



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 Industrielle et Environnement

Thème :

**Analyse des risques professionnels on utilisant des
approches quantitatives**

BENKHEDDA Imane & SAFIR Farah

Présenté et soutenu publiquement par :

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. GUETARNI Hadj Mohamed Islam	MCB	IMSI/ UNI 2	Président
Mme.AISSANI Nassima	MCA	IMSI/ UNI 2	Encadreur
Mme. BENOMER Fatima	MAA	IMSI/ UNI 2	Examineur

Année 2019/2020

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le tout puissant pour tout ce que ma donnée de savoir, de volonté, de courage, de patience et de persévérance pour accomplir ce travail.

*Je tiens à remercier mon encadreur **Madame AISSANI Nassima**, de m'avoir encouragée, aidée avec ses précieux conseils durant mon cursus universitaire et pendant tout le processus de rédaction. Notamment aux membres du jury que j'ai eu la chance de les avoir comme enseignants*

Monsieur GUETARNI Hadj Mohamed Islam

*Et **Madame BENOMER Fatima** d'avoir acceptés d'examiner et juger mon travail mais surtout de partager avec moi la clôture de tout mon cursus universitaire.*

On tient également à remercier tous les personnes de l'entreprise de ferreux.

Enfin, je remercie ma famille et tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Avant tout Grâce à Allah miséricordieux tout puissant qui ma éclairer le chemin vers cette réussite et grâce à mes très chères parents qui m'ont toujours soutenu, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à eux et en particulier :

Ma mère à sacrifier sa pour mon bien être, en souhaitant de tout mon cœur le bon dieu de me le garder.

A mon père ; qui m'a toujours soutient dans le moment difficiles et pour ce sacrifice et ces encouragements que dieu le garder pour moi.

A mes chères sœurs

A mes frères

En leur souhaitant plus de réussite dans vie A mes amis Amel, Aicha, Meriem, Selma, Nassima

A mon binôme BENKHEDDA Imane A tous mes amis et collègues de cette promotion

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près afin de réaliser ce travail

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

A tous je dédie ce travail



SAFIR Farah

Dédicace

Avant tout Grâce à Allah miséricordieux tout puissant qui ma éclairer le chemin vers cette réussite et grâce à mes très chères parents qui m'ont toujours soutenu, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à eux et en particulier :

Ma mère à sacrifier sa pour mon bien être, en souhaitant de tout mon cœur le bon dieu de me le garder.

A mon père ; qui m'a toujours soutient dans le moment difficiles et pour ce sacrifice et ces encouragements que dieu le garder pour moi.

A ma sœur Hadjer à laquelle je souhaite une même prochaine réussite

A mes frères

A mon binôme SAFIR Farah A tous mes amis et collègues de cette promotion

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près afin de réaliser ce travail

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

A tous je dédie ce travail



BENKHEDDA Imane

Résumé

L'objectif principal de notre étude est l'analyse des risques professionnels en utilisant l'approche quantitative au sein de l'entreprise du traitement de ferraille qui est une entreprise spécialisée dont le recyclage des déchets métalliques et démontrer que ces approches quantitatives modernes telle l'approche bayésienne adaptés aux outils informatique de simulation qui est apte à répondre aux problèmes de modélisation les plus avancés définissant les relations entre plusieurs paramètres décrivant les situations conduisant aux risques les plus redoutés. Nous expérimentons cette approche sur un cas réel dans des données historiques sont disponibles, C'est le cas d'accidents au niveau d'une entreprise de ferraille. L'analyse a permis de décrire les scénarios les plus probables menant à des accidents de différents degrés de gravité, de ce fait, des recommandations ont été effectuées pour essayer d'atténuer ces risques.

Abstract

The main objective of our study is the analysis of occupational risks using the quantitative approach within the scrap treatment company, which is a specialized company whose recycling of metal waste and demonstrate that these modern quantitative approaches such as the Bayesian approach adapted to computer simulation tools that is able to respond to the most advanced modeling problems defining the relationships between several parameters describing the situations leading to the most feared risks. We experience this approach on a real case in historical data are available; this is the case of accidents at the level of a scrap company. The analysis described the most likely scenarios leading to accidents of varying degrees of severity, so recommendations were made to try to mitigate these risks.

ملخص :

الهدف الرئيسي من دراستنا هو تحليل المخاطر المهنية باستخدام النهج الكمي داخل شركة معالجة الخردة وهي شركة متخصصة تقوم بإعادة تدوير النفايات المعدنية وتثبت أن هذه الأساليب الكمية الحديثة مثل النهج البايزي تتكيف مع أدوات المحاكاة الحاسوبية القادرة على الاستجابة لمشاكل النمذجة الأكثر تقدماً التي تحدد العلاقات بين العديد من المعايير التي تصف الحالات المؤدية إلى المخاطر الأكثر إثارة للخوف. جربنا هذا النهج على حالة حقيقة في البيانات التاريخية المتاحة ، وهذا هو الحال من الحوادث على مستوى شركة الخردة. ووصف التحليل السيناريوهات الأكثر احتمالاً التي تؤدي إلى حوادث بدرجات متفاوتة من الخطورة، لذلك تم تقديم توصيات لمحاولة التخفيف من هذه المخاطر.

Sommaire

Liste de figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

I. Introduction générale.....01

Chapitre I : Les risques professionnels

I.1 Introduction04

I.2. Définition des termes04

I.2.1 Risque 04

I.2.2 Danger 04

I.2.3 Risque professionnel.....05

I.3 Typologie des risques professionnels05

I.3.1 Les risques professionnels par rapport à la nature.....06

I.3.1.1 Les risques mécaniques.....06

I.3.1.2 Les risques physiques08

I.3.1.2.1 Les risques dus aux vibrations 06

I.3.1.2.2 Les risques de surdité.....08

I.3.1.2.3 Les risques électriques.....10

I.3.1.2.4 Les risques des rayonnements ionisants11

I.3.1.2.5 Les risques dus aux rayonnements non ionisants12

I.3.1.3 Les risques dus aux manutentions.....11

I.3.1.3.1 Les manutentions manuelles.....14

I.3.1.3.2 Les manutentions m caniques14

I.3.1.4 Les risques chimiques15

I.3.1.4.1 Le risque d'intoxication.....15

I.3.1.4.2 Les risques d'incendie-explosion et les réactions dangereuses.....16

I.3.1.5 Les risques biologiques.....	17
I.3.1.6 Les risques de circulation et de transport	19
I.3.2. Les risques professionnels par rapport au secteur.....	19
I.3.2.1 Activités de la métallurgie et de la mécanique.....	20
I.3.2.2 L'industries chimiques et para chimiques.....	23
I.3.2.3 Les industries du bois-papier-carton.....	25
I.3.2.4 L'industrie textile.....	26
I.3.2.5 1 Les industries des cuirs et peaux.....	28
I.3.2.6 Les industries agroalimentaires.....	28
I.3.2.7 Les industries du feu.....	29
I.3.2.8 Les industries électriques et électroniques.....	29
I.3.2.9 Les activités de transport	30
I.3.2.10 Les laboratoires de recherches et d'essais.....	30
I.3.2.11 Les risques professionnels dans les bureaux.....	31
I.3.2.12 Les risques sur les chantiers de bâtiment et de travaux publics.....	31
I.4 Conclusion.....	33

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

II.1 Introduction.....	34
II.2 Définition de l'analyse des risques.....	34
II.3 Approche de l'analyse desrisques	34
II.3.1 Analyse qualitative	35
II.3.2 Analyse semi quantitative	35
II.3.3 Analyse quantitative	36
II.4 Distinction entre méthodes inductives et déductives	36
II.5 Quelques méthodes quantitative	37
II.5.1 Analyse préliminaire des risques APR	37
II.5.2 Processus de Markov	37

II.5.3 La méthode de l'espace des états	39
II.5.4 Réseau de Petri	41
II.5.5 Simulation de Monte Carlo:	42
II.5.6 Méthode Nœud Papillon.....	44
II.6 Conclusion.....	47

Chapitre III : Réseaux bayésiens

III.1 Introduction.....	48
III.2 Historique	48
III.3 Définitions Des Réseaux bayésiens	48
III.3.1 Théorème de bayes	49
III.3.2 Définition Formelle	50
III.3.3 Graphe de causalité	51
III.4 Structure d'un réseau bayésien.....	52
III.5. Construction d'un réseau bayésien	53
III.5.1 Les méthodes de construction	53
III.5.2 Les étapes de construction d'un réseau bayésien.....	54
III.6 Utilisation d'un réseau bayésien.....	54
III.7 Apprentissage dans les réseaux bayésiens	55
III.7.1 Apprentissage de structure	56
III.7.2 Apprentissage des paramètres	57
III.8 Inférence bayésienne	58
III.8 Conclusion	59

Chapitre IV : La réalisation du modèle bayésien

IV.1 Introduction	61
IV.2 Présentation de l'entreprise.....	61
IV.3 les activités de l'entreprise traitement de ferraille	62

IV.3.1 L' Unité de Fusion et de Transformation Secondaires UFTS.....	63
IV.3.2 L'Unité Régionale de Ferraille URF.....	63
IV.3.3 L'Unité de pesage et de contrôle industriels UPCI.....	63
IV.4 Présentation d'AgenaRisk.....	65
IV.4.1 Objectif d'utilisation	65
IV.4.2 Domaines d'utilisation.....	65
IV .4.2.1 Secteur de l'industrie	65
IV.4.2.2 L'approche bayésienne et les problèmes critiques d'entreprise et de sécurité	65
IV.4.3 Le mode d'utilisation d' AgenaRisk.....	66
IV.4.3.1 propriétés des nœuds.....	66
IV.4 .4 Présentation du réseau.....	68
IV .5 Analyse de réseau	69
IV.5.1 Premiers scénarios « Chute de matière ».....	71
IV.5.2 Deuxième scénario « arrêt de travail ».....	71
IV.5.3 Troisième scénario Travailleur « Ouvrier ».....	72
IV.5.4 Quatrième scénario Travailleur « ouvrier » touché à la « Main ».....	73
IV.5.5 Cinquième scénario Accident causant blessure au niveau de la « rate».....	74
IV.6 Recommandations.....	74
IV.7 Conclusion	75
Conclusion générale.....	76
Bibliographie.....	78

Liste des figures

N°	Figure	Intitulés	Pages
Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels			
01	Figure II.1	Exemple élémentaire de chaîne de Markoà deux états <i>A</i> et <i>E</i>	38
02	Figure II.2	Graphe d'état	30
03	Figure II.3	Exemple d'un réseau de Petri <i>Place-Transition</i>	42
04	Figure II.4	Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon	45
Chapitre III : Réseaux bayésiens			
05	Figure III.1	graphe de causalité	51
06	Figure III.2	structure d'un réseau bayésien de cinq variables	52
07	Figure III.3	les étapes de construction d'un réseau bayésien	54
Chapitre IV : La réalisation du modèle bayésien			
08	Figure IV.1	Organigramme général	61
09	Figure IV.2	Broyeur de câbles électriques	62
10	Figure IV.3	Four de fusion secondaire	62
11	Figure IV.4	Lingots de plomb, aluminium, laiton	62
12	Figure IV.5	Métal en paquet	63
13	Figure IV.6	Pont bascule	63
14	Figure IV.7	Registre des accidents de travail de l'entreprise de ferraille	64
15	Figure IV.8	Exemple d'un réseau bayésien présenté sur AgenaRisk	65
16	Figure IV.9	L'accès aux propriétés des nœuds sur AgenaRisk	66
17	Figure IV.10	Fichier CSV des données	67
18	Figure IV.11	Importation d'un fichier Excel sur AgenaRisk	68
19	Figure IV.12	Réseau bayésien (cas d'étude)	69
20	Figure IV.13	Résultat du réseau bayésien	70
21	Figure IV.14	Application de premiers scenarios «Chute de matière » sur le réseau bayésien	71
22	Figure IV.15	Application duDeuxième scenario la plus long « arrêt F »	71
23	Figure IV.16	Application du Troisième scénario : Travailleur « Ouvrier »	72
24	Figure IV.17	Application du quatrième scénario Travailleur « Ouvrier » touché à la « Main »	73
25	Figure IV.18	Application du cinquième scénario accident causant blessure au niveau de la « rate »	74

Liste des tableaux

N°	Figures	Intitulés	Pages
Chapitre II : Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques professionnels			
01	Tableau II.1	Légende des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon	45
Chapitre III : Réseaux bayésiens			
02	Tableau III.1	l'implication logique	51

Liste des abréviations

ISO : International Standard Organisation

AFNOR : Association Française de Normalisation

dB : décibel

CEI : Communauté des états indépendants

Sdf : Sûreté de fonctionnement

E : Evénement

PHA: Process Hazard Analysis

LOPA: Layers of protection Analysis

QRA : Quantitative RiskAnalysis

APR : Analyse préliminaire des risques

MTTF: Mean Time to Failure

MTBF: Mean Time between Failures

MTTR : Mean Time to repair

MEE : Méthodes de l'Espace des Etats

ICI : Imperial Chemical Industries

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

HAZOP: Hazard and operability Study

E In: Evènement Indésirable

EC : Evènement Courant

EI : Evènement Initiateur

ERC : Evènement Redouté Central

ERS : Evènement Redouté Secondaire

EM : Effets Majeurs

RB : Réseau Bayésien

URF : Unité Régionale de Ferraille

UPCI : Unité de Pesage et de contrôle Industriels

Introduction générale

Au début du développement industriel, on avait pensé que, très simplement, les machines serviraient les hommes et faciliteraient leur tâche. On s'est aperçu, depuis, que le problème était beaucoup plus complexe : d'une part, les accidents de travail ont augmenté. D'autre part, les travailleurs n'ont pas pu suivre leur rythme.

Les risques professionnels font partie des dangers les plus importants qui guettent les hommes de notre époque. La diversification des activités des entreprises ont accru la fréquence et la gravité des accidents et des maladies ayant pour origine le milieu professionnel.

Les accidents et les maladies sont nombreux et variés; si certains sont bénins et sans conséquences, un nombre négligeable d'entre eux sont graves, voire mortels; ils ont un impact non seulement d'ordre financier, mais aussi d'ordre social et moral; ils sont à l'origine de dépenses non productrices qui perturbent la vie économique, sociale et morale, d'autant plus inacceptable.

Les risques professionnels ne se limitent pas aux risques industriels. Ils comprennent également les situations dangereuses rencontrées dans les activités professionnelles non industrielles, telles que les activités du bureau, les laboratoires, le commerce.

Les risques professionnels font partie intégrante du monde du travail et les mesures de prévention peuvent être considérées comme un outil indispensable. Les industries doivent défendre leur existence en instaurant une stratégie de gestion de risques professionnels et en mettant en place des méthodes d'analyse et d'évaluation de ces risques. L'analyse des risques professionnels occupe une place centrale dans le processus de gestion des risques.

Cette étape sert à définir le système ou l'installation à étudier en recueillant toutes les informations et données nécessaires. Dans ce volet, Une description à trois niveaux, structurels, fonctionnels et temporels est indispensable afin de mener une analyse efficace et atteindre les objectifs voulus en matière de maîtrise des risques. Dans un premier temps, les principales sources de dangers et les scénarios d'accident doivent être recensés. L'estimation peut être qualitative, semi quantitative/ou quantitative en termes de probabilité de son occurrence et de la gravité de ses conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement.

Tous ces techniques et model mathématiques d'analyse des risques sont devenus un thème de recherche important mais les solutions à proposer parfois sont loin d'être évidents, due au

manque d'aide aux décisions en temps réel des systèmes complexes. Par contre ce domaine nécessite une maîtrise parfaite et en temps réel relative de l'information afin d'établir une analyse quantitative des risques AQR approfondie pour contrôler le système à étudier d'où le choix des réseaux bayésiens qui jouent un rôle très important dans la prédiction et la prise de décision.

La méthode bayésienne est une méthode quantitative d'analyse des risques qui permet de faire une analyse probabiliste des événements redoutés avec leurs origines et leurs conséquences,

Elle consiste aussi à construire le réseau bayésienne qui est l'application directe de la théorie bayésienne.

L'objectif de cette méthode est d'arriver à estimer la probabilité a posteriori des événements redoutés, leur origine et leurs conséquences.

Dans ce mémoire cette méthode sera appliquée sur les accidents professionnels dans une entreprise de ferraille qui est notre cas d'étude. Pour ce fait, une analyse approfondie sera réalisée sur les statistiques des accidents de travail enregistrés au sein de cette entreprise afin de pouvoir réaliser un réseau bayésien et analyser les résultats.

La réalisation du réseau nécessite des outils spécifiques heureusement disponibles dans notre institut. (AGENARISK)

Effectivement, 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. Il nous permet de réaliser le réseau bayésien de calculer facilement les probabilités à partir des données statiques ou des expériences. Il fournit aux chercheurs toutes les conditions pour l'étude du système, la modélisation des connaissances, le diagnostic, l'analyse, la simulation et l'optimisation.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous présentons quelques définitions des termes et les différents risques professionnels par rapport à la nature et secteur
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons quelques généralités sur l'analyse des risques et la sûreté de fonctionnement. Ce chapitre comprend également une représentation des méthodes quantitatives d'analyse des risques les plus connues.
- Dans le troisième chapitre, une présentation de la méthode bayésienne, son fondement théorique et le principe d'inférence

- Enfin le dernier chapitre, est consacré pour l'application de méthode utilisé pour ce Project qui est « approche bayésienne », ce chapitre est achevé par la réalisation du réseau bayésien sur l'outil AGENARISK, par la simulation des scénarios pour comprendre l'origine de certains événements redoutés.
- Une conclusion a été faite pour résumer notre simulation et les résultats, qui nous ont permis de proposer un ensemble de recommandations afin de réduire les risques professionnels.

Chapitre I

Les risques professionnels

Chapitre I : Les risques professionnels

I.1.Introduction

De nos jours le monde actuel souffre beaucoup des activités professionnelles, quel que soit sa nature et le lieu où elle s'exerce, elle présente des dangers pour l'homme autrement dit des atteintes possibles à la santé et à l'intégrité de son corps. Ces dangers qui se manifestent essentiellement sous la forme d'accident corporelles et de maladie de gravités variées sont appelés des risques professionnels.

Les risques professionnels sont nombreux et variés, il n'est pas possible d'énumérer et de traiter toutes les situations rencontrées et les solutions proposées .néanmoins, pour faciliter le travail des personnes intéressées par la sécurité dans les entreprises, l'objectif de ce chapitre est d'énumérer l'essentiel des risques professionnels et les risques rencontrés dans les différentes activités industrielles.

