



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 : Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité, Intervention, Prévention

Thème

Réalisation d'une étude de fiabilité par inférence bayésienne

Présenté et soutenu publiquement par :

BELLOUT Rédha

&

MESSAHEL Anes

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme LOUNIS Zoubida	Professeur	IMSI	Président
Mme AISSANI Nassima	MCB	IMSI	Encadreur
Mme HEBBAR Chafika	MCA	IMSI	Examineur

Juin 2017

Remerciements :

*AVANT TOUT, NOUS REMERCIONS DIEU LE
TOUS PUISSANT DE NOUS AVOIR DONNE LA
FOURCE ET LE COURAGE POUR ACCOMPLIR CE
TRAVAIL.*

*NOS SINCERES REMERCIEMENTS ET NOTRE
GRATITUDE VONT D'ABORD A NOTRE
ENCADREUR Mme. Aissani Nassima POUR SON
ORIENTATION DURANT L'ELABORATION DE CE
TRAVAIL.*

*ON TIENT EGALEMENT A REMERCIER TOUS
LES PERSONNEL DE L'USINE LAFARGE CIMENT
OGGAZ.*

*ENFIN, NOUS REMERCIONS AVEC GRATITUDE
TOUT CEUX QUI NOUS ONT AIDE DE PRES OU DE
LOIN A ELABORER NOTRE MEMOIRE DE FIN
D'ETUDE.*

*NOUS REMERCIEMENT EGALEMENT LES
MEMBRES DE JURY D'AVOIR ACCEPTE DE JUGER
CE TRAVAIL.*

ANES / Rédha

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 mon frère : Oussama

En leur souhaitant plus de réussite dans vie

A mes amis Oussama, Islam, Ahmed et Abdelkader

A mon binôme Bellout Rédha

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

Anes Messahel

Dédicaces

Je dédie ce travail a

Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu

Mes sœurs & toute ma famille

Mon copain de chambre Islam

Tous les kabyles de Belgaid et 1000 lits

Mon binôme Anes

La MAIRIE united et tout mes amis

et enfin ceux qui sont présents dans mon cœur

Rédha

Résumé

En intervenant sur les systèmes on peut modifier leur fiabilité, l'évaluation de ces facteurs est liée à des probabilités de fonctionnement (ou de dysfonctionnement) du système. Notre objectif dans ce projet est de démontrer qu'une approche d'analyse quantitative moderne telle l'approche de l'inférence bayésienne adaptée aux outils informatiques 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 dont des données historiques sont disponibles, c'est le cas d'accidents au niveau d'une entreprise de fabrication de ciment. 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.

Summarized

While intervening on the systems one can modify their reliability, the assessment of these factors is bound to probabilities of working (or of dysfunction) of the system. Our objective in this project is to demonstrate that an approach of such modern quantitative analysis the approach of the inference bayésienne adapted to the computer tools of simulation that are capable to answer the most advanced problems of modelling defining the relations between several parameters describing the situations driving to the risks the more dreaded. We experiment this approach on a real case of which historic data are available, it is the case of accidents to the level of an enterprise of cement manufacture. The analysis permitted to describe the likeliest scripts leading to accidents of different degrees of gravity, of this fact of the recommendations have been done to try to attenuate these risks.

Table des matières

Tableau des matières.....	i
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	v
Introduction générale.....	01

Chapitre I

Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques

I.1 Introduction.....	03
I.2 Définition de l'analyse des risques.....	03
I.3 Approche de l'analyse des risques.....	03
I.3.1 Analyse qualitative.....	04
I.3.2 Analyse semi quantitative.....	04
I.3.3 Analyse quantitative.....	05
I.4 Distinction entre méthode inductive et déductive.....	05
I.5 Quelques méthodes quantitatives.....	06
I.5.1 Analyse Préliminaire des Risques.....	06
I.5.2 Processus de Markov.....	07
I.5.3 L'espace des états.....	08
I.5.4 Réseau de Pétri.....	10
I.5.5 Simulation de Monte Carlo.....	11
I.5.6 Nœud de papillon.....	13
I.6 Conclusion.....	17

Chapitre II

La méthode bayésienne

II.1 Introduction.....	18
II.2 Fondement théorique.....	18
II.2.1 Des probabilités inverses comme définition de la statistique.....	18
II.2.2 Des notions d'a priori et d'a posteriori, et sur l'illusion des paramètres aléatoires.....	19
II.2.3 Une justification par le principe de vraisemblance.....	20
II.3 Définition de la méthode bayésienne.....	22
II.4 Axiomatique des probabilités.....	22
II.4.1 Définition des probabilités.....	22
II.5 Principe de l'inférence des paramètres en statistique bayésienne.....	24
II.5.1 Information a priori.....	25
II.5.2. Lois a priori.....	26
II.5.3 Théorème de Bayes.....	26
II.5.4 La distribution a posteriori.....	28

II.6 Lois conjuguées.....	28
II.7 Conclusion.....	31

Chapitre III

L'étude de cas

III.1 Introduction.....	32
III.2 Présentation de LAFARGE Ciment Oggaz (LCO).....	32
III.3 Situation géographique.....	33
III.4 Définition du ciment.....	33
III.5 Composition du ciment.....	34
III.6 Processus.....	35
III.6.1 Extraction et concassage.....	35
III.6.2 Le broyage et séchage.....	36
III.6.3 Le préchauffage et la cuisson.....	37
III.6.4 Le stockage du clinker et le broyage du ciment.....	37
III.6.5 Le stockage et les expéditions.....	38
III.7 Classification des différents types des risques de la cimenterie LCO et les causes liées.....	38
III.7.1 Risques de chute	38
III.7.2 Risques liés à la manutention manuelle	39
III.7.3 Risques liés à la manutention mécanique	40
III.7.4 Risques liés aux circulations et aux déplacements	40
III.7.5 Risques liés aux effondrements et de chutes d'objets	41
III.7.6 Risque d'incendie et/ou d'explosion	41
III.7.7 Risques liés à l'électricité	41
III.7.8 Risques liés aux machines et aux outils	42
III.7.9 Risques liés au bruit	42
III.7.10 Risques liés aux vibrations	42
III.7.11 Risques liés à l'organisation du travail	43
III.8 Conclusion.....	43

Chapitre IV

Réalisation de modèle bayésien

IV.1 Introduction.....	44
IV.2 Définition de réseau bayésien.....	44
IV.3 Présentation de AgénaRisk.....	45
IV.3.1 Objectif d'utilisation.....	45
IV.3.2 Domaine d'utilisation.....	45
IV.3.2.1 Secteur de l'industrie.....	45
IV.3.2.2 Problèmes critiques d'entreprise et de sécurité.....	46
IV.3.3 Le mode d'utilisation d'AgénaRisk.....	46
IV.3.3.1 Propriétés des nœuds.....	47
IV.4 Analyse de réseau.....	50

IV.5 Recommandations.....	56
IV.6 Conclusion.....	57
Conclusion générale.....	58
Références bibliographiques.....	60

Liste des figures

Figure I.1: Exemple élémentaire de chaîne de Markov, à deux états A et E.....	7
Figure I.2 : Graphe d'état.....	9
Figure I.3: Exemple d'un réseau de Petri <i>Place-Transition</i>	11
Figure I.4 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon	14
Figure II.1 : Définition fréquentiste d'une probabilité.....	23
Figure II.2: Principe de la méthode bayésienne.....	24
Figure III.1: plan de situation.....	33
Figure III.2: fabrication de ciment.....	35
Figure III.3: abattage et transport du calcaire.....	36
Figure III.4: Concassage et pré homogénéisation.....	37
Figure III.5: Préchauffage et cuisson de la farine.....	37
Figure III.6: refroidissement et broyage du clinker.....	38
Figure III.7: Le stockage et les expéditions du ciment.....	38
Figure IV.1: Exemple d'un réseau bayésien.....	45
Figure IV.2: exemple d'un réseau bayésien présenté sur AgenaRisk.....	46
Figure IV.2: exemple d'un réseau bayésien présenté sur AgenaRisk.....	47
Figure IV.4: Importation d' un fichier Excel sur AgenaRisk.....	48
Figure IV.5: Réseau bayésien.....	49
Figure IV.6: Résultat du réseau bayésien	50
Figure IV.7: application des scénarios sur le réseau bayésien.....	51
Figure IV.8: résultat de deuxième scénario.....	53

Liste des tableaux

Tableau I.1: Légende des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon....	16
Tableau II.1 Exemple de lois conjuguée.....	29
Tableau IV.1 : Résultat de premier scénario.....	51
Tableau IV.2 : Résultat de deuxième scénario.....	52
Tableau IV.3 : Résultat de troisième scénario.....	53
Tableau IV.4 : Résultat de quatrième scénario.....	54
Tableau IV.5 : Résultat de cinquième scénario.....	55
Tableau IV.6 : Résultat de sixième scénario.....	56

Introduction générale

Le fondement de la théorie bayésienne est basé sur les probabilités conditionnelles, connu sous le nom du théorème de Bayes. La démarche de la statistique bayésienne s'est distinguée de celle de la statistique classique par le fait qu'elle représente l'incertitude portant sur le paramètre modelé par une distribution de probabilité conditionnellement à un état de connaissance de l'analyste.

La méthode bayésienne est une méthode quantitative d'analyse des risques qui permette à 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, leurs origines et leurs conséquences.

Dans ce mémoire cette méthode sera appliquée sur la cimenterie LCO (Lafarge Ciment Oggaz) 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 cimenterie au cours des cinq dernières années (2011 - 2016) a fin de pouvoir réaliser un réseau bayésien et analyser les résultats.

La réalisation du réseau, les calculs de probabilité et la simulation des scénarios ont été réalisés sur le logiciel AgenaRisk

Ce mémoire est organisé comme suit:

Dans le premier chapitre, nous présentons quelques définitions et propriétés de l'analyse des risques. Ce chapitre comprend également une représentation des méthodes quantitatives les plus connues.

Dans le deuxième chapitre, une présentation de la méthode bayésienne, son fondement théorique et le principe d'inférence.

Dans le troisième chapitre, une identification du cas d'étude, classification des différents types de risque présent et les causes liées.

Le dernier chapitre est consacré pour l'application de la méthode bayésienne, nous avons donc réaliser le réseau bayésien sur AgenaRisk, simuler des scénarios et analysé les résultats pour comprendre l'origine de l'événement redouté.

I Méthodes quantitatives pour l'analyse des risques

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

I.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 ». [1]

Elle vise tout d'abord a 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 existantes en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection).

I.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. [2]

Elle peut être caractérisée par les concepts suivants :

. **La fiabilité** elle est généralement mesuré par la probabilité qu'un événement E accomplisse une fonction requise, dans des conditions données, pendant l'intervalle de temps. [2]

. **La disponibilité** aptitude a être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et a un instant donné ,elle est généralement mesuré par la probabilité qu'un événement soit en état d'accomplir une fonction requise, dans des conditions données, a un instant t. [2]

. **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 prescrit, soit achevée au temps t, sachant que le système est défaillant au temps t. [2]

. **La sécurité** aptitude a éviter de faire apparaitre dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophique, elle est généralement mesurée par la probabilité qu'un système évite de faire apparaitre dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. [2]

I.3.1 Analyse qualitative :

L'analyses qualitatives traitent essentiellement de la nature de la gravité des risque. [3]

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.

I.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 finale du risque est obtenu moyennant différentes méthodes.

L'approche d'évaluation de la criticité est dite semi quantitative, dans le sens ou les probabilité de défaillance et les conséquences qui ont décolorés sont classés dans les catégories dont les critères sont exposés a l'exploitant [4]

I.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 sociétales 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.[5]

I.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. [3]

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. [3]

I.5 Quelques méthodes quantitatives

I.5.1 Analyse Préliminaire des Risques (APR):

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

A partir de ces éléments dangereux l'APR vise à identifier pour un élément dangereux une ou plusieurs situation 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 situation de danger identifiées puis identifier les sécurités existantes sur le système étudié. Si ces dernières sont jugées insuffisants vis-à-vis du niveau de risque identifié dans la grille de criticité, des propositions d'amélioration doivent alors être envisagées. [6]

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 terme 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 [6]

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. [10]

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. [7]

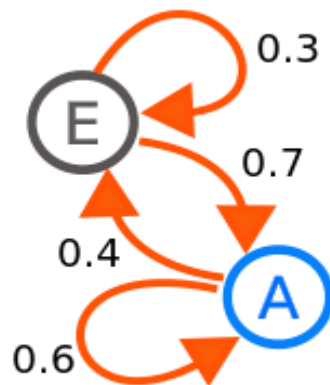


Figure I.1 :Exemple élémentaire de chaîne de Markov, à deux états A et E [10]

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 globale.

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 à 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. [7]

I.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. [7]

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 mises 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. [7]

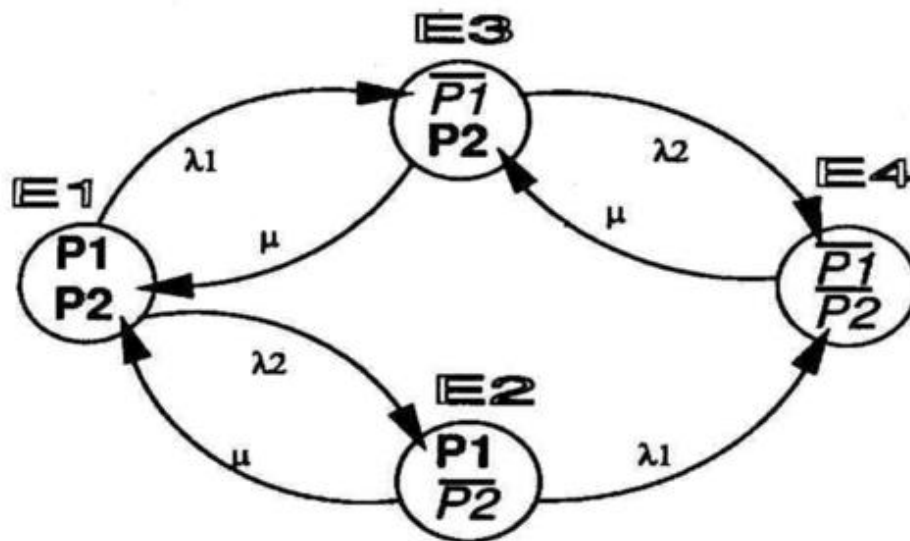


Figure I.2 :graphe d'état [7]

Ce graphe d'état 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 P_1, \bar{P}_1, P_2 et \bar{P}_2 indiquent l'état des composants considérés C1 ou C2, pour un état du système P_1 correspond au fonctionnement du composant C1. \bar{P}_1

signifie le dysfonctionnement du composant C1. De même $P2$ et $\bar{P}2$ désignent respectivement le fonctionnement et le dysfonctionnement du composant C2.

