

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA-Bejaia
Faculté des Sciences Exactes
Département de Mathématiques



Option : *Probabilités Statistique et Applications*

Mémoire de fin d'études

Thème :

Sûreté de fonctionnement

Réalisé par :

MANSEUR Nouara

Setenu devant le jury composé de :

<u>Présidente</u> :	M ^{me} TIMERIDJINE, K.	M.C.A.	U. A. Mira-BEJAIA.
<u>Encadreur</u>	M ^r BOURAINE, M.	M.A.A.	U. A. Mira-BEJAIA.
<u>Examinatrice</u> :	M ^{me} LAGHA, K.	M.C.A.	U. A. Mira-BEJAIA.
<u>Examinatrice</u> :	M ^{lle} TAMITI, K.	Doctorante	U. A. Mira-BEJAIA.
<u>Invité</u> :	M ^r CHEBIB, N.	chef service	l'EPB

Promotion : 2018/2019

Table des matières

Table des matières	1
Liste des figures	4
Liste des tableaux	6
Remerciements	8
Introduction générale	9
Historique	12
1 Théorie de la fiabilité	15
1.1 Introduction	16
1.2 Rappels sur les notions de fiabilité	16
1.2.1 Fiabilité	16
1.2.2 La maintenabilité	16
1.2.3 Disponibilité	17
1.2.4 Sécurité	17
1.2.5 Défaillance	17
1.3 Indices de fiabilité	18
1.3.1 Fonction de fiabilité	19
1.3.2 Fonction de répartition (défiabilité)	19
1.3.3 Taux de défaillance λ	20
1.3.4 Les différentes phases du cycle de vie d'un matériel	21

1.3.5	Les grandeurs du temps	22
1.4	Fiabilité des systèmes	23
1.4.1	Système en série	23
1.4.2	Système en parallèle	24
1.4.3	Système k parmi n	25
1.5	Analyse ABC (Diagramme de Pareto) :	26
1.6	Lois de fiabilité usuelles	27
1.6.1	Loi log-normale	27
1.6.2	Loi exponentielle	28
2	La Sûreté de Fonctionnement	29
2.1	Introduction	30
2.2	Sûreté de fonctionnement	30
2.2.1	Concepts fondamentaux	30
2.2.2	Domaines d'application	33
2.3	Méthode d'analyse des risques pour la sûreté de fonctionnement	33
2.3.1	Définitions	33
2.3.2	Méthode Analyse Préliminaire des Risques	35
2.3.3	Méthode d'Arbre de Défaillance(AdD)	37
2.3.4	Méthode Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité AMDE(C)	45
2.3.5	La méthode Total Production Maintenance (TPM)	51
3	Application et présentation de l'entreprise EPB	53
3.1	Historique de l'entreprise	54
3.2	Présentation de l'entreprise	54
3.2.1	Organigramme général de l'Entreprise Portuaire de Bejaia	55
3.3	Application	56
3.3.1	Collecte des données	56
3.3.2	Analyse des données collectées	57
3.3.3	Fonctionnement du système de freinage d'un chariot élévateur	60
3.3.4	Analyse de risque par la méthode APR	61

3.3.5	Analyse de risque par la méthode AMDEC	61
3.3.6	Analyse de risque par la méthode d'arbre des causes (AdD)	63
	Conclusion générale	77
	Bibliographie	79

Table des figures

1.1	Fonction de fiabilité	19
1.2	courbe en baignoire.	21
1.3	Présentation des différentes grandeurs en fonction du temps dans le cas d'un système réparable.	22
1.4	Diagramme de fiabilité d'un système serie.	24
1.5	Diagramme de fiabilité d'un système à configuration parallèle.	25
1.6	Diagramme de Pareto (Méthode ABC)	26
2.1	Démarche d'analyse de la sûreté de fonctionnement d'après [27]	31
2.2	Arbre de sûreté de fonctionnement	32
2.3	Exemple de rapport d'une APR	36
2.4	Diagramme de la démarche de la méthode d'arbre de défaillance	39
2.5	Arbre de défaillance	40
2.6	Exemple d'arbre de défaillance cohérent	41
2.7	Exemple de défaillance	44
2.8	Lien entre AdD et diagramme de fiabilité	45
2.9	Démarche de la méthode AMDEC	48
3.1	Organigramme général de l'EPB actualisé juin 2018	55
3.2	Analyse de Pareto du nombre de pannes des différentes catégories	57
3.3	Analyse de Pareto des panne de la catégorie A	59
3.4	Arbre de défaillance	64
3.5	Histogramme de la densité de la variable X de tuyau de frein	66

3.6	Histogramme de la densité de la variable X de cylindre de roue	67
3.7	Histogramme de la densité de la variable X de maître cylindre	68
3.8	Histogramme de la densité de la variable X de FERODO	69
3.9	Histogramme de la densité de la variable Y de tuyau de frein	70
3.10	Histogramme de la densité de la variable Y du cylindre de roue	71
3.11	Histogramme de la densité de la variable Y du maître cylindre	72
3.12	Histogramme de la densité de la variable Y de FERODO	73
3.13	Arbre des probabilités	74

LISTE DES TABLEAUX

2.1	APR d'un frein de vélo	37
2.2	Domaines d'application d'AMDEC	47
2.3	Tableau AMDEC	50
2.4	Seuils de Criticité	50
3.1	Engins de marque SAMUK et GERMAN objets de notre étude	60
3.2	APR du système de freinage	61
3.3	AMDEC de problème de freinage	62
3.4	AMDEC du problème de freinage après réévaluation	63
3.5	Résultats d'ajustement pour tuyau de frein	66
3.6	résultats d'ajustement pour cylindre de roue	67
3.7	Résultats d'ajustement pour maitre cylindre	68
3.8	Résultats d'ajustement pour FERODO	69
3.9	Caractéristique des composants du système de freinage	70
3.10	Résultats d'ajustement pour le système de freinage	70
3.11	Résultats d'ajustement pour le cylindre de roue	71
3.12	Résultats d'ajustement pour maître cylindre	72
3.13	résultats d'ajustement pour FERODO	73
3.14	Tableau de disponibilité des composants	74
3.15	Tableau de temps de défaillance	75

Dédicaces

A mes inestimables parents qui ont tout sacrifié pour que

Je puisse

Réussir avec toute mon affection et toute ma

Reconnaissance que

Dieu me les garde

A mes chères soeurs : Yamouna, Bahia, Khoukha, Anissa

A mes frère : Mouloud, Lounes, Nabil, Lyes

A ma nièce : Farah

A mes neveux : Islam, Fafa, Moumen, Oussama, Fares

A toutes mes amies : Sylia, Nawal, Katia, et en particulier Saida.

Remerciements

Je remercie au premier lieu, Dieu le tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage d'établir ce travail.

Je remercie profondément mon encadreur BOURAINE Mouhand, pour l'intérêt constant qu'il a porté à ce travail, sa disponibilité, ces orientations, ses remarques fructueuses, et surtout sa méthode de travail autant qu'enseignant, ou bien encadreur. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.

J'adresse également mes plus vifs remerciements à mon encadreur au niveau de l'entreprise monsieur CHEBIB Nassim d'avoir accepté de m'encadrer, pour son suivi, ses conseils, et sa précieuse aide.

Je remercie également les membres jurys, pour l'intérêt qu'ils ont acceptés de juger et examiner mon travail.

Je remercie au finale toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Introduction générale

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement d'un système . Il est à signaler que l'analyse de fiabilité dans n'importe quel domaine est un outil très important pour caractériser le comportement d'un système dans les différentes phases de sa vie.

La sûreté de fonctionnement est une science de l'ingénieur qui occupe une place très importante dans le domaine du risque technique. Les techniques de sûreté de fonctionnement ont été développées rapidement non seulement pour un besoin de fiabilité et de sécurité mais aussi de disponibilité et de maintenabilité.

Dans le processus de développement des systèmes, la sûreté de fonctionnement est devenue une caractéristique essentielle . Ainsi, afin d'optimiser le développement de ces systèmes, il est impératif de disposer de méthodes permettant d'évaluer la sûreté de fonctionnement en cours de développement. L'évaluation de la sûreté de fonctionnement d'un système consiste à analyser les défaillances de ces composants pour estimer leurs conséquences sur le service rendu par le système. Les principales méthodes utilisées lors d'une analyse de la sûreté de fonctionnement sont : l'Analyse Préliminaire des Risques (APR), l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC), les Arbres de Défaillances (AdD), etc [32, 26]. Ces méthodologies permettent d'identifier les différents modes de défaillance et de dégradation des composants du système et d'en voir l'effet sur ce dernier. De plus, il est possible d'évaluer les modes de défaillance les plus critiques.

L'Analyse Préliminaire des Risques (1960) définit le besoin et les objectifs de la mission, les limites du système, les conditions de succès ou d'échec et leurs scénarios. Elle permet d'identifier les situations potentiellement dangereuses vis-à-vis de la sécurité et d'évaluer la gravité des conséquences.

L'arbre de défaillance (1962) est aujourd'hui l'une des méthodes utilisées dans les analyses de sûreté de fonctionnement des systèmes. C'est une méthode structurée et rigoureuse qui permet de faire une représentation de la logique des défaillances et d'identification des points faibles de la conception. Toutefois, cette méthode est peu adaptée pour l'étude des systèmes élémentaires, présentant des défaillances, de causes communes et des taux de défaillance dépendants du temps.

L'AMDEC (1960) est la plus utilisée, car elle peut s'appliquer à une organisation, un processus, un moyen, un composant ou un produit dans le but d'éliminer, le plus en amont possible, les causes des défauts potentiels. C'est là qu'on peut la considérer comme un moyen de se prémunir contre certaines défaillances et d'étudier leurs causes et leurs conséquences. La méthode permet de classer et de hiérarchiser les défaillances selon certains critères (occurrence, détection, gravité).

Le travail effectué dans ce mémoire a un double intérêt ou un double objectif. Le premier présente un aspect théorique. Il a pour but de développer la notion de sûreté de fonctionnement : son intérêt, son principe, ces domaines d'application, sa démarche, ainsi que les principales méthodes utilisées. Le second a un aspect pratique. C'est une application de quelques méthodes de sûreté de fonctionnement au problème de freinage (qui est un événement redouté) sur quelques équipements de l'EPB, en utilisant des données réelles.

Ce mémoire comprend, en plus de cette introduction générale, un historique, trois chapitres, une conclusion générale et une liste de références bibliographique.

► Le premier chapitre présente les notions élémentaires de la théorie de fiabilité

- ▶ Le deuxième chapitre porte sur le concept de la sûreté de fonctionnement et les différentes méthodes d'analyse de risque.
- ▶ Le troisième chapitre recouvre d'une façon générale une présentation de l'entreprise portuaire de Bejaia, et spécialement la direction logistique, et une application de trois méthodes d'analyse de risque, à savoir l'APR, L'AMDEC et l'arbre de défaillance, au problème de freinage des chariots élévateur du parc de l'EPB.

Historique

On ne connaît pas complètement une science tant qu'on n'on sait pas l'historique.

Auguste Comte (1798-1857)

La sûreté de fonctionnement est apparue comme une nécessité au cours du *XIX*^{ème} siècle, notamment en France à travers la commission des machines à vapeur auprès du ministre de l'industrie. l'APAVE est à l'origine de la première réglementation d'application nationale sur la sûreté de fonctionnement des machines à vapeur.

En 1600, une étude était faite sur le maillon le plus faible d'une chaîne de production, celle-ci se limitait à l'analyse du poste de travail le plus lent d'une ligne de fabrication.

A cause de l'absence préalable d'étude de sûreté approfondie, l'accident du métro parisien avait coûté 84 morts en 1903, aussi en avril 1912 la catastrophe du Titanic, le plus grand et puissant navire de son temps, à cause de la faille du système de cloisonnement, le navire sombra, entraînant la mort de 2471 personnes .

Au début de l'ère industrielle aux années 1930, l'apparition de l'électricité puis son développement conduisirent les ingénieurs à chercher à rendre fiable cette source de puissance. Avec le développement du transport aérien, on a vu apparaître un autre aspect de la fiabilité : le recueil d'informations statistiques sur la fréquence de panne des divers équipements des avions notamment les moteurs [2].

La première estimation de la probabilité d'accident d'un avion se trouve dans les travaux de capitaine, A.F. Pugsley publiés en 1939 et 1942 par l'Aeronautical Research Council de Londres. Ce dernier demanda que l'on considère toutes les causes de pannes susceptibles

d'entraîner un accident ne dépasser pas $10^{-5}/h$ pour les moteurs, ne dépasse pas $10^{-7}/h$ pour les causes liées à la structure d'avion.

Les premiers modèles de fiabilité prévisionnelle apparaissent en Allemagne durant les années 1940 où se développaient les projets du missile V1 sous la direction de Von Braun. Il revient sur l'idée que la fiabilité d'une chaîne est celle de son maillon le plus faible, en essayant de prouver que la fiabilité d'une chaîne est la moyenne de la fiabilité de ses constituants. Les essais montreront que cette hypothèse était également erronée. C'est Eric Pieruschka qui va finalement donner la formule de calcul de la fiabilité d'une chaîne : $R_{chaîne}(t) = \prod_{i=1}^n Ri(t)$. Il a ajouté que "Si la probabilité de survie d'un élément est $1/x$ alors la probabilité de survie d'un ensemble de n éléments est de $1/x^n$

Le manque de fiabilité était souvent devenu le cauchemar des ingénieurs, c'est ainsi que naquit la loi de Murphy en 1949 : l'histoire [4] raconte qu'en 1949, au Etats-Unis, le capitaine Murphy, un ingénieur de l'aéronautique qui travaillait sur une base des force armées (Edwards air force base), avait connu beaucoup d'ennuis avec certains matériels et avait déclaré "if there is any way to do it wrong, he will" à l'adresse du technicien responsable. L'un des principaux enseignements du programme fût cette loi exprimée au cours d'une conférence de presse qui depuis, a connus beaucoup de succès devant pour suite des défaillances technologiques.

En 1950, une étude était réalisée aux Etats-Unis au sein de la marine américaine car la complexité des systèmes électroniques engendra des défaillances qui entraînaient une disponibilité de matériels réduite et des coûts élevés.

La commission AGREE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment), créée en 1952 par le département de la défense et l'ensemble des industries électroniques insista plus particulièrement sur le besoin pour les nouveaux équipements électroniques d'être testés pendant plusieurs milliers d'heures dans des environnements très contraignants (incluant des hauts et basses températures, des vibrations, ...) afin de découvrir le maximum de points faibles suffisamment tôt pour permettre de corriger ces défauts avant le lancement de la production en série. La commission recommanda également d'une part, le calcul du temps moyenne entre défaillances (MTBF) et son intervalle de confiance et d'autre part, la démonstration que le MTBF est supérieur à un MTBF requis.

Les débuts des années 1960 connurent l'émergence de nouvelles techniques de fiabilité et une

variété plus large d'applications [32]. C'est l'approche qui porte le titre AMDE (Analyses des Modes de Défaillance et de leurs Effets). En 1961, le concept d'Arbres des causes est introduit par Watson des "Bell Telephone Laboratorie" comme une méthode permettant d'évaluer la sécurité du système de contrôle du missile Minuteman [18]. Ce concept a été, par la suite, adopté par la société de Boeing, Hassl (Boeing-NASA).

Après l'accident de l'éboulement de terrain au lac artificiel Vajont causant 2168 morts en 1963, il vient les années 1965 où ils ont introduit le concept de maintenabilité qui annonce le début de l'harmonisation et de la normalisation internationale des études de Sûreté de Fonctionnement.

A partir de 1970, les premiers travaux sur la fiabilité des logiciels [17] commencent et de nombreuses études sont menées dans le domaine du nucléaire. Nous pouvons citer, par exemple, le rapport américain Rasmussen sur les risques nucléaires des centrales de Surry 1 et Peach Bottom 2. En 1979, la catastrophe nucléaire de Three Miles Island motive encore plus le développement d'outils de Sûreté de Fonctionnement. Puis, progressivement, les techniques de Sûreté de Fonctionnement vont largement se diffuser et s'étendre à de plus en plus de domaines : la chimie, le ferroviaire, l'automobile, le traitement et l'épuration de l'eau, et l'ensemble des grands secteurs industriels.

Au début des années 1980, on peut dire que c'est la naissance de la sûreté de fonctionnement en tant que science de l'ingénieur. Durant ces années, la prise en compte des techniques des indices de sûreté de fonctionnement tend à se généraliser, d'une part pour la maîtrise et la gestion des grands risques industriels et d'autre part pour la conception de matériels de grande consommation. En 1984, aux Etats-Unis, on comptait plus de vingtaines d'études terminées et venant d'être publiées, et un grand nombre d'autres études étant en cours.

1

Théorie de la fiabilité

1.1 Introduction

La fiabilité était devenue dans les années 1960 la science des défaillances [32].

L'étude de fiabilité est nécessaire à différents niveaux de la vie d'un système. Elle s'inscrit dans un domaine plus large qui est la Sûreté de Fonctionnement. Elle est souvent utilisée pour évaluer la durée de vie, le temps de bon fonctionnement, le taux de défaillance d'un composant, d'un système simple ou complexe.

Nous verrons dans ce chapitre les indices et les notions de base de la théorie de fiabilité qui permettront ensuite d'introduire les principes de l'analyse de la sûreté de fonctionnement des systèmes.

1.2 Rappels sur les notions de fiabilité

1.2.1 Fiabilité

Un dispositif est dit fiable s'il est apte à accomplir une fonction requise, dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée.

La fiabilité se distingue selon l'étape étudiée de la vie du dispositif :

- (a) **Fiabilité prévisionnelle (fiabilité prédite)** : elle est déterminée durant la phase de conception d'un système sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données de fiabilité de ses composantes.
- (b) **Fiabilité estimée** : elle est mesurée après la conception du dispositif à l'aide d'un ensemble d'essais.
- (c) **Fiabilité opérationnelle** : elle est mesurée sur un dispositif en exploitation. Elle dépend des conditions réelles d'exploitation.

