

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTROMECHANIQUE

جامعة باجي مختار - عنابة
كلية علوم المهندسين
قسم الإكتروميكانيك

THESE

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

***Développement d'une méthode de contrôle pour l'amélioration
de la sûreté de fonctionnement des installations
industrielles stratégiques***

Option : ELECTROMECHANIQUE

Par : Mohamed Cherif EMBAREK

DEVANT LE JURY

Président : A. BENRETEM, Professeur à l'Université de Annaba
Rapporteur : A.E. HADJADJ, Maître de Conférences (A) à l'Université de Annaba
Examineurs : M. DJEBABRA, Professeur à l'Université de Batna
N. CHEIKCHOUK, Maître de Conférences (A) à l'Université de Annaba
R. CHAIB, Maître de Conférences (A) à l'Université de Constantine
M. ASSAS, Maître de Conférences (A) à l'Université de Batna

REMERCIEMENTS

Je voudrais tout d'abord remercier chaleureusement mon Directeur de thèse Monsieur Hadjadj A. Elias, Maître de Conférence (A) à l'Université Badji-Mokhtar de Annaba pour m'avoir encadré et encouragé tout au long de mes travaux ainsi que Pr. Hamzaoui N. de l'INSA de Lyon qui m'a aidé et bien orienté dans mon travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements et gratitude à Monsieur Djebabra Mébarek, professeur à l'université Hadj -Lakhder de Batna qui m'a beaucoup aidé à corriger et à bien structurer ce travail afin de le rendre plus rentable ainsi qu'à Monsieur Assas Mekki Maître de conférence (A) à l'Université Hadj-Lakhder de Batna pour ses précieux commentaires.

Mes plus sincères remerciements vont également aux Messieurs : Professeur Benretem Abdelouaheb et Docteur Cheikchouk Nassir de l'Université Badji-mokhtar de Annaba d'avoir accepté de présider et d'examiner les travaux présentés dans cette thèse.

J'exprime ma gratitude à Monsieur Debit Chef de Département technique FERTIAL-Annaba pour son aide inestimable ainsi que le personnel de l'unité Ammoniac.

Ma plus grande gratitude à mes parents, que Dieu tout puissant leur accorde sa sainte miséricorde, ainsi que ma petite famille, qui m'a toujours poussé pour finir ce travail.

M.C. EMBAREK

SOMMAIRE

Introduction générale	8
1. Aspect normatif de la sécurité des machines	12
1.1 Introduction au contexte normatif.....	12
1.2 Les normes européennes harmonisées.....	13
1.2.1 Présentation de quelques normes.....	14
1.3 Aspect normatif et réglementaire en Algérie.....	17
1.4 Approche théorique du système engineering.....	18
1.4.1 Domaine d'intérêt : notion de processus industriel.....	19
1.4.1.1 Définition du processus.....	19
1.4.1.2 Description du processus.....	20
1.4.2 Notion de système dans l'approche théorique du système.....	22
1.4.3 Démarche d'approche théorique du système engineering.....	23
1.4.3.1 Démarche basée sur la notion cycle de vie.....	23
1.4.3.2 Démarche basée sur la notion Risk Assessment.....	26
1.5 Conclusion.....	27
2. Concepts et outils de sûreté de fonctionnement	29
2.1 Introduction.....	29
2.2 Terminologie de la sûreté de fonctionnement des machines.....	30
2.2.1 Notions liées au comportement fonctionnel des machines.....	31
2.2.1.1 Fiabilité.....	31
2.2.1.2 Disponibilité.....	32
2.2.1.3 Maintenabilité.....	33
2.2.1.4 Sécurité.....	34
2.2.2 Notion relatives au comportement dysfonctionnel des machines...35	
2.2.2.1 Notions de risques.....	35
2.2.2.2 Définition de la défaillance.....	35
2.2.2.3 Classification des défaillances en fonction des causes.....	39
2.2.2.4 Classification des défaillances en fonction du degré.....	40
2.2.2.5 Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition.....	41
2.2.2.6 Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition et du degré.....	41
2.2.2.7 Classification des défaillances en fonction de la date d'apparition.....	41
2.2.2.8 Classification des défaillances par rapport aux conséquences.....	44
2.2.2.9 Définition des défauts et pannes.....	45
2.3 Outils de sûreté de fonctionnement.....	47

2.3.1	Caractérisation générale des ces méthodes.....	47
2.3.2	Principales méthodes d'analyse des risques.....	48
2.4	Conclusion.....	58
3.	Développement d'une méthodologie pour l'aide au choix de la technique d'analyse des risques des systèmes industriels.....	59
3.1	Introduction.....	59
3.2	Etude de quelques méthodes d'analyse des risques.....	63
3.3	Types de méthodes.....	63
3.4	Types de données de départ ou input data.....	65
3.5	Types de données résultantes ou output data.....	67
3.6	Relation entre les données de départ-les méthodologies et les outputs..	68
3.7	Conclusion.....	70
4.	Application de la méthodologie au cas des installations de l'entreprise FERTIAL.....	71
4.1	Introduction.....	71
4.2	Les turbomachines.....	72
4.2.1	Définition et classification des compresseurs.....	72
4.2.2	Les compresseurs volumétriques.....	73
4.2.3	Les turbocompresseurs.....	73
4.2.4	Définition et classification des turbocompresseurs.....	73
4.2.4.1	Les turbocompresseurs axiaux.....	73
4.2.4.2	Les turbocompresseurs centrifuges.....	74
4.3	Description technique d'une installation stratégique cas du compresseur 103J FERTIAL Annaba.....	74
4.3.1	Conception du turbocompresseur.....	75
4.3.1.1	Compresseur.....	75
4.3.1.2	Turbine à vapeur.....	76
4.4	Description du turbocompresseur 103J.....	77
4.5	caractéristiques techniques du compresseur 103J.....	79
4.6	Fonctionnement et caractéristiques de service 103J.....	80
4.6.1	Fonctionnement de la turbine à vapeur.....	80
4.6.2	Fonctionnement du compresseur.....	81
4.7	Conclusion et problématique.....	81
4.8	Historique des défaillances du compresseur 103J.....	82
4.9	Récapitulatif et classification des données de notre système.....	86
4.9.1	Récapitulatif et classification des données d'entrée ou input.....	86
4.9.2	Récapitulation et classification des résultats attendus.....	88
4.9.3	Choix spécifique de la méthode d'analyse.....	90
4.10	Application de l'AMDEC à notre machine.....	92
4.11	Classification des éléments suivant leur indice de criticité.....	98
4.11.1	Hiérarchisation des résultats.....	98
4.11.2	Action correctives à engager.....	98
4.11.3	Suivi des actions et réévaluation de la criticité.....	100

4.12 Conclusion générale.....	101
Références bibliographiques.....	103
Annexe 1.....	106
Annexe 2.....	107

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Normes européennes harmonisées.....	14
Figure 1.2 : Processus industriel.....	19
Figure 1.3 : Décomposition hiérarchique d'un processus.....	21
Figure 1.4 : Développement du produit.....	23
Figure 1.5 : Management du cycle de vie du système	24
Figure 1.6. : Montre la relation entre l'objectif, les RAMS et la sécurité.....	26
Figure 1.7. Process d'analyse des risques (ISO 14121).....	27
Figure 2.1. Définition graphique du MTTF, MDT, MUT, et MTBF.....	34
Figure 2.2. Définition graphiques du MTTR et du MDT.....	34
Figure 2.3 : Causes de défaillances liées à la construction.....	38
Figure 2.4 : Défaillance liées au phénomène de corrosion.....	39
Figure 2.5. Allure de l'évolution du taux de défaillance (courbe en baignoire).....	43
Figure 3.1 : Organigramme représentant le principe de la méthodologie proposé.....	62
Figure 3.2 : Relation entre les données d'entrées- les méthodologies- les données de sortie.....	69
Figure 4.1 : Les deux principales familles de compresseurs.....	73
Figure 4.2 : description de l'installation.....	74
Figure 4.3 : Compresseur 103 J – compresseur HP/BP - turbine HP/BP	78
Figure 4.4 : Compresseur : HP / BP.....	78
Figure 4.5 : Histogramme des pannes.....	84
Figure 4.6 : Histogramme des heures d'arrêt.....	84
Figure 4.7 : Relations entre les données collectées et les méthodes d'analyse des risques...88	
Figure 4.8 : Relations entre les résultats et les méthodes d'analyse des risques.....	90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Présentation des normes européennes de sécurité.....	15
Tableau 1.2 : Présentation de quelques lois et décrets relatifs à la sécurité.....	17
Tableau 2.1: Liste non exhaustive des défaillances génériques.....	36
Tableau 2.2 : Type de techniques d'analyse.....	48
Tableau 2.3 : Présentation des méthodes les plus utilisées.....	49
Tableau 2.4 : Points forts et points faibles des différentes méthodes.....	55
Tableau 3.1 : Classification des méthodologies d'analyse des risques.....	64
Tableau 3.2 : Relation entre les données input et les méthodologies.....	66
Tableau 3.3 : Relation entre l'output et les méthodologies.....	67
Tableau 4.1 : Caractéristiques techniques basse pression 103.j.....	79
Tableau 4.2 : Compresseur haute pression 103JHP.....	79
Tableau 4.3 : Turbine a condensation basse pression « 103JTBP»	79
Tableau 4.4: Turbine à condensation haute pression « 103JTHP»	79
Tableau 4.5 :Historique des pannes du compresseur 103J.....	82
Tableau 4.6 : Classement de Pareto.....	83
Tableau 4.7 : Classement des TBF	85
Tableau 4.8 : Enumération des données de base de chaque catégorie des inputs.....	86
Tableau 4.9 : Méthodes appropriées par rapport aux données collectées à FERTIAL.....	87
Tableau 4.10 : Enumération catégories de résultats (output) avec leurs données de base.....	89
Tableau 4.11 : Méthodes appropriées par rapport aux résultats attendus par FERTIAL	89
Tableau 4.12 : AMDEC du turbocompresseur centrifuge.....	93
Tableau 4.13 : AMDEC Groupe Virage.....	96
Tableau 4.14: AMDEC Turbine.....	97
Tableau 4.15 :classification des défaillances d'après la criticité.....	98