Les taux de transition notés λ_1 et λ_2 désignent respectivement le taux de transition de l'état $P1$ à l'état $\bar{P}1$, et le taux de transition de l'état $P2$ à l'état $\bar{P}2$

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 croît de manière exponentielle avec le nombre d'éléments du système.

I.5.4 Réseau de Petri :

Le réseau de Petri 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 Petri. [8]

Les réseaux de Petri 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 Petri 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 Petri 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. [9]

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».

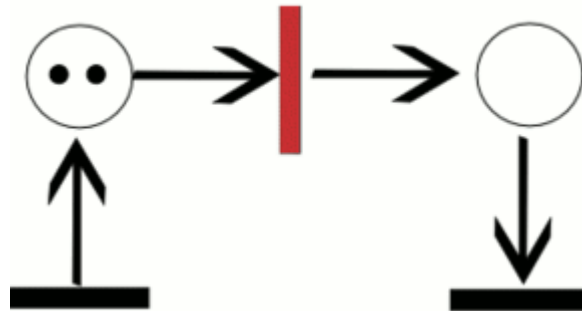


Figure I.3:Exemple d'un réseau de Petri *Place-Transition* [11]

composé 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.

I.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.

I.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. [6]

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. [6]

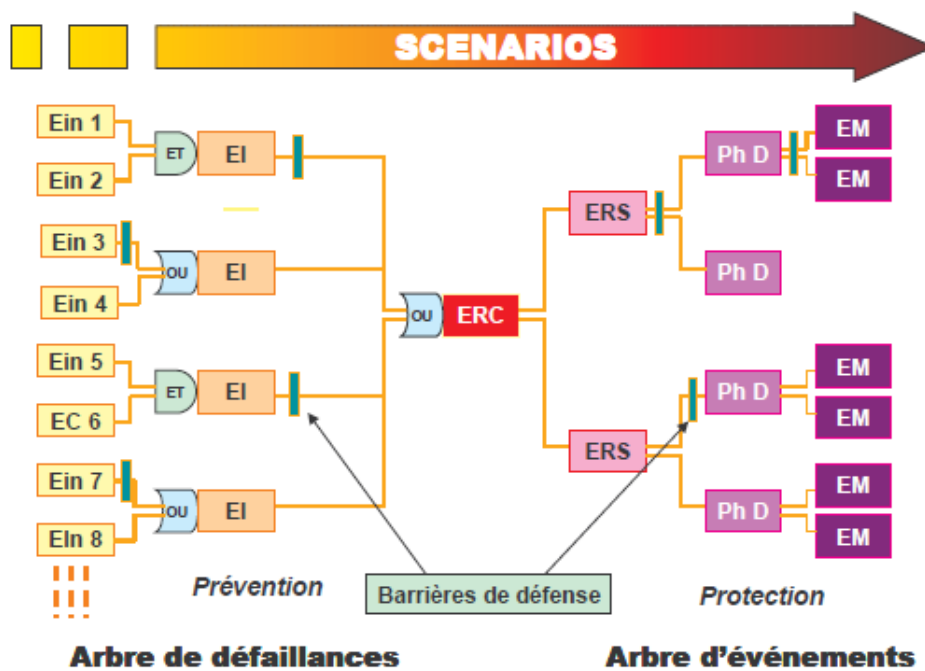


Figure I.4 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon. [6]

Désignation	Signification	Définition	exemple
EIn	Evénement indésirable	Dérivé ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelle définies	Le sur remplissage ou départ d'incendie a proximité d'un équipement
EC	Evénement courant	Evénement admis survenant de façon récurrente dans la vie	Les actions de test, de maintenance ou

		d'une installation	généralement des événements courants.
EI	Événement initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique	La corrosion, l'érosion, les agressions mécaniques, une montée en pression sont généralement des événements
ERC	Événement redouté central	Perte de confinement sur un équipement 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
ERS	Événement redouté secondaire	l'événement redouté secondaire caractérise le terme	Formation d'une flaque ou d'un nuage lors d'un rejet d'une substance diphasique source de l'accident
Ph D	Phénomène dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs	Incendie, Explosion, Dispersion d'un nuage toxique
EM	Effets majeurs	Domages occasionnés au niveau (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un	Effets létaux ou irréversibles sur la Synergies d'accident dangereux

		phénomène des éléments vulnérables population	
Barrières ou mesures de prévention	Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement ou	Peinture anticorrosion, Coupure Prévention automatique des opérations de 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 physique	Vannes de sectionnement automatiques asservies à une détection (gaz, pression, débit), Moyens d'intervention...	

Tableau I.1: Légende des évènements figurant sur le modèle du noeud papillon [6]

Déroulement :

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

S'agissant d'un outil relativement lourd a mettre en place, son utilisation est généralement réservée a des évènements 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 a la suite d'une première analyse des risques menée a l'aide de méthodes plus simple comme l'apr ou l'hazop par exemple. [5]

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. [6]

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés les méthodes d'analyse des risques les plus connues et leurs classification selon leurs gravité et leurs 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 objectif fixés, l'identification des types d'accidents avec leurs fréquence, et les scénarios d'accident, de faire des choix avec des priorités sur les efforts a faire pour diminuer les risque et leurs effets.

II La méthode bayésienne

II.1 Introduction :

La statistique bayésienne est une théorie concurrente à la statistique dite classique, en ce sens que chacune d'elles propose vis-à-vis d'un même problème une approche et une résolution complètement différentes

Dans ce deuxième chapitre une présentation de la méthode bayésienne sera faite.

II.2 Fondement théorique :

En 1763, était publiée à titre posthume une lettre intitulée *An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances*. [12] Son auteur, le révérend et mathématicien anglais Thomas Bayes (1702-1761), y démontrait un théorème fondamental en théorie des probabilités.

Un peu d'histoire sur le développement de la spécialité bayésienne, des origines naturelles, et au renouvellement modélisateur :

II.2.1 Des probabilités inverses comme définition de la statistique :

Le concept de "statistique bayésienne" part du néologisme "bayésien", tiré du nom de Thomas Bayes, qui introduisit le théorème qui porte à présent son nom dans un article posthume de 1763, il y a 250 ans. Ce théorème exprime une probabilité conditionnelle en termes des probabilités conditionnelles inverses.

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

Ce qui a valu à la statistique bayésienne d'être appelée probabilités inverses pendant plus d'un siècle, de Laplace (1812) à Keynes (1920), avant que Fisher n'introduise le terme "bayésien" (Fienberg, 2006). Bien que la formule (ou théorème) de Bayes soit une conséquence directe de la définition des probabilités conditionnelles, son application à des problématiques statistiques, où une observation x dépend d'un paramètre inconnu θ est effectivement appropriée, au sens où le contexte inverse ce qui est connu et ce qui est inconnu.

Effectuer l'inversion pour obtenir l'information contenue dans x à propos de θ conduit à définir la loi a posteriori, loi conditionnelle de θ sachant x . [13]

II.2.2 Des notions d'a priori et d'a posteriori, et sur l'illusion des paramètres aléatoires :

Pour que cette loi a posteriori soit définie, le modèle doit non seulement contenir une loi des observations, de densité $f(\mathbf{x}; \theta)$ ou $f(\mathbf{x} | \theta)$ mais aussi une loi de probabilité sur le paramètre θ , de densité $\pi(\theta)$ et appelée loi a priori. Dans ce cas, la loi a posteriori s'obtient par la formule de Bayes,

$$\pi(\theta/\mathbf{x}) = \frac{f(\mathbf{x}/\theta)\pi(\theta)}{\int_{\theta} f(\mathbf{x}/\theta)\pi(\theta)d\theta}$$

Dans ce contexte, où θ est traité comme une variable aléatoire, la loi des observations apparaît comme une loi conditionnelle à la valeur du paramètre, plutôt que comme une loi indicée par θ comme dans l'approche classique.

Cette distinction entre paramètre inconnu (mais fixe) et paramètre aléatoire peut à la fois paraître fondamentale et sembler condamner l'approche bayésienne comme inappropriée vis-à-vis de la compréhension moderne élaborée par Kolmogorov et ses successeurs de la notion de probabilité. La distinction faite entre probabilité comme stabilisation des fréquences (loi des grands nombres) et probabilité comme quantification d'un degré d'incertitude met en lumière l'imprécision et la subjectivité liées à la seconde approche. C'est certainement la perspective qu'adopta Fisher très rapidement dans sa carrière et la raison de sa querelle avec Jeffreys au cours des années 1930 (Robert et al. 2009). Bien que fondée elle-aussi sur la notion de vraisemblance, $l(\theta/\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}/\theta)$ qui reflète également un principe d'inversion, l'approche de Fisher refuse l'interprétation de $f(\mathbf{x} | \theta)$ comme densité conditionnelle et la potentialisation de θ . Il est cependant abusif de faire de cet aspect de l'analyse bayésienne autre chose qu'une source de discussion philosophique. En effet, le passage de la notion de paramètre inconnu à la notion de paramètre aléatoire est incompatible avec la plupart des expériences en particulier dans les sciences physiques. La modélisation statistique suppose au contraire l'existence d'un paramètre fixe θ , sur lequel elle vise à obtenir une information aussi précise que possible. Cependant, ce que propose l'approche bayésienne se situe dans un autre plan qui ne remet pas en cause cette modélisation de la réalité. La loi a posteriori est utilisée comme un nouvel et efficace outil de résumé de l'information disponible sur θ , sans véritablement remettre en cause l'existence de ce paramètre inconnu et non

aléatoire. En d'autres termes, la loi a posteriori est un outil de représentation de l'information disponible sur θ une fois les observations obtenues, elle reflète l'incertitude inhérente aux données et à l'expérimentateur plutôt qu'un aléa physique sur ce paramètre.

Cette distinction entre outil de représentation et véritable aléa a presque causé l'extinction de l'approche bayésienne lorsque, au tournant du siècle, et comme dans de nombreuses autres branches des mathématiques, Kolmogorov et ses collègues probabilistes ont formalisé la théorie des probabilités. Il devenait alors difficile de donner un sens mathématique à la loi a priori si elle ne correspond pas à un véritable phénomène aléatoire mais plutôt à une traduction de ce que l'expérimentateur est prêt à parier sur les valeurs possibles du paramètre.

Cet aspect subjectif de la loi a priori, résultant du choix de l'expérimentateur, peut apparaître comme un élément réducteur de la perspective bayésienne, mais il permet de refléter les informations (et leur degré d'imprécision) dont dispose cet expérimentateur et donc conduit à une inférence plus précise et plus riche, de ce fait. Que deux expérimentateurs adoptent deux lois a priori différentes ne devrait pas porter plus à critique que le fait que deux expériences (donc deux séries d'observations différentes) conduisent à des fonctions de vraisemblance différentes. Il est fondamental d'observer que l'approche bayésienne ne dispose pas d'une seule loi a priori, une sorte de Graal qu'il conviendrait d'obtenir après de longues recherches. Cette vision, souvent observée dans la littérature appliquée, est du même ordre que celle qui attribue au paramètre θ un véritable caractère aléatoire. (Bien entendu, dans certains contextes comme ceux des modèles à effets aléatoires ou de la prévision, certaines composantes de θ sont effectivement considérées comme aléatoires, mais elles le sont aussi dans l'approche classique de ces modèles.) Dans l'approche bayésienne, comme dans la plupart des autres écoles de statistique, parler de la "vraie" valeur du paramètre fait sens.[13]

II.2.3 Une justification par le principe de vraisemblance :

Tandis que la vision de Fisher, fondée sur la vraisemblance, n'admet pas une extension vers une modélisation bayésienne, il existe un principe de vraisemblance, formalisé par Birnbaum (1962), dont découle comme implémentation première la méthodologie bayésienne. Bien que ce principe soit régulièrement remis en cause

(Mayo, 2010), il sous-tend suffisamment cette approche pour que nous le rappelions brièvement ici.