1.2.2 La maintenabilité

Pour qu'un système soit disponible, il doit défaillir le plus rarement possible mais il est tout aussi important qu'il soit très rapidement réparé. On entend ici par réparation l'ensemble de la mise en service incluant les délais logistiques. L'aptitude d'un système à être réparé et mesurée par la maintenabilité [15].

La maintenabilité est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits [32].

La maintenabilité désigne l'ensemble des opérations nécessaires pour maintenir un système à un niveau de fiabilité donné. Sa maintenabilité caractérise la facilité avec laquelle on le maintient en bon état de fonctionnement [28].

1.2.3 Disponibilité

La disponibilité caractérise la capacité d'un système à fonctionner lorsqu'on le demande. En particulier, la disponibilité d'un système est souvent caractérisée par sa capacité à rester dans un état de fonctionnement pendant les périodes de repos.

La disponibilité est exprimée par la probabilité que le système délivre le service attendu dans des conditions données et à un instant donné. La disponibilité caractérise donc l'aptitude du système à fonctionner quand on a besoin de lui [16].

1.2.4 Sécurité

La sécurité est l'aptitude d'un système à ne pas connaître de pannes considérées comme catastrophiques pendant une durée donnée [14].

La sécurité est l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

1.2.5 Défaillance

Un dispositif est défaillant s'il perd partiellement ou totalement ses propriétés ce qui entraîne la perte totale de sa capacité de fonctionnement, ou bien on dira qu'une entité connaît une défaillance lorsqu'elle n'est plus en mesure de remplir sa (ou ses) fonction(s).

On distingue plusieurs types de défaillances ou pannes :

- **Les défaillances subites (soudaines)** : Elles sont dues à une perte totale des propriétés du système entraînant l'incapacité de fonctionnement. Ce type de défaillance caractérise spécialement un matériel électronique.

- **Les défaillances graduelles (progressives)** : Elles se caractérisent par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système. Ce type de défaillance est prépondérant pour le matériel mécanique, pour lequel se manifeste l'usure des composants après une certaine durée de bon fonctionnement.
- **Les défaillances partielles** : Elles résultent des déviations d'une ou plusieurs caractéristiques au delà des limites spécifiques mais n'entraînent pas une disparition complète de fonction.
- **Les défaillances complètes** : Elles résultent de la déviation d'une ou plusieurs caractéristiques telles qu'elles entraînent la disparition de la fonction.
- **Les défaillances par dégradation** : Elles sont progressives partielles ou complètes, réversibles ou non.
- **Les défaillances catalectiques** : Elles sont soudaines complètes et irréversibles. On peut aussi classer les défaillances selon la période de vie de l'équipement durant laquelle elles apparaissent. On distingue trois classes ; à savoir :
 - **Les défaillances précoces** : Elles surviennent durant la période de jeunesse de l'équipement, c'est-à-dire juste après sa mise en fonctionnement. Ces défaillances peuvent être attribuées à la conception, à la fabrication ou à la mauvaise utilisation du matériel.
 - **Les défaillances aléatoires** : Elles apparaissent durant la période de vie utile du matériel. Elles ont la même probabilité d'apparition.
 - **Les défaillances par usure** : Ce sont des pannes progressives et elles apparaissent suite à la fatigue, l'usure et la dégradation du matériel après une longue période de fonctionnement.

1.3 Indices de fiabilité

Soit T la variable aléatoire qui est absolument continue et non négative représentant la durée de vie d'un dispositif. On note f sa densité de probabilité et F sa fonction de répartition

1.3.1 Fonction de fiabilité

La fiabilité d'un dispositif à la date t , $t > 0$, notée $R(t)$ est la probabilité que le dispositif fonctionne encore à la date t sans défaillance.

C'est à dire la probabilité de bon fonctionnement dans l'intervalle $[0, t]$

$$R(t) = P(T > t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x) \, dx = \int_t^{+\infty} f(x) \, dx$$

La fiabilité $R(t)$ est la probabilité que le système remplisse sa mission entre l'instant 0 et l'instant t , c'est une fonction décroissante du temps qui tend vers 0. La durée de vie peut s'exprimer en heures, semaines, cycles, etc.

En général la fonction de fiabilité a la forme suivante :

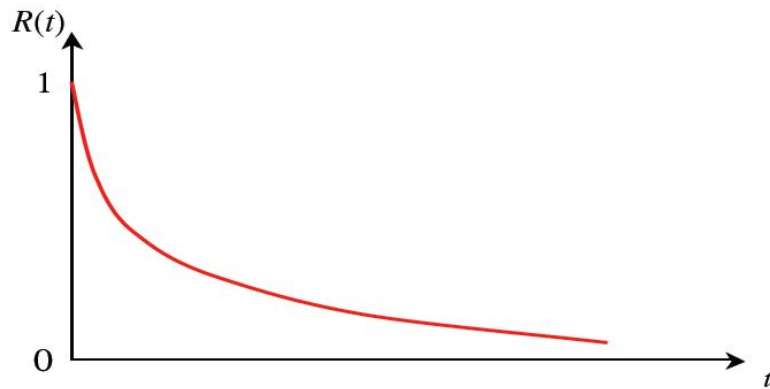


FIGURE 1.1 – Fonction de fiabilité

Propriété 1.3.2 :

- 1 $R(0) = 1$;
- 2 $\lim_{t \rightarrow +\infty} R(t) = 0$;
- 3 $P(t_1 < T < t_2) = F(t_2) - F(t_1) = R(t_1) - R(t_2)$.

1.3.2 Fonction de répartition (défiabilité)

La défiabilité à la date t (notée $F(t)$) est la probabilité de défaillance avant t , autrement dit c'est la probabilité de panne ou de défaillance dans l'intervalle $[0, t]$.

$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ est appelé probabilité de panne ou de défaillance à l'instant t

En effet :

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \frac{dF(t)}{dt} \\
 &= \lim_{dt \rightarrow 0} \left[\frac{F(t+dt) - F(t)}{dt} \right] \\
 &= \lim_{dt \rightarrow 0} \left[\frac{P(t < T < t+dt)}{dt} \right]
 \end{aligned}$$

pour dt petit :

$$f(t)dt \approx P(t < T \leq t + dt).$$

1.3.3 Taux de défaillance λ

Le taux de défaillance, appelé aussi taux d'avarie ou de panne noté $\lambda(t)$, est la probabilité que l'équipement fonctionne encore après t unités de temps et il tombe en panne dans les dt unités supplémentaires, c'est donc la probabilité conditionnelle que l'équipement tombe en panne dans l'intervalle $[t, t + dt]$, dt petit, sachant qu'il a bien fonctionné avant t

$$\lambda(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \left[\frac{P(t < T < t + dt | T > t)}{dt} \right]$$

Remarque 1.3.3.1.

- Cette relation donne la définition d'un taux de défaillance instantané. On peut définir le taux de défaillance moyen dans l'intervalle $[t, t + \Delta(t)]$ par :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{[t, t+\Delta(t)]} &= \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta(t) | T > t)}{\Delta(t)} \\
 &= \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta(t))}{\Delta(t) \cdot P(T > t)} \\
 &= \left[\frac{R(t) - R(t + \Delta(t))}{\Delta(t) \cdot R(t)} \right]
 \end{aligned}$$

– Lien avec la fiabilité

$$\begin{aligned}
 \lambda(t) &= \lim_{dt \rightarrow 0} \left[\frac{1}{dt} P(t < T \leq t + dt | T > t) \right] \\
 &= \lim_{dt \rightarrow 0} \left[\frac{1}{dt} \left(\frac{P(t < T \leq t + dt)}{P(T > t)} \right) \right] \\
 &= \frac{1}{P(T > t)} \lim_{dt \rightarrow 0} \left[\frac{1}{dt} P(t < T \leq t + dt) \right].
 \end{aligned}$$

Donc

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(T > t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-R'(t)}{R(t)} = \frac{F'(t)}{(1 - F(t))}.$$

En utilisant le fait que $R(0) = 1$, on obtient :

$$R(t) = \exp \left(- \int_0^t \lambda(t) dt \right), \quad t > 0.$$

1.3.4 Les différentes phases du cycle de vie d'un matériel

L'évolution du taux de défaillance d'un matériel pendant toute sa durée de vie est caractérisée par ce qu'on appelle en analyse de fiabilité la courbe en baignoire.

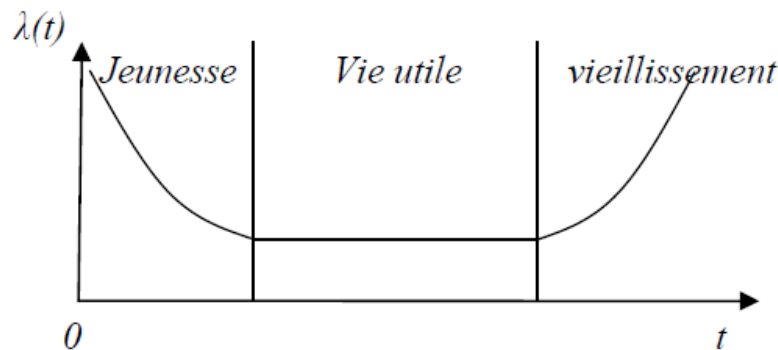


FIGURE 1.2 – courbe en baignoire.

La vie d'un matériel mécanique passe par trois phases :

1. **Phase de jeunesse ($\lambda(t)$ décroissant)** : Ou période de moralité infantile ou période des défaillances précoces. C'est la période de rodage où les défauts de fabrication provoquent la panne des dispositifs mal construits.

2. **Phase de maturité ($\lambda(t)$ presque constant)** : La période de vie utile correspond à la majorité de la vie du produit pendant laquelle les défauts surviennent de manière totalement aléatoire.
3. **Phase de vieillesse ($\lambda(t)$ est croissant)** : Elle correspond à la période d'usure normale de l'élément où les pannes s'accélèrent.

1.3.5 Les grandeurs du temps

Des grandeurs associées à la fiabilité des systèmes peuvent être calculées à partir des mesures de probabilités contrairement aux précédentes, qui sont en fonction du temps. Les grandeurs suivantes caractérisent des durées moyennes concernant un matériel réparable. L'analyse du cycle de vie d'un matériel fait remarquer qu'il est composé de :

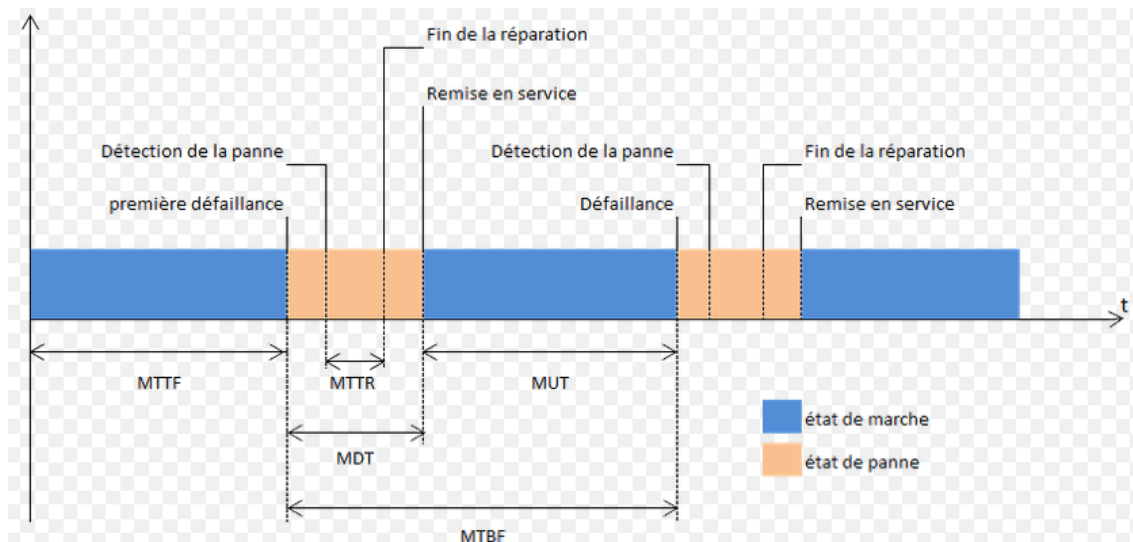


FIGURE 1.3 – Présentation des différentes grandeurs en fonction du temps dans le cas d'un système réparable.

- **Espérance de vie MTTF (Mean Time To Failure)** : durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt .$$

- **MTTR (Mean Time To Repair)** : Durée moyenne jusqu'à la réparation, c'est le temps moyen mis pour réparer le système.

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)] dt ,$$

où $M(t)$ est la distribution des temps de réparation.

- **MUT (Mean Up Time)** : Durée moyenne de fonctionnement après réparation.
- **MDT (Mean Down Time)** : Durée moyenne d'indisponibilité après défaillance. Autrement dit, c'est le temps moyen qui sépare une remise en service opérationnelle du système de la survenance de la panne suivante.
- **MTBF (Mean Time Between Failure)** : Durée moyenne entre deux défaillances successive.

$$MTBF = MDT + MUT.$$

Remarque 1.3.1. La disponibilité limite (D) est donnée par :

$$D = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

1.4 Fiabilité des systèmes

Un système est tout assemblage d'éléments en interaction. Ces derniers sont appelés composants du système. Le principe est de considérer que sa fiabilité dépend à la fois de la fiabilité de ses composants et de la façon dont le bon fonctionnement ou la panne de chaque composant influe sur le bon fonctionnement ou la panne du système tout entier.

Selon l'incidence de la fiabilité de l'un de ses composants sur l'état du système, on distingue les configurations suivantes :

1.4.1 Système en série

Pour une telle configuration, la panne de l'un des n éléments indépendants E_1, E_2, \dots, E_n , placés en série entraîne la panne de tout le système.

La durée du vie de système est donnée par :

$$X = \min_{i \in \{1, \dots, n\}} (X_1, X_2, \dots, X_n),$$

où X_i la durée de vie de l'élément i , $i = \overline{1, n}$.

La fiabilité du système est alors :

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \exp\left(-\int_0^t \sum_{i=1}^n \lambda_i(x) dx\right), t > 0.$$

Le taux de défaillance du système en série constitué de n composants est :

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i(t)),$$

où R_i et λ_i sont la fiabilité et le taux de défaillance respectifs de l'élément i , $i = \overline{1, n}$.



FIGURE 1.4 – Diagramme de fiabilité d'un système en série.

1.4.2 Système en parallèle

Le système reste en état de fonctionnement si au moins un de ses n composants indépendants E_1, E_2, \dots, E_n , placés en parallèle, fonctionne.

La durée de vie du système est alors :

$$X = \max(X_1, X_2, \dots, X_n), \text{ avec } i = \overline{1, n}$$

où X_i est la durée de vie de l'élément i , $i = \overline{1, n}$.

La fiabilité du système est donnée par :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \exp(-\int_0^t \lambda_i(x) dx)],$$

où R_i et λ_i sont la fiabilité et le taux de défaillance respectifs de l'élément i , $i = \overline{1, n}$.

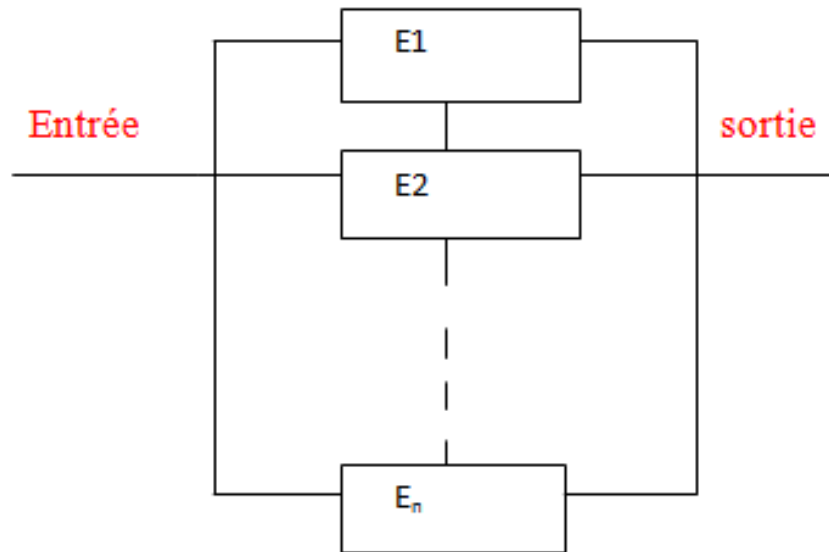


FIGURE 1.5 – Diagramme de fiabilité d'un système à configuration parallèle.

1.4.3 Système k parmi n

Ce système fonctionne si au moins " k " éléments parmi " n " fonctionnent. On suppose que tous les éléments sont identiques et indépendants et soit N_t la variable aléatoire du nombre d'éléments qui fonctionnent à l'instant t, alors :

$$N_t \rightsquigarrow \text{Binomiale}(n, R(t))$$

$$\begin{aligned} R(t) &= P(N_t \geq k), k = \overline{0, n} \\ &= \sum_{m \geq k}^n P(N_t = m) \\ &= \sum_{m=k}^n C_n^m (R(t))^m (1 - R(t))^{n-m} \end{aligned}$$

Remarque 1.4.1. Cas particuliers

- Si $k=1$ on obtient un système en parallèle.
- Si $k=n$ on obtient un système en série.