I.2. Définition des termes

I.2.1. Risque

Les risque sont généralement définis comme un événement fâcheux pouvant conduire à l'arrivé 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. [3]

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. [3]

I.2.3 Risque professionnel

Les risques professionnels constituent « un enjeu de santé publique. Ils regroupent les accidents, qui sont distingués selon qu'ils concernent le travail lui-même ou le trajet pour s'y rendre, et les maladies professionnelles. Ils sont spécifiés en fonction de leur gravité et des séquelles éventuelles qu'ils entraînent (décès ou reconnaissance d'une incapacité permanente).

La dangerosité du travail et l'exposition à des risques professionnels ne concernent pas au même titre tous les salariés. Des inégalités importantes subsistent à cet égard selon les secteurs d'activité, le niveau de formation des personnes concernées et leur âge ». [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, commerciaux, administratifs, dans les infrastructures routières, portuaires ... ou dans les moyens de transport et les chantiers, est 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 un des autres par leur nature, leur origine, leurs caractéristique et leurs conséquences ainsi que par les mesures de prévention qu'ils nécessitent. [1]

I.3.1 Les risques professionnels par rapport à la nature

I.3.1.1 Les risques mécaniques

Nombreux et variés, ils sont présents partout, dans toutes les activités humaines. Ils ont pour origine les déplacements des corps qui par la suite de leurs mouvements, possèdent une énergie susceptible d'agresser les hommes. [1]

I.3.1.1.1 Définition du risque mécanique

Le risque mécanique est défini comme étant « l'ensemble des facteurs physique qui peuvent à l'origine d'une blessure par l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, ou de fluides projetés ».

Exemple : un marteau qui s'abat sur un doigt peut l'écraser, une lame de scie peut couper la chair.

I.3.1.1.2. Différents risque mécanique

Les risques mécaniques sont regroupés en plusieurs familles, en fonction de la nature des atteintes au corps humain. [1]

- **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 existant 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 existant lors du contact du corps humain avec un objet en mouvement. Les forces de frottements sont suffisantes pour entraîner les parties du corps humain en provoquant des atteintes allant des simples blessures aux arrachements, cisaillements et écrasements.

Exemple : une main entraînée par des cylindres en rotation peut se traduire par des arrachements des membres supérieurs.

• **Les risques de coupure, piqure, sectionnement :** les coupures et les piqures supposent des surfaces de contact beaucoup plus petites et à énergie égale, les pressions exercées d'où un enfoncement plus important et des blessures plus profondes, allant jusqu'aux sectionnements. Plus un couteau est aiguisé, plus une aiguille est pointue, plus la surface de contact est petite et la pression plus grand, d'où des blessures plus profondes.

• **Les risques de projection de solides et liquide :** Les projections de solides à grandes vitesses ou celles des liquides sous haute pression présentent des risques de choc et perforation non négligeables.

Les conséquences des risques mécaniques sont essentiellement des accidents du travail plus ou moins graves, allant de la simple blessure bénigne aux blessures invalidantes, voir même mortelles. Certains phénomènes mécaniques sont à l'origine de maladies professionnelles comme les manutentions manuelles, les vibrations et le bruit.

I.3.1.1.3 Les sources des risques mécaniques

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 petites 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 piqures, les hématomes et autres dommages corporels. La plupart son bénins, mais certains peuvent être graves, surtout s'ils ne sont pas soignés rapidement car les blessures peuvent s'infecter, nécessitant des soins plus important.

• **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 :

- Dispositif Aero-hydraulique pour montage et démontage des ressorts a lame
- Dispositif de dépose et poste des ressorts sur châssis.
- Chariot pour poser et dépose moteur.

- Banc d'essai moteur.

I.3.1.2 Les risques physiques

I.3.1.2.1 Les 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. [1]

a. Les 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 les 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.

a.2 les 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**

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.

- **Les maladies professionnelles**

Toutes les maladies désignées pour la prise en charge nécessitent une confirmation radiographie ou nue artériographie, deux examens qui confirment l'origine et la nature des lésions.

I.3.1.2.2 Le risque de surdité

La surdité a pour origine les bruits qui sont la perception par les oreilles des vibrations transmises par l'air. Il en résulte une certaine analogie entre le risque de surdité et ceux dus aux vibrations. [1]

- **qu'est-ce qu'un bruit ?**

- Sur le plan psycho-sensoriel : « c'est un son dépourvu de caractère musical, plus précisément comme un son gênant, indésirable ».

(ISO, 1996) : « un phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme gênante et désagréable ».

AFNOR NF S31-190 : « toute sensation auditive désagréable et gênante, tout phénomène acoustique produisant cette sensation ».

- Sur le plan physique : « il s'agit d'un ensemble de vibrations sonores, complexes, désordonnées, ayant un caractère aléatoire et n'ayant pas de composantes bien définies ».

- **La 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. [1]

I.3.1.2.3. Les risques électriques

Ce sont des risques d'accident (brûlures, électrisation, électrocution) consécutifs à un contact avec un conducteur électrique ou une partie métallique sous tension (le retour se faisant par la terre ou par un élément relié à la terre ou en contact avec le sol), ou avec deux conducteurs avec des potentiels différents. Ces risques sont présents dans toutes les entreprises.

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. [1]

I.3.1.2.4. Les risques des rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants, sont définis comme un ensemble d'émissions rayonnantes qui ont la propriété d'ioniser les molécules qui constituent le corps humain et de causer des troubles et des dysfonctionnements. Le principal agent de contamination par irradiation est donc le rayonnement gamma et éventuellement les rayons X de fréquences élevées, proches des rayons gamma. La plupart des atteintes sont graves et peuvent conduire, à plus ou moins longue échéance, à la mort. La gravité des effets produits sur l'organisme dépend des quantités de radiations reçues, autrement dit de la durée d'exposition, de la nature et des caractéristiques des radioéléments et de la distance séparant le salarié de la source. [1]

Les rayonnements ionisants sont composés de deux catégories d'émissions :

Une émission de particules solides, composées de parties d'atomes comme les noyaux d'Hélium ; On distingue :

- **Rayonnement alpha**, surtout utilisé en radiothérapie, pour mesurer des épaisseurs et pour détecter des fumées et des gaz, ayant un pouvoir de pénétration très faible (faible énergie), de quelques centimètres dans l'air et de quelques micromètres dans les tissus vivants.

- **Rayonnement beta**, utilisé pour la production des rayons X en radioscopie et de pouvoir de pénétration variable dans l'air (de quelques mètres) et de quelques millimètres dans le corps humain.

- **Les neutrons**, rencontrés dans la plupart des émissions radioactives, de pouvoir de pénétration de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres dans l'air et de quelques millimètres seulement dans le corps humain.

- **Une émission de rayonnements électromagnétiques**, possédant des énergies très élevées; il s'agit des rayons X, des rayons gamma et des rayons cosmiques.

- **Les rayons X**, utilisés pour la stérilisation des instruments chirurgicaux, principalement pour la radiologie médicale et comme traceurs industriels. Ils peuvent traverser plusieurs dizaines de centimètres de tissus vivants et ne sont partiellement arrêtés que par les matières minérales comme les os et les métaux, d'où leurs applications en médecine et dans l'industrie (radioscopie, radiographie).

• **Les rayons gamma** : de fréquences et d'énergies beaucoup plus élevés et par conséquent plus pénétrants, donc plus dangereux et responsables d'atteintes humaines graves.

La contamination des salariés se fait suivant deux voies :

- par **irradiation externe**, où la source radioactive se trouve à l'extérieur de l'organisme et les radiations atteignent le premier organe qui est donc la peau.
- par **irradiation interne**, où la source radioactive se trouve à l'intérieur de l'organisme, soit au niveau de la peau par dépôt cutané de radioéléments soit au niveau des différents organes après absorption de substances radioactives par voies respiratoires (gaz, poussière), par voie orale (solides et liquides) ou par voie cutanée suivie de passage dans le sang. Dans les cas, les atteintes peuvent être graves.

Les radioéléments sont rassemblés en quatre groupes :

-Groupe 1 : les radioéléments à très forte toxicité : plutonium, radium.

-Groupe 2 : les radioéléments à forte toxicité : césium, cobalt, iode, strontium, thallium.

-Groupe 3 : les radioéléments à toxicité moyenne : carbone, chrome, potassium, sodium, soufre.

-Groupe 4 : les radioéléments à faible toxicité : uranium, tritium, krypton.

Les effets des rayonnements ionisants sur l'organisme humain sont :

- Des lésions cellulaires : inhibition de la mitose et des enzymes, prolifération de cellules malignes, altération des chromosomes ;
- Des lésions cutanées : brûlures, kératoses, verrues, ulcérations, radiodermites ;
- Des atteintes oculaires : cataractes et conjonctivites ;
- Une altération du sang : diminution des globules rouges et blancs, leucémies possibles pour les fortes doses d'irradiation.

I.3.1.2.5 Les risques dus aux rayonnements non ionisants

Les rayonnements non ionisants sont des émissions électromagnétiques variées, des ondes radio aux rayonnements gamma et cosmiques, dont la lumière visible. Ils peuvent présenter des risques professionnels aux salariés qui y sont exposés.

Le rayonnement électromagnétique est une onde obtenue par la réunion de deux champs, électrique et magnétiques, placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre et se propageant en ligne droite formant un rayon, suivant un mouvement rectiligne sinusoïdal. [1]

• **La lumière visible** : elle s'étend du violet au rouge, encadré par les ultraviolets et les infrarouges. Elle fait partie de la vie et permet la vision de tout ce qui nous entoure.

Normalement, elle ne porte pas atteinte à l'organisme humain. Cependant, la lumière intense due à des amplitudes très élevées des ondes électromagnétiques peut présenter quelques risques tant pour la peau (photosensibilisation cancer) que pour les yeux (conjonctivites suivies cataractes et éventuellement des lésions rétinienne).

• **Les rayonnements ultraviolets**, sont émis naturellement par le soleil et artificiellement dans les lampes à incandescence et les lampes fluorescentes. Ils agissent sur les cellules vivantes de l'organisme pour y déclencher des réactions chimiques complexes avec formation de radicaux libres particulièrement dangereux, qui peuvent donner naissance à des détériorations et des mutations cellulaires.

• **Les rayonnements infrarouges** Toute surface chaude émet un rayonnement IR, qu'elle soit naturelle (volcans, soleil, êtres vivants) ou artificielle (fours, étuves, métaux et verres fondus, etc.). Plus la surface est chaude, plus l'émission des infrarouges est grande. [1]

Le principal effet biologique des rayons IR est donc les brûlures thermiques par échauffement des parties du corps exposées, Les atteintes majeures sont celles de la peau (des brûlures thermiques destructrices des cellules de l'épiderme et du derme non prises comme maladies professionnelles) et des yeux (lésions de la cornée, de la rétine et du cristallin) qui sont prises en charge comme maladies professionnelles.

• **Les rayons lasers**, sont des rayonnements électromagnétiques, visibles ou non, et enrichis artificiellement en photons. Il en résulte qu'une lumière laser est beaucoup plus énergétique que le rayonnement électromagnétique de même fréquence. Les lasers ne conduisent pas à des maladies professionnelles, On distingue quatre classes de rayons lasers.

-Les **lasers de classes 1 et 2** ne représentent pas de risques graves ; ils éblouissent les yeux tout au plus ;

-Les **lasers de classe 3** et surtout les **lasers de classe 4** très puissants sont très dangereux, même pour des expositions de très courtes durées, responsables de lésions oculaires et des brûlures de la peau.

• **Les ondes électromagnétiques**, sont des rayonnements électromagnétiques de faible énergie tels que les rayonnements radio électromagnétiques, couramment utilisés pour la télétransmission de son et d'images (radio, télé), dans la recherche scientifique et médicale et pour les fours à microondes.

I.3.1.3. les 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.3.1.3.1. les 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 c'est l'énergie humaine qui, seule, initie les mouvements de l'objet.

Les manutentions font appel au travail de muscles, des os et des articulations des différents organes comme les membres supérieurs et inférieurs. A la longue, il y a ta fatigue et usure du système musculaire et du squelette, avec l'apparition de troubles musculosquelettiques.[1]

Comme **maladies professionnelles** (les plus souvent déclarées et reconnues par la sécurité sociale), Il s'agit essentiellement des attentes :

- 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.3.1.3.2. Les 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.

Exemple : les charriots de manutentions élévatrices à moteur, les charriots de manutentions automotrices à conducteur porté ou non.

I.3.1.4. Les risques chimiques

Les risques chimiques sont fréquents dans toutes les activités humaines, tant en milieu professionnel que chez soi. Ils s'expliquent par la présence des produits chimiques plus ou moins dangereux, toxiques ou inflammables, dont l'absorption par le corps humain se traduit par des intoxications accidentelles ou chroniques ainsi que par des incendies et explosions.

Exemple : Les industries métallurgiques et mécaniques (les alliages à base de métaux toxiques, les agglomérats de fonderie, les solvants de dégraissage), et para-chimiques (pharmaceutiques).

Les produits chimiques présentent deux familles de risques qui sont :

I.3.1.4.1. Le risque d'intoxication

Par leurs actions sur les tissus vivants, les produits chimiques pénètrent dans le corps humain par trois voies principales : pulmonaire, cutanée, orale, et passent dans le sang où sont alors véhiculés vers les différents organes où ils se concentrent en l'état ou sous la forme métabolisée, avant d'être éliminées, créant ainsi des dysfonctionnements voir des destructions irréversibles. C'est le cas du benzène qui, dans l'organisme, se transforme en phénol très agressif.

La durée de contact et de pénétration des produits chimiques dans le corps a une grande importance sur les atteintes à la santé. C'est le cas, par exemple, de l'acide fluorhydrique qui est à l'origine d'accident lorsqu'il est introduit en quantités importantes et conduit à une maladie professionnelle par exposition chronique à des faibles quantités pendant des durées longues..

Les conséquences de l'action du produit chimique sur l'organisme sont les intoxications qui revêtent deux formes : les intoxications accidentelles et les intoxications chroniques que sont les pathologies professionnelles. [1]

- **Les intoxications accidentelles**, dues au contact et [absorption de produits chimiques dangereux, généralement agressifs, caustiques ou Irritants, traduites par des brûlures chimiques de la peau et des muqueuses.

Exemple : Les projections et renversements d'acides et de bases forts et concentrés, la respiration de gaz et des vapeurs de fluore ou de chlore.

- **Les intoxications chroniques**

Certains produits chimiques passent dans le sang et se fixent lentement et préférentiellement sur certains organes donnant naissance à deux catégories de maladies :

- Les pathologies professionnelles sont des manifestations morbides des produits chimiques. Elles sont nombreuses et variées suivant l'organe atteint et le mode d'agression par le produit.
- Les maladies professionnelles

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.3.1.4.2. Le risque d'incendie-explosion et les réactions dangereuses

Les incendies et les explosions sont les conséquences de réactions chimiques dangereuses. Elles sont dites dangereuses car elles se produisent intempestivement et sont difficilement contrôlables, d'où des emballements possibles avec des dégagements importants de chaleur et de produits dangereux. Il s'agit essentiellement de réactions exothermiques qui sont souvent accidentelles et se produisent chaque fois que des produits incompatibles entrent en contact et réagissent ensemble en donnant naissance à des substances dangereuses. [1]

Exemple : c'est le cas des réactions formées par l'action des acides sur des sels (cyanures, les sulfures, les hypochlorites) qui dégagent respectivement du gaz cyanhydrique, de l'hydrogène sulfuré et des oxydes de chlore, tous très toxiques voire mortels.

Les décompositions thermiques sont un autre type de réactions dangereuses. Les produits portés à des températures supérieures à 250-300 °c se décomposent avec formation de substances toxiques et/ou inflammables. [1]

Exemple : L'incendie des matières plastiques, dégageant des vapeurs toxiques et des fumées intenses.

La réaction de combustion et les incendies et explosions, qui requiert la présence simultanée de trois éléments : combustible, comburant et une énergie fournie sous forme de chaleur (flamme, étincelles) ou des rayonnements énergétiques (rayons UV, X et Y).

La chaleur formée décompose le combustible en produits gazeux également inflammables ; c'est une combustion avec flammes et le feu se propage ; c'est l'incendie.

La réaction de combustion est extrêmement rapide et les quantités de chaleur dégagées sont considérables ; les gaz formés se dégagent rapidement suivant une réaction explosive.

Il existe une limite inférieure et une limite supérieure pour l'inflammabilité, l'explosibilité et la détonation.

Tout mélange dans l'air, dont la concentration en combustible est comprise entre les deux limites inférieure et supérieure, est inflammable ou explosible ou encore peut détoner. En dehors de ces limites, les risques d'incendie et d'explosion sont quasiment absents.

1.3.1.5. Les risques biologiques

Les risques biologiques sont les infections ayant pour origine les microorganismes pathogènes rencontrés en milieu de travail. Les agents biologiques, sont des organismes vivants, producteurs de toxines, de taille et de forme variables, qui ont la faculté de se multiplier engendrant des maladies. Ils pénètrent dans le corps humain par quatre voies : respiratoire, cutanée, orale et piqûres d'insectes porteurs de germes. On distingue:

- **Les virus :** constitués d'un seul acide nucléique ADN ou ARN, entouré d'une coque protectrice protéique, de très petites dimensions, et qui ont la faculté de s'introduire dans des cellules vivantes, les dénaturer et les détruire en introduisant leurs propres gènes. Les virus sont éliminés par les urines, les selles et la salive. Les antibiotiques n'ont pas d'effets sur eux.

Exemple : Les hépatites, la rage, les kératoconjunctivites virales, constituent les maladies professionnelles d'origine virale.

• **les bactéries** : Certaines sont utiles, utilisées dans les fermentations, productrices d'enzymes nécessaires à certaines préparations alimentaires. D'autres sécrètent des toxines qui emprisonnent les cellules vivantes et créent des troubles de fonctionnement constituant des maladies professionnelles.

Exemple : Le charbon, le tétanos, la tuberculose.

• **Les champignons** : Ce sont des microorganismes multicellulaires qui donnent des mycoses cutanées peu graves ou internes dangereuses.

Exemple : Les mycoses cutanées (peau, orteils, cuir chevelu) sont regroupées dans le tableau de maladies professionnelles.

• **Les parasites divers** : Ce sont des organismes multicellulaires qui vivent sur la peau ou à l'intérieur des organismes animaux dont l'homme.

Exemple : Hépatite amibienne et certaines parasitoses sont des maladies professionnelles.