Le principe de vraisemblance impose à deux séries d'observations x_1 et x_2 sur le même paramètre θ avec des fonctions de vraisemblance proportionnelles, donc telles que, pour tout θ , $l(\theta/X_1) \propto l(\theta/X_2)$ de conduire à la même inférence sur ce paramètre θ . Cette situation se produit par exemple lorsqu'on compare un échantillonnage binomial, $m \sim \text{Bin}(n, p)$, à un échantillonnage binomial négatif, $n \sim \text{Neg}(m, p)$. Le nombre d'essais total n et le nombre de succès m sont les mêmes, mais l'aléa portant sur deux parties différentes, les fonctions de vraisemblance sont proportionnelles,

$$l_1(P/n) = \binom{n}{m} p^m (1-p)^{n-m} \\ \propto \binom{n-1}{m-1} p^m (1-p)^{n-m} = l_2(p/m)$$

Bien que cet exemple puisse paraître très artificiel, il sous-tend la classe des problèmes de règles d'arrêt, où un échantillon (x_1, \dots, x_n) est de taille n aléatoire, la loi de n ne dépendant pas du paramètre θ . Le principe de vraisemblance implique alors qu'une inférence distinguant un échantillon (x_1, \dots, x_n) iid d'un échantillon (x_1, \dots, x_n) produit par une règle d'arrêt contredit le principe de vraisemblance. Plus généralement, des méthodologies fondées sur des propriétés fréquentistes comme les p -values ne s'accordent pas avec ce principe. Birnbaum (1962) a démontré que le principe de vraisemblance découle logiquement de la conjonction de deux principes, le principe de conditionnalité et le principe d'exhaustivité, à savoir que, (i) si deux expériences sont possibles pour mesurer θ , seule compte l'expérience effectivement réalisée, et que (ii) l'inférence ne doit dépendre que des statistiques exhaustives. Comme le discutent Berger and Wolpert (1988), la mise en œuvre du principe de vraisemblance conduit naturellement à une construction bayésienne (qui ne dépend effectivement que de la fonction de vraisemblance), même s'il existe des méthodologies alternatives (comme le test du rapport de vraisemblance) respectant le principe de vraisemblance et couvrant certains aspects de l'inférence. [13]

II.3 Définition de la méthode bayésienne:

La méthode bayésienne permet de déduire la probabilité d'un événement à partir de celles d'autres événements déjà évalués. Elle s'appuie principalement sur le théorème de Bayes. [14]

La formule de Bayes porte sur la notion de probabilité conditionnelle, elle permet d'actualiser la probabilité **a priori** d'un événement A, en fonction d'une nouvelle information B et d'obtenir ainsi la probabilité **a posteriori** de A. D'une façon générale

Dans ce type d'inférence, on actualise la probabilité d'une hypothèse P(H) en fonction d'une nouvelle information D, ce qui donne lieu à la probabilité P(H|D). Dans cette perspective, la formule de Bayes décrit comment on révisé la possibilité d'une hypothèse ou d'une croyance en fonction de nouvelles informations. Ce mode d'inférence caractérise de nombreuses situations pratiques : le diagnostic médical, la décision juridique, la recherche scientifique, etc.

Dans le cadre inférentiel, on note la formule de Bayes :

$$P(H|D) = \frac{P(D|H) P(H)}{P(D)}$$

P(H) est le degré de croyance initial dans l'hypothèse H (cette information est le priori).

P(H|D) est la plausibilité de l'hypothèse H suivant les données D.

P(D|H) est la vraisemblance des données D dans l'hypothèse H.

Le cadre bayésien se présente donc comme une théorie formalisée de l'apprentissage par l'expérience.

II.4 Axiomatique des probabilités

II.4.1 Définition des probabilités

Il existe 3 définitions de la probabilité

- Définition classique, dénombrement

- Définition fréquentielle
- Définition bayésienne, ou « subjective »

II.4.1.1 Première définition: classique

Rapport du nombre de cas favorables (**K**) sur le nombre de cas possibles (**m**) :
 $\Pr(A)=k/m$.

Exemple classique des jeux de cartes. [15]

II.4.1.2 Deuxième définition : fréquentielle

La probabilité d'un événement **A** est la fréquence d'apparition de l'événement **A** observée sur une grande série d'épreuve aléatoire.

Démonstration empirique de la définition fréquentielle soit une série de 1000 lancers d'une pièce de monnaie équilibrée. [15]

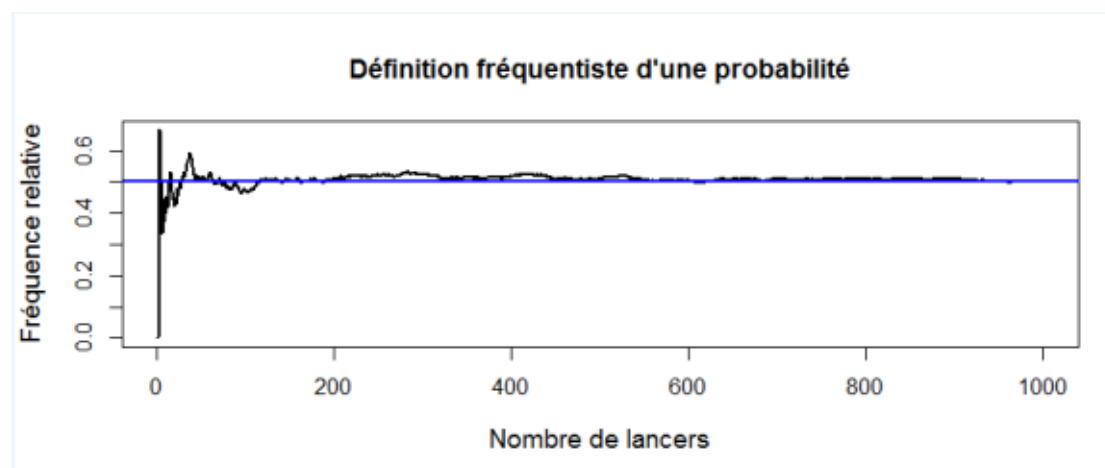


Figure II.1 : Définition fréquentiste d'une probabilité

II.4.1.3 Troisième définition : définition bayésienne

La probabilité d'un événement **A** est le degré de « croyance » accordée à la véracité de **A**. [15]

Limites et avantages :

- définition subjective mais d'application très générale : généralise la définition fréquentielle

- englobe l'incertitude sur l'aléatoire (pile ou face) et l'incertitude sur une affirmation (la pièce est truquée, telle théorie est vraie)

Prendre en compte à la fois le retour d'expérience objectif et les connaissances « a priori » plus subjectives (avis d'expert, etc...) pour évaluer la probabilité des événements dans le futur, est la caractéristique de la démarche bayésienne.

Le principe de la démarche bayésienne se résume comme suit :

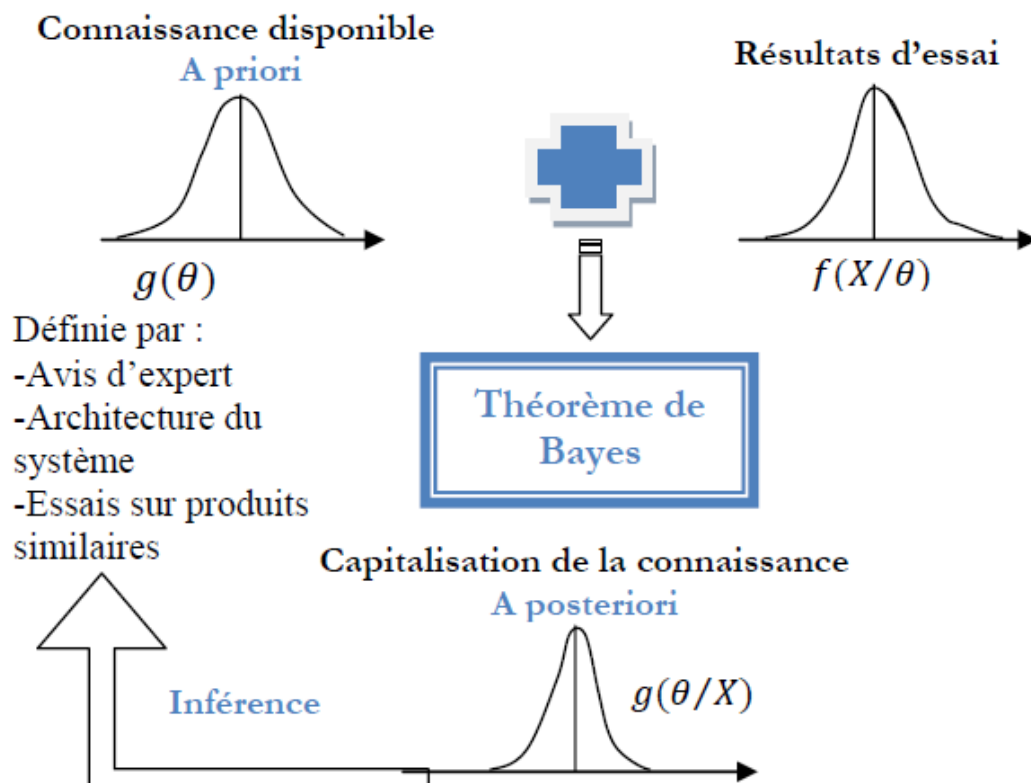


Figure II.2: Principe de la méthode bayésienne. [16]

II.5 Principe de l'inférence des paramètres en statistique bayésienne :

l'inférence des paramètres consiste à déterminer la densité de probabilité conjointe des grandeurs inconnues à partir de toute l'information disponible sur les paramètres apportées sur les données.

Cette remarque connue sous le nom de "principe de vraisemblance" qui exige que l'information x sur les paramètres θ est essentiellement contenue dans la fonction de vraisemblance $l(\theta/x)$.

L'inférence repose donc sur les notions de distribution conjointe et conditionnelles qui sont l'essence des méthodes bayésiennes. [17]

Les étapes de réalisation d'une démarche Bayésienne :

- **Choix d'un modèle relatif aux données:** distribution conditionnelle. La distribution conditionnelle appartient à une famille de loi de probabilité (P).
- **Détermination d'une loi de distribution à priori** du paramètre de la loi conditionnelle. pour intégrer des données subjectives . Elle est établie sur des connaissances qu'on a sur le matériel étudié: essai antérieur sur matériel similaire, avis d'experts, retour d'expérience, enquête... (D|P)
- **Obtention de la distribution à posteriori** par application du théorème de Bayes qui permet de combiner l'information subjective et l'information objective contenue dans l'échantillon $L(P|D)$
- **Estimation du paramètre de fiabilité étudiée** (taux de défaillance..) déduite de la distribution à posteriori (l'estimateur) avec un intervalle de crédibilité.

II.5.1 Information a priori :

En général, ce paramètre θ peut être évalué d'une façon indirecte dans le cadre d'un plan d'expérience ou sur des échantillons constitués. Il offre deux points de vue d'interprétation : dans l'approche classique, le paramètre θ est une valeur certaine, mais inconnue ; dans l'approche bayésienne θ apparait comme une variable aléatoire.

On ne pourra pas avoir suffisamment d'informations pour que les résultats obtenus par les méthodes statistiques soient significatifs. Il est donc suggéré d'acquérir par ailleurs des connaissances sur ce paramètre θ en supposant le tout obtenu sous les mêmes conditions fixées (ou similaires). Cet ensemble des connaissances constitue l'information a priori.

Le statisticien bayésien qui cherche à mieux connaître la valeur du paramètre θ commence par préciser l'espace θ des valeurs possibles de θ avant d'entreprendre une quelconque observation. Ensuite, il exprime sa connaissance a priori sous forme d'une loi de probabilité π sur θ , puis combine la nouvelle observation x avec ce a priori dans l'analyse envisagée. L'utilisation de la distribution a priori sur le paramètre demeure en fait la meilleure manière d'incorporer des informations supplémentaires à un modèle statistique.

II.5.2. Loïs a priori :

Le choix des lois a priori est une étape fondamentale dans l'analyse bayésienne. Ce choix peut avoir différentes motivations. Les stratégies sont diverses. Elles peuvent se baser sur des expériences du passé ou sur une intuition, une idée que le praticien a du phénomène aléatoire qu'il est en train de suivre. Elles peuvent être également motivées par des aspects calculabilité. [18]

II.5.3 Théorème de Bayes :

Probabilité conditionnelle

Considérons deux événements **A** et **B** tels que $A \in \mathcal{P}(\Omega)$ et $B \in \mathcal{P}(\Omega)$ et que $P_r(A \cap B)$ et $P_r(B)$ soient connues avec $P_r(B) \neq 0$.

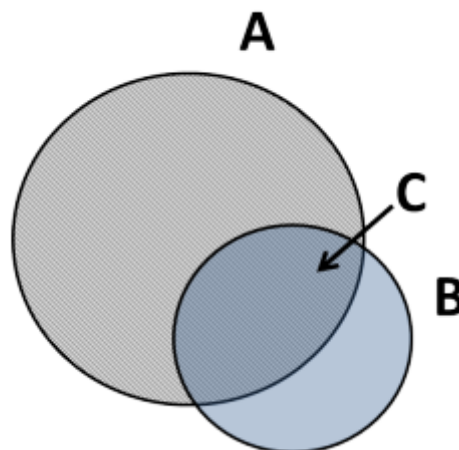
On appelle probabilité conditionnelle de A relativement à B la probabilité pour que A se réalise sachant que B est réalisé. L'obtention de cette probabilité se fait à partir de l'axiome des probabilités composées énoncé ci-dessous :

$$P_r(A/B) = \frac{P_r(A \cap B)}{P_r(B)} \quad \text{mais aussi} \quad P_r(B/A) = \frac{P_r(A \cap B)}{P_r(A)}$$

En effet :

$$P_r(A \cap B) = P_r(A/B) \times P_r(B) = P_r(B/A) \times P_r(A)$$

$$\text{soit } P_r(A/B) = \frac{P_r(A \cap B)}{P_r(B)} \quad \text{et} \quad P_r(B/A) = \frac{P_r(A \cap B)}{P_r(A)}$$



Avec **A** la zone hachurée **B** la zone bleue **C** la zone hachurée et bleue où il apparaît clairement, visuellement, en général, que $\Pr(A/B) \neq \Pr(B/A)$. [15]

Cas de l'indépendance de deux événements :

Deux événements **A** et **B** sont stochastiquement indépendants si :

$$\Pr(A \cap B) = \Pr(A/B) \times \Pr(B)$$

i.e. la probabilité d'observer **A** ne dépend pas de la réalisation de **B**

alors :

$$\Pr(A/B) = \Pr(A)$$

et

$$\Pr(A/B) = \Pr(A/\bar{B})$$

Donc, si indépendance entre **A** et **B** :

$$\Pr(A) = \Pr(A/B) = \Pr(A/\bar{B})$$

Rappel :

$$\Pr(A \cap B) = \Pr(A/B) \times \Pr(B)$$

et de même :

$$\Pr(A \cap B) = \Pr(B/A) \times \Pr(A)$$

d'où

$$\Pr(A \cap B) = \Pr(A/B) \times \Pr(B) = \Pr(B/A) \times \Pr(A)$$

On peut donc écrire :

$$\Pr(A/B) = \frac{\Pr(B/A) \times \Pr(A)}{\Pr(B)}$$

Autre formulation :

on a vu que : $\Pr(A \cap B) = \Pr(A/B) \times \Pr(B)$

- soit : $\Pr(A/B) = \Pr(A \cap B) / \Pr(B) = \frac{\Pr(B/A) \times \Pr(A)}{\Pr(B)}$

- mais : $\Pr(B) = \Pr(B/A_1) \Pr(A_1) + \dots + \Pr(B/A_i) \Pr(A_i) + \dots + \Pr(B/A_m) \Pr(A_m)$

$$\Pr(B) = \sum_i \Pr(B/A_i) \Pr(A_i)$$

= théorème des probabilités totales

- donc, de manière plus générale, pour des événements A_i mutuellement exclusifs :

$$\Pr(A_i/B) = \frac{\Pr(B/A_i) \Pr(A_i)}{\sum_i \Pr(B/A_i) \Pr(A_i)}$$

→ **forme générale du théorème de Bayes** pour des variables discrètes

II.5.4 La distribution a posteriori :

La probabilité conditionnelle $P(\theta/x)$ est appelée la distribution a posteriori et sa densité de probabilité est notée par $\pi(\theta/x)$.