1.5 Analyse ABC (Diagramme de Pareto) :

Le diagramme de Pareto est un moyen simple pour classer les phénomènes par ordre d'importance. Ce diagramme et son utilisation sont aussi connus sous le nom de "règle des 20/80" ou méthode ABC [20]. Son graphe est présenté dans la figure suivante :

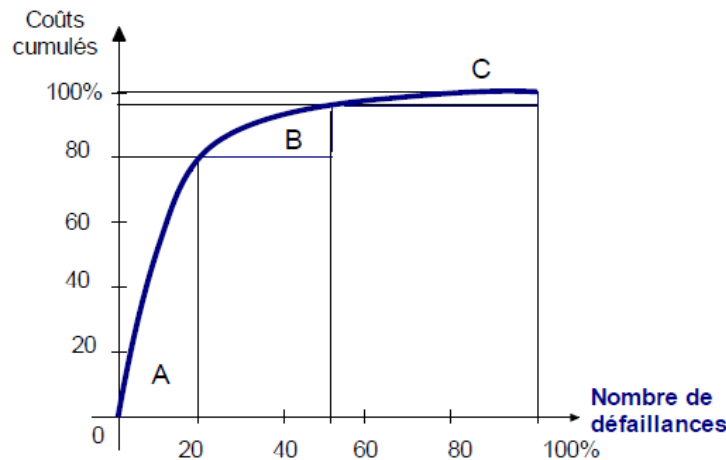


FIGURE 1.6 – Diagramme de Pareto (Méthode ABC)

D'après le graphe on observe trois zones

1. **Zone A** : Les 20% des pannes des systèmes occasionnent 80 % des coûts.
2. **Zone B** : Les 30% des pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;
3. **Zone C** : Les 50% des pannes restantes ne concernent que 5 % du coût global.

Démarche de la méthode

1. Définir la nature des éléments à classer : matériel, cause de panne.
2. Choisir le critère de classement : les coûts, le temps, nombre d'accidents.
3. Classer les éléments par ordre d'importance en indiquant les % pour le critère étudié.
4. Construire le graphe du pourcentage cumulé.
5. Déterminer les zones A,B et C.
6. Interpréter la courbe obtenue et déduire les éléments qu'on doit étudier.

1.6 Lois de fiabilité usuelles

Parmi les lois utilisées en fiabilité les suivantes :

1.6.1 Loi log-normale

Une variable aléatoire continue et positive T est distribuée selon une loi log-normale si son logarithme népérien est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est largement utilisée pour modéliser des données de vie, en particulier elle est utile dans les cas où la distribution des données n'est pas symétrique. Elle est souvent utilisée pour modéliser les durées de panne d'un dispositif.

La loi lognormale a deux paramètres : la moyenne m , $m \in \mathbb{R}$ et l'écart-type σ , $\sigma > 0$.

Elle est caractérisée par :

– **Fonction de densité :**

$$f(t) = \frac{1}{(t\sigma\sqrt{2\Pi})} e^{\left(\frac{-(\log(t)-m)^2}{(2\sigma^2)}\right)}, t \geq 0, \sigma > 0.$$

– **Fonction de répartition :**

$$\frac{1}{(\sigma\sqrt{2\Pi})} \int_0^t \frac{1}{x} e^{\left(\frac{-(\log(x)-m)^2}{(2\sigma^2)}\right)}, t \geq 0$$

– **Fiabilité :**

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{(\log(t)-m)}{\sigma}\right), t = 0.$$

– **Taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \frac{e^{\left(\frac{-(\log(t)-m)^2}{(2\sigma^2)}\right)}}{\int_t^{+\infty} \sigma\sqrt{2\Pi}f(t)dt}$$

– **La durée de vie moyenne :**

$$E(T) = e^{m + \frac{\sigma^2}{2}}$$

où, Φ est la fonction de répartition de la loi normale centré réduite. Le domaine de définition n'étant jamais négatif, il n'y a aucune limitation à l'emploi de la distribution

log-normale en fiabilité. Le taux de défaillance est croissant dans le début de vie puis décroissant en tendant vers zéro et la distribution est très dissymétrique.

1.6.2 Loi exponentielle

Cette loi décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. La loi exponentielle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant (défaillance aléatoire). Elle modélise aussi la durée de vie utile d'un équipement mécanique.

Elle est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance, λ .

Elle est caractérisée par :

– **La fiabilité :**

$$R(t) = e^{-\lambda t}, t > 0$$

– **Fonction de densité :**

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0$$

– **Fonction de répartition :**

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t)}$$

– **Le taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \lambda, \forall t > 0$$

2

La Sûreté de Fonctionnement

2.1 Introduction

La sûreté de fonctionnement a pour but d'atteindre l'idéal de la conception de système : zéro accident, zéro arrêt, zéro défaut et même zéro maintenance.

La sûreté de fonctionnement mesure la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée .

Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les grandeurs probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité.

Dans ce chapitre on présente dans la première section les concepts fondamentaux de la sûreté de fonctionnement : les attributs, les moyens et les entraves. La seconde section présente les différentes méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement.

2.2 Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude à éviter des défaillances plus fréquentes ou plus graves que ce qui est acceptable, elle englobe principalement quatre composantes : la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité.

Il existe d'autres désignations suivant les domaines d'applications par exemple : analyse de risque (milieu pétrolier), cyndinique (science du danger), FMDS (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité), en anglais RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety).

Démarche d'analyse de la sûreté de fonctionnement

L'étude de la sûreté de fonctionnement est une démarche composée d'un certain nombre d'étapes autour desquelles peuvent s'articuler des méthodes spécifiques. Ces principales étapes sont présentées selon un processus résumé par la figure (2.1).

2.2.1 Concepts fondamentaux

Les concepts fondamentaux de la sûreté de fonctionnement sont habituellement illustrés par l'arbre de la sûreté de fonctionnement. Ceux-ci comprennent les notions de fia-

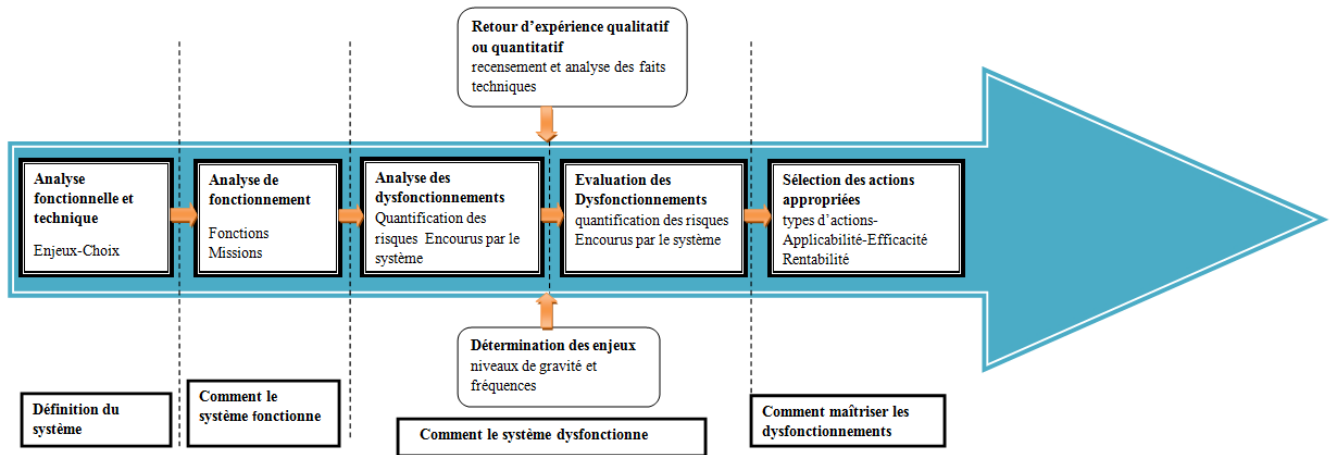


FIGURE 2.1 – Démarche d’analyse de la sûreté de fonctionnement d’après [27]

bilité, de disponibilité, de maintenabilité et de sécurité.

L’arbre de la sûreté de fonctionnement

Les concepts fondamentaux de la sûreté de fonctionnement sont classés en trois groupes dans l’arbre de la sûreté de fonctionnement [1] : Les attributs de la sûreté de fonctionnement, les entraves à la sûreté de fonctionnement, et les moyens par lesquels la sûreté de fonctionnement est atteinte.

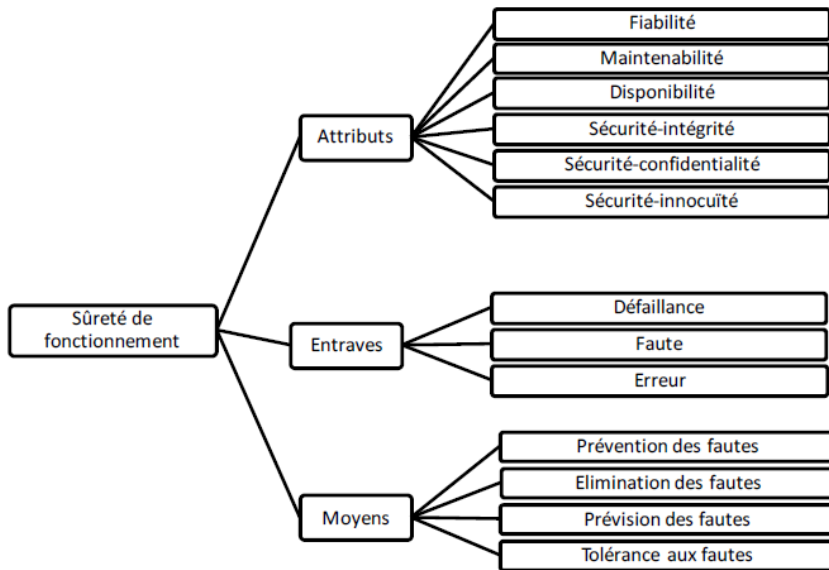


FIGURE 2.2 – Arbre de sûreté de fonctionnement

✘ **Entraves** : Les entraves à la sûreté de fonctionnement représentent les circonstances indésirables et inattendues, causes, ou résultats de la non-sûreté de fonctionnement. Les entraves sont réparties en 3 notions : les fautes, les erreurs et les défaillances.

- **La faute** : c'est la cause supposée d'une erreur,
- **L'erreur** : c'est la partie de l'état d'un système qui est susceptible d'entraîner une défaillance [21]. Lorsque l'erreur devient active, une défaillance se produit.
- **La défaillance** : c'est la perte partielle ou totale des propriétés. [13].

✘ **Attributs** : Les attributs de la sûreté de fonctionnement sont parfois appelés FDMS pour Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité.

1. **La fiabilité** « reliability » mesure la continuité de service.
2. **La maintenabilité** « maintainability » est l'aptitude aux réparations et aux évolutions.
3. **La disponibilité** « availability » est le fait d'être prêt à l'utilisation.
4. **La sécurité** « safety » qui est l'absence de conséquences catastrophiques pour l'environnement, et la vie humaine.

- ✧ **Les moyens** : Les objectifs de sûreté de fonctionnement sont atteints par trois moyens :
- La prévision des fautes, regroupe l'ensemble des méthodes et techniques destinées à estimer la présence, la création et les conséquences des fautes ;
 - La tolérance aux fautes, qui permet de fournir un service à même de remplir les fonctions du système en dépit des fautes ;
 - L'évitement des fautes, qui passe par la prévention des fautes puis leur élimination.

2.2.2 Domaines d'application

La sûreté de fonctionnement est une science de l'ingénieur appliquée dans plusieurs domaines, citons :

1. **Domaine logiciel et informatique** : les logiciels tiennent une place de plus en plus importante dans le monde moderne.
Assurer la sûreté de fonctionnement d'un système informatique est devenue important parce qu'il intervient dans un nombre croissant d'applications
2. **Domaine mécanique** : les composants mécaniques ont de nombreux modes de défaillances [32]. Ces défaillances si on ne les traite pas elles peuvent causer des dégâts importants

2.3 Méthode d'analyse des risques pour la sûreté de fonctionnement

2.3.1 Définitions

Définition 2.3.1. Evénement redouté

L'évènement redouté est l'expression la plus consacré en matière de sécurité pour désigner l'évènement incertain qu'on va caractériser en fréquence et gravité.

Définition 2.3.2. Le risque

Le risque est considéré comme la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux. C'est une espérance mathématique

de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée .

Définition 2.3.3. Les risques industriels

Les risques industriels peuvent être définis comme des situations dangereuses rencontrées dans les activités dites industrielles, dans les usines de production et leurs annexes comme les locaux de stockage des matières premières et des produits finies, les laboratoires de recherche, de mise au point et de contrôle [23].

Définition 2.3.4. Méthodes inductives

Ce sont des méthodes qui partent des causes pour identifier les effets. A partir des différentes défaillances ou écarts possibles, on cherche à identifier les conséquences de ceux-ci sur le système ou son environnement.

Définition 2.3.5. Méthodes déductives

Ce des méthodes qui partent des effets pour remonter aux causes, le système est supposé défaillant et l'analyse vise à identifier les causes susceptibles de conduire à cet état.

Définition 2.3.6. Méthodes quantitatives

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) tels que les arbres de défaillances ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaînes de Markov, les Réseaux de Pétri,...

Définition 2.3.7. Méthodes qualitatives

L'analyse préliminaire des risques (APR), Hazard and Operability (HAZOP) restent des méthodes qualitatives même si certaines mènent parfois aux estimations de fréquences d'occurrence avant la classification des risques. La plupart des méthodes revêtent un caractère inductif dans une optique de recherche allant des causes aux conséquences éventuelles. En contrepartie, il existe quelques méthodes déductives qui ont pour but de chercher les combinaisons de causes conduisant à des événements redoutés [24].

2.3.2 Méthode Analyse Préliminaire des Risques

Introduction

L'analyse préliminaire des risques (APR), parfois appelée aussi analyse préliminaire des dangers (APD) a été utilisée pour la première fois aux états-unis par l'armée américaine au début des années 1960 dans le cadre d'une analyse de sécurité de missiles, ensuite elle a été formalisée par l'industrie aéronautique et notamment pas le société Boeing.

L'APR consiste à identifier les différentes activités ou entités dangereuses dans un système, puis à évaluer la gravité des conséquences liées aux situations dangereuses ou potentiellement dangereuses. Il est recommandé d'utiliser cette méthode dès les premières phases de la conception en utilisant l'ensemble des données disponibles.

La méthode APR est basée sur la liste des éléments, établie par des experts, qui peuvent se conjuguer pour provoquer un accident : entités dangereuses, accidents potentiels, ...

Domaine d'application et objectif de l'APR

L'APR est classée par certains auteurs comme étant une méthode inductive et par d'autres auteurs comme étant une méthode déductive. Elle est couramment utilisée dans le domaine de l'analyse des risques, où les préoccupations de sécurité sont les plus présentes comme le transport, l'industrie aéronautique et chimique. Elle a pour objectif :

- Identification des événements redoutés ;
- Évaluation et classement des risques associés ;
- Proposition de couverture des risques.

Principe de la méthode APR

1. Identifier des situations de dangers ;
2. Déterminer les causes et les conséquences d'une situation de danger ;
3. Mettre en lumière les mesures de traitement des risques et proposer des améliorations si besoin.

Démarche de la méthode

Jean-Marie [19] a établie la démarche à suivre pour l'APR :

- Préparation de l'analyse : cette étape est consacrée à définir le contexte, recherche des informations et observations ;
- Description, et modélisation de l'installation ;
- Identification des dangers et des évènements redoutés ;
- Analyse des situations dangereuses ;
- Analyse des conséquences ;
- Recherche des barrières existantes
- Evaluation de la gravité et de la fréquence ou vraisemblance, de façon qualitative ou semi qualitative ;
- Proposition éventuelle de nouvelles barrières ;
- Rédaction du rapport d'analyse.

Après chaque analyse préliminaire des risques, on élabore un rapport qui se présente sous forme d'un tableau récapitulatif, de la façon suivante :

Danger	Situations Dangereuses	Conséquences	Barrières existantes	Fréquence F	Gravité G	Résultat F x G	Nouvelle Barrière

FIGURE 2.3 – Exemple de rapport d'une APR

étudié ainsi que les différents modes et causes de défaillance, pour identifier tous les scénarios conduisant à l'évènement redouté.

Dans cette partie, on s'intéresse aux arbres de défaillance cohérents statiques qui se présentent sous une forme d'arbre, de façon graphique, liée par l'intermédiaire de portes ET, OU, et de variables monoformes (événements élémentaires de même catégorie : défaillance). C'est ce qui est fait dans la grande majorité des applications pratiques des arbres de défaillances.

Objectif de la méthode

L'objectif de la méthode est de déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation d'un événement indésirable donné, c'est-à-dire cette dernière permet de construire une synthèse de tout ce qui peut conduire à un événement redouté et d'évaluer l'effet d'une modification du système, de comparer les conséquences des mesures qui peuvent être envisagées pour réduire l'occurrence de l'évènement redouté étudié.

On résume ses objectifs par :

1. La recherche des événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à un événement redouté ;
2. La représentation graphique des liaisons entre les événements ;
3. Analyse qualitative : Elle permet de déterminer les faiblesses du système [33].