Les principales activités professionnelles qui sont à l'origine des risques biologiques sont :

- Les activités dans les laboratoires biologiques et bactériologiques, les laboratoires toxicologiques, les laboratoires de fabrication de vaccins de sérums contre les venins animaux ;
- Les activités mettant les salariés en contact avec les animaux sauvages : animaleries, ménageries, élevages d'animaux divers, etc.
- Les activités dans les abattoirs et tous les travaux sur les cadavres d'animaux.
- Les activités dans les égouts, les canaux et les stations d'épurations des eaux usées.

Les pathologies professionnelles varient suivant le microorganisme pathogène introduit dans l'organisme. Elles revêtent les formes suivantes :

- Des maladies dues à des virus pathogènes comme les hépatites ou la rage ;
- Des maladies dues à des bactéries pathogènes comme la tuberculose, le tétanos ;
- Des maladies dues aux champignons comme les mycoses ;
- Des maladies dues à des parasites, généralement de l'appareil digestif.

I.3.1.6. Les risques de circulation et de transport

Les salariés se déplacent fréquemment tant dans leurs ateliers que dans leurs entreprises ainsi que sur la voie publique. Ces déplacements sont à l'origine de chutes de plein-pieds, de glissades, de chocs, chutes de grande hauteur plus de 3m ou d'autres blessures qui sont des accidents de travail. Ces différents risques sont à l'origine de blessures et de traumatismes de gravités variables, d'intoxications et différentes autres atteintes corporelles, allant jusqu'à la mort. 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).

I.3.2. Les risques professionnels par rapport au secteur

I.3.2.1. activités de la métallurgie et de la mécanique

Cette partie est consacrée à la fabrication des objets, produits, appareils métalliques, depuis l'élaboration du métal à partir de somme minerais jusqu'au produit finis, prêts à la vente.

I.3.2.1.1. les activités de la métallurgie

Les activités de la métallurgie comprennent les domaines suivants :

- L'extraction des minerais.
- Le transport des minerais jusqu'aux postes de traitement.
- L'élaboration du métal à partir des minerais.
- La coulée dans les lingotières.
- La fonderie.
- Les opérations métallurgiques (laminage, tréfilage).

Toutes ces opérations font appel à des équipements de travail lourds et importants, développant des mouvements de translation et de rotation de grandes énergies et présentant de très nombreux risques mécaniques, auquel s'ajoutent des vibrations et des émissions de bruits à des niveaux élevés, tous deux sources de risques. Les appareils fonctionnant à l'électricité présentent des risques d'électrocution. Les nombreuses manipulations manuelles et mécaniques ainsi que le transport des charges et la circulation des salariés à travers les dédales des ateliers et des machines, à proximité des sources de chaleur et l'éventualité de projections de matières en fusion créent également de nombreux risques.

Enfin, l'emploi de nombreux produits chimiques nécessite pour l'élaboration des alliages et des lingots, la présence de métaux et de composés toxiques comme le plomb, le cadmium, le cobalt, le nickel, le béryllium, sans oublier les poussières et les fumées toxiques émises lors de l'extraction et les traitements des minerais, au niveau des hauts fourneaux et des fours de traitements et lors de la coulée et le décochage dans les fonderies sont à l'origine de risques chimiques, dont essentiellement des intoxications accidentelles et des maladies professionnelles.

I.3.2.1.2. les activités de mécanique et du travail des métaux

Les industries mécaniques sont le lieu de nombreux risques de toutes natures.

Dans les opérations de traitements de surface, les risques d'intoxication au premier plan par suite de l'emploi de très nombreux produits chimiques dangereux. Les machines-outils sont pour la plupart sources de bruits et de vibrations. Les risques électriques sont également présents comme les troubles musculo-squelettiques dus aux nombreuses manipulations et manutentions manuelles. [1]

• Le travail à froid des métaux

- les nombreuses manutentions manuelles et mécaniques sont à leurs sources des risques, d'autant plus importants que les objets métalliques sont généralement lourds et les manutentions pénibles.
- les risques chimiques sont sur tout présents par l'emploi des huiles et des émulsions, surtout usagées, car les huiles utilisées s'enrichissent en substances cancérigènes et les brouillards qui se forment peuvent présenter des risques pour la santé. De même les émulsions aqueuses peuvent favoriser le développement des germes pathogènes.

I.3.2.2. l'industries chimiques et para chimiques

I.3.2.2.1. l'industrie chimique

On peut subdiviser l'industrie chimique en quatre grands domaines :

- La grande industrie chimique minérale : Fabrications de matières de base comme les acides et les bases, les carbonates, les dérivés azotés et les engrais, le chlore et ses dérivés minéraux etc.
- La petite industrie chimique minérale : Synthèses de produits minéraux industriels divers

- La pétrochimie : Fabrications des produits chimiques organiques à partir du pétrole et éventuellement de la houille et des gaz naturels.
- La synthèse organiques ou encore chimie fine produisant un nombre très élevé de produit très élaborés.

• Les risques dans l'industrie chimiques

Les réacteurs et les mélangeurs avec leur accessoires (trémies d'alimentation avec vis d'Archimède, agitateurs), les malaxeurs à cylindres ou à bras, les sécheurs tournants, les bandes transporteuses, les installations d'embouteillage et de conditionnements, les palettiseurs, sont des sources de risques mécaniques tels que les écrasements, les entrainements, les chocs, etc.

Ces équipements de travail vibrent et sont bruyants ; la plupart d'entre eux sont alimentés par de l'énergie électrique avec ces risques bien connus.

Les manutentions manuelles et mécaniques sont nombreuses : manutention des matières premiers en sacs ou dans des bidons et futs, chargement manuel des matières premières dans les réacteur et mélangeurs, conditionnement des emballages, transport des produits par des diables et des chariots automoteurs, rangement et stockage sur des palet tiers et transstockeurs, etc.

Toutes ces opérations nécessitent des déplacements et des transports tant au sein des entreprises qu'à l'extérieur, avec leurs nombreux risques.

Les risques biologiques existent essentiellement dans les activités pharmaceutiques et cosmétiques, mais les locaux de fabrications chimiques humides et chauds peuvent favoriser le développement de micro-organismes pathogènes.

Enfin les risques chimiques sont omniprésents. Les risques d'intoxications accidentelles s'expliquent par les fuites, les déversements et les projections de produits dangereux, les dégagements de gaz et de vapeurs en quantités importantes, le contact direct avec des liquides et des solides toxiques lors des manipulations, l'absorption orale accidentelle de produits dangereux, sans oublier les incendies et les explosions dont certains sont à l'origine de la plupart des catastrophes industrielles.

• La grande industrie chimique minérale

Elle emploie de grosses installations comprenant des machines (pompes, compresseurs, mélangeurs), des fours et étuves de séchage, des distillateurs etc. Les risques mécaniques sont importantes tout comme les dangers présentés par le bruit et le courant électrique.

Les risques chimiques sont essentiellement les intoxications accidentelles car la plupart des matières premières et les produits fabriqués sont agressifs et corrosifs.

Les incendies et surtout les explosions sont à redouter à cause de la présence éventuelle de poche de gaz inflammables (hydrogène, ammoniac, gaz naturel, hydrocarbures divers). certains produits sont explosibles et peuvent entraîner des explosions de grande ampleur comme ce fut le cas à Toulouse (stockage de nitrate d'ammonium engrais explosible).

• Les petites industries chimiques minérales

Les produits mis en œuvre sont plus nombreux et les installations sont généralement plus petites, mais les risques sont tout aussi importants et variés comme pour la grande industrie minérale car, outre les équipements de travail et appareil utilisés, les matières premières et produits finis sont souvent toxiques comme par exemple les dérivés arséniés, chromés, bromés, cyanurés, phosphorés, etc.

Les risques aussi restent importants et variés ; à côté des accidents, il existe également des maladies professionnelles comme celles dues à l'arsenic et dérivés, le cadmium et ses sels, le mercure, le phosphore, etc.

Les nombreuses réactions dangereuses sont susceptibles de conduire à des accidents majeurs.

• L'industrie pétrochimique

Bien que tous les risques existent, le principal, celui qui est redouté le plus et à juste titre, est celui des incendies-explosions, les produits mis en œuvre étant des dérivés du pétrole ; tous combustibles et inflammables.

La plupart des opérations sont effectuées en vase clos, dans les installations fermées, étanches et contrôlées systématiquement. Les fuites éventuelles et les échauffements peuvent se traduire par des accidents souvent de grande ampleur, tant pour les salariés que pour l'environnement. [1]

• L'industrie de synthèse organique

Les opérations, les matières premières et les produits finis sont à la fois nombreux et très variés, présentant des caractéristiques très différentes les uns des autres. Les risques sont également nombreux, avec une prépondérance des risques chimiques.

Pratiquement, tous les risques se rencontrent dans ces industries qui mettent en œuvre de nombreuses réactions chimiques dangereuses. Les intoxications accidentelles et chroniques ainsi que les incendies et les explosions dues aux réactions chimiques dangereuses ou au stockage de produits inflammables et volatils (solvants notamment) sont bien réelles. [1]

I.3.2.2. Les risques dans les industries para chimiques

• Les industries de peintures, vernis et encres

Les risques particuliers dans ces activités sont :

- Les risques mécaniques dus aux broyeurs à cylindres pour la préparation des couleurs ;
- Les risques d'intoxication par les pigments et les solvants ;
- Les risques d'incendie-explosion dus aux solvants inflammables ;
- Les risques de manutention dus aux conditionnements de bidons de produits finis.

Les risques broyeurs à cylindres doivent comporter des barres ou des obstacles au niveau de l'angle rentrant des cylindres tournants pour empêcher les entraînements suivis d'écrasements.

Les pigments dont certains comme les dérivés de plomb ou de cadmium sont toxiques doivent être manipulés (pesées) dans des enceintes fermées aspirées, tout comme les solvants et diluants.

Les risques d'incendie-explosion étant omniprésents dans les ateliers de production utilisant des quantités importantes de solvants inflammables, l'extraction de ces dernières s'impose, tout comme la suppression des sources d'énergie dont les étincelles électrique et électrostatiques. Des appareillages électriques antidéflagrants doivent être utilisés fréquemment.

La fabrication de peintures à l'eau (vinyliques et acryliques et émulsions) présente moins de risques chimiques que celle des peintures grasses classiques.

• Les industries pharmaceutiques et cosmétiques

L'importance des risques chimiques à pour origine les manipulations de principes actifs entrant dans les médicaments et les solvants inflammables utilisés (alcools).

Dans les laboratoires toxicologiques ainsi que dans les ateliers de fabrications de vaccins et de sérums antivénéreux, les risques biologiques existent.

- **Les industries des colles et adhésifs**

Les colles en solution aqueuse (émulsions vinyliques, colles à base d'amidon et de fécule, colles d'os) ne présentent pas de risques majeurs.

Par contre, les fabrications de colles à base de solvants inflammables (colles néoprène, adhésifs époxy, etc.) présentent des risques incendie-explosion.

- **Les industries des corps gras et détergents**

L'extraction des huiles végétales se fait essentiellement par pressage des graines oléagineuses ou par les solvants le plus souvent chlorés qui sont régénérés ensuite par distillation, les risques sont essentiellement mécaniques dus aux presses, et chimiques dus aux solvants.

L'extraction des huiles et graisses animales se fait par pressage (huile de poisson) ou par cuisson à chaud des carcasses animales. Le développement des agents biologiques est favorisé par la chaleur, l'humidité et la présence de matières organiques animales ou végétales dans les locaux.

La fabrication de savons à partir des huiles végétales utilise de la soude caustique à chaud, avec des risques de brûlures chimiques au niveau de la peau et des muqueuses pulmonaires.

- **Les industries des caoutchoucs et des élastomères**

L'incorporation d'une foule d'adjuvants aux caoutchoucs naturels ou synthétiques nécessite des broyeurs à cylindres qui sont, comme on a vu, des machines dangereuses qui doivent être équipées de dispositifs de protection.

Parmi les nombreux adjuvants incorporés, certains comme les amines peuvent être cancérigènes ou toxiques ; leur manipulation à froid et leur addition à chaud aux caoutchoucs doivent se faire sous aspiration, hottes ou bouches d'extraction placées à l'approche des sources de pollution.

- **L'industrie des résines synthétiques et matières plastiques**

La production des résines synthétiques s'approche de celle des produits chimiques organiques, à cette différence près que certains des réactions de polymérisation, exothermiques, peuvent s'emballer et conduire à des incendies et explosions.

L'industrie des matières plastiques comprend essentiellement les opérations de transformation : moulage, injection, extrusion, thermoformage, usinage etc. Les deux principaux

risques sont ceux à caractère mécanique par suite de l'emploi de presses à injecter ou à extruder, de presses à mouler .le principal risque chimique provient du chauffage des matières plastiques nécessaire pour le formage ; au-delà de 200-250°C.

• **l'industrie des pesticides et produit phytosanitaires**

Ces produits toxiques pour les insectes et les animaux, le sont également pour les hommes ; leur fabrication et leur manipulation, notamment lors du conditionnement, présentent des risques d'intoxication.

I.3.2.3. les industries du bois-papier-carton

Les activités relatives au bois, papier et carton sont une branche industrielle importante qui présente de nombreux risques pour les salariés. Elles comprennent :

- La première transformation du bois (découpe-tranchage des grumes, charpentes, fabrication d'agglomérés, de contreplaqués et de stratifiés) ;
- La deuxième transformation du bois (menuiseries et ébénisterie, fabrication de meubles) ;
- La fabrication du papier et du carton ;
- Les techniques d'impression (imprimerie).

Tous les risques étudiés dans cet ouvrage se retournent dans ces activités.

• **La première transformation du bois**

Les opérations de découpage et de tranchage des grumes font appel à des grosses machines comportant des scies , des lames et de nombreux mécanismes animés de mouvements rapides et présentant de nombreux risques mécaniques et électriques, sans oublier le bruits.

La fabrication d'agglomérés, de contreplaqués et de stratifiés nécessite, outre les presses chauffantes, des colles (urée-formol) et des résines (mélamine-formol,formophénoliques) nocives. Les risques sont d'origine chimique et thermique.Irs manutentions et les transports des plaques et charpentes présentent également des risques.

• **La deuxième transformation du bois**

C'est essentiellement la fabrication de meubles divers, faisant appel à des machines à bois, à des manutentions manuelles et des produits comme les colles et les peintures et vernis. Les risques sont à la fois mécaniques, chimiques et musculosquelettique .

• **La fabrication du papier et du carton**

La fabrication de pâte à papier fait appel à des traitements chimiques ou mécaniques particulièrement polluants.

Les machines à papier comportent de nombreuses pièces en mouvement (cylindres et rouleaux rotatifs, transmissions etc.)

• **L'imprimerie**

Les techniques d'impression utilisant des encres présentent toutes des risques pour les salariés, tant au niveau des machines à imprimer par les différentes procédés (typographie, héliogravure, offset, sérigraphie, etc.) qu'à celui des encres' diluants et solvants de nettoyage, tous nocifs sans exception.

Les rotatives et les machines imprimantes automatiques comportent de nombreuses pièces en mouvements (cylindre, transmissions).ces machines étant très bruyantes.

L'impression sur supports synthétiques emploie des encres et des diluants toxiques ; tout contact avec ces produits peut présenter des risques pour la santé des salariés.

I.3.2.4. L'industrie textile

L'industrie textile utilise des fibres naturelles d'origine végétale (coton, lin, chanvre, jute) ou animale (laine, soie), des fibres artificielles (viscose, rayonne) et des fibres synthétiques (polyimides, polyesters, polyamides et fibres techniques), sans oublier certaines fibres minérales comme l'amiante, les fibres de verre ou de roche, les fils métalliques.

L'industrie textile comprend :

- La filature (élaboration des fils à partir des fibres naturelles) ;
- Le tissage (élabérations des tissus par entrecroisement des fils) ;
- Les traitements des fils et tissus (blanchiment, apprêts, teinture, nettoyage).

Toutes ces opérations nécessitent des machines plus ou moins complexes ainsi que des produits chimiques divers. Tous représentent des risques pour les salariés

• **La filature**

La transformation des fibres en fils fait appel à plusieurs techniques suivant la nature des fibres. Les principales sont :

- Le battage des fibres.
- Le cardage pour démêler les fibres.
- Le peignage qui fait le tri.
- L'étirage pour allonger les fibres.

- La torsion pour enchevêtrer les fibres.
- L'enroulage du fil sur une bobine.

Toutes ces opérations sont effectuées avec des machines dont les pièces, animées de mouvements de rotation et de translations souvent très rapides, présentent des risques mécaniques non négligeables ; ces machines sont également très bruyantes.

La filature n'utilise pratiquement pas de produits chimiques.

• **Le tissage**

Le tissage est effectué sur des équipements de travail appelés métiers à tisser de divers types, possédant tous des mécanismes animés de mouvements rapides et dangereux. Les risques mécaniques et le bruit sont toujours présents, comme d'ailleurs les risques électriques.

Le tissage proprement dit n'utilise pas de produits chimiques dangereux.

• **Les traitements des fils et des tissus**

Les fils et surtout les tissus subissent de nombreux traitements avant et après utilisation et confection. Les principales opérations sont le blanchiment, la teinture, l'impression et le nettoyage.

Dans ces opérations, de nombreux produits chimiques agressifs sont utilisés, généralement à chaud, et les risques d'intoxications accidentelles par brûlures chimiques et thermiques sont importants.

Le blanchiment et le nettoyage humide dans les blanchisseries emploient des lessives alcalines caustiques ; les vapeurs et brouillards émis sont agressifs pour la peau et les muqueuses de la voie respiratoire. L'humidité qui règne dans ces ateliers favorise la prolifération des micro-organismes et les risques biologiques ne sont pas absents, surtout lors du nettoyage de tissus provenant des milieux hospitaliers.

La teinture des fils et des tissus utilise des acides et des colorants de toutes natures, dont certains sont nocifs et agressifs.

L'impression des tissus utilise des encres relativement peu dangereuses ; par contre les différents types de machines à imprimer utilisés présentent des risques mécaniques.

Le nettoyage à sec dans les teinturerie utilise des solvants chlorés et notamment le perchloréthylène nocif.

I.3.2.5. les industries des cuirs et peaux

Ces industries sont considérées très polluantes pour l'environnement. L'emploi de nombreux produits chimiques dangereux dans les différentes phases de la fabrication des cuirs et fourrures crée des risques d'intoxication pour les salariés. Le tannage des peaux utilise des bichromates, des aluns, du formol et des tannins ; les deux premiers sont à l'origine des maladies professionnelles. Le nettoyage des vêtements en cuir ou en fourrure utilise des solvants chlorés nocifs. Les risques mécaniques sont également nombreux à cause de l'emploi de plusieurs types de machines pour le traitement.