D'un autre point de vue, la distribution a posteriori du paramètre θ représente l'actualisation de l'information a priori contenue dans la loi du paramètre $\pi(\theta)$, au vue de l'information contenue dans x .

Cette distribution a posteriori joue alors un rôle fondamental dans l'approche bayésienne. D'après ce qui vient d'être introduit, la distribution a posteriori est une conséquence méthodologique si l'on connaît π , d'où l'intérêt de déterminer cette distribution a priori.

II.6 Lois conjuguées

Une des difficultés de l'approche bayésienne est le calcul de la loi a posteriori. Ce calcul est facilité lorsque loi a priori et loi a posteriori ont la même forme. Dans ce cas, on parle de loi a priori conjuguée.

Une famille F de lois sur θ est dite conjuguée si, pour tout π appartenant à cette famille, la loi $\pi(\theta/x)$ appartient également à celle-ci.

Dans ce cas, le praticien induit directement la forme de son estimateur dès qu'il a choisi sa loi a priori. [18]

Exemples de lois conjuguées

$f(x / \theta)$ vraisemblance	$\pi(\theta)$ A priori	$\pi(\theta / x)$ A posteriori
$N(\theta, \delta^2)$	$N(\mu, \tau^2)$	$N(x / \delta^2 + \mu / \tau^2, [1/\delta^2 + 1/\tau^2]^{-1})$
$G(n; \theta)$	$G(\alpha; \beta)$	$G(\alpha + n, \beta + x)$
$\beta(n; \theta)$	$Beta(\alpha; \beta)$	$Bêta(\alpha + n, \beta + x)$
$P(\theta)$	$G(\alpha; \beta)$	$G(\alpha + x, \beta + 1)$

Tableau II.1 Exemple de lois conjuguée

Loi de Poisson

On dit qu'une variable. X à valeurs dans \mathbb{N} suit une loi de Poisson de paramètre $\lambda > 0$, notée $P(\lambda)$, si

$$P(X = k) = e^{-\lambda} \lambda^k / k! \quad k \in \mathbb{N}.$$

Cette loi intervient comme comportement limite de la loi binomiale lorsque $n \rightarrow +\infty$ et $np \rightarrow \lambda$.

Elle intervient également pour modéliser des "événements rares". Soit N la variable aléatoire comptant le nombre d'occurrences d'un événement pendant une période donnée T . On suppose qu'un seul événement arrive à la fois, que le nombre d'événement se produisant pendant T ne dépende que de la durée de cette période et que les événements sont indépendants.

Si le nombre moyen d'événements (i.e. accidents) par unité de temps (i.e. semaine) est c , alors on démontre que la probabilité d'obtenir n événements pendant un temps T est :

$$P(N = n) = \exp(-cT) (cT)^n / n!$$

Loi uniforme

- Loi dont la densité de probabilité est constante sur son intervalle de définition $[a, b]$

- Notation $U [a, b]$
- Densité de probabilité $f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$
- Moyenne et médiane: $\frac{a+b}{2}$ (milieu de $[a, b]$)
- Mode: toute valeur dans le segment $[a, b]$
- Variance: $(b-a)^2 / 12$

Loi Gamma

La loi exponentielle est un cas particulier de la famille des lois Gamma.

Soient $a > 0$ et $\lambda > 0$. On dit que X suit une loi Gamma de paramètres $(a; \lambda)$, notée $\delta(a; \lambda)$, si la loi de X a pour densité

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{\lambda^a}{\Gamma(a)} x^{a-1} \exp(-\lambda x) & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

où pour tout $a > 0$, la fonction gamma est donnée par $\Gamma(a) = \int_0^{+\infty} x^{a-1} \exp(-x) dx$. Le paramètre a est un paramètre de forme alors que le paramètre λ est un paramètre d'échelle. Pour n entier, $a = n/2$ et $\lambda = 1/2$, la loi $G(n/2; 1/2)$ est appelée loi du chi-deux à n degrés de liberté, et notée $X^2(n)$. Elle joue un rôle important en statistique, c'est la loi de la somme des carrés de n variables aléatoires indépendantes de loi $N(0;1)$. On l'utilise pour les variances empiriques d'échantillons gaussiens. La loi $G(1; \lambda)$ est la loi exponentielle $\varepsilon(\lambda)$

Loi Beta

θ est distribué suivant une loi Beta $\theta \sim \text{Be}(\alpha; \beta)$ si sa densité de probabilité suit :

$$\Pr(\theta) = \frac{1}{\text{Be}(\alpha; \beta)} \theta^{\alpha-1} (1-\theta)^{\beta-1}$$

où la fonction Beta $\text{Be}(\alpha; \beta)$ est définie par :

$$\text{Be}(\alpha; \beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}$$

les paramètres de la loi Beta : α et β

avec :

- α : nombre de succès dans une série de $\alpha + \beta$ épreuves binaires
- β : nombre d'échecs dans une série de $\alpha + \beta$ épreuves binaires

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthode bayésienne et son fondement théorique et expliqué le principe de la démarche bayésienne. Cette dernière se base sur le théorème de Bayes pour déterminer des probabilités a posteriori afin d'estimer la probabilité d'occurrence des événements redoutés.

III L'étude de cas

III.1 Introduction :

Toutes activités quelque soit son importance s'accompagne des dangers qui génèrent des risques sur la santé, la sécurité des personnes, des biens et sur l'environnement.

Dans ce chapitre une étude de cas sera faite en identifiant les différents types de risques présents au sein de la cimenterie LAFARGE et leurs causes.

III.2 Présentation Lafarge Ciment Oggaz

Lafarge Holcim est le leader mondial des matériaux de construction créé à la suite de la fusion de Lafarge (le groupe français)et Holcim (le groupe suisse)et dont le siège central se trouve dans la ville suisse de Jona (canton de Saint-Gall). [19]

Leader mondial des matériaux de construction et implanté dans 78 pays, Lafarge-Holcim extrait ses ressources du cœur de la terre pour concevoir des matériaux au cœur de la vie. [20]

L'usine est de construction récente, est composée de deux lignes séparées (gris et blanc),sa ligne de production de ciment Blanc a démarré en 2007et du ciment gris en 2008.

La capacité de la ligne du blanc est de 1700t/jour c'est-à-dire une production annuelle de 550.000 tonnes de ciment blanc.

La capacité de la ligne gris est 6300t/jour c'est-à-dire une production annuelle de 2500.000tonnes de ciment gris.

La ligne du blanc est composée de l'ensemble de départements : concasseur, broyeur de sable, broyeur de farine cru, four et broyeur de ciment blanc.

La ligne gris est composée de 4 départements : concasseur, broyeur de farine cru, four et 2 broyeur de ciment gris.

La vente du ciment blanc se fait en sacs de 50Kg ,25Kg, et 2 tonnes et en vrac.

Pour le ciment gris la vente se fait seulement en sac et en vrac. [21]

III.3 Situation géographique :

La cimenterie d'Oggaz, entité affiliée au Groupe Lafarge-Holcim Algérie, est située dans un repère stratégique dans la daïra d'Oggaz dans la partie Nord de la wilaya de Mascara, à environ 420 Km à l'Ouest d'Alger et à 50Km d'Oran, environ 37km du port d'Arzew, elle est proche de deux lignes d'énergies Gaz et électricité.

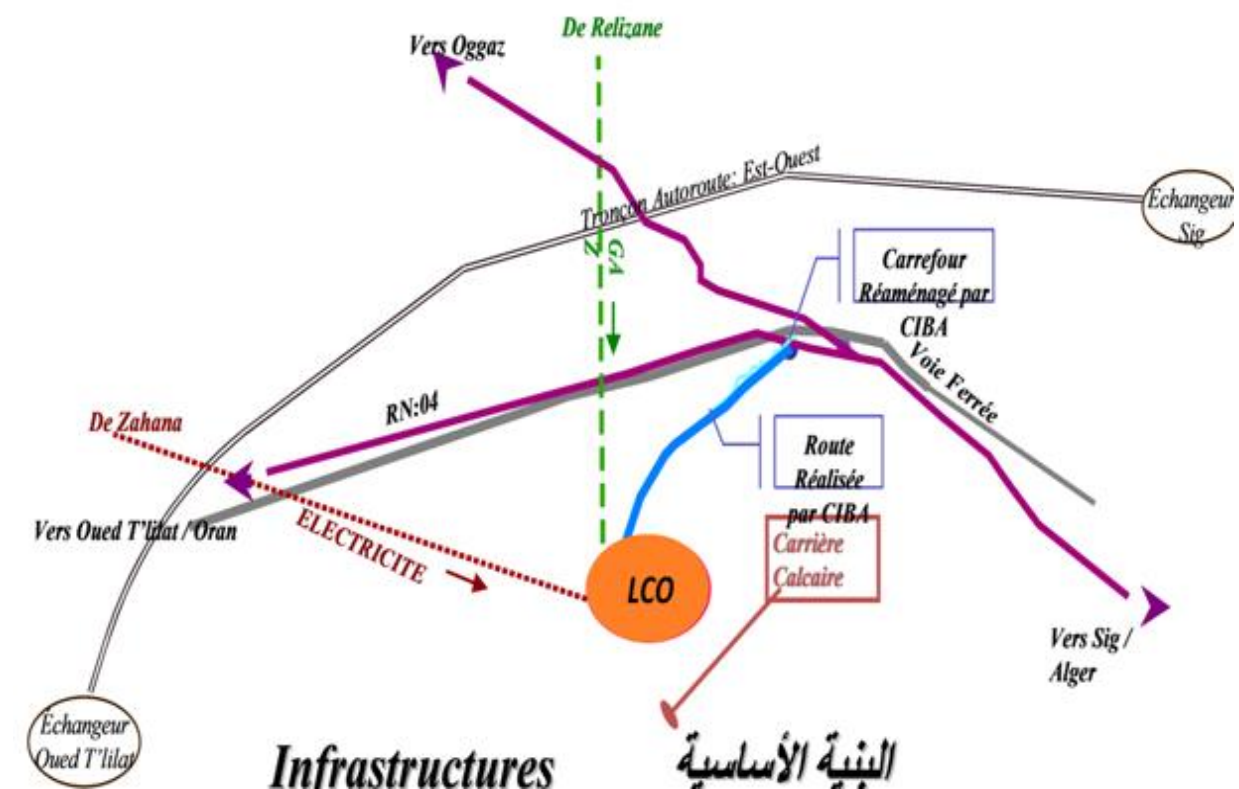


Figure III.1 : plan de situation. [21]

III.4 Définition de ciment :

Ciment c'est un matériau se présentant sous forme de poudre très fine, qui durcit au contact de l'eau et est ainsi utilisé comme liant. Le ciment est également appelé liant

hydraulique. Cette capacité de prise est recherchée en construction, par exemple pour préparer les bétons. [22]

III.5 La composition du ciment :

Le composant de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3), et l'oxyde de fer (Fe_2O_3).

La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier Fe_2O_3 , l'oxyde ferrique.

Les principales composantes sont : [22]

- Silicate tricalcique (C_3S): 3CaO , SiO_2 : 55 %.
- Silicate Dicalcique (C_2S): 2CaO , SiO_2 : 20 %.
- Aluminate Tricalcique (C_3A): 3CaO , Al_2O_3 : 10 %.
- Ferroaluminate Calcique (C_4AF): 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 : 10 %.

