



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Prévention et Intervention

Thème :

Étude des dangers d'une installation classée pour la protection de l'environnement.

Présenté et soutenu publiquement par :

JALTI Ahmed

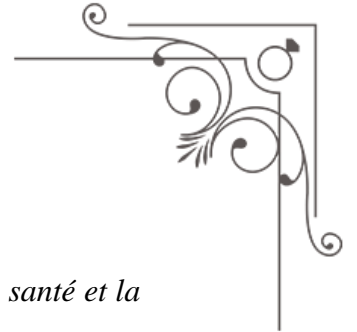
MEZIANE Sidi Mohamed

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme. SERAT Fatima-Zohra	MCB	IMSI	Président
Mme. AISSANI Nassima	MCA	IMSI	Encadreur
Mme .BELOUFA Khadidja	MAA	IMSI	Examineur

Année 2023/2024

Remerciement



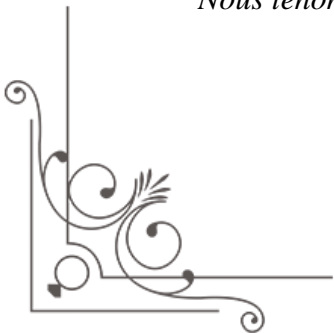
Nous remercions notre Dieu, le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de notre Professeur **Madame AISSANI Nassima**. Nous la remercions pour sa qualité de savoir, qui nous a été transmise, sa patience et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

Nous adressons également nos remerciements aux enseignants qui nous ont fait l'honneur de participer au jury de ce mémoire.

Nos vifs remerciements s'adressent à l'ensemble du personnel de l'IMSI (Enseignants et technique) ainsi qu'à tous les travailleurs de la cimenterie de Beni-Saf pour leur aide et patience.


Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidé à la réalisation de ce travail sois de près ou de loin.





Dédicace

Je tiens à dédier ce mémoire à tous ceux qui m'ont accompagné et soutenu tout au long de ce parcours.



À ma mère et à mon père, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants. Vous avez été mon pilier à chaque étape de ce chemin.

À mon frère et à ma sœur, pour leur complicité et leurs mots réconfortants, toujours présents quand j'en avais besoin.

À toute ma famille, qui m'a entouré de bienveillance et d'amour, vous êtes une source de force et d'inspiration.

Une pensée spéciale pour ma tante d'Oran, pour sa générosité, son soutien affectueux et ses conseils avisés. Ta présence a été précieuse tout au long de cette aventure.

À mes camarades de l'institut, pour leur aide, leur amitié et nos échanges enrichissants. Ensemble, nous avons grandi et surmonté les défis.

À mes amis de Beni-Saf, pour leur amitié fidèle, leurs encouragements et les moments partagés qui m'ont permis de garder le cap.

Et enfin, une dédicace toute particulière à mon binôme de mémoire. Merci pour ton engagement, ta patience et ton esprit d'équipe. Ce travail est le fruit de nos efforts conjoints, et je suis fier du chemin que nous avons parcouru ensemble.

Merci à vous tous. Ce mémoire est le reflet de votre soutien et de nos moments partagés.

Ahmed



Dédicace

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux, quoi que je fasse ou je dise, je ne saurai te remercier comme il se doit, ni rembourser mes dettes envers toi, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force dans cette vie, je t'aime Maman.

A mon père pour son affection et son amour, pour son sacrifice et son soutien durant mes études et ma vie globalement.

A mes deux sœurs, Yakoute qui a toujours été présente pour moi et qui m'a aidé et soutenu pendant ces cinq longues années d'étude et Ferial qui m'as toujours soutenu malgré la longue distance qui nous sépare.

*A la famille **MEZIANE** et **BENTAÏB**, Aux frères que je n'ai jamais eu qui ont toujours été là pour moi durant mes pires et bons moments, ils se reconnaîtrons.*

*Une Spéciale dédicace à mon encadrante **Mme. Aissani Nassima** et à **Mme. HEBBAR** qui est toujours là pour moi ainsi qu'à mon équipe de travail de **RayanOx** et de **Tazi Prom** avec qui je me suis beaucoup enrichi et développé.*

*Et surtout à mon Binôme **Ahmed**, sans lui jamais ce travail aurait pu être abouti, aux moments passés et partagés ensemble, à sa famille qui m'a accueilli et à sa mère que Dieu la bénisse dans son vaste paradis.*

Mohamed

Résumé :

Les risques professionnels sont des dangers auxquels les travailleurs sont exposés dans leur environnement de travail, pouvant affecter leur santé et leur sécurité.

Ce document traite d'avoir défini sur les concepts de risque et danger et les différents types des risques professionnels et les méthodes d'analyse de risques, le but de notre étude est d'analyser les risques professionnels en adoptant une approche quantitative au sein d'une entreprise de production et de vente de ciment. Cette entreprise se spécialise dans la fabrication et la commercialisation de ciment, et nous souhaitons démontrer que des méthodes quantitatives modernes, telles que l'approche bayésienne couplée à des outils de simulation informatique, sont capables de répondre aux problématiques de modélisation avancées. Nous avons appliqué cette approche à un cas concret où des données historiques sur les accidents au sein de cette entreprise étaient disponibles. L'analyse a permis de mettre en lumière les scénarios les plus susceptibles de conduire à des accidents de diverses gravités, et sur cette base, des recommandations ont été proposées pour réduire ces risques et améliorer la sécurité.

Abstract :

Occupational hazards are hazards to which workers are exposed in their work environment, which may affect their health and safety. This document deals with the definition of risk and hazard concepts and different types of occupational hazards and methods of risk analysis, The aim of our study is to analyse occupational risks by adopting a quantitative approach within a cement production and sales company. This company specializes in the manufacture and marketing of cement, and we want to demonstrate that modern quantitative methods, such as the Bayesian approach coupled with computer simulation tools, are able to respond to advanced modelling issues. We applied this approach to a concrete case where historical accident data within the company were available. The analysis helped to highlight the most likely scenarios leading to accidents of various severity, and on this basis, recommendations were proposed to reduce these risks and improve safety.

ملخص:

المخاطر المهنية هي المخاطر التي يتعرض لها العمال في بيئة عملهم، والتي قد تؤثر على صحتهم وسلامتهم. تتناول هذه الوثيقة تعريف مفاهيم المخاطر والمخاطر ومختلف أنواع المخاطر المهنية وطرق تحليل المخاطر،

والهدف من دراستنا هو تحليل المخاطر المهنية من خلال اعتماد نهج كمي داخل شركة إنتاج وبيع الأسمنت. هذه الشركة متخصصة في تصنيع وتسويق الأسمنت، ونريد أن نثبت أن الأساليب الكمية الحديثة، مثل نهج Bayesian إلى جانب أدوات محاكاة الكمبيوتر، قادرة على الاستجابة لقضايا النمذجة المتقدمة. لقد طبقنا هذا النهج على حالة ملموسة حيث كانت بيانات الحوادث التاريخية داخل الشركة متاحة ساعد التحليل في تسليط الضوء على السيناريوهات الأكثر ترجيحًا التي تؤدي إلى حوادث مختلفة الخطورة، وعلى هذا الأساس، تم اقتراح توصيات لتقليل هذه المخاطر وتحسين السلامة.

Liste des figures :

Figure II: 1 Symboles des Événements.....	27
Figure II.2 : Symboles des Portails.....	28
Figure II:3 Analyse fréquence gravité.....	36
Figure II:4 Analyse indice de gravité.....	37
Figure II:5 Diagramme de Kiviat.....	37
Figure II:6 Structure d'un réseau bayésien de cinq variables.....	52
Figure II:7 Les étapes de construction d'un réseau bayésien.....	54
FIGURE III: 1 CARRIERE D'EXTRACTION D'ARGILE ET DE CALCAIRE	60
FIGURE III: 2 CONCASSAGE DES MATIERES PREMIERES AU NIVEAU DE LA CARRIERE.....	60
FIGURE III: 3 HALL DE PRE-HOMOGENEISATION.....	61
FIGURE III: 4 BROYEUR CRU	62
FIGURE III: 5 PRECHAUFFEURS.....	63
FIGURE III: 6 FOUR ROTATIF	63
FIGURE III: 7: STOCKS.....	64
FIGURE III: 8: BROYEUR DE CLINKER.....	65
FIGURE III: 9: EXPEDITION.....	65
Figure III:10 Organigramme de l'aspect sécuritaire.....	67
FIGURE IV. 1: EXEMPLE D'UN RESEAU BAYESIEN SUR AGENARISK.....	77
FIGURE IV. 2: L'ACCES AUX PROPRIETES DES NŒUDS SUR AGENARISK.....	78
FIGURE IV. 3: FICHER CSV DES DONNEES	79
FIGURE IV. 4: IMPORTATION D'UN FICHER EXCEL SUR AGENARISK.....	79
FIGURE IV. 5: RESEAU BAYESIEN PRESENTE SUR AGENARISK.....	81
FIGURE IV. 6: RESULTAT DU RESEAU BAYESIEN	81
FIGURE IV. 7: APPLICATION DE PREMIERS SCENARIOS « RISQUE ACCEPTABLE » SUR LE RESEAU BAYESIEN.....	82
FIGURE IV. 8: APPLICATION DE DEUXIEME SCENARIOS SUR LE RESEAU BAYESIEN	83

Liste des tableaux :

TABLEAU II: 1 TYPOLOGIE DES METHODES D'ANALYSE DES RISQUES -----	21
TABLEAU II: 2 COMBINAISON DE CAUSES -----	30
TABLEAU II:1 FACTEURS F,G,D DE LA CRITICITE.....	34
TABLEAU II: 4 EXEMPLE D'UNE AMDEC PRODUIT DANS UNE SOCIETE DE TRANSPORT.....	34
TABLEAU II: 5 EXEMPLE D'UNE AMDEC PROCESSUS / PROCEDE EN INDUSTRIE-----	35
TABLEAU II: 6 EXEMPLE D'UNE AMDEC MOYEN / MACHINE DANS LE BTP-----	35
Tableau II:7 Niveau de criticité.....	40

Liste des abréviations :

ADD : Arbre de défaillance

ADC : Arbre de cause

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

APR : Analyse préliminaire des risques

CEI : Communauté des états indépendants

Cm : centimètre

CPAZ : Ciment Portland Artificiel de Zahana

dB : décibel

GIC : Groupe Industriel et Commercial

HAZOP : Hazard and operability Study

Hz : hertz

ISO : International Standard Organisation

Kw : kilowatt

m : mètre

mA : milliampère

mm : millimètre

MTBF : Mean Time between Failures

MTTF : Mean Time to Failure

MTTR : Mean Time to repair

µm : micromètre

RB : Réseau Bayésien

SCIBS : Société des Ciments de BéniSaf

SNMC : Société Nationale des Matériaux de Construction

T : tonne

T/H : tonnes par heure

°C : degré Celsius

SOMMAIRE

Introduction générale :	1
Chapitre I : Risques Professionnels	5
I.1. Introduction.....	5
I.2. Définition des termes.....	5
I.2.1. Risque	5
I.2.2. Danger	6
I.2.3. Risque Professionnel	6
I.3. Typologie des risques professionnels	7
I.3.1. Risques mécaniques.....	7
I.3.1.2. Différents risques mécaniques	8
I.3.1.3. Sources des risques mécaniques	9
I.3.2. Risques dus aux manutentions :	9
I.3.2.1. Manutentions manuelles.....	10
I.3.2.2. Manutentions mécaniques	10
I.3.3. Risques de chute	11
I.3.4. Risques liés aux circulations et aux déplacements	11
I.3.5. Risques physiques	12
I.3.5.1. Risques dus aux vibrations	12
I.3.5.2. Risque de surdité.....	13
I.3.5.3. Risques �lectriques	14
I.3.6. Risques chimiques	14
I.3.6.1. Risque d'intoxication.....	15
I.3.6.2. Risque d'incendie-explosion et les réactions dangereuses.....	16
I.4. Conclusion	16
Chapitre II : Méthodes Quantitatives d'Analyse des risques	18
II.1. Introduction	18
II.2. Définition de l'analyse de risque	19
II.3. Typologie des méthodes d'analyse des risques	20
II.4. Distinction entre méthodes qualitatives et quantitatives	21
II.4.1. �valuation quantitative du risque	22
II.4.2. �valuation qualitative du risque.....	22
II.4.3. Différences entre les méthodes qualitatives et quantitatives.....	23
II.5. Méthodes quantitatives.....	24
II.5.1. ADD (arbre de défaillance « faut tree analysis »)	24
II.5.1.1. Définition	24
II.5.1.2. Historique de l'analyse par arbre de défaillance	25

II.5.1.3. Objectif principal de l'analyse par ADD	26
II.5.1.4. Avantages de l'analyse par arbre de défaillance	26
II.5.1.5. Symboles du diagramme d'analyse de l'arbre des défaillances	27
II.5.2. AMDEC (“Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité”)	31
II.5.2.1 Définition	31
II.5.2.2. Avantages de l’AMDEC	32
II.5.2.3. Inconvénients de l’AMDEC	32
II.5.2.4. Objectif de la méthode AMDEC	32
II.5.2.5. Définitions liées à l’AMDEC	33
II.5.2.6. Différents types d’AMDEC	34
II.5.2.7. Grilles d'analyses d'AMDEC.....	36
II.5.2.8 Etapes de faire une analyse AMDEC	38
II.5.3. Monte Carlo	41
II.5.3.1. Définition	41
II.5.3.2. Histoire de la simulation de Monte-Carlo	42
II.5.3.3. Avantages de la simulation Monte Carlo	42
II.5.3.4. Limites de la simulation Monte Carlo	42
II.5.3.5. Composants d'une simulation de Monte Carlo	43
II.5.3.6. Lois de probabilité dans la simulation de Monte Carlo	44
II.5.3.7. Etapes de la simulation de Monte-Carlo	46
II.5.4. Approche bayésienne	47
II.5.4.1. Définition	47
II.6. Modèle de réseau bayésien	50
II.6.1. Définitions des réseaux bayésiens	50
II.6.2. Définition Formelle	50
II.6.3. Avantages de réseaux bayésiens	51
II.6.4. Limitations de réseaux bayésien	52
III.6.5. Structure d’un réseau bayésien	52
II.6.5. Construction d’un réseau bayésien.....	53
II.6.5.1. Méthodes de construction	53
II.6.5.2. Etapes de construction d’un réseau bayésien	54
II.6.6. Utilisation d’un réseau bayésien	55
II.7 Conclusion	55
Chapitre III : Présentation de l'Entreprise et Les risques professionnels connexes	57
III.1. Introduction	57
III.2. Présentation de l’entreprise	58

III.3. Historique de la cimenterie de Beni-Saf	58
III.4. Processus de fabrication de ciment	59
III.4.1. Extraction	60
III.4.2. Concassage	60
III.4.3. Préparation du cru	61
III.4.4. Broyage du cru	61
III.4.5. Séparation	62
III.4.6. Homogénéisation	62
III.4.7. Zone de cuisson	62
III.4.8. Stockage du clinker	64
III.4.9. Broyage clinker	65
III.4.10. Stockage, ensachage et expédition	65
III.4.11. Contrôle de la qualité	66
III.5. Risques liés aux différentes zones de secteurs	68
III.5.1. Risques liés à la zone de carrière	68
III.5.2. Risques liés à la zone de production de clinker	68
III.5.3. Risques au niveau des silos de stocks	69
III.5.4. Risques au niveau des postes électriques	70
III.5.5. Risques au niveau du laboratoire	71
III.6. Conclusion	71
Chapitre IV : Réalisation du modèle bayésien	74
IV.1. Introduction	74
IV.2. Risques Tolérables et Acceptables	74
IV.3. Présentation AgenaRisk	75
IV.3.1. Historique d'AgenaRisk	75
IV.3.2. Définition d'AgenaRisk	76
IV.3.3. Objectif d'utilisation	76
IV.3.4. Mode d'utilisation d'AgenaRisk	76
IV.4. Analyse de tableau	80
IV.4.1. Présentation du réseau	80
IV.5. Analyse de réseau	81
IV.5.1. Premiers scénarios	83
IV.5.2. Deuxième scénario	84
IV.5.3. Recommandations	85
IV.6. Conclusion	85
Conclusion générale :	88
Bibliographie	90

Introduction générale

Introduction générale :

Au début de l'ère industrielle, on pensait que les machines simplifieraient le travail des hommes en facilitant leurs tâches. Cependant, il est rapidement apparu que la réalité était bien plus complexe. D'une part, les accidents de travail ont augmenté, et d'autre part, les travailleurs ont eu du mal à suivre le rythme imposé par les machines.

Les risques professionnels représentent aujourd'hui l'un des dangers les plus importants pour les travailleurs. La diversification des activités des entreprises a entraîné une augmentation à la fois de la fréquence et de la gravité des accidents et maladies d'origine professionnelle. Ces incidents sont nombreux et variés : certains sont sans conséquence grave, mais un nombre significatif d'entre eux sont sérieux, voire mortels. Ils engendrent non seulement des coûts financiers, mais aussi des impacts sociaux et moraux, perturbant la vie économique et sociale de manière inacceptable.

Les risques professionnels ne se limitent pas uniquement aux industries. Ils incluent également les dangers rencontrés dans des environnements non industriels comme les bureaux, les laboratoires et le commerce. Ils sont omniprésents dans le monde du travail, ce qui rend les mesures de prévention essentielles. Les entreprises doivent mettre en place une stratégie de gestion des risques professionnels, appuyée par des méthodes d'analyse et d'évaluation spécifiques. L'analyse des risques est cruciale dans le processus de gestion des risques.

Cette étape implique de définir le système ou l'installation à étudier, en collectant toutes les informations nécessaires. Une description structurelle, fonctionnelle et temporelle est indispensable pour une analyse complète. Il faut d'abord identifier les principales sources de danger et les scénarios d'accidents possibles. L'estimation des risques peut être qualitative, semi-quantitative ou quantitative, en termes de probabilité d'occurrence et de gravité de leurs conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement.

Les techniques et modèles mathématiques d'analyse des risques sont devenus un sujet de recherche essentiel, mais les solutions ne sont pas toujours évidentes à mettre en œuvre en raison du manque d'outils de prise de décision en temps réel pour les systèmes complexes. Une maîtrise rigoureuse de l'information en temps réel est nécessaire pour réaliser une Analyse Quantitative des Risques (AQR) approfondie, et

Introduction générale

c'est ici que les réseaux bayésiens jouent un rôle clé dans la prédiction et la prise de décision.

La méthode bayésienne est une approche quantitative d'analyse des risques qui permet d'effectuer une analyse probabiliste des événements indésirables, en tenant compte de leurs causes et de leurs conséquences. Elle consiste à construire un réseau bayésien, une application directe de la théorie bayésienne, afin d'estimer la probabilité a posteriori des événements redoutés, ainsi que leur origine et leurs répercussions. [1]

Dans ce mémoire, cette méthode sera appliquée aux accidents professionnels au sein de l'entreprise de production et de commercialisation de ciment de Beni-saf (SCIBS), en se basant sur les statistiques des accidents de travail enregistrés durant l'année 2023. Cette analyse approfondie des données permettra de construire un réseau bayésien et d'en examiner les résultats.

La construction de ce réseau nécessite des outils spécifiques, heureusement disponibles dans notre institut, notamment AGENARISK. AGENARISK est un outil visuel, intuitif et puissant, qui permet de modéliser les risques et de faire des prédictions concernant des événements incertains. Il facilite la création du réseau bayésien et le calcul des probabilités à partir de données statistiques ou expérimentales. Cet outil offre aux chercheurs les conditions nécessaires pour mener une étude complète du système, allant de la modélisation des connaissances au diagnostic, à l'analyse, à la simulation et à l'optimisation.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous commencerons par introduire certaines définitions clés et aborderons les différents types de risques professionnels en fonction de la nature et du secteur d'activité.
- Le deuxième chapitre sera consacré à une présentation générale de l'analyse des risques et de la sûreté de fonctionnement. Ce chapitre inclura également une description des méthodes quantitatives d'analyse des risques les plus répandues et reconnues.
- Le troisième chapitre sera consacré à la présentation de l'entreprise de cimenterie de Benisaf (SCIBS), avec une description détaillée du processus de fabrication du ciment. Ce chapitre abordera également l'identification des

Introduction générale

risques associés aux différentes zones de l'usine, en fonction des étapes spécifiques de production.

- Le dernier chapitre est dédié à l'application de la méthode retenue pour ce projet, à savoir l'« approche bayésienne ». Ce chapitre se conclut par la modélisation du réseau bayésien à l'aide de l'outil AGENARISK, accompagnée de simulations de scénarios permettant d'identifier et de comprendre l'origine de certains événements critiques.

Chapitre I

Les Risques Professionnels

Chapitre I : Risques Professionnels

I.1. Introduction :

Dans le monde moderne, toutes les activités professionnelles, indépendamment de leur nature ou de leur emplacement, comportent des dangers potentiels pour la santé et la sécurité des travailleurs. Ces dangers se manifestent principalement sous forme d'accidents corporels et de maladies, qui varient en gravité et impact. Collectivement, ces dangers sont connus sous le nom de risques professionnels.

Étant donné la diversité et la complexité des risques professionnels, il est impossible de les énumérer tous de manière exhaustive. Cependant, pour aider les professionnels de la sécurité à mieux comprendre et gérer ces risques, ce chapitre se concentre sur les principaux types de risques rencontrés dans divers secteurs industriels. L'objectif est de fournir un aperçu des risques essentiels, d'analyser les situations les plus courantes et de proposer des solutions adaptées à chaque type de danger.