I.3.2.6. Les industries agroalimentaires

Les risques mécaniques s'expliquent par l'emploi de machines et équipements comme les mélangeurs (pétrins), les trancheurs, etc. et par l'emploi de couteaux (opérations manuelles de désossage et de découpe). Les nombreuses manutentions manuelles et mécaniques et la circulation des salariés sur les sols gras des laiteries-fromageries et boucheries-charcuteries, sans oublier les cuisines des traiteurs et des restaurateurs présentent également des risques nombreux. L'utilisation de fours et d'étuve crée des risques de brûlures thermiques. La manipulation de nombreux produits chimiques crée également des risques, surtout par contact cutané, sans oublier les risques biologiques.

I.3.2.7. les industries du feu

Ces industries comprennent plusieurs activités :

- La fabrication de liants hydrauliques pour la construction (ciments, plâtres, chaux, mortiers divers et matériaux isolants) ;
- La fabrication de matériaux céramiques (tuiles, faïences et porcelaines, carreaux céramiques) ;
- La fabrication du verre (verre plat, bouteilles et flacons).

Ces industries mettent en œuvre des températures élevées, dépassant souvent les 1 000 °C, d'où les risques de brûlures par contact et par rayonnement infrarouge. Les différentes installations et équipements de travail sont de dimensions importantes et possèdent de nombreux mécanismes en mouvement. Ils sont également très bruyants. L'emploi de produits chimiques nocifs donne naissance aux poussières et fumées qui se dégagent lors de différentes opérations de fabrication et de transformation et présentent des risques pour les salariés. L'émaillage des verres et faïences emploie également quelques pigments toxiques.

I.3.2.8. les industries électriques et électroniques

La construction des machines et appareils électrique présente essentiellement des risques mécaniques et électriques, ainsi que des risques de surdité et ceux dus aux vibrations. Les risques chimiques proviennent des produits manipulés comme les solvants et les huiles diélectriques comme PCB qui, par suite des échauffements répétés, peuvent donner naissance à des dioxines toxiques.

Dans les industries électroniques, ce sont les risques électriques et les troubles musculosquelettiques qui sont les plus fréquentes .les risques chimiques apparaissent lors des opérations de soudage à l'étain et dans certains autre opérations (fabrication des circuits intégrés).

I.3.2.9. les activités de transport

Les risques rencontrés dans les activités de transport sont nombreux et variés, tant pour les salariés de cette profession que pour les usagers dont beaucoup utilisent les transports en commun pour raisons professionnelles ; une grande partie des accidents dus aux transports sont à caractère professionnel.

Les risques varient suivant la nature et les moyens de transport ; les risques rencontrés dans le transport aérien diffèrent de ceux rencontrés dans le transport maritime ou fluvial ; les risques de la route ne sont pas les mêmes que ceux du chemin de fer.

• Les risques de circulation et de transport dans l'entreprise

Au cours de déplacement, circulation ou transport, les salariés sont exposés à de nombreux risques qui peuvent être :

- Des chutes de plain-pied, glissades et faux pas dus aspérités du sol, aux dénivelés, aux sols glissants (feuilles mouillées, flaques d'huile, verglas) ;
- Des chutes de hauteurs, y compris les chutes de grande hauteur de plus de 3 mètres ;
- Des heurts et chocs avec objets, matériaux et éléments de construction fixes ou mobiles ;
- Des heurts et chocs avec des véhicules en circulation ;
- Des heurts et chocs entre véhicules ;
- Des intoxications lors du transport de produits chimiques répandus dans les locaux par suite de fuites ou des renversements des emballages.

1. Les risques de circulation et de transport à l'extérieur de l'entreprise

- Les salariés se déplacent également à l'extérieur des entreprises pour des raisons professionnelles.
- Les principales familles de risques auxquels sont exposés les salariés se déplaçant à l'extérieur de leur entreprise sont :
 - Les chutes de plain-pied par glissades, faux pas, etc. ;
 - Les chutes par dénivelés et de hauteur ;
 - Les heurts et chocs ;
 - Les heurts avec les véhicules en circulation ;
 - Les accidents de voitures.

Une autre catégorie de risques est créée par le transport de produits chimiques dangereux ; il s'agit de fuites ou de dégagements de produits dangereux, toxiques ou inflammables, au cours du transport par des poids lourds ou par des camions-citernes. Les salariés comme les conducteurs des véhicules ainsi que ceux qui se trouvent à proximité sont exposés à ces risques, tout comme l'environnement en général.

I.3.2.10. Les laboratoires de recherches et d'essais

Les risques diffèrent suivant les activités des laboratoires ; ceux rencontrés dans les laboratoires d'analyse médicales sont très différentes des risques qui existent dans les laboratoires d'essais des machines ou des appareils électriques.

- Dans les laboratoires d'analyse biologique, médicales, toxicologiques et ceux rattachés à des hôpitaux, les risques majeurs sont de nature biologique, par suite de manipulations de nombreux germes pathogènes ou d'animaux et d'objets infectés. Les risques électriques présents par l'emploi généralisé d'appareils alimentés en courant électrique ainsi que les risques de troubles musculosquelettiques par suite de nombreuses manipulations manuelles répétitives.

- Dans les laboratoires chimiques (analyse, synthèses, purification, etc.), les risques sont essentiellement chimiques par suite de l'emploi, même en faibles quantités, de substances dangereuses, d'autant plus que certaines d'entre elles sont encore peu connues et peuvent être très toxiques. Les autres risques sont ceux présentes par les courants électriques, le bruit et les risques mécaniques dus aux nombreuses manipulations effectuées.

- Dans les laboratoires d'essais mécaniques, les risques sont essentiellement mécaniques, électriques et de manutentions manuelles, avec de nombreuses variantes et des cas particuliers. Ainsi dans les laboratoires d'essais des moteurs thermiques, le risque principal est celui du bruit avec les risques d'intoxications par les gaz d'échappement. Dans les laboratoires étudiant ou

vérifiant les appareils de découpe aux lasers, le risque majeur concerne les brûlures, notamment aux yeux, par les rayons lasers.

- Dans les laboratoires travaillant sur la radioactivité ou utilisant des sources radioactives, le risque principal provient évidemment des rayonnements ionisants, sans pour autant oublier les risques électriques.

I.3.2.11. les risques professionnels dans les bureaux

Les nombreux appareils fonctionnant à l'électricité, branchés n'importe comment, sur des multiprises surchargées, les fils électriques qui traînent sur le sol, les radiateurs électriques de secours utilisés en hiver, sont autant de sources d'électrisation, voire d'électrocutions.

L'emploi de nombreux produits chimiques : encres, colles, solvants et diluants, produit de détachage, produits de nettoyage, etc. sont d'autant plus dangereux que la plupart des bureaux ne sont pas aérés, notamment en hiver, et les vapeurs dégagées s'accumulent dans ces locaux, conduisant à une pollution non négligeable de l'air.

La circulation et les nombreuses manutentions manuelles sont également à l'origine de risques, certes bénins, mais bien réels.

I.3.2.12. les risques sur les chantiers de bâtiment et de travaux publics

I.3.2.12. 1.les principaux risques rencontrés sur les chantiers

Les risques rencontrés dans les activités de bâtiment et de travaux publics appartiennent à deux groupes distincts, en fonction de l'origine et des causes :

- les risques dus aux différentes opérations de construction et d'aménagement ;
- les risques provenant des équipements de travail et matériels divers.

➤ Les risques dus aux différentes opérations de construction et d'aménagement

- **Les risques mécaniques** : ce sont des risques de chocs, d'écrasements, d'empalements et d'entraînements avec des pièces métalliques ou en bois ou encore en béton.
- **Les risques dus aux vibrations et au bruit** : ils sont dus essentiellement aux appareils portatifs vibrants comme les marteaux piqueurs, les brise-béton, les coupeuses, les perceuses, etc.
- **Les risques dus aux manutentions manuelles** : ils sont dus au port, au déplacement et à la pose de nombreuses pièces métalliques, en bois ou en béton pour les besoins du chantier.
- **Les risques électriques** : ils sont dus aux opérations manuelles utilisant des appareils électriques portatifs comme les perceuses, les scies, etc. les conditions de

fonctionnement de ces appareils à l'air libre sous la pluie ou dans des zones humides (sous-sols) favorisent la dégradation de l'isolation initiale. L'humidité qui règne sur les chantiers favorise également les risques d'électrisation et d'électrocution.

- **Les risques chimiques** : les nombreux produits chimiques, dont certains sont dangereux, sont à l'origine des intoxications accidentelles ou chroniques. L'emploi de ciments et de mortiers, de peintures et de colles, de décapants pour le nettoyage des façades, d'huiles de décoffrage du béton, explique ces risques.
- **Les risques biologiques** : les nombreuses blessures, souvent bénignes mais mal soignées, peuvent s'infecter ; les cas de tétanos professionnels sont bien connus.
- **Les risques provenant des équipements de travail et matériels divers**
- **les risques mécaniques** : il existe quelques risques mécaniques spécifiques à certains équipements, reliés à leur stabilité comme les renversements des chariots et des grues principalement sous l'effet du vent, à cause des aspérités et de l'instabilité du sol ou encore par suite des interférences.
- **Les risques dus aux vibrations et au bruit** : c'est surtout au niveau des conducteurs des équipements de travail mobiles que les risques sont importants, car ces engins qui se déplacent sur des sols non nivelés sont soumis à de nombreuses sollicitations, vibrent et sont bruyants.
- **Les risques électrique** : ces risques sont également nombreux ; les conducteurs électriques sont très sollicités et les isolations se trouvent rapidement détériorées, certaines installations sont situées dans des locaux humides ou à l'extérieur, sous la pluie ; les installations bricolées avec surcharges électriques ne sont pas rares ; l'entretien et les vérifications électriques ne sont pas toujours respectés. Pour toutes ces raisons, les risques d'électrocution et d'électrisation sont importants.
- **Les risques de manutention mécanique** : ces risques sont nombreux par suite de l'utilisation fréquente d'équipements de travail de manutention : chariots automoteurs, treuils, moteurs, machines-outils, etc. [1]

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, les risques biologiques qui trouvent leur origine en la présence volontaire ou accidentelle de germes pathogènes dans de nombreuses activités professionnelles, 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 pour l'analyse des risques professionnels

II.1. Introduction

L'étude de la sûreté et la sécurité est un domaine très vaste qui comprenant plusieurs étapes, et parmi ces étapes on trouve l'analyse des risques qui est le but de notre étude.

Dans ce chapitre une présentation des méthodes quantitatives sera faite. Ces méthodes sont venues compléter les méthodes qualitatives, qui avaient pour objectif de décrire les risques et leurs conséquences sans se soucier de leurs fréquences d'apparition et l'influence exacte et quantifiés entre les différents éléments du système.

II.2. Définition de l'analyse des risques

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 ». [4]

Elle vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens.

Elle permet aussi de mettre en lumière les barrières de sécurité existante en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection).

II.3. Approche de l'analyse des risques

Il est difficile de parler de l'analyse des risques sans aborder les méthodes issues du monde de sûreté de fonctionnement (SDF).

La SDF d'un système peut être définie comme étant la propriété qui permet a ses utilisateurs de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre, cette notion de confiance est fondamentale, étant donné que tout système matériel, ou logiciel, contient des fautes. Plus simplement la sûreté de fonctionnement est la science des défaillances.[5]

Elle peut être caractérisée par les concepts suivants :

. La fiabilité

Elle est généralement mesurée par la probabilité qu'un événement E accomplisse une fonction requise, dans des conditions données, pendant l'intervalle de temps. [5]

. La disponibilité

C'est l'aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné, elle est généralement mesurée par la probabilité qu'un événement soit en état d'accomplir une fonction requise, dans des conditions données, à un instant t.[5]

. La maintenabilité

Elle est généralement mesurée par la probabilité que la maintenance d'un système accomplie dans des conditions données avec des procédures et moyens prescrits, soit achevée au temps t, sachant que le système est défaillant au temps t. [5]

. La sécurité

La sécurité est l'aptitude à éviter de faire apparaître dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques, elle est généralement mesurée par la probabilité qu'un système évite de faire apparaître dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. [5]

II.3.1. Analyse qualitative

L'analyse qualitative traite essentiellement de la nature de la gravité des risques. [6]

L'évaluation qualitative de la criticité consiste à utiliser un système de classement qualitatif qui vise à caractériser les risques, sur la base des questionnaires, d'avis d'expert, d'échelles descriptives ou numériques pour décrire l'intensité des conséquences potentielles et la vraisemblance que ces conséquences se produisent.

II.3.2. Analyse semi quantitative

L'évaluation semi quantitative de la criticité s'applique à la catégorisation des paramètres des risques (la fréquence et la gravité), et le score final du risque est obtenu moyennant

différentes méthodes.

L'approche d'évaluation de la criticité est dite semi quantitative, dans le sens où la probabilité de défaillance et les conséquences qui ont été classés dans les catégories dont les critères sont exposés à l'exploitant [7]

II.3.3. Analyse quantitative :

Durant ces dernières années, plusieurs techniques et modèles mathématiques de prévision des risques ont été développés. Citons à titre d'exemple, l'analyse des dangers du procédé (Process Hazard Analysis : PHA), l'analyse des couches de protection (Layers Of Protection Analysis : LOPA), l'analyse quantitative des risques (Quantitative Risk Analysis: QRA). Cette dernière est une approche rigoureuse et avancée visant une industrie plus sûre et se révèle indispensable et nécessaire pour une bonne estimation et maîtrise des risques. Cette approche consiste principalement à identifier les scénarios d'accidents potentiels ou représentatifs, à estimer leur fréquence et analyser leurs conséquences, moyennant des méthodes d'analyse des risques et des modèles mathématiques des effets et de vulnérabilité. La finalité étant d'estimer les risques individuels et sociétaux et par suite appliquer les mesures qui répondent convenablement à cette estimation.

L'analyse quantitative des risques industriels et les autres outils analytiques classiques sont basés sur des modèles mathématiques issus de la logique binaire : les états de défaillance et de fonctionnement des composants sont précisément distingués, les taux de défaillance sont à valeurs précises et par conséquent, une valeur unique d'estimation du risque est obtenue. Cette valeur est souvent assez conservatrice, car elle est basée sur le principe du « cas le plus défavorable ». Cependant, la variabilité des taux de défaillance et des paramètres physiques ainsi que les différentes suppositions sur les modèles mathématiques utilisés sont souvent incertains et de nature subjective. Ainsi, dans une QRA, chaque étape qu'elle soit qualitative (identification des scénarios d'accidents potentiels) ou quantitative (estimation des probabilités et des conséquences) est une source potentielle d'incertitudes.[8]

II.4. Distinction entre méthodes inductives et déductives

Les **méthodes inductives** sont initiées à partir des causes d'une situation à risque pour en déterminer les conséquences. Elles sont aussi appelées montantes car à partir des événements causes définies au niveau éléments, elles permettent d'induire les événements conséquences au niveau sous-système ou système. [6]

Pour les **méthodes déductives**, la démarche est inversée puisque l'on part de l'événement indésirable, la défaillance, et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles. [6]

II.5. Quelques méthodes quantitatives

II.5.1 Analyse Préliminaire des Risques (APR)

Développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautiques et militaire. Elle est utilisée depuis dans de nombreuses autres industries.

C'est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée.

L'APR nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation, l'identification de ces éléments dangereux est fonction du type d'installation étudiée.

Il est également à noter que l'identification de ces éléments se fonde sur la description fonctionnelle réalisée avant la mise en œuvre de la méthode.

À partir de ces éléments dangereux l'APR vise à identifier pour un élément dangereux une ou plusieurs situations de danger. Dans le cadre de ce document une situation de danger est définie comme une situation qui si elle n'est pas maîtrisée peut conduire à l'exposition d'enjeux à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

Le groupe de travail doit alors déterminer les causes et les conséquences de chacune des situations de danger identifiées puis identifier les sécurités existantes sur le système étudié. Si ces dernières sont jugées insuffisantes vis-à-vis du niveau de risque identifié dans la grille de criticité, des propositions d'amélioration doivent alors être envisagées. [9]

Limites et avantages

Le principal avantage est de permettre un examen relativement rapide des situations dangereuses sur des installations. Elle apparaît comme relativement économique en termes de temps passé

En revanche l'APR ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des événements susceptible de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes [9]

I.5.2 Processus de Markov

Un processus de Markov est un processus stochastique possédant la propriété de Markov Dans un tel processus, la prédiction du futur à partir du présent n'est pas rendue plus précise par des éléments d'information concernant le passé. Les processus de Markov portent le nom de leur inventeur, Andreï Markov. [13]

Objectif :

L'objectif est de modéliser la dynamique d'un système réparable en présence de pannes. La méthode des processus de Markov est basée sur la représentation graphique du processus à étudier. Il s'agit d'une méthode développée pour traiter les systèmes aléatoires dynamiques ; ces systèmes passent d'état en état au bout de durées aléatoires régies par les divers phénomènes (Défaillances de composants, réparations) auxquels il est soumis. [10]

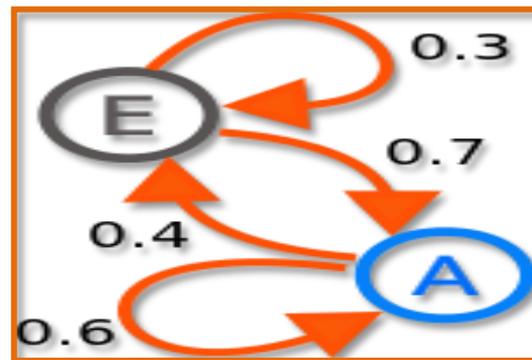


Figure II.1 : Exemple élémentaire de chaîne de Markov à deux états A et E [13]

Construction d'un modèle

Considérons un système composé de N composants, chaque composant ayant un nombre fini d'états de fonctionnement et de panne ; ce système est supposé réparable et chaque composant est réparé après constatation de la panne. Le système est donc composé :

- **Des états de fonctionnement** : un état de bon fonctionnement où tous les composants

fonctionnent, et des états où certains composants sont en panne mais le système reste fonctionnel,

• **Des états de pannes** : où suffisamment de composants sont en panne pour affecter le système global.

La construction du modèle se fait en 3 étapes :

1. Recensement de tous les états du système. Si chaque composant a 2 états (ok ou panne) et si le système à N composants, le nombre maximal d'états est 2^n . Au cours de la vie du système, des états de panne peuvent apparaître à la suite de défaillance ou disparaître la suite de réparation.