Démarche de la méthode d'AdD

La méthode d'arbre de défaillance utilisée dans un cadre qualitatif et quantitatif et l'idée de la démarche de cette méthode sont résumés dans la figure suivante :

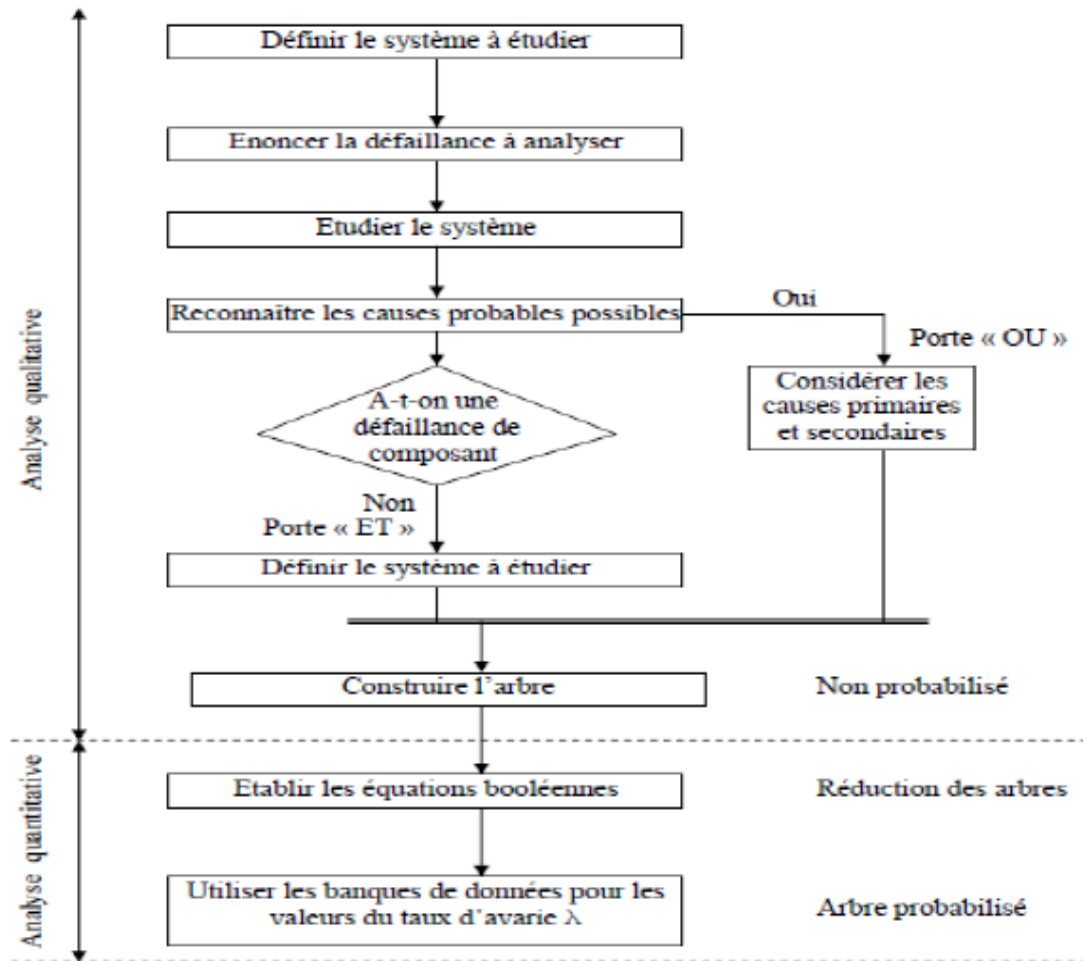


FIGURE 2.4 – Diagramme de la démarche de la méthode d'arbre de défaillance

Démarche et syntaxe de construction d'arbre

Un certain nombre de conventions sont utilisées par les fiabilistes pour dessiner un arbre de défaillance :

- Un cercle, représente une défaillance de base. En effet, c'est l'événement élémentaire qui ne nécessite pas d'être développé plus avant.
- Rectangle, pour l'événement (intermédiaire) résultant de la combinaison d'autres événements par l'intermédiaire d'une porte logique
- Un losange, représente une défaillance supposée de base qui pourrait être subdivisé en événements de base mais ne le sera pas faute d'intérêt ou de renseignements,
- Un double losange, signifie l'événement dont les causes ne sont pas encore développées

mais le seront ultérieurement (analyse en cours)

- Maison, utilisée pour l'évènement de base qui se produit normalement pendant le fonctionnement du système.
- Ovale, évènement conditionnel, utilisé avec certaines portes logiques. Il permet la connexion entre des sous arbres.
- Un opérateur (ou porte) logique ET
- Un opérateur (ou porte) logique OU.

La construction d'un arbre de défaillance est faite de façon déductive. Elle débute en partant de l'évènement sommet et descend jusqu'aux évènements élémentaires par arborescence, tel que les causes sont connectées par un opérateur logique à l'évènement en cours d'analyse. La figure suivant montre un exemple général d'arbre de défaillance :

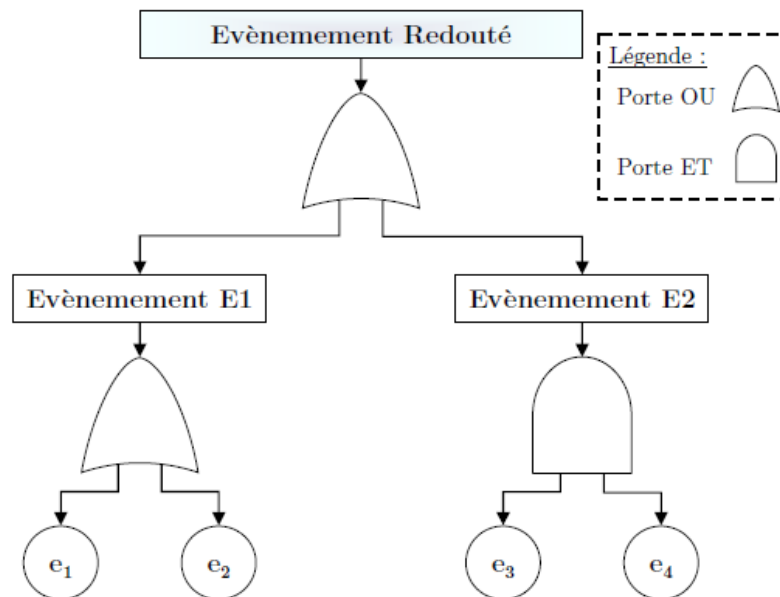


FIGURE 2.5 – Arbre de défaillance

Après avoir construit notre arbre de défaillance, on peut utiliser l'algèbre de boole afin de réduire la taille de l'arbre tel que la porte logique "ou" est introduite par un plus et la porte logique "et" par un produit. D'après l'exemple précédent il nous donne :

$$ER = E_1 \text{ ou } E_2 = (e_1 \text{ ou } e_2) \text{ ou } (e_3 \text{ et } e_4)$$

et par l'algèbre de boole :

$$ER = E_1 + E_2 = (e_1 + e_2) + (e_3.e_4)$$

Exemple 2.3.3.0.2. La figure présentée, ci-dessous illustre un exemple d'arrêt d'un moteur :

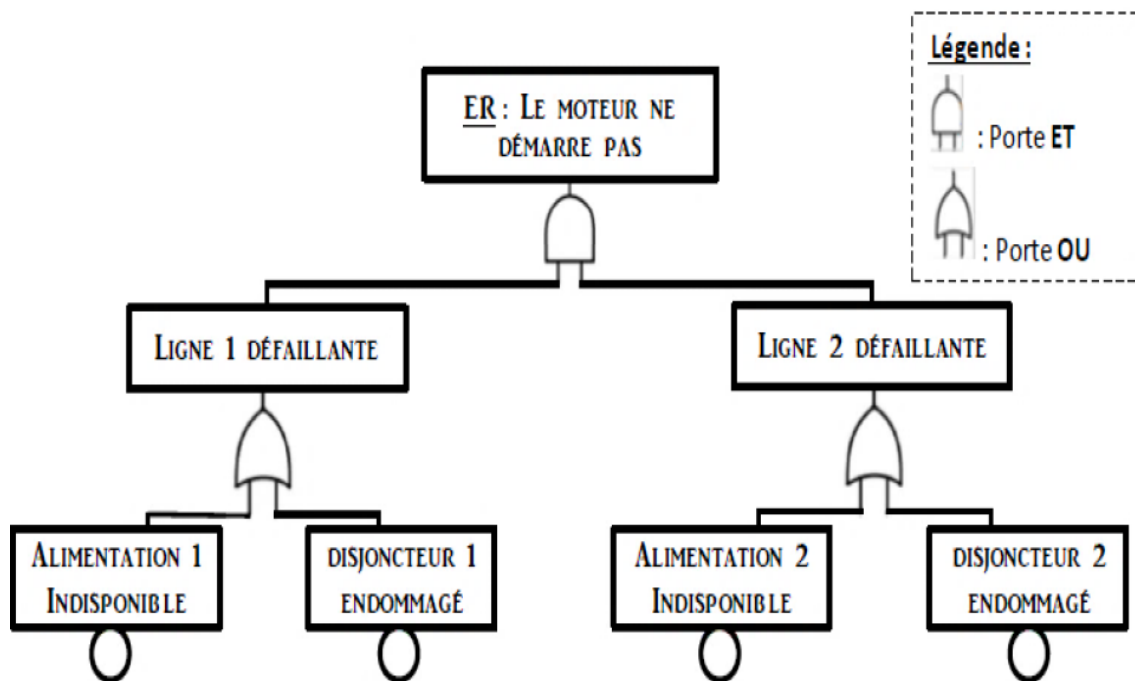


FIGURE 2.6 – Exemple d'arbre de défaillance cohérent

Remarque 2.3.1. Il existe dans la littérature d'autres types d'Add, nous citons :

- Add-nc : Arbres de Défaillance non cohérents composés de portes ET, OU, et de variables biformes (événements élémentaires de catégories différentes),
- Add à délai : Arbres de Défaillance composés de portes ET, OU et DELAI,
- Add-avec : Arbres de Défaillance avec restriction, généralisant les Add-nc pour des événements élémentaires exclusifs non complémentaires,
- Add-mp : Arbres de Défaillance multiperformants, généralisation à des opérateurs

à n entrées [33].

- AdD Dynamique : Les arbres de défaillance dynamiques (ADD) (ou Dynamic Fault Trees (DFT)) sont un modèle de fiabilité pour les systèmes binaires dynamiques de composants binaires non réparables composés des portes logiques statiques (ou, et, k/n), et portes dynamiques (PAND, SPARE, FDEP, SEQ) [9].

Analyse quantitative et qualitative d'AdD

L'analyse qualitative se présente dans la construction d'arbres qui s'appuient sur la connaissance des éléments constitutifs du système étudié ainsi que les différents modes et causes de défaillance, et l'analyse quantitative peut se faire à partir de recherche des coupes minimales.

Définition 2.3.8. Une coupe est un ensemble d'événements de base dont la réalisation entraîne l'évènement indésirable. Une coupe minimale est une coupe (vecteur d'état de composante x tel que le système est défaillant ($\phi(x) = 0$)) contenant un ensemble minimal de composants défaillants qui conduit à la défaillance du système [22]. La recherche des coupes minimales se fait traditionnellement à partir d'une transformation d'un arbre de défaillances (AdD) en une expression booléenne, et l'utilisation des lois de l'algèbre de Boole pour obtenir une expression booléenne réduite de l'évènement redouté.

Soit S l'évènement non désiré. On peut calculer sa probabilité à partir des coupes minimales $C_i, i = \overline{1, n}$ par la relation suivante :

$$P[S] = P[C_1 + C_2 + \dots + C_n] \quad (2.1)$$

avec n le nombre de coupes minimales de l'arbre.

Deux coupes sont corrélées si elles contiennent des éléments en commun. On doit donc utiliser le théorème de Sylvester-Poincaré pour effectuer le calcul de $P[S]$:

$$P[S] = \sum_{i=1}^n P[C_i] - \sum_{j=2}^n \sum_{i=1}^{j-1} P[C_i.C_j] + \sum_{j=3}^n \sum_{k=2}^{j-1} \sum_{i=1}^{k-1} P[C_i.C_j.C_k] - \dots (-1)^n P[C_1.C_2 \dots C_n] \quad (2.2)$$

L'équation (2.2) est particulièrement fastidieuse à calculer avec l'augmentation du nombre

de coupes. Aussi, plusieurs méthodes permettent de calculer efficacement la probabilité d'occurrence de l'événement sommet de l'arbre comme l'algorithme d'Abraham [Abraham, 1979] et la méthode des diagrammes de décision binaires (BDD).

Fonction de structure

Soit $X_i, i = 1 \dots n$ l'état de fonctionnement d'un composant. Notons $x_i = x_1, x_2, \dots, x_n$ les variables associées au fonctionnement des composants d'un système, à valeurs dans $\{0, 1\}$. Pour le composant i , on note :

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{s'il est en fonctionnement;} \\ 0, & \text{s'il est en panne.} \end{cases}$$

Définition 2.3.9. Soit ϕ une fonction dépendant du vecteur $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ et décrivant de façon binaire le fonctionnement du système.

Notons par convention :

$$\phi(x) = \begin{cases} 1, & \text{si le système fonctionne;} \\ 0, & \text{s'il est en panne.} \end{cases}$$

La fonction ϕ est appelée fonction de structure.

Définition 2.3.10.

- $\phi(x) = 1$ est appelé le chemin, qui est un ensemble de composants dont le bon fonctionnement assure le bon fonctionnement du système.
- $\phi(x) = 0$ appelé coupe qui est l'ensemble suffisant de composants qui, lorsqu'ils sont en panne le système sera en panne.

Dans l'arbre de défaillance on introduit la notion des coupes car on ne s'intéresse plus à la fiabilité d'un système mais à sa défaillance.

La représentation de la défaillance du système passe alors par une seconde fonction de structure $\bar{\phi}(x)$, complément de la fonction de structure définie pour l'étude de fiabilité présentée avant. Cette nouvelle fonction de structure est alors vraie lorsque le système est défaillant, elle dépend de l'ensemble des défaillances de chacun des composants (représenté par le vecteur \bar{x}).

Exemple 2.3.3.0.3.

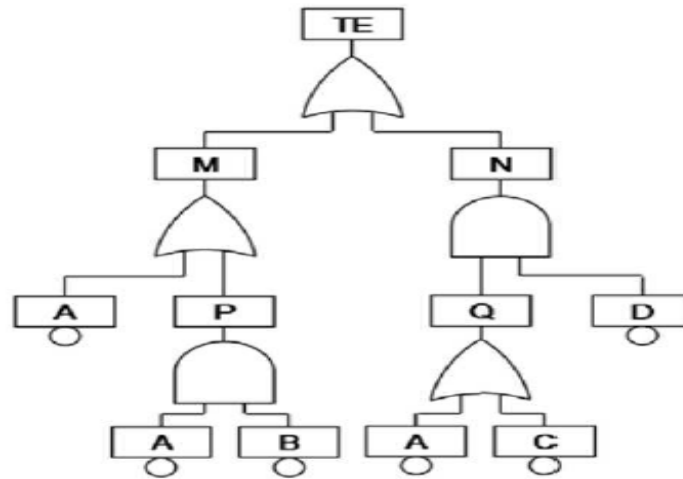


FIGURE 2.7 – Exemple de défaillance

$$\left\{ \begin{array}{l} TE = M + N \\ M = A + P \\ N = Q.D \\ P = A.B \\ Q = A + C \end{array} \right.$$

$$TE = (A + P) + Q.D \quad (2.3)$$

$$= TE = (A + (A.B)) + (A + C).D \quad (2.4)$$

Cette fonction peut être simplifiée par utilisation du théorème d'absorption de l'algèbre Booléenne en :

$$TE = A + C.D \quad (2.5)$$

Relation entre diagramme de fiabilité et arbre de défaillance statique

Le lien existant entre l'AdD statique et le diagramme de fiabilité, c'est que la porte logique « ou » dans l'arbre se présente dans un système série par l'opérateur « et », le contraire dans le système parallèle. La figure suivante illustre cette relation :

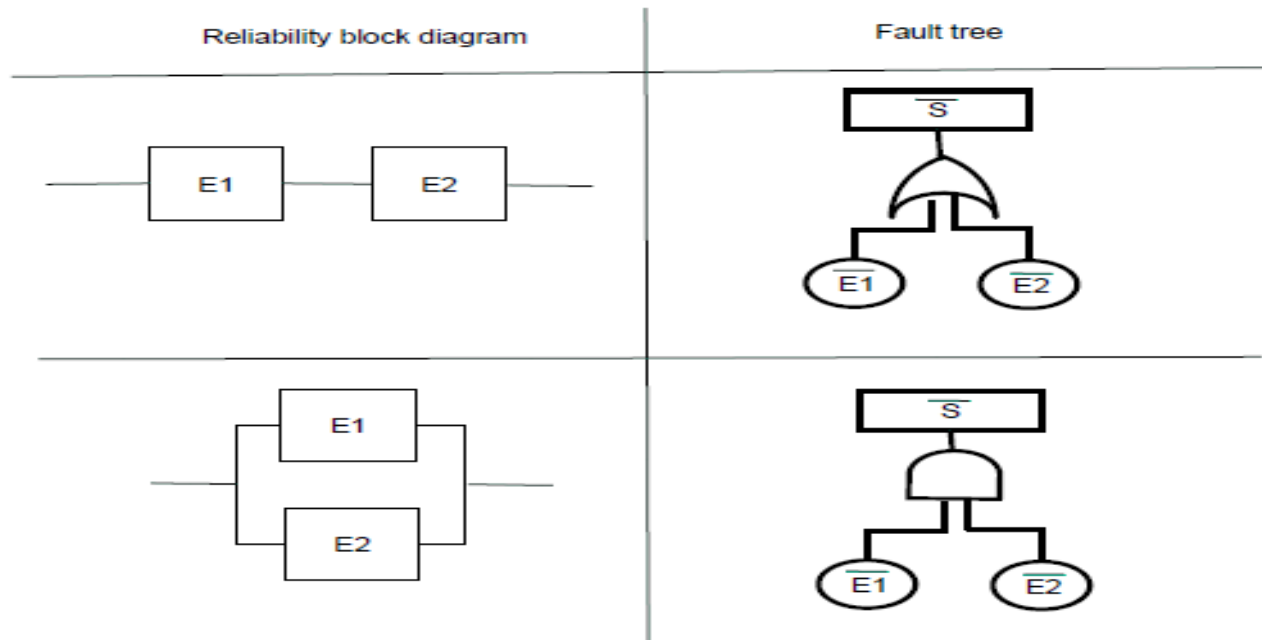


FIGURE 2.8 – Lien entre AdD et diagramme de fiabilité

2.3.4 Méthode Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité AMDEC(C)

Introduction

Analyse des Modes de Défaillance (AMDEC), en anglais Failure Mode Effect Critically Analysis (FMECA) est une approche qualitative pour les études de sûreté dans différents domaines. Cette dernière a été créée aux États-Unis par la société Mc Donnell Douglas en 1966. Elle consiste à rechercher des événements élémentaires pour en déduire les conséquences finales, et leur utilité dans le monde industriel est très répandue. À la fin des années soixante-

dix, la méthode fût largement adoptée par Toyota, Nissan, Ford, Peugeot, Volvo et d'autres grands constructeurs automobiles.

L'AMDEC est non seulement la méthode inductive qui permet de réaliser l'analyse de fiabilité ou de sécurité d'un système, mais aussi une démarche très utilisée dans toute approche des risque et l'analyse de criticité.