III.6 Processus :

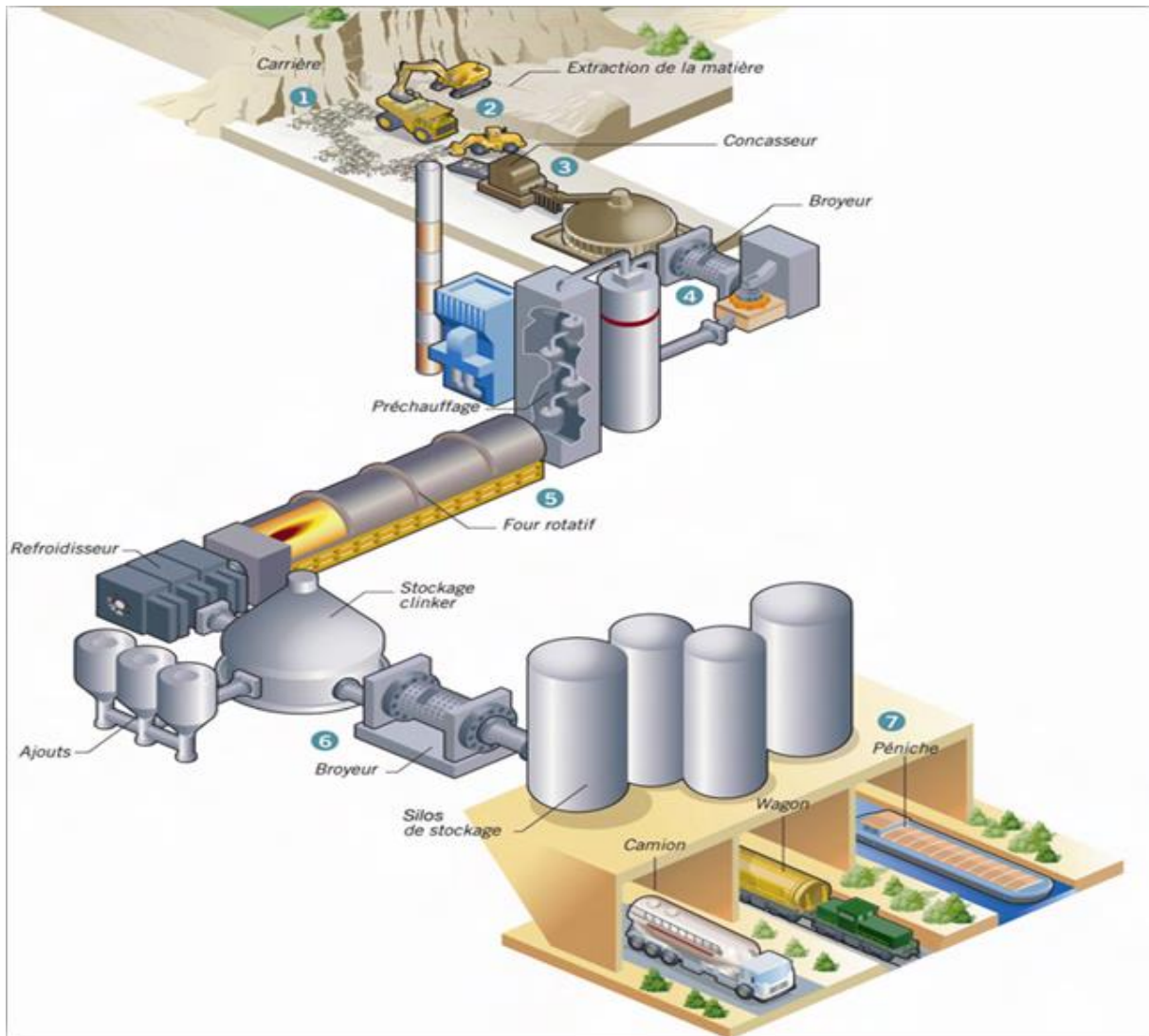


Figure III.2 : fabrication de ciment. [21]

En général le processus se fait comme suit :

III.6.1 Extraction et concassage :

Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert.



Figure III.3 : abattage et transport du calcaire.[21]

Le calcaire cimentier est abattu à l'explosif et acheminé par dumper vers le hall de concassage.

Les blocs obtenus sont transportés vers l'atelier de concassage et réduits en plusieurs éléments d'une dimension maximale de 60 mm, ces concasseurs sont situés parfois sur les lieux même de l'extraction.

La roche est ensuite échantillonnée en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer (Fe_2O_3), alumine (Al_2O_3), silice (SiO_2)) et arriver ainsi à la composition chimique idéale.

Le mélange est ensuite stocké dans un hall de pré-homogénéisation où la matière est disposée en couches horizontales superposées puis reprise verticalement.[21]

III.6.2 Le broyage et le séchage :

Les matières premières sont ensuite séchées et broyées très finement pour obtenir une farine qui sera plus tard introduite dans le four sous forme pulvérulente ou préalablement transformée en granules

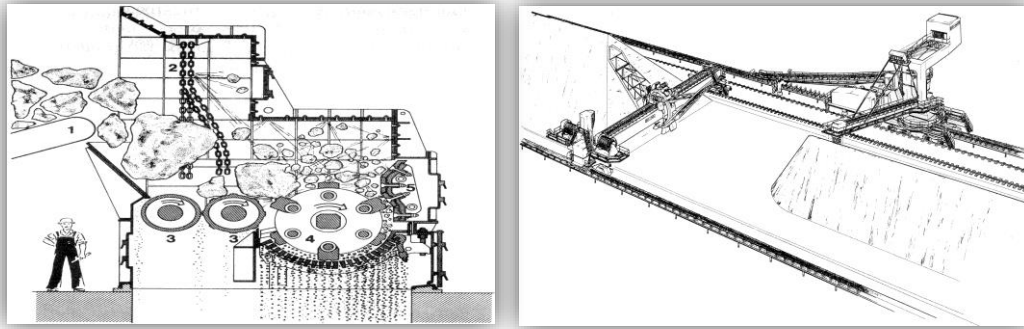


Figure III.4 : Concassage et pré homogénéisation.[21]

III.6.3- Le préchauffage et la cuisson :

Avant introduction dans le four, la farine est chauffée à environ 800 °C dans un préchauffeur à grille ou à cyclones.

La cuisson se fait dans un four rotatif où la température de la flamme avoisine 1450°C.

A la sortie du four, la matière appelée clinker passe dans un refroidisseur.



Figure III.5 : Préchauffage et cuisson de la farine.[21]

III.6.4 Le stockage du clinker et le broyage du ciment :

Le clinker refroidi est ensuite stocké sous un hall couvert ou dans des silos.

Le clinker est broyé très finement dans un broyeur à boulets avec d'autres ajouts (cendres de centrales thermiques, laitier de haut-fourneau, gypse,...) dont les pourcentages déterminent les différentes qualités de ciment.

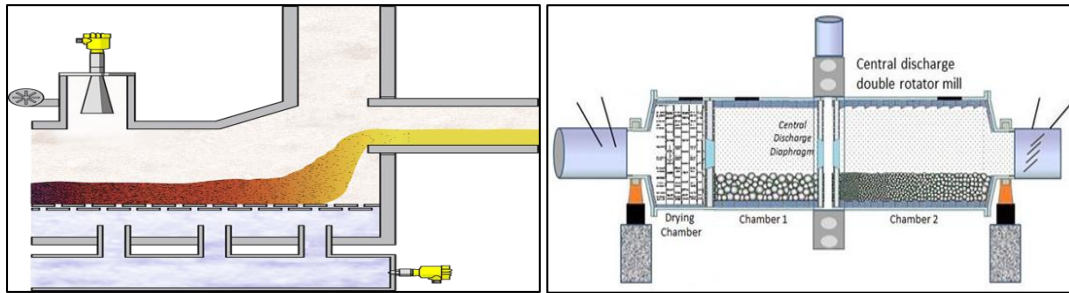


Figure III.6 : refroidissement et broyage du clinker.[21]

III.6.5 Le stockage et les expéditions :

La large gamme de produits obtenus est stockée dans des silos avant d'être expédiée en vrac par bateaux, trains ou camions (où l'extraction se fait sous le silo sur pont bascule par manches télescopiques) ou en sacs palettisés par camions (où l'ensachage s'effectue par des ensacheuses à plusieurs becs (jusqu'à 12 becs), qui assurent un débit de 100 tonnes par heure. Les sacs ainsi remplis sont envoyés vers un atelier de palettisation qui met sur palettes les sacs de ciment).

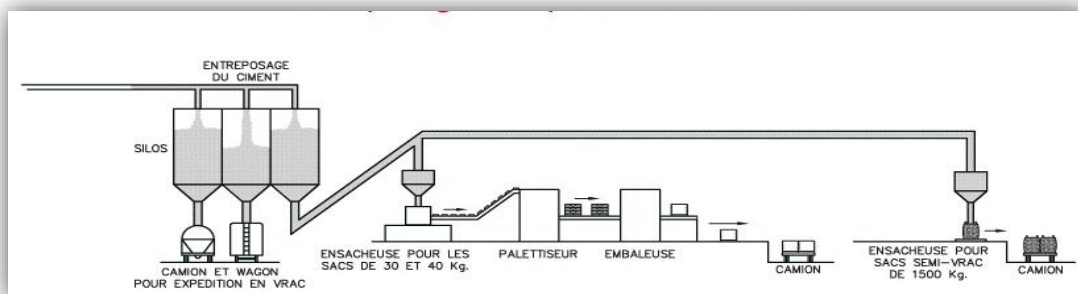


Figure III.7 : Le stockage et les expéditions du ciment. [21]

III.7 classification de différents types des risques de la cimenterie LCO et les causes liés:

III.7.1 Risques de chute : Ceux sont les risques de blessures causées par la chute de plain-pied ou d'hauteur d'une personne.

A : Chutes de plain-pied :

- Sol glissant ;
- Sol défectueux (trou, dalle descellée...etc.) ;
- Passage encombré ;
- Lieux mal éclairés.

B : Chutes d' hauteur :

- Zones présentant des parties en contrebas (escalier, trémie, passerelle...etc.) ;
- Parties hautes (toiture, éclairage...etc.) ;
- Utilisation des dispositifs mobiles (échelle, escabeau, échafaudage...etc.).
- Agent travaillant sans harnais de sécurité.

Mesures de prévention :

- ✓ Organiser la circulation des personnes ;
- ✓ Entretien des sols ;
- ✓ Dégager et définir les passages adéquats
- ✓ Supprimer les zones avec différences de niveau et limiter les travaux en hauteur.
- ✓ Former le personnel ;
- ✓ Porter des chaussures antidérapantes, le harnais et les baudriers.
- ✓ Nettoyage en permanence des lieux de travail.

III.7.2 Risques liés à la manutention manuelle : Ceux sont des risques de blessures et, dans certaines conditions, de maladies professionnelles dues à des efforts physiques, des gestes répétitifs et/ou des mauvaises postures:

- Manutention de charges lourdes ;
- Manutention effectuées de façon répétitive et à cadence élevée ;
- Charge difficile à manutentionner (grande dimension, arêtes vives...etc.) ;
- Mauvaises postures imposées ou prises par le personnel (dos courbé, charge éloignée du corps...etc.).

Mesures de prévention :

- Utiliser des moyens de manutention adéquats (chariot à roulette.) ;
- Utiliser des moyens de mise à niveau (table élévatrice, hayon élévateur.) ;
- Equiper les charges de moyens de préhension (poignée, venteuse, bacs.) ;
- Former le personnel à adopter des gestes et des postures appropriés ;

- Protection individuelle (gants, chaussures, casque, lunettes, visières, masques anti-poussières... etc.).

III.7.3 Risques liés à la manutention mécanique : Les risques sont liés à la circulation ou/ au fonctionnement de l'engin, la charge manutentionnée et/ou à l'environnement.

- Outil de manutention inadapté à la tâche effectuée ;
- Engin en mauvais état, irrégulièrement entretenu ;
- Aptitude médicale insuffisante de l'opérateur ;
- Absence de plan de circulation ;
- Mauvais état des sols.

Mesures de prévention :

- ✓ Utiliser des engins et des accessoires conformes à la réglementation ;
- ✓ Vérifier régulièrement leurs états ;
- ✓ Confier l'usage aux personnes formées et qualifiées ;
- ✓ Veiller aux conditions de visibilité et au bon état des sols ;
- ✓ Organiser la circulation des personnes et véhicules.

III.7.4 Risques liés aux circulations et aux déplacements : Ceux sont des risques d'accident de circulation à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise.

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

Mesures de prévention :

- ✓ Utiliser des véhicules adaptés aux situations ;
- ✓ Entretenir périodiquement les véhicules ;
- ✓ Réactualiser la formation du personnel sur la conduite sécuritaire ;
- ✓ Signaler, éclairer et entretenir les voies de circulation et les zones de manœuvres ;

- ✓ Vérifier périodiquement l'aptitude médicale des chauffeurs.

III.7.5 Risques liés aux effondrements et de chutes d'objets : Ceux sont des risques qui résultent de la chute d'objet d'un étage supérieur ou de l'effondrement d'un matériau.

- Des travaux effectués à des hauteurs ou à des étages différents ;
- Objets stockés en hauteur.

Mesures de prévention :

- ✓ Organiser les stockages (mode de stockage réservé aux objets, respect des charges maximales...etc.) ;
- ✓ Entretien régulièrement les éléments constitutifs de la zone de stockage et les moyens d'accès.

III.7.6 Risque d'incendie et/ou d'explosion :

- Présence des produits explosifs et inflammables ;
- Présence des sources de flammes ou d'étincelles (soudure, meulage, étincelles électriques.).

Mesures de prévention :

- ✓ Éloigner les sources d'énergie (soudure, produits inflammables...etc.) ;
- ✓ Eliminer l'électricité statique (mise à la terre) ;
- ✓ Installer des matériels électriques antidéflagrants ;
- ✓ Eviter la propagation des feux (conception des systèmes de ventilation) ;
- ✓ Installer des moyens de détection des feux, d'alarme et d'extinction ;
- ✓ Etablir un plan d'intervention et d'évacuation afficher dans les lieux de travail.

III.7.7 Risques liés à l'électricité : Ceux sont des risques de brûlures ou d'électrisation suite à un contact avec un conducteur électrique ou une partie métallique sous tension.

- Conducteur nu sous tension accessible ;
- Armoires électriques ouvertes ;
- Câbles détériorés.

Mesures de prévention :

- ✓ Vérifier périodiquement les installations électriques ;
- ✓ Faire porter EPI adaptés.

III.7.8 Risques liés aux machines et aux outils : Ce sont des risques de blessures par l'action mécanique d'une machine ou d'un outil.

- Accès à la zone de travail de la machine ;
- Projection des fluides et des poussières ;
- Utilisations d'outils tranchants ;
- Utilisation d'outils portatifs (tronçonneuse, scie circulaire, meuleuse...etc.).

Mesures de prévention :

- ✓ Mettre en conformité les machines fixes et portatives ;
- ✓ Utiliser les machines selon les prescriptions du constructeur ;
- ✓ Vérifier le bon fonctionnement des dispositifs de protection (barrage immatériel) ;
- ✓ Former le personnel des modes d'utilisations sécuritaires
- ✓ Inspecter régulièrement les équipements devant être utilisés

III.7.9 Risques liés au bruit : Ceux sont des risques consécutifs à l'exposition à une ambiance sonore élevée pouvant aboutir à un déficit auditif irréversible et générant des troubles pour la santé.

- Exposition sonore continue supérieure à 85 DBA ;
- Opérations de perçage, de boulonnage et de serrage.
- Se tenir à proximité d'engins bruyants pendant des périodes prolongées.

Mesures de prévention :

- ✓ Supprimer les sources de bruit ;
- ✓ Installer des protecteurs (parois anti bruit...etc.) ;
- ✓ Organiser la surveillance médicale spéciale aux travailleurs exposés ;
- ✓ Informer les salariés des risques ;
- ✓ Veiller au port des EPI.

III.7.10 Risques liés aux vibrations : Ce sont des risques de lésions articulaires, neurologiques ou vasculaires consécutif à l'utilisation d'outil pneumatique ou à la conduite de véhicules ou d'engins.

- Outils pneumatiques à main (marteau pneumatique, burineur...etc.) ;
- Conduite de véhicules ou d'engins du chantier (compacteur, marteau-piqueur...etc.).

Mesures de prévention :

- ✓ Atténuer les vibrations ;
- ✓ Utiliser des outils antivibratoires ;
- ✓ Réduire la durée d'exposition.

III.7.11 Risques liés à l'organisation du travail : Ceux sont des risques de retentissement de l'organisation du travail influençant l'état physique et mental du salarié.

- Horaires fractionnés, décalés, irréguliers ;
- Durées et/ou fréquence des pauses inadaptées ;
- Absence de communication ;
- Surcharge, sous charge.

Mesures de prévention :

- ✓ Mettre en place des moyens de communication ;
- ✓ Organiser les horaires du travail ;
- ✓ Former et informer les travailleurs.

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la cimenterie LAFARGE et ces activités. Nous avons expliqué les étapes fondamentales de la fabrication de ciment, et identifiés les différents risques omniprésents au sein de cette cimenterie. Nous avons présenté aussi les causes techniques, naturels et surtout humains.

IV 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 probabilité conditionnels d'événements reliés les uns aux autres par des relation de cause à effet.

Dans ce chapitre une réalisation du model bayésien sera faite, sur AgenaRisk à partir des statistiques d'accidents de travail survenues au cours des cinq dernières années au niveau de la cimenterie Lafarge Oggaz.

IV.2 Définition de réseau bayésien :

Un réseau bayésien est 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. [23]

Un réseau bayésien est un graphe orienté acyclique avec un ensemble N de nœuds et un ensemble A d'arcs orientés. Un nœud contient:

- le nom d'une variable
- une table de probabilités de cette variable en fonction des valeurs parents [24]

Les nœuds sont les variables aléatoires et les arcs sont les relations (si possibles) causales entre ces variables

L'absence d'arc signifie une indépendance conditionnelle

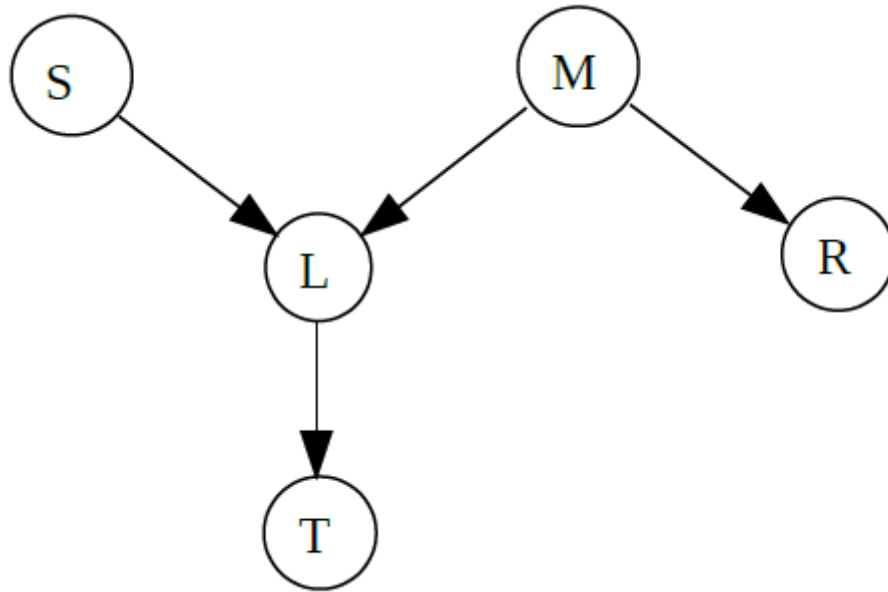


Figure IV.1: Exemple d'un réseau bayésien

IV.3 Présentation de AgenaRisk :

AgenaRisk © (site) 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.3.1 Objectif d'utilisation :

AgenaRisk nous permet de réaliser le réseau bayésien, de calculer facilement les probabilité a partir des données, des statistique ou des expériences vécus. 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.3.2 Domaine d'utilisation :

IV.3.2.1 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.3.2 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.3.3 Le mode d'utilisation d'AgenaRisk:

AgenaRisk est une variation nouvelle 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.

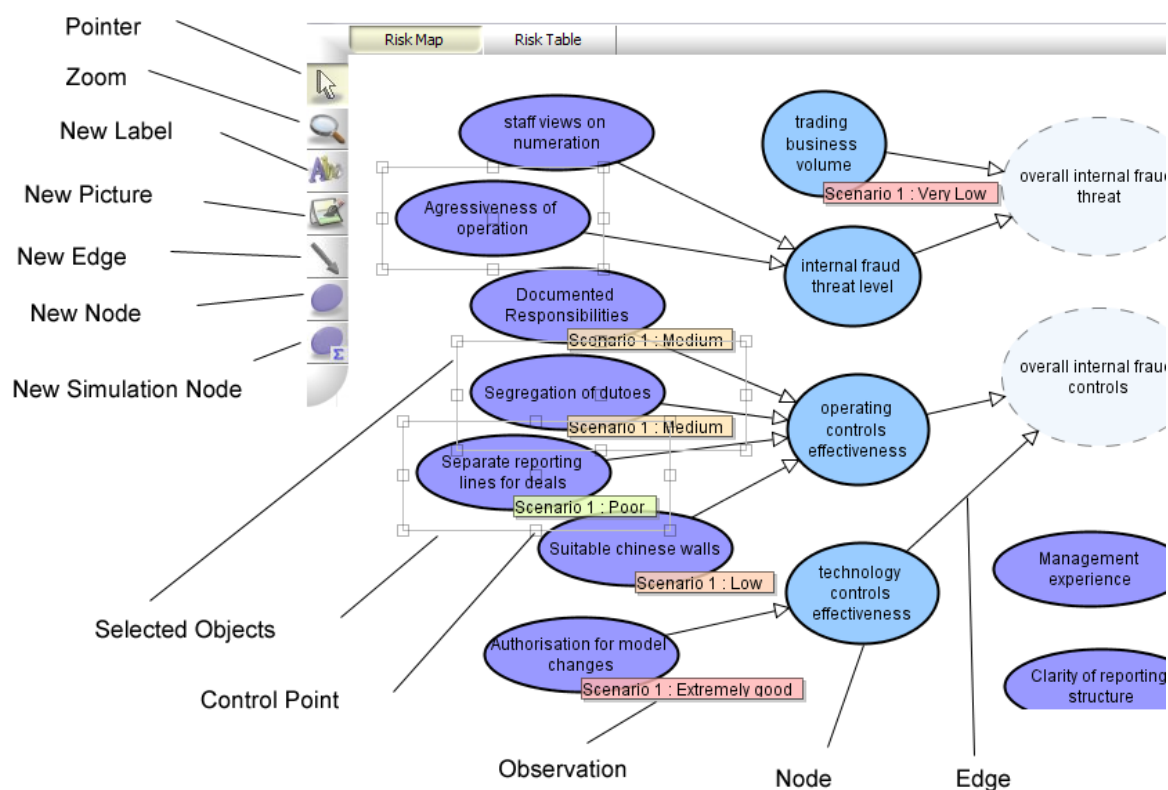


Figure IV.2: exemple d'un réseau bayésien présenté sur AgenaRisk

IV.3.3.1 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

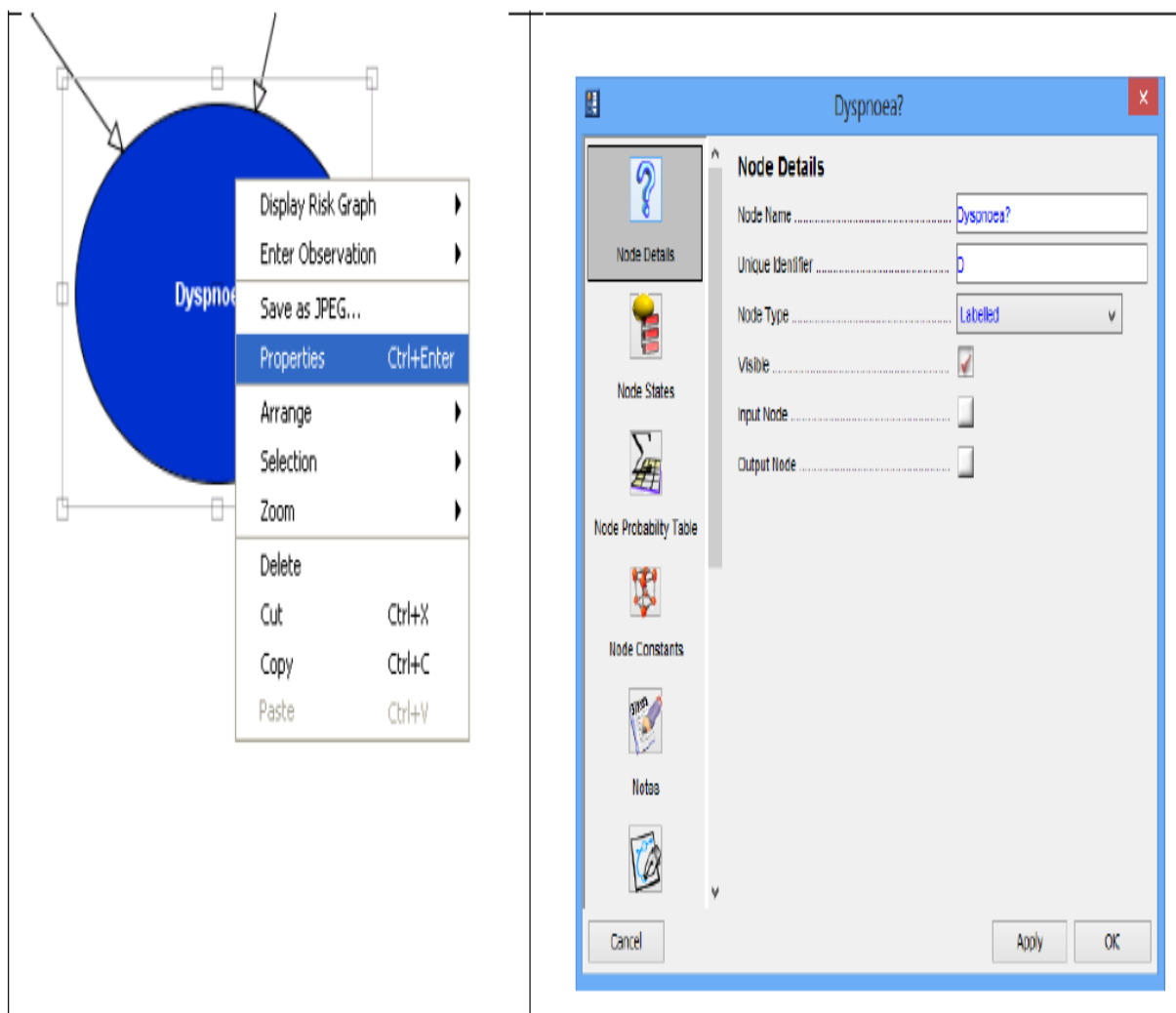


Figure IV.3: l'accès aux propriétés des nœuds sur AgenaRisk

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

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

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

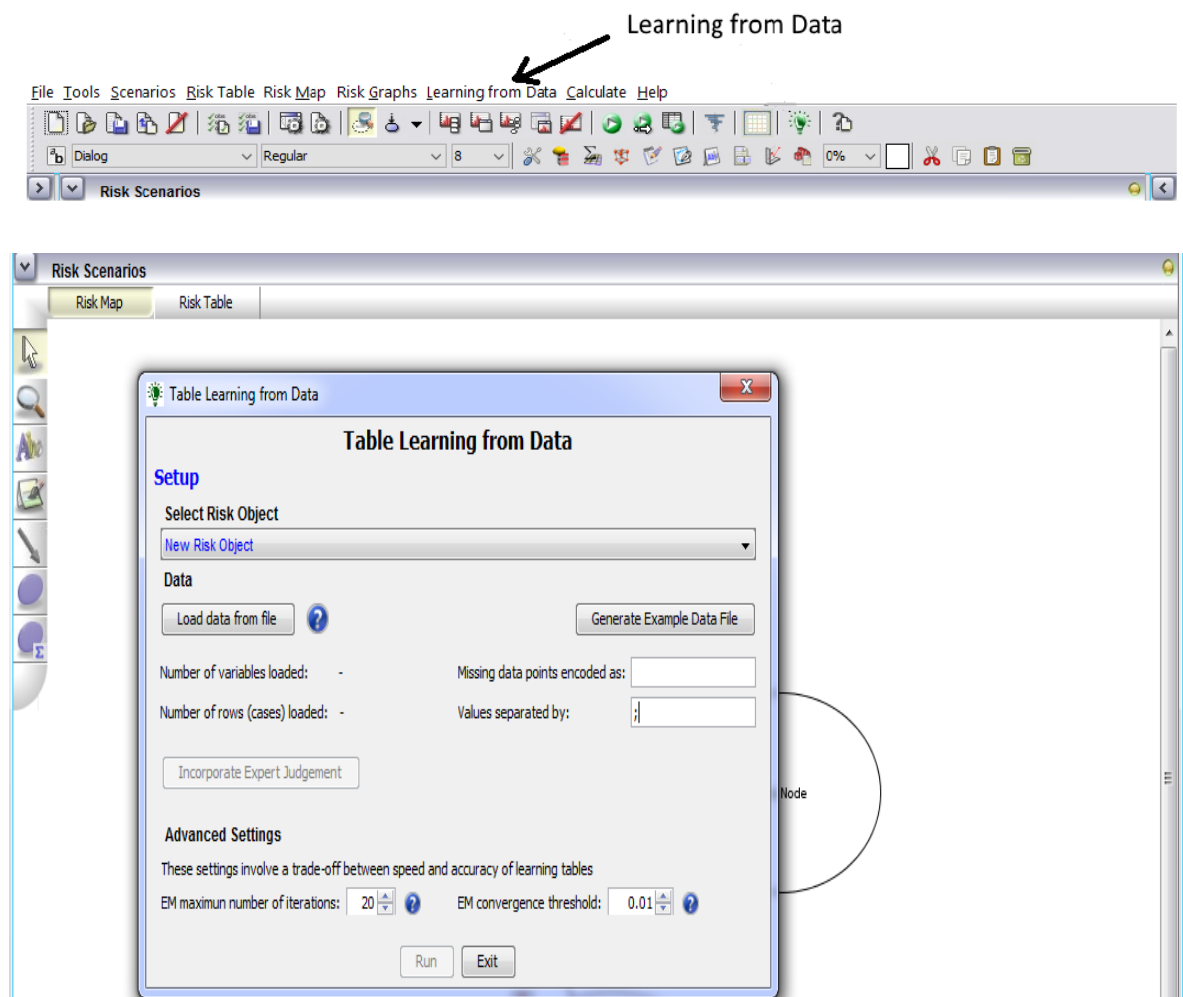


Figure IV4 : Importation d' un fichier Excel sur AgenaRisk

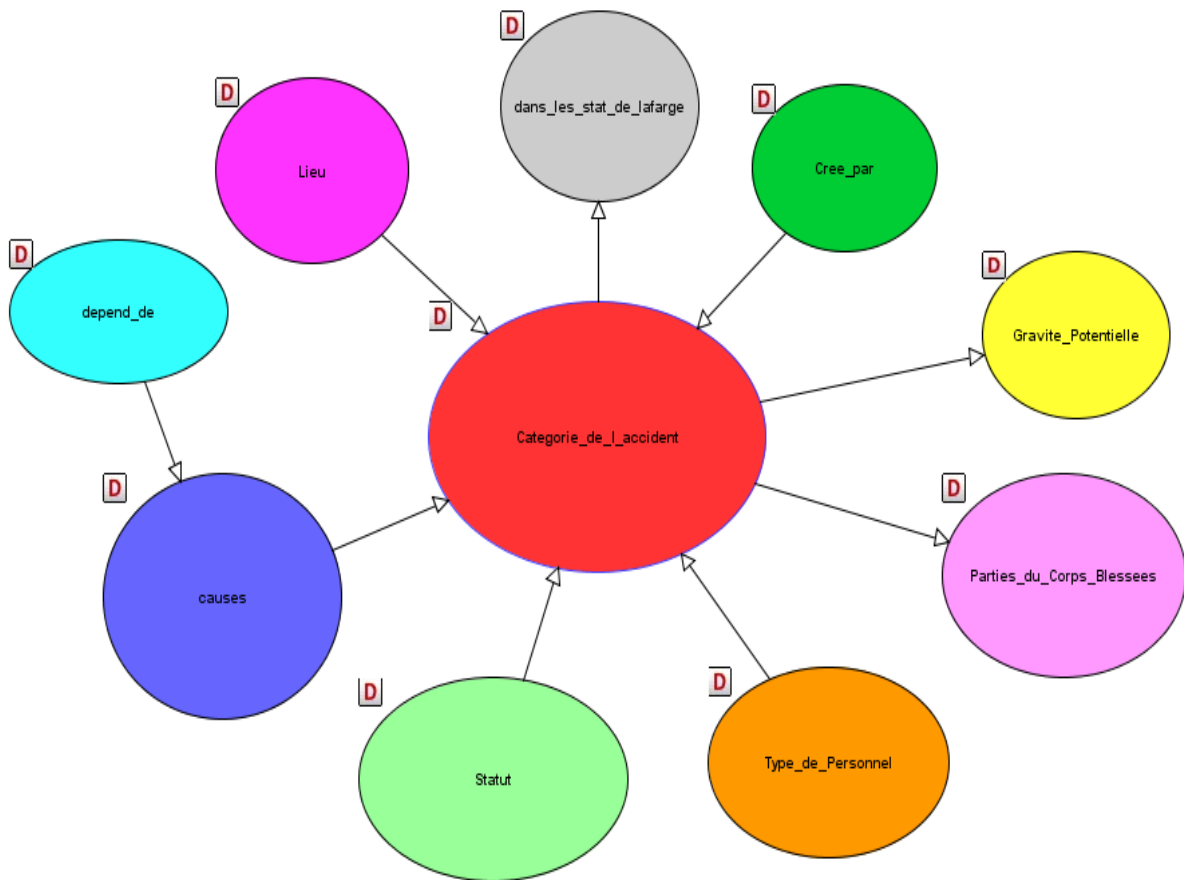


Figure IV.5: Réseau bayésien

Le réseau est composé de 10 nœuds dont 9 repartis autour de l'événements principale qui est « Catégorie de l'accident ». Nous avons des nœuds en amont, c'est-à-dire des données qui décrivent les conditions dans le quel l'accident s'est produit et d'autres les conséquences.

Pour les données en amont :

- « causes » qui représente l'origine de l'accident.
- « le statut » qui représente l'état du rapport de l'accident.
- « type de personnel » qui représente l'ensemble des travailleurs touchés.
- « lieu » décrivant la place où l'accident est survenue.
- « crée par » qui décrit la fonction du personnel qui a rédigé le rapport de l'accident.

Pour les données en aval:

- « gravité potentielle » décrivant le degré des dommages.

- « partie de corps blessées » décrivant le niveau des lésions corporels.
- « dans les statistique de Lafarge » si l'accident entre dans les statistiques de Lafarge.

Et le nœud principal ou décisionnel :

« Catégorie de l'accident » : décrivant la nature de l'accident allant de « accident Benin » à « accident mortel »

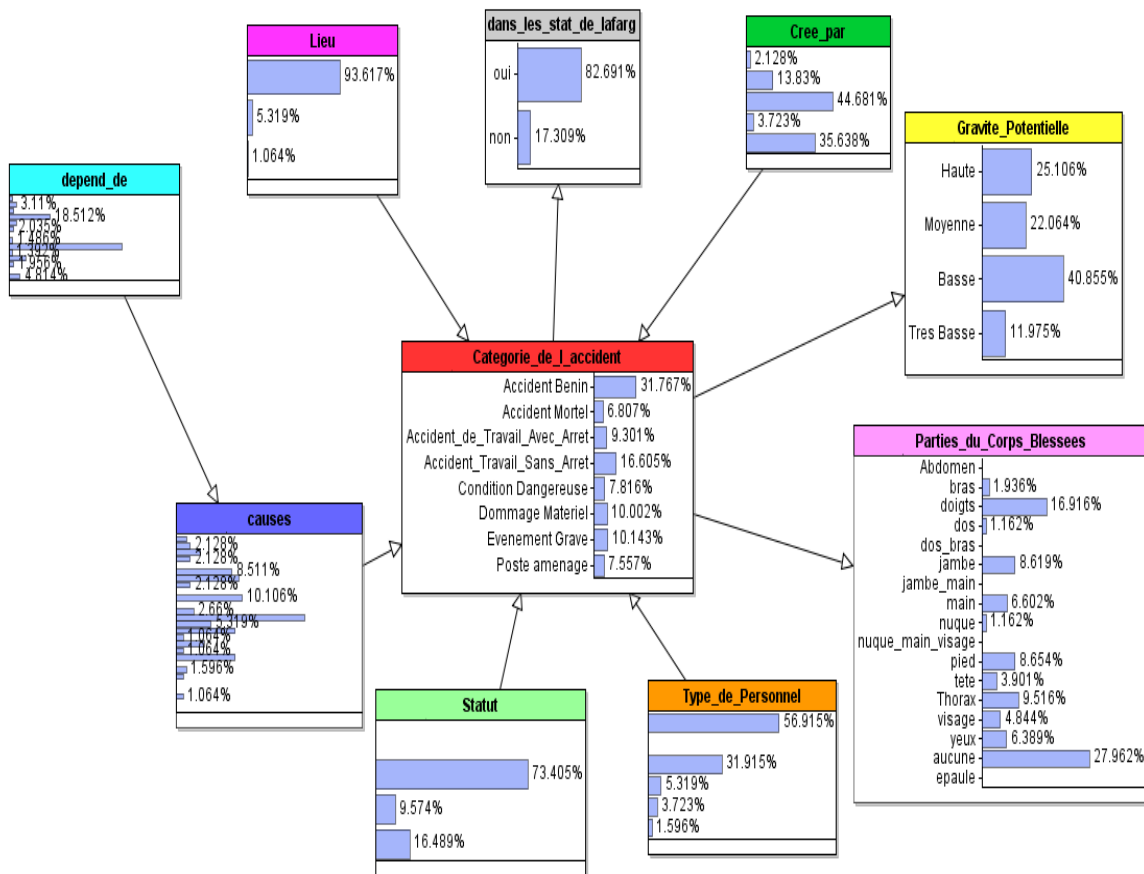


Figure IV.6: Résultat du réseau bayésien

IV.4 Analyse de réseau

D'après les résultats du réseau finale en remarque que la majorité des accidents sont des accident bénin ou sans arrêt de travail a gravité potentielle basse et qui ne cause aucune lésion corporel, ces résultats sont satisfaisant pour l'entreprise mais notre but est toujours d'améliorer le niveau de sécurité, et pour cela une simulation des scénarios les plus redoutés sera faite.

La simulation des scénarios doit être appliquée sur le réseau bayésien par AgenaRisk. Elle se fait par des suppositions sur les nœuds en choisissant les événements qu'on souhaite étudier puis on observe les résultats des paramètres liés.

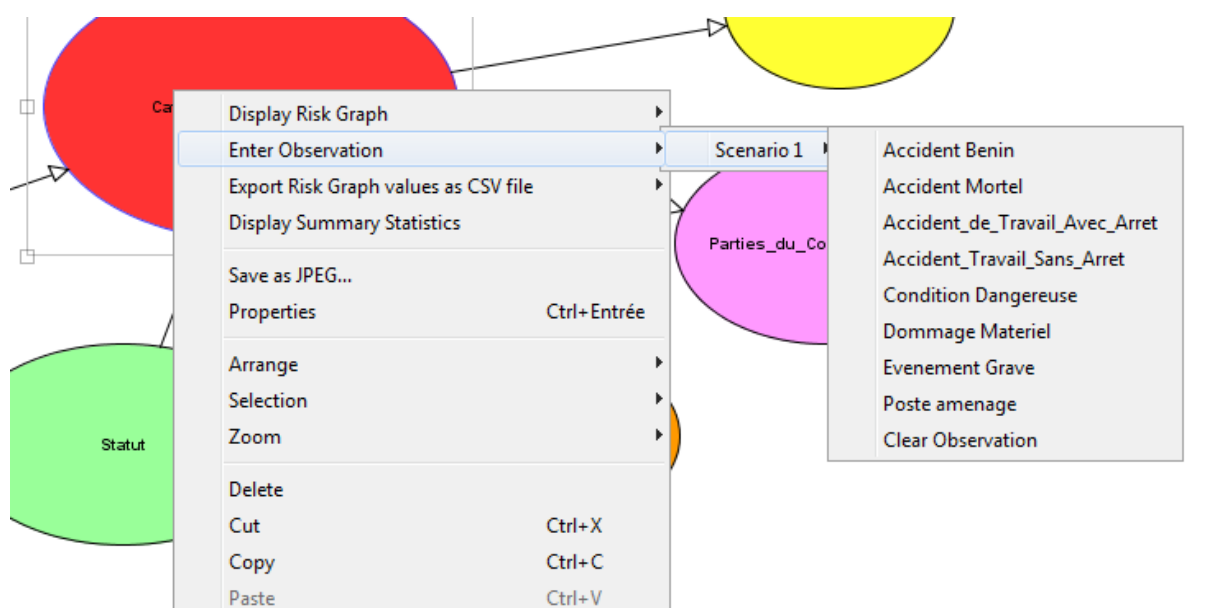


Figure IV.5: application des scénarios sur le réseau bayésien

Dans ce qui suit, plusieurs scénarios seront appliqués pour comprendre l'origine de certains événements redoutés

IV.4.1 premier scénario « accident avec arrêt » : Selon les statistiques enregistrés par la cimenterie LAFARGE Oggaz durant les cinq dernières années, les probabilités des paramètres qui augmentent la probabilité d'occurrence de l'événement redouté « accident avec arrêt » sont :

Tableau IV.1 : Résultat de premier scénario

Paramètres	plus prépondérant	Probabilités (%)
Lieu	Sur le site	91.63%
Cause	Manque de vigilance	21.339%
Type de personnel	Sous traitant	52.408%
Parties de corps blessé	Pied	34.783%

Gravité potentielle	Haute	91.304%
Dépend de	Non lie a un standard ou une directive	49.595%
Cree par	Manager de sécurité 2	41.41%
Dans les statistiques de Lafarge	Oui	91.304%

De ce fait, on peut conclure que les accidents avec arrêt surviennent principalement sur le site de Lafarge et souvent dus à un manque de vigilance.