2. Recensement de toutes les transitions possibles entre ces différents états et l'identification de toutes les causes de ces transitions. Les causes des transitions sont généralement des défaillances des composants ou la réparation de composants ;

3. Calcul des probabilités de se trouver dans les différents états au cours d'une période de vie du système, calcul des temps moyens (MTTF, MTBF, MTTR . . .)

Intérêts et limites

Lorsque le nombre d'états devient trop grand pour être appréhendé directement sans risque d'erreur, il est possible de faire appel à des outils qui, à partir d'une description par réseaux de Pétri ou de règles similaires à celles employées dans les systèmes experts, permettent de générer le processus de Markov équivalent. Ces descriptions étant beaucoup plus condensées que celle relative au processus markovien, l'analyste en conserve la maîtrise pour des systèmes faisant intervenir un plus grand nombre de composants.

Lorsque malgré tous les regroupements possibles le nombre d'états reste trop grand, alors il faut faire appel à d'autres techniques comme la simulation de Monte-Carlo. [10]

II.5.3. La méthode de l'espace des états

La Méthode de l'Espace des États MEE, fondée sur les chaînes de Markov homogènes (à taux de transition constants dans le temps) décrit de manière causale et analytique l'évolution d'un système quelconque, réparable, en particulier si le nombre de réparateurs est

inférieur au nombre d'entités qui le composent. [10]

Objectif

L'objectif est d'évaluer les principales caractéristiques de fiabilité et de disponibilité d'un système réparable.

Les états possibles d'un système (état nominal, état de fonctionnement dégradé, état de panne totale,...) sont modélisés à l'aide de cercles reliés entre eux par des flèches indiquant les transitions possibles entre ces états. Ces transitions sont conditionnées, selon les cas, par des processus de défaillance ou par des remises en état des entités en panne dont l'intensité (taux de défaillance ou taux de réparation) est indiquée. Le processus est dit markovien lorsque tous les taux de transition sont indépendants du temps.

Le schéma suivant donne un exemple de représentation d'un graphe d'état, pour un système à deux composants C1 et C2. [10]

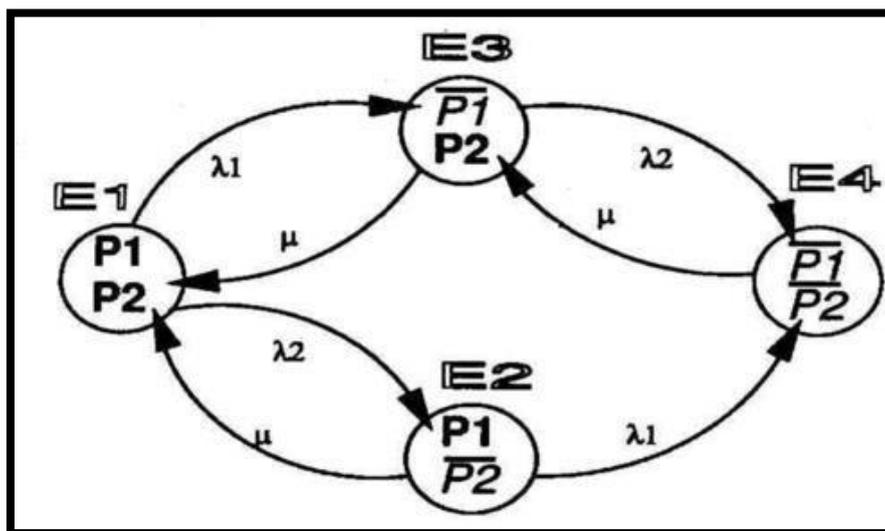


Figure II.2 : Graphe d'état [10]

Cette figure présente les quatre états du système (E1, E2, E3, et E4) et les transitions de passage d'un état à un autre du système.

Les notations P1, P1-bar, P2 et P2-bar indiquent l'état des composants considérés C1 ou C2, pour un état du système P1 correspond au fonctionnement du composant C1. P1-bar, P1-bar signifie le dysfonctionnement du composant C1. De même P2 et P2-bar désignent respectivement le fonctionnement et le dysfonctionnement du composant C2.

Les taux de transition noté λ_1 et λ_2 désignent respectivement le taux de transition de l'état **P1** à l'état **P1**, et le taux de transition de l'état **P2** à l'état **P2**.

Le taux de transition noté correspond au passage d'un état de dysfonctionnement à un état de fonctionnement d'un des composants du système. Dans cet exemple ce taux de transition est identique pour les deux composants.

Intérêts et limites

Les principaux intérêts de cette méthode sont :

- La visualisation graphique des résultats,
- Le traitement possible de systèmes à éléments dépendants,
- La prise en compte possible de lois non exponentielle pour modéliser les durées de réparation.

En revanche, les principaux inconvénients sont :

- Elle est limitée aux dispositifs sans usure,
- Il est impossible de prendre en compte les événements déterministes dont la date est fixée de l'extérieur.
- Le nombre d'états du graphe croit de manière exponentielle avec le nombre d'éléments du système.

II.5.4. Réseau de Pétri

Le réseau de Pétri est un modèle mathématique servant à représenter divers systèmes (informatiques, industriels...) travaillant sur des discrètes, apparu en 1962, dans la thèse de doctorat de Carl Adam Pétri. [11]

Les réseaux de Pétri sont un bon outil pour modéliser le comportement dysfonctionnel d'un système. On appréhende plus aisément les différentes pannes et l'impact sur le système.

Pour rappel, un réseau de Pétri est un graphe orienté avec deux types de nœuds : les places (états ou conditions) représentées par des cercles et les transitions (ou événements) symbolisées par des barres.

Un réseau de Pétri stochastique est un réseau étendu tel qu'on associe à chaque transition une durée de franchissement aléatoire ou déterministe (nulle ou non). Si la durée déterministe est 0, on parle de transitions immédiates. [12]

Objectif

Un réseau de pétri permet de modéliser le comportement dynamique d'un système réparable en présence de pannes. Il s'agit d'une méthode développée pour traiter les systèmes dynamiques ; ces systèmes passent d'état en état au bout de durées aléatoires régies par les divers phénomènes (défaillances de composants, réparations) auxquels il est soumis.

Ce comportement est dit « stochastique » et sa modélisation est du ressort des « processus stochastiques ».

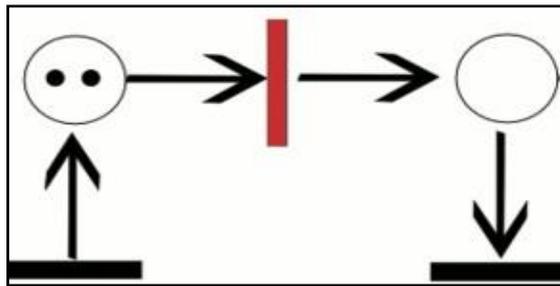


Figure II.3: Exemple d'un réseau de Pétri Place-Transition [14]

IL se compose de:

- **Deux places**, les cercles
- **Trois transitions**, les traits noirs
- **Quatre arcs**, les flèches
- **Deux jetons**, les points noirs qui circulent de gauche à droite

Intérêts et limites :

Bien que le nombre d'états engendrés par un réseau de Pétri soit dénombrable, il n'est pas forcément fini. Dès que le système étudié est complexe, le nombre d'états engendrés est important et il n'est plus possible de tous les identifier. Cette méthode ne peut être utilisée pour

générer un graphe de Markov que lorsque le nombre d'états n'est pas trop grand (jusqu'à quelques milliers). La représentation par réseaux de Pétri étant beaucoup plus condensée que celle des processus de Markov, elle est alors plus facile à maîtriser.

II.5.5 Simulation de Monte Carlo

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. Les professionnels de domaines aussi diversifiés que la finance, la gestion de projet, l'énergie, la production, l'ingénierie, la recherche et le développement, les assurances, l'industrie du gaz et du pétrole, les transports et l'environnement, ont recours à cette technique.

Les scientifiques chargés de la recherche sur la bombe atomique ont été les premiers à utiliser la technique, baptisée Monte Carlo d'après la célèbre ville monégasque et ses casinos. Depuis son inauguration durant la Deuxième Guerre mondiale, la simulation Monte Carlo a servi à modéliser toute une variété de systèmes physiques et conceptuels.

Objectif

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 recalculs. La simulation produit des distributions de valeurs d'issue possibles.

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.

Intérêts et limites

L'augmentation de la puissance des moyens informatiques permet d'appliquer aisément cette méthode.

II.5.6 Méthode Nœud Papillon

Le concept du nœud papillon a été introduit par la compagnie ICI (Imperial Chemical Industries). Après l'accident survenu sur la plate-forme pétrolière Piper Alfa, la compagnie Royal Dutch/Shell a développé cette technique d'analyse au début des années 1990 afin d'améliorer la sécurité sur de telles installations. L'utilisation de la méthode du nœud papillon tend aujourd'hui à se démocratiser et son application au secteur de l'industrie est de plus en plus répandue.

Le nœud papillon est une méthode d'analyse de risques qui consiste à réunir autour d'un même événement redouté un arbre de défaillances et un arbre d'événements. Cette méthode présente comme principal avantage de fournir une arborescence synthétique qui permet d'avoir une vision exhaustive de l'ensemble des séquences accidentelles susceptibles de se produire. [9]

Objectif

Cet outil permet d'illustrer le résultat d'une analyse de risque simple ou détaillée (de type APR, AMDEC, HAZOP, What-if ou autres) et d'y superposer les barrières de sécurité (prévention et protection). Ainsi, c'est un outil grandement efficace pour communiquer les résultats d'une analyse des risques à diverses parties prenantes incluant le grand public et la haute direction des organisations; deux groupes d'intervenants avec lesquels il est crucial de synthétiser et de vulgariser l'information à communiquer.

Il est de visualiser concrètement des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées. Le « Nœud Papillon » est une approche de type arborescente largement utilisée dans les pays européens comme les Pays-Bas qui possèdent une approche probabiliste de la gestion des risques. Le Nœud Papillon est utilisé dans différents secteurs industriels par des entreprises comme SHELL qui a été à l'origine du développement de ce type d'outils.

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillance et un arbre d'événement. [9]

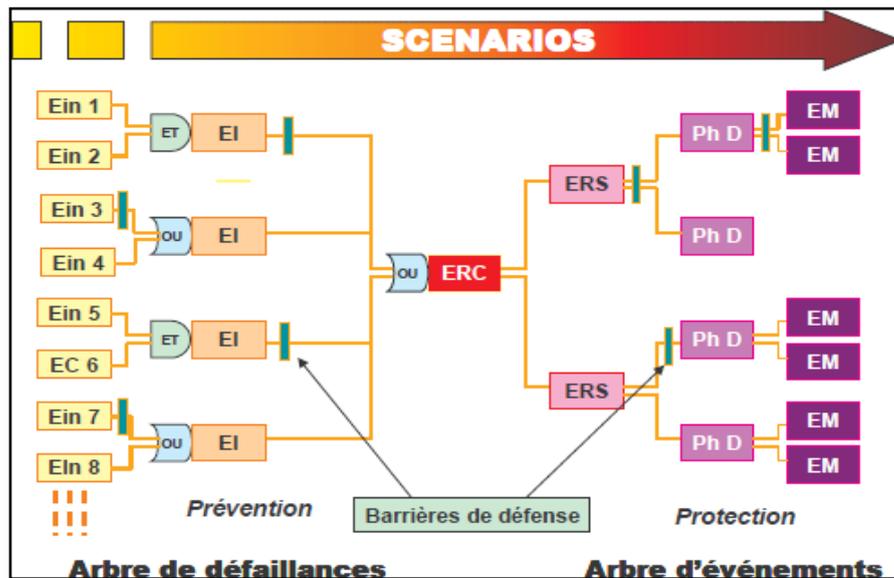


Figure II.4 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon. [9]

Désignation	Signification	Définition	Exemple
E In	Evènement Indésirable	Dérivé ou défaillances sortant du cadre des conditions D'exploitation usuelle définie	Le sur remplissage au départ d'incendie à proximité d'un équipement
EC	Evènement courant	Evènement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation	Les actions de test, de maintenance ou généralement des évènements courants.
EI	Evènement initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique	les agressions mécaniques. Une montée en pression sont généralement des évènements
ERC	Evènement Redouté Central	Perte de confinement sur un Equipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse	Rupture, Brèche, Ruine ou Décomposition d'une substance dangereuse dans le cas d'une perte d'intégrité physique
	Evènement	L'évènement redouté	Formation d'une flaque

ERS	Redouté Secondaire	secondaire caractérisé le terme	ou d'un nuage lors d'un rejet d'une substance diphasique source de l'accident
PhD	phénomène dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs	Incendie, Explosion, Dispersion D'un nuage toxique
EM	Effets majeurs	Dommages occasionnés au niveau (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène des éléments vulnérables population	Effets létaux ou irréversibles sur la Synergies d'accident dangereux
Barrières ou mesures de Prévention		Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement	Peinture anticorrosion, coupure Prévention automatique des opérations d'intégrité physique dépotage sur détection d'un niveau très haut
Barrières ou mesures de Protection		Barrières ou mesures visant à limite les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité	Vannes de sectionnement Automatiques asservies à Une détection (gaz, pression, débit), moyens d'intervention

Tableau II.1: Légende des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon [9]

- **Déroulement**

Le nœud de papillon s'inspirant directement des arbres des défaillances et d'événements, doit être élaboré avec les mêmes précautions.

S'agissant d'un outil relativement lourd à mettre en place, son utilisation est généralement réservée à des événements jugés particulièrement critiques pour lesquels un niveau élevé de démonstration de la maîtrise des risques est indispensable.

En règle générale, un nœud de papillon est construit à la suite d'une première analyse des risques menée à l'aide de méthodes plus simple comme l'APR ou l'HAZOP par exemple. [9]

- **Intérêts et limites**

Le Nœud Papillon offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées. De ce fait, cet outil met clairement en valeur l'action des barrières de sécurité s'opposant à ces scénarios d'accidents et permet d'apporter une démonstration renforcée de la maîtrise des risques. En revanche, il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre peut être particulièrement coûteuse en temps. Son utilisation doit donc être décidée pour des cas justifiant effectivement un tel niveau de détail. [9]

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés les méthodes d'analyse des risques les plus connues et leur classification selon leur gravité et leur criticité.

L'ensemble des méthodes proposées au niveau de cette démarche, nécessitent un recueil de toutes les informations nécessaires sur le cas d'étude pour aboutir à un classement des niveaux de risque permettant, à partir des objectifs fixés, l'identification des types d'accidents avec leurs fréquences, et les scénarios d'accident, de faire des choix avec des priorités sur les efforts à faire pour diminuer les risques et leurs effets.

Chapitre III

Réseaux bayésiens

Chapitre III: Réseaux bayésiens

III.1. Introduction

Les réseaux bayésiens sont des modèles graphiques probabilistes orientés acyclique initiés par Judea Pearl dans les années 1980. Ils permettent de modéliser des systèmes simples ou complexes [17]. Dans ce chapitre nous présentons les réseaux bayésiens techniques pour réaliser un modèle bayésienne, la structure, les étapes de construction, du modèle, l'inférence et l'apprentissage.

III.2. Historique

Les réseaux bayésiens (**RB**) ont été nommés ainsi par Pearl en 1985. Ils se situent à l'intersection entre la théorie des graphes et la théorie des probabilités. Les premières avancées théorique ont été constituées par les travaux de Judea Pearl à l'Université de Californie à Los Angeles et de Finn Jensen à l'Université d'Aalborg. Les développements de l'usage des réseaux bayésiens sont directement liés à l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs.

Dès leur mise en place, les réseaux bayésiens ont donné lieu à de nombreuses applications opérationnelles, telles que le décodage du génome, dans le cadre du projet Human Genome, ou le traitement de la parole. Le développement de méthode basées sur les réseaux bayésiens doit par ailleurs beaucoup à la section recherche de Microsoft, qui y a beaucoup contribué dans le milieu des années 1990. Microsoft a ainsi mis en place son célèbre « trombone », dont le fonctionnement sera expliqué en 2,1,3 après une présentation des réseaux bayésiens et de leur fonctionnement.

III.3. 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 puisque 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. [15]

La théorie des réseaux bayésiens résulte d'une fusion entre la théorie des probabilités et la théorie des graphes. On définit classiquement un réseau bayésien comme un graphe acyclique dirigé. Il est formé d'un ensemble de variables et d'un ensemble d'arcs entre les variables. Chaque variable correspond à un nœud du réseau. [16]

Les **RB** sont des modèles qui permettent de représenter des situations de raisonnement probabilistes basé sur théorème de bayés.

Les domaines d'utilisations principaux sont diagnostic(médical et industriel), analyse de risques, détection de spans, datamining, détection de fraudes, exploitation du retour d'expérience, modélisation et simulation de systèmes complexes, détection d'intrusions, Text Mining , analyse de BioPuces, analyse de trajectoires de santé .

III.3.1. Théorème de bayes

Thomas bayes (1702-1761) est né à Londress en Angleterre a développé un théorème qui repose sur la propagation de l'information au sein du réseau, c'est-à-dire les calculs de probabilités a posteriori de certaines variables à partir d'un certain nombre d'observations sur d'autre variables.

$$P(\mathbf{B}/\mathbf{A}) = \frac{P(\mathbf{A}/\mathbf{B}).P(\mathbf{B})}{P(\mathbf{A})}.....(1)$$

Paras symétrie, permet de faire un raisonnement dans les deux sens, le calcul de la probabilité de **B** sachant **A** mais aussi de **A** sachant **B**. dans un sens nous cherchons à expliquer une cause dans l'autre nous quantifions une conséquence. [16]

Le théorème de bayes est basé sur les probabilités conditionnelles qui dit qu'un événement **B** se produise sachant que l'événement **A** s'est déjà produit. On la note **P (B/A)** ou **PA(B)** et on a lit « probabilité que **B** se réalise sachant que **A** s'est produit ».

La probabilité conditionnelle revient donc à retrouver la probabilité d'un second événement alors que l'on sait qu'un premier événement s'est déjà produit auparavant.

La formule pour calculer une probabilité conditionnelle est :

$$P(B/A) = \frac{P(B \cap A)}{P(A)} \dots\dots\dots(2)$$

Ou $P(B \cap A)$ représente la probabilité de l'intersection des deux événements. de plus. Il est nécessaire que $P(A)$ soit entre 0 et 1.