Définition 2.3.11. L'AMDEC est une méthode qualitative, quantitative et inductive qui définit une règle ou une loi à partir de l'expérience : un raisonnement inductif visant à identifier les risques de pannes potentielles contenues dans un avant-projet de produit ou de système, quelles que soient les technologies, de façon à les supprimer ou à les maîtriser.

Principe de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode rigoureuse de travail en groupe, très efficace grâce à la mise en commun de l'expérience et des connaissances de chaque participant.

Le mode de défaillance est la manière dont un système peut venir à mal fonctionner. Le principe de cette analyse consiste à recenser toutes les causes potentielles de chaque mode de défaillance et d'évaluer la criticité. Cette dernière résulte d'une triple cotation quantifiée :

- Cote "G" : Gravité ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance,
- Cote "O" : Occurrence ou fréquence d'apparition de la cause,
- Cote "D" : Détection, mesure de probabilité de non détection de la cause.

L'indice de criticité est obtenu par le produit des trois notes : $C = G.O.D$. Plus la criticité est importante, plus le mode de défaillance considéré est préoccupant.

Objectif de la méthode

L'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception afin :

- ◇ D'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement d'un moyen de production.
- ◇ De réduire les temps d'indisponibilité après défaillance : prise en compte de la maintenabilité dès la conception, amélioration de la testabilité, aide au diagnostic, amélioration de la maintenance corrective.

Domaines d'application :

Cette méthode a fait ses preuves dans les industries résumées dans le tableau suivant :

année	domaine
1950	domaine des armes nucléaires
1960	les programmes spatiaux et aéronautiques
1970	nucléaire civil, des transports terrestres et des grands travaux
1980	industries de produits et de biens d'équipement de production

TABLE 2.2 – Domaines d'application d'AMDEC

Aspect qualitatif et quantitatif de la méthode

L'aspect qualitatif consiste à analyser les causes, modes de défaillance et leurs effets. L'analyse quantitative se présente dans l'évaluation de la fréquence d'apparition des défaillances, évaluation de la gravité, et la probabilité que ces défaillances passent inaperçues [31].

Type d'AMDEC

On distingue plusieurs types d'AMDEC, citons quelques uns :

- AMDEC produit : pour vérifier la conformité d'un produit développé par rapport aux exigences du client,
- AMDEC moyen de production : pour valider la fiabilité du processus de fabrication,
- AMDEC processus : pour vérifier la fiabilité d'un équipement.
- AMDEC maintenance : Elle s'applique sur un équipement ou une machine en exploitation. La méthode consiste à analyser des défaillances réelles, constatées et non des défaillances potentielles. Elle s'appuie sur l'expérience des exploitants de l'équipement étudié, son objectif est d'augmenter la disponibilité des matériels en agissant sur la maintenance ou en effectuant des modifications ponctuelles du matériel [6].
- L'AMDEC organisation s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires : du premier niveau qui englobe le système de gestion, le système d'information, le système de production, le système personnel, le système marketing et système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.

Démarche d'AMDEC

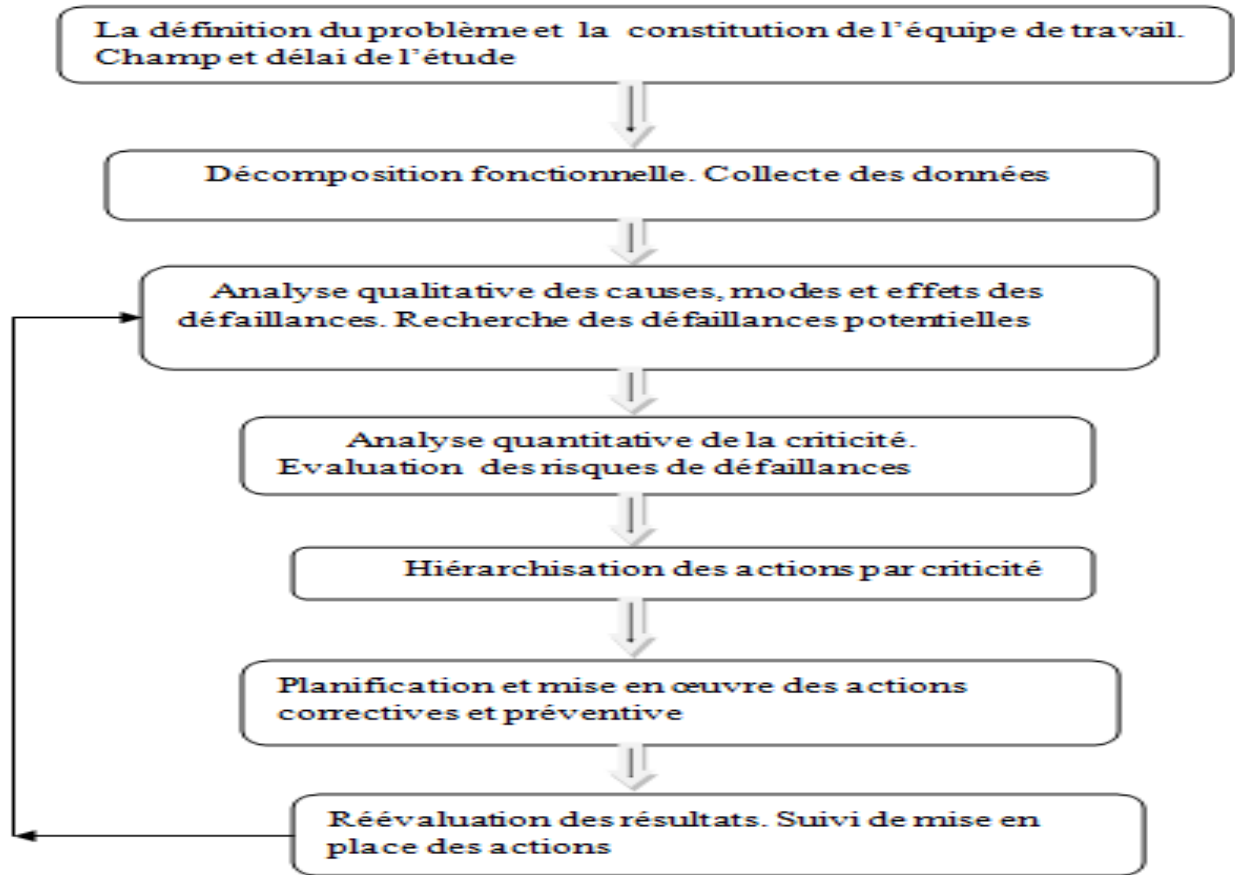


FIGURE 2.9 – Démarche de la méthode AMDEC

Afin de réaliser une AMDEC on doit passer par les étapes présentées dans la figure précédente et pour bien mener cette démarche il est nécessaire de donner des explications sur les différentes étapes [29] :

1. **La définition du problème** : Cette étape consiste à décrire le problème, à définir le système à étudier, que ce soit la machine complète ou un sous-ensemble, son fonctionnement, la mission à accomplir et les objectifs à atteindre (par exemple, l'amélioration des indices de sûreté de fonctionnement) puis à réunir les documents d'information nécessaires (plans, description du processus, procédures d'utilisation).
2. **La décomposition fonctionnelle** : Cette étape a pour but de faire une analyse fonctionnelle afin de déterminer :

- Les fonctions principales pour lesquelles le système a été conçu ;
- Les contraintes qui répondent aux relations avec le milieu extérieur ;
- Les fonctions élémentaires des différents composants élémentaires du système.

3. **Analyse qualitative** : Selon des fonctions définies lors de l'analyse fonctionnelle, l'étude qualitative consiste à :

- Identifier toutes les défaillances possibles
- Déterminer les modes de défaillance
- Identifier leurs effets
- En trouver les causes
- **Mode de défaillance** :

Un mode de défaillance s'exprime par la façon dont un équipement ne remplit pas sa fonction comme : perte de fonction causée par une rupture, blocage ; ou bien refus d'arrêts au moment prévu .

- **Cause de défaillance** :

La cause est l'anomalie susceptible de conduire à la défaillance. La défaillance s'exprime en termes d'écart par rapport à une norme de fonctionnement.

Une cause de défaillance est évidemment une cause qui conduit à une défaillance. On définit et on décrit les cause de chaque mode de défaillance considérée comme possible pour pouvoir en estimer la probabilité, en déceler les effets secondaires et prévoir des actions pour pouvoir la corriger.

- **Effet d'une défaillance** :

L'effet d'une défaillance est la concrétisation de la conséquence de cette défaillance sur le client de l'équipement étudié. Les effets de mode de défaillance d'une entité donnée sont étudiés d'abord sur les composants qui partagent une interface avec celle-ci (effet local) et ensuite de proche en proche vers le système et son environnement

Identification du problème	Etude fonctionnelle	Etude qualitative				
		Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Indiquer le composant	Lister toutes les fonctions devant être assurée par le composant considéré	Lister tous les modes de défaillance pour chaque fonction	Lister toutes les causes pour chaque mode	Pour chaque cause, lister les effets les plus graves	Estimer le temps d'intervention	Trouver pour chaque effet, les moyens de détections possibles

TABLE 2.3 – Tableau AMDEC

– Tableau d’AMDEC

4. **Etude quantitative** : Elle est basée sur l’évaluation de la criticité qui dépend de trois critères : gravité, probabilité d’occurrence, et la détection. Ces critères, dans la pratique, s’attribuent une note soit à l’aide d’une échelle de 1 à 4 ou de 1 à 5 si la distinction entre chaque évaluation est floue, soit à l’aide d’une échelle de 1 à 10 si la distinction est discriminante. On multipliant les trois notes en obtient la criticité.
5. **Hiérarchisation** : Le but de faire cette étape est de décider quelle seront les mesures prioritaires, et les résultats peuvent se regrouper en quatre catégories [30] :

Criticité C	Echelle de 1 à 4	Echelle de 1 à 5	Echelle de 1 à 10
Criticité interdite : 4	$C > 16$	$C > 25$	$C > 100$
Criticité élevée : 3	$8 < C < 16$	$12 < C < 25$	$50 < C < 100$
Moyennement critique : 2	$4 < C < 8$	$6 < C < 12$	$25 < C < 50$
Peu critique(négligeable) : 1	$C < 4$	$C < 6$	$C < 25$

TABLE 2.4 – Seuils de Criticité

6. **Suivi des actions et réévaluation de la criticité** : Suite aux interventions, il faut réévaluer la performance. Ceci est effectué en calculant la criticité modifiée.

Remarque 2.3.2. Les méthodes AMDEC, APR, AdD, sont applicables dans la phase d’analyse et évaluation de dysfonctionnements.

2.3.5 La méthode Total Production Maintenance (TPM)

Originnaire du Japon, la TPM appelée aussi la méthode japonaise, est apparue officiellement en 1971. Cette méthode est une démarche globale d'amélioration des performances. C'est une méthode mise en place dans le milieu industriel permettant d'élargir le champ d'étude de la problématique de maintenance à l'ensemble des contraintes de gestion de l'entreprise. La signification des trois mots de cette méthode est la suivante :

- ◇ **Total** : considérer tous les aspects et y associer tout le monde.
- ◇ **Production** : assurer la maintenance tout en pénalisant le moins possible la production.
- ◇ **Maintenance** : maintenir c'est-à-dire réparer, nettoyer, graisser et accepter d'y consacrer le temps nécessaire.

Objectif de TPM

Les objectifs de la TPM [8] sont :

- Obtenir l'efficacité maximale des équipements,
- Diminuer les coûts de revient des produits,
- Optimiser le coût d'exploitation des équipements (Life Cycle Cost),
- Améliorer la valeur opérationnelle de l'entreprise,
- Développer l'efficacité maximale de tous les secteurs de l'entreprise.

Principe de la TPM

Le principe de la TPM [5] est résumé ci-après :

1. Le niveau élevé du rendement des machines par le maintien d'un parfait état de fonctionnement ;
2. Les renseignements tirés des améliorations du rendement sont systématiquement exploitées pour concevoir les machines de demain dans une démarche de progrès continu ;
3. Le maintien de l'état de référence relève d'abord des responsabilités du personnel utilisateur de fabrication ;
4. La valorisation de l'amélioration de l'existant par différence avec la productivité par l'investissement ;

5. Le niveau élevé de rendement implique au-delà de l'entretien classique, la réduction drastique de toutes les causes de sous-utilisations.

Remarque 2.3.3. D'autres méthodes d'analyse de risque ont été données dans la littérature de sûreté de fonctionnement citons par exemple :

- ◆ Chaîne de Markov qui a été développée pour l'analyse de SdF des systèmes réparable [12].
- ◆ Réseaux bayésiens qui est un outil efficace utilisé pour la modélisation de la SdF des systèmes complexes [25].
- ◆ Réseaux de Pétri stochastiques : Ils sont un outil d'analyse de la structure et du comportement des systèmes dynamiques à événements discrets [10].
- ◆ Analyse Opératoire des Dangers (HAZOP : Hazard and Operability) [7, 3].

Conclusion

Nous avons essayé dans ce chapitre de mieux situer la notion de sûreté de fonctionnement et d'analyse de risque par rapport aux autres activités de la gestion des risques. Par ailleurs, nous avons présenté les principales méthodes d'analyse de risque sachant qu'il existe d'autres méthodes moins utilisées dans un contexte industriel. Après une étude détaillée des méthodes d'analyse des risques, nous pouvons conclure que la méthode "Analyse de Mode de Défaillance et leur Criticité (AMDEC)" est la méthode d'analyse qualitative la plus employée dans le secteur industriel et défaillance des équipements. Pour l'étude quantitative nous pouvons opter pour l'arbre de défaillance « AdD » et ceci vu sa large utilisation dans les industries à haut risque.

3

Application et présentation de l'entreprise EPB

Introduction

Le transport maritime est le moyen de transport le plus dominant dans le commerce international, il a une importance dans l'économie mondiale. Les ports donc sont obligés d'assurer la fiabilité et la maintenabilité de leurs équipements.

L'analyse des risques fait partie des stratégies d'amélioration de nombreuses entreprises industrielles. Et pour cela l'objectif de ce chapitre est d'appliquer trois méthodes d'analyse de dysfonctionnement sur des données réelles collectées au niveau du service de maintenance de la direction logistique de l'entreprise portuaire de Bejaia afin d'évaluer les indices de sûreté de fonctionnement du système étudié.

3.1 Historique de l'entreprise

La Saldae romaine fût un port d'embarquement de blé du grenier de Rome, ce n'est qu'au *XI^{ème}* siècle, que Vgaieth, devenue Ennaceria, pris une place très importante dans le monde de l'époque. Le port marchand fût achevé en 1911 et les configurations de l'avantport et l'arrière-port furent tracées en 1922.

Quant aux installations nécessaires à la réception des pétroliers dans l'avant-port, elles ont été constituées entre 1958 et 1960. Entre 1962 et 1982, le port était dirigé par la Direction des Ponts et Chaussées.

Entre 1967 et 1982 le port était géré par l'office national des ports (ONAP) et la société nationale de manutention (SONAMA). En 1982, l'EPB est érigée en entreprise publique économique (société par action) dans le cadre de la loi sur l'autonomie des entreprises. Son capital social est fixé à 60 millions de dinars. Le port de Bejaia devient l'un des plus importants de la Méditerranée.

Le port de Bejaia est avant tout un port de commerce et de pêche, il est classé 3^{ème} port pétrolier, 2^{ème} port en marchandises générales au niveau national pour l'année 2009.

3.2 Présentation de l'entreprise

Le port de Bejaia joue un rôle très important dans les transactions internationales vu sa place et sa position géographique. Ils est certifié ISO 9001. 2000 pour l'ensemble de ses

prestations et à avoir ainsi installé un système de management de qualité. Cela constitue une étape dans le processus d'amélioration continue de ses prestations au grand bénéfice de ses clients. L'Entreprise Portuaire a connu d'autres succès depuis, elle est notamment certifiée à la Norme ISO 14001 : 2004 et au référentiel OHSAS 18001 : 2007, respectivement pour l'environnement et l'hygiène et sécurité au travail.

3.2.1 Organigramme général de l'Entreprise Portuaire de Bejaia

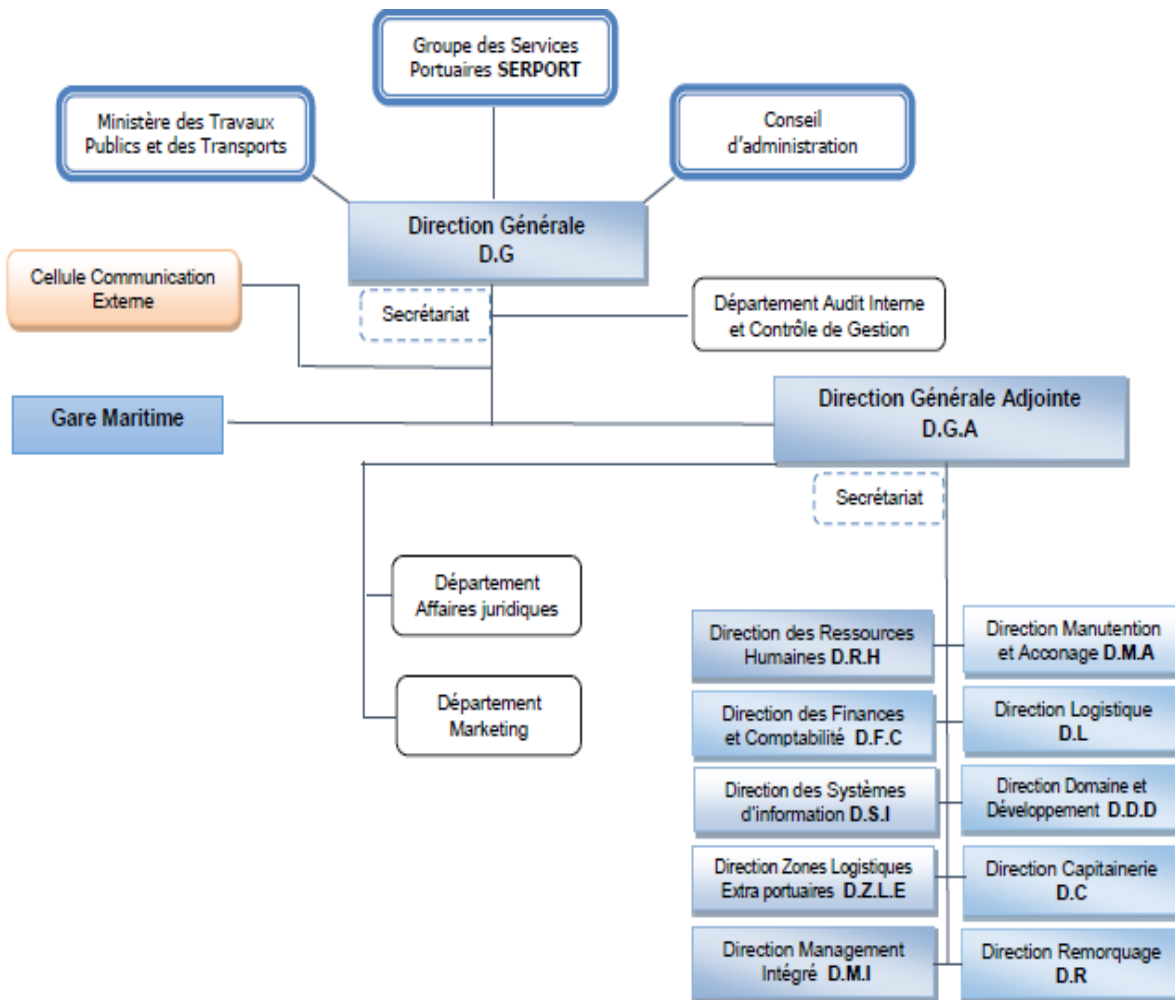


FIGURE 3.1 – Organigramme général de l'EPB actualisé juin 2018

Description de la direction logistique

Cette direction est constituée de plusieurs services :

- **Service relevage ;**

Il a pour mission de programmer et d'affecter les engins quelque soit leur tonnage soit aux opérations du navire ou de livraison.

- **Service approvisionnement en pièces de rechange ;**

Ce service est intimement lié à la gestion technique du port. Il est composé de deux sections : les achats, dont l'interface est intimement liée au département maintenance, principalement les ateliers et les stocks, dont la mission est l'application des normes universelles de gestion des stocks.

- **Service maintenance des équipements ;**

Cette structure prend en charge la maintenance des grues portuaires, des chariots élévateurs et des autres équipements.

- **Service planification des affectations ;**

Son rôle est le suivi technique et physique des engins pendant leur exploitation sur les quais ou dans les hangars, ainsi que leur programmation.

3.3 Application

3.3.1 Collecte des données

Nous nous sommes intéressés au pannes de tous les engins au niveau du service de maintenance de l'EPB. Ces dernières sont enregistrées sous forme d'un tableau contenant : Titre de l'intervention, Matériel, Date et heure de début de l'intervention, Matériel Description, Date/heure de fin de l'intervention.

A partir du dossier historique allant du 01/01/2014 au 30/12/2018 on a extrait :

- Le nombre de pannes de chaque catégorie d'engins,
- Le nombre de pannes de chaque problème rencontré dans la catégorie étudiée ;
- Les temps de bon fonctionnement des composants du système de freinage des engins étudiés ;
- Les temps de pannes des composants du système de freinage des engins étudiés.

3.3.2 Analyse des données collectées

Selection de la catégorie par analyse ABC

La direction logistique de l'EPB contient un nombre assez grand d'engins classifiés selon des catégories, il existe neuf catégories :

- Catégorie A : Chariots élévateurs petit tonnage $\leq 10T$
- Catégorie B : Grues Portuaires
- Catégorie C : Pelles chargeuses gros tonnage
- Catégorie D : Chariots élévateurs gros tonnage $>10T$
- Catégorie E : Tracteurs semi- Remorques
- Catégorie F : Pelles excavatrices
- Catégorie G : Pelles Chargeuses petit tonnage
- Catégorie H : Grues Téléscopiques
- Catégorie I : Portiques à grains

L'analyse de Pareto du nombre de pannes des engins des neuf catégories est illustrée par la figure suivante

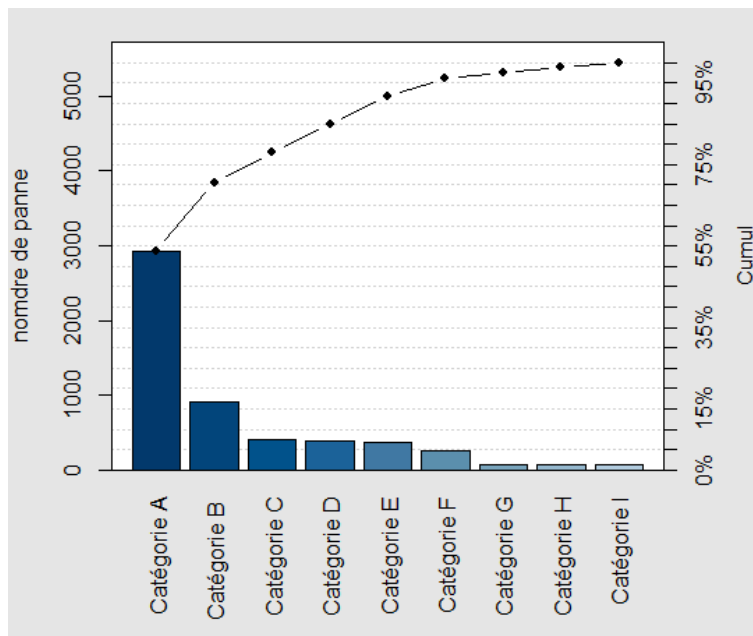


FIGURE 3.2 – Analyse de Pareto du nombre de pannes des différentes catégories

D'après la figure, on voit très bien que les 80% des pannes viennent de deux catégories : les Chariots élévateurs petit tonnage $\leq 10T$ et les grues portuaires. Chaque catégorie a ses

propres équipements et chaque équipement a plusieurs pannes.

Selection du système à étudier

Après avoir effectué la première analyse on a décidé de choisir la catégorie des Chariots élévateurs petit tonnage $\leq 10T$. Pour cette catégorie nous avons considéré la nature des pannes subis par ces engins.

- Problème 1 : Fuite d'huile (Moteur, Hydraulique, Convertisseur)
- Problème 2 : Problème de démarrage
- Problème 3 : Problème dans le circuit de freinage
- Problème 4 : Problème de levage et d'inclinaison
- Problème 5 : Problème de boîte à vitesse et d'accélération
- Problème 6 : Problème de direction
- Problème 7 : Problème au niveau du circuit de refroidissement
- Problème 8 : Problème au niveau des roues
- Problème 9 : Problème de Carrosserie (Contrepoids, Echappements, Sièges et autres)
- Problème 10 : Problème dans le circuit à carburant
- Problème 11 : Problème au niveau du moteur diesel
- Problème 12 : Problème de charge

La 2^{ème} analyse ABC effectuée sur ces problèmes nous donne les résultats présentés dans la figure suivante :

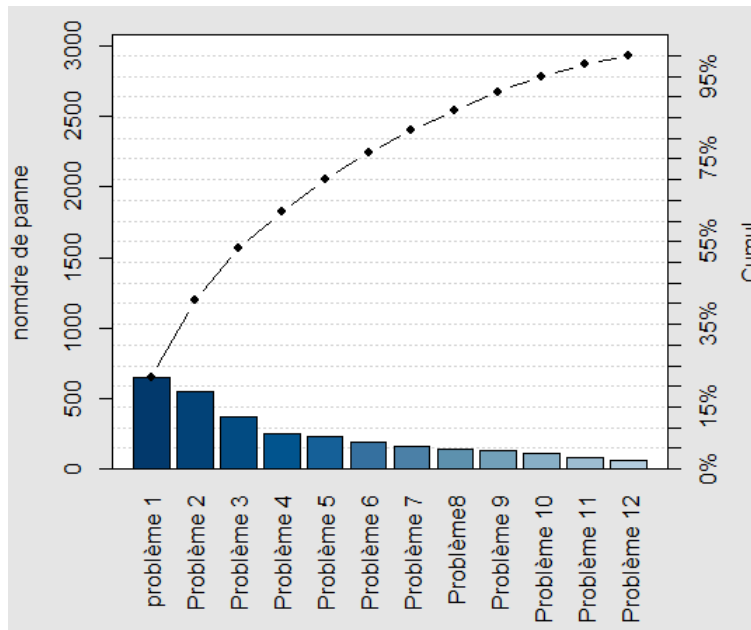


FIGURE 3.3 – Analyse de Pareto des panne de la catégorie A

D'après cette analyse, on constate que les 80% des pannes viennent de six interventions problème 1 jusqu'à problème 6.

Justification du choix du système et les équipements à étudier

Dans les chariots élévateurs, l'un des éléments de sécurité les plus importants est le frein et pour cela parmi les six problèmes sélectionnés dans l'analyse ABC précédente on a choisi le système de freinage pour notre étude.

Le système de freinage permet de diminuer la vitesse d'un véhicule jusqu'à son arrêt complet. Si l'équipement subit une panne de freinage, il va engendrer des dégâts sur les personnes et sur les marchandises.

Après discussions avec le chef du service de maintenance et le chef d'atelier d'engins nous avons opté pour deux marques d'engins. Ces derniers ont un nombre important de pannes de ce type.

La description des engins est donnée dans le tableau suivant :

Marque	Code	Capacité	Année de Fabrication	Date de Mise en Service
SAMUK	PS139, PS140, PS141	4T	2011	21-02-2011
SAMUK	CS136, CS138	6T	2011	21-02-2011
GERMAN	CG149, CG150, CG151, CG152, CG153, CG154, CG155, CG156, CG157, CG158	7T	2013	14-11-2013

TABLE 3.1 – Engins de marque SAMUK et GERMAN objets de notre étude

3.3.3 Fonctionnement du système de freinage d'un chariot élévateur

Quand le conducteur appuie sur la pédale de frein, la force qu'il utilise sur la pédale est transmise au booster de frein, lui-même relié par des leviers et tiges à la pédale, il a pour but d'augmenté la qualité de pression nécessaire pour le freinage sur la pédale. Le booster transfère alors cette puissance au maître cylindre, après le maître cylindre va pousser le liquide de frein dans les canalisations jusqu'aux cylindre de roue. La pression exercée va ainsi permettre aux pièces de friction d'enter en contact avec les FERODO qui assurent le frottement avec les tambours, permettant ainsi de les ralentir, et de stopper l'engin.

3.3.4 Analyse de risque par la méthode APR

Un engin peut subir plusieurs défaillances au niveau du système de freinage. Soit le booster de frein n'a pas transmis la force nécessaire au maître cylindre, ou bien le maître cylindre lui-même n'a pas joué son rôle dans la distribution du liquide de frein d'une façon équilibrée, comme c'est possible aussi qu'on rencontre des problèmes de fuites d'huile au niveau des tuyaux de frein, des fuites d'huile ou un blocage peuvent être observés dans les cylindres de roues, ou encore les FERODO du système de freinage ne remplissent pas leur rôle à cause d'une cassure ou d'usure. Tous ces modes de défaillance engendrent la perte de frein qui peut causer des accidents graves ayant des conséquences sur les employés, les engins la marchandise et l'environnement.

D'après la description des causes dues à la panne du système de freinage on peut résumer les causes, les risques, l'effet sur le système, les personnes et sur l'environnement sous forme d'un tableau d'analyse préliminaire des risques (APR).

Mode de défaillance	Causes	Effet sur le système	Risques
système de freinage	trous des tuyaux de frein et fuite d'huile	arrêt du système	accident et perte de frein
	cylindre de roue défectueux	arrêt du système	accident et perte de frein
	usure jusqu'à la tôle ou cassure du FERODO	arrêt du système	accident et perte de frein
	maître cylindre et booster de frein usés ou abimés	arrêt du système	accident et perte de frein

TABLE 3.2 – APR du système de freinage

3.3.5 Analyse de risque par la méthode AMDEC

Cette analyse est effectuée selon un planning précis et à partir de la documentation des machines et grâce à l'historique d'intervention sur ces équipements pour remplir le tableau AMDEC présenté comme suit :

Systeme	Mode de défaillance	cause	effets	O	D	G	C
freinage	Booster de frein	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie expirée - usure normale - Mauvaise qualité de la pièce 	<ul style="list-style-type: none"> - perte de frein - risque d'accident 	2	4	5	40
	maître cylindre	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie expirée - Usure normale - Mauvaise qualité de la pièce 	<ul style="list-style-type: none"> - perte ou manque de frein 	2	3	5	30
	cylindre de roue	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur de montage du mécanicien - Durée de vie expirée - fuite d'huile 	<ul style="list-style-type: none"> - perte ou manque de frein - fuit d'huile 	4	5	3	60
	FERODO	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie expirée - Matière éroder - Cassure 	<ul style="list-style-type: none"> - bruit des roues - manque ou absence de freinage 	4	5	2	40
	tuyau de frein /étanchéité	<ul style="list-style-type: none"> - Tuyau de frein perforé - Mauvaise réparation du tuyau en sous-traitance - Problème d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> - manque de freinage 	3	4	2	24

TABLE 3.3 – AMDEC de problème de freinage

Interprétation : Le booster de frein, le maître cylindre, le cylindre de roue, les FERODO ont une criticité interdite (très élevée) et le tuyau de frein a une criticité élevée.

Résultats : Le cylindre de roue possède une plus grande criticité.

Pour réduire la criticité il est nécessaire de donner quelques solutions qui vont permettre de réduire la détection et l'occurrence. Parmi ces solutions, on a :

1. Vérification périodique du maître cylindre et booster de frein selon un planning de maintenance ;
2. Vérification des FERODO et les cylindre de roue dans le cas échéant ;
3. Réparation, changement des tuyaux de frein et remplacement d'étanchéité.

Systeme	Mode de défaillance	cause	effets	O	D	G	C	Recommandations	O	D	G	C
freinage	Booster de frein	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie expirée usure normale - Mauvaise qualité de la pièce 	<ul style="list-style-type: none"> - perte de frein - risque d'accident 	2	4	5	40	vérification périodique selon un planning de maintenance	2	2	5	20
	maître cylindre	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie expirée Usure normale - Mauvaise qualité de la pièce freinage 	<ul style="list-style-type: none"> perte ou manque de frein 	2	3	5	30	vérification périodique	2	2	5	20
	cylindre de roue	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur de montage du mécanicien - Durée de vie expirée - fuite d'huile 	<ul style="list-style-type: none"> - perte ou manque de frein - fuit d'huile 	4	5	3	60	Changement et vérification	3	3	3	45
	FRODO	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie expirée - Matière éroder - Cassure 	<ul style="list-style-type: none"> - bruit des roues - manque ou absence de freinage 	4	5	2	40	remplacement dans le cas échéant	2	4	2	16
	tuyau de frein /étanchéité	<ul style="list-style-type: none"> - Tuyau de frein perforé - Mauvaise réparation du tuyau en sous-traitance - Problème d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> manque de freinage 	3	4	2	24	<ul style="list-style-type: none"> - Détection des fuites d'huile - Vérification des tuyaux - Remplacement étanchéité 	3	3	2	18

TABLE 3.4 – AMDEC du problème de freinage après réévaluation

3.3.6 Analyse de risque par la méthode d'arbre des causes (AdD)

3.3.6.1 Analyse qualitative

Après avoir sélectionné le système de freinage pour l'étude, et entourer les causes (défaillance des composants) qui engendrent l'arrêt du système, on est arrivé à construire l'arbre de défaillance suivant :

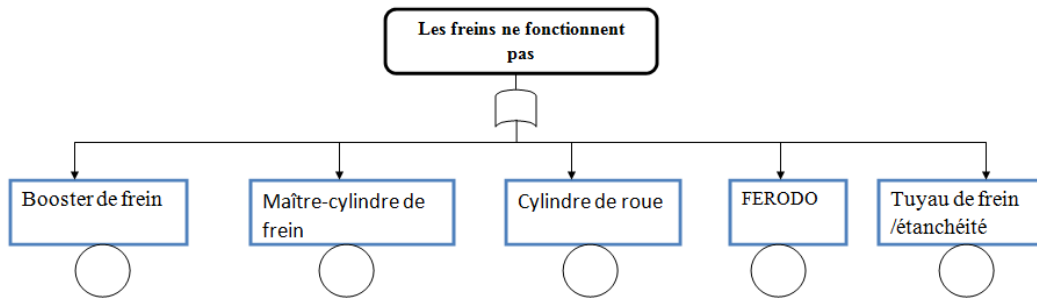


FIGURE 3.4 – Arbre de défaillance

Du fait que les éléments qui causent la panne sont en série, on remarque que la seule porte logique utilisée est la porte OU.

3.3.6.2 Analyse quantitative

Test d'ajustement

Soient :

- X : la variable aléatoire qui représente les temps de bon fonctionnement.
- Y : la variable aléatoire qui représente les temps d'arrêts

Le test de Kolmogorov est un test qui compare la distribution empirique d'un échantillon statistique à une distribution théorique.

Nous avons testé, au niveau de signification $\alpha = 5\%$, l'hypothèse nulle

H_0 : la fonction de répartition empirique de X (respectivement Y), notée F (respectivement G), est égale à une distribution théorique F_0 (respectivement G_0)”

contre l'hypothèse alternative

H_1 : ” $F \neq F_0$ (respectivement $G \neq G_0$)”.

1. Ajustement des temps de bon fonctionnement des composants

• Le Booster de frein

Le nombre de pannes de freinage dues au booster de frein est très réduit on peut donc le considérer comme un élément fiable. Néanmoins l'analyse AMDEC a révélée que ce dernier est de criticité très élevée. Ceci nous pousse à ne pas le négliger dans notre étude. le nombre de pannes de cet élément suit une loi de poisson donc l'arriver des panne est une loi exponentielle. Le taux de défaillance est donné par :

$$\lambda = \frac{\text{nombre de défaillances pendant le service}}{\text{durée de bon fonctionnement}}$$

avec la durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

Le temps moyenne entre les défaillances (MTBF) est donné par :

$$MTBF = MDT + MUT$$

Considérons la moyenne empirique des temps d'arrêts (MDT) :

$$MDT = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Le temps moyen de bon fonctionnement ou durée moyenne de fonctionnement après réparation (MUT) est alors :

$$MUT = \frac{1}{\lambda}$$

Telle que : y_i est la durée d'arrêt de la $i^{\text{ième}}$ panne.

Après calcul on a les résultats suivants :

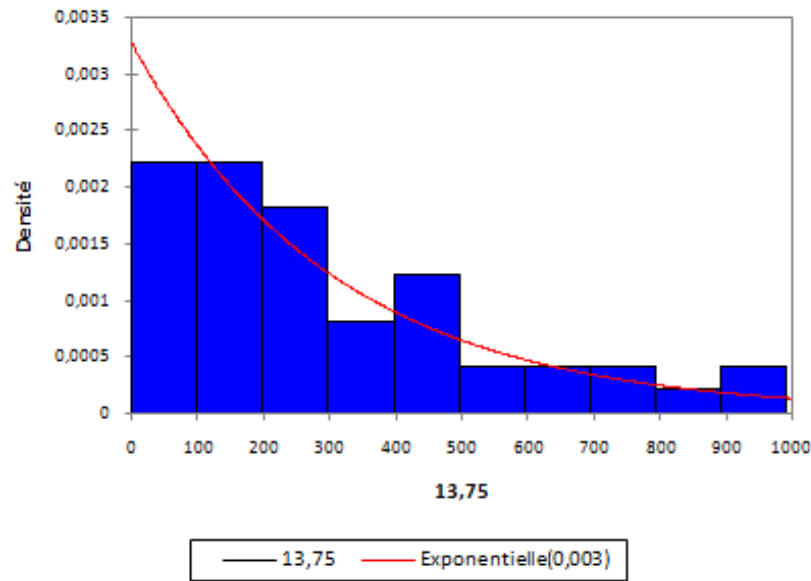
$$\lambda = 3.294 \times 10^{-4}$$

$$MUT = 3036 \text{ h}$$

$$MDT = 615 \text{ h}$$

$$MTBF = MUT + MDT = 3651 \text{ h}$$

- Le tuyau de frein

FIGURE 3.5 – Histogramme de la densité de la variable X de tuyau de frein

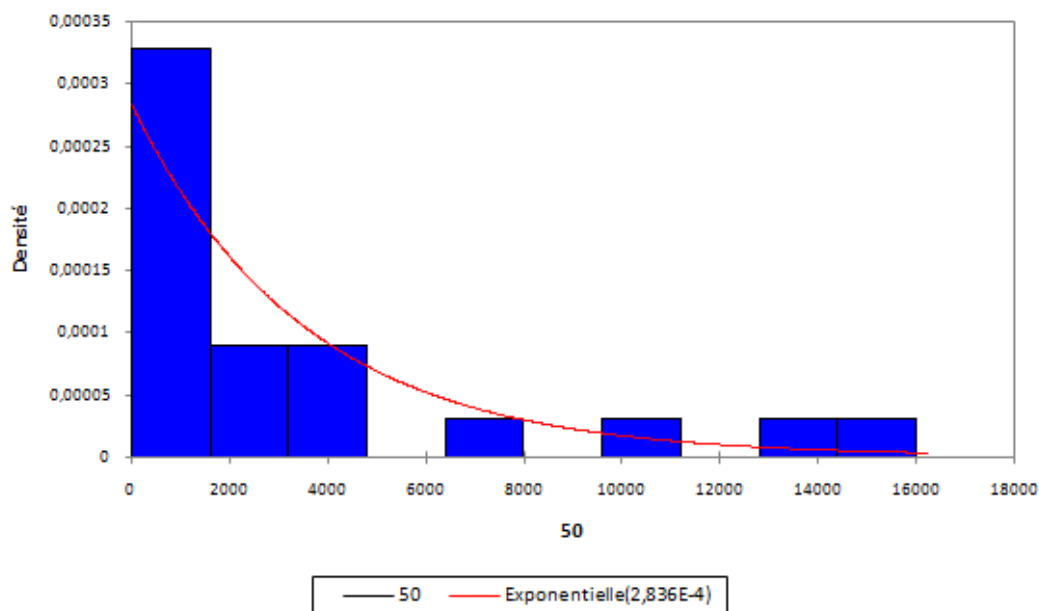
Résultats du test

Systeme	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
tuyau de frein	50	exponentielle	0.128	0.18	$\lambda = 0.003 \text{ df}/h$

TABLE 3.5 – Résultats d'ajustement pour tuyau de frein

Interprétation : Etant donné que la valeur calculée est inférieure à celle théorique, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Donc la variable aléatoire X suit la loi exponentielle de paramètre $\lambda = 0.0003$.

- Le cylindre de roue

FIGURE 3.6 – Histogramme de la densité de la variable X de cylindre de roue

Résultats du test

Système	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
cylindre de roue	21	Exponentielle	0.192	0.2872	$\lambda = 2.83 \times 10^{-4}$

TABLE 3.6 – résultats d'ajustement pour cylindre de roue

Interprétation : La valeur de la statistique calculée est inférieure à la valeur théorique ($0.192 < 0.2872$), alors on ne rejette pas l'hypothèse que l'échantillon suit la loi exponentielle.

• Le maître cylindre

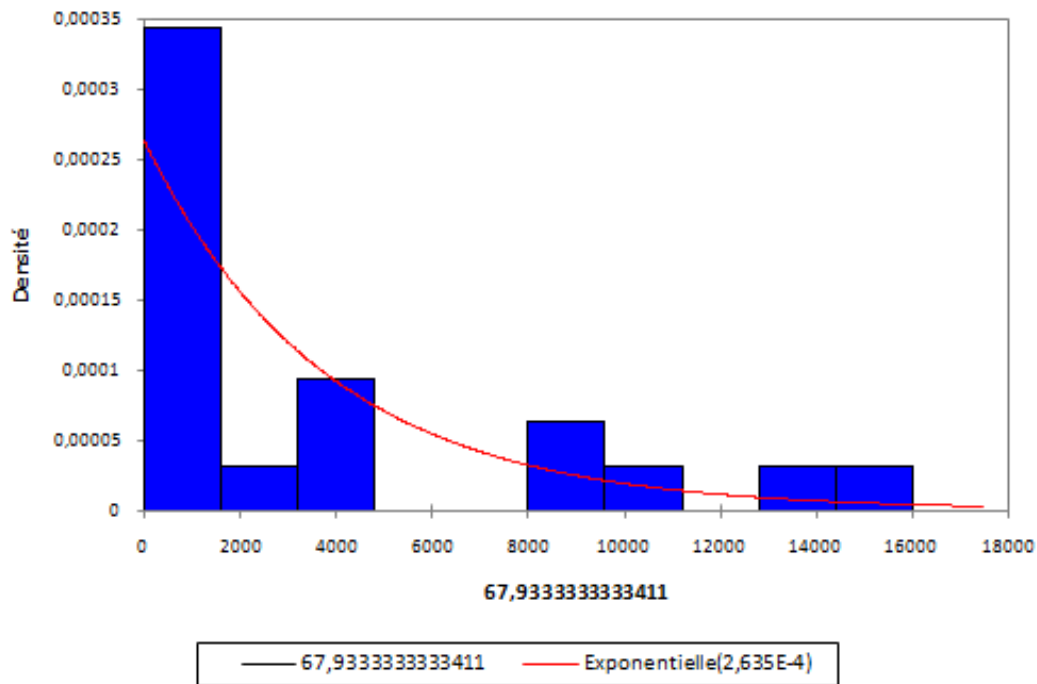


FIGURE 3.7 – Histogramme de la densité de la variable X de maître cylindre

Résultats du test

Système	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
cylindre de roue	20	Exponentielle	0.26	0.2941	$\lambda = 2.635 \times 10^{-4}$

TABLE 3.7 – Résultats d'ajustement pour maître cylindre

Interprétation : Le test de Kolmogorov Smirnov nous permet de ne pas rejeter l'hypothèse que l'échantillon suit la loi exponentielle.

• FERODO

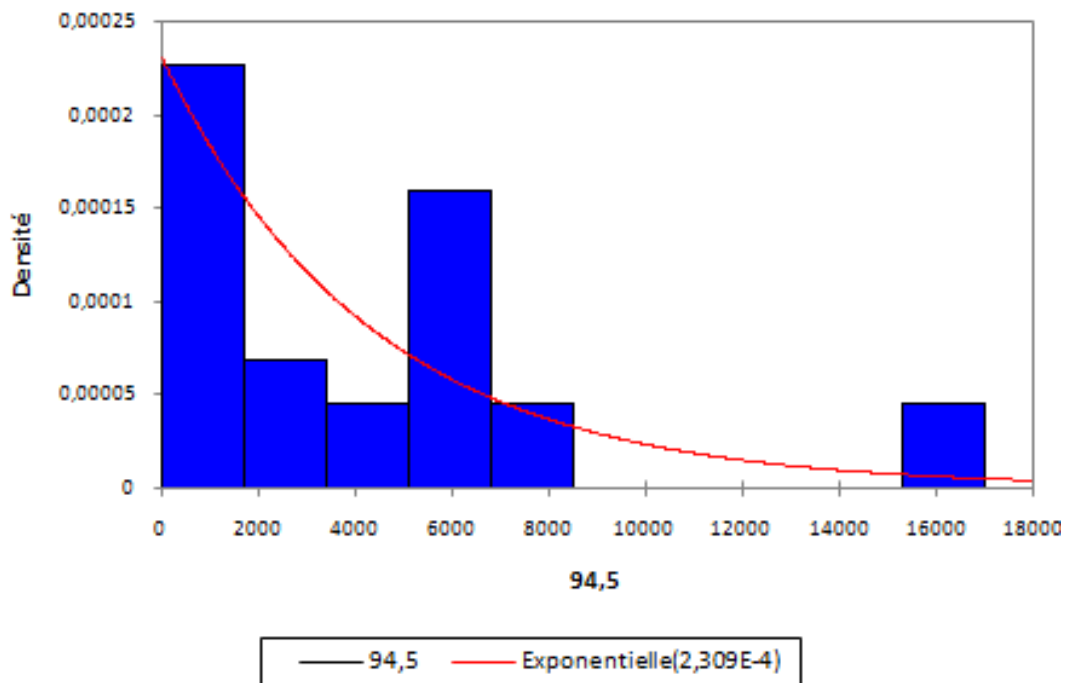


FIGURE 3.8 – Histogramme de la densité de la variable X de FERODO

Résultats du test

Système	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
FERODO	26	Exponentielle	0.137	0.260	$\lambda = 2.309 \times 10^{-4}$

TABLE 3.8 – Résultats d'ajustement pour FERODO

Interprétation : Le résultat du test de Kolmogorov Smirnov nous permet de ne pas rejeter l'hypothèse que l'échantillon suit la loi exponentielle.

Caractéristique des composants du système de frein

	tuyau de frein	cylindre de roue	maître cylindre	FERODO	booster de frein
fiabilité	$e^{-0.003t}$	$e^{-2.836 \times 10^{-4}t}$	$e^{-2.635 \times 10^{-4}t}$	$e^{-2.309 \times 10^{-4}t}$	
taux de défaillance($\lambda(t)$)	$0.003df/h$	$2.836 \times 10^{-4}df/h$	$2.635 \times 10^{-4}df/h$	$3.294 \times 10^{-4}df/h$	$2.309 \times 10^{-4}df/h$
MUT	333 h	3526 h	3795 h	4330 h	3036 h

TABLE 3.9 – Caractéristique des composants du système de freinage

2. Ajustement des temps d'arrêts des composants

• **Le tuyau de frein**

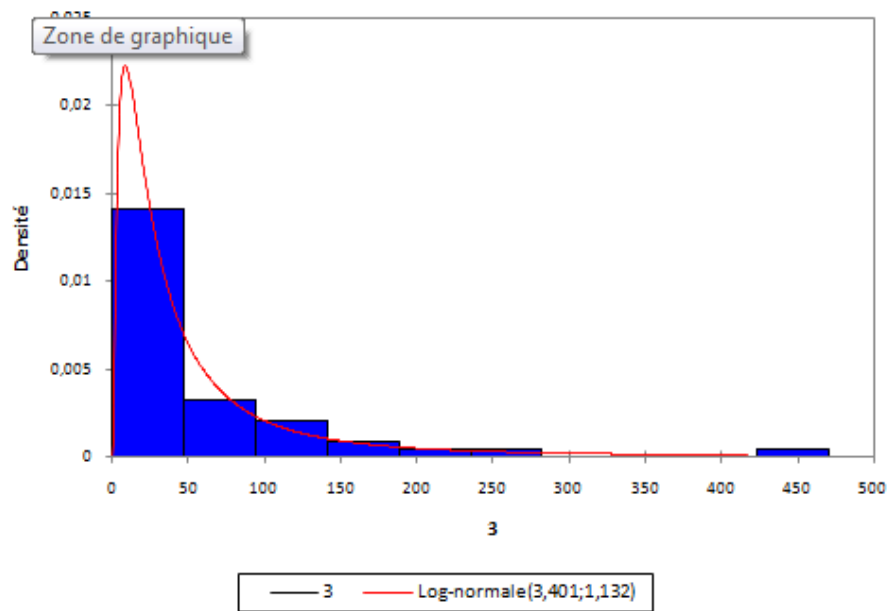


FIGURE 3.9 – Histogramme de la densité de la variable Y de tuyau de frein

Résultats du test

Système	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
tuyau de frein	53	log-normale	0.109	0.186	$\sigma = 1.132, \mu = 3.401$

TABLE 3.10 – Résultats d'ajustement pour le système de freinage

Interprétation : Etant donné que $0.109 < 0.186$, au niveau de signification $\alpha=0.05$, alors on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

• Le cylindre de roue

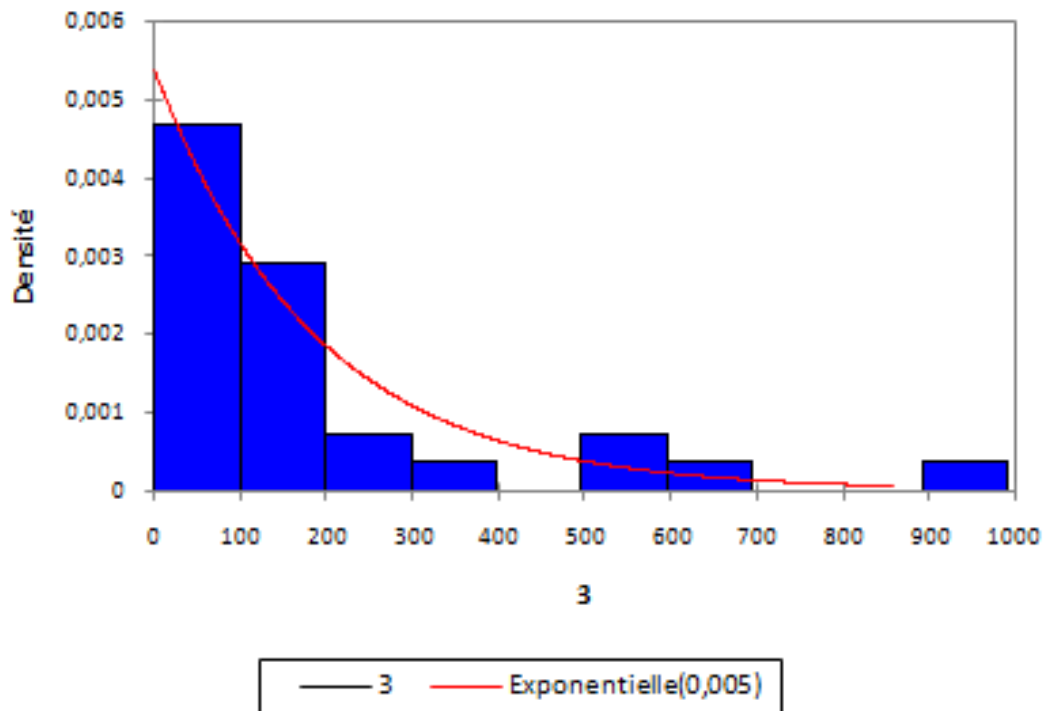


FIGURE 3.10 – Histogramme de la densité de la variable Y du cylindre de roue

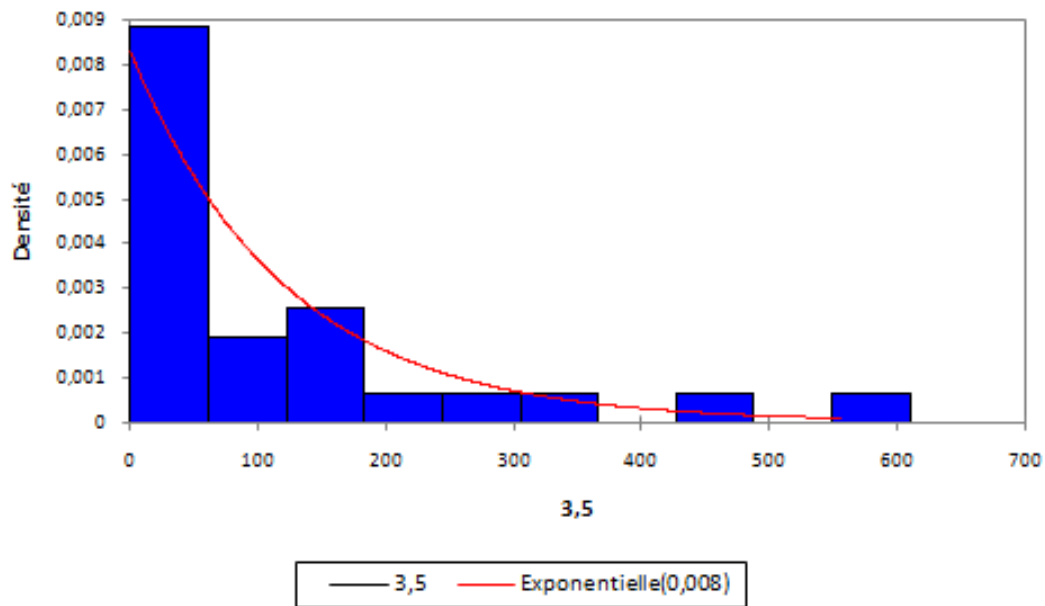
Résultats du test

Système	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
cylindre de roue	28	Exponentielle	0.163	0.200	$\lambda = 0.005$

TABLE 3.11 – Résultats d'ajustement pour le cylindre de roue

Interprétation : Puisque KS calculé est inférieur à KS théorique donc la variable Y suit la exponentielle de paramètre $\lambda = 0.005$.

- Le maître cylindre

FIGURE 3.11 – Histogramme de la densité de la variable Y du maître cylindre

Résultats du test

Système	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
maitre cylindre	26	exponentielle	0.245	0.260	$\lambda = 0.008$

TABLE 3.12 – Résultats d'ajustement pour maître cylindre

Interprétation : L'échantillon suit la loi exponentielle parce que la valeur KS calculée est inférieure à celle tabulée.

- FERODO

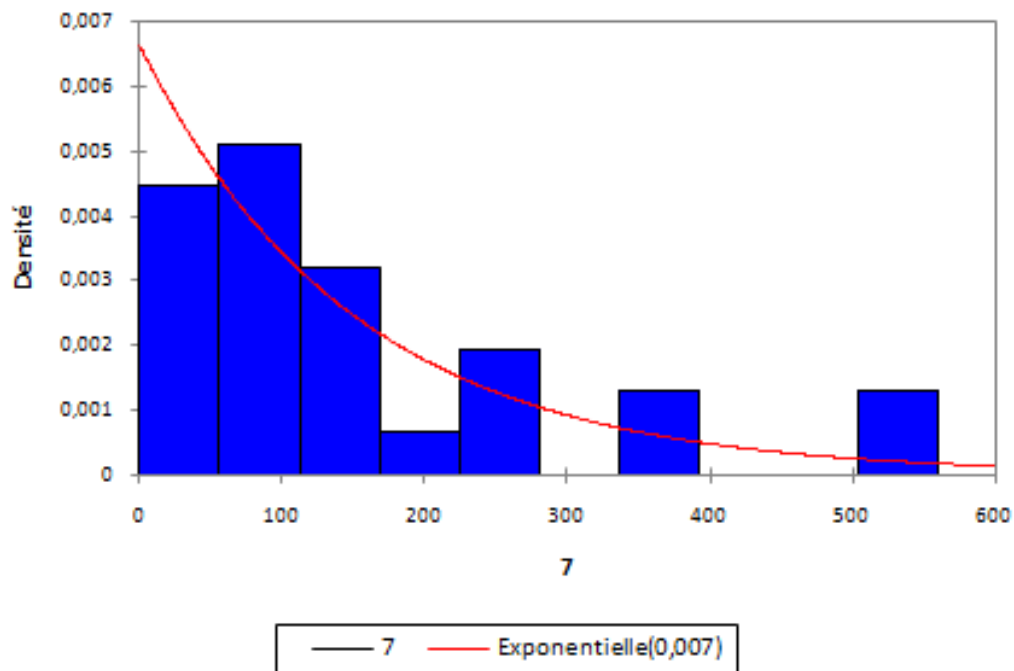


FIGURE 3.12 – Histogramme de la densité de la variable Y de FERODO

Résultats du test

Système	taille d'échantillon (n)	loi	KS calculé	KS théorique	paramètre
FERODO	28	Exponentielle	0.125	0.20	$\lambda = 0.007$

TABLE 3.13 – résultats d'ajustement pour FERODO

Interprétation : En vue des résultats du test de Kolmogorov Smirnov, la variable aléatoire des temps de pannes suit la loi exponentielle.

Disponibilité des composants du système de freinage

	tuyau de frein	cylindre de roue	maitre cy- lindre	FERODO	booster de frein
distribution des temps de pannes	<i>log – normale</i> (3.401, 1.132)	exp(0.005)	exp(0.008)	exp(0.007)	
MDT	57 h	200 h	125 h	143 h	615
disponibilité (D)	85%	94%	97%	96%	83%

TABLE 3.14 – Tableau de disponibilité des composants

Interprétation :

Le maitre cylindre, les FERODO et le cylindre de roue ont une disponibilité acceptable et raisonnable.

Le tuyau de frein a une disponibilité non satisfaisante ceci est le résultat de pannes récurrentes. La question ” comment un dispositif qui ne dispose pas d’un nombre important de pannes a une disponibilité de 83%” reste posée pour le booster de frein.

Arbre des probabilités

Dans notre cas, on assimile les probabilités des évènements de base à leurs taux d’avarie et on a la figure suivante :

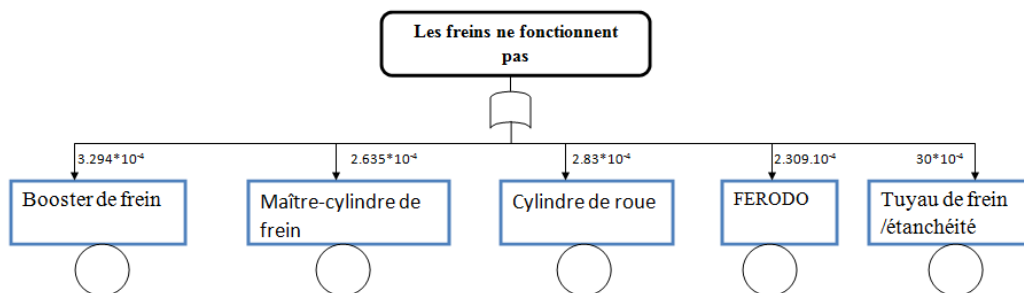


FIGURE 3.13 – Arbre des probabilités

A partir de la figure on conclut que chaque composant est considéré comme une coupe minimale, et la coupe minimale la plus probable est celle du tuyau de frein.

Pour obtenir la probabilité de l’évènement indésirable principal (EI) (freinage ne fonctionne pas) en fonction des probabilités des évènements de base, on utilise les formules associées aux portes logiques :

★ La porte OU :

$$P(EI) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

★ La porte ET :

$$P(EI) = \prod_{i=1}^n (p_i)$$

Notre arbre de défaillance contient une porte logique OU donc :

$$P(EI) = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - p_i) = 4.004 \times 10^{-3}$$

Tableau des taux de défaillance

composants	nbre de défaillances	$\lambda(10^{-4})$	fonction	$\sum \lambda(10^{-4})$
tuyau de frein	50	30	ou	39.656
cylindre de roue	21	2.83	ou	
maitre cylindre	20	2.635	ou	
FERODO	26	3.294	ou	
booster de frein	6	3.294	ou	

TABLE 3.15 – Tableau de temps de défaillance

Interprétation par rapport au taux de défaillances :

Dans le tableau précédent on retrouve les taux de défaillance des composants du système de freinage déterminés par un ajustement. A partir des données de ce tableau on peut classer les éléments du système en deux catégories [11] :

– Classement par éléments

- ◇ Les éléments où $\lambda < 10^{-7}$: On ne retrouve aucun composants. Les éléments de cette catégorie sont considérés comme très fiable ou la panne est très improbable.
- ◇ Les éléments où $10^{-7} < \lambda < 10^{-6}$: Dans cette catégorie on retrouve aucun composant. Les éléments de cette catégorie s'ils existent sont considérés comme fiable.
- ◇ Les éléments où $10^{-6} < \lambda < 10^{-3}$: Dans cette catégorie on retrouve : le cylindre de roue, le maître cylindre, les FERODO et le booster de frein. Ces éléments ont une fiabilité acceptable où la panne peut être fréquente. Ces éléments nécessitent un suivi particulier.

- ◇ La catégorie où $\lambda > 10^{-3}$: Dans cette catégorie on trouve le tuyau de frein, cette catégorie renferment les éléments non fiables qui ont des pannes très fréquentes.

Disponibilité et fiabilité du système $(A_s(t), R_s(t))$

1. Fiabilité $(R_s(t))$:

$$R_s(t) = e^{-\sum_{i=1}^5 \lambda_i(x)} = e^{-39.656 \times 10^{-3}t}$$

Classer sa fiabilité à partir de la somme des taux de défaillance

Le taux de défaillance du système est $\lambda = 39.656 \times 10^{-4}$. Ce taux est classé dans la dernière catégorie où $\lambda > 10^{-3}$. On peut conclure que la fiabilité du système est à la limite de l'inacceptabilité, les pannes sont fréquentes, pour cela un suivi rigoureux du système est indispensable.

2. Disponibilité $(A_s(t))$

$$A_s(t) = \prod_{i=1}^5 A_i(t) = 62\%$$

avec : A_i est la disponibilité du $i^{\text{ième}}$ composant.

Interprétation : Si on regarde les risques que peut causer la panne du système de freinage, on trouve que la disponibilité de 62% est loin d'être satisfaisante.

Maintenabilité :

Il nous est impossible de faire une étude sur la maintenabilité des engins de l'EPB. Cette étude nécessite la connaissance des temps de réparation. Or nous ne disposons que des temps d'arrêt. A cet effet nous recommandons au service de maintenance de noter à chaque panne, en plus du temps d'arrêt, le temps de réparation, le coût de réparation (pièce et main d'oeuvre, ...).

L'étude de la fiabilité des éléments du système de freinage a révélée que ces derniers sont de fiabilité exponentielle. Dans ce cas aucune maintenance n'est nécessaire en théorie. Néanmoins, vu les conséquences d'une panne de freinage sur le personnel, les engins, les marchandises et l'environnement, il est nécessaire de faire un contrôle périodique des éléments de ce système.

En se basant sur les temps de bon fonctionnement de ces derniers on peut proposer le plan de maintenance suivant :

- une maintenance des tuyaux de frein chaque 410 h ;
- une maintenance des cylindres de roues, des maîtres cylindre, des booster de frein, et des FERODO chaque 3690 h.

Sécurité :

Le suivi des recommandations données plus haut permettront de réduire considérablement le risque de panne dû au freinage et par conséquent une meilleure sécurité pour les travailleurs et la préservation des engins, de la marchandise et de l'environnement.

Un autre facteur, et non négligeable, peut jouer un rôle très important sur la sécurité et le facteur humain. Une formation de qualité et un recyclage périodique du personnel sont nécessaires, sans oublier le respect strict des normes de sécurité.

Conclusion générale

Notre travail tourne autour de la notion de sûreté de fonctionnement. Elle s'applique particulièrement dans les domaines les plus sensibles : le nucléaire, l'aéronautique, le militaire, etc. En effet, la sûreté de fonctionnement décrit et analyse les mécanismes qui conduisent aux accidents et défaillances des systèmes et propose et évalue les solutions à mettre en oeuvre pour parer à ces problèmes.

Dans ce mémoire, nous avons essayé de donner une idée générale sur la théorie de sûreté de fonctionnement, sur ces concepts : la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité. Les principales méthodes de sûreté de fonctionnement ont été décrites. Un intérêt particulier a été donné à l'APR, l'AMDEC et L'AdD.

Notre application porte sur les engins de l'EPB. En se basant sur des données réelles, une première analyse de Pareto a révélé la catégorie d'équipements la plus fragile. Une seconde analyse de Pareto, portant sur les modes de défaillance de cette catégorie, et avec l'aide des experts de l'entreprise nous avons orienter notre application vers le problème de freinage. Une analyse préliminaire des risques a été réalisée. Par la suite l'application de l'arbre de défaillance et de l'AMDEC ont été appliquées à ce problème. Des résultats importants ont été obtenus sur la fiabilité, la disponibilité, la sécurité, la criticité, ainsi que la probabilité de réalisation de l'évènement redouté.

Bibliographie

- [1] A. Avizienis, J.-C. Laprie, B. Randell, et al. *Fundamental concepts of dependability*. University of Newcastle upon Tyne, Computing Science, 2001.
- [2] I. Bazovsky. *Reliability theory and practice*. Courier Corporation, 2004.
- [3] A. Berrar. Gestion des risques par l'analyse préliminaire au sein de complexe gl1/k-sonatrach-wilaya de skikda. Mémoire de master, université badji mokhtar-annaba, 2017.
- [4] A. Bloch. *Murphy's Law and other reasons why things go wrong*, volume 1. Price Stern Sloan, 1977.
- [5] X. Boraux. Tpm en quelques mots. *ERICs Associes, Décembre*, 2003.
- [6] Z. S. Boubarka. Samir. Analyse des arrêts critiques de la souffeuse sbo 10/5280 par la méthode amdec au sein de l'entreprise cevital. Master's thesis, Université Abderrahmane mira bejaia, 2018.
- [7] M. Brini, P. Crubille, B. Lussier, and W. Schön. Contraintes de sécurité pour le safety-bag d'un véhicule autonome : méthodes amdec et hazop. In *12th International Pluri-disciplinary Congress on Quality, Dependability and sustainability (QUALITA 2017)*, 2017.
- [8] J. Bufferne. Le guide de la tpm®. *Edition d'Organisations*, page 105, 2006.
- [9] P.-Y. Chaux. *Formalisation de la cohérence et calcul des séquences de coupe minimales pour les systèmes binaires dynamiques et réparables*. PhD thesis, Ecole normale supérieure de Cachan-ENS Cachan, 2013.
- [10] A. Demri. *Contribution à l'évaluation de la fiabilité d'un système mécatronique par modélisation fonctionnelle et dysfonctionnelle*. PhD thesis, Université d'Angers, 2009.

- [11] W. Denson, G. Chandler, W. Crowell, A. Clark, and P. Jaworski. Nonelectronic parts reliability data 1995. Technical report, Reliability Analysis Center Griffiss AFB NY, 1994.
- [12] B. S. Dhillon. *Reliability, quality, and safety for engineers*. CRC Press, 2004.
- [13] E. DIN. 13306 (2010). *Maintenance–Maintenance terminology*.
- [14] M. C. et al. La sûreté de fonctionnement (sdf). *Le magazine schneider electric de l'enseignement technologique et professionnel*, page 12, 2004.
- [15] F.Olivier. Notes de cours de processus aléatoires. Technical report, 2005.
- [16] O. Gaudoin. *Fiabilité des système et de logiciels*. Notes de cours, INP de Grenoble.
- [17] O. Gaudoin, J. Ledoux, et al. *Modélisation aléatoire en fiabilité des logiciels*. Hermès Science, 2007.
- [18] E. J. Henley and H. Kumamoto. *Reliability engineering and risk assessment*, volume 568. Prentice-Hall Englewood Cliffs (NJ), 1981.
- [19] F. Jean-Marie. *Analyse des risques des systèmes de production industriels et de services : Aspects technologiques et humains*. Lavoisier, 2013.
- [20] S. Lamouri and A. Thomas. *Gestion des stocks dans un contexte de demandes indépendantes*. Ed. Techniques Ingénieur, 2000.
- [21] J. Laprie, J. Arlat, J. Blanquart, A. Costes, Y. Crouzet, Y. Deswarte, J. Fabre, H. Guillermain, M. Kaâniche, K. Kanoun, et al. Guide de la sûreté de fonctionnement. *Cépaduès Editions, Toulouse, France*, 1995.
- [22] B. Marc. *Gestion de la complexité dans les études quantitatives de sûreté de fonctionnement de systèmes*. Lavoisier, 2008.
- [23] N. Margossian. *Risques et accidents industriels majeurs : Caractéristiques, réglementation, prévention*. Dunod, 2006.
- [24] M. H. Mazouni and H. H. Mabrouk. Méthode et formalisme de base pour l'analyse préliminaire des risques dans le transport ferroviaire. In *Sixth International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control, STA '2005*, 2005.
- [25] M. Megdiche. *Sûreté de fonctionnement des réseaux de distribution en présence de production décentralisée*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2004.

- [26] A. G. Mihalache. *Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué*. PhD thesis, Université d'Angers, 2007.
- [27] D. Noyes and P. François. *Analyse des systèmes - sûreté de fonctionnement. techniques de l'ingénieur*.
- [28] H. Procaccia, M.-C. Suhner, et al. *Démarche bayésienne et applications à la sûreté de fonctionnement. Hermes-Lavoisier, Paris, 2003*.
- [29] M. Thomas. *Fiabilité, maintenance prédictive et vibration des machines*. PUQ, 2012.
- [30] M. Thomas. *Fiabilité, maintenance prédictive et vibration des machines*. PUQ, 2012.
- [31] O. Timeridjine. *Méthode amdec. Mémoire de master, Université abderrahmane mira bejaia, 2016*.
- [32] A. Villemeur. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité-facteurs humains, informatisation. 1988*.
- [33] P. Vignat. *Modélisation des dysfonctionnements d'un système dans le cadre d'activités de maintenance. Rapport de stage de master recherche m2r, groupe de travail, management, méthode, outil, standards. Fiches méthode., 2009*.

Résumé

La sûreté de fonctionnement qui est apparue au XIX siècle, est l'aptitude à éviter des défaillances plus fréquentes ou plus graves que ce qui est acceptable. Elle englobe principalement quatre composantes : la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité (qui forment le sigle FDMS) ainsi que d'autres aptitudes telles que la durabilité, la testabilité ou encore des combinaisons de ces aptitudes.

Le travail consiste à explorer les différentes méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement avec une application sur des données réelles recueillies à l'Entreprise Portuaire de Béjaia.

Mots clés : Sûreté de fonctionnement, AMDEC, AdD, APR, TPM, risque, accident, Méthodes inductives, Méthodes déductives.

Abstract

The operating safety that appeared in the nineteenth century, is the ability to avoid more frequent or more serious failures than is acceptable, it mainly includes four components : reliability, maintainability, availability and security (which form the symbol FDMS) and other skills such as sustainability, testability or combinations of these abilities. The work consists in exploring the various methods of analysis of dependability with an application on real data collected to the Port Company of Bejaia.

Keywords : Dependability, AMDEC, AdD, APR, TPM, risk, accident, Inductive methods, Deductive methods