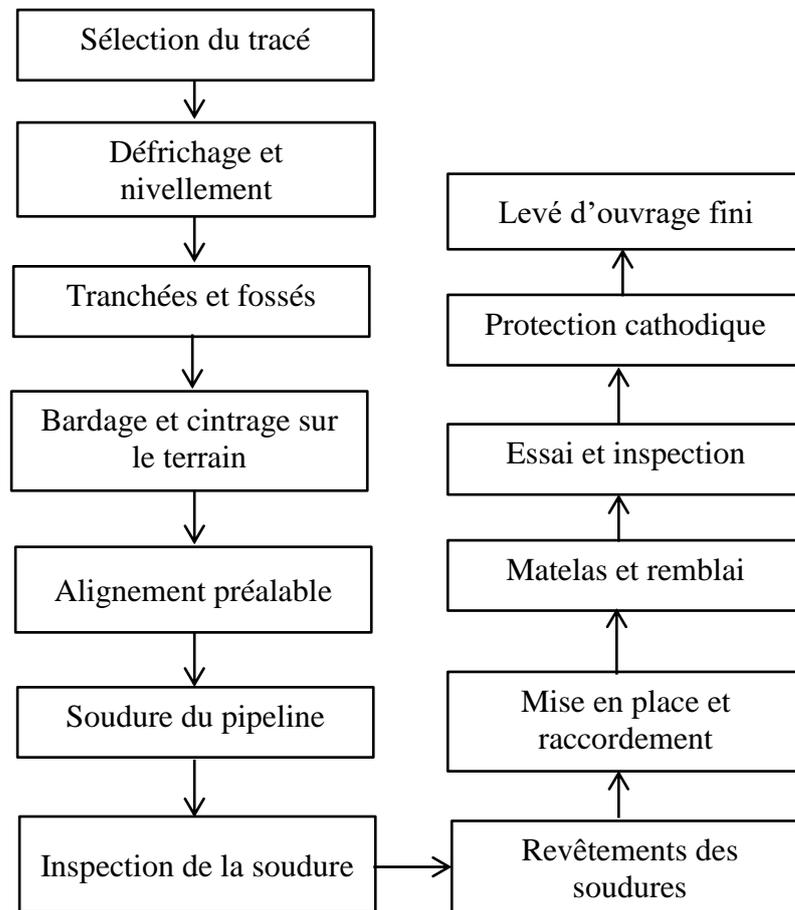


Figure IV.5. Les étapes de réalisation d'une installation de pipeline.

IV.6.2. Identification des risques

Cette phase consiste à recenser tous les facteurs ou événements susceptibles de perturber le déroulement du projet ou d'affecter ses objectifs.

Les risques identifiés dans le Tableau IV.6 ont été déterminés par un ensemble de personnes qui travaillent dans le secteur d'hydrocarbure-installation et exploitation des pipes.

Tableau IV.6. Liste des risques identifiés.

Code	Identification des risques
R1	Panne des engins sur site (P.E.S)
R2	Dureté du terrain (D.T)
R3	Opposition de passage dans un terrain propriétaire (O.P.T.P)
R4	Opération incorrecte (O.I)
R5	Feu de flash (F.F)
R6	Mouvement de sol (M.S)
R7	Non-respect du délai (N.R.D)

IV.6.3. Evaluation des risques

Il s'agit de faire une analyse des risques par rapport aux postes et méthodes de travail prescrits. On prend en considération tous les risques identifiés dans le tableau IV.6.

IV.6.3.1. Mise en œuvre de modèles de cotation de la probabilité d'occurrence P

Ce modèle de cotation de la probabilité basée sur l'approche développée par Lichtenstein et Newman, afin d'évaluer les probabilités d'occurrence. Le tableau IV.7 présente les valeurs utilisées [92].

Tableau IV.7. Correspondance entre estimation déclarative et probabiliste.

Probabilité d'apparition	Probabilité moyenne
Hautement probable	0,89
Probable	0,79
Vraisemblable	0,71
Possible	0,37
Impossible	0,12
Invraisemblable	0,11
Hautement improbable	0,06

IV.6.3.2. Définition des poids de non détectabilité

Dans certains milieux extrêmes où les activités présentent un danger pour l'homme, la détectabilité est un paramètre majeur dans la caractérisation du risque, le tableau IV.8 présente une grille de cotation de la probabilité de non détection sur 5 niveaux [82].

Tableau IV.8. Grille de cotation de la probabilité de non détection.

Poids	Désignation
1	Risque totalement détectable très tôt
2	Risque détectable tôt
3	Risque moyennement détectable
4	Risque faiblement détectable
5	Risque non détectable

Le tableau IV.9 identifié les valeurs de probabilité d'apparition (P) et de non détectabilité (N.D) assignées à chaque risque, ces valeurs ont été données par les spécialistes cités précédemment et développées par la théorie des ensembles flous [93].

Tableau IV.9. Probabilité d'apparition et non détectabilité des risques.

code	Désignation du risque	P	N.D
R1	Panne des engins sur site	0,71	3
R2	Dureté du terrain	0,79	4
R3	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	0,71	2
R4	Opération incorrecte	0,37	2
R5	Feu de flash	0,71	3
R6	Mouvement de sol	0,71	4
R7	Non-respect du délai	0,37	4

IV.6.3.3. Calcul de l'impact des risques

IV.6.3.3.1. Établissement la matrice de décision de comparaison des critères

En appliquant les étapes de mise en œuvre de la méthode AHP, on a effectué des comparaisons binaires entre les critères de niveau 1 de la hiérarchie (Tableau IV.10), ensuite on a défini le poids (W) relatif à chaque objectif du projet (Tableau IV.12) à partir de la matrice de décision du (Tableau IV.11).

Tableau IV.10. Tableau de comparaison des critères D/C/Q.

Comparaison par paire des critères	Critères considérés important	Echelle verbale	Evaluation
Délai / Coût	Délai	Légèrement important	3
Délai / Qualité	Délai Qualité	Egalement important	1
Coût / Qualité	Qualité	Valeur intermédiaire	2

Tableau IV.11. Matrice de décision entre les critères D/C/Q.

	Délai	Coût	Qualité	Somme ligne
Délai	1	3	1	5
Coût	1/3	1	1/2	1,83
Qualité	1	2	1	4
Somme colonne	2,33	6	2,5	10,83

On a un modèle de présentation d'une matrice carrée d'ordre n x n comme suit :

$$M = (m_{i,j}) = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Tableau IV.12. Matrice cohérente normalisée des critères D/C/Q.

	Délai	Coût	Qualité	Somme ligne	Poids (W)
Délai	1/2,33	3/6	1/2,5	1,33	0,44
Coût	0,33/2,33	1/6	0,5/2,5	0,50	0,16
Qualité	1/2,33	2/6	1/2,5	1,16	0,38

IV.6.3.3.2. Détermination de ratio de cohérence des critères

D'après l'équation 4.10 :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

On calcul la valeur propre maximale λ_{max} :

On va multiplier la matrice $m_{i,j}$ par les éléments de vecteur poids (W), ensuite on calcul la moyenne des valeurs trouvées :

$$(0,44 \quad 0,16 \quad 0,38) \times \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} = (1,30 \quad 0,49 \quad 1,14)$$

On divise les éléments du vecteur par le poids correspondant à chaque critère.

$$\text{Délai : } 1,30 / 0,44 = 2,95$$

$$\text{Coût : } 0,49 / 0,16 = 3,06$$

$$\text{Qualité : } 1,14 / 0,38 = 3$$

On calcul λ_{max} d'après l'équation 4.9.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{3} (2,95 + 3,06 + 3) = 3,003$$

Donc l'indice de cohérence :

$$IC = \frac{3,003-3}{2} = 0,0015$$

Et le ratio de cohérence d'après l'équation 4.11 :

$$RC = \frac{0,0015}{0,58} = 0,0025 \text{ soit } 0,25\%$$

$RC < 0,05$ le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

L'étape suivante consiste à effectuer les comparaisons par paires des sept (07) sous critères, situés au deuxième niveau, en regard de trois (3) critères situés au niveau supérieur soit par rapport au : délai, coût et qualité.

Tableau IV.13. Matrice de comparaison des risques pairs par rapport au délai.

Comparaison par paire des sous critères	Critères considérés important	Echelle verbale	Evaluation
Panne des engins sur site / Dureté du terrain	Dureté du terrain	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Opération incorrecte	Panne des engins sur site	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Feu de flash	Panne des engins sur site	Egalement important	1
Panne des engins sur site / Mouvement de sol	Panne des engins sur site	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Non-respect du délai	Panne des engins sur site	Légèrement important	3
Dureté du terrain / Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Dureté du terrain	Valeur intermédiaire	2
Dureté du terrain / Opération incorrecte	Dureté du terrain	Légèrement important	3
Dureté du terrain / Feu de flash	Dureté du terrain	Légèrement important	3
Dureté du terrain / Mouvement de sol	Dureté du terrain	Egalement important	1
Dureté du terrain / Non-respect du délai	Dureté du terrain	Egalement important	1
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Opération incorrecte	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Légèrement important	3
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Feu de flash	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Légèrement important	3
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Mouvement de sol	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Valeur intermédiaire	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Non-respect du délai	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Légèrement important	3
Opération incorrecte / Feu de flash	Feu de flash	Légèrement important	3
Opération incorrecte / Mouvement de sol	Mouvement de sol	Légèrement important	3

Opération incorrecte / Non-respect du délai	Opération incorrecte	Valeur intermédiaire	2
Feu de flash / Mouvement de sol	Feu de flash	Valeur intermédiaire	2
Feu de flash / Non-respect du délai	Feu de flash	Valeur intermédiaire	2
Mouvement de sol / Non-respect du délai	Mouvement de sol	Valeur intermédiaire	2

On transforme le tableau de comparaison des critères en une matrice de décision en transcrivant les valeurs des évaluations du tableau IV.13 dans chaque colonne correspondante.

Tableau IV.14. Matrice de comparaison des paires (Délai).

Délai	Panne des engins sur site	Dureté du terrain	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Opération incorrecte	Feu de flash	Mouvement de sol	Non-respect du délai
Panne des engins sur site	1	1/3	1/3	3	1	3	3
Dureté du terrain	3	1	2	3	3	1	1
Opposition de passage dans un terrain propriétaire	3	1/2	1	3	3	2	3
Opération incorrecte	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	2
Feu de flash	1	1/3	1/3	3	1	2	3
Mouvement de sol	1/3	1	2	3	1/2	1	3
Non-respect du délai	1/3	1	1/3	1/2	1/2	1/2	1

$$M = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 3 & 3 \\ 3 & \mathbf{1} & 2 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1/2 & \mathbf{1} & 3 & 3 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & \mathbf{1} & 1/3 & 1/3 & 2 \\ 1 & 1/3 & 1/3 & 3 & \mathbf{1} & 2 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 & 1/2 & \mathbf{1} & 3 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

Tableau IV.15. Matrice cohérente normalisée de paramètre délai.

Délai	P.E.S	D.T	O.P.T.P	O.I	F.F	M.S	N.R.D	Somme ligne	W
P.E.S	1/8,99	0,33/4,49	0,33/6,32	3/16,50	1/9,33	3/9,83	3/16	0,99	0,14
D.T	3/8,99	1/4,49	2/6,32	3/16,50	3/9,33	1/9,83	1/16	1,54	0,22
O.P.T.P	3/8,99	0,5/4,49	1/6,32	3/16,50	3/9,33	2/9,83	3/16	1,47	0,21
O.I	0,33/8,99	0,33/4,49	0,33/6,32	1/16,50	0,33/9,33	0,33/9,83	2/16	0,42	0,06
F.F	1/8,99	0,33/4,49	0,33/6,32	3/16,50	1/9,33	2/9,83	3/16	0,89	0,13
M.S	0,33/8,99	1/4,49	2/6,32	3/16,50	0,5/9,33	1/9,83	3/16	1,13	0,16
N.R.D	0,33/8,99	1/4,49	0,33/6,32	0,5/16,50	0,5/9,33	0,5/9,83	1/16	0,56	0,08
Somme colonne	8,99	4,49	6,32	16,50	9,33	9,83	16		

IV.6.3.3.3. Détermination de ratio de cohérence de critère délai

$$(0,14 \ 0,22 \ 0,21 \ 0,06 \ 0,13 \ 0,16 \ 0,08) \times \begin{bmatrix} \mathbf{1} & 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 3 & 3 \\ 3 & \mathbf{1} & 2 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1/2 & \mathbf{1} & 3 & 3 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & \mathbf{1} & 1/3 & 1/3 & 2 \\ 1 & 1/3 & 1/3 & 3 & \mathbf{1} & 2 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 & 1/2 & \mathbf{1} & 3 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

$$= (1,3 \ 1,78 \ 1,76 \ 0,4 \ 1,04 \ 1,24 \ 0,5)$$

Panne des engins sur site : $1,3 / 0,14 = 9,28$

Dureté du terrain : $1,78 / 0,22 = 8,09$

Opposition de passage dans un terrain propriétaire : $1,76 / 0,21 = 8,3$

Opération incorrecte : $0,4 / 0,06 = 6,66$

Feu de flash : $1,04 / 0,13 = 08$

Mouvement de sol : $1,24 / 0,16 = 7,75$

Non-respect du délai : $0,5 / 0,08 = 6,25$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{7} (9,28 + 8,09 + 8,3 + 6,66 + 08 + 7,75 + 6,25) = 7,76$$

Donc l'indice de cohérence :

$$IC = \frac{7,76-7}{6} = 0,12$$

Et le ratio de cohérence :

$$RC = \frac{0,12}{1,32} = 0,09 \text{ soit } 09 \%$$

$RC = 09\% < 10\%$ le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Tableau IV.16. Matrice de comparaison des risques pairs par rapport au coût.

Comparaison par paire des sous critères	Critères considérés important	Echelle verbale	Evaluation
Panne des engins sur site / Dureté du terrain	Panne des engins sur site	Fortement important	5
Panne des engins sur site / Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Très fortement plus important	7
Panne des engins sur site / Opération incorrecte	Panne des engins sur site	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Feu de flash	Panne des engins sur site	Fortement important	5
Panne des engins sur site / Mouvement de sol	Panne des engins sur site	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Non-respect du délai	Panne des engins sur site	Valeur intermédiaire	2
Dureté du terrain / Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Fortement important	5
Dureté du terrain / Opération incorrecte	Dureté du terrain	Légèrement important	3
Dureté du terrain / Feu de flash	Dureté du terrain	Légèrement important	3
Dureté du terrain / Mouvement de sol	Dureté du terrain	Egalement important	1
Dureté du terrain / Non-respect du délai	Non-respect du délai	Valeur intermédiaire	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Opération incorrecte	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Fortement important	5
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Feu de flash	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Valeur intermédiaire	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Mouvement de sol	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Valeur intermédiaire	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Non-respect du délai	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Légèrement important	3
Opération incorrecte / Feu de flash	Feu de flash	Légèrement important	3

Opération incorrecte / Mouvement de sol	Mouvement de sol	Fortement important	5
Opération incorrecte / Non-respect du délai	Opération incorrecte	Valeur intermédiaire	2
Feu de flash / Mouvement de sol	Feu de flash	Légèrement important	3
Feu de flash / Non-respect du délai	Feu de flash	Fortement important	5
Mouvement de sol / Non-respect du délai	Non-respect du délai	Légèrement important	3

Tableau IV.17. Matrice de comparaison des paires (Coût).

Coût	Panne des engins sur site	Dureté du terrain	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Opération incorrecte	Feu de flash	Mouvement de sol	Non-respect du délai
Panne des engins sur site	1	5	1/7	3	5	3	2
Dureté du terrain	1/5	1	1/5	3	3	1	1/2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire	7	5	1	5	2	2	3
Opération incorrecte	1/3	1/3	1/5	1	1/3	1/5	2
Feu de flash	1/5	1/3	1/2	3	1	3	5
Mouvement de sol	1/3	1	1/2	5	1/3	1	1/3
Non-respect du délai	1/2	2	1/3	1/2	1/5	3	1

$$M = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & 5 & 1/7 & 3 & 5 & 3 & 2 \\ 1/5 & \mathbf{1} & 1/5 & 3 & 3 & 1 & 1/2 \\ 7 & 5 & \mathbf{1} & 5 & 2 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/5 & \mathbf{1} & 1/3 & 1/5 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 3 & \mathbf{1} & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 5 & 1/3 & \mathbf{1} & 1/3 \\ 1/2 & 2 & 1/3 & 1/2 & 1/5 & 3 & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

Tableau IV.18. Matrice cohérente normalisée de paramètre coût.

Coût	P.E.S	D.T	O.P.T.P	O.I	F.F	M.S	N.R.D	Somme ligne	W
P.E.S	1/9,56	5/14,66	0,14/2,87	3/20,5	5/11,86	3/13,2	2/13,83	1,54	0,25
D.T	0,2/9,56	1/14,66	0,2/2,87	3/20,5	3/11,86	1/13,2	0,5/13,83	0,63	0,09
O.P.T.P	7/9,56	5/14,66	1/2,87	5/20,5	2/11,86	2/13,2	3/13,83	2,17	0,31
O.I	0,33/9,56	0,33/14,66	0,2/2,87	1/20,5	0,33/11,86	0,2/13,2	2/13,83	0,32	0,04
F.F	0,2/9,56	0,33/14,66	0,5/2,87	3/20,5	1/11,86	3/13,2	5/13,83	1,01	0,14
M.S	0,33/9,56	1/14,66	0,5/2,87	5/20,5	0,33/11,86	1/13,2	0,33/13,83	0,38	0,05
N.R.D	0,5/9,56	2/14,66	0,33/2,87	0,5/20,5	0,2/11,86	3/13,2	1/13,83	0,61	0,09
Somme colonne	9,56	14,66	2,87	20,5	11,86	13,2	13,83		

IV.6.3.3.4. Détermination de ratio de cohérence de critère coût

$$(0,25 \ 0,09 \ 0,31 \ 0,04 \ 0,14 \ 0,05 \ 0,09) \times \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1/7 & 3 & 5 & 3 & 2 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 3 & 3 & 1 & 1/2 \\ 7 & 5 & 1 & 5 & 2 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/5 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 5 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/2 & 2 & 1/3 & 1/2 & 1/5 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= (1,89 \ 0,83 \ 2,2 \ 0,44 \ 0,86 \ 0,46 \ 0,57)$$

- Panne des engins sur site : $1,89 / 0,25 = 7,56$
- Dureté du terrain : $0,83 / 0,09 = 9$
- Opposition de passage dans un terrain propriétaire : $2,2 / 0,31 = 7,09$
- Opération incorrecte : $0,44 / 0,05 = 8$
- Feu de flash : $0,86 / 0,14 = 6,14$
- Mouvement de sol : $0,46 / 0,05 = 9,2$
- Non-respect du délai : $0,57 / 0,09 = 6,33$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{7} (7,56 + 9 + 7,09 + 8 + 6,14 + 9,2 + 6,33) = 7,61$$

$$IC = \frac{7,61-7}{6} = 0,1$$

$$RC = \frac{0,1}{1,32} = 0,075 \text{ soit } 7,5 \%$$

$RC = 7,5\% < 10\%$ le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Tableau IV.19. Matrice de comparaison des risques pairs par rapport au qualité.

Comparaison par paire des sous critères	Critères considérés important	Echelle verbale	Evaluation
Panne des engins sur site / Dureté du terrain	Panne des engins sur site	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Valeur intermédiaire	2
Panne des engins sur site / Opération incorrecte	Opération incorrecte	Fortement important	5
Panne des engins sur site / Feu de flash	Panne des engins sur site	Valeur intermédiaire	2
Panne des engins sur site / Mouvement de sol	Panne des engins sur site	Légèrement important	3
Panne des engins sur site / Non-respect du délai	Panne des engins sur site	Valeur intermédiaire	2
Dureté du terrain / Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Dureté du terrain	Fortement important	5
Dureté du terrain / Opération incorrecte	Opération incorrecte	Fortement important	5
Dureté du terrain / Feu de flash	Feu de flash	Légèrement important	3
Dureté du terrain / Mouvement de sol	Dureté du terrain	Egalement important	1
Dureté du terrain / Non-respect du délai	Dureté du terrain	Valeur intermédiaire	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Opération incorrecte	Opération incorrecte	Légèrement important	3
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Feu de flash	Feu de flash	Valeur intermédiaire	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Mouvement de sol	Mouvement de sol	Valeur intermédiaire	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire / Non-respect du délai	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Légèrement important	3
Opération incorrecte / Feu de flash	Opération incorrecte	Valeur intermédiaire	2
Opération incorrecte / Mouvement de sol	Opération incorrecte	Légèrement important	3
Opération incorrecte / Non-respect du délai	Opération incorrecte	Fortement important	5
Feu de flash / Mouvement de sol	Feu de flash	Légèrement important	3

Feu de flash / Non-respect du délai	Feu de flash	Fortement important	5
Mouvement de sol / Non-respect du délai	Mouvement de sol	Valeur intermédiaire	2

Tableau IV.20. Matrice de comparaison des paires (Qualité).

Qualité	Panne des engins sur site	Dureté du terrain	Opposition de passage dans un terrain propriétaire	Opération incorrecte	Feu de flash	Mouvement de sol	Non-respect du délai
Panne des engins sur site	1	3	1/2	1/5	2	3	2
Dureté du terrain	1/3	1	5	1/5	1/3	1	2
Opposition de passage dans un terrain propriétaire	2	1/5	1	1/3	1/2	1/2	3
Opération incorrecte	5	5	3	1	2	3	5
Feu de flash	1/2	3	2	1/2	1	3	5
Mouvement de sol	1/3	1	2	1/3	1/3	1	2
Non-respect du délai	1/2	1/2	1/3	1/5	1/5	1/2	1

$$M = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & 3 & 1/2 & 1/2 & 2 & 3 & 2 \\ 1/3 & \mathbf{1} & 5 & 1/5 & 1/3 & 1 & 2 \\ 2 & 1/5 & \mathbf{1} & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 3 \\ 5 & 5 & 3 & \mathbf{1} & 2 & 3 & 5 \\ 1/2 & 3 & 2 & 1/2 & \mathbf{1} & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 2 & 1/3 & 1/3 & \mathbf{1} & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/2 & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

Tableau IV.21. Matrice cohérente normalisée de paramètre qualité.

Qualité	P.E.S	D.T	O.P.T.P	O.I	F.F	M.S	N.R.D	Somme ligne	W
P.E.S	1/9,66	3/12,7	0,5/13,83	0,5/3,06	2/6,36	3/12	2/20	1,18	0,17
D.T	0,33/9,66	1/12,7	5/13,83	0,2/3,06	0,33/6,36	1/12	2/20	0,76	0,11
O.P.T.P	2/9,66	0,2/12,7	1/13,83	0,33/3,06	0,5/6,36	0,5/12	3/20	0,66	0,09
O.I	5/9,66	5/12,7	3/13,83	1/3,06	2/6,36	3/12	5/20	2,24	0,32
F.F	0,5/9,66	3/12,7	2/13,83	0,5/3,06	1/6,36	3/12	5/20	1,23	0,17
M.S	0,33/9,66	1/12,7	2/13,83	0,33/3,06	0,33/6,36	1/12	2/20	0,58	0,08
N.R.D	0,5/9,66	0,5/12,7	0,33/13,83	0,2/3,06	0,2/6,36	0,5/12	1/20	0,29	0,04
Somme colonne	9,66	12,7	13,83	3,06	6,36	12	20		

IV.6.3.3.5. Détermination de ratio de cohérence de critère qualité

$$(0,17 \ 0,11 \ 0,09 \ 0,32 \ 0,17 \ 0,08 \ 0,04) \times \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/2 & 1/2 & 2 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 5 & 1/5 & 1/3 & 1 & 2 \\ 2 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 3 \\ 5 & 5 & 3 & 1 & 2 & 3 & 5 \\ 1/2 & 3 & 2 & 1/2 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 2 & 1/3 & 1/3 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= (1,35 \ 0,87 \ 0,76 \ 2,75 \ 1,34 \ 0,63 \ 0,3)$$

Panne des engins sur site :	$1,35 / 0,17 = 7,9$
Dureté du terrain :	$0,87 / 0,11 = 7,8$
Opposition de passage dans un terrain propriétaire :	$0,76 / 0,09 = 8,3$
Opération incorrecte :	$2,75 / 0,32 = 8,4$
Feu de flash :	$1,34 / 0,17 = 7,7$
Mouvement de sol :	$0,63 / 0,08 = 7,6$
Non-respect du délai :	$0,3 / 0,04 = 7,4$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{7} (7,9 + 7,8 + 8,3 + 8,4 + 7,7 + 7,6 + 7,4) = 7,8$$

$$IC = \frac{7,8-7}{6} = 0,13$$

$$RC = \frac{0,13}{1,32} = 0,098 \text{ soit } 9,8 \%$$

$RC = 9,8\% < 10\%$ le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Les poids relatifs à chaque risque identifié selon les trois caractéristiques : délai, coût et qualité sont présentés dans le tableau IV.22.

Tableau IV.22. Poids des risques suivant les paramètres : délai, coût et qualité.

	Délai	Coût	Qualité
R1	0,14	0,25	0,17
R2	0,22	0,094	0,11
R3	0,21	0,31	0,09
R4	0,06	0,04	0,32
R5	0,13	0,14	0,175
R6	0,16	0,05	0,08
R7	0,08	0,09	0,04

En procédant à la classification des poids des risques selon chaque paramètre, on leur assigne des pondérations standards suivant les valeurs du tableau IV.5. Le tableau IV.23 présente la matrice de décision de l'impact des risques.

Tableau IV.23. Matrice de décision obtenue de l'impact des risques.

	Délai	Coût	Qualité
	0,44	0,16	0,38
R1	4	6	5
R2	7	4	4
R3	6	7	3
R4	1	1	7
R5	3	5	6
R6	5	2	2
R7	2	3	1

Par application de l'équation 4.14, on obtient les impacts agrégés des risques présentés dans le tableau IV.24.

Tableau IV.24. Impacts agrégés des risques.

Risque	Impact agrégé
R1	4,5
R2	4,9
R3	4,5
R4	2,1
R5	4,1
R6	2,9
R7	1,6

En appliquant la méthode AHP, on définit les poids relatifs à la probabilité d'occurrence (P.O), l'impact agrégé (I.A) et la non détectabilité (N.D). Le tableau IV.28 présente les résultats obtenus.

Tableau IV.25. Tableau de comparaison des paramètres P.O/I.A/N.D.

Comparaison par paire des critères	Critères considérés important	Echelle verbale	Evaluation
P.O / I.A	I.A P.O	Egalement important	1
P.O / N.D	P.O	Légèrement important	3
I.A / N.D	I.A	Valeur intermédiaire	4

Tableau IV.26. Matrice de décision entre les paramètres P.O/I.A/N.D.

	P.O	I.A	N.D	Somme ligne
P.O	1	1	3	5
I.A	1	1	4	6
N.D	1/3	1/4	1	1,58
Somme colonne	2,33	2,25	8	12,58

$$M = (m_{i,j}) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$$

Tableau IV.27. Matrice cohérente normalisée des paramètres P.O/I.A/N.D.

	P.O	I.A	N.D	Somme ligne	Poids (W)
P.O	1/2,33	1/2,25	3/8	1,24	0,41
I.A	1/2,33	1/2,25	4/8	1,37	0,46
N.D	0,33/2,33	0,25/2,25	1/8	0,38	0,13

$$(0,41 \ 0,46 \ 0,13) \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} = (1,26 \ 1,39 \ 0,38)$$

On divise les éléments du vecteur par le poids correspondant à chaque critère.

$$\text{P.O : } 1,26 / 0,41 = 3,07$$

$$\text{I.A : } 1,39 / 0,46 = 3,02$$

$$\text{N.D : } 0,38 / 0,13 = 2,92$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{3} (3,07 + 3,02 + 2,92) = 3,003$$

$$IC = \frac{3,003-3}{2} = 0,0015$$

$$RC = \frac{0,0015}{0,58} = 0,0025 \text{ soit } 0,25\%$$

$RC = 0.0025 < 0,05$ le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Tableau IV.28. Poids des paramètres P.O/ I.A/ N.D.

Paramètres	Poids
Probabilité d'occurrence	0,41
Impact agrégé	0,46
Non détectabilité	0,13

IV.6.3.4. Calcul de la criticité pondérée des risques

Par application de l'équation 4.15, nous calculons la criticité pondérée relative à chaque risque, qui sera la base de leur hiérarchisation.

Le tableau IV.29 présente les résultats obtenus.

Tableau IV.29. Hiérarchisation des risques identifiés.

	P.O	I.A	N.D	Criticité pondéré	Rang
	0,41	0,46	0,13		
R1	0,71	4,5	3	1,96	2
R2	0,79	4,9	4	2,21	1
R3	0,71	4,5	2	1,86	4
R4	0,37	2,1	2	1	6
R5	0,71	4,1	3	1,88	3
R6	0,71	2,9	4	1,66	5
R7	0,37	1,6	4	0,97	7

- Discussion

D'après les résultats de la criticité, nous constatons que les risques les plus critiques sont respectivement : R2, R1 et R5, donc le risque dureté du terrain est prioritaire et nécessite un plan d'action préventif.

Ce classement permet au décideur de sélectionner le risque le plus important, dureté du terrain, ceci est dû à la priorité assignée aux paramètres : Probabilité d'occurrence, impact agrégé et coefficient de non-défectabilité. Ce risque affecte plus le bon déroulement de projet, donc il nécessite un traitement et un contrôle rigoureux par rapport aux risques R1 et R5.

IV.7 Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté une approche de prise de décision qui permet de prendre en compte plusieurs critères.

Dans un premier lieu nous avons déterminé l'impact agrégé de chaque risque en effectuant des comparaisons binaires entre les trois caractéristiques du projet : coût, délai et qualité. Ensuite, nous avons procédé les mêmes étapes pour les risques du deuxième niveau, en comparant deux à deux chacun des risques par rapport au coût, délai et qualité et ce pour déterminer les poids de chaque risque relatifs à chaque paramètre.

Dans un second lieu nous avons calculé la criticité pondérée de chaque risque selon ses trois paramètres : la probabilité d'occurrence, la gravité et le coefficient de non détectabilité, cette criticité permettant de hiérarchiser les risques par ordre d'importance dont l'objectif de faciliter les tâches de décideur pour prendre des jugements précis.

Conclusion générale et perspectives

Cette thèse basée sur l'intégration des deux méthodes multicritères AHP et WPM pour évaluer les risques du projet liés à la réalisation d'une installation de pipelines.

Les pipelines sont la méthode de transport du gaz naturel et des produits pétroliers la plus sécuritaire, la plus efficace et la plus respectueuse de l'environnement.

Tous les projets de réalisation des installations de pipes sont affectés par différents types de risques : **financier, techniques, temporels...etc**, ce qui nécessite l'application des méthodes multicritères d'aide à la décision pour déterminer les risques majeurs liés à ce projet, cette approche vient pour évaluer et hiérarchiser ces risques, ainsi pour remédier aux limites de la notion classique de la criticité, telle que utilisé dans la méthode AMDEC.

La capacité de cette approche de structurer un problème complexe, multidimensionnels de façon hiérarchique, ainsi que la vérification de la cohérence de l'ensemble des jugements de comparaison, ce qui assure que l'analyse ne soit pas arbitraire ou erronée, réduit la perte de temps et améliore la précision de la prise de décision, ce qui n'est pas le cas dans la méthode SAW adapter pour les problèmes unidimensionnels, et même pour la méthode VIKOR (Multicriteria Optimization and Compromise Ranking) où en cas de critères contradictoires, un décideur doit également tenir compte de données imprécises ou ambiguës.

L'approche utiliser permet au décideur de sélectionner les risques par ordre d'importance ainsi de traiter le cas de dépendances entre ces risques.

Son usage pratique a été testé sur un projet réel de réalisation d'une installation de pipes afin de déterminer les risques critiques menaçant l'aboutissement des objectifs projets.

Nous proposons comme perspectives les travaux suivants:

- Regrouper tous les risques identifiés dans des fiches d'action et gérés dans un tableau de bord de suivi d'indicateurs,
- Mettre place un ensemble d'actions (préventives ou correctives) pour atténuer les effets des risques,
- Identifier et gérer les risques lors de la phase d'exploitation des pipelines,
- L'intégration de l'aspect économique du traitement des risques.

Références

- [1] Site de Sonatrach, <https://sonatrach.com/wp-content/uploads/2019/03/Rapport-Annuel-2017.pdf>, consulté en 2018.
- [2] Site de Sonatrach, <https://sonatrach.com/wp-content/uploads/2018/07/Code-Reglementaire-Transport-par-Canalisation-juin-2018.pdf>, consulté en 2019.
- [3] Régine B., (2012), Management des projets complexes de génie civil et urbain : Guide pratique pour la Maîtrise et la Gestion des Risques. Projet Germa.
- [4] Abdelhadi M., (2019), Elaboration d'un modèle de négociation par les web services dans un système d'aide multicritères à la décision de groupe. Thèse de doctorat, université Oran1 Ahmed Benbella, Algérie.
- [5] Joerin F., (1997), Décider sur le territoire : Proposition d'une approche par l'utilisation de SIG et de AMC. Thèse de doctorat, école polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.
- [6] Zoller H.G. et Béguin H., (1992), Aide à la décision : Évaluation des projets d'aménagement. Economica, Paris.
- [7] Schârlig A., (1985), Décider sur plusieurs critères, Panorama de l'aide à la décision multicritère. In, Collection : Diriger l'entreprise, Presse polytechnique et universitaire romandes.
- [8] Landry M., (1995), A note on the concept of problem. Organ. Stud., vol. 16, pp. 315–343.
- [9] Strategor L.O., (1988), Stratégie, structure, décision, identité : Politique générale d'entreprise. Inter Editions, Paris.
- [10] Marle F., (2002), Modèle d'informations et méthodes pour aider à la prise de décision en management de projets. Ecole Centrale, Paris.
- [11] Andersen E., (1996), Warning: activity planning is hazardous to your project's health!. International Journal of Project Management, 14(2), pp. 89-94.
- [12] Perminova O., Gustafsson M., and Wikström K., (2008), Defining uncertainty in projects

- a new perspective. *International Journal of Project Management*, 26(1), pp. 73-79.
- [13] Roy B. et Bouyssou D., (1993), *Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas*. In, London School of Economics and Political Science.
- [14] Chakhar S., (2006), *Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique*. Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine D.F.R. Sciences des Organisations, France.
- [15] Martel J.M., (1998), *Multicriteria analysis under uncertainty: The approach of outranking synthesis*. Work. Pap. Faculté des sciences de l'administration, Université Laval, n° 39. Canada.
- [16] Landry M., (1998), *L'aide multicritère à la décision comme support à la construction du sens dans l'entreprise*. In, *Système d'information Management*, 3(1), pp. 5-39.
- [17] Bertrand M. et Brans J.P., (2001), *Prométhée-Gaia. Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*. Edition Ellipses.
- [18] Kenney R.L. and Raiffa H., (1976), *Decisions with multiple objectives: preference and value tradeoffs*, series in probability and mathematical statistics, New York.
- [19] Laurent F. et Bougon B., (2005), *Pratiques de la décision*. Edition Dunod, Paris.
- [20] Rolland A., (2008), *Procédures d'agrégation ordinale de préférences avec points de référence pour l'aide à la décision*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- [21] Figueira J., Greco S. and Ehrogott M., (2005), *Multiple Criteria Decision Analysis*. In, *International series in operations research & management science*, Springer, 78(1), p.10-48, New York.
- [22] Roy B., (1977), *Critique et dépassement de la problématique d'optimisation*. In , *Cahiers Sema*, 1, p. 35-42.
- [23] Zeleny M., (1982), *Advances in Multiple Criteria Decision Making, and human systems management: knowledge and Wisdom*. In McGraw-Hill, IOS press, New York.

- [24] Vincke P.H., (1989), L'Aide Multicritère à la Décision. Éditions de l'Université de Bruxelles, Paris, Éditions Ellipses.
- [25] Aouni B., (1998), Le modèle de programmation mathématique avec buts dans un environnement imprécis: sa formulation, sa résolution et une application. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'administration, université Laval, Canada.
- [26] Saaty T.L., (1980), The Analytic hierarchy process. McGraw Hill, New York. USA.
- [27] An J.H., (2011), Le choix d'un système de transport durable : analyse comparative des systèmes de transport guidé de surface. Thèse de doctorat, université Paris-Est, France.
- [28] Brans J.P., Vincke Ph. et Mareschal B., (1986), How to Select and How to Rank Projects: the Promethee Methods. In, European journal of operational research, 24: p 228-238.
- [29] Vincke Ph., (1989), La modélisation des préférences. Revue d'économie politique, 99(2) : p. 217-234.
- [30] Azzabi L., Ayadi D., Kobi A., Robledo C., Chabchoub H. et Boujelbene Y., (2008), Pilotage des processus du système management de la qualité: une approche multicritère pour la prise de décision. Conférence internationale Maîtrise et Management des Risques Industriels (M2RI'2008). Oujda, Maroc.
- [31] Kazi Tani A., (2009), La modélisation des préférences du décideur dans le modèle du goal programming. Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, Algérie.
- [32] Mayster L.Y. et Bollinger D., (1999), Aide à la négociation multicritère: Pratiques et conseils. Presses Polytechniques et universitaires romandes.
- [33] Al-Subhi Al-Harbi K.M., (2001), Application of AHP in project management. International Journal of Project Management, 19 (1): 19-27.
- [34] Badri A., Nadeau S. and Gbodossou A., (2012), Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation. Accident Analysis and Prevention, 48: 223-234.

- [35] Ben Romdhane T., Ben Ammar F. and Badreddine A., (2007), Une approche par la logique floue pour l'optimisation multicritère de la prise de décision appliquée à l'AMDEC. *Journal of Decision Systems*, 16 (4): 505-544.
- [36] Wang Y.M., Liu J. and Elhag M.S., (2008), An integrate AHP-DEA methodology for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*, 54:513-525.
- [37] Kanyarat Ph., Bunthit W., Worarat K. and Suree F., (2017), Rankings of the security factors of human resources information system (HRIS) influencing the open climate of work: using analytic hierarchy process (AHP). *Procedia Computer Science*, 111:287–293.
- [38] Anna E.W. and Wojciech K., (2019), Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method. *Transportation Research Procedia*, 39:614–623.
- [39] Devatha C.P. and Kumar T.A., (2019), Prioritizing cropping alternatives based on attribute specification and comparison using MADM models. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18:337–343.
- [40] Zwingelstein G., (2009), Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes. *Technique de l'ingénieur*.
- [41] Lannoy A., (2008), Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement : repères historiques et méthodologiques, Collection Sciences du risque et du danger, série Notes de synthèse et de recherche.
- [42] Jardine A., (1987), Maintenance, replacement and reliability, Pitman, Boston, MA.
- [43] Watson H.A., (1961), Launch Control Safety Study, section VII Vol. 1, Bell Labs, Murray Hill, NJ.
- [44] Ledoux J. et Gaudoin O., (2007), Modélisation aléatoire en fiabilité des logiciels. Ed Hermes Science Publications.
- [45] Rasmussen N., (1975), Reactor Safety Study – An Assessment of Accident Risks in U.S., Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400.

- [46] Rogovin M., (1979), Three Mile Island: a report to the commissioners and to the public, Technical Report, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (USA).
- [47] Laprie J.C., Arlat, J., Blanquart J.P., Costes A., Crouzet Y., Deswarte Y., Fabre J.C., Guillermain H., Kaâniche, M., Kanoun K., Mazet C., Powell D., Rabéjac C. et Thévenod P., (1995), Guide de la sûreté de fonctionnement. Editions Cépaduès, Toulouse.
- [48] Avizienis A., Laprie J.C., Randell B. and Landwehr C., (2004), Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, vol. 1, pp. 11-33.
- [49] Guillermin R., (2011), Intégration de la Sûreté de Fonctionnement dans les Processus d'Ingénierie Système. Thèse de doctorat, université de Toulouse 3, France.
- [50] Villemeur A., (1988), Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels. Edition Eyrolles, Paris, France.
- [51] Mortureux Y., (2002), Analyse préliminaire des risques. Technique de l'ingénieur.
- [52] Faucher J., (2004), Pratique de l'AMDEC. Edition Dunod, Paris.
- [53] Vesely W. E. and Roberts N. H., (1987), Fault Tree Handbook, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Government Printing Office.
- [54] ISO 14971. (2000), Application de la gestion des risques aux dispositifs médicaux. ISO.
- [55] NF EN 50126. (Janvier 2000). Applications ferroviaires : Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS). AFNOR. Paris.
- [56] GT Aspects sémantiques du risque, (1997), Vocabulaire lié au risque à travers une analyse bibliographique. Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN) - Observatoire de l'Opinion sur les Risques et la Sécurité.

- [57] AQS-GT OORS. (Mars 1996). Management de la sécurité d'entreprise, vocabulaire et concept. Association Qualité-Sécurité (AQS) pour l'Observatoire de l'Opinion sur les Risques de la Sécurité.
- [58] HSE. (1992), Generic terms and concepts in the assessment and regulation of industrial Risks. UK: Health and Safety Executive.
- [59] NF EN 61508. (Décembre 1998), Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques et électroniques programmables relatifs à la sécurité. AFNOR, Paris.
- [60] ISO/CEI Guide 51. (1999), Aspects liés à la sécurité – principes directeurs pour les inclure dans les normes. ISO/CEI.
- [61] Mazouni M.H., (2008), Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision, Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, France.
- [62] GT Méthodologie. (2003), Principes généraux pour l'élaboration et la lecture des études de dangers. INERIS.
- [63] Tazieff H., (1984), Rapport annuel au Président de la République. Journal Officiel de la République Française (Paris, 1953), brochure 4030, 1, Paris.
- [64] Rakotoarivelo J.B., (2018), Aide à la Décision Multicritère pour la gestion des risques dans le domaine financier. Thèse de doctorat, université de Toulouse 3, France.
- [65] Dubois-Maury J. et Chaline C., (2004), Les risques urbains. Armand Collin, 2^{ème} édition.
- [66] Gado B.A., (1993), Une histoire des famines au Sahel, Études des grandes crises alimentaires (XIX^e - XX^e siècles). In, Paris, l'Harmattan, XXI tableau, bibliographie, p 201.
- [67] Hacène B. et Corinne V., (1995), Le risque politique dans le nouveau contexte international. Dialogue, Paris.
- [68] Bernard M., (1990), Le Risque-pays : Que sais-je? In, presses universitaires, Paris.
- [69] Habib-Deloncle L., (1999), Le risque pays ou les risques d'un pays? Risque n°36.

- [70] Vrousos C. et Pages J.P., (1999), Science, gestion des risques et débat public. Les controverses autour de la radioactivité et de la santé. In *Risque & Société*, Éditions Nucléon, p. 153-167.
- [71] Rubise P. et Gautier Y., (1995), *Les risques technologiques*. Pocket, p. 127.
- [72] Grezegrzulka O., et Aschieri A., (1998), Proposition pour un renforcement de la sécurité sanitaire environnementale : rapport au premier ministre. Disponible sur <http://www.youscribe.com/catalogue/documents/autres/propositions-pour-un-renforcement-de-la-securite-sanitaire-2361747>, p 88.
- [73] Boris G., (1999), Le risque alimentaire. In, IMDR (Institut pour la Maîtrise des Risques). La lettre des cindyniques n° 28.
- [74] Kervern G. et Rubise P., (1991), L'archipel du danger : Introduction aux cindyniques. CPE-Economica, Collation. Vol. 1(15), p 444.
- [75] David L. et Barnaud L., (1997), Quels risques assurer? In, les presses de l'école des mines. p 130. Paris.
- [76] Chapuis P., (2006), Prospective de l'environnement, développement durable et stratégie d'entreprises: les différentes lectures de l'environnement. Les différentes lectures de l'environnement. CNAM chaire de prospective industrielle, support de cours PRS 211.
- [77] Giard V., (1991), *Gestion de projet*. Economica, Paris.
- [78] Ndiaye P.M., (2017), *Facteurs de risque dans la gestion des projets de développement international*. EMS Editions.
- [79] Leroy A., Signoret J.P., (1992), *Le risque Technologique*. Presses universitaires de France.
- [80] ISO 31000. (2018), *Management du risque*. ISO.

- [81] Gourc D., (2006), Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services. Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.
- [82] Courtot H., (1998), La gestion des risques dans les projets, Economica.
- [83] Bakir S., (2003), Contribution à une démarche d'intégration des processus de gestion des risques et des projets étude de la fonction planification. Thèse de doctorat, université de Toulouse. France.
- [84] PMI, (2008), A guide to the project management body of knowledge: (PMBOK guide). Project Management Institute.
- [85] API 581, (2008), Base resource document on risk based inspection.
- [86] Barthélemy B. et Courrégès Ph., (2004), Gestion des risques, Méthode d'optimisation globale, Éditions d'Organisation.
- [87] Lakermi A., (2013) Management des risques géotechnique dans un projet routier par la méthode AMDEC et MADS-MOSAR ; cas de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02. Mémoire de Master, université Aboubekr Belkaid Tlemcen, Algérie.
- [88] Forman E.H. and Selly M.A., (2000), Decision by Objectives: How to Convince Others that you are Right, Pre-publication book.
- [89] Saaty T.L. and Kearns K.P., (1991), Analytical planning: the organization of systems, The analytic hierarchy process, vol.4, RWS Publications Pittsburgh, USA.
- [90] Jolanta T., Edmundas K.Z. and Zenonas T., (2013), Multi-criteria risk assessment of a construction project. Procedia Computer Science, 17:129-133.
- [91] Kolios A., Mytilinou V., Minguez E.L. and Saloniti K., (2016), A Comparative Study of Multiple-Criteria Decision-Making Methods under Stochastic Inputs, Energies, 9, 566.
- [92] Lichtenstein S. and Newman J.R., (1967), Empirical scaling of common verbal phrases associated with numerical probabilities, Psychonomic Science, 9 (10): 563-564.

[93] Nahal M. and Khelif R., (2015), Pipelines reliability analysis under corrosion effect and residual stress. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40:3273-3283.