II.3.2. Définition Formelle

Les réseaux bayésiens figurent parmi les modèles d'analyse probabiliste. Ils proposent un formalisme mathématiques et des bases théoriques solides pour la modélisation des systèmes complexes. [17]

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 $\square = \{X_1, \dots, X_n\}$ 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.

[17]

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). [16]

II.3.3. graphe de causalité

La représentation graphique la plus intuitive de l'influence d'un événement, d'un fait, ou d'une variable sur une autre, est probablement de relier la cause à l'effet par une flèche orientée.



Figure III.1 : Graphe de causalité

Supposons que **A** et **B** soient des événements, qui peuvent être observé ou non, vrais ou faux. Du point de vue du sens commun, le graphe ci-dessus peut se lire comme ceci. « La connaissance que j'ai de **A** détermine la connaissance que j'ai de **B** ».

La relation causale soit l'implication logique $A \rightarrow B$. cette relation signifie que si **A** est vrai, **B** l'est également. Si **A** est faux, **B** peut être vrai ou faux.

Le tableau III.1 représente les configurations possibles de **A** et **B**, dans le cas où la relation causale $A \rightarrow B$ est vraie. Du point de vue de la logique, il s'agit simplement de la contraposée d' $A \rightarrow B$. Du point de vue de la causalité, cela montre qu'une relation causale, donc orientée, est réversible de l'effet vers la cause, même si elle ne l'est que partiellement.

A	B
VRAI	VRAI
FAUX	VRAI
FAUX	FAUX

Tableau III.1 : l'implication logique

S'il existe relation causale de **A** vers **B**, toute information sur **A** peut modifier la connaissance que j'ai de **B**, et réciproquement, toute information sur **B** peut modifier la connaissance que j'ai de **A**.

Avec la représentation graphique de la causalité on peut connaître la direction de circulation de connaissances dans le graphe mais on ne peut pas connaître la quantité de cette circulation de connaissances. Alors, il faut une représentation probabiliste associé avec le graphe.

Avec une relation causale : $A \rightarrow B$ on peut représenter la quantité de cette relation par la probabilité conditionnelle : $P(B|A)$ [18]

III.4. 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. [19]

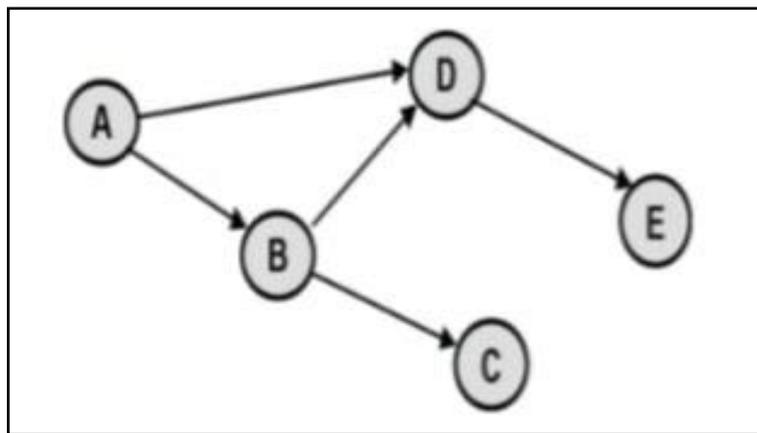


Figure III.2. Structure d'un réseau bayésien de cinq variables

III.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 « paramètres ». 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.

III.5.1. Les méthodes de construction

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

5.1.1 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.

5.1.2 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.

5.1.3 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.

III. 5.2. Les étapes de construction d'un réseau bayésien

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

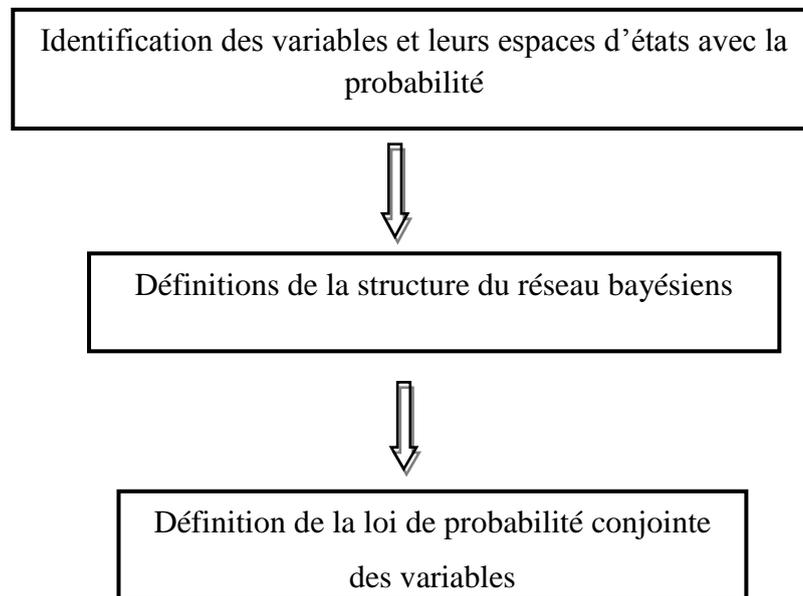


Figure III.3 Les étapes de construction d'un réseau bayésien [16]

III.5.2.1. 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.

III.5.2.2. 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.

III.5.2.3. Étapes quantitative

La troisième est l'étape quantitative : elle consiste en l'évaluation numérique des distributions de probabilités conditionnelles. [16]

III.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. [16]

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. [15]

III.7. Apprentissage dans les réseaux bayésiens

Un réseau bayésien est constitué à la fois d'un graphe (aspect qualitatif) et d'un ensemble de probabilités conditionnelles (aspect quantitatif). L'apprentissage d'un réseau bayésien doit donc répondre aux deux questions suivantes :

- Comment estimer les lois de probabilités conditionnelles ?
- Comment trouver la structure du réseau bayésien ?

Nous allons donc séparer le problème de l'apprentissage en deux parties :

- L'apprentissage des paramètres, ou nous supposons que la structure du réseau a été fixée, et où il faudra estimer les probabilités conditionnelles de chaque nœud du réseau.
- L'apprentissage de la structure, où le but est de trouver le meilleur graphe représentant la tâche à résoudre.

Comme pour tout problème de modélisation, différentes techniques sont possibles selon la disponibilité de données concernant le problème à traiter, ou d'experts de ce domaine. Ces techniques peuvent se partager en deux grandes familles :

- Apprentissage à partir de données, complètes ou non, par des approches statistiques ou bayésienne.
- Acquisition de connaissances avec expert du domaine. [18]

III. 7.1. Apprentissage de structure

Nous avons dit que l'apprentissage des paramètres d'un réseau bayésien peut être à partir de données complètes ou incomplètes, ou à l'aide d'un expert, en supposant que la structure de ce réseau était déjà connue. Se pose maintenant le problème de l'apprentissage de cette structure ; comment trouver la structure qui représentera le mieux notre problème ?!

Lorsque la structure du réseau n'est pas fournie à priori par un expert, la première idée est de trouver la meilleure structure d'un réseau bayésien. C'est un problème difficile à cause du nombre exponentiel des structures possibles comme c'est écrit dans [20] qui [21] a montré que le nombre de structures différentes $r(n)$ pour un réseau bayésien possédant n nœuds est :

$$r(n) = \sum_{i=1}^n (-1)^{i+1} \binom{n}{i} 2^{i(n-1)} r(n-i) = n^{2e(n)}$$

Avec : $r(1)=1$, $r(2)=3$, $r(3)=25$, $r(5)=29281$ et $r(10) \approx 4.2 \times 10^{18}$

Beaucoup de travaux existent dans la littérature pour apprendre cette structure à partir des données complètes ou données incomplètes, nous commençons par quelques algorithmes basés sur des données complètes :

III.7.1.1. Algorithme de structure (Données complètes)

On trouve deux familles d'algorithmes, les algorithmes basés sur les scores et d'autres sur les indépendances conditionnels :

III.7.1.1.1. Algorithmes basés sur un score

Cette première famille consiste à parcourir tous les graphes possibles, associer à chaque graphe, puis choisir le graphe ayant le score le plus élevé. Toutefois, cette méthode n'est pas simple, principalement à cause de la taille super exponentielle de l'espace de recherche en fonctions du nombre de variables.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour résoudre ce problème telle que : l'arbre de poids maximal, GS (GreedySearch)...etc. [16]

III.7.1.1.2. Algorithmes basés sur l'Indépendance conditionnelle

Cette série d'approches d'apprentissage de structure, souvent appelé recherche sous contraintes, est issue des travaux de deux équipes « concurrentes », les algorithmes des deux équipes sont basé sur un principe identique :

- Construire un graphe non dirigé contenant les relations entre les variables, à partir de tests d'indépendance conditionnelle,
- Détecter les V-structures (en utilisant aussi des tests d'indépendance conditionnelle).

- Propager les orientations de certains arcs,
- Prendre éventuellement en compte les causes artificielles dues à des variables latentes.

[22]

III.7.1.2. Algorithmes des structures (données incomplètes)

La méthode des données incomplète est basée sur le principe de l'algorithme EM et permet de traiter des bases d'exemple incomplètes sans avoir à ajouter une nouvelle modalité (variables non mesurée) à chaque nœud. Cette méthode itérative part d'une structure initiale pour estimer la distribution de probabilité des variables cachés ou manquantes grâce à l'algorithme EM classique. L'espérance d'un score par rapport à ces variables cachées est ensuite calculée pour tous les réseaux bayésiens du voisinage afin de choisir la structure. [19]

III.7.2. Apprentissage des paramètres

L'apprentissage des paramètres d'un réseau bayésien se fait à partir de données relatives au problème à modéliser. Toutefois, ces données peuvent être complètes ou incomplètes. Les algorithmes d'apprentissage des paramètres se sont pas les mêmes dans ces deux cas. [16]

III.7.2.1. Apprentissage des données complète

Nous cherchons ici à estimer les distributions de probabilités (ou les paramètres des lois correspondantes) à partir de données disponibles. L'estimation de distributions de probabilités, paramétriques ou non, un sujet très vaste et complexe. Nous décrivons ici les méthodes les plus utilisées dans le cadre des réseaux bayésiens, selon que les données à notre disposition sont complètes ou non.

III.7.2.1.1. Apprentissages statiques

Dans le cas où toutes les variables sont observées, la méthode la plus simple et la plus utilisée est l'estimation statistique qui consiste à estimer la probabilité d'un événement par la fréquence d'apparition de l'événement dans la base de données cette approche, appelés maximum de vraisemblance (MV), nous donne alors :

$$P(X_I = x_k \mid pa(X_I = x_i)) = \hat{Q}_{i,j,k}^{MV} = \frac{N_{i,j,k}}{\sum_k N_{i,j,k}}$$

Où $N_{i,j,k}$ est le nombre d'évènements dans la base de données pour lesquels la variable X_i est dans l'état x_k et ses parents sont dans la configuration x_j . [18]

III.7.2.2. À partir de données incomplètes

Dans les applications pratiques, les bases de données sont très souvent incomplètes. Certaines variables ne sont observées que partiellement ou même jamais, que ce soit à cause d'une panne de capteurs, d'une variable mesurable seulement dans un contexte bien précis, d'une personne sondée ayant oublié de répondre à une question. [18]

La méthode d'estimation des paramètres des données incomplète c'est l'algorithme itératif EM (expectation Maximisation). [16]

III.7.2.1.2 Algorithmes EM

L'algorithme EM peut aussi s'appliquer dans le cadre bayésien. Pour l'apprentissage des paramètres, il suffit de remplacer le maximum de vraisemblance de l'étape M par un maximum (ou une espérance) a posteriori.

L'algorithme EM est très simple : soient $\theta^{(t)} = \{\theta^{(t)}_{ijk}\}$ les paramètres du réseau bayésien à l'itération t. [16]

III.8. Inférence bayésienne

L'inférence, ou la mise à jour des croyances, consiste à calculer la probabilité a posteriori au niveau de certaines variables en prenant en compte les informations sur d'autres variables appelés observations. Les réseaux bayésiens permettent de mettre à jour les distributions de probabilités au niveau des variables : on commence par fixer des observations, c'est-à-dire affecter des valeurs aux variables d'observation, puis on utilise un algorithme d'inférence pour calculer les probabilités a posteriori des autres variables.

Aucun algorithme a d'inférence n'applique directement le théorème de Bayes car cela conduit à des calculs très coûteux en temps. Il existe une multitude de travaux dans le domaine de l'inférence dans les réseaux bayésiens. Nous en présentons ici un échantillon représentatif. Parmi ces algorithmes utilisés pour l'inférence bayésienne on peut citer. [17]

III.8.1. Méthodes exactes

III.8.1.1. Messages locaux

Les premiers algorithmes d'inférence pour les réseaux bayésiens sont basés sur une architecture à passage de messages et ils étaient limités aux arbres. Elle consiste en une actualisation à tout moment des probabilités marginales, chaque nœuds est associé à un

processeur qui peut envoyer des messages de façon asynchrone à voisins jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint, en un nombre fini d'étapes. [19]

III.8.1.2. Ensemble de coupe

Cette méthode consiste à instancier un certain nombre de variables de manière à ce que le graphe restant forme un arbre. On procède à une propagation par messages sur cet arbre. Puis une nouvelle instantiation est choisie. On réitère ce processus jusqu'à ce que toutes les instantiations possibles aient été utilisées. On fait alors la moyenne des résultats.

L'avantage de cette méthode est une complexité en temps linéaire sur la taille du réseau. Mais le calcul des probabilités conditionnelles est en général impraticable pour les réseaux assez grands car ayant une complexité dans le pire des cas exponentielle dans le nombre de variables et aussi à cause du problème des boucles dans le réseau.

III.8.1.3. Arbre de jonction

Elle est appelée méthode JLO. Elle est applicable pour toute structure de DAG contrairement à la méthode des messages locaux. Néanmoins, s'il y a peu de circuits dans le graphe, il peut être préférable d'utiliser une méthode basée sur un ensemble de coupe.

Cette méthode est divisée en cinq étapes qui sont :

1. Moralisation du graphe.
2. Triangulation du graphe moral.
3. Construction de l'arbre de jonction.
4. Inférence dans l'arbre de jonction en utilisant l'algorithme des messages locaux.
5. Transformation des potentiels de clique en lois conditionnelles mises à jour. [16]

III.8.2. les méthodes approximatives

Il existe trois approches pour réaliser des inférences approchées, faire comme si le graphe était un arbre « loopy belief propagation ». Markov Chain Monte Carlo.

Markov Chain Monte Carlo exploite la topologie du réseau et effectue un échantillonnage de Gibbs sur des sous-ensembles locaux de variables de façon séquentielle et concurrente. L'inférence vibrationnelle est une méthode de plus en plus utilisée, elle est une sorte d'adaptation de l'algorithme e EM (Expectation-Maximisation). [19]

III.9. Conclusion

Nous avons illustré dans ce chapitre, qu'est-ce qu'un réseau bayésien. 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 IV

La réalisation du modèle bayésien

Chapitre IV: La réalisation du modèle bayésien

IV.1. Introduction

Les réseaux bayésiens sont une application directe de la théorie bayésienne. L'utilisation essentiel des réseaux bayésiens est de calculer les probabilités conditionnelles d'événements reliés les uns aux autres par des relations de cause à effet.

Dans ce chapitre une réalisation du model bayésien sera faite, sur AgenaRisk à partir d'un registre des accidents de travail au niveau de l'entreprise de ferraille qui est spécialisée dans la récupération, le traitement, la transformation et la revalorisation de produits métalliques recyclables rebutés et reformés.

IV.2.Présentation de l'entreprise

L'entreprise de ferraille est l'une des sociétés les plus importantes du secteur de l'industrie métallique.

Elle fait la récupération et ramassage des déchets métalliques, le traitement et transformations des déchets métalliques, commercialisation des matériaux ferreux et non ferreux et le traitement des déchets et approvisionnement des aciéries, ainsi que, l'exportation de ferrailles et de non ferreux. En plus, l'entreprise fait la production de grenaille de cuivre et de déchets de PVC par broyage de câbles électriques.

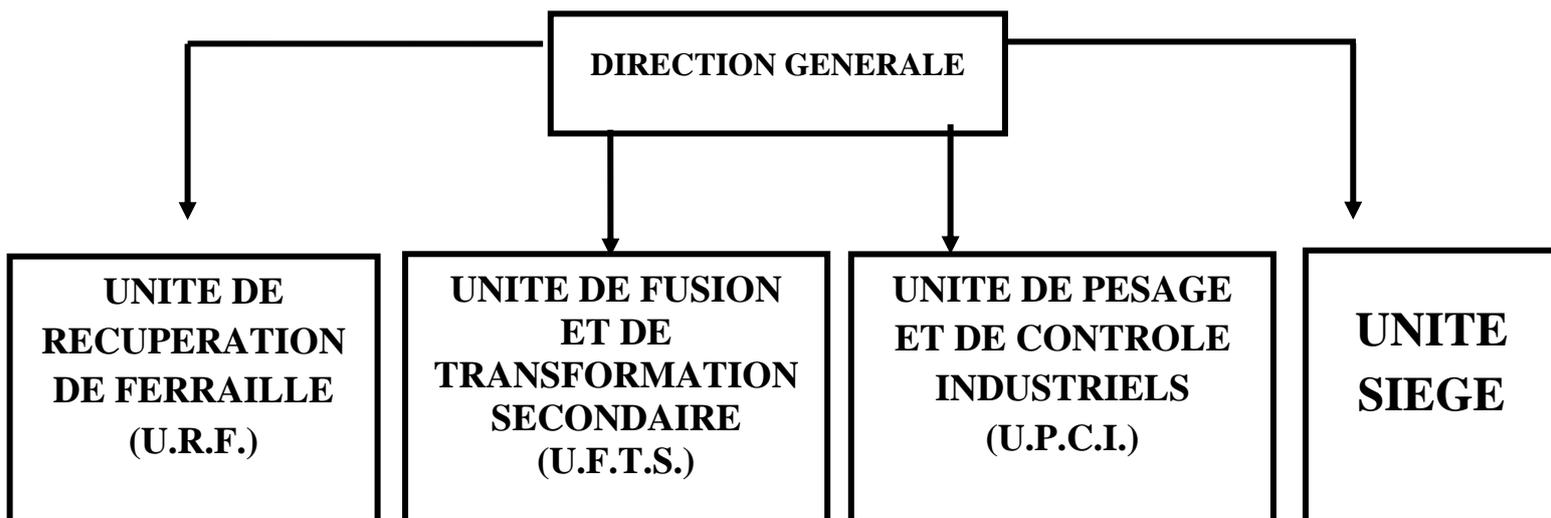


Figure IV.1: Organigramme général.