Introduction générale

Les systèmes technologiques sont au cœur de nombreuses applications permettent d'aider l'humain dans les tâches dangereuses, trop complexes ou impossibles. Parmi ces applications, certaines peuvent blesser les humains, ou provoquer de dégâts sur des biens matériels ou l'environnement. De tels systèmes sont qualifiés de systèmes à sécurité critique et leur utilisation est conditionnée par la confiance que l'humain leur accorde. Cette confiance est d'autant plus importante que l'on assiste aujourd'hui à des transferts de responsabilité de l'humain vers les dispositifs technologiques. Cette problématique a conduit à l'émergence d'un domaine d'activité, la sûreté de fonctionnement, définie par certains chercheurs [13] comme « la propriété d'un système qui permet de placer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre ». Ce concept permet de regrouper plusieurs propriétés que sont la sécurité-confidentialité (security en anglais), la fiabilité, la disponibilité, la sécurité-innocuité (safety) et l'analyse des risques (risk analysis).

Dans le cadre de notre étude nous utiliserons le terme sécurité en lieu de sécurité innocuité (safety system). Les moyens utilisés pour garantir ces différentes propriétés consistent principalement en l'utilisation de techniques de conception, développées dans des secteurs de pointe comme le nucléaire, le spatial ou l'aéronautique. Malgré ces efforts, la complexité grandissante des systèmes technologiques, induite notamment par l'apparition des systèmes dits socio - techniques, où l'humain et le dispositif technologique interagissent pour accomplir une tâche (interface homme-machine), rend impossible la garantie d'une sécurité absolue. Si dans sa définition première, le terme de sécurité revêt un caractère absolu, il est aujourd'hui utilisé pour exprimer une propriété relative. En fait, les concepteurs d'un système doivent être en mesure de gérer ce risque depuis les premières étapes du processus de développement, utilisation, jusqu'à la disposition du système.

La complexité de l'utilisation des techniques de pointe dans l'industrie et le fait que les travailleurs sont en contact presque continu avec les systèmes industriels, installations et machines (opération d'exploitation, maintenance) nous amène à classer les machines stratégiques, dont la rentabilité et la survie de l'entreprise en dépend, dans la catégorie des systèmes à sécurité critique. Ainsi, le concept de risque présenté précédemment

s'applique obligatoirement dans cet environnement industriel afin d'éviter les accidents, les arrêts non programmés et surtout d'éviter les pertes importantes à l'entreprise. Pour traiter les risques, les ingénieurs doivent faire face à de nombreuses difficultés relèvent de multiples domaines d'étude, et ont à leur disposition de nombreuses techniques et méthodologies théoriques, matérielles, logicielles, ou organisationnelles (liées au processus de développement). Choisir parmi ces méthodologies et techniques celles qui correspondent le mieux au problème, est complexe. Les concepteurs et exploitants des systèmes, guidés par leurs expérience et savoir-faire effectuent alors des choix noyés dans le processus de développement ou de production, sans pouvoir justifier l'efficacité de ce choix vis-à-vis de la sécurité, la sûreté de fonctionnement. Le travail que nous avons réalisé contribue à proposer aux ingénieurs concepteurs et exploitants une méthodologie pour faire le choix le plus judicieux de la technique d'analyse des risques appropriée à une situation complexe donnée. Afin d'avoir une bonne appréciation du domaine de la sécurité industrielle et plus précisément l'analyse des situations dangereuses, nous avons présenté dans le premier chapitre l'aspect normatif de la sécurité des machines ainsi que les normes utilisées pour la conception des systèmes industriels en particulier celle relative à l'évaluation des risques d'un système industriel. De même, nous avons présenté des notions importantes sur la théorie des Systèmes Engineering, model du cycle de vie du système, et l'évaluation des risques (Risk Assessment-étude des risques) selon la norme ISO 14121. L'étude de ces normes ne nous montre pas les techniques spécifiques d'analyse et d'évaluation des risques industriels ni les méthodes de suivi basée sur l'acceptabilité ou non du risque. Aucune méthodologie polyvalente à toutes les situations de dangers n'est présenté ni la méthodologie du choix, le plus approprié, de la technique d'analyse des risques dans une situation donnée.

Améliorer et maîtriser la sûreté fonctionnement des systèmes nécessite la connaissance et la compréhension des certains éléments essentiels et pour cette raison que dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les concepts et les outils de la sûreté de fonctionnement d'après les normes en vigueur. L'amélioration de la sûreté de fonctionnement ne peut se faire que si on connaît la classification des défaillances en fonction de diverses situations possibles ainsi que les défauts de pannes. La connaissance de ces notions est indispensable pour l'accomplissement de l'analyse des risques en vue de l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels.

Dans ce même chapitre, nous avons aussi présenté brièvement quelques méthodes d'analyse et d'évaluation des risques le plus souvent utilisées dans différentes activités. Le nombre de ces techniques est très important, pour cette raison nous nous sommes concentrés sur les méthodologies les plus importantes telles que l'APR, l'AMDEC, le FTA, l'AF, l'HAZOP et d'autres techniques. Le problème principal de l'utilisation de ces méthodologies repose essentiellement sur le choix de la méthodologie la plus appropriée par rapport à une situation donnée.

Le chapitre trois, cœur de notre recherche, se concentre sur l'étude de trente cinq méthodes d'analyse des risques, qui représentent la discipline de la sûreté de fonctionnement, et de faire une étude qui nous permettra de bien choisir la méthodologie la plus appropriée dans une situation donnée. Nous avons remarqué que ces méthodes sont empiriques, statistiques ou les deux à la fois et que dans tous les cas, elles peuvent être soit qualitatives ou quantitatives. Après avoir revu toutes les données de départ, nous avons classé ces données en six groupes (plans et spécifications techniques, opération et process, substances et produits utilisés, fréquences et probabilités, politique de gestion, environnement historique et règlements) et les données de sortie ont été classées en trois groupes (gestion, statistiques, classification et listing). Afin de comprendre l'utilité de chaque méthodologie, des liens ont été élaborés entre les données d'input, les méthodologies d'analyse et les données d'output. De cette manière, cette configuration nous permet de bien choisir d'une manière judicieuse la méthodologie d'analyse la plus appropriées en fonction de la situation à étudier, la disponibilité des données de départ et le type de résultat escompté.

Dans le chapitre quatre, et après avoir étudié les données techniques disponibles et les résultats escomptés par l'entreprise FERTIAL, nous avons appliqué les résultats de notre recherche à des installations stratégiques de l'entreprise FERTIAL Annaba au niveau de l'unité ammoniac et plus précisément le turbocompresseur 103J. L'analyse réelle des données d'input disponibles au sein de l'entreprise nous a guidé sur l'utilisation de la méthodologie de l'AMDEC.

Une fois, l'installation présentée ainsi que les machines stratégiques nous avons alors appliqué la méthode la plus appropriée à cette situation. Les résultats de cette analyse ont révélé que les sondes ou capteurs de vibration sont les éléments qui sont le plus critique (C=48), sachant que ces dispositifs sont censés capter les vibrations, qui une fois l'analyse du spectre vibratoire élaboré, nous permettent d'éviter les pannes imprévues et coûteuses.

En conclusion, nous avons présenté des suggestions à FERTIAL concernant ses installations en plus nous avons élaboré une méthode qui nous permet facilement à faire le choix des techniques d'analyse des risques au cours du cycle de vie de tout système. L'application de cette méthodologie par des techniciens expérimentés permettra de mettre, par la combinaison de divers techniques, une méthode d'analyse des risques plus spécifique à leur situation et demandes.

CHAPITRE 1

ASPECT NORMATIF DE LA SÉCURITÉ DES MACHINES INDUSTRIELLES

1.1 Introduction au contexte normatif

Afin de parler le même langage en sécurité industrielle et avoir la même compréhension des différents termes utilisés dans la discipline de la sécurité et la sûreté de fonctionnement des systèmes, il est indispensable d'unifier le langage. Pour cette raison il est indispensables de se référer aux normes en vigueur et donc nous présentons quelques unes des plus importantes relative à la sécurité industrielle [12].

L'industrie américaine est dotée d'une bonne réglementation en matière de sécurité industrielle suite à la collecte de toutes les normes existantes au sein de son industrie puis la sélection des meilleurs normes afin d'en faire une réglementation représentée par l'OSHA act 1970 (occupational safety and health association) qui a instauré ces normes techniques de sécurité et veille à leurs application dans l'industrie en procédant à des

inspections techniques et au contrôle de qualité des produits et services(National safety product) [25]. La première norme américaine en matière de sécurité (*American Standard Safety Code*, ASSC) fut approuvée en 1921 et visait la protection des yeux et têtes des travailleurs industriels [37].

De même à la fin des années 1980 on a vu le passage de l'Europe passer d'une normalisation diversifiée d'un pays à un autre, à une normalisation européenne unifiée qui harmonise les règlements des différents pays.

1.2 Les normes européennes harmonisées

La normalisation est le complément de la réglementation pour aider les concepteurs, les fabricants de machines et même les exploitants de ces machines. Les normes européennes harmonisées transposent en termes techniques les prescriptions correspondant aux exigences essentielles de sécurité définies par une ou plusieurs directives. Ces normes ne sont pas d'application obligatoire ; seules les règles techniques des directives le sont. Le respect d'une norme donne présomption de conformité à la directive correspondante. D'une manière très brève on peut présenter les principales normes européennes de sécurité industrielle dans la figure 1.1.

Normes machines

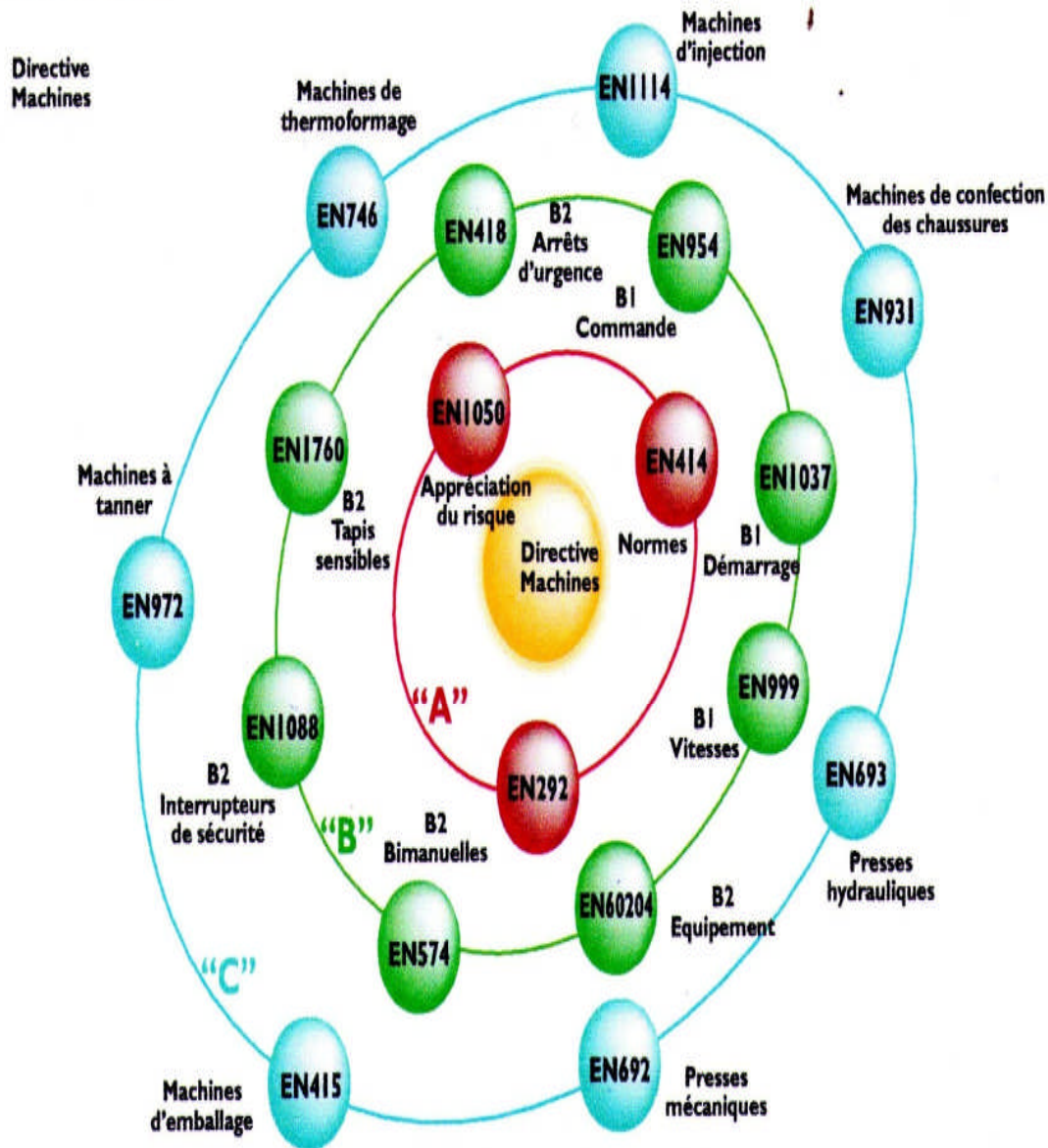


Figure 1.1 : Normes européennes harmonisées (source : [http :www.inforisque.info](http://www.inforisque.info)).

1.2.1 Présentation de quelques normes

Les principales normes relatives au domaine de la sécurité industrielle sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1.1 Présentation des normes européennes relative à la sécurité des machines.

Normes	Caractérisation
--------	-----------------

<p>EN 292 (ISO12100, parties 1 et 2)</p>	<p>Notions fondamentales, principes généraux de conception : c'est une norme A qui résume toutes les notions fondamentales incluant l'estimation du risque, les protecteurs fixes et amovibles, les interrupteurs de sécurité, les arrêts d'urgence, les systèmes de déclenchement, les distances de sécurité, etc. elle fait référence à d'autres normes et comporte les exigences essentielles de sécurité de la directive Machines.</p>
<p>EN 60204-1</p>	<p>Équipement électrique des machines-parties exigences générales : C'est une norme importante qui donne des recommandations générales concernant les problèmes liés à la sécurité des câblages et des équipements électriques des machines.</p>
<p>EN 294 (ISO 13852)</p>	<p>Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones à risque par les membres supérieurs : Fournit des données pour le calcul de la taille des ouvertures, de la position des équipements de protection, etc. assurant une bonne sécurité.</p>
<p>EN 811 (ISO 13853)</p>	<p>Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones à risques par les membres inférieurs :Fournit des données pour le calcul de la taille des ouvertures, de la position des équipements de protection, etc. assurant une bonne sécurité.</p>
<p>EN 349 (ISO 13854)</p>	<p>Distances minimales pour prévenir l'écrasement de parties du corps humain : Fournit des données pour le calcul des distances de sécurité entre les pièces en mouvement, etc.</p>
<p>EN 1088 (ISO 14119)</p>	<p>Interrupteur de sécurité associé à des protecteurs-principe de conception de choix.</p> <p>Donne des principes de conception et le choix d'interrupteurs de sécurité associés à des protecteurs. Utile pour vérifier les capteurs mécaniques en référence à la norme CEI 60947-5-1— appareillage électromécanique.</p>
<p>EN 954 (ISO 13849-1)</p>	<p>Parties des systèmes de commande relative à la sécurité-partie 1 : principes généraux de conception.</p> <p>Cette norme résume les exigences de sécurité pour les parties critiques des systèmes de commande des machines et décrit</p>

	cinq catégories de performances B,1, 2, 3 et 4.
EN 1050 (ISO 14121)	<p>Vitesse d’approche de partie du corps pour le positionnement des dispositifs de protection</p> <p>Elle fourni les méthodes de conception pour calculer le distance minimale de sécurité pour les appareils de sécurité spécifiques et en particulier pour les équipements électro sensibles comme les barrières immatérielles, les tapis et planchers sensibles à la pression et les commandes bi manuelles. Elle contient les principes pour le positionnement des appareils basés sur la vitesse d’approche, le temps d’arrêt de la machine. Ils peuvent être raisonnablement extrapolés pour couvrir les interrupteurs de sécurité avec ou sans verrouillage ou inter verrouillage du protecteur.</p>
EN 574	<p>Organe de commande bimanuelle-Aspects de fonctionnement – Principes de conception.</p> <p>Elle fournit les exigences et les conseils pour la conception et la sélection des organes de commande biannuelle, incluant la prévention des pannes et des défauts de fonctionnement.</p>
EN 418 (ISO 13850)	<p>Équipements d’arrêt d’urgence – Aspects fonctionnels – Principes de conception.</p> <p>Elle donne les principes de conception et les exigences des arrêts d’urgence.</p>
EN 11161	<p>Sécurité des systèmes industriels – Exigences fondamentales.</p> <p>Cette norme définit les prescriptions de sécurité pour les cas où deux machines ou plus interconnectées et manœuvrées par un organe de commande pouvant être reprogrammé pour la fabrication de pièces seules ou de sous-ensembles.</p>
EN 61496-1	<p>Équipement de protection électro-sensibles partie 1 : Exigences générales et tests.</p> <p>La partie 1 donne des exigences et des procédures de tests pour le contrôle et la surveillance pour les équipements de protection électro-sensibles</p>
CEI 61496-2	Partie 2 : Exigences particulières pour les équipements

	<p>utilisant des appareils de protection actifs optoélectroniques.</p> <p>La partie 2 donne des exigences particulières pour la sécurité des barrières immatérielles.</p>
EN 1760-1	<p>Dispositifs de protection sensibles à la pression-partie 1 : Tapis et planchers</p> <p>Définit les prescriptions et procédures de tests.</p>
EN 1760-2	<p>Dispositifs de protection sensibles à la pression-partie 2 : Bourrelets et barres sensibles.</p> <p>Définit les prescriptions et procédures de tests.</p>
EN 1760-2	<p>Dispositifs de protection sensibles à la pression-partie 2 : Bourrelets et barres sensibles.</p> <p>Définit les prescriptions et procédures de tests.</p>
EN 1037 (ISO 14118)	<p>Prescriptions générales pour la conception et la construction de protecteurs</p> <p>Fournit les définitions, descriptions de conception applicables aux protecteurs fixes et amovibles.</p>
EN 1038	<p>Isolement et dissipation de l'énergie – Prévention d'une mise en marche intempestive.</p> <p>Elle définit les mesures destinées à l'isolement en énergie des machines et à la dissipation du stockage de l'énergie pour prévenir la mise en marche inopinée de la machine. Elle permet une intervention sûre dans une zone à risques.</p>

Nous remarquons que ces normes concernent la sécurité industrielle d'une manière générale ainsi que les systèmes, les sous systèmes, et les composants. A travers cette recherche bibliographique nous avons constaté qu'il n'existe pas de méthode ou technique appropriée pour l'évaluation des risques industriels afin d'améliorer la sûreté des machines ou installation stratégique.

1.3 Aspect normatif et réglementaire en Algérie

En Algérie les normes spécifiques relatives à la sécurité et plus précisément celles concernant l'évaluation des risques sont totalement inexistantes, cependant les entreprises industrielles algériennes utilisent les normes européennes les normes ISO ou autres normes répondant le plus à leurs besoins en matière de sécurité aussi bien pour la conception que pour l'exploitation des installations industrielles.

Nos recherches nous ont toutefois permis de découvrir qu'il existe quelques normes techniques de sécurité dans la réglementation algérienne (journal officiel). Nous présentons, dans le tableau suivant, quelques lois et décrets relatifs à la sécurité industrielle.

Tableau 1.2 : Présentation de quelques lois et décrets relatifs à la sécurité

<i>Lois/Décret</i>	<i>Domaine</i>
Loi No.83-13 du 2/07/1983	Relative aux accidents de travail et aux maladies professionnelles (jora No.28)
Loi No.85-05 du 16/02/1985	Relative à la protection et à la promotion de la santé (jora No8)
Loi No.88-07 du 26/01/1988	Relative à l'hygiène, à la sécurité et la médecine du travail (jora No4)
Loi No.89-23 du 19/12/1989	Relative à la normalisation (jora No54)
Loi No.90-03 Du 6/02/1990	Relative à l'inspection du travail (jora No.06)
Loi No.90-11 du 21/04/1990	Relative aux relations de travail
Décret No74-255 du 28/12/1974	Relatif aux modalités de constitution, les attributions et le fonctionnement de la C.H.S. (jora No.2)
Décret No76-34 du 20/02/1976	Relatif aux établissements dangereux, insalubres et incommodes (jora No21)
Décret No84-55 du 3/3/1984	Relatif à l'administration des zones industrielles (jora No.10)
Décret No84-105 du 12/05/1984	Relative à l'institution d'un périmètre de protection des installations et infrastructures. (jora No.20)
Décret No84-385 du 22/12/1984	Relatif aux mesures destinées à protéger les installations, ouvrages et moyens. (jora No.69)
Décret No93-184 du 27/7/93	Réglementant l'émission des bruits (jora No50)
Décret No84-387 du 22/12/84	Relatif aux mesures destinées à protéger les installations, ouvrages et moyens (jora No69)
Décret No85-231 du 25/8/1985	Relatif au plan d'organisation des secours (jora No.361)

Décret No85-232 du 25/8/1985	Relatif aux risques de catastrophes (jora No.361)
Décret No86-132 du 27/5/1986	Fixant les règles de protections des travailleurs contre les risques de rayonnements ionisants. (jora No35)
Décret No90-79 du 27/2/1990	Portant réglementation du transport de matières dangereuses (jora No10)
Décret No90-24 du 18/8/90	Portant réglementation des appareils à pression de gaz (jora No36)
Décret No90-246 du 18/8/1990	Portant réglementation des appareils à pression de vapeur (jora No36)
Décret No92-42 du 4/2/1992	Relatif aux autorisations préalables à la fabrication des produits toxiques ou présentant un risque particulier (jora No09)
Loi No88-07 du 26/01/1988	Relative à l'hygiène, à la sécurité et la médecine du travail
Arrêté interministériel du 10/2/1988	Fixant la délimitation et la signalisation particulière des zones réglementées et interdites (jora No.35)

Malgré que notre longue recherche en matière de lois et réglementation, Il est important de noter qu'il est possible de trouver et de rajouter d'autres lois et décrets relatifs à la sécurité industrielle à ce listing. Cependant, nous avons remarqué d'une manière générale que la réglementation en vigueur n'est pas techniquement très spécifique afin de l'utiliser en tant que norme.

Au niveau du tribunal, il est recommandé d'utiliser les normes internationales les plus appropriées en cas de d'absence de normes algériennes.

Nous avons aussi constaté que dans la réglementation algérienne il n'existe pas de méthodes ou de techniques concernant l'étude, l'analyse et l'évaluation des risques industriels. Pour ces raisons et pour des raisons d'échanges industriels, commerciaux et autres que nous avons présenté les normes européennes de sécurité afin de les prendre en considération.

1.4. Approche Théorique du Système Engineering

Le système engineering étant une approche interdisciplinaire qui nous permet de réaliser des systèmes réussis ou sûres. Cette approche insiste sur les besoins et exigences de l'utilisateur ou exploitant (client) et les

fonctionnalités requises très tôt dans le développement, la documentation, la conception de synthèse et la réalisation du système en prenant en considération le problème au complet :

- *Opération*
- *Coût et délais*
- *Performances*
- *Formation et support*
- *Tests*
- *Mise au rebut*
- *Fabrication en série ou à la chaîne*

System engineering intègre toutes les disciplines et tous les groupes de spécialistes dans une équipe de spécialistes formant un développement structuré du process qui travail de la conception la production et enfin à l'opération du système. Cette approche prend en considération l'aspect technico-économique c'est-à-dire le respect des besoins et exigences de qualité requises du client tout en assurant une bonne rentabilité économique [29].

1.4.1. Domaine d'intérêt : notions de processus industriels

1.4.1.1. Définition du processus industriel

Un processus industriel est un : « Ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie » [29].

Le schéma ci-dessous représente de façon simple un processus industriel.

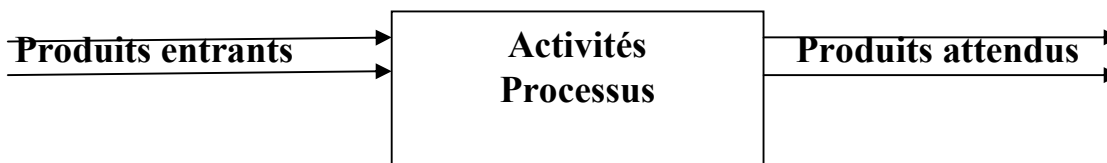


Figure 1.2 : Processus industriel

Dans cette figure, nous remarquons que :

- *L'unité de base est le processus ;*
- *Les produits entrants sont les données d'entrée du processus ;*
- *Les produits attendues sont les données de sortie (résultats) du processus ;*

L'activité représente l'acte de transformer et d'utiliser les ressources en résultats.

Nous notons également que :

- *Les éléments d'entrée d'un processus sont généralement les éléments de sortie d'autres processus,*
- *Les processus d'un organisme sont généralement planifiés et mis en œuvre dans des conditions maîtrisée afin d'apporter une valeur ajoutée,*

- *Lorsque la conformité du produit résultant ne peut être immédiatement ou économiquement vérifiée, le processus est souvent qualifié de « procédé spécial ».*

Un processus peut être une activité complexe (comme par exemple le processus global d'une entreprise) qui peut être déclinée en sous-processus. Ces sous-processus, selon leur complexité peuvent être eux-mêmes déclinés en n-sous processus.

1.4.1.2. Description du processus

Cette description est applicable pour tout type de processus, décrire un processus revient à faire les opérations suivantes :

- *Décrire les données de sortie du processus*
 - *Qui est le client et que veut-il et quels sont ses critères de satisfaction et ses spécifications ?*
 - *Quel est le résultat du processus ?*
 - *Quand considère-t-on que le cycle du processus est terminé ?*
- *Décrire les données d'entrée du processus*
 - *Les ressources d'entrée du processus (ressource matérielles, humaines et informatives nécessaires)*
 - *Quels sont les critères de satisfaction, les spécifications ?*
- *Décrire l'activité du processus*
 - *Que fait le processus ?*
 - *Qui est l'acteur dans le processus et quelles sont les compétences requises ?*
 - *Quels sont les contrôles, mesures, indicateurs et revues pendant et à la fin du processus ?*
- *Décrire le pilotage du processus*
 - *Quels sont les objectifs à atteindre et comment ceux-ci sont reliés à ceux de l'entreprise ?*
 - *Quel est sa performance ?*
 - *Comment s'améliore-t-il ?*

Pour assurer les objectifs fonctionnels, le processus fait appel à un ensemble de système interconnectés ou en interaction. Chaque système assure une ou plusieurs fonctions bien définies [17]. Les réacteurs d'un avions ont un rôle de propulsion, dans une centrale d'énergie nucléaire, le générateur de vapeur a pour mission d'évacuer la chaleur du circuit primaire et de produire la vapeur.

Les systèmes peuvent être décomposés en sous systèmes assumant à leur tour, généralement, un seul objectif fonctionnel. L'étape suivante concerne la décomposition des systèmes ou sous systèmes en composants ou matériels bien déterminés. En général, on considère composants ou matériels de manière équivalente. Par exemple des moteurs électriques, des moteurs diesels, des vannes des pompes ou des unités centrales

d'ordinateur des composants ou des matériels bien identifiés sur lesquels sera réalisé la maintenance. Donc c'est sur ces composant et matériels que s'effectuera la maintenance et non sur les systèmes.

Chaque composant ou matériel peut être ensuite décomposé en pièces élémentaires et chaque pièce est en général l'élément qui fera l'objet d'un échange standard.

Selon la profondeur de l'étude du risque, du diagnostic retenu, on remarque que cette notion de décomposition est dans un certain sens subjectif. C'est avant tout un choix de l'utilisateur et de ses motivations particulières. La figure 1.6 donne un exemple de la décomposition hiérarchique d'un processus industriel avec systèmes, sous-systèmes et composants.

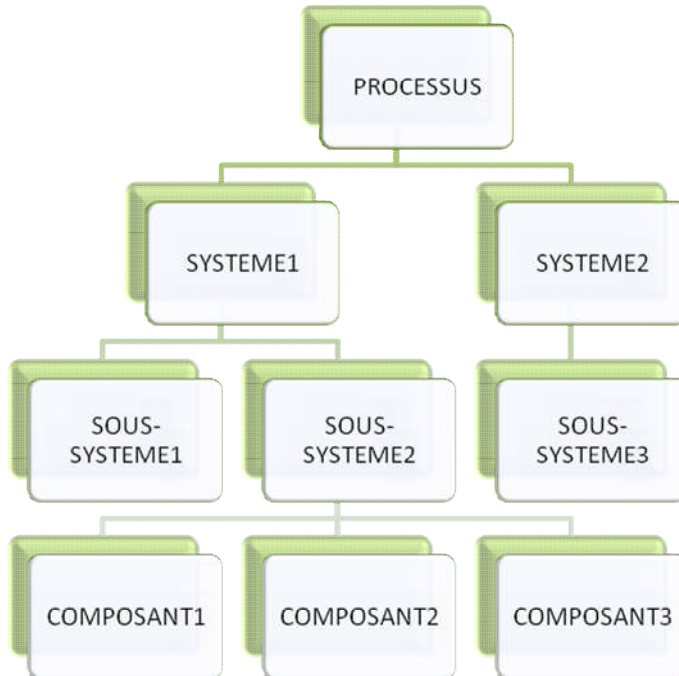


Figure 1.3 : Décomposition hiérarchique d'un processus

1.4.2 Notion de systémique dans l'approche théorique du système engineering

Les méthodes d'analyse des risques et de diagnostic ne possèdent pas de caractères universel en fonction de la nature des processus, systèmes, sous-système, composants ou matériels, il faudra mettre en œuvre à chaque fois des méthodes spécifiques tenant compte des technologies déployées :

- *Systèmes mécaniques dynamiques : moteurs, pompes, turbines, réacteur...*,
- *Système mécaniques statiques : tuyauterie, enceintes...*,
- *Systèmes numériques programmés,*
- *Systèmes thermo hydrauliques : échangeurs, fours, colonnes de distillation, tours de craquage...*
- *Systèmes électriques ou électroniques, analogiques ou logiques : capteurs, régulateurs et automates programmables...*

Un système assure une ou plusieurs fonctions ou missions grâce à ses composants ou ses matériels. Ces fonctions possèdent une hiérarchie en terme d'importance et il convient de se demander sur les aspects technico-économiques avant de mettre en place une méthode d'analyse des risques ou de diagnostic. Pour effectuer cette analyse il est nécessaire d'identifier les caractéristiques des systèmes et composants :

- *Les fonctions du système en distinguant les missions principales et secondaires et leurs importances relatives ;*
- *La structure du système en analysant les liens entre systèmes et composants ;*
- *Les modes de fonctionnement des systèmes et des caractéristiques des composants ;*
- *Les conditions d'exploitation du système ;*
- *L'environnement du système pour connaître ses délimitations et l'influence des facteurs extérieurs ;*
- *L'inventaire des moyens de mesures.*

Cette réflexion est toujours nécessaire avant toute étude des risques d'un système. En effet, deux cas de figures se présentent : soit le projet qui se situe à la phase de conception, soit on doit prendre en compte l'existence du système existant (en état de fonctionnement ou à l'arrêt).

Dans le premier cas, il est possible de procéder à une analyse des risques ou un analyse de la sureté de fonctionnement pour se fixer les objectifs a priori de disponibilité [18]. Dans ce cas on peut prévoir des matériels redondants et une instrumentation nous permettant d'accéder aux informations indispensables au diagnostic et l'analyse de la sureté de fonctionnement.

Dans le second cas, il faudra très souvent se contenter de l'information existante ce qui limitera l'exhaustivité du diagnostic.

1.4.3 Démarches d'approche théorique du système engineering

1.4.3.1 Démarche basée sur la notion du cycle de vie

L'approche du model de cycle de vie du système est représentée par la figure 1.2 qui décrit les différentes phases du cycle de vie du système :

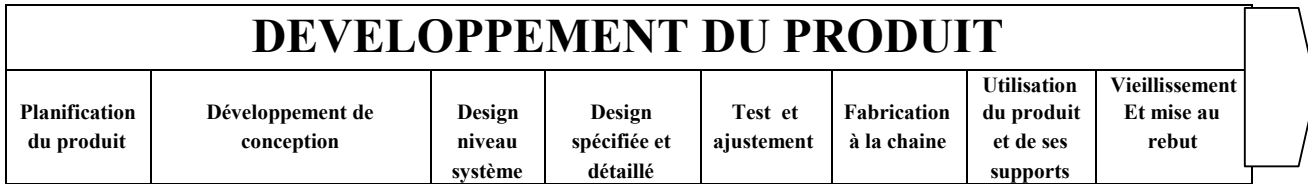


Figure 1.4 : Développement du produit

Le cycle de vie du système est une séquence de phases, lesquelles contiennent des rôles et missions précises. Le cycle de vie total du système a partir du concept initial à la disposition du produit (decommissionig) est couvert [14]. Une approche sur l'accomplissement du cheminement des étapes de management est présente à la figure suivante.

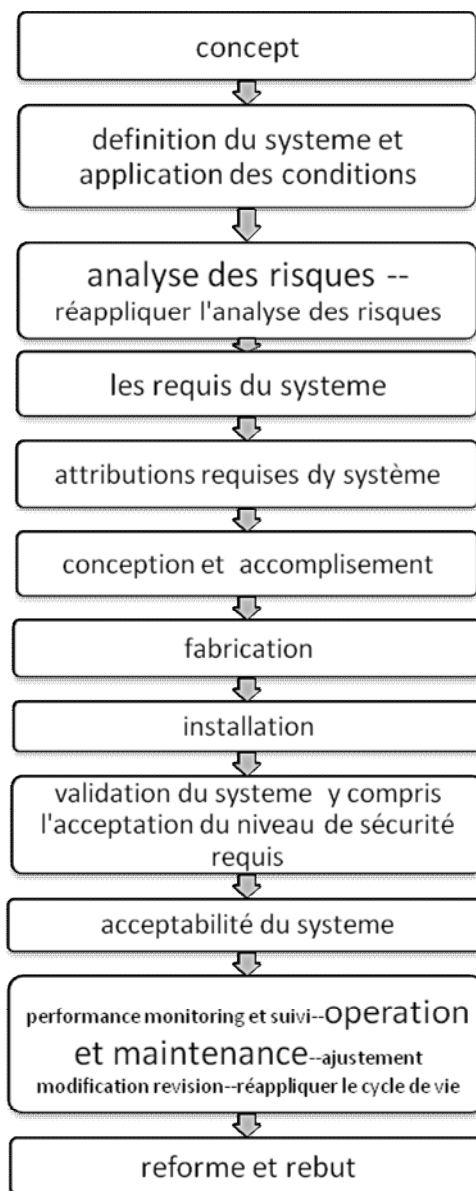


Figure 1.5 : Management du cycle de vie du système

Cycle de vie du système d'après la norme EN 50126 1999

Un système d'information du concept de sécurité et fiabilité a été développé en coopération en utilisant les modèles de conception. La première partie du système de conceptualisation était basé essentiellement sur les interviews avec les partenaires industriels de réputation internationale [15]. Les informations concernant la gestion réelle de la sécurité et la fiabilité ont été étudié sur les compagnies des machines. Ceci a permis de mettre en place le programme RAMS qui couvre deux domaines d'application concernant la fabrication des machines mobiles et un model pour les fabricants des systèmes automatique de distribution et de stockage. Le programme de base RAMS consiste en la description des phases appropriées du cycle de vie, les responsabilités et mission reliées à chaque phase RAMS, les résultats de chaque phase du RAMS [16].

Le cycle de vie d'un système couvre toutes les phases de la conception jusqu'au rebut. Les grandes compagnies utilisent de plus en plus le concept du cycle de vie ou leurs projets d'investissements afin bien faire la planification, la gestion, contrôle et suivi tous les aspects du système y compris la fiabilité, la sécurité, la maintenabilité et la disponibilité (RAMS).

Une attention spéciale est souvent donnée aux différents aspects du RAMS afin d'être sure que toutes les exigences techniques fonctionneront normalement au cours de la durée de vie et dans toutes les circonstances de travail tout en relation avec la fiabilité, la maintenabilité, la sécurité et la disponibilité. Selon la norme EN 50126 (1999) – le fournisseur est conseillé d'établir un programme spécifique du RAMS afin de délivrer le projet. Ce programme procède d'une manière itérative au fur et à mesure du développement du projet.

La norme EN 50126 (1999) décrit les différentes phases de travail du projet durant le cycle de vie. La figure suivante montre la relation entre l'objectif, les RAMS et la sécurité d'après EN 50126 (1999).

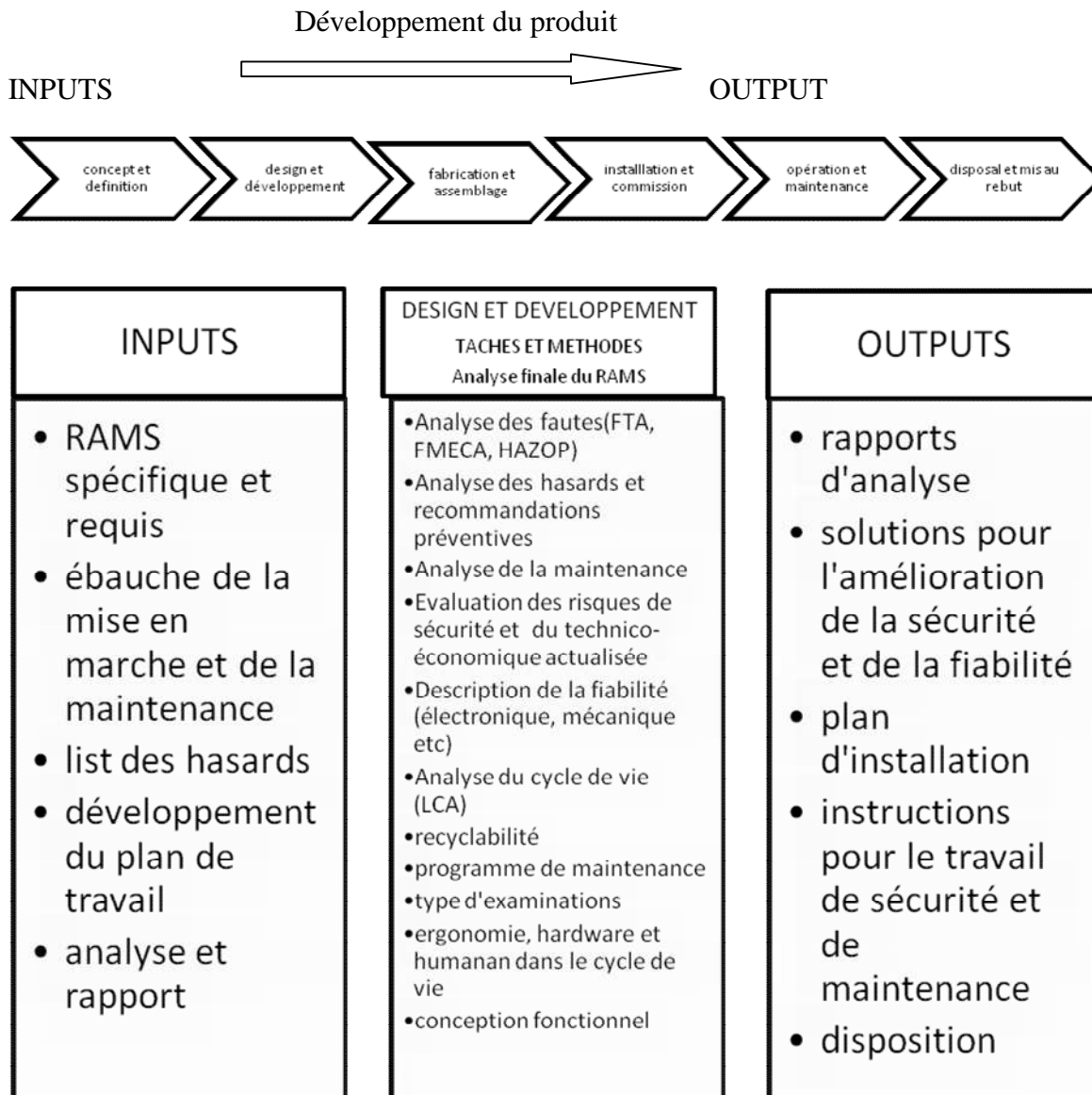


Figure 1.6. : Relation entre l'objectif, les RAMS et la sécurité.

1.4.3.2 Démarche basée sur la notion du Risk Assessment

Selon la norme ISO 14121 « sécurité des machines » le risk assessment ou évaluation des risques est une série d'étapes logiques qui permet l'évaluation des risques associée aux machines. Cette évaluation est suivie d'une diminution du risque si cela est nécessaire. L'itération de ce processus peut être nécessaire pour éliminer le hasard et ce afin de réduire le risque par la mise en place de mesures protectives.

D'après cette norme, le risk assessment inclut l'analyse des risques et l'évaluation des risques (figure 1.5.). L'analyse des risques inclut la détermination des limites de la machinerie, l'identification des hasards et l'estimation.

FIGURE . PROCESS DE L'ANALYSE DES RISQUES (ISO 14121).

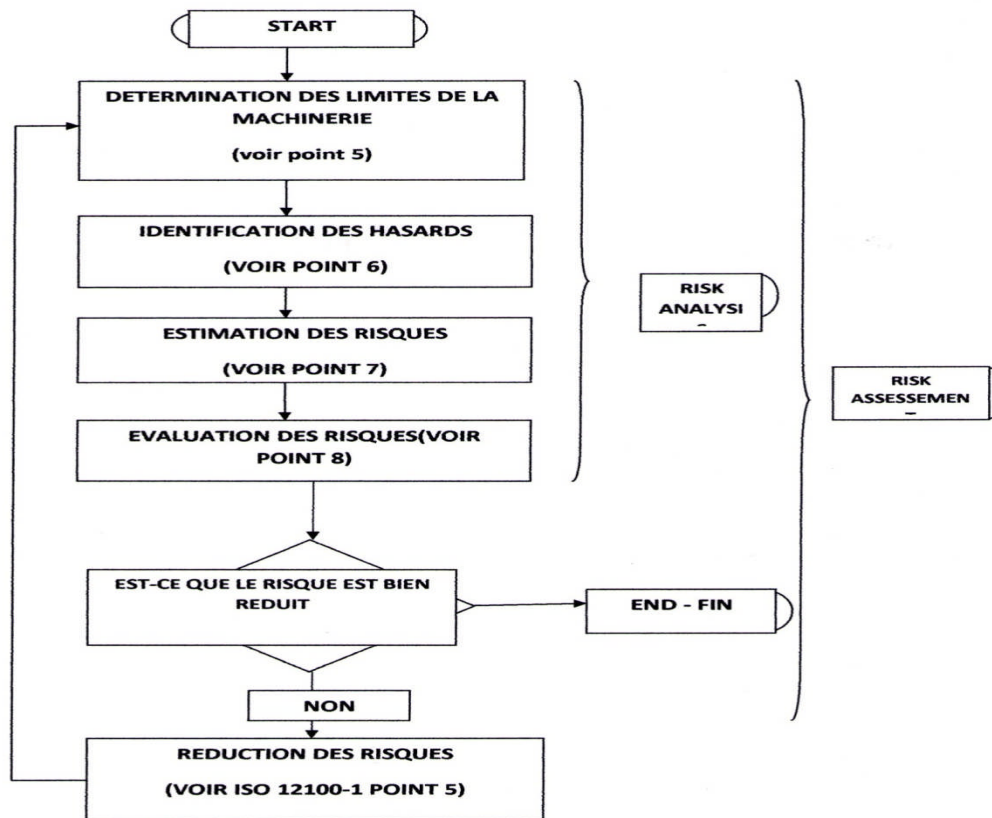


Figure 1.7. Process d’analyse des risques (ISO 14121)

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des normes européennes unifiées relatives à la sécurité industrielle d’une manière générale, les systèmes, sous systèmes, et composants ainsi que certains aspects normatifs de la sureté de fonctionnement et d’analyse des risques.

De même, qu’une recherche dans la réglementation en vigueur issue du journal officiel Algérien présentée sous forme de listing et énumération des lois et décrets relatifs à la sécurité industriels nous a montré qu’il y a un manque de réglementation technique spécifique en matière de sûreté de fonctionnement. Par conséquent, en cas de manque de normes et spécification technique, l’expert en sécurité fait recours aux normes internationales les plus adaptées à notre situation.

A travers cette recherche bibliographique nous avons constaté qu’il n’existe pas de méthode ou technique idéale pour l’amélioration des la sureté des machines ni comment évaluer le niveau de bon fonctionnement d’une installation ou machine stratégiques.

Devant ce constat, la suite de cette thèse se propose pour prendre en charge cette préoccupation.

CHAPITRE 2

Concepts et outils de sûreté de fonctionnement

2.1 Introduction

Les concepts de sûreté de fonctionnement ont été développés assez tardivement en comparaison avec les autres domaines des sciences de l'ingénieur. C'est à partir des années 1940 dans le domaine de l'aéronautique que, confronté à des défaillances dans les systèmes électroniques, des ingénieurs se sont intéressés à caractériser les défaillances d'un système en considérant la fiabilité de ses composants et les liens qui pouvaient exister entre ces entités. C'est ainsi que les premières « briques » de la sûreté de fonctionnement, comme la fiabilité d'une chaîne de composants, ont été posées. Partant de ces premières approches probabilistes, diverses méthodes ont été mises au point afin d'analyser les risques potentiels d'un système, de recenser les éventuelles séquences d'événements qui mènent à une défaillance du système et de quantifier sa performance en terme de fiabilité. Les études de sûreté de fonctionnement ont pris un grand essor à partir des années 60 et 70 dans l'industrie de l'armement et dans le secteur du nucléaire où les enjeux étaient de taille [12]. La sûreté de fonctionnement s'est ainsi développée comme une discipline multi-outils :

- *Méthodes d'analyse des risques.*
- *Méthodes de calculs prévisionnels de la sûreté de fonctionnement de systèmes*
- *Outils logiciels dédiés à la sûreté*
- *Constitution de bases de données statistiques sur la fiabilité des composants.*

Après ce bref historique sur l'apparition et le développement de la science de la sûreté de fonctionnement, nous allons, dans ce chapitre, définir ce qu'est la sûreté de fonctionnement d'un système et les concepts de base associés comme la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité, le taux de défaillance d'un composant et le taux de réparation [19]. On abordera ensuite les différents stades qui composent une étude de sûreté à savoir la caractérisation du système, l'analyse de ses dysfonctionnements et l'évaluation de ses performances en termes de fiabilités ou de disponibilité. Les diverses méthodes de quantification de sûreté d'un système seront présentées.

De nos jours, la compétitivité des marchés industriels fait que les aspects de qualité de produits et de services ont une grande importance. De même, la productivité d'une usine est directement reliée au bon fonctionnement de ses machines. On voit ainsi apparaître chez les industriels, qu'ils soient clients ou fournisseur, un besoin grandissant de mesurer ou d'améliorer la fiabilité des produits qu'il vend ou qu'il utilise.

2.2. Terminologie de la sûreté de fonctionnement

Dans les applications industrielles de l'étude du risque et du diagnostic, il apparaît souvent des terminologies différentes pour la conduite de la sécurité et la maintenance des processus. Il est donc fondamental pour la suite de ce document d'avoir des définitions précises pour l'étude des risques et des diagnostics des défaillances, de pannes et de défauts [40].

La difficulté majeure fréquemment rencontrée dans la description des concepts et de la terminologie provient du fait que l'on peut les aborder sous plusieurs angles très différents suivant les origines et les formations des intervenants : les concepteurs dans les bureaux d'études et les opérateurs ont tendance à utiliser un vocabulaire privilégiant les aspects fonctionnels, mais par contre les enquêteurs d'accident techniques et les personnels de maintenance ont souvent une approche matérielle pour décrire les défaillances. Actuellement, les différentes instances internationales de normalisation (ISO, AFNOR, CEI, CEN) ont entrepris de réviser la terminologie utilisée dans le domaine de la maintenance et la sûreté de fonctionnement. Il est donc préférable et recommandé de se référer aux nouvelles normes en cours pour diverses utilisations.

2.2.1 Notions liées au comportement fonctionnel des machines

2.2.1.1. Fiabilité ou Reliability

«Aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans les conditions données, pendant un intervalle de temps donné».

L'entité (E) désigne un composant, sous-système ou système et la fonction requise est la ou les fonctions que doit accomplir le dispositif pour pleinement remplir la tâche qui lui assignée.

Par extension, on appelle également fiabilité la probabilité associée $R(t)$ à cette notion alors qu'elle n'en est qu'une mesure. Elle est définie par :

$$R(t) = P(\text{E non défaillant sur la durée } [0, t])$$

L'aptitude contraire est appelée dé fiabilité et est définie par :

$$\bar{R}=1-R(t) \quad (2.1)$$

On distingue plusieurs types de fiabilités ayant des termes spécifiques tels que :

- *La fiabilité opérationnelle (observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles,*
- *La fiabilité prévisionnelle (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse connaissant les fiabilités des ces composants,*
- *La fiabilité extrapolée déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durés différentes,*
- *La fiabilité intrinsèque est la fiabilité maximale que l'on peut attendre d'un matériel quand il fait l'objet d'une maintenance préventive efficace : c'est une valeur inhérente à sa conception. L'obtention de niveaux supérieurs de fiabilité nécessite donc soit des modifications, soit de nouvelles conceptions.*

Le Mean operating Time to Failure (MTTF) est une grandeur moyenne associée à la fiabilité qui est souvent utilisée dans le fonctionnement de l'entité avant la première défaillance. On peut écrire sous certaines conditions mathématiques :

$$\mathbf{MTTF} = \int_0^{+\infty} \mathbf{R(t)} dt \quad (2.2)$$

Une autre grandeur très utilisée est le temps moyen entre deux défaillances, Mean Time Between Failure (MTBF).

2.2.1.2. Disponibilité ou availability

« aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée. »

La probabilité associée $A(t)$ à l'instant t est aussi disponibilité et s'exprime par :

$$A(t)=P(E \text{ non défaillante à l'instant } t)$$

L'aptitude contraire ou indisponibilité est définie par :

$$\bar{A}= 1-A(t) \quad (2.3)$$

La disponibilité est une grandeur instantanée. Le système peut donc avoir subi une panne puis une réparation avant l'instant t , contrairement à la fiabilité $R(t)$ qui est une grandeur mesurée sur une durée déterminée $[0, t]$. la confusion entre la disponibilité et la fiabilité est due au fait que ces deux concepts sont équivalent quand le système est non réparable.

Similaire à la fiabilité, il existe plusieurs types de disponibilités utilisées :

- *La disponibilité instantanée prévisionnelle (définie ci-dessus)*

- *La disponibilité moyenne : moyenne sur un intervalle de temps donné [t1, t2] de la disponibilité instantanée prévisionnelle, ou mesurée en phase opérationnelle par la durée de fonctionnement effective divisée par la durée donnée [21].*

Les grandeurs moyennes associées à la disponibilité les plus souvent utilisées sont :

- *Le Temps Moyen de Disponibilité (TMD), mean up time (MUT) : durée moyenne de fonctionnement après réparation,*
- *Le Temps moyen d'Indisponibilité (TMI), mean down time (MDT).*

2.2.1.3. Maintenabilité (Maintenability)

« Dans les conditions données d'utilisation, aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, 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. »

La maintenabilité est caractérisée par une probabilité $M(t)$ que la maintenance d'une entité E accomplie dans des conditions données, avec des procédés et des moyens prescrits, soit achevée au temps t , sachant que E est défaillant au temps $t=0$:

$$M(t)=P(\text{la maintenance de } E \text{ est terminée au temps } t) \quad (2.4)$$

$$M(t)=1-P(E \text{ non réparée sur la durée } [0,t]) \quad (2.5)$$

Il s'agit donc d'un équivalent à la fiabilité mais appliqué à la réparation.

L'immaintenabilité correspond à la probabilité contraire

$$\bar{M}=1-M(t) \quad (2.6)$$

Les grandeurs moyennes associées à la maintenabilité les plus souvent utilisées sont :

- *Le Temps Moyen de fonctionnement Entre Défaillance (TMED), Mean time Between Failures (MTBF), on a $MTBF=MUT+MDT$*
- *Le Temps Moyen avant Remise en Service ou temps d'indisponibilité après défaillance (TMRS), Mean Time To Restoration (Mean Time To Repair, MTTR).*
- *On peut l'exprimer, sous certaines conditions, par :*

$$MTTR= \int_0^{+\infty} (1 - M(t)) dt \quad (2.7)$$

Pour les définitions les définitions des grandeurs moyennes utilisées en sûreté de fonctionnement, deux schémas sont présentés sur les figures 2.2 et 2.3. ces schémas ne sont pas normalisés, ils ne représentent que l'usage courant. A noter que la notion de MTTR peut être étendue aux durées entre défaillances et remise en service, la différence avec la MDT n'étant alors que les durées d'indisponibilité dues aux contrôles de maintenances.

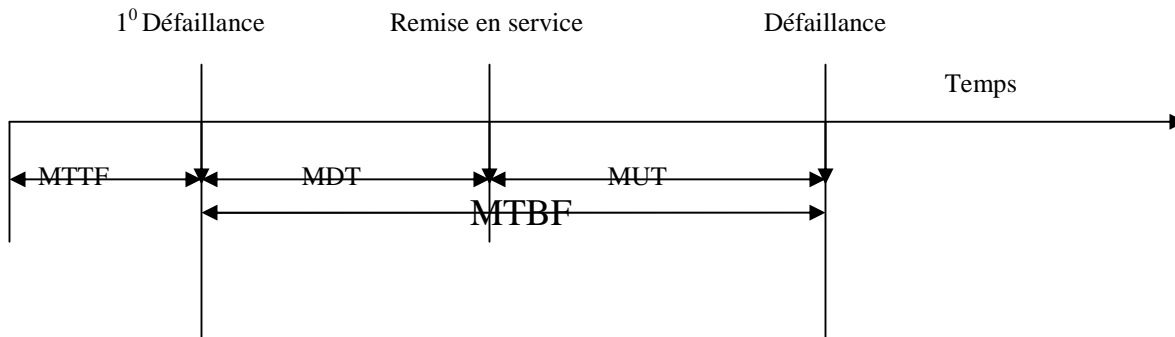


Figure 2.1. Définition graphique du MTTF, MDT, MUT, et MTBF

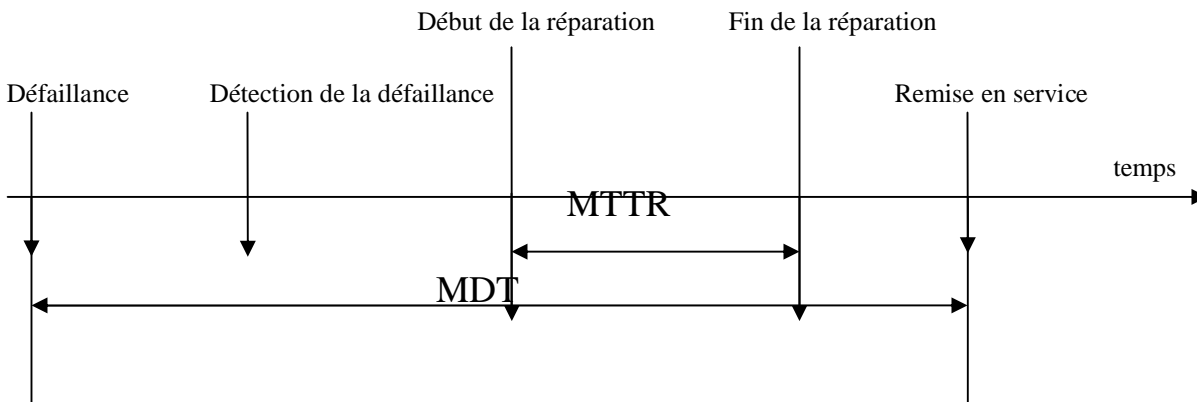


Figure 2.2. Définition graphiques du MTTR et du MDT

2.2.1.4. Sécurité

A. Définition de la sécurité

La sécurité est souvent définie par son contraire : elle serait l'absence de danger, de risque, d'accident ou de sinistre [24].

La sécurité concerne la non occurrence d'événements pouvant diminuer ou porter atteinte à l'intégrité du système.

Selon le guide élaboré par l'ISO (organisation internationale de normalisation) sur la terminologie du management du risque, la sécurité est l'absence de risques inacceptables, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement [25].

B. Définition de la sécurité fonctionnelle

Selon la norme IEC 61061(1998), la sécurité fonctionnelle est le sous ensemble de la sécurité globale se rapportant à la machine et au système et qui dépend du bon fonctionnement d'un système ou d'un équipement.

Malgré les efforts déployés par les entreprises, les accidents de travail liés aux facteurs humains ou aux facteurs techniques (incendies, explosions, etc.) restent nombreux en Algérie ou à travers le monde. L'ampleur et la fréquence de ces accidents ont suscité de nombreux efforts sur les études de risques afin de mieux les prévenir, les prévoir et les gérer. La sécurité liée aux facteurs techniques est appelée aussi sûreté de fonctionnement dans le domaine industriel et spécifiquement en maintenance industrielle. Ce chevauchement technique entre les domaines de la sécurité et la maintenance industrielles est tout à fait normal du fait que, d'une part, l'absence ou le manque de sécurité industrielle favorisent l'occurrence des accidents provoquant des dommages aux installations et équipements se répercuteront systématiquement sur la maintenance corrective avec l'entraînement de toutes les conséquences technico-économiques. D'autre part, des équipements mal ou pas entretenus peuvent, très souvent être la cause d'accidents catastrophiques.

2.2.2- Notions relatives au comportement dysfonctionnel des machines

2.2.2.1. Notions de risques

Les circonstances et les conséquences des catastrophes et accidents sont variables. Elles montrent que le risque présente en générale deux aspects : probabilité et conséquences, elles se caractérisent par la sécurité : protection des personnes, de l'environnement et aussi protection des machines et installations de production ; on considère l'aspect économique et par extension social [20].

L'idéal serait d'éliminer totalement le risque, mais comme cela est pratiquement impossible en général donc on utilise deux voies pour réduire les risques :

- *Diminution de la probabilité d'occurrence de l'événement indésirable*
- *Réduction des conséquences de l'événement indésirable*

2.2.2.2. Définition de la défaillance

Le diagnostic industriel possède des applications dans les domaines de la conduite et dans la maintenance des procédés industriels et il est primordial de définir et de préciser sans ambiguïté les notions de défaillance, pannes et défauts. En effet, les actions techniques à mener sont de nature différente dans la conduite et la maintenance. Lors d'un dysfonctionnement constaté lors de la conduite d'une installation industrielle, l'équipe de conduite devra en œuvre rapidement, après diagnostic, la procédure adéquate pour revenir à un fonctionnement sûr de l'installation. Ici le temps de réaction joue un rôle prépondérant [12]. Pour les activités de maintenance préventive ou prévisionnelle, la contrainte temps est souvent moins contraignante et les actions techniques sont différentes comme indiqué dans ce chapitre. La définition de la défaillance se présente comme suit :

« L'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies les spécifications techniques. » L'ensemble est indisponible suite à la défaillance.

Un ensemble est défaillant si ces capacités fonctionnelles sont interrompues (panne ou arrêt volontaire par action d'un système interne de protection ou une procédure manuelle équivalente). Dans le cas d'une dégradation sans perte totale de la fonction, on considère qu'il s'agit d'une défaillance si sa performance tombe

en dessous d'un seuil défini, lorsqu'un tel seuil minimum est contenu dans les spécifications fonctionnelles du matériel.

Il s'ensuit qu'un ensemble est défaillant s'il est considéré ou déclaré incapable d'assurer les fonctions requises par l'exploitant utilisant des critères fonctionnels simples.

Cette définition inclut de façon très explicite la perte de fonction d'une entité et pour cette raison elle porte souvent à des interprétations différentes suivant les intervenants. Cette grande différence d'approche constitue une réelle difficulté pour entreprendre de façon efficace un dialogue entre les concepteurs, les exploitants, et les responsables de la maintenance. Pour clarifier ces différences on fait recours à des normes (AFNOR) qui donne une liste non exhaustive des défaillances génériques susceptibles d'être rencontrées sur des matériels industriels (voire tableau 2.1.).

Tableau 2.1 : Liste non exhaustive des défaillances génériques (Afnor)

1. Défaillance structurelle	18. Mise en marche erronée
2. Blocage physique au coincement	19. Ne s'arrête pas
3. Vibration	20. Ne démarre pas
4. Ne reste pas en position	21. Ne commute pas
5. Ne s'ouvre pas	22. Fonctionnement prématuré
6. Ne se ferme pas	23. Fonctionnement après le délai prévu
7. Défaillance en position ouverte	24. Entrée erronée (augmentation)
8. Défaillance en position fermée	25. Entrée erronée (diminution)
9. Fuite interne	26. Sortie erronée (augmentation)
10. Fuite externe	27. Sortie erronée (diminution)
11. Dépasse la limite supérieure tolérée	28. Perte de l'entrée
12. Est en dessous de la limite inférieure tolérée	29. Perte de la sortie
13. Fonctionnement intempestive	30. Court circuit
14. Fonctionnement intermittent	31. Circuit ouvert
15. Fonctionnement irrégulier	32. Fuite (électrique)
16. Indication erronée	33. Autres conditions exceptionnelles de Défaillances spécifique au système.
17. Ecoulement réduit	

Une lecture attentive du contenu de ce tableau, nous montre les types de défaillances matérielles (fuite) et les défaillances fonctionnelles (ne démarre pas).

i. Définition de la défaillance potentielle

Lorsqu'une valeur a été fixée pour évaluer la dégradation d'un matériel ou d'un composant, on définit une autre valeur du même critère, en avance de la précédente, comme étant le point de défaillance potentielle. Cette valeur est choisie de manière que si la dégradation ne l'atteint pas, le risque de défaillance avant la prochaine inspection est jugé acceptable et donc il n'est pas nécessaire d'intervenir avant cette valeur.

On notera que la valeur de la défaillance potentielle est fonction de l'intervalle entre inspections. Ce concept de défaillance potentielle est à la base des techniques modernes de maintenances (prévisionnelle ou conditionnelle). Il sera utilisé comme critère de décision de restauration.

ii. Définition d'une dégradation