IV.4.2 Deuxième scénario "La gravité potentielle haute":

En considérant la gravité de l'accident haute, les probabilités des paramètres qui agissent sur l'augmentation de la probabilité d'occurrence d'un accident à haute gravité sont :

Tableau IV.2 : Résultat de deuxième scénario

Paramètres	plus prépondérant	Probabilités (%)
Lieu	Sur le site	91.53%
Cause	Manque de vigilance	17.6%
Type de personnel	Sous traitant	51.763%
Parties de corps blessé	thorax	28.107%
Statut	Notification en attente d'approbation	63.732%
Catégorie de l'accident	Accident avec arrêt de travail	33.827%
Dépend de	Non lie a un standard ou une directive	49.743%
Crée par	Manager de sécurité 2	41.508%
Dans les statistiques de Lafarge	Oui	86.772%

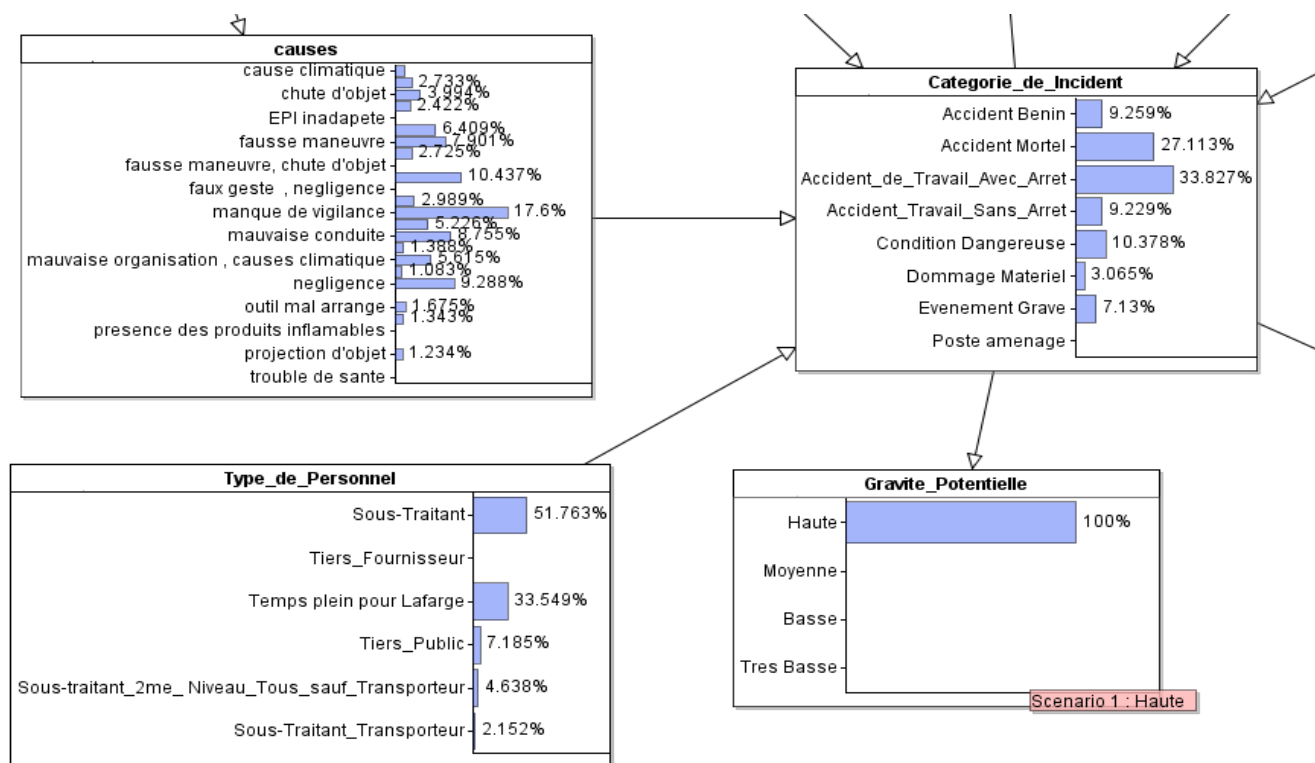


Figure IV.6: résultat de deuxième scénario

De ce fait, on peut conclure que les accidents à haute gravité surviennent principalement sur le site de Lafarge, souvent dus à un manque de vigilance et sur des sous traitants présents sur le site.

IV.4.3 troisième scénario " blessure au niveau de la tête":

Une des blessures les plus redoutées sont les blessures sur la tête, de ce fait nous nous intéressons à leur survenues et les conditions dans les quels elles se produisent

Tableau IV.3 : Résultat de troisième scénario

Paramètres	plus prépondérant	Probabilités (%)
Lieu	Sur le site	94.911%
Cause	Manque de vigilance	24.202%
Type de personnel	Sous traitant	60.392%
Gravité potentielle	Basse	54.528%
Catégorie de l'accident	Accident sans arrêt de travail	59.401%
Dépend de	Non lie a un standard ou une directive	51.189%

Crée par	Manager de sécurité 2	48.251%
Dans les statistiques de	Oui	98.197%

Même si ces accidents ne sont pas toujours grave, et c'est tant mieux, les sous traitant sont les plus exposés par manque de vigilance.

IV.4.4 quatrième scénario "travailleur de Lafarge a eu un accident a haute gravité":

Concernant les travailleurs de Lafarge, on s'intéresse aux accidents de haute gravité. Les probabilité des paramètres qui agissent pour l'augmentation du risque d'occurrence d'un accident a haute gravité:

Tableau IV.4 : Résultat de quatrième scénario

Paramètres	plus prépondérant	Probabilités (%)
Lieu	Sur le site	91.871%
Cause	Manque de vigilance	14.264%
Partie du corps blessée	Thorax	29.533%
Statut	Notification en attente d'approbation	66.253%
Catégorie de l'accident	Accident avec arrêt de travail	32.915%
Dépend de	Non lie a un standard ou une directive	49.082%
Crée par	Manager de sécurité 2	43.026%
Dans les statistiques de Lafarge	Oui	86.255%

Elles surviennent sur le thorax par manque de vigilance et bien sûr nécessitant un arrêt de travail

IV.4.5 cinquième scénario " travailleur de Lafarge eu accident a haute gravité sur site":

Ce scénario est venu pour confirmer le premier.

Tableau IV.5 : Résultat de cinquième scénario

Paramètres	plus prépondérant	Probabilités (%)
Cause	Manque de vigilance	13.769%
	Faux geste	13.65%
Partie du corps blessée	Thorax	28.883%
Statut	Notification en attente d'approbation	65.644%
Catégorie de l'accident	Accident avec arrêt de travail	32.88%
Dépend de	Non lie a un standard ou une directive	48911%
Crée par	Manager de sécurité 2	42.842%
Dans les statistiques de Lafarge	Oui	86.288%

IV.4.6 sixième scénario "accident mortel sur site"

C'est l'événement le plus redouté, dans les statistiques enregistrées au sein de la cimenterie Lafarge Oggaz durant ces cinq dernières années y a qu'un seul accident mortel qui a eu lieu.

C'était un conducteur d'excavatrice, travaillant pour le sous-traitant il s'est trouvé mort à la carrière d'argile de Relizane. D'après les témoignages : la victime a terminé son travail à 12h30, après qu'il a changé ses vêtements et pris le déjeuner sur place, et au lieu de quitter le chantier par le transport qui l'attendait, il s'est dirigé vers une zone non exploitée (fermée par des merlons). A 17h00 ses collègues le cherchaient à la base de vie mais ne l'ont pas trouvé, à ce moment-là, une recherche a été lancée au niveau de la carrière, à 18h, l'ouvrier a été retrouvé mort écrasé au niveau du thorax par un bloc basculé.

D'après le réseau bayésien les probabilité des paramètres qui agissent sur l'augmentation de la probabilité d'occurrence d'un accident mortel sur site sont :

Tableau IV. : Résultat de sixième scénario

Paramètres	plus prépondérant	Probabilités (%)
Type de personnel	Sous traitant	43.835%
Cause	Manque de vigilance négligence	11.157% 10.535%
Partie du corps blessée	Thorax	100%
Statut	Notification en attente d'approbation	55.699%
Gravité potentielle	haute	100%
Dépend de	Non lie a un standard ou une directive	48.212%
Crée par	Manager de sécurité 2	39.968%
Dans les statistiques de Lafarge	oui	100%

Etant donné le nombre rare de tels accidents rendant le taux de croyance faible et les conclusions incertaines, Nous pouvons tout de même faire des constatations :

De tels accidents arrivent par manque de vigilance et négligence sur le thorax impliquant des sous traitants

IV.5 Recommandations

Suite a cette analyse, nous remarquons que les accidents graves impliquent principalement des sous-traitants pas très vigilant. De ce fait, nous pouvons proposer les recommandations suivantes :

- Former, sensibiliser et informer les travailleurs surtout les sous traitant, car se sont les plus touchés d'après notre réseau, des risques et des mesure de prévention et de sécurité.
- Respecter le temps légal du travail pour conserver la concentration et la vigilance des travailleurs.
- Convaincre les travailleurs de l'obligation du respect des règlements intérieurs de l'entreprise (permis de travail, porte d EPI...)

IV.6 conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté AgenaRisque afin de réaliser le modèle bayésien des accidents survenues au sein de la cimenterie Lafarge Oggaz.

Ce réseau bayésien nous a permis d'appliquer des simulations de quelques scénarios pour comprendre l'origine de certains évènements redoutés notamment les accidents graves et accidents mortels.

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

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 la cimenterie LCO (Lafarge Ciment Oggaz) durant ces cinq dernières années.

A partir de ces statistiques nous avons réalisés un réseau bayésien sur AgenaRisk, composé de dix nœuds dont " catégorie de l'accident " qui est l'événement principal et les autres sont des données qui décrivent les conditions dans lesquelles l'accident s'est produit et les conséquences de cet accident.

D'après les résultats obtenus sur le réseau, les accidents les plus survenus sont des accidents bénins, à gravité basse qui ont eu lieu sur site par manque de vigilance des sous-traitants et avec aucune lésion corporelle marquée.

Les résultats sont satisfaisants et encourageants pour l'entreprise, mais l'école de sécurité cherche toujours à avoir un résultat meilleur et pour cela, nous avons proposé six scénarios qui sont les plus redoutés. 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.

A l'issue de cette analyse, en perspective quelques propositions dans le but de contribuer à l'amélioration de la situation sécuritaire et assurer le bon fonctionnement des travaux futurs :

- Reste à développer des études d'analyse des risques pour une évaluation de sécurité plus approfondie.
- Meilleure détermination et détail des données (a priori) voir une meilleure application de la méthode et donc le résultat et l'analyse sont 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.
- Créer une interface conviviale pour que l'outil soit exploité et alimenté par les responsables sécurité de l'entreprise.

Références bibliographiques :

[1]: ISO 99] ISO, « Aspects liés à la sécurité : Principes directeurs pour les inclure dans les normes », Organisation internationale de normalisation, 1999.

[2]: Tullio Tanzi & Frédéric Delmer., Ingénierie du risque _ composé par HERMES SCIENCE PUBLISHING LTD et achevé d'imprimer par l'imprimerie FLOCH A MOYENNE _ AVRIL 2006

[3]: Alain Desroches - Alain loroy - Frédérique Vallée;, La gestion des risque _ principe et pratique _ 2 eme édition

[4]: Nouhed ACHOURI_ APPORT DE LA LOGIQUE FLOUE Á L'ANALYSE DE CRITICITÉ DES RISQUES INDUSTRIELS_ 27 octobre 2009

[5]: Mémoire online : analyse quantitative des risques industrielle, apporte des technique floues et possibilités _ 16 aout 2015

[6]: INERIS — DRA — 2006-P46055-CL47569 : Ω 7 :Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle

[7]: A. Talon, D. Boissier, L. Peyras. Analyse de risques : Identification et estimation : Démarches d'analyse de risques - Méthodes qualitatives d'analyse de risques Mars 2009

[8]: Vincent Augusto - école nationale supérieure des mines de Saint-Etienne 2012/2013

[9]: Claire Pagetti [Module de sûreté de fonctionnement - ENSEEIHT _ 3_eme TR - option SE _ 10 décembre 2012]

[10]: https://fr.wikipedia.org/wiki/Chaîne_de_Markov_08 juin 2017

[11] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Réseau_de_Petri

[12] : Bayes, T. (1763). An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*,.

[13] : Christian Robert. Des spécificités de l'approche bayésienne et de ses justifications en statistique inférentielle. 2013

[14] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Inference_bayesienne

[15] : Nicolas MERYER et Erik-André SAULEAU introduction à la statistique bayésienne pour les ingénieurs et les médecins _ université de Strasbourg sep 2015

[16] : Rodrigue SOHOIN_ Estimation de la fiabilité par les essais dans un contexte de faible taille d'échantillon et de forte censure_ université d'angers 27 fevrier 2014

[17]: Séverine DEMEYER_ Approche bayésienne de l'évaluation de l'incertitude de mesure : application aux comparaisons interlaboratoires_4 mars 2011

[18]: université-Bretagne sud/cours BAYES _ cours 3.

[19] :<https://fr.wikipedia.org/wiki/LafargeHolcim>

[20] :<http://www.elef.net/fr/dernieres-nouvelles/891-leadership-mondial-des-materiaux-de-construction>

[21] :Ecole de sécurité_Lafarge Ciment Oggaz

[22] :<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=4721>

[23] : ZAIDI Abdelaziz - integration des réseaux bayésienne et bond graphes pour la supervision des systemes dynamiques - université de Lille1_13 juin 2012

[24] : Bruno Bouzy - Réseaux Bayésiens 3 fevrier 2014