IV.3. Les activités de l'entreprise traitement de ferraille

Les activités de l'entreprise sont prises en charge par :

IV.3.1 L'unité de Fusion et de Transformation Secondaires UFTS

- Récupération de déchets métalliques non ferreux principalement et ferreux ainsi que non métalliques,
- Traitement de ces déchets par tri, oxycoupage, cisailage et mise en paquet,
- Fusion secondaire pour l'obtention de lingots (plomb, aluminium, laiton),
- Broyage de tout type de câbles électriques sous plastique pour la production de grenaille de cuivre et de déchets PVC.
- Démolition des installations industrielles.
- Approvisionnement régulier en produits issus de la récupération, des différentes entreprises de production (ALZINC, ALGAL, SNVI, TPL, ALFON...), dans le cadre de l'intégration nationale.



Figure IV.2 : *Broyeur de câbles électriques*



Figure IV.3 : *Four de fusion secondaire*



Figure IV.4 : *Lingots de plomb, aluminium, laiton*

IV.3.2 L'Unité Régionale de Ferraille URF

- Récupération de déchets métalliques ferreux principalement et non ferreux
- Traitement de ces déchets par tri, oxycoupage, cisailage et mise en paquets par presses fixes en usine ou mobiles sur chantier,
- Démolition de l'installation industrielle



Figure IV.5: Métal en paquet

IV.3.3 L'Unité de pesage et de contrôle industriels UPCI

- Production d'équipements de pesage et de contrôle industriel :
 - Pont bascule 18x3 & 16x3 type mobile
 - Pont bascule numérique
 - Système de pesage embarqué
 - Portique de surveillance de radioactivité
 - Bascule intégratrice sous bande transporteuse



Figure IV.6: Pont bascule

Durant ces opérations le personnel de l'entreprise subit des accidents ou moins graves, nécessitant arrêt plus ou moins long. Ces accidents sont enregistrés dans un registre sécurité de l'entreprise (voir figure IV.7).

<u>Nom et prénom du travailleur victime de l'accident</u>	<u>Qualifications</u>	<u>Date heure et lieu de l'accident</u>	<u>Durée d'incapacité de travail</u>	<u>Lésions provoquées</u>	<u>Causes et circonstances de l'accident</u>	<u>Filière</u>
xxx	Chauffeur S.R	Le 19/02/2012 à 10h30 Alger	15 jours	Crane+ Rachis cervical	L'agent a perdu connaissance et est tombé face contre des chutes de ferraille.	Transport
xxx	Trieur de métaux	Le 06/03/12 à 10h30 Oran	03 jours	Contusion pied gauche	Au cours d'une manipulation normal. Un morceau de ferraille a chute sur le pied gauche.	Tri des métaux
xxx	Gardien de sécurité	07/09/2012 à 03h00 Oran	10 jours/30 jours	Bassin + Rachis lombaire	En voulant effectuer des travaux en hauteur l'agent a perdu son équilibre.	Sécurité
xxx	Chauffeur S.R	18/09/2012 à 10h00 Oran	05 jours	Flans gauche (dos)+Déchirure Musculaire	En voulant manipuler son cric pour changer la roue, il a senti une douleur au flan gauche.	Transport
xxx	Chauffeur S.R	09/07/14 à 11h00 Oran	10 jours	Contusion + petit hématome au niveau de la rate	Lors du chargement du camion, l'agent a été touché par un morceau de	Transport

Figure IV.7: Registre des accidents de travail de l'entreprise de ferraille

Ces données seraient exploitées pour créer une connaissance sur les conditions dans lesquelles les accidents se produisent et leurs conséquences.

Cette connaissance est formalisée dans un modèle qui représentera graphiquement cette relation entre les causes et conséquences et pourra alors, facilement, être analysée et exploitée.

Pour réaliser ce modèle, plusieurs outils existent, nous utiliseront AgenaRisk déjà exploités dans notre institut.

Dans ce qui suit, on donnera un petit aperçu sur cet outil.

IV.4. Présentation d'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.

IV.4.1 Objectif d'utilisation

AgenaRisk nous permet de réaliser le réseau bayésien afin de calculer automatiquement les probabilités à partir des données statiques ou des expériences vécues.

Il aide à modéliser les risques, à analyser l'incertitude et à prendre de meilleures décisions, combine les avantages des réseaux bayésiens, et permet une simulation statistique et l'analyse de tableau.

IV.4.2. Domaines d'utilisation

IV.4.2.1 Secteur de l'industrie

AgenaRisk a été utilisé par certaines des principales organisations mondiales pour modéliser les risques et améliorer la prise de décision dans une gamme de secteurs industriels, notamment : L'aérospatiale, les banques, la défense, l'énergie et l'environnement, la santé, la technologie, les télécommunications, le transport.

IV.4.2.2. L'approche bayésienne et les problèmes critiques d'entreprise et de sécurité

AgenaRisk a été utilisé aussi par quelques principales organisations mondiales pour obtenir des solutions immédiates à une gamme de problèmes stratégiques d'affaires et de sécurité, notamment: La gestion des projets complexes, le risque opérationnel et la continuité des activités, la prédiction de la durabilité et de la maintenance des systèmes critiques, l'acquisition des actifs militaires critiques, la gestion des projets, la planification stratégique et la prise de décision en matière d'investissement.

IV.4.3 Le 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.

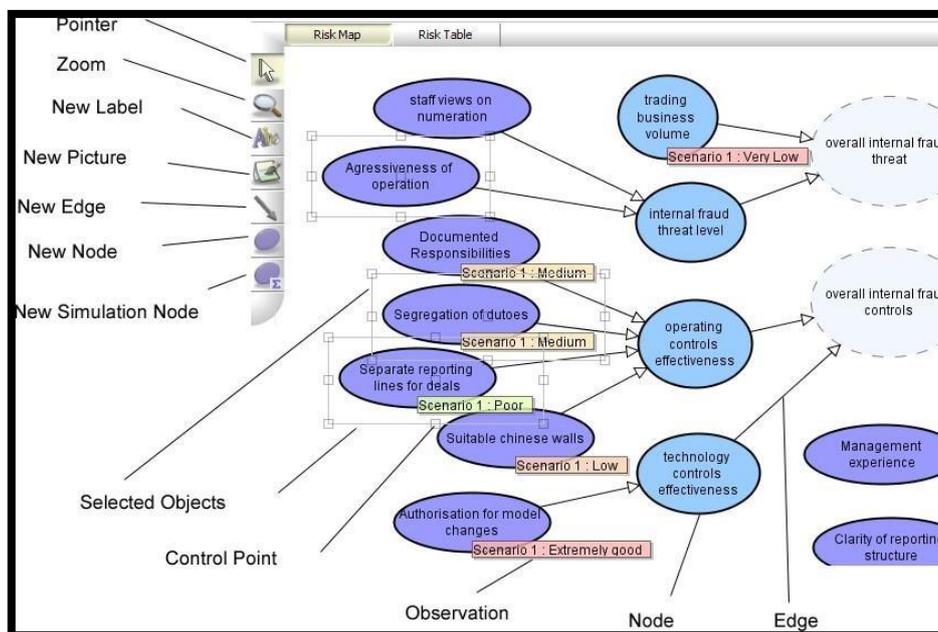


Figure IV.8 : Exemple d'un réseau bayésien présenté sur AgenaRisk

IV.4.3.1 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

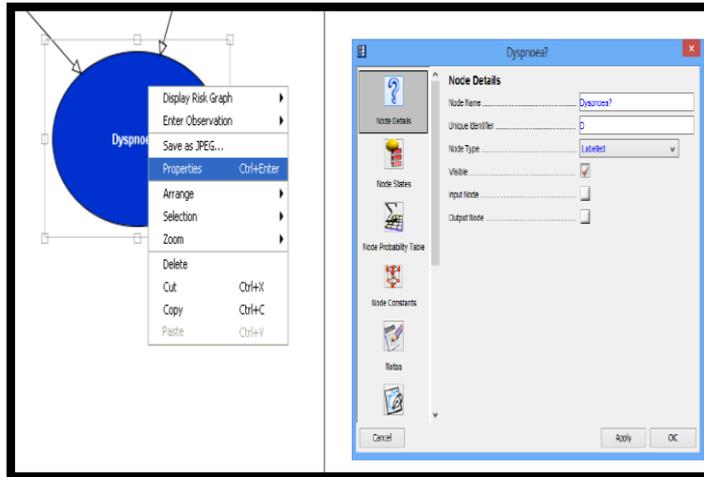


Figure IV.9: L'accès aux propriétés des nœuds sur AgenaRisk

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

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 surExcel
- Les composants du nœud seront identiques avec les données du paramètre sur Excel
- L'extension du fichier Excel soit CSV (point-virgule)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Qualification	Mois	PJ	Duree	Cause_directe	Cause_indirecte	Consequenc	Filliere	
2	Chauffeur	Fevrier	Matin	D	etourdissem	presence_de_tete		Transport	
3	Ouvrier	Mars	Matin	B	Chute_de_matiere	pied		Tri	
4	Gardien	Septembre	Fin	F	etourdissem	Traveaux_en	Bassin	Securite	
5	Chauffeur	Septembre	Matin	C	douleur	manipuler_c	Dos	Transport	
6	Chauffeur	Juillet	Matin	D	presence_de_ferrail		Rate	Transport	
7	Gardien	Octobre	Midi	F	Chute_de_matiere		jambe	Securite	
8	Ouvrier	Octobre	Matin	F	denudeur_e	manque_de	Main	Tri	
9	Chef mainte	Octobre		C	transport_des_bois		pied	Maintenance	
10	Chauffeur	Novembre	Fin	D	renveremen	Desequilibre	tete	Transport	
11	Ouvrier	Fevrier	Matin	F	mauvaise_manoeuvre		main	Tri	
12	Chalumiste	Fevrier	Matin	F	travail_en_hauteur		bras	Travail_au_chalumeau	

Figure IV.10 : Fichier CSV des données

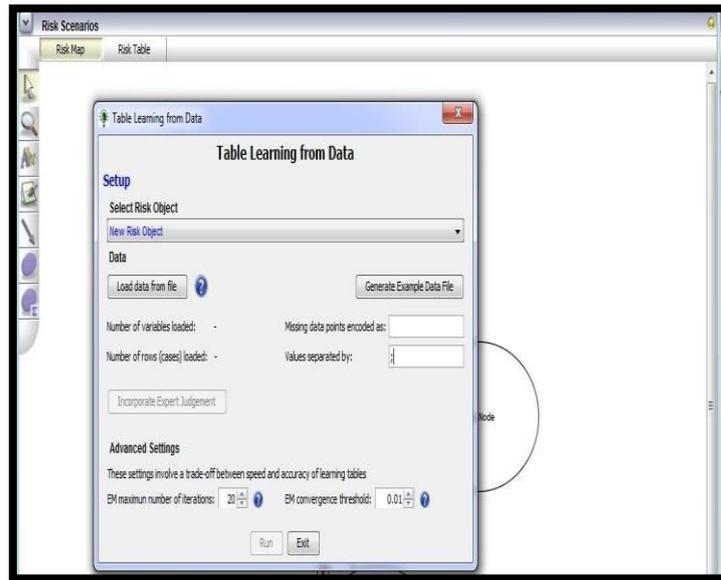


Figure IV.11: Importation d'un fichier Excel sur AgenaRisk

IV.4 .4. Présentation du réseau

Le but de notre étude est l'analyse des risques professionnels en approche quantitative à travers une base de données des accidents de travail.

Le réseau est composé de 8 nœuds repartis autour de l'évènement principale qui est « conséquences ». Nous avons 6 nœuds en amont qui décrivent les conditions de notre nœud principal.

Pour les données en amont:

- Cause direct
- Cause indirect
- Période de la journée
- Moins
- Filière
- Qualifications

Et le nœud principal ou décisionnel :

« Conséquences » : décrivant toutes les conséquences possibles des accidents de travail.

Le nœud déduit aussi est le nœud « Durée » qui donne un aperçu sur l'arrêt de travail que le travailleur a du appliquer pour se rétablir.

La figure suivante montre le réseau réalisé (figure IV.13)

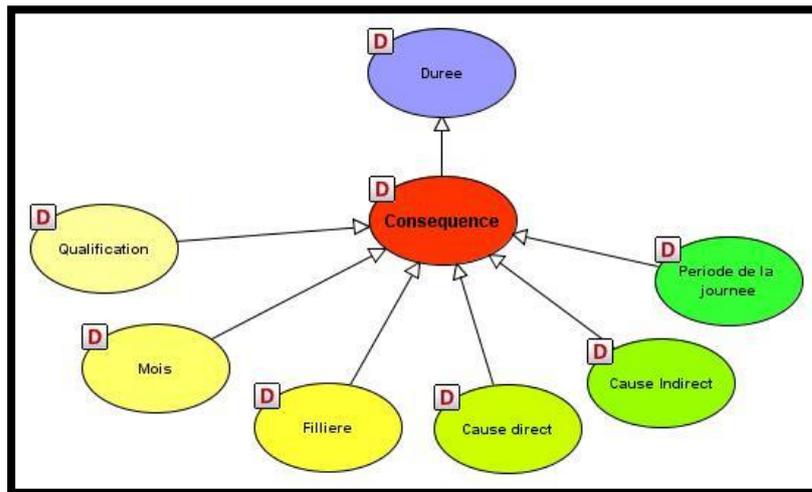


Figure IV.12: Réseau bayésien (cas d'étude)

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) :

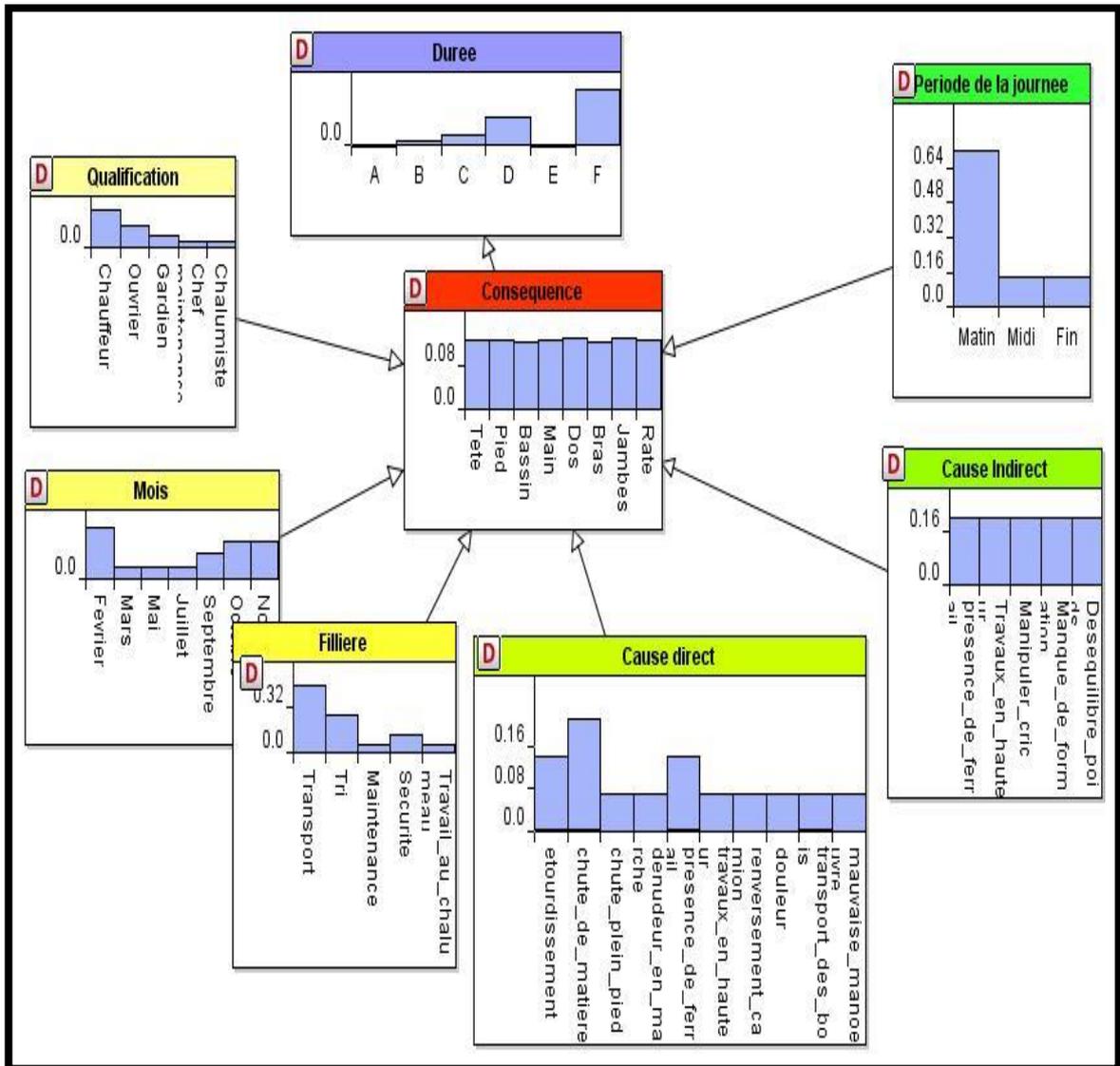


Figure IV.13 : Résultat du réseau bayésien

D'après ce graphe, quelques conclusions peuvent être faites :

- Les chauffeurs sont les plus impliqués dans les accidents
- Ça concerne les activités principalement de transport
- Ces accidents arrivent principalement le matin
- La cause la plus répondu est la chute de matières
- Les accidents les plus fréquents, induisent une durée d'arrêt longue

Nous pouvons créer des scénarios pour analyser certains cas particuliers :

IV.5.1 Premiers scenarios : « Chute de matière »

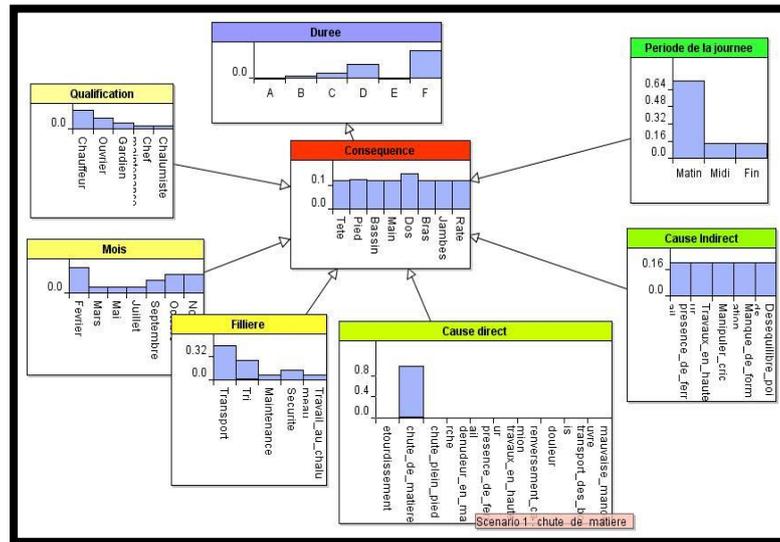


Figure IV.14 : Application de premiers scenarios « Chute de matière » sur le réseau bayésien

Nous avons remarqué que la cause qui a le plus de probabilité de se produire est la chute de matière. Nous allons créer un scénario qui suppose que la chute de matière est validée, pour analyser ses conséquences.