I.2. Définition des termes :

I.2.1. Risque :

Les risques sont généralement définis comme un événement fâcheux pouvant conduire à l'arrivée d'un accident ou d'une maladie. C'est-à-dire la prise en compte d'une exposition à un danger. Aussi Le risque est défini par la probabilité de survenue de cet événement et par L'ampleur de ses conséquences

« Les chances ou probabilité d'occurrence des dommages provenant du danger ».

« Est défini comme le produit de probabilité d'occurrence d'un événement indésirable et de la gravité des dommages ».

Donc le risque c'est une éventualité qui peut causer un dommage. [2]

I.2.2. Danger :

« On appelle danger ou phénomène dangereux, la propriété ou capacité intrinsèque par laquelle une chose (par exemple : matières, matériel, méthodes et pratiques de travail) est susceptible de causer un dommage (une lésion ou une atteinte à la santé). Le danger est l'instrument du risque ».

Donc c'est la cause capable de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé.

I.2.3. Risque Professionnel :

Le risque professionnel désigne la probabilité qu'un salarié, exposé à des conditions dangereuses dans le cadre de son travail, subisse des effets nocifs sur sa santé physique et mentale. On distingue généralement deux grandes catégories de risques : les risques physiques, qui incluent les dangers tels que les accidents et les expositions à des substances dangereuses, et les risques psychosociaux, qui concernent les aspects liés au stress, à la charge de travail et aux relations au sein de l'environnement professionnel.

L'employeur a une obligation de sécurité envers ses salariés, et l'un des aspects cruciaux de cette obligation est la prévention des risques professionnels. Cela implique non seulement d'identifier et d'évaluer les risques potentiels mais aussi de mettre en place des mesures préventives adéquates pour protéger la santé et le bien-être des travailleurs. [2]

D'après NICHAN Margossian : « Il faut entendre tout risque ayant pour origine l'activité professionnelle, c'est-à-dire le travail rémunéré, indispensable pour vivre de nos jours. Tout phénomène, tout événement qui apparaît en milieu de travail et qui présente un danger pour l'homme est appelé risque professionnel. Il n'est pas indispensable que l'atteinte à la santé ait lieu obligatoirement dans les locaux et pendant les horaires de travail, comme c'est le cas de Certaines maladies professionnelles qui se manifestent souvent plusieurs années, voire Quelques décennies après l'exposition. La législation est cependant plus exigeante et donne des Définitions plus précises et plus restrictives aux accidents et aux maladies dus au travail, qui Sont les manifestations des risques professionnels ».

« Un risque professionnel est un événement dont l'occurrence met en danger des personnes dans le cadre de l'exercice de leur métier. Les événements qui conduisent à des risques professionnels sont souvent connus, mais ils sont incertains, surtout pour les effets conjugués, dont la combinaison peut aboutir à un très grand nombre de possibilités. La totalité des risques possibles ainsi rencontrés dans les établissements industriels sont bien difficile à établir tant les situations sont diverses ; il en est de même pour les mesures de prévention ou de maîtrise des dangers afférents, dont on doit établir des Priorités dépendant de leur criticité ».

I.3. Typologie des risques professionnels :

Il existe plusieurs types ou familles de risques professionnels qui diffèrent les uns des autres par leur nature, leur origine, leurs caractéristique et leurs conséquences ainsi que par les mesures de prévention qu'ils nécessitent. [3]

I.3.1. Risques mécaniques :

Nombreux et variés, ils sont présents partout, dans toutes les activités humaines. Ils sont le plus important lors de tout contact avec une machine, le risque de blessure est dû à l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, ou de matériaux solides. L'opérateur peut être victime d'écrasement, cisaillement, coupure, happement, entrainement, emprisonnement, choc...).

Les conséquences des accidents sont souvent graves pour les victimes ; doigts ou membres écrasés, décès.

Le risque mécanique peut être dû aux éléments de transmission (chaines, courroies, engrenages), aux éléments mobiles concourant au travail (un mandrin et son outil), à la mobilité des équipements (engins de terrassement), au levage de charges (grues)...

I.3.1.2. Différents risques mécaniques :

Les risques mécaniques sont regroupés en plusieurs familles, en fonction de la nature des atteintes au corps humain.

- Les risques de choc : Qui s'expliquent par la rencontre d'un objet en mouvement généralement rapide avec le corps humain ou un objet immobile et le corps en mouvement ou encore les deux en mouvement. Dans ce type de risque, c'est surtout la différence de vitesse entre l'objet et le corps humain qui est le facteur déterminant de la gravité de l'atteinte.
- Les risques d'écrasement : Qui existent chaque fois qu'un objet en mouvement rencontre le corps humain qui se déforme et s'écrase. Les déformations sont plus importantes et les dommages subis plus graves.
- Les risques d'entraînement : Sont basés sur les frottements existents chaque fois qu'un objet en mouvement rencontre le corps humain qui se déforme et s'écrase. Les déformations sont plus importantes et les dommages subis plus graves.

Exemple : Une main qui se trouve en contact avec des machines équipées de cylindres en rotation peut être entraînée et causer des blessures graves, telles que des arrachages des membres supérieurs

- Les risques de Coupure, Piqûre, et Sectionnement : Les risques de coupure et de piqûre impliquent des surfaces de contact réduites, ce qui, à énergie égale, conduit à des pressions plus élevées et donc à des blessures plus profondes. Par exemple, un couteau très aiguisé ou une aiguille très pointue concentrent la pression sur une surface minimale, augmentant ainsi la gravité des blessures, allant jusqu'aux sectionnements sévères.
- Les risques de Projection de Solides et de Liquides : Les projections de solides à haute vitesse ou de liquides sous pression élevée posent des risques importants de chocs et de perforations. Ces projections peuvent causer des blessures graves, incluant des contusions et des perforations

Les conséquences des risques mécaniques peuvent varier considérablement en termes de gravité. Ils vont des blessures bénignes, telles que des éraflures et des

contusions mineures, aux accidents plus graves qui peuvent entraîner des lésions importantes, des incapacités permanentes, voire des décès.

I.3.1.3. Sources des risques mécaniques :

Les risques mécaniques peuvent provenir de diverses sources au sein d'un environnement de travail. Les salariés se déplacent et bougent en permanence ; ils utilisent des machines et des appareils pleins de mécanismes mobiles.

- Les risques mécaniques lors des opérations manuelles :

Les petits travaux manuels à l'aide de simples outils comme les pinces, les tournevis, les marteaux. Toutes ces opérations présentent des risques mécaniques non négligeables, qui se traduisent par des accidents de travail que sont les blessures, les coupures, les piqûres, les hématomes et autres dommages corporels. La plupart sont bénins, mais certains peuvent être graves, surtout s'ils ne sont pas soignés rapidement car les blessures peuvent s'infecter, nécessitant des soins plus importants.

- Les risques mécaniques lors de l'emploi des équipements de travail :

Il s'agit de machines et d'appareils qui réalisent certaines opérations pour la production :

Exemple :

- Les composants en rotation à grande vitesse, comme les rouleaux et les meules, peuvent causer des blessures graves en cas de contact accidentel.
- Chariot pour poser et déposer motrice.
- Utilisation de la machine coupeur (coupure des pièces)
- Intervention sur les machines

I.3.2. Risques dus aux manutentions :

Les manutentions sont à l'origine de risques professionnels qui se traduisent par des accidents du travail et des maladies professionnelles. On distingue deux modes de manutention :

I.3.2.1. Manutentions manuelles :

La manutention manuelle est définie comme « toute opération de transport ou de soutien de charge, dont le levage, la pose, la traction, le port ou le déplacement, qui exige l'effort d'un ou plusieurs travailleurs. Donc, c'est l'énergie humaine qui, seule, initie les mouvements de l'objet.

La manutention manuelle est une cause fréquente de blessures, principalement au dos, résultant d'efforts physiques, de gestes répétitifs et/ou de mauvaises postures. Il s'agit essentiellement des atteintes :

- Des muscles (crampes).
- Des tendons (tendinites).
- Des nerfs au niveau des articulations (hygromas) ;
- Des vertèbres lombaires (sciatique par hernie discale) ;
- Du ménisque du genou (lésion avec fissuration et rupture) ;
- Du canal carpien (syndrome carpien) ;
- Des lombagos du dos, douleurs au niveau des muscles sacro-lombaires accompagnées des sciatiques qui durent quelques jours puis disparaissent

I.3.2.2. Manutentions mécaniques :

Il s'agit de manutentions faisant appel à des équipements de travail et des appareils à moteur électrique ou thermique, mobile ou non, autre que portatif.

Les chariots élévateurs, chargeurs et dumpers sont utilisés pour la manutention des objets lourds et des matières premières. Les risques liés à leur circulation sont souvent associés à l'absence de plan de circulation sur le site. De plus, certains passages étroits, notamment dans les zones industrielles, augmentent le danger, surtout si les conducteurs ne portent pas systématiquement d'équipement de protection. Ces situations présentent des risques graves, particulièrement lorsque des forces importantes sont en jeu.

I.3.3. Risques de chute :

Ceux sont les risques de blessures causées par la chute de plain-pied ou d'hauteur d'une personne. Les chutes de plain-pied sont des glissades, trébuchements, faux-pas et autres pertes d'équilibre sur une surface plane. En plus ; Ces risques sont liés aux travaux en hauteur, à la présence de passages étroits et encombrant, aux travaux en espace confiné, aux travaux dans le tunnel, travaux dans des lieux mal éclairés, aux accès à des parties hautes (toitures, étages de l'usine, ...)

Sources des risques de chute :

- Sol défectueux (trou, dalle descellée...etc.)
- Risque de chute de personnes au moment de l'entretien du pont roulant (changement de câble).
- Utilisation d'un échafaudage non conforme
- Pas de garde-corps.
- Passerelle dans un état défectueux présentant un risque de chute.
- Risque de chute causé par le stockage encombrant des déchets.

I.3.4. Risques liés aux circulations et aux déplacements :

Ce sont des risques d'accident de circulation à l'intérieur et l'extérieur de l'entreprise. Ce type de risque concerne essentiellement les engins de carrière, les camions, les véhicules légers et le personnel à pied lorsqu'ils circulent sur les pistes du site.

Ainsi, on distingue :

- Les risques dus aux déplacements (circulation et transport) dans l'entreprise ;
- Les risques dus aux déplacements à l'extérieur de l'entreprise (accidents de voitures).

Sources des risques :

- Absence de plan de circulation
- Voies de circulation encombrées ou étroites
- Vitesse excessive
- Absence de visibilité lors des manœuvres
- Véhicules inadaptés ou mal aménagés
- Formation insuffisante des chauffeurs

I.3.5. Risques physiques :

I.3.5.1. Risques dus aux vibrations :

Les vibrations sont un phénomène mécanique, couramment rencontré en milieu de travail. Elles sont à l'origine de deux risques qui conduisent à des maladies professionnelles, que sont les pathologies dues aux vibrations et celles dues aux bruits. [4]

a. Effets des vibrations

Les vibrations agressent le corps humain et causent des dommages, notamment aux articulations. Elles sont également dangereuses pour les équipements de travail et les matériaux en général.

a.1 Effets des vibrations sur le corps humain

Les vibrations dont les fréquences sont inférieures à quelques hertz conduisent à des nausées et des vomissements ; au-delà des fréquences de 10-15Hz les véritables pathologies apparaissent.

- Les atteintes des membres supérieurs :

Lorsque c'est la main qui reçoit les vibrations comme c'est le cas de ceux qui utilisent des marteaux piqueurs, on distingue :

- Les atteintes ostéo-articulaires : elles concernent essentiellement la main, le poignet et le coude. Ce sont donc les articulations qui sont les plus touchées, surtout celles des membres supérieurs qui sont plus souvent en contact avec les appareils vibrants et qui semblent être les plus fragiles.
 - Les troubles angioneurotiques de la main tels que les troubles de la sensibilité.
 - Les troubles de circulation sanguine comme les gonflements et les œdèmes du poignet.
 - Les troubles musculaires comme les crampes, les tremblements et les atrophies des muscles de la main.
- Les atteintes de l'ensemble du corps :

Chapitre I : Risques Professionnels

Lorsque c'est le corps entier qui reçoit les vibrations comme c'est le cas des conducteurs d'engins de chantiers, les atteintes sont :

- Les troubles de la colonne vertébrale comme les lombalgies et les hernies discales.
- Les troubles digestifs comme les douleurs abdominales, la constipation et éventuellement les ulcères d'estomac.

a.2 Effets des vibrations sur les matériaux

Les matériaux sont ainsi fragilisés, se fissurent et peuvent même s'effriter. Cette fragilisation se traduit par rupture des matériaux en mouvement, avec souvent des projections de particules et morceaux, d'autant plus violemment que les mouvements sont plus rapides. C'est notamment le cas des pièces métalliques et des lames de scie.

I.3.5.2. Risque de surdité :

Le risque de surdité en milieu de travail est principalement lié à une exposition prolongée à des bruits intenses et répétitifs, souvent rencontrés dans les environnements industriels. Lorsque les niveaux sonores sont élevés, cela peut entraîner des dommages progressifs à l'audition. Les travailleurs exposés à ces bruits peuvent souffrir d'une perte auditive temporaire, qui, avec le temps et une exposition continue, peut devenir permanente. Les premiers signes incluent une difficulté à percevoir les sons aigus et des acouphènes, c'est-à-dire des sifflements ou des bourdonnements dans les oreilles.

- Surdité professionnelle :

La surdité s'explique par la destruction des cellules auditives qui se trouvent dans la cochlée ainsi que par d'autres lésions de l'oreille interne lorsque les niveaux sonores sont élevés.

Globalement, les bruits ayant des niveaux inférieurs à 50 dB ; ne sont pas gênants, au-delà et jusqu'à 80 dB, les bruits sont gênants mais supportables ; au-delà de 85 dB, la douleur s'installe et c'est le début des lésions auditives si de tels niveaux sont supportés pendant 8 heures par jour.

Le seuil d'apparition de la surdité professionnelle est fixé à 90 dB.

La surdité professionnelle est évolutive dans le temps. Elle commence par une fatigue auditive au cours de laquelle les troubles peuvent être réversibles. Après une certaine période d'exposition, il y a baisse de l'audition pour certaines plages de fréquences.

[4]

I.3.5.3. Risques électriques :

Ce sont les risques d'électrisation suite à un contact directs ou indirects avec un conducteur électrique ou une partie métallique sous tension. Ou l'opérateur touche une masse conductrice, mise accidentellement sous tension.

Il existe en outre un risque important d'incendie ou d'explosion lié à l'électricité (court-circuit, arc électrique, échauffement, foudre...)

On estime en effet que 30% des incendies seraient d'origine électrique.

Le paramètre qui intervient au niveau du risque électrique pour l'homme est l'intensité du courant qui traverse le corps. Suivant l'intensité, on peut distinguer les situations de risque suivantes :

- Pour des intensités inférieures à 5mA, la sensation et les effets sont pratiquement nuls ;
- Pour des intensités comprises entre 5 et 20 mA, début de téτανisation au niveau des muscles de la cage thoracique ;
- Pour des intensités dépassant 20 mA, les risques de fibrillation au niveau du cœur apparaissent, avec contraction des muscles cardiaques et dysfonctionnement du cœur qui n'arrive plus à irriguer correctement les autres organes.
- Pour des intensités de l'ordre de quelques ampères, il se produit des brûlures internes graves, presque toujours mortelles suite à un blocage de reins. [4]

I.3.6. Risques chimiques :

Les risques chimiques sont omniprésents dans les activités humaines, que ce soit en milieu professionnel ou domestique. Ils résultent de l'exposition à des produits chimiques qui peuvent être dangereux, toxiques ou inflammables. Ces substances

pénètrent dans l'organisme par inhalation, ingestion ou contact cutané, provoquant des intoxications accidentelles ou chroniques.

Dans les cas d'intoxication aiguë, les effets sont souvent immédiats, comme des brûlures ou des irritations, tandis que les expositions répétées sur le long terme peuvent entraîner des maladies graves, notamment des cancers. De plus, la présence de produits inflammables ou explosifs accroît les risques d'incendies ou d'explosions, mettant en danger la sécurité des travailleurs et des installations.

Les produits chimiques présentent deux familles de risques qui sont :

I.3.6.1. Risque d'intoxication :

Les risques d'intoxication liés aux produits chimiques se manifestent lorsque ces substances pénètrent dans le corps humain par trois principales voies : pulmonaire, cutanée et orale. Une fois dans l'organisme, les produits chimiques passent dans le sang et sont transportés vers différents organes, où ils peuvent se concentrer sous leur forme originale ou métabolisée. Cela peut provoquer des dysfonctionnements graves, voire des destructions irréversibles des tissus, comme dans le cas du benzène, qui se transforme en phénol très agressif. La durée d'exposition joue un rôle crucial dans la gravité des atteintes. Par exemple, l'acide fluorhydrique peut provoquer des accidents graves en cas d'exposition massive et rapide, mais également des maladies professionnelles lors d'une exposition prolongée à de faibles doses.

Les intoxications prennent deux formes principales :

1. Intoxications accidentelles : Surviennent lors d'un contact direct avec des produits chimiques agressifs, caustiques ou irritants, entraînant des brûlures chimiques ou des lésions des muqueuses. Exemple : projection d'acides ou inhalation de gaz toxiques comme le chlore.
2. Intoxications chroniques : Ces substances se fixent lentement sur certains organes, causant des maladies professionnelles, qui varient selon l'organe touché et la nature du produit chimique.

Exemples :

- Des voies respiratoires principalement les poumons (pneumoconioses comme la silicose).
- Du système cardiaque (hypertension, phlébites, troubles circulatoires, etc.).
- Du squelette (ostéolyses, nécroses, arthroses, etc.).
- De la peau et de la muqueuse (eczémas, dermites, dermatoses, cancers, etc.).
- Les maladies professionnelles.

I.3.6.2. Risque d'incendie-explosion et les réactions dangereuses :

Les incendies et explosions résultent de réactions chimiques dangereuses qui surviennent de manière imprévue et incontrôlable. Ces réactions, souvent exothermiques, libèrent une grande quantité de chaleur et de produits dangereux, ce qui peut entraîner un emballement incontrôlé du processus. Ces événements sont généralement accidentels et se produisent lorsque des produits chimiques incompatibles entrent en contact, réagissant pour former des substances dangereuses. Les conséquences de ces réactions incluent des incendies incontrôlables ou des explosions, représentant un danger majeur pour la sécurité des travailleurs et des installations industrielles.

I.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons tout d'abord examiné les définitions des termes fondamentaux dans le domaine de risques professionnels, risques, danger. Ensuite, on a abordé les différents risques professionnels connus, groupée selon leur nature, celui-ci est consacré aux risques mécaniques qui apparaissent chaque fois qu'un objet est en mouvement, risques physiques comme le bruit, les vibrations, les courant électrique, le rayonnement ionisants, les risques chimiques qui ont pour origine la manipulation de produit chimiques dangereux, ceux dus aux manutentions et la circulation.

Enfin les risques professionnels varient fortement d'un secteur d'activité à l'autre selon la diversification des activités des entreprises.

Chapitre II

Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

Chapitre II : Méthodes Quantitatives d'Analyse des risques

II.1. Introduction :

Dans le domaine de la sécurité industrielle, la gestion des risques représente un aspect crucial pour garantir la protection des installations, des travailleurs et de l'environnement. Les installations classées, en raison de leur nature et de leurs activités, sont sujettes à divers risques pouvant entraîner des conséquences néfastes en cas d'accident. Afin d'évaluer ces risques de manière rigoureuse et scientifique, les méthodes quantitatives d'analyse jouent un rôle essentiel.

Ce deuxième chapitre de notre mémoire se concentre sur l'examen des différentes méthodes quantitatives d'analyse utilisées dans l'étude de danger des installations classées. Alors que le premier chapitre a fourni une présentation détaillée de notre usine et de ses processus, ce chapitre approfondira les outils analytiques spécifiques que nous employons pour évaluer les risques associés à nos opérations.

Les méthodes quantitatives d'analyse offrent une approche systématique pour évaluer les dangers potentiels et estimer les probabilités d'occurrence ainsi que les conséquences des accidents industriels. Ces méthodes s'appuient sur des données empiriques, des modèles mathématiques et des techniques statistiques pour évaluer et quantifier les risques. En comprenant et en utilisant ces méthodes de manière appropriée, les gestionnaires de la sécurité peuvent prendre des décisions éclairées pour réduire les risques à un niveau acceptable.

Dans cette introduction, nous explorerons les différentes catégories de méthodes quantitatives d'analyse, mettant en lumière leurs caractéristiques principales ainsi que leurs applications dans le contexte spécifique des installations classées. En comprenant les forces et les limitations de ces méthodes, nous pourrons ensuite sélectionner les approches les plus adaptées à notre étude de danger, nous permettant ainsi de mieux protéger notre usine, nos employés et l'environnement environnant.

En somme, ce chapitre vise à fournir une vue d'ensemble des méthodes quantitatives d'analyse utilisées dans notre étude de danger, jetant les bases nécessaires pour une évaluation exhaustive et précise des risques industriels associés à nos opérations.

II.2. Définition de l'analyse de risque :

L'analyse du risque est définie dans le guide ISO/CEI 51 [ISO 99] comme : « l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque ».[5]

Une analyse de risque est un ensemble d'activités visant à identifier, classifier et agir sur des risques potentiels menaçant des actifs.

L'analyse de risque est un composant d'un processus d'évaluation de risque plus large.

L'évaluation de risques inclut d'habitude les activités suivantes :

- Identifier des problèmes qui contribuent au risque
- Analyser leurs significations et impacts
- Identifier des options pour gérer le problème associé au risque
- Déterminer quelle option est la meilleure solution
- Communiquer les résultats et adresser des recommandations aux décideurs

L'analyse des risques est associée aux actions d'analyse de la signification et impact et à l'évaluation des options pour faciliter leur comparaison (en gras dans la liste précédente).

Pour être en mesure de prendre des décisions financières par exemple, les décideurs ont besoin d'éléments quantitatifs sur lesquels s'appuyer, prendre des décisions rentables (Cost-Effective), les analyses qualitatives sont plus limitées dans ce sens.

« Avec la transformation numérique de l'ensemble des acteurs de la société et de leur interconnexion croissante, la gestion des risques IT a progressivement évolué au sein des organisations vers une gestion plus globale du risque numérique. Ce dernier, au regard des contextes technologique, économique, voire géopolitique, pèse de plus en plus fortement sur l'activité des organisations. » [5]

II.3. Typologie des méthodes d'analyse des risques :

L'analyse des risques comprend plusieurs méthodes et approches, chacune ayant ses propres caractéristiques et objectifs. Voici une typologie générale pour classer des principales méthodes d'analyse des risques

Méthodes qualitatives et quantitatives :

- Qualitatives : Ces méthodes évaluent les risques sans recourir à des données numériques précises. Elles se concentrent sur la nature et la gravité des risques, souvent à l'aide de matrices de probabilité et d'impact.
- Quantitatives : Ces méthodes utilisent des données numériques pour quantifier les probabilités et les impacts des risques. Elles fournissent une estimation chiffrée des risques et de leurs conséquences.

Méthodes inductives et déductives :

- Inductives : Ces méthodes commencent par l'observation de cas particuliers pour généraliser ensuite des conclusions sur les risques globaux. Elles partent du spécifique pour aller vers le général.
- Déductives : Ces méthodes partent de principes généraux ou de théories pour dériver des conclusions spécifiques sur les risques. Elles vont du général au particulier.

Méthodes statiques et dynamiques :

- Statiques : Ces méthodes évaluent les risques en considérant un état donné à un moment précis sans prendre en compte l'évolution dans le temps ou les interactions dynamiques.
- Dynamiques : Ces méthodes tiennent compte de l'évolution des risques dans le temps, des interactions entre les facteurs de risque et des changements de contexte.

Chaque catégorie de méthode a ses propres avantages et limitations, et le choix de la méthode dépend souvent du domaine d'application, de la complexité du système étudié, et des objectifs spécifiques de l'analyse des risques. [6]

Les méthodes	Typologies	Les méthodes	Typologies
AMDEC	Quantitative Inductive Statique	ADD	Quantitative Déductive Statique
HAZOP	Qualitative Inductive Statique	ADC	Qualitative Déductive Statique
HAZID	Qualitative Inductive Statique	MADS-MOSAR	Qualitative et quantitative Inductive Statique
APR	Qualitative Inductive Statique	Réseaux de Petri	Quantitative Inductive Dynamique
Diagramme causes- conséquences	Quantitative Inductive et déductive Statique	Analyse des défaillances de cause commune	Qualitative Déductive Statique
L'arbre cause - conséquences (Nœud de papillon)	Quantitative Inductive et déductive Statique	Analyse des conditions insidieuses	Qualitative Déductive Statique
Graphes de Markov	Quantitative Inductive Dynamique	Réseaux bayésiens	Quantitative Inductive Dynamique
Arbre d'événements	Quantitative Inductive Statique	Analyse de zone	Qualitative Inductive Statique

Tableau II: 2 Typologie des méthodes d'analyse des risques

II.4. Distinction entre méthodes qualitatives et quantitatives :

- a) Etude quantitative : est une technique de collecte de données visant à analyser à grande échelle des traits spécifiques, des comportements, des attentes ou des opinions. Ce type d'étude a pour objectif de déduire des conclusions mesurables et chiffrées, qui peuvent être présentées dans des graphiques ou des tableaux, afin d'appuyer des décisions stratégiques. Pour collecter des données, les études quantitatives s'appuient sur des questionnaires ou des sondages, souvent composés de questions fermées, qui sont envoyés à un panel d'audience cible. [7]

b) Etude qualitative :

À la différence de l'étude quantitative, l'étude qualitative est une méthode qui permet d'analyser et comprendre des phénomènes, des comportements de groupe, des faits ou des sujets.

L'objectif n'est pas d'obtenir une quantité importante de données, mais d'obtenir des données de fond (de qualité !).

Cette méthode de recherche descriptive se concentre sur des interprétations, des expériences et leur signification. Son approche compréhensive peut être utilisée dans beaucoup de domaines comme dans les sciences sociales, l'histoire ou les études de marché (notamment en marketing). [8]

II.4.1. Évaluation quantitative du risque :

Une évaluation quantitative du risque est une approche formelle et systématique permettant d'estimer la probabilité et les conséquences d'évènements et d'exprimer les résultats de manière quantitative en tant que risque pour les personnes, l'environnement ou l'entreprise.

Ceci revient à analyser et quantifier le risque en termes financiers.

II.4.2. Évaluation qualitative du risque :

L'évaluation qualitative du risque permet d'étudier un évènement ou un contrôle réglementaire et comprendre la qualité de son implémentation.

Les évaluations qualitatives de risques sont excellentes pour informer le Manager Risque ou les Consultants Risques au sujet de la qualité de l'implémentation du contrôle en utilisant une échelle de valeurs qualitative, de 1 à 5 par exemple.

En utilisant la méthode qualitative d'évaluation des risques, vous pouvez évaluer votre entreprise sur la base d'une norme spécifique. Vous pouvez décrire les contrôles que la norme recommande et évaluer l'implémentation de ces contrôles (sur une échelle de 1 à 5), puis déterminer le pourcentage de mise en œuvre du contrôle.

Elle répond à la question : quel est mon niveau de conformité du point de vue politique de sécurité. [9]

II.4.3. Différences entre les méthodes qualitatives et quantitatives :

Les analyses de risques qualitatives et quantitatives sont complémentaires et apportent des perspectives distinctes sur la gestion des risques. Voici comment elles se différencient et se complètent :

Analyse qualitative du risque :

Objectif : Comprendre la qualité de l'implémentation des contrôles et évaluer la conformité par rapport aux normes ou aux standards.

Méthodes : Utilisation d'échelles qualitatives (par exemple, de 1 à 5) pour évaluer la probabilité et l'impact des risques. Peut inclure des évaluations basées sur des normes spécifiques et des jugements d'experts.

Avantages : Fournit une évaluation détaillée de la qualité et de l'efficacité des mesures de contrôle. Permet une évaluation rapide et une compréhension globale des risques potentiels.

Analyse quantitative du risque :

Objectif : Estimer la probabilité et les conséquences des événements de manière chiffrée, souvent en termes financiers.

Méthodes : Utilisation de modèles mathématiques, statistiques et probabilistes pour calculer les risques, par exemple à l'aide de simulations Monte Carlo ou d'autres méthodes quantitatives.

Avantages : Fournit des estimations précises et quantifiées des risques, ce qui permet une prise de décision informée basée sur des données numériques. Utile pour comparer les risques financiers potentiels et prioriser les mesures de mitigation.

Complémentarité :

Informations fournies : Les analyses qualitatives mettent l'accent sur la compréhension contextuelle et la qualité des contrôles, tandis que les analyses quantitatives fournissent des estimations numériques précises des probabilités et des impacts financiers.

Utilisation conjointe : En combinant les deux approches, les organisations peuvent obtenir une vue d'ensemble plus complète des risques. Par exemple, une évaluation qualitative peut identifier les domaines où les contrôles sont faibles,

tandis qu'une analyse quantitative peut quantifier les conséquences financières potentielles de ces risques mal gérés.

En conclusion, les analyses de risques qualitatives et quantitatives sont essentielles pour une gestion efficace des risques. Elles se complètent en fournissant des perspectives variées et en répondant à des aspects différents des problèmes de risque, ce qui permet aux organisations de prendre des décisions plus éclairées et stratégiques en matière de gestion des risques.

II.5. Méthodes quantitatives :

Nous explorerons les principales méthodes quantitatives utilisées pour évaluer le risque dans différents contextes. Nous examinerons comment ces méthodes fournissent des résultats chiffrés et mesurables, essentiels pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques.

En outre, nous discuterons des avantages distincts que chaque méthode apporte, ainsi que des considérations pratiques pour leur mise en œuvre efficace.

II.5.1. ADD (arbre de défaillance « faut tree analysis ») :

II.5.1.1. Définition :

L'analyse par arbre de défaillance est une méthode d'analyse déductive qui consiste, en partant d'un accident ou d'un événement redouté, à en examiner les causes.

Elle s'appuie sur la représentation de toutes les combinaisons logiques des différents états du système et des causes possibles qui peuvent contribuer à un événement problématique spécifique, nommé l'événement « source » [Ref-TC32].

La méthode repose sur l'idée que la défaillance a pour origine des changements ou des variations intervenant par rapport à une configuration de référence. Il suffit donc de repérer les variations ou les états permanents, puis de les organiser sous forme de diagramme. Cette analyse est destinée à rechercher les points sensibles du système (installations techniques ou processus) pour réduire les risques.

Elle requiert de connaître le système dans ses détails, pour pouvoir le représenter correctement. Elle permet aussi de détecter des combinaisons d'événements pouvant engendrer un accident. L'arbre de défaillance est le plus souvent utilisé pour analyser des modes de défaillance qui ont été reconnus comme importants au moyen d'une autre méthode. [10]

II.5.1.2. Historique de l'analyse par arbre de défaillance :

Le développement de l'analyse par arbre de défaillance comporte les principales étapes suivantes :

- Les premières années - En 1961, les Bell Labos ont développé le modèle pour l'utilisation du système de contrôle du lancement du Minute man de l'Air Force. Plus tard, la société Boeing a utilisé le modèle d'analyse par arbre de défaillance pour la conception et l'évaluation d'avions civils et commerciaux. Dans les années 1970, les ingénieurs des industries aérospatiale et nucléaire ont adopté le modèle d'analyse par arbre de défaillance pour des projets complexes.
- Les années médianes - La théorie des arbres de défaillance est devenue populaire dans différents pays avec l'adoption d'algorithmes et de codes techniques. Autour des années 1990, l'industrie du logiciel et le secteur chimique ont également introduit l'analyse par arbre de défaillance.
- Les années récentes - Les professionnels du monde entier ont développé des codes plus commerciaux pour l'utilisation de l'ingénierie de la fiabilité et des projets de robotique. Aujourd'hui, l'analyse par arbre de défaillance est considérée comme l'un des outils d'analyse de la fiabilité et de la sécurité des systèmes les plus importants. [11]

II.5.1.3. Objectif principal de l'analyse par ADD :

Pour atteindre son but fondamental d'évaluer et de gérer les risques de défaillance dans des systèmes complexes, l'analyse par arbre de défaillance se concentre sur plusieurs aspects essentiels :

1. Identifier les causes de défaillance : En cartographiant les différentes causes potentielles qui pourraient conduire à une défaillance du système.
2. Évaluer la criticité des défaillances : En déterminant l'impact et la gravité des différentes défaillances sur le fonctionnement global du système.
3. Améliorer la fiabilité et la sécurité : En identifiant les zones à risque élevé et en prenant des mesures pour renforcer la fiabilité et la sécurité du système.
4. Répondre aux exigences réglementaires : En se conformant aux normes et aux réglementations qui exigent une évaluation rigoureuse des risques de défaillance pour assurer la sécurité et la fiabilité des systèmes dans divers secteurs industriels.

L'analyse par arbre de défaillance vise à optimiser la performance globale des systèmes en minimisant les risques de défaillance critiques, ce qui est essentiel pour garantir leur fonctionnement fiable et sécurisé. [12]

II.5.1.4. Avantages de l'analyse par arbre de défaillance :

Globalement, il offre une image bien structurée, très visuelle et complète de votre système. Il aide les utilisateurs ou les développeurs à comprendre rapidement les résultats en fonction des relations logiques, afin de repérer les inconvénients et les erreurs dans le processus de conception. Voici quelques autres avantages importants :

- Facile à adopter- Les administrateurs peuvent facilement apporter des modifications à leur système, évaluer les effets possibles, concevoir des procédures de test et de maintenance de qualité en fonction de leurs diagrammes d'analyse de l'arbre de défaillance.
- Large Applicabilité - De nombreux sujets et domaines utilisent l'analyse par arbre de défaillance, comme les organisations dans les secteurs du matériel, des logiciels, de l'algèbre, des probabilités, de la fiabilité, de la physique, de la chimie et de l'ingénierie, etc.

- Estimation du risque - Les ingénieurs ou les développeurs peuvent identifier les risques avant le lancement d'un programme en utilisant le modèle d'analyse par arbre de défaillance. [13]

II.5.1.5. Symboles du diagramme d'analyse de l'arbre des défaillances :

L'analyse des arbres de défaillance comporte trois types de symboles de base : événements et des portes des symboles.

➤ Événements :

Ce site La sous-catégorie comprend les formes suivantes :

- Événement primaire/de base est normalement représentée par un cercle. Il s'agit d'une défaillance ou d'une erreur dans un composant ou un élément du système.
- Événement externe est normalement représenté par une forme de maison. Il s'agit d'un événement qui devrait normalement se produire.
- Événement non développé signifie généralement qu'il s'agit d'un composant d'un système qui n'a pas besoin d'être étudié davantage en raison d'informations limitées.
- Événement de conditionnement est une restriction sur une porte logique.
- Événement intermédiaire est généralement placé au-dessus d'un événement primaire afin d'afficher plus de détails sur la description de l'événement. [8]

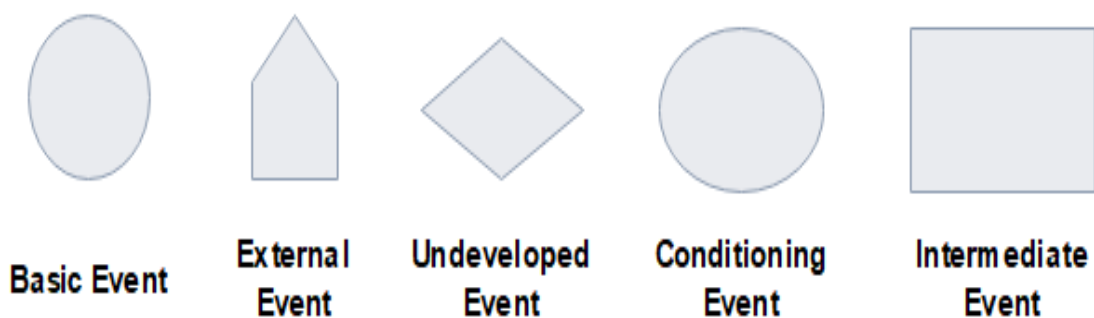


Figure II.1 : Symboles des Événements

➤ Portails :

Ces symboles montrent principalement la relation entre les événements de sortie et d'entrée, et les deux symboles les plus populaires de cette sous-catégorie sont la porte OU et la porte ET.

- Porte OU - Il se produit tant qu'au moins un des événements d'entrée se produit.
- Porte ET - Il ne se produit que si toutes les entrées (au moins deux) les exigences sont satisfaites.
- Porte OU exclusif - Il ne se produit que si l'une des conditions d'entrée est remplie, et non si toutes les conditions sont remplies.
- Porte ET prioritaire - Il ne se produit qu'après un ordre spécifique de conditions.
- Porte d'inhibition - Il ne se produit que si tous les événements d'entrée ont lieu et ce qui est défini dans un événement conditionne [8]



Figure II.2 : Symboles des Portails

1) Etapes d'une analyse par arbre de défaillance :

L'analyse de l'arbre de défaillances repose sur une approche dynamique et a pour but d'obtenir une description objective d'un événement indésirable par un examen de faits. L'analyse consiste à reconstruire le processus d'un accident en identifiant les facteurs qui y ont contribué. Il peut également être utilisé pour analyser certaines non-conformités.

Pour effectuer une analyse complète de l'arbre de défaillance, il suffit de suivre le processus ci-dessous :

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

Première étape : recueillir les faits

Les événements dangereux ou graves sont identifiés en premier. Des facteurs peuvent être retrouvés dans différents domaines, à savoir : Individu : prédisposition individuelle, méconnaissance du risque, manque d'expérience...

- Individu : prédisposition individuelle, méconnaissance du risque, manque d'expérience...
- Tâche : procédures de travail, contrôle...
- Matériel : conception, usure, utilisation incorrecte...
- Environnement physique : éclairage, bruit...
- Environnement : climat social, relations interpersonnelles...
- Organisation du travail : travail répétitif, travail monotone...

L'objectif est d'identifier l'ensemble des facteurs qui ont donné lieu à l'accident. Il ne s'agit certainement pas de pointer un responsable du doigt, c'est pourquoi les données (expertise technique, témoignages, etc.) doivent être recueillies de manière objective, sans interpréter ni émettre de jugement.

Les faits doivent aussi être tangibles, vérifiés et documentés. L'objectif est d'identifier les causes réelles de l'événement indésirable. Cela permet d'identifier également de nouvelles causes ou de nouveaux risques ou de mettre des risques inconnus ou mal connus en évidence.

Deuxième étape : établir l'arbre de défaillances

Toutes les combinaisons de défaillances individuelles qui peuvent conduire à ces événements dangereux sont ensuite représentées selon une structure logique dans un arbre de défaillances. Plusieurs questions se posent, à savoir :

- Quelle est la cause d'un fait spécifique ?
- Cette cause était-elle nécessaire pour que le fait se produise ?
- Cette cause était-elle suffisante pour que le fait se produise ? En d'autres termes, aucune autre cause n'est intervenue ?

Lors de l'élaboration de l'arbre de défaillances, on peut être confronté à différentes combinaisons de relations logiques entre les causes, qui sont présentées dans le tableau suivant :

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

FTA : Combinaison de causes

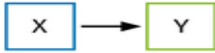

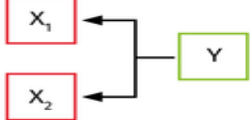
	ENCHAÎNEMENT	DISJONCTION	CONJONCTION
Définition	Un événement a une seule cause.	Deux (ou plusieurs) événements ont une seule et même cause.	Un événement a plusieurs causes immédiates.
Arbre de défaillances			
Caractéristiques	X est nécessaire et suffisant pour que Y se produise.	X est nécessaire et suffisant pour que Y1 et Y2 se produisent.	Les deux événements X1 et X2 sont nécessaires pour que Y se produise, X1 ou X2 seul n'est pas suffisant pour que Y se produise.

Tableau II: 3 Combinaison de causes

Le tableau montre à quoi ressemble un arbre de défaillances. L'incident indésirable est placé à l'extrême droite dans une case. Les faits sont ensuite classés dans des cases de droite à gauche et reliés ensemble leur relation.

Troisième étape : classer les causes

Les causes doivent ensuite être réparties en catégories, conformément à la réglementation relative aux accidents graves du travail, voir ci-dessous.

Une fois la cause identifiée, on peut calculer mathématiquement la probabilité que l'événement indésirable se produise, en tenant compte des différents liens logiques (enchaînement, disjonction, conjonction).

Quatrième étape : détermination quantitative

A ce stade, on peut calculer la probabilité de survenance de l'événement indésirable :

- On détermine les probabilités d'occurrence des différentes causes.
- On calcule de façon mathématique la probabilité d'occurrence de l'événement indésirable en tenant compte des différentes fonctions logiques (succession, disjonction, conjonction).

Cinquième étape : proposer des mesures et un plan d'action

Sur la base de l'analyse des causes constatées, on va :

- Choisir des objectifs d'action
- Sélectionner les meilleures solutions
- Définir un plan d'action
- Évaluer les résultats. [14]

II.5.2. AMDEC (“Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité”) :

II.5.2.1 Définition :

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, en version française.

FMEA : Failure Mode and Effects Analysis en version anglaise.

Elle est basée sur une étude critique d'un système (processus, organisation), d'un produit, ou même d'un service.

C'est une étude pluridisciplinaire devant regrouper des experts dans le domaine où se fait l'étude.

L'ADMEC est une méthode d'analyse préventive qui permet :

- La recherche des défauts potentiels du produit, engendrés par les processus ;
- L'évaluation des risques liés à ces défaillances
- L'identification des causes possibles ;
- La recherche d'actions correctives et ou préventives et leur mise en œuvre.

Elle est réalisée pour chaque phase de fonctionnement du système et attribue une note de criticité aux effets identifiés. [15]

II.5.2.2. Avantages de l'AMDEC :

L'AMDEC présente plusieurs avantages :

- Elle est utilisable dans plusieurs secteurs ;
- Elle permet une bonne maîtrise des risques car permettant de mener des actions correctives ;
- Elle favorise l'échange de connaissances parmi les participants du groupe de travail, qui apportent chacun leur vision du processus, et contribue à la cohésion d'entreprise.

Le dossier constitué capitalise la connaissance des modes de fonctionnement du processus analysé, et participe à la transmission des savoirs pour les futurs contributeurs. [16]

II.5.2.3. Inconvénients de l'AMDEC :

Bien que puissante dans l'analyse de la qualité d'un système, elle présente quelques inconvénients :

- Des coûts souvent élevés en début d'application ;
- Elle ne permet pas parfois de prendre en compte la combinaison de plusieurs défaillances ;
- Elle est parfois, difficile à animer car regroupant des responsables des secteurs qui ont souvent du mal à respecter les séances de travail ;
- La nécessité d'un brainstorming. [17]

II.5.2.4. Objectif de la méthode AMDEC :

La technique AMDEC est un outil complet qui permet d'analyser en même temps les modes de défaillance, leurs causes et leurs effets et d'apporter des solutions concrètes.

Elle est plébiscitée dans de nombreux secteurs d'activité :

- Automobile,
- Matériel médical,
- Aéronautique,
- Ferroviaire, etc.

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

Elle peut s'appliquer à différents systèmes en entreprise (sécurité, conception, processus...) et à différents stades de processus (conception, développement, exploitation...).

La méthode AMDEC s'utilise dans une démarche d'amélioration continue et de satisfaction client. Elle permet :

- D'optimiser la production ;
- De limiter les défaillances au sein des moyens de production ;
- D'améliorer les processus et l'organisation en entreprise ;
- De déterminer un seuil de qualité et de mobiliser les ressources (humaines, matérielles, financières) pour y parvenir ;
- D'établir des recommandations spécifiques pour faire face aux défaillances.

[18]

II.5.2.5. Définitions liées à l'AMDEC :

Pour comprendre cette méthode, il est important de bien connaître les termes qui lui sont associés.

- Le mode de défaillance : c'est la manière dont le système peut s'arrêter de fonctionner, s'écarter des spécifications prévues initialement, fonctionner anormalement, etc. Il s'exprime en terme physique.

Exemple : fuite, court-circuit, déformation, etc.

La recherche de défaillance consiste à se poser les questions suivantes :

- Qu'est-ce qui ne fonctionne pas ?
- Qu'est-ce qui a arrêté de fonctionner ?
- Est que quelque chose s'est dégradé dans le fonctionnement du système ?
- La cause de la défaillance : c'est l'anomalie pouvant conduire à la défaillance.
- L'effet de la défaillance : ce sont les conséquences subies par l'utilisateur.
- La criticité : c'est un moyen de déterminer l'acceptabilité de la situation par la combinaison de plusieurs facteurs.

La criticité d'un mode de défaillance est souvent calculée en utilisant la formule :

Criticité = F x G x D

- F : La fréquence des défaillances ou probabilité d'apparition de la défaillance

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

- G : Le niveau de gravité des défaillances (aussi appelée sévérité du défaut/défaillance)
- D : La détectabilité des modes de défaillance (la probabilité de non détection de la cause). [19]

Note F	Fréquence ou probabilité d'apparition	Note G	Gravité	Note D	Possibilité de non-détection
10	Permanent	10	Mort d'homme ou catastrophe environnementale	10	Aucune probabilité de détection
5	Fréquent	5	Conséquences financières et/ou matérielles	5	Un système de détection est en place mais n'est pas infaillible
1	Invraisemblable	1	Pas grave	1	Le système de détection est infaillible

Tableau II: 4 Facteurs F,G,D de la Criticité

II.5.2.6. Différents types d'AMDEC :

La méthode AMDEC peut être utilisée dans tous secteurs d'activité, cette dernière pouvant être déclinée à n'importe quel procès interne et ce en mode manuel, automatique ou dégradé.

Les trois principaux types d'AMDEC sont les suivant :

- AMDEC Produit est utilisée pour vérifier la conformité d'un produit développé au regard des exigences client, dans le but d'améliorer sa qualité et sa fiabilité grâce à un plan de validation du produit.

Fonction à assurer	Mode de défaillance	Causes	Effets	Validation Vérifications
Résistance du pneu	Crevaision, dégonflement	Usure, débris	Instabilité, risque d'accident, véhicule inutilisable	- Mise en place de capteurs de pression - R et D ou achat de pneus plus résistants

Tableau II: 4 Exemple d'une AMDEC Produit dans une société de transport

- AMDEC Processus / Procédé est utilisée pour analyser les modes de défaillance et valider la fiabilité d'un processus de fabrication. L'idée est de

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

rechercher comment un processus pourrait mener à une non-conformité et quelles pourraient-être les conséquences associées.

Fonction à assurer	Mode de défaillance	Causes	Effets	Validation Vérifications
Usinage d'une épaisseur de 100mm (+/- 0.05mm)	Épaisseur finale hors calibre	Erreur de réglage de la machine	- Pièce mal dimensionnée, non utilisable - Retard de production - Insatisfaction client	- Assurer un contrôle de réglage de la machine - Réaliser une série "test" avant mise en production

Tableau II:5 Exemple d'une AMDEC Processus / Procédé en industrie

La méthode AMDEC Moyen / Machine vérifie la fiabilité d'un équipement afin d'augmenter le MTBF (Mean Time between Failures) ou "Temps moyen entre pannes" en français. L'idée est de repérer le plus tôt possible d'éventuels points critiques de la machine et d'analyser les potentielles conséquences d'une défaillance pour l'environnement de production. [20]

Fonction à assurer	Mode de défaillance	Causes	Effets	Validation Vérifications
Fonctionnement d'un vérin hydraulique sur pelleteuse	Non fonctionnement	Fuite de liquide hydraulique	- Utilisation impossible de la machine, - chute du godet - Arrêt du chantier	- Capteur de pression et de niveau de liquide hydraulique - Vérifications quotidiennes

Tableau II:6 Exemple d'une AMDEC Moyen / Machine dans le BTP

On peut également parler d'autres types d'AMDEC moins connues.

Les 3 types secondaires :

- L'AMDEC Sécurité :

L'AMDEC Sécurité vise à étudier la sécurité des opérateurs dans les procédés. L'idée est de limiter au maximum les causes pouvant entraîner un accident ou un dommage.

- L'AMDEC Conception :

L'AMDEC Conception est utilisée au cours de la conception d'un outil de production.

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

L'AMDEC Produit consiste à analyser les défaillances d'un produit au regard de sa fabrication, de sa conception ou de son utilisation. L'objectif visé est l'amélioration de sa qualité et de sa fiabilité.

- L'AMDEC Organisation :

L'AMDEC Organisation peut se réaliser à différents niveaux (système de gestion, système d'information, marketing, ressources humaines, finances, système de production...). Elle a pour intérêt de déterminer les défaillances pouvant conduire à un événement redouté. [21]

II.5.2.7. Grilles d'analyses d'AMDEC :

Il existe plusieurs types de grilles pour restituer les résultats d'une AMDEC processus. Ces restitutions guident la prise de décision suite au diagnostic sur les risques à traiter en priorité et les actions à mettre en place. On peut combiner l'utilisation de plusieurs types de grilles.

Matrice Gravité – Fréquence :

Dans cette grille d'analyse seuls les facteurs fréquence et gravité sont retenus et présentés dans un tableau comme celui indiqué ci-contre.

Dans cette présentation synthétique des résultats d'une analyse AMDEC, on peut, par exemple, décider de ne retenir que les risques dont le facteur fréquence x gravité est supérieur à 8, indiqués en rouge dans le tableau ci-contre.

Analyse fréquence /gravité		Gravité			
		1	2	3	4
Fréquence	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4

Figure II:3 Analyse fréquence gravité

Indice de criticité gravité :

Cette visualisation fait apparaître le nombre de risques identifiés par rapport à leur criticité. Celle-ci est le résultat du produit des trois facteurs fréquence x gravité x détectabilité. On peut déterminer un niveau de criticité au-delà duquel on n'acceptera pas de risque, ce qui guidera la démarche du plan d'action.

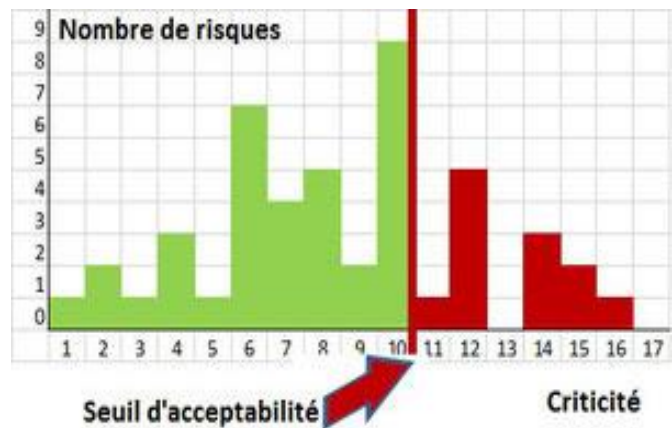


Figure II:4 Analyse indice de gravité

Diagramme de Kiviat :

Le diagramme de Kiviat se présente sous la forme d'un graphique en radar.

Pour synthétiser une amdec processus, on positionne les principaux risques sur les axes en identifiant le niveau de risque comme graduation des axes. Le graphique ci-contre présente les risques tels qu'issus d'une analyse en milieu hospitalier. [22]

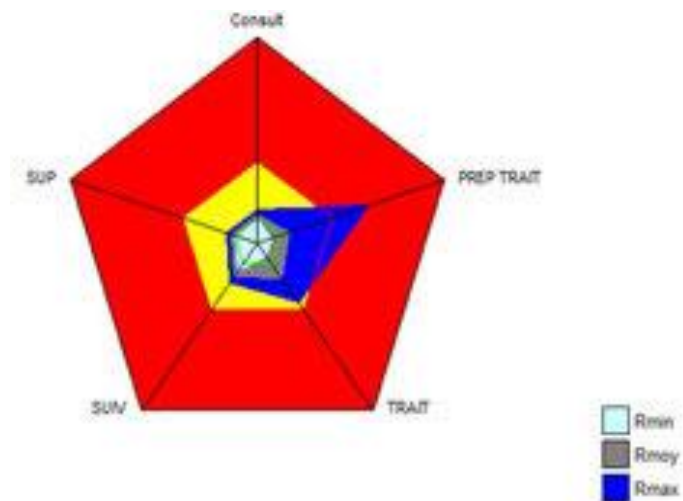


Figure II:5 Diagramme de Kiviat

II.5.2.8 Etapes de faire une analyse AMDEC :

Une AMDEC est avant tout une méthode d'analyse de risques mais représente également un outil d'échange et de communication.

Il s'agit de collecter les défaillances potentielles des processus, de rechercher et d'identifier les causes et de connaître les conséquences éventuelles sur le client, l'utilisateur ainsi que sur l'environnement.

Le but recherché est la hiérarchisation des défaillances.

Ceci permettra de connaître le niveau de gravité et l'impact que cela pourrait avoir sur le client, l'utilisateur ou sur l'environnement interne ou externe.

Cela a pour objectif, d'identifier également des actions mesurées au regard de l'impact potentiel de la défaillance.

Voyons ci-après les phases pour implémenter la méthodologie AMDEC :

- Constituer un groupe de travail
- Faire une analyse fonctionnelle du procédé (ou de la machine)
- Faire l'analyse des défaillances potentielles
- Évaluer ces défaillances et déterminer leur criticité
- Définir et planifier des actions

Étape 1 : Construire le groupe de travail

La méthode AMDEC étant une méthode prédictive, elle repose fortement sur l'expérience.

Il est donc nécessaire de faire appel à des expériences d'horizons divers afin de neutraliser l'aspect subjectif des analyses.

Ce groupe, est composé de 4 à 8 individus issus de divers services de l'entreprise :

- Service production
- Service maintenance
- Service qualité
- Service méthodes

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

Un des critères pour la constitution du groupe est une expérience significative.

De plus, l'une des personnes du groupe occupe la fonction d'animateur.

Elle a pour rôle de conduire et d'orienter les débats, de veiller au respect des limites du sujet, de désigner la personne qui doit trancher en cas de litige, de rédiger l'AMDEC et de planifier les réunions.

Cette personne ne connaît pas forcément l'objet de l'analyse et il est même préférable qu'elle ne le connaisse pas pour introduire une certaine objectivité dans le déroulement – et elle est souvent extérieure à l'entreprise (consultant).

Même si d'apparence, l'AMDEC ressemble à une discussion où s'opposent des points de vue différents, elle n'en reste pas moins une méthode empreinte d'une certaine rigueur et devant déboucher sur des actions très concrètes.

Parmi les critères d'efficacité de la méthode :

- Une expérience significative
- Discipline : effort de présence
- Efficacité. [23]

Étape 2 : Définir le périmètre de l'étude

Pour que l'AMDEC soit pertinente, il est nécessaire de connaître et de comprendre le produit, procédé ou processus traité pour définir le périmètre de votre étude et pouvoir l'analyser. Vous pouvez obtenir ces informations à l'aide d'une analyse fonctionnelle, dont les questions clés sont les suivantes :

- Quelle est la fonction d'usage ?
- Quelles sont les fonctionnalités attendues ?
- Quelles sont les contraintes ?
- Quelles sont les fonctions techniques ?

Vous pouvez utiliser les différents outils de l'analyse fonctionnelle : présentation du besoin (voir ce qu'est la bête à cornes), expression fonctionnelle (pieuvre), hiérarchisation des fonctions, cahier des charges fonctionnel, etc.

Lors de cette phase, les objectifs et les limites de l'étude sont définis.

Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels

Cette étape est indispensable pour démarrer une AMDEC. En ayant peu de connaissances de son sujet, vous risquez de vous éloigner de la cible et les résultats peuvent être erronés.

Étape 3 : Identifier les modes de défaillances

Une fois ce périmètre établi, vous pouvez identifier les modes de défaillances potentielles en vous posant la question « Qu'est-ce qui pourrait aller mal ? ». A partir de là, vous pouvez commencer à remplir votre grille d'analyse.

Le but de cette étape est de rechercher les défaillances premières et non les causes racines. [24]

Étape 4 : Recenser les effets et les causes

Pour chaque mode de défaillance répertorié, vous devez alors présenter :

- Les effets : la conséquence du mode de défaillance. Il peut y avoir des effets sur la qualité du produit, sur la production ou encore sur la sécurité ;
- Les causes : c'est-à-dire l'anomalie qui conduit au mode de défaillance.

À noter que les effets et les causes peuvent être multiples. [15]

Étape 5 : Hiérarchiser et évaluer les défaillances selon la criticité

Il convient ensuite de calculer pour chaque mode de défaillance le degré de criticité, comme nous l'avons vu précédemment avec la formule $C = F \times G \times D$. [18]

Les résultats obtenus permettent de hiérarchiser les défaillances selon les valeurs suivantes :

Niveau de criticité	Signification
$1 < C < 8$	Criticité faible : Défaillances à ne pas traiter.
$8 < C < 14$	Criticité mineure : Il faut faire un choix soit de traiter les défaillances ou de les laisser.
$14 < C < 27$	Criticité importante : Il convient d'apporter des solutions ou de mettre en place un plan d'actions.
$27 < C < 64$	Criticité majeure : Il est urgent de trouver des solutions.

Tableau II:7 Niveau de criticité

Étape 6 : Rechercher des solutions

Après avoir classé les différents modes de défaillance, deux solutions s'offrent à vous :

- Supprimer la défaillance
- Réduire la défaillance

Dans le deuxième cas, vous pouvez rechercher des solutions par actions correctives et/ou préventives dans le but d'obtenir une criticité plus faible de l'occurrence/la probabilité de non-détection/la gravité. Pour chaque action, un responsable doit être désigné.

Étape 7 : Suivre les actions

L'objectif est de vérifier l'efficacité des solutions qui ont été entreprises et de réévaluer la criticité, afin de s'assurer que celle-ci a bien été réduite. Ce suivi est important, car il permet de déterminer l'efficacité et l'impact des actions qui ont été entreprises. [25]

II.5.3. Monte Carlo :

II.5.3.1. Définition :

La simulation Monte Carlo est une technique mathématique informatisée qui permet de tenir compte du risque dans l'analyse quantitative et la prise de décision.

Elle présente au chef de projet, une plage d'issues possibles et leurs probabilités de réalisation suivant l'action choisie.

La simulation Monte Carlo est une technique mathématique utilisée pour modéliser différents scénarios en générant des entrées aléatoires et en analysant les résultats. Il s'agit d'un outil puissant utilisé pour simuler des systèmes complexes et faire des prédictions sur les résultats futurs. Elle révèle les possibilités extrêmes (les issues des décisions les plus audacieuses et les plus prudentes), ainsi que toutes les conséquences possibles des décisions intermédiaires.

La simulation Monte Carlo procède à l'analyse du risque par élaboration de modèles de résultats possibles, en substituant une plage de valeurs — une distribution

de probabilités — à tout facteur porteur d'incertitude. Elle calcule et recalcule ensuite ces résultats selon, à chaque fois, un ensemble distinct de valeurs aléatoires des fonctions de probabilités. Suivant le nombre d'incertitudes et les plages spécifiées pour les représenter, une simulation Monte Carlo peut impliquer, pour être complète, des milliers ou même des dizaines de milliers de calculs et ré-calculs. La simulation produit des distributions de valeurs d'issue possibles. [26]

II.5.3.2. Histoire de la simulation de Monte-Carlo :

John Von Neumann et Stanislaw Ulam ont inventé la simulation de Monte-Carlo, ou la méthode de Monte-Carlo, dans les années 1940. Ils l'ont baptisé d'après le célèbre lieu de jeu de Monaco parce que la méthode partage les mêmes caractéristiques aléatoires qu'un jeu de roulette. [27]

II.5.3.3. Avantages de la simulation Monte Carlo :

La simulation de Monte-Carlo constitue une méthode très intéressante car elle donne accès à de nombreux paramètres inaccessibles par les autres méthodes et conduit à des analyses extrêmement détaillées des systèmes étudiés :

- Elle n'est pas limitée par le nombre d'états du système étudié car, même s'il y en a des centaines de milliers, seuls les états prépondérants se manifestent au cours de la simulation,
- Elle permet la prise en compte de n'importe quelle loi de probabilité,
- Elle permet l'association dans le même modèle de phénomènes déterministes et de phénomènes aléatoires,
- Son implémentation informatique est aisée

La simulation Monte Carlo donne ainsi une perspective beaucoup plus complète de ce qui pourrait se produire. Elle indique non seulement ce qui pourrait arriver, mais dans quelle mesure. [28]

II.5.3.4. Limites de la simulation Monte Carlo :

Si la simulation Monte Carlo offre plusieurs avantages, il est également important de reconnaître ses limites.

- L'une des limites réside dans le recours à des données d'entrée et à des hypothèses précises. La précision des résultats de simulation dépend fortement de la qualité des données utilisées pour modéliser les variables et des hypothèses formulées concernant leurs distributions de probabilité. Des données d'entrée inexactes ou biaisées peuvent conduire à des prévisions trompeuses et nuire à la crédibilité des résultats de simulation.
- Pour illustrer cette limitation, considérons le cas où une entreprise utilise la simulation Monte Carlo pour prévoir le retour sur investissement d'une nouvelle campagne marketing. Si les données historiques utilisées pour estimer les distributions de probabilité de variables telles que les taux de réponse des clients ou les taux de conversion sont obsolètes ou ne sont pas représentatives des conditions actuelles du marché, les résultats de la simulation peuvent ne pas refléter avec précision les résultats potentiels de la campagne. [29]

II.5.3.5. Composants d'une simulation de Monte Carlo :

Une analyse de Monte Carlo comprend des variables d'entrée, des variables de sortie et un modèle mathématique. Le système informatique introduit des variables indépendantes dans un modèle mathématique, les simule et produit des variables dépendantes.

- Variables d'entrée :

Les variables en entrée sont des valeurs aléatoires qui influent sur le résultat de la simulation de Monte Carlo. Par exemple, la qualité de fabrication et la température sont des variables d'entrée qui influencent la durabilité d'un Smartphone. Vous pouvez exprimer les variables d'entrée sous la forme d'une plage d'échantillons de valeurs aléatoires afin que les méthodes de Monte Carlo puissent simuler les résultats avec des valeurs d'entrée aléatoires.

- Variable de sortie :

La variable en sortie est le résultat de l'analyse de Monte Carlo. Par exemple, l'espérance de vie d'un appareil électronique est une variable de sortie, dont la valeur est une période telle que 6 mois ou 2 ans. Le logiciel de simulation Monte Carlo affiche la variable de sortie dans un histogramme ou un graphique qui distribue le résultat dans une plage continue sur l'axe horizontal.

- Modèle mathématique :

Un modèle mathématique est une équation qui décrit la relation entre les variables de sortie et d'entrée sous forme mathématique. Par exemple, le modèle mathématique de rentabilité est $\text{Bénéfice} = \text{Recettes} - \text{Dépenses}$.

Le logiciel de Monte Carlo remplace les recettes et les dépenses par des valeurs probables basées sur le type de distribution de probabilité. Ensuite, il répète la simulation pour obtenir un résultat très précis. La simulation de Monte Carlo peut durer des heures lorsque le modèle mathématique implique de nombreuses variables aléatoires. [30]

II.5.3.6. Lois de probabilité dans la simulation de Monte Carlo :

Les lois de probabilité sont des fonctions statistiques qui représentent une plage de valeurs réparties entre des limites. Les experts en statistique utilisent des distributions de probabilité pour prédire l'occurrence possible d'une variable incertaine, qui peut consister en des valeurs discrètes ou continues.

La distribution de probabilité discrète est représentée par des nombres entiers ou une séquence de nombres finis. Chacune des valeurs discrètes a une probabilité supérieure à zéro. Les statisticiens tracent une distribution de probabilité discrète sur un tableau, mais ils tracent une distribution de probabilité continue sous la forme

d'une courbe entre deux points donnés sur l'axe des abscisses d'un graphique. Voici les types courants de lois de probabilité qu'une simulation de Monte-Carlo peut modéliser :

- Distribution normale :

La distribution normale, également connue sous le nom de courbe en cloche, a la forme symétrique d'une cloche et représente la plupart des événements de la vie réelle. La possibilité d'une valeur aléatoire à la médiane est élevée, et la probabilité diminue significativement vers les deux extrémités de la courbe en cloche. Par exemple, un échantillonnage aléatoire répété du poids des élèves d'une classe donnée vous donne un diagramme de distribution normal.

- Distribution uniforme :

La distribution uniforme fait référence à une représentation statistique de variables aléatoires avec une chance égale. Lorsqu'elles sont tracées sur un graphique, les variables uniformément réparties apparaissent sous la forme d'une ligne plate horizontale sur la plage valide. Par exemple, la distribution uniforme représente la probabilité de lancer et de tomber sur chacune des faces d'un dé.

- Distribution triangulaire :

La distribution triangulaire utilise les valeurs minimales, maximales et les plus probables pour représenter des variables aléatoires. Sa probabilité culmine à la valeur la plus probable. Par exemple, les entreprises utilisent la distribution triangulaire pour prévoir les volumes de ventes à venir en établissant la valeur minimale, maximale et plus probable du triangle. [31]

II.5.3.7. Etapes de la simulation de Monte-Carlo :

La méthode de Monte-Carlo comporte les étapes suivantes :

- Établir le modèle mathématique :
Définissez une équation qui réunit les variables de sortie et d'entrée. Les modèles mathématiques peuvent aller de formules commerciales de base à des équations scientifiques complexes.
- Déterminer les valeurs d'entrée :
Choisissez parmi les différents types de lois de probabilité pour représenter les valeurs en entrée. Par exemple, la température de fonctionnement d'un téléphone mobile est susceptible d'être une courbe en cloche puisque l'appareil fonctionne la plupart du temps à température ambiante.
- Créer un exemple de jeu de données :
Créez un vaste jeu de données d'échantillons aléatoires basé sur la distribution de probabilité choisie. La taille de l'échantillon doit être de l'ordre de 100 000 pour produire des résultats précis.
- Configurer le logiciel de simulation Monte Carlo :
Utilisez les échantillons d'entrée et le modèle mathématique pour configurer et exécuter le logiciel de simulation de Monte Carlo. Les temps de résultat peuvent varier en fonction du nombre de variables d'entrée, et il se peut que vous deviez attendre les résultats.
- Analyser les résultats :
Vérifiez les résultats simulés pour connaître la répartition en sortie sur l'histogramme. Utilisez des outils statistiques pour calculer des paramètres, tels que la valeur moyenne, l'écart type et la variante, afin de déterminer si le résultat correspond à vos attentes. [32]

II.5.4. Approche bayésienne :

II.5.4.1. Définition :

L'approche bayésienne : Est une méthode d'inférence statistique par laquelle on calcule les probabilités de diverses causes hypothétiques à partir de l'observation d'événements connus. Elle s'appuie principalement sur le théorème de Bayes. [19]

1) Théorème de Bayes :

Est un théorème important en théorie des probabilités. Il permet de calculer la probabilité qu'un événement ait lieu à partir d'un autre événement qui s'est réalisé, en particulier lorsque les deux événements sont interdépendants, bien qu'il fonctionne aussi pour des événements indépendants.

Le théorème a été dévoilé dans un article entamé par Thomas Bayes et terminé puis publié par Richard Price. Les parts de contribution respectives des deux auteurs aux travaux de recherche ne sont pas connues, mais le nom du théorème a été attribué à Bayes car il était cité comme le premier auteur de la publication. [33]

2) Historique de Bayes :

À sa mort en avril 1761, Thomas Bayes laisse à Richard Price ses articles non terminés. C'est ce dernier qui prend l'initiative de publier l'article « An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chance » et de l'envoyer à la Royal Society deux ans plus tard.

D'après Martyn Hooper, il est probable que Richard Price ait lui-même contribué de manière significative à la rédaction de l'article final et qu'il soit ainsi avec Thomas Bayes l'auteur du théorème connu sous le nom de théorème de Bayes. Cette erreur d'attribution serait une application de la loi d'éponymie de Stigler selon laquelle les découvertes scientifiques sont rarement attribuées à leur premier auteur.

La formule est redécouverte par Pierre-Simon de Laplace en 1774.

Bayes cherchait à déterminer ce que l'on appellerait actuellement la distribution a posteriori de la probabilité p d'une loi binomiale. Ses travaux ont été édités et présentés à titre posthume (1763) par son ami Richard Price dans Un essai pour résoudre un problème dans la théorie des risques (An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances).

Les résultats de Bayes ont été étendus dans un essai de 1774 par le mathématicien français Laplace, lequel n'était apparemment pas au fait du travail de Bayes. [34]

3) Définitions liées à théorème de Bayes :

L'approche bayésienne est une méthode statistique qui utilise le théorème de Bayes pour mettre à jour la probabilité d'une hypothèse à mesure que de nouvelles données sont disponibles. Elle repose sur deux éléments principaux :

- Probabilité a priori : La croyance initiale sur une hypothèse avant d'observer les données.
- Probabilité a posteriori : La croyance mise à jour sur l'hypothèse après avoir observé les nouvelles données.

1. Probabilité a priori :

Dans le théorème de Bayes, la probabilité a priori désigne une probabilité se fondant sur des données ou connaissances antérieures à une observation. Elle s'oppose à la probabilité a posteriori correspondante qui s'appuie sur les connaissances postérieures à cette observation.

Le théorème de Bayes s'énonce de la manière suivante :

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad , \text{ Si } P(B) \neq 0$$

$P(A)$ désigne ici la probabilité a priori de A, tandis que

$P(B)$ désigne la probabilité a posteriori, c'est-à-dire la probabilité conditionnelle de A sachant B. $P(B/A)$ est la vraisemblance de A sachant B. [35]

2. Probabilité a posteriori :

Dans le théorème de Bayes, la probabilité a posteriori désigne la probabilité recalculée ou remesurée qu'un évènement ait lieu en prenant en considération une nouvelle information. Autrement dit, la probabilité a posteriori est la probabilité qu'un évènement A ait lieu étant donné que l'évènement B a eu lieu. Elle s'oppose à la probabilité a priori dans l'inférence bayésienne.

La loi a priori $P(\theta)$ qu'un évènement X ait lieu avec vraisemblance est $P(X/\theta)$.

La probabilité a posteriori se définit comme : $P(\theta/X) = P(X/\theta) P(\theta) \div P(X)$

La probabilité a posteriori peut s'écrire :

Probabilité a posteriori \propto Vraisemblance \times Probabilité a priori.

Note :

- La loi de la variable aléatoire θ avant observation est appelée loi a priori, notée généralement $\pi(\theta)$;
 - La loi de la variable aléatoire θ après observation est appelée loi a posteriori.
- [36]

- **Fonction de vraisemblance :**

La vraisemblance : est une fonction des paramètres d'un modèle statistique calculée à partir de données observées. Les fonctions de vraisemblance jouent un rôle clé dans l'inférence statistique fréquentiel, en particulier pour les méthodes statistiques d'estimation de paramètres, en particulier l'estimation par maximum de vraisemblance.

Les paramètres sont eux-mêmes considérés comme des variables aléatoires, et la vraisemblance est utilisée pour calculer la probabilité a posteriori des paramètres via la loi de Bayes. [37]

- **Probabilité conditionnelle :**

En théorie des probabilités, une probabilité conditionnelle est la probabilité d'un évènement sachant qu'un autre évènement a eu lieu. Par exemple, si une carte d'un jeu est tirée au hasard, on estime qu'il y a une chance sur quatre d'obtenir un cœur

; mais si on aperçoit un reflet rouge sur la table, il y a maintenant une chance sur deux d'obtenir un cœur. Cette seconde estimation correspond à la probabilité conditionnelle d'obtenir un cœur sachant que la carte est rouge.

Considérons deux événements A et B avec B de probabilité non nulle ; (plus formellement, on se place dans un espace probabilisé (Ω, β, P) ; les événements A et B sont des éléments de la tribu β). La probabilité conditionnelle de A sachant que B s'est réalisé (ou « probabilité de A sachant B ») est le nombre réel noté $P(A/B)$. [24]

II.6. Modèle de réseau bayésien :

II.6.1. Définitions des réseaux bayésiens

Les réseaux bayésiens sont des modèles graphiques qui représentent les relations probabilisées entre un ensemble des variables. Ils deviennent un outil populaire pour représenter et manipuler les connaissances dans un système expert. Ils sont souvent utilisés à cause de leurs avantages.

Les réseaux bayésiens permettent aussi l'utilisation des connaissances puisqu'ils sont polyvalents donc on peut se servir du même modèle pour évaluer, prévoir, prédire, diagnostiquer, ou optimiser des décisions, ce qui contribue à rentabiliser l'effort de construction du réseau bayésien. [26]

II.6.2. Définition Formelle :

Les réseaux bayésiens figurent parmi les modèles d'analyse probabiliste. Ils proposent un formalisme mathématique et des bases théoriques solides pour la modélisation des systèmes complexes. [27]

Un réseau bayésien $B = (G, P)$ est défini par :

1. Un graphe dirigé sans circuit $G = (X, E)$ ou X est l'ensemble des nœuds et E est l'ensemble des arcs.
2. Un espace probabilisé (Ω, P) ,
3. Un ensemble de variables aléatoires $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ associées aux nœuds du graphe et définit sur (Ω, P) .

Il se compose de deux composants essentiels

1. Une composante graphique qui consiste en un graphe orienté sans circuit. Les nœuds représentent les variables pertinentes du domaine et les arcs représentent les relations de dépendance entre les variables.
2. Une composante numérique qui consiste en un ensemble de distributions de probabilités conditionnelles de chaque nœud dans le contexte de ses parents.[27]

Les réseaux bayésiens décrivent la distribution des probabilités associées à un ensemble des variables dont certains sont directement dépendants et d'autres sont indépendantes conditionnellement.

On résume qu'un réseau bayésien est un graphe orienté sans circuit où les nœuds représentent les variables auxquelles sont associées des tables de probabilités conditionnelles (CPT).

II.6.3. Avantages de réseaux bayésiens :

- Peuvent utiliser de données partielles ou incomplètes ;
- Permettent l'étude des relations causales et l'influence directe d'une variable sur l'autre ;
- Combinent l'estimation d'experts et les données statistiques pour mieux évaluer la causalité permettant de mettre ensemble toutes les sources de données disponibles, subjectives aux objectives ;
- Couvrent le raisonnement cause à effet de façon transparente et documentée
- Permettent l'analyse de type « what if » ;
- Permettent l'acquisition, la représentation et l'utilisation de connaissance ;
- Dans les dernières années, il y a une abondance d'outils et de logiciels qui permettent de saisir et traiter les réseaux bayésiens. Quelques exemples : AgenaRisk, Bayes server, Hugin, BayesNet, MSBNx.

II.6.4. Limitations de réseaux bayésien :

- Complexité élevée d'intégration dans un cadre basé seulement sur l'opinion des experts ;
- Graphes et les algorithmes de calcul peuvent être lourds dans les réseaux complexes ;
- Difficultés à travailler avec les variables continues.

III.6.5. Structure d'un réseau bayésien :

La structure d'un réseau bayésien est un graphe dans lequel les nœuds représentent des variables aléatoires, et les arcs relient ces nœuds qui sont rattachés à des probabilités conditionnelles.

Le graphe est acyclique donc il ne contient pas de boucle. Les arcs représentent des relations entre variables qui sont soit déterministes, soit probabilistes. Ainsi, l'observation d'une ou plusieurs causes n'entraîne pas systématiquement l'effet ou les effets qui en dépendent, mais modifie seulement la probabilité de les observer. La structure est définie par des experts et les tables de probabilités calculées à partir de données expérimentales. Il est possible d'utiliser des algorithmes, le recuit simulé ou encore certains algorithmes génétiques pour construire le réseau. [28]

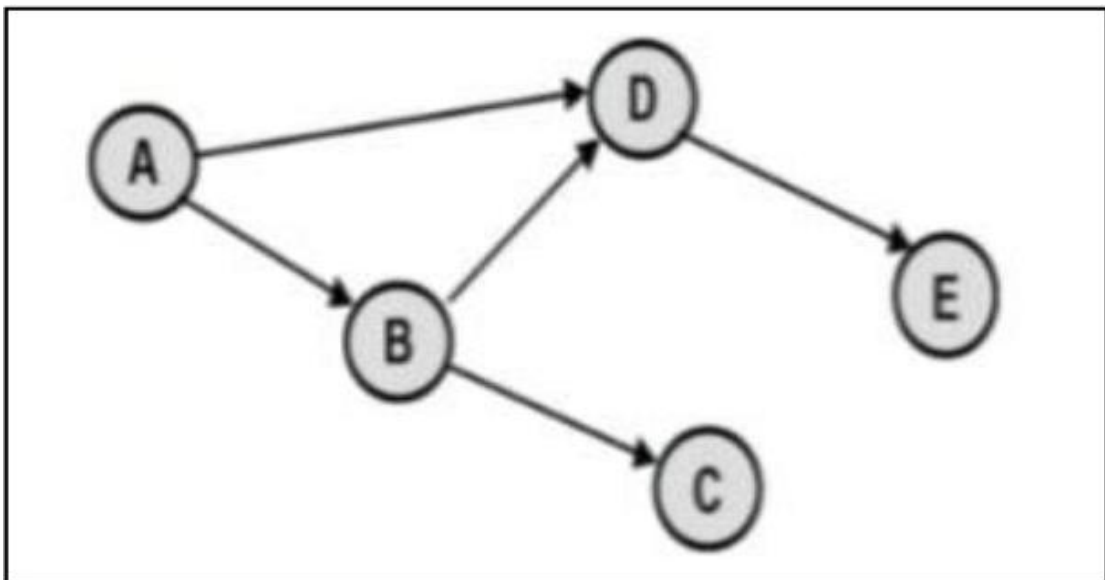


Figure II:6 Structure d'un réseau bayésien de cinq variables

II.6.5. Construction d'un réseau bayésien :

Construire un réseau bayésien, c'est donc :

1. Définir le graphe du modèle
2. Définir les tables de probabilité de chaque variable, conditionnellement à ses causes.

Le graphe est aussi appelé « la structure » du modèle, et les tables de probabilités ses « Paramètre ». Structure et paramètres peuvent être fournis par des experts, ou calculés à partir de données, même si en général, la structure est définie par des experts et les paramètres calculés à partir de données expérimentales.

II.6.5.1. Méthodes de construction :

La construction d'un réseau bayésien peut se faire selon les trois méthodes suivantes :

1. Manuelle :

Avec l'aide d'experts humains, les spécialistes en ingénierie de la connaissance

Interrogent les experts et ajoutent les nœuds, les liens et les probabilités conditionnelles au réseau bayésien sur la base de la connaissance recueillie. Dans ce type de construction, il est plus fréquent de définir un graphe causal.

2. Automatique :

Par application d'un algorithme d'apprentissage à une base de données. Les algorithmes d'apprentissage peuvent identifier à la fois la structure du graphe et les paramètres (les distributions de probabilités conditionnelles). Les données peuvent être complètes ou incomplètes. On peut aussi avoir des variables non observables.

3. Hybride :

Cette approche combine les deux précédentes. Les données peuvent être exploitées pour améliorer un premier modèle élaboré à partir des connaissances disponibles. Elles peuvent permettre d'élaborer ou de modifier la structure du graphe du réseau bayésien ou les probabilités conditionnelles sur les nœuds du graphe.

Nous avons vu diverses techniques pour effectuer l'inférence bayésienne dans les réseaux bayésiens. Mais avant de pouvoir utiliser ces modèles, il faut pouvoir les construire.

II.6.5.2. Etapes de construction d'un réseau bayésien :

La construction d'un réseau bayésien se décompose en trois distinctes présentées ci-dessous :

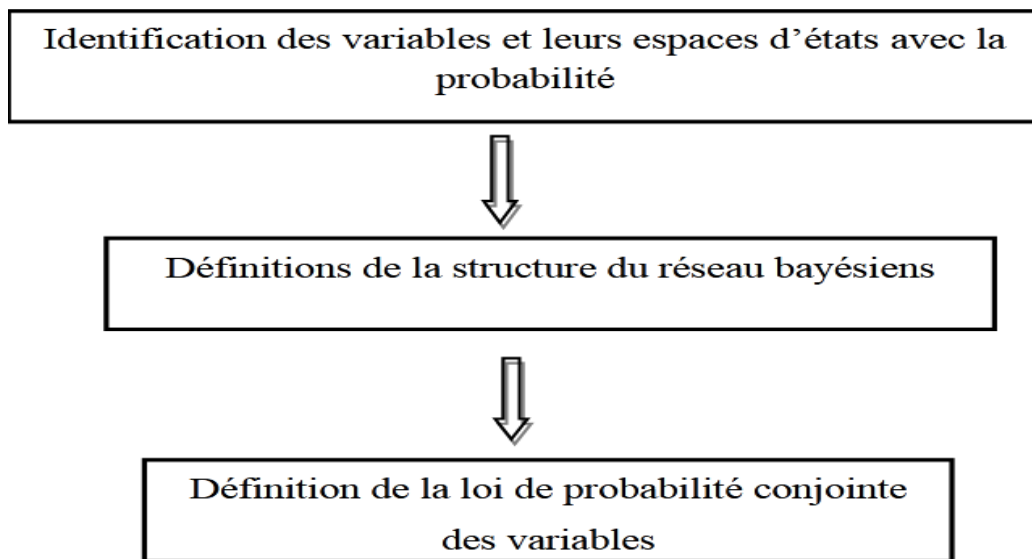


Figure II:7 Les étapes de construction d'un réseau bayésien

1. Étape qualitative :

La première étape dite qualitative consiste à la définition de l'ensemble des variables du système, avec précision de l'espace d'états de chaque variable.

2. Étape probabiliste :

La deuxième est l'étape probabiliste elle introduit l'idée de distribution jointe définie sur les variables a génère la base d'observation et choisir une structure de graphe qui sera compatible avec les variables.

3. Étape quantitative :

La troisième est l'étape quantitative : elle consiste en l'évaluation numérique des distributions de probabilités conditionnelles. [29]

II.6.6. Utilisation d'un réseau bayésien

Un réseau bayésien est donc un graphe causal auquel on a associé une représentation probabiliste sous-jacente. Cette représentation permet de rendre quantitatifs les raisonnements sur les causalités que l'on peut faire à l'intérieur du graphe.

L'utilisation essentielle des réseaux bayésiens est donc de calculer des probabilités conditionnelles d'événements reliés les uns aux autres par des relations de cause à effet. Cette utilisation s'appelle inférence. [29]

Une difficulté essentielle des réseaux bayésiens se situe précisément dans l'opération de transposition du graphe causal à une représentation probabiliste. Même si les seules tables de probabilités nécessaires pour définir entièrement la distribution de probabilité est celle d'un nœud conditionné par rapport à ses parents, il reste que la définition de ces tables n'est pas toujours facile pour un expert.

II.7 Conclusion :

Les méthodes présentées dans cette démarche requièrent la collecte de toutes les informations pertinentes sur le cas étudié. Cela permet de classer les niveaux de risque et, en fonction des objectifs fixés, d'identifier les types d'accidents, leur fréquence et les scénarios possibles. Ces informations permettent ensuite de prioriser les efforts à fournir pour réduire les risques et leurs effets.

Nous avons constaté que les réseaux bayésiens possèdent tous les avantages des modèles probabilistes standards, ainsi que des avantages supplémentaires liés à leur représentation graphique. De même, leur représentation facilite la compréhension dans un domaine de connaissances, dans le chapitre suivant on va appliquer notre réseau bayésien.

Chapitre III

Présentation de l'Entreprise et Les risques professionnels connexes

Chapitre III : Présentation de l'Entreprise et Les risques professionnels connexes

III.1. Introduction :

L'industrie du ciment en Algérie a connu une expansion remarquable ces dernières années, avec une croissance significative du nombre de cimenteries passant de 3 à plus de 20 unités. Cette montée en puissance est illustrée par une production annuelle dépassant les 30 millions de tonnes en 2020, positionnant le pays comme un acteur majeur dans le secteur de la production de ciment. Parmi les nombreux acteurs de cette industrie en plein essor, la Société des Ciments de Béni-Saf (SCIBS) se distingue comme l'une des principales cimenteries, avec une capacité de production annuelle de 1,2 million de tonnes.

Cependant, cette croissance rapide et cette production accrue ne sont pas sans conséquences. La fabrication du ciment est intrinsèquement polluante, générant des impacts notables sur la santé humaine et l'environnement. Les risques associés à ce processus incluent des préoccupations majeures en matière de sécurité, de santé et d'environnement, soulevant des questions cruciales sur la durabilité et les pratiques de l'industrie. Cette recherche se penche sur ces enjeux en explorant les implications environnementales et sanitaires de l'industrialisation du ciment en Algérie, tout en mettant en lumière les défis de gestion et de régulation auxquels sont confrontées les cimenteries comme la SCIBS.

Cette partie de notre activité couvre toutes les étapes nécessaires, allant de la préparation des matières premières, à leur transformation en produits finis, répondant ainsi aux exigences du marché.

III.2. Présentation de l'entreprise :

Société des Ciments de Béni-Saf (SCIBS) :

Filiale du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA), est spécialisée dans la fabrication et la vente de ciment. Située à l'entrée de la ville de Béni-Saf, dans la wilaya d'Aïn Témouchent, en Algérie, la cimenterie se trouve au nord-ouest de la commune, à environ 5 kilomètres à l'est du port, à une altitude de 185 mètres. La superficie totale de l'établissement couvre 40 hectares, offrant ainsi une large zone pour ses opérations industrielles et logistiques.



(SCIBS) ; Société des ciments de Béni-Saf, relevant du Groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA).

III.3. Historique de la cimenterie de Beni-Saf :

La société a été confiée en décembre 1974 à une société française à CREUSOT LOIRE entreprise. Et le lancement en production de clinker, destinée essentiellement à la fabrication du CPAZ (aujourd'hui CPJ 45) ou encore un autre type de ciment prévu, la prise de mer.

Elle s'appelait alors société nationale des matériaux de construction SNMC, elle était sous la direction générale de l'entreprise mère située à Alger.

Entrée en production en novembre 1978. Le 1er sac de ciment est sorti le 03 février 1979.

Après la restriction des entreprises en 1982 la SNMC a été restructurée en quatre entreprises régionales appelées Entreprises des Ciments et dérivés :

- ✓ ERCE (entreprise de ciment et dérivées est)
- ✓ ERCC (entreprise de ciment et dérivées centre)
- ✓ ERCO (entreprise de ciment et dérivées ouest)
- ✓ ECDE (entreprise de Ciment et dérivées d'EChlef)

Qui ont subi à leur tour plusieurs transformations juridiques : en SPA en 1989 puis en GROUPE Industriel et Commercial (GIC) en 1997.

Le 28 décembre 1997 L'ERCO a été filialisé en quatre sociétés productives autonomes et service de distribution :

- ✓ SCIZ : société des ciments ZAHANA.
- ✓ SCIS : société des ciments SAIDA.
- ✓ SCIBS : société des ciments BENI SAF.
- ✓ SODMaC : société des distributions des matériaux de construction ORAN.

En 18 juillet 2005, l'unité a signé un contrat de partenariat de 10 ans avec un groupe saoudien « Pharaon » qui a entamé avec 10% d'action et atteindra les 35%, qui a expiré le mois de juillet 2019.

Actuellement l'effectif total est de 410 employés ; la production annuelle dépasse un million de tonnes de clinker et 1 200 000 tonnes de ciment.

III.4. Processus de fabrication de ciment :

Pour évaluer les risques associés à la fabrication du ciment, il est essentiel de comprendre le fonctionnement détaillé du système. Le processus de production du ciment est complexe et se compose de plusieurs étapes interdépendantes. Ce processus peut varier en fonction des matières premières employées et des technologies spécifiques utilisées par l'usine. Toutefois, les grandes étapes typiques du processus de fabrication du ciment comprennent généralement la préparation des matières premières, le broyage et le mélange, la cuisson dans le four rotatif, et enfin, le broyage du clinker pour obtenir le ciment fini. Chaque étape joue un rôle crucial dans la production et peut présenter des risques spécifiques qui nécessitent une

attention particulière pour assurer la sécurité et l'efficacité de l'ensemble du système de fabrication.

III.4.1. Extraction :

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage aux bulldozers. La roche est reprise par dumpers vers un atelier de concassage.



Figure III: 1 Carrière d'extraction d'argile et de calcaire

III.4.2. Concassage :

Les matières sont concassées en carrière (1800m environ du site de l'usine).

Le concasseur a pour rôle de ramener les matières premières à des dimensions admissibles pour le broyeur. Le concasseur est traité de 1200 T/H d'un mélange cru égale 81% de calcaire et 14% d'argile et de réduire à une granulométrie finale de 0 à 25 mm.



Figure III: 2 Concassage des matières premières au niveau de la carrière.

III.4.3. Préparation du cru :

Le mélange, acheminé à l'usine par transporteur couvert, est stocké dans un hall de pré

- Homogénéisation qui compte deux tas, l'un en constitution, l'autre en reprise.



Figure III: 3 Hall de pré-homogénéisation.

III.4.4. Broyage du cru :

Le broyage et le séchage du cru sont réalisés à un débit de 270 t/h dans un broyeur à sortie centrale de 5m de diamètre et de 13.9 m de longueur, avec un compartiment de séchage et deux compartiments de broyage.

À la sortie du hall de pré-homogénéisation, le mélange est très finement broyé dans des broyeurs sécheurs, qui éliminent l'humidité résiduelle et permettent d'obtenir une poudre qui présente la finesse requise. Cette poudre, appelé le « cru », est une nouvelle fois homogénéisée par fluidisation. Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par apport de bauxite, d'oxyde de fer ou d'autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.



Figure III: 4 Broyeur cru

III.4.5. Séparation :

Cette phase consiste, suivant le type de séparateur utilisé, à envoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées et à récupérer les particules fines contenues dans les gaz.

III.4.6. Homogénéisation :

La farine crue est homogénéisée en continu dans des silos, à a cône central de mélange, d'une capacité unitaire de 1000t. Pour accroître l'efficacité de l'homogénéisation, ces silos sont alimentés et soutirés simultanément.

III.4.7. Zone de cuisson :

La ligne de cuisson est constituée par : - Deux préchauffeurs à 4 étages

- Un four rotatif - Un refroidisseur

➤ Préchauffeur ou cyclones :

Par ligne de préchauffeur de haut en bas :

- Cyclones dépoussiéreurs (KHD) Ø 3800 mm
- Cyclones 2, 3, 4de Ø 6500 mm

Les gaz réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz

carbonique (CO₂) et son eau. C'est un échangeur à contrecourant destiné à préchauffer la farine avant son entrée dans le four, en récupérant la chaleur des gaz sortant du four environ égal à 100°C, par le fait que l'argile et le calcaire ont la même densité (2,70 g/cm³), un exhausteur monté sur les cyclones aspire les gaz de combustions et le mélange carrière, faisant une tornade qui garantit que tous les grains de la crue subissent la chaleur des gazes.



Figure III: 5 Préchauffeurs

➤ Four rotatif :

Le four constitué par une virole cylindrique de 90m de long et de 5.6m de diamètre protégé par de la brique réfractaire, incliné selon un angle de 1 à 4 degrés par rapport à l'horizontale. Le calcaire est chargé à l'extrémité supérieure, le combustible et l'air comburant étant brûlé à l'extrémité inférieure.

L'entraînement du four est assuré par un moteur à vitesse variable de 5 00Kw.

Le tirage des gaz de four est réalisé par deux ventilateurs de 1 200 KW.



Figure III: 6 Four rotatif

Refroidisseur :

Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température de la matière tombant du four à une température d'environ 1135°C jusqu'à 80-100°C. Ce qui permet de lui donner la structure cristallographique optimale.

On obtient ainsi des grains solides à 100 °C : c'est le clinker, qui est transporté vers d'énormes silos de stockage.

Le clinker se présente sous la forme de granules d'environ 2 cm de diamètre.

III.4.8. Stockage du clinker :

La manutention du clinker est réalisée par des transporteurs métalliques vers les deux stocks

Principaux de capacité unitaire de 30000 t. Et un troisième stock de 3000t est réservé pour les incuits.

L'extraction de clinker est assurée par des extracteurs vibrants.



Figure III: 7: Stocks

III.4.9. Broyage clinker :

Le clinker se présente alors sous forme de bloc qui doit être broyé. Du gypse et des constituants secondaires (calcaire, laitiers des hauts fourneaux, pouzzolanes) peuvent être ajoutés pour donner au ciment des propriétés spécifiques. Il est ensuite broyé en poudre fine d'une granulométrie inférieure à 80 μm à l'aide d'un broyeur à boulets.



Figure III: 8: Broyeur de clinker

III.4.10. Stockage, ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché (sac de 50 kg) soit expédié en vrac.

L'ensachage, qui dans les pays industrialisés ne représente qu'environ 30% de la production de ciment, s'effectue dans des sacs en papier kraft à l'aide de machines capables de remplir de 2000 à 4000 sacs par heure.

La livraison en vrac est assurée par camions citernes, wagons ou péniches.



Figure III: 9: Expédition

III.4.11. Contrôle de la qualité :

➤ Laboratoire :

Tout au long du processus de fabrication du ciment, un contrôle rigoureux est assuré à chaque étape de la chaîne de production par le laboratoire de l'usine. Ce laboratoire effectue des analyses précises de la composition chimique et des propriétés physiques des matières premières, des intermédiaires et des produits finis. Les tests incluent la mesure de la granulométrie, l'analyse de la composition minérale, ainsi que la vérification des caractéristiques du clinker et du ciment comme la résistance à la compression et la stabilité. Les résultats de ces analyses sont cruciaux pour garantir que les produits respectent les normes de qualité et les spécifications requises, permettant ainsi de détecter et de corriger toute anomalie ou variation qui pourrait affecter la qualité finale du ciment.

➤ Salle de contrôle :

La salle de contrôle constitue le cœur opérationnel de l'usine, où les pilotes supervisent et régulent l'ensemble du processus de production. Depuis leurs écrans de contrôle, ils ont accès en temps réel à toutes les données et informations nécessaires au bon fonctionnement de la chaîne de production. Cette salle est équipée de systèmes informatiques avancés qui affichent des paramètres clés tels que les températures des fours, les débits des matières premières, et les niveaux de production. Les opérateurs utilisent ces informations pour ajuster les paramètres de fonctionnement, coordonner les différentes étapes de production et assurer une réponse rapide aux anomalies ou aux variations du processus. La salle de contrôle joue donc un rôle essentiel dans la gestion efficace et sécurisée de l'usine.

➤ Aspect sécuritaire :

L'aspect sécuritaire est une priorité essentielle dans le processus de fabrication du ciment, englobant diverses mesures et protocoles destinés à protéger les travailleurs et à prévenir les incidents.

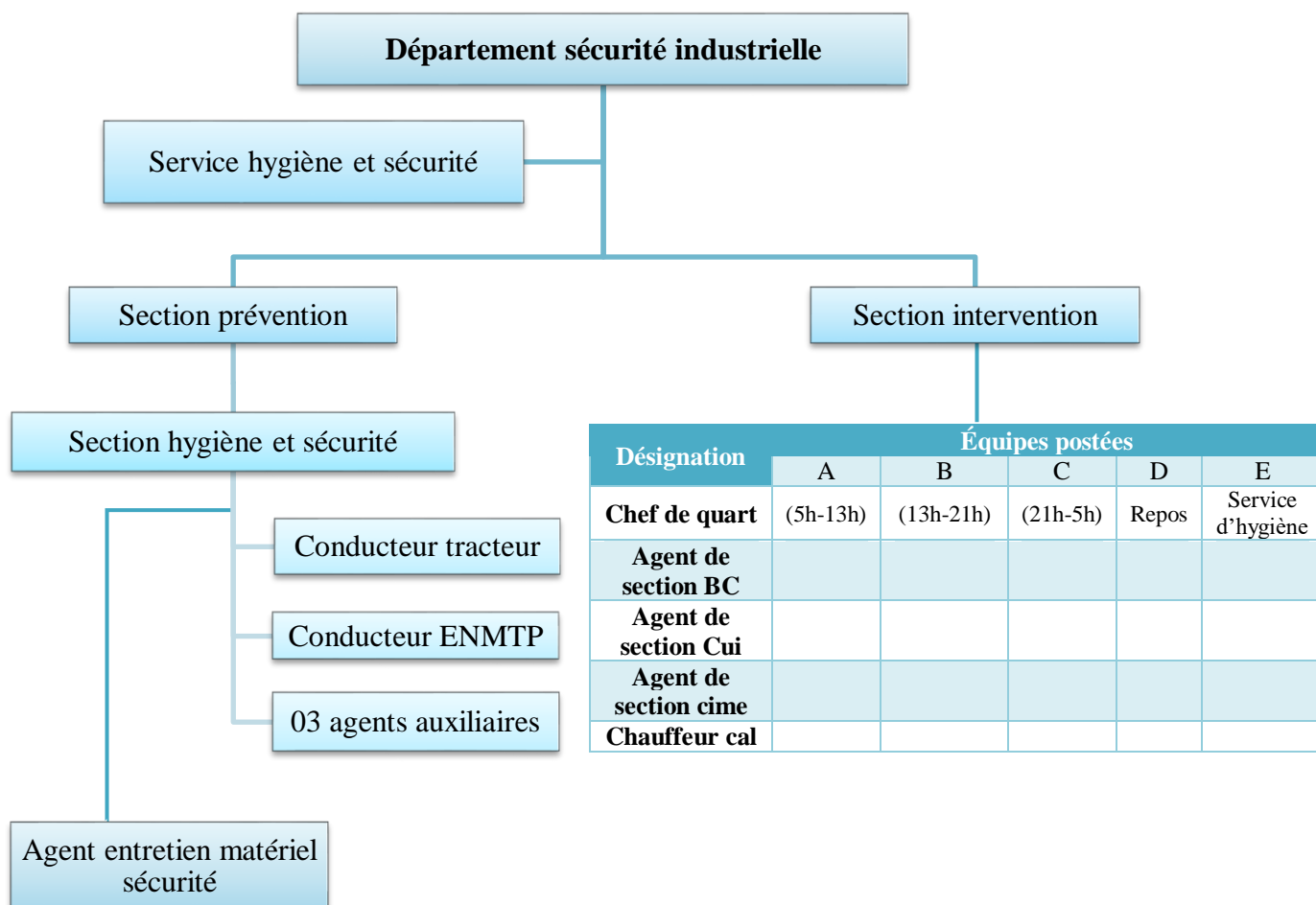


Figure III:10 Organigramme de l'aspect sécuritaire

III.5. Risques liés aux différentes zones de secteurs :

III.5.1. Risques liés à la zone de carrière :

Carrière d'extraction et de traitement des matières premières (1800m environ du site de l'usine) c'est une excavation à ciel ouvert où l'on extrait par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique, les travailleurs peuvent être susceptibles à risques de blessures causées par :

- Bruit intense, prélèvement :
 - 90 dB au niveau du chargement et déchargement du calcaire et argile (camions et dumper et chargeur)
 - 92 dB au niveau de concasseur
- La chute de plain-pied ou chute d' hauteur d'un objet ou d'une roche,
- Piste dégradée :
 - Conducteurs d'engins exposés à des vibrations et secousses transmis à l'ensemble du corps par le siège des engins dumper et chargeur.
 - Renverser un camion ou un bulldozer ou un dumper,
- Présence de risque d'heure et écrasement des travailleurs par les engins (dumper et chargeur) au moment du chargement et déchargement,
- Dégagement de la poussière au niveau de concasseur,

III.5.2. Risques liés à la zone de production de clinker :

C'est la zone dans laquelle l'opération de production de clinker, contenant les équipements de pré-homogénéisation ; Broyeur cru ; broyeur de clinker ; la zone de cuisson qu'est constituée par : (Un préchauffeur, Un four rotatif, Un refroidisseur),

Qui sont implantés en ligne. Elle concerne les équipements lourds et les moteurs, il comporte beaucoup de risques tels que :

- Il y a possibilité de risque de nuisance puisque le fonctionnement des équipements peut générer du bruit, ce qui peut être préjudiciable à la santé auditive des travailleurs s'ils ne portent pas les équipements de protection appropriés ou ils y sont exposés depuis longtemps. Et elle peut générer des vibrations ce qui peut engendrer de l'inconfort, une fatigue musculaire.

- Au niveau des bâtiments de ces installations ; il y a un manque de garde-corps et une passerelle dans un état défectueux présentant un risque de chute.
- Il y a un dégagement de la matière et pour cela les travailleurs peuvent être exposés à la poussière de ciment, qui peut causer des problèmes respiratoires et des irritations de la peau.
- Les risques constatés lors de la circulation de ces engins sont relatifs à l'absence de plan de circulation sur le site. De plus le passage emprunté par certains engins dans la zone des broyeurs est étroit et les conducteurs ne portent pas systématiquement d'équipement de protection,
- Risques liés à la manutention manuelle, tels que :
 - Manutention et manipulation du matériel avec des mauvaises postures du dos (blessures diverses, manque d'outils adéquats, lombalgie).
 - Le processus de fabrication des produits exige des travaux à la chaîne et des gestes répétitifs à certains postes ou l'adoption de mauvaises postures.
 - Les activités de tournage et de soudures peuvent à l'origine des blessures dues à une mauvaise posture,
- Risques thermiques : sont liés au travail à proximité des portes et des plates-formes des fours qui génèrent une chaleur (de l'ordre de 1450°C) rayonnante due à l'énergie des rayons infrarouges qui peut causer des céphalées, une Hypersudation, une tachycardie, une hypotension.
- Le risque mécanique peut être dû aux éléments de transmission (chaines, courroies, engrenages), aux éléments mobiles concourant au travail (un mandrin et son outil), à la mobilité des équipements (engins de terrassement), au levage de charges (grues)...
- Risque d'explosion du gaz qui alimente le bruleur du four.

III.5.3. Risques au niveau des silos de stocks :

(Soit stockage au clinker ou au niveau de l'expédition)

Il y a trois stocks pour le clinker (2 pour le bien clinker et un pour le mauvais); et six autres grands à la zone de l'expédition pour la matière final (ciment),

- L'endroit de stockage dans l'usine c'est une piste poussiéreuse et non sécurisée.

- Espace de stockage non adéquat.
- Les déchets sont stockés dans un endroit non approprié.
- Présence de risque d'heure et écrasement des travailleurs par les engins (dumper et chargeur) au moment du chargement et déchargement,
- Les procédés de nettoyage ne sont pas normalisés, ce qui conduit au bouchage des caniveaux.

III.5.4. Risques au niveau des postes électriques :

Il y a des postes électriques à proximité de chaque équipements (les deux broyeurs, préchauffeur, refroidisseur) utilisés dans l'unité de production de clinker présentent des risques, tels que :

- Risque d'électrocution à cause de :
 - Câble électrique à haute tensions défectueux (présence de raccordement non conforme).
 - Installation électrique en mauvais état.
 - Par de fermeture réglementaire pour l'armoire électrique (poussière pouvant provoquer un coup de circuit incendie).
 - Les moteurs sans des cages de protection.
- Risque de chute de plain-pied : liés aux travaux en espace confiné, aux travaux dans le tunnel à cause de manque de ventilation dans les postes électriques qui peuvent causer un problème respiratoire pour les travailleurs
- Risque d'incendie peut être causé par :
 - Des coups circuit (poussière pouvant provoquer un coup de circuit incendie).
 - La non-conformité de l'installation électrique
- Manque des équipements de protection collective comme les panoplies de sauvetage dans le tunnel ou les postes d'électriques.
- Nombre insuffisant des extincteurs.

III.5.5. Risques au niveau du laboratoire :

Les produits chimiques sont largement utilisés dans les industries cimentières (laboratoires). Selon les substances et s'ils ne sont pas manipulés et utilisés correctement ils peuvent être nocifs pour la santé et provoquer des accidents plus ou moins grave :

- Affections cutanées, brûlures, troubles de la conscience, agitations, etc... Ils peuvent également atteindre de nombreux organes vitaux et provoquer des cancers.
- Les produits chimiques inflammables, combustibles ou instables peuvent aussi être à l'origine d'incendies et d'explosions. Le mélange de certains agents chimiques peut également entraîner des réactions chimiques dangereuses.
- Laborantins exposés au gaz toxique dégagés par les réactions chimiques réalisées (Manque de hautes appropriées).
- Manque de ventilation électrique pour le changement d'aire
- Poste de travail non conforme : (Labo n'est pas aménagé ; chaise de travail non ergonomique ;

III.6. Conclusion :

Pour conclure ce chapitre sur les risques professionnels liés à l'industrie du ciment, il est essentiel de souligner l'importance d'une gestion rigoureuse et proactive des dangers identifiés. L'étude a mis en évidence les risques majeurs présents tout au long du processus de fabrication, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au stockage final du ciment. Ces risques incluent les dangers liés à la poussière, au bruit, aux vibrations, aux équipements lourds, aux produits chimiques, et à l'électricité.

La santé et la sécurité des travailleurs doivent rester une priorité pour les entreprises, en mettant en place des mesures de prévention adaptées, telles que l'utilisation d'équipements de protection individuelle, la mise en place de plans de circulation pour les engins, et l'entretien régulier des installations électriques. De plus, des formations continues sur les bonnes pratiques de sécurité et les procédures d'intervention en cas d'urgence s'avèrent cruciales.

Enfin, l'industrie du ciment doit également intégrer des stratégies visant à minimiser l'impact environnemental de ses opérations, contribuant ainsi à une

Chapitre III : Présentation de l'Entreprise et Les risques professionnels connexes

production plus durable. Une approche intégrée de la gestion des risques professionnels garantira non seulement la sécurité des employés, mais aussi la pérennité des opérations industrielles.

Chapitre IV

La réalisation du modèle bayésien

Chapitre IV : Réalisation du modèle bayésien

IV.1. Introduction :

La gestion des risques liés aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) représente un enjeu majeur dans la prévention des accidents industriels et la protection de la santé humaine et de l'environnement. Dans ce contexte, une distinction cruciale s'impose entre les risques dits "tolérables" et "acceptables". Tandis que les risques acceptables correspondent à ceux qui, après évaluation, sont jugés suffisamment faibles pour être considérés comme négligeables, les risques tolérables se situent dans une zone intermédiaire où ils nécessitent des mesures de contrôle strictes pour être maîtrisés. Ce chapitre explore en profondeur cette distinction et met en lumière les critères utilisés pour évaluer ces niveaux de risque dans le cadre des ICPE, tout en s'appuyant sur les réglementations et les pratiques couramment appliquées.

IV.2. Risques Tolérables et Acceptables :

Il est courant de définir un risque acceptable ou tolérable à l'aide de critères quantitatifs d'évaluation, notamment en se basant sur la probabilité de défaillance ou l'indice de fiabilité, particulièrement en ce qui concerne la sécurité et la sûreté des structures.

Ces indicateurs permettent de quantifier le niveau de risque associé à un système ou une installation, facilitant ainsi la prise de décision en matière de gestion des risques.

Définitions :

Risques Acceptables :

Les risques acceptables sont des risques considérés comme suffisamment faibles après une évaluation rigoureuse, au point de ne nécessiter aucune action corrective supplémentaire. Ils sont jugés compatibles avec les critères de sécurité et de sûreté en vigueur, notamment lorsqu'il s'agit de la probabilité de défaillance ou de l'indice de fiabilité des structures. Ce type de risque est généralement accepté par la société ou l'organisation en raison de son faible impact potentiel.

En général, ces risques répondent à des critères quantitatifs rigoureux, tels que des probabilités de défaillance extrêmement faibles ou des indices de fiabilité élevés, particulièrement dans le cadre de la sécurité et de la sûreté des structures.

Risques Tolérables :

Les risques tolérables se situent dans une zone intermédiaire où le risque n'est pas totalement négligeable, mais où il peut être géré à condition de mettre en place des mesures de contrôle spécifiques. Ces risques sont considérés comme acceptables à court terme ou sous certaines conditions, notamment lorsqu'il est difficile ou coûteux de les éliminer complètement. Ils nécessitent cependant une surveillance continue et des mesures d'atténuation pour s'assurer qu'ils restent sous contrôle et ne dépassent pas des seuils critiques définis par des critères de probabilité de défaillance ou d'indice de fiabilité.

Selon ces définitions, le risque acceptable constitue un sous-ensemble du risque tolérable. Les deux concepts impliquent la décision d'admettre qu'un risque est suffisamment « faible » ou « maîtrisé » dans une situation donnée, en tenant compte des lois, des valeurs, de la culture et du contexte de l'environnement ou de la société dans laquelle on se trouve.

IV.3. Présentation AgenaRisk :

AgenaRisk est un outil visuel, facile à utiliser, intuitif et puissant pour modéliser le risque et pour faire des prédictions au sujet d'événements incertains en se basant sur le théorème de Bayes.

IV.3.1. Historique d'AgenaRisk :

AgenaRisk a été développé par Agena, une société spécialisée dans les solutions de gestion des risques et les outils d'analyse probabiliste. Depuis sa création, AgenaRisk a évolué pour intégrer des fonctionnalités avancées de modélisation et d'analyse des risques, s'appuyant sur des techniques de pointe en statistiques et en intelligence artificielle. Le logiciel a été adopté par divers secteurs, notamment l'industrie, la finance et les services publics, pour améliorer la prise de décision en matière de gestion des risques. AgenaRisk continue de se développer, avec des mises

à jour régulières pour intégrer les dernières avancées en modélisation et en simulation de risques.

IV.3.2. Définition d'AgenaRisk :

AgenaRisk est un logiciel de gestion des risques basé sur les réseaux bayésiens et les modèles probabilistes. Il est conçu pour aider les organisations à modéliser, évaluer et gérer les risques en fournissant des outils avancés pour l'analyse probabiliste et la simulation de scénarios. AgenaRisk permet aux utilisateurs de construire des réseaux bayésiens, de définir des relations causales entre variables, et d'évaluer les impacts des risques à travers des simulations et des analyses détaillées.

IV.3.3. Objectif d'utilisation :

Il permet de collecter des données liées aux risques et incidents, de modéliser ces informations à l'aide de réseaux bayésiens en définissant des variables et leurs relations causales, puis d'estimer les probabilités associées.

Cela permet aux décideurs de mieux comprendre les risques, de prioriser les mesures et d'améliorer la gestion des risques.

IV.3.4. Mode d'utilisation d'AgenaRisk :

AgenaRisk est une nouvelle variation de la méthode bayésienne. C'est un logiciel intuitif où la réalisation du réseau ne nécessite pas une connaissance approfondie de la théorie bayésienne. Les utilisateurs d'AgenaRisk devront juste être capables de construire le réseau bayésien selon les normes du logiciel.

Le réseau bayésien est composé des nœuds qui représentent les paramètres des statistiques ou des expériences, et des liaisons qui représentent la relation entre ces paramètres.

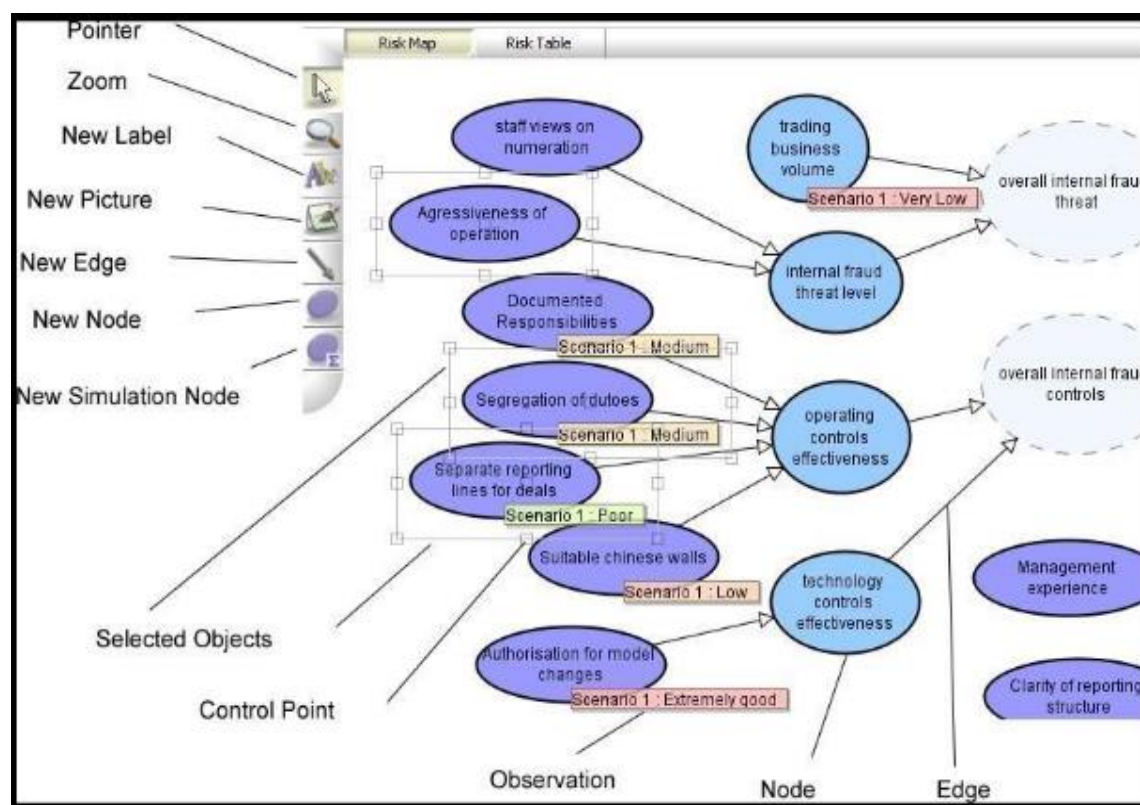


Figure IV. 1: Exemple d'un réseau bayésien sur AgenaRisk

➤ Propriétés des nœuds

Les nœuds doivent être identifiés par :

- Le nom de paramètre étudié
- Le titre unique d'identification
- Le type de nœud
- Les composants du nœud
- La table de probabilité

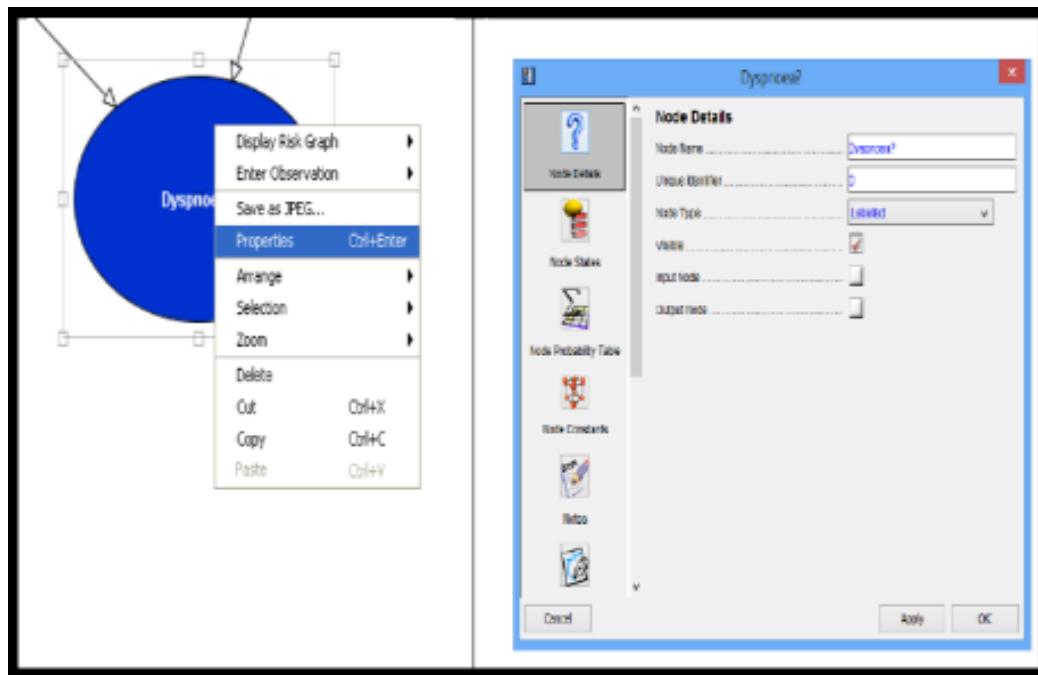


Figure IV. 2: L'accès aux propriétés des nœuds sur AgenaRisk

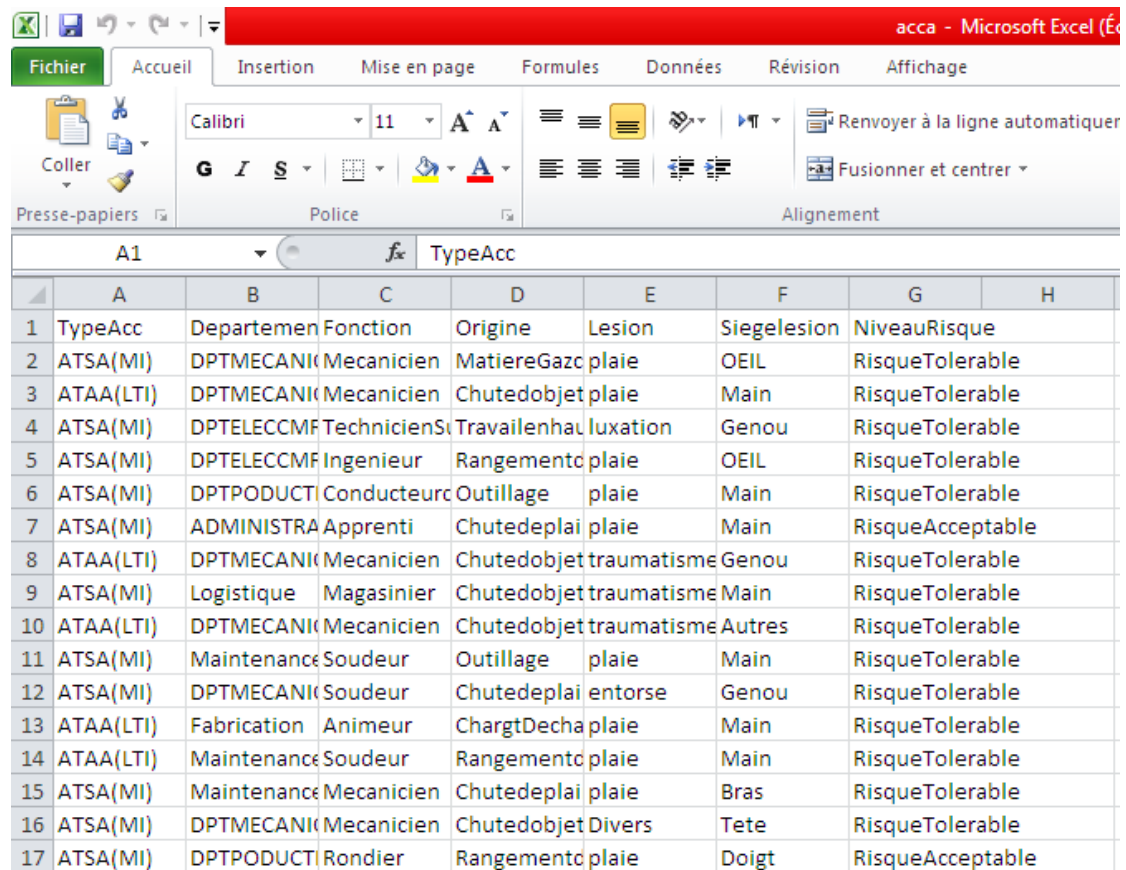
Grâce à des simulations, AgenaRisk aide à analyser différents scénarios de risque et visualiser les résultats sous forme de graphiques et tableaux.

Dans le cas où le réseau bayésien a plusieurs nœuds, le remplissage manuel et les calculs des tables de probabilité seront trop fastidieux.

AgenaRisk nous permet de remplir et de calculer automatiquement les tables de probabilité à partir d'un fichier Excel à condition que :

- Le titre unique d'identification sera identique avec le titre des colonnes sur Excel
- Les composants du nœud seront identiques avec les données du paramètre sur Excel
- L'extension du fichier Excel soit CSV (point-virgule)

Chapitre IV : La réalisation du modèle bayésien



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TypeAcc	Departemen	Fonction	Origine	Lesion	Siegelesion	NiveauRisque	
2	ATSA(MI)	DPTMECANIC	Mecanicien	MatiereGazc	plaie	OEIL	RisqueTolerable	
3	ATAA(LTI)	DPTMECANIC	Mecanicien	Chutedobjet	plaie	Main	RisqueTolerable	
4	ATSA(MI)	DPTTECCMF	Techniciens	Travailenhau	luxation	Genou	RisqueTolerable	
5	ATSA(MI)	DPTTECCMF	Ingenieur	Rangementc	plaie	OEIL	RisqueTolerable	
6	ATSA(MI)	DPTPRODUCT	Conducteurc	Outillage	plaie	Main	RisqueTolerable	
7	ATSA(MI)	ADMINISTRA	Apprenti	Chutedelai	plaie	Main	RisqueAcceptable	
8	ATAA(LTI)	DPTMECANIC	Mecanicien	Chutedobjet	traumatisme	Genou	RisqueTolerable	
9	ATSA(MI)	Logistique	Magasinier	Chutedobjet	traumatisme	Main	RisqueTolerable	
10	ATAA(LTI)	DPTMECANIC	Mecanicien	Chutedobjet	traumatisme	Autres	RisqueTolerable	
11	ATSA(MI)	Maintenance	Soudeur	Outillage	plaie	Main	RisqueTolerable	
12	ATSA(MI)	DPTMECANIC	Soudeur	Chutedelai	entorse	Genou	RisqueTolerable	
13	ATAA(LTI)	Fabrication	Animeur	ChargtDecha	plaie	Main	RisqueTolerable	
14	ATAA(LTI)	Maintenance	Soudeur	Rangementc	plaie	Main	RisqueTolerable	
15	ATSA(MI)	Maintenance	Mecanicien	Chutedelai	plaie	Bras	RisqueTolerable	
16	ATSA(MI)	DPTMECANIC	Mecanicien	Chutedobjet	Divers	Tete	RisqueTolerable	
17	ATSA(MI)	DPTPRODUCT	Rondier	Rangementc	plaie	Doigt	RisqueAcceptable	

Figure IV. 3: Fichier CSV des données des accidents professionnel dans scibs

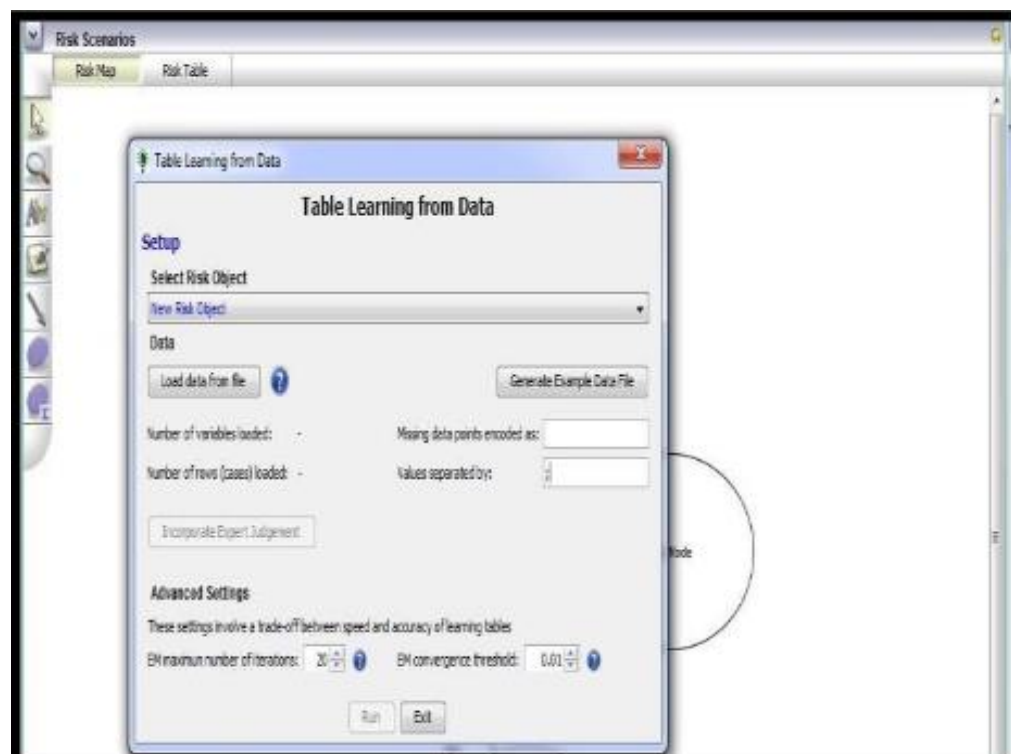


Figure IV. 4: Importation d'un fichier Excel sur AgenaRisk

IV.4. Analyse de tableau :

L'analyse des accidents industriels constitue un volet essentiel dans l'amélioration continue de la sécurité des installations. En 2023, le site SCIBS a recensé un certain nombre d'accidents dont l'analyse approfondie peut offrir des enseignements précieux sur les vulnérabilités et les mesures correctives à mettre en place.

Le tableau suivant présente l'historique des accidents survenus en 2023 à SCIBS, en détaillant les informations suivantes : Numéro, Date de l'événement, Type d'accident, Âge, Département, Fonction, Origine, Type de lésion, Siège de la lésion, et Niveau de risque. Cette classification permet une analyse approfondie des causes, des conséquences et des facteurs de risque associés, facilitant ainsi l'identification des relations causales et l'évaluation probabiliste du risque.

Afin d'évaluer et de modéliser les risques de manière plus précise, le logiciel AgenaRisk a été utilisé pour construire un réseau bayésien basé sur les données collectées.

IV.4.1. Présentation du réseau :

Le but de notre étude est l'analyse des Risques Tolérables et Acceptables en approche quantitative à travers une base de données des accidents de travail.

- Le réseau est composé de 7 nœuds repartis autour de l'évènement principale qui est :

« **Niveau Risque** » :

Nous avons 6 nœuds en amont qui décrivent les conditions de notre nœud principal Pour les données en amont :

- Type d'accident
- Département
- Fonction
- Origine
- Type de lésion
- Siège lésion

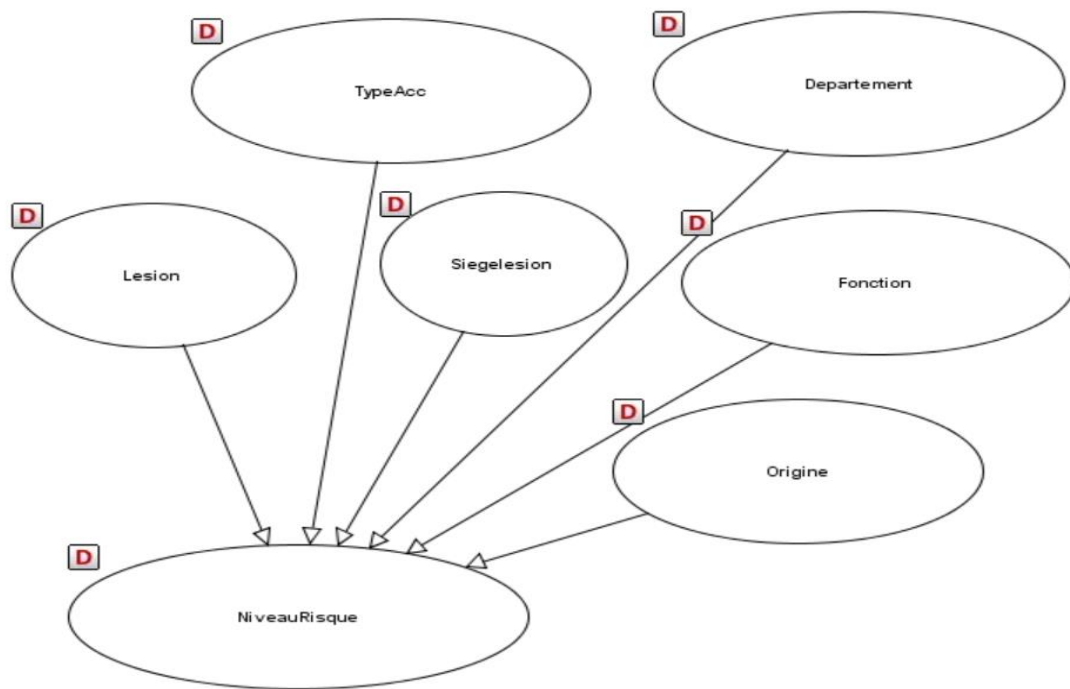


Figure IV. 5: Réseau bayésien présenté sur AgenaRisk

IV.5. Analyse de réseau :

Après avoir lancé l'apprentissage des données enregistrées dans un fichier Excel CSV

Voilà les probabilités affichées sur chaque nœud (figure IV.14 : Réseau bayésien) :

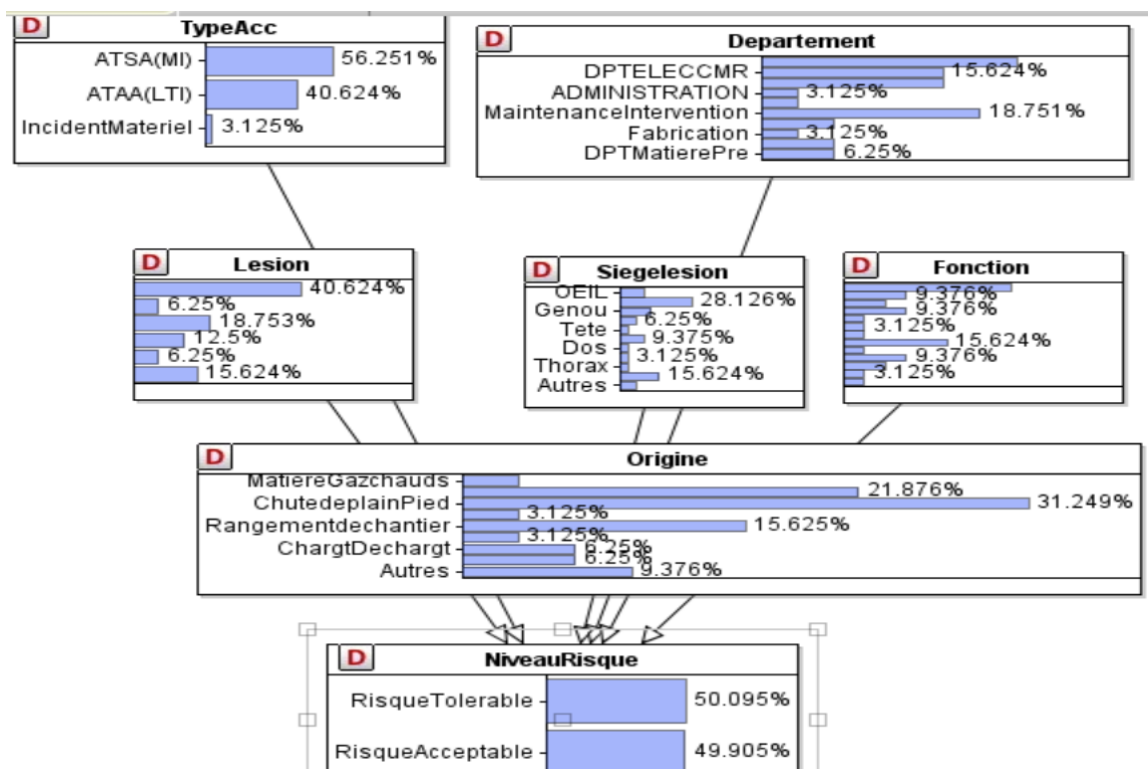


Figure IV. 6: Résultat du Réseau bayésien

D'après ce graphe, quelques des notes peuvent être faites en chaque factures :

1. Type d'accident : Les accidents de travail sans arrêt temporaire (ATSA) représentent la majorité des incidents avec 56,25%, suivis par les accidents avec arrêt de longue durée (ATAA) à 40,62%. Les incidents matériels sont rares, ne représentant que 3,12%.
2. Département : Le département de la maintenance et de l'intervention est le plus touché par les accidents, représentant 18,75% des cas, suivi par ELEC-CMR (15,62%) et le département de Matière première (6,25%).
3. Lésion : La majorité des accidents auxquels les travailleurs sont exposés sont des plaies (40,62%), suivis par des traumatismes à (18,75%) et des diverses lésions (15,62%).
4. Siège de la lésion : Le genou est le membre le plus souvent touchée avec pourcentage de (28,13%) des cas, suivis par des autres Siège de la lésion à (18,75%) puis le dos et la tête à pourcentage de (9,37%) et (6,25%).
5. Origine des accidents : Les chutes de plain-pied et les incidents liés aux matières gaz chaudes sont les causes principales des accidents, représentant respectivement 31,25% et 21,87% des incidents, puis ils arrivent le rangement de chantier et des autres origines et les taches de charges et décharges
6. Niveau de risque : On note qu'il y a Une légère disparité entre risque tolérables et acceptables. Les risques sont répartis presque également entre les risques acceptables (49,9%) et les risques tolérables (50,09%).
 - Légère disparité entre risques tolérables et acceptables : Le fait que les risques acceptables représentent 49,9 % et les risques tolérables 50,09 % indique une situation où les risques sont globalement sous contrôle, mais avec une marge de sécurité très faible.
 - La différence minime montre que la plupart des risques sont jugés presque acceptables, ce qui signifie que l'entreprise est proche de son seuil de tolérance aux risques.

Nous pouvons créer des scénarios pour analyser certains cas particuliers :

IV.5.1. Premiers scénarios : Pour les risques Acceptables :

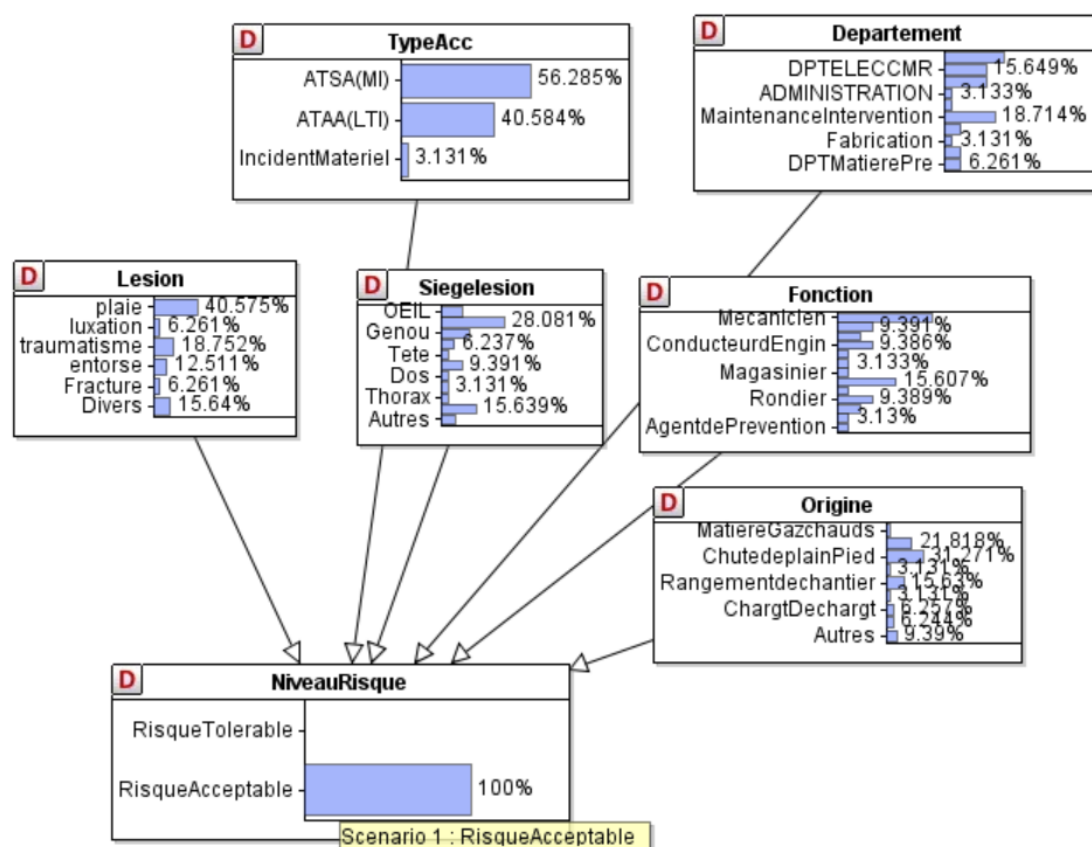


Figure IV. 7: Application de premiers scénarios « risque acceptable » sur le réseau bayésien

Lorsque nous avons fixé le ratio de risque acceptable à 100 %, nous avons observé que les autres ratios de facteurs restaient relativement stables, ce qui suggère une convergence entre les risques tolérables et acceptables. Cela indique que les risques tolérables tendent à être perçus comme acceptables, et que les risques étudiés sont de gravité modérée, ou que l'entreprise gère efficacement ces risques. Ce constat souligne une adéquation entre la gestion des risques et la capacité de l'entreprise à s'adapter à ces situations, limitant ainsi l'impact sur les opérations.

IV.5.2. Deuxième scénario :

Pour les cas d'accidents des mécaniciens avec traumatismes :

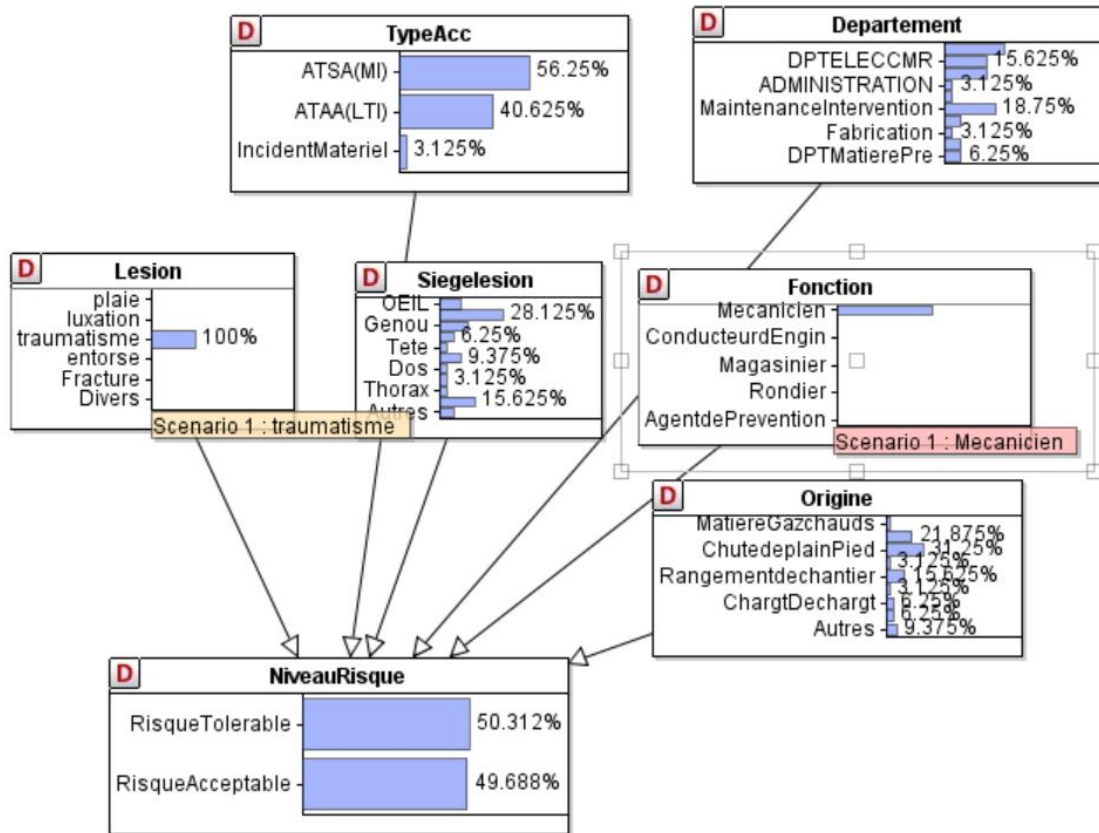


Figure IV. 8: Application de Deuxième scénarios sur le réseau bayésien

En effet, nous avons remarqué que les mécaniciens sont les plus touchés par les accidents, de ce fait nous avons essayé de comprendre dans quelles circonstances se produisent ces accidents.

En appliquant le scénario qui suppose que les accidents sont survenus à des mécaniciens et la lésion est le traumatisme à coup sûr pour analyser les répercussions

Selon le graphe obtenu, le risque tolérable augmente et que le risque acceptable diminue par rapport au graphe initial. Cela indique un déplacement de la balance des risques vers une situation moins favorable. Le risque dans ce scénario est presque à la limite de l'acceptabilité, suggérant qu'une gestion rigoureuse des risques est nécessaire pour éviter que les lésions ne dépassent le seuil tolérable.

IV.5.3 Recommandations :

Suite à cette analyse et d'après que nous avons remarqué, nous pouvons proposer les recommandations suivantes :

- Former, sensibiliser et informer les travailleurs ;
- Respecter les mesures de prévention et de sécurité ;
- Respecter le temps légal du travail ;
- Convaincre les travailleurs de l'obligation du respect des règlements intérieurs de l'entreprise (permis de travail)
- La porte des équipements de protection individuelle et la mise en place des protection collectives.

IV.6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté Agena Risque afin de réaliser le modèle bayésien des conséquences possibles des accidents de travail survenues au sein de l'entreprise de production du ciment.

Ce réseau bayésien nous à permit d'appliquer des simulations de quelques scénarios afin de mieux distinguer le risque acceptable du risque tolérable et pour comprendre l'origine de certaines évènements redoutés notamment les conséquences d'accident de travail.

Bien que les risques acceptables et tolérables soient tous deux liés à la gestion des risques, ils se distinguent par leur niveau d'acceptation et les mesures associées. Les risques acceptables sont jugés suffisamment faibles pour ne nécessiter aucune intervention supplémentaire, tandis que les risques tolérables, bien qu'ils puissent être maîtrisés, nécessitent des mesures de contrôle spécifiques et une surveillance continue.

Cette répartition presque égale suggère qu'il y a une bonne gestion des risques, mais que l'entreprise doit rester vigilante. Une augmentation du risque dans certains domaines pourrait rapidement faire basculer le niveau de risque au-delà du seuil tolérable.

Chapitre IV : La réalisation du modèle bayésien

La gestion efficace des installations classées repose donc sur l'identification précise de ces deux catégories et l'application de mesures adaptées pour minimiser les impacts sur la sécurité et l'environnement.

Cette analyse nous a permis de proposer quelques recommandations afin de réduire ces risques.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'étude réalisée dans ce mémoire porte essentiellement sur le théorème de Bayes pour pouvoir estimer la probabilité a posteriori de l'occurrence d'un événement redouté.

Cette étude a été réalisée sur les statistiques des accidents de travail survenus au sein de l'entreprise de production du ciment.

A partir de ces statistiques nous avons réalisé un réseau bayésien sur AgenaRisk, composé de sept nœuds dont « Niveau du Risque » qui est l'événement principal et les autres sont des données qui décrivent les conditions dans lesquels l'accident s'est produit et les conséquences de cet accident.

D'après les résultats obtenus sur le réseau, il y a une bonne gestion des risques au sein de l'usine vu qu'il y a une différence minimale entre le risque acceptable et le risque tolérable et que celles-ci sont globalement sous contrôle.

Nous avons proposé deux scénarios qui sont les plus significatifs. Une analyse des résultats a été faite décrivant les paramètres des différents nœuds pour comprendre l'origine des risques acceptables ainsi qu'une seconde analyse pour comprendre l'origine du risque le plus redouté pour voir si celui-ci affecte plus le niveau de risque ou non. Ensuite, nous avons proposé les recommandations nécessaires afin de réduire le taux d'occurrence des accidents de travail au niveau de cette entreprise.

Les résultats de l'analyse se sont avérés satisfaisants et encourageants pour l'entreprise, lui permettant ainsi de poursuivre sur sa lancée dans la compréhension et la gestion de ses accidents professionnels. À l'issue de cette étude, plusieurs axes de travail futurs sont envisagés afin de contribuer à l'amélioration continue de la sécurité et d'assurer le bon fonctionnement des processus :

- Développer des études d'analyse des risques pour une évaluation de la sécurité plus approfondie.
- Améliorer la qualité et la précision des données en amont ainsi que l'application des méthodes analytiques afin d'obtenir des résultats d'analyse plus fiables. Cela inclut :
 - La révision des données, notamment des causes des accidents, en les détaillant davantage et en les hiérarchisant.

Conclusion générale

- Le recueil de détails plus précis sur les lieux des accidents, en identifiant l'emplacement exact où l'incident s'est produit.

- Suivre l'enquête et finaliser le rapport d'accident pour identifier avec précision la source de l'incident.

- Développer une interface conviviale permettant aux responsables sécurité de l'entreprise d'exploiter et d'alimenter l'outil de manière autonome et efficace.

Bibliographie :

- [1]. <https://fastercapital.com/fr/contenu/Analyse-quantitative-des-risques---comment-utiliser-des-methodes-et-des-outils-quantitatifs-pour-evaluer-la-probabilite-et-l-impact-des-risques.html>
- [2]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque>
- [3]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque_professionnel
- [4]. Margossian. N ; « Risques professionnels : caractéristiques ; Réglementation Prévention » 2 édition DUNOD ; 2006, 448p.
- [5]. Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information – ANSSI
<https://www.idna.fr/2022/01/13/analyses-des-risques-qualitative-ou-quantitative-ou-les-deux/>
- [6]. Document de mde Aissani
- [7]. <https://fr.surveymonkey.com/mp/etude-quantitative/>
- [8]. <https://www.scribbr.fr/methodologie/etude-qualitative/>
- [9]. <https://www.idna.fr/2022/01/13/analyses-des-risques-qualitative-ou-quantitative-ou-les-deux/>
- [10]. http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Etage_3_synthese_we_b_1.html
- [11]. <https://www.edrawsoft.com/fr/what-is-fault-tree-analysis.html#FTA,%20FMEA%20and%20RBD%20Models>
- [12]. <https://www.wolterskluwer.com/fr-be/expert-insights/error-tree-analysis>
- [13]. <https://ipco-co.com/ESMB/IEM-2015/1.pdf>
- [14]. <https://ipco-co.com/ESMB/IEM-2015/1.pdf>
- [15]. <https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gestion-de-projet/amdec>
- [16]. <https://www.lescahiersdelinnovation.com/la-methode-amdec-analyse-des-risques/>
- [17]. <https://www.blog-qhse.com/analyse-des-risques-la-methode-amdec-pour-anticiper-les-defaillances>
- [18]. <https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gestion-de-projet/amdec>
- [19]. <https://www.eiphedeix-international.fr/amdec-processus/>
- [20]. <https://blog-gestion-de-projet.com/amdec/#t-1650287009962>
- [21]. <https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm#toc-3>
- [22]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Inf%C3%A9rence_bay%C3%A9sienne
- [23]. https://fr.wikidia.org/wiki/Th%C3%A9or%C3%A8me_de_Bayes
- [24]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9or%C3%A8me_de_Bayes
- [25]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Probabilit%C3%A9_a_priori
- [26]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Probabilit%C3%A9_a_posteriori

Bibliographie

- [27]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Probabilit%C3%A9_conditionnelle
- [28]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Fonction_de_vraisemblance
- [29]. https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_Petri
- [30]. BEN MRAD. A. Observation probabilistes dans les Réseaux Bayésiens. Thèse de DOCTORAT, L'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, juin 2015
- [31]. PARENT.O, EUSTACHE.J. Les Réseaux Bayésiens A la recherche de la vérité. Thèse, Université Claude Bernard Lyon, 2007.
- [32]. Embarki. M. Etude comparative entre réseau bayésien et autre méthode de classification appliquée sur une base cardiologue. Mémoire de Master, université Tlemcen, 2012.
- [33]. <https://fr.planisware.com/ressources/contenu-editorial/1%E2%80%99analyse-du-risque-la-simulation-monte-carlo>
- [34]. <https://aws.amazon.com/fr/what-is/monte-carlo-simulation/>
- [35]. http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synt_hese_64.html
- [36]. <https://fastercapital.com/fr/sujet/avantages-et-limites-de-la-simulation-monte-carlo-dans-le-mod%C3%A8le-bgm.html>
- [37]. <https://aws.amazon.com/fr/what-is/monte-carlo-simulation/>