Selon le graphe obtenu, la chute de matière peut provoquer tout type de blessure de la tête au pied, une légère augmentation pour le dos à cause du pied des matières traitées dans cette industrie. Nous avons remarqué aussi que les accidents arrivent principalement le matin et ça concerne tous les travailleurs principalement.

IV.5.2 Deuxième scenario : Le plus long « arrêt de travail »

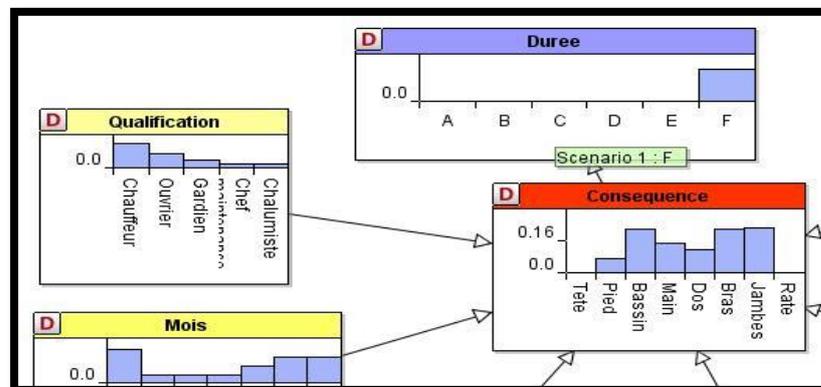


Figure IV.15 : Application du Deuxième scenario la plus long « arrêt F »

Un employeur souhaite préserver au maximum son personnel, assurer la continuité du travail et ainsi éviter les arrêts longs. De ce fait, nous voulons analyser quelle sont les conditions d'un arrêt long, dans notre réseau c'est l'arrêt avec durée = F, en appliquant cette condition nous pouvons remarquer que les chauffeurs peuvent être les plus touchés avec des membres touchés : jambe ou bras ou même de bassin.

IV.5.3 Troisième scénario : Travailleur « Ouvrier »

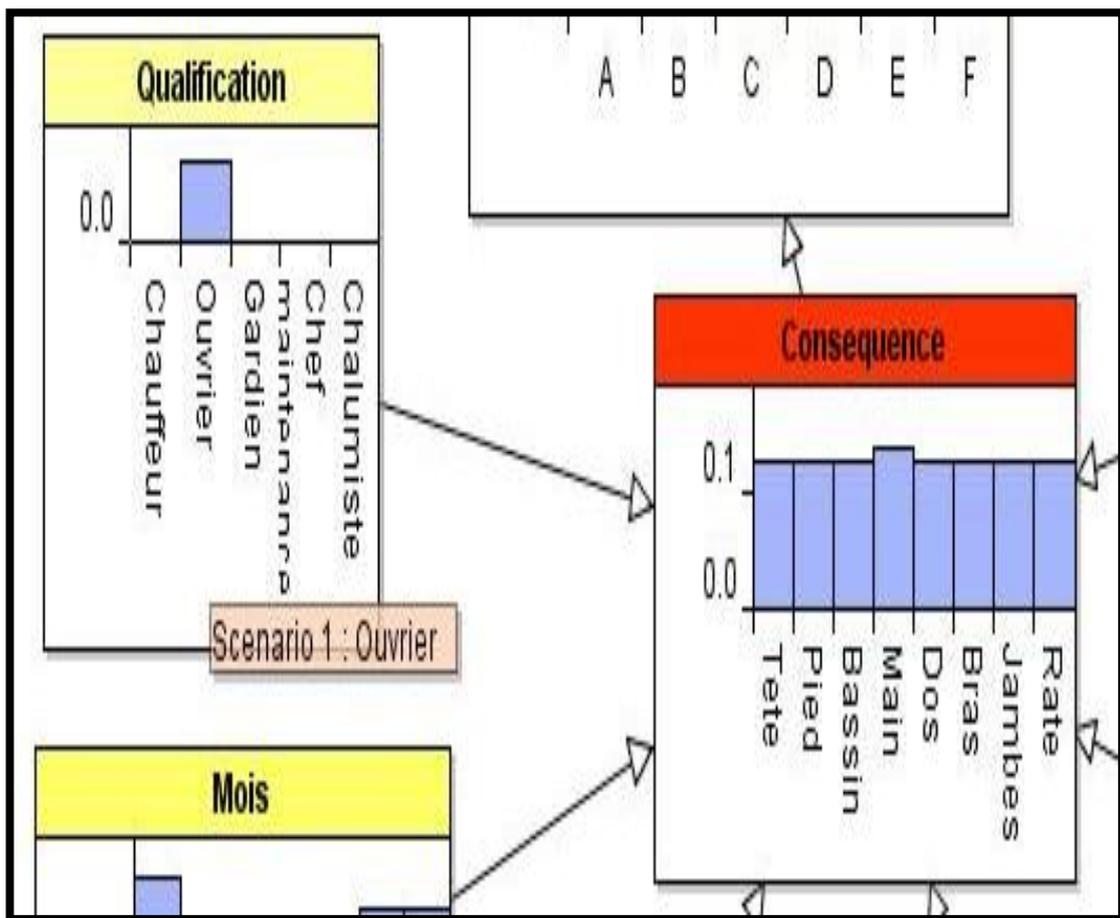


Figure IV.16 : Application du Troisième scénario : Travailleur « Ouvrier »

L'ouvrier se trouve au cœur de la production, pour cela nous avons consacré cette partie de l'étude pour analyser les conditions qui conduisent à des accidents impliquant l'ouvrier.

Nous supposons alors que l'ouvrier est concerné par les accidents, alors nous remarquons qu'il est le plus souvent touché à la main, effectivement car ils travaillent le plus en utilisant leur main.

IV.5.4. Quatrième scénario : Travailleur « Ouvrier » touché à la « Main »

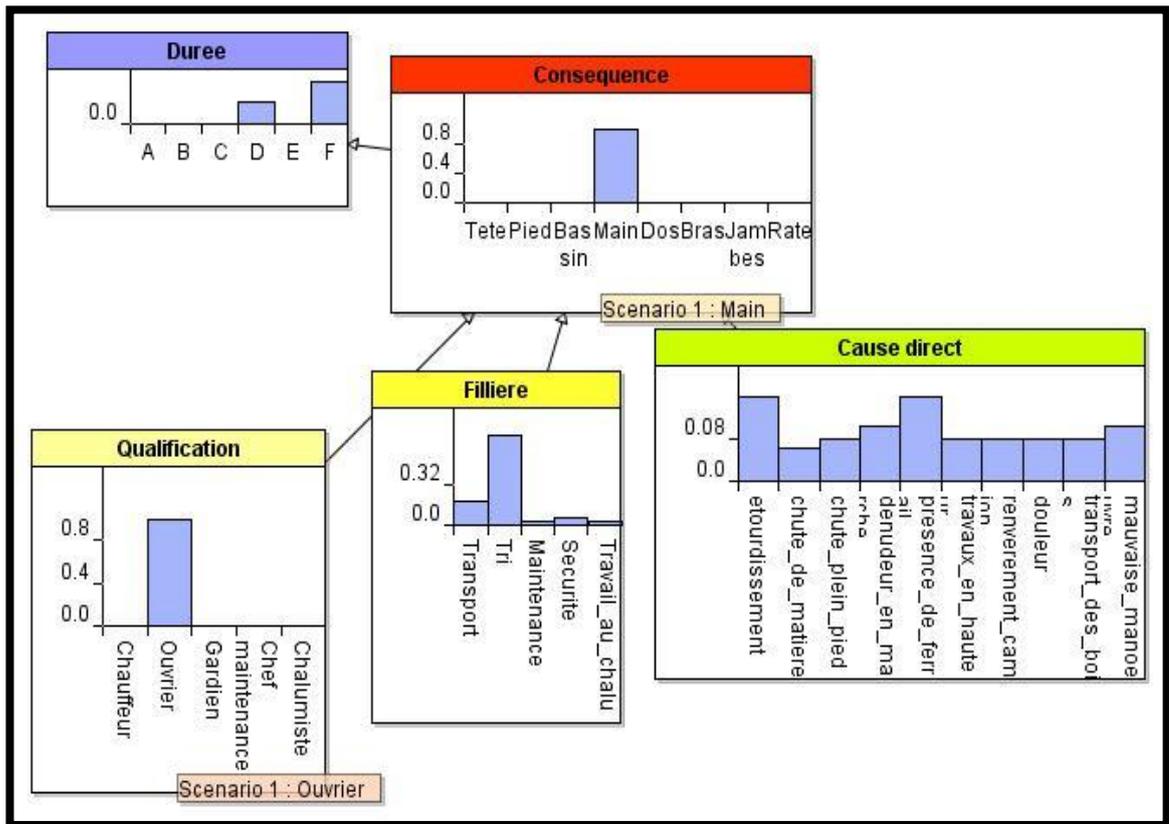


Figure IV.17 : Application du quatrième scénario Travailleur « Ouvrier » touché à la « Main »

Nous supposons alors, que l’ouvrier est touché à la main pour analyser les causes de ces accidents. Ces accidents arrivent lorsque l’ouvrier fait du « tri » en présence de ferraille. Et ça cause des arrêts plus ou moins longs.

IV.5.5 Cinquième scénario : Accident causant blessure au niveau de la « rate »

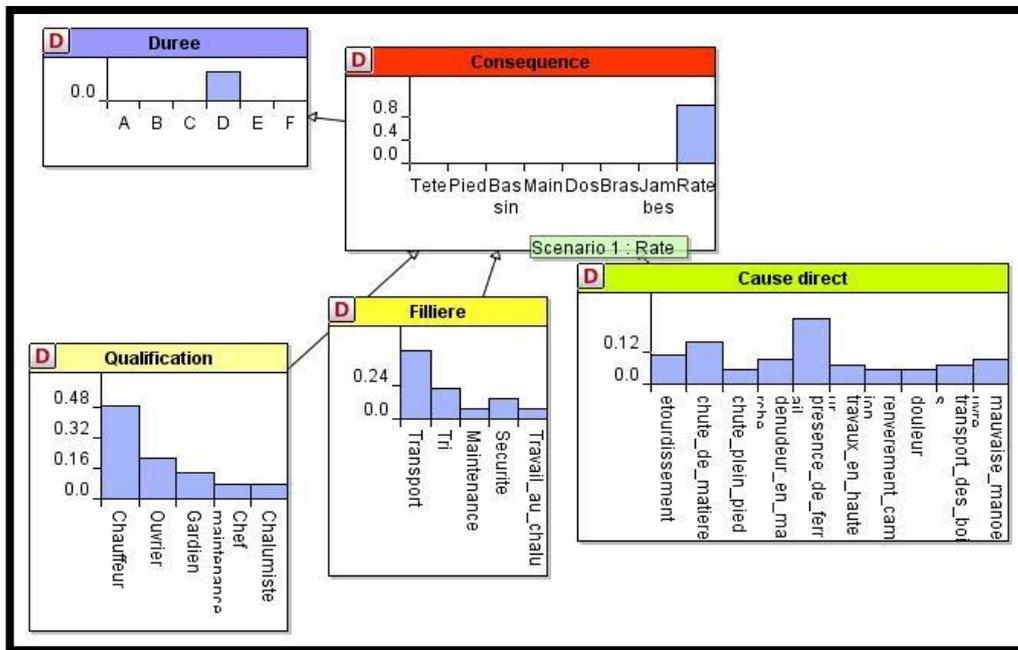


Figure IV.18 : Application du cinquième scénario accident causant blessure au niveau de la « rate »

La rate états un organe vital, nous souhaitons savoir quels sont les conditions qui ont induits cet accident. Et selon ce scénario c'est un accident qui impliquait le chauffeur en transportant la ferraille.

IV. 6 Recommandations

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

- Former, sensibiliser et informer les travailleurs surtout les chauffeurs, car ce sont les plus touchés d'après notre réseau ;
- 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.

IV.7 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 ferraille.

Ce réseau bayésien nous a permis d'appliquer des simulations de quelques scénarios pour comprendre l'origine de certains événements redoutés notamment les conséquences d'accident de travail.

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 traitement de ferraille.

A partir de ces statistiques nous avons réalisé un réseau bayésien sur AgenaRisk, composé de huit nœuds dont « conséquences » 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, les accidents les plus probables sont les accidents de transport, les chauffeurs sont les plus impliqués, avec un arrêt de travail long.

Nous avons proposé aussi cinq scénarios qui sont les plus significatifs. Une analyse des résultats a été faite décrivant les paramètres des différents nœuds pour comprendre l'origine de ces événements. Ensuite, nous avons proposé les recommandations nécessaires afin de réduire le taux d'occurrence des accidents de travail au niveau de cette entreprise en donnant la priorité aux conséquences graves.

Les résultats étaient satisfaisants et encourageant pour l'entreprise afin de continuer sur la lancée et mieux comprendre et gérer ses accidents professionnels. A l'issue de cette analyse et afin de contribuer à l'amélioration de la situation sécuritaire et assurer le bon fonctionnement, des travaux futurs sont en perspective :

- Développer des études d'analyse des risques pour une évaluation de sécurité plus approfondie.
- Meilleure détermination et détaille des données (a priori) voir une meilleure application de la méthode pour que le résultat de l'analyse soit encore plus précis :
 - ❖ retravailler sur les données par exemple les causes, les détailler plus et les hiérarchiser.
 - ❖ détailler par rapport aux sites des accidents, l'endroit exact où a eu l'accident: zone verte, Carrière, installation exacte....etc.
- Suivre l'enquête et fermer le rapport de l'accident pour connaître la source exacte de l'accident.

- Crée une interface conviviale pour que l'outil soit exploité et alimenté par les responsables sécurité de l'entreprise.

Bibliographie

- [1] Margossian. N; «Risques professionnels : caractéristiques ; Réglementation Prévention»2 édition DUNOD ; 2006, 448p.
- [4] ISO/CEI [ISO99]; « Aspects liés à la sécurité : Principes directeurs pour les inclure dans les normes », Organisation internationale de normalisation, IEC GUIDE 51 :1999.
- [5] Tanzi .T& Delmer. F, Ingénierie du risque _ composé par HERMES
SCIENCE PUBLISHING LTD et achevé d'imprimer par l'imprimerie FLOCH A
MOYENNE_AVRIL 2006
- [6] Desroches. A, Ioroy. A, Vallée .F; « La gestion des risques _ principe et pratique»
, 2 ème édition Hermès – Lavoisier, 2007, 298p
- [7] Achouri. N.APPORT DE LA LOGIQUE FLOUE Á L'ANALYSE DE CRITICITÉ
DES RISQUES INDUSTRIELS .mémoire de magistère en hygiène et sécurité industrielle
,Batna, Université El Hadj Lakhdar , Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle, 27
octobre 2009,66pages
- [8] Mémoire online : analyse quantitative des risques industrielle, apporte des technique
floues et possibilités _ 16 aout 2015
- [9] Aurélie L. Contribution à la formalisation unifiée des connaissances fonctionnelles et
organisationnelles d'un système industriel en vue d'une évaluation quantitative des
risques et de l'impact des barrières envisagées. Université Henri Poincaré - Nancy I,
2009.
- [10] Talon. A, Boissier. D, Peyras. L. Analyse de risques : Identification et estimation :
Démarches d'analyse de risques - Méthodes qualitatives d'analyse de risques, Mars 2009
- [11] Vincent. A. méthode d'analyse des risques. Ecole nationale supérieure des mines de
Saint-Etienne, 2012/2013
- [12] Pagetti .B «Module de sûreté de fonctionnement » ENSEEIHT, 3, ème TR, option
SE, 10 décembre 2012

- [15] NAOUAR. F. Algorithme approximatif pour le diagnostic médical basé sur un réseau bayésien possibiliste guidé par ontologie floue .mémoire, université Sousse, 2007
- [16] Embarki. M. Etude comparative entre réseau bayésien et autre méthodes de classification appliqué sur une base cardiologue. mémoire de Master, université Tlemcen, 2012.
- [17] BEN MRAD. A. Observation probabilistes dans les Réseaux Bayésiens .Thèse de DOCTORAT, L'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, juin 2015.
- [18] Naim. P, WUILLEMIN. P, LERAY. PH, et al; « Réseaux bayésiens », livre, 3 édition, Groupe Eyrolles, 2008.
- [19] PARENT.O, EUSTACHE.J. Les Réseaux Bayésiens A la recherche de la vérité. Thèse, Université Claude Bernard Lyon, 2007.
- [20] Bouhamed. H, Rebais .A, Lecroq .T. et al. organisation et optimisation des données pour l'apprentissage de structure d'un réseau bayésien multi-entités .Mémoire, Université de Sfax, Tunisie ,2011.
- [21] Robinson, R.W; « Counting unlabeled acyclic digraphs. Dams Little», C.H.C (Ed.), Combinatorial Mathematics, 1977.
- [22] LERAY. Ph; « Réseaux bayésiens : apprentissage et modélisation de systèmes complexes » Maitre de conférences LITIS-EA4051 Département ASI, INSA de Rouen, november 2006.
- [23] François, O, Leray. PH. Etudes comparatives d'Algorithmes d'Apprentissage de Structure dans les Réseaux Bayésiens. Laboratoire Perception, Systèmes, Information université, Saint-Etienne-du-Rouvray-Cedex , 13juillet 2004.
- [24] Ali Benacer, Z «Etude de fiabilité et de sécurité du poste à poudre ANSUL»
Mémoire master: prévention intervention. Oran: Université d'Oran 2, 2019.

Web graphie

- [13] https://fr.wikipedia.org/wiki/Chaîne_de_Markov (Consulté le 18 juillet 2020)
- [14] https://fr.wikipedia.org/wiki/Réseau_de_Petri
- [2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque_professionnel
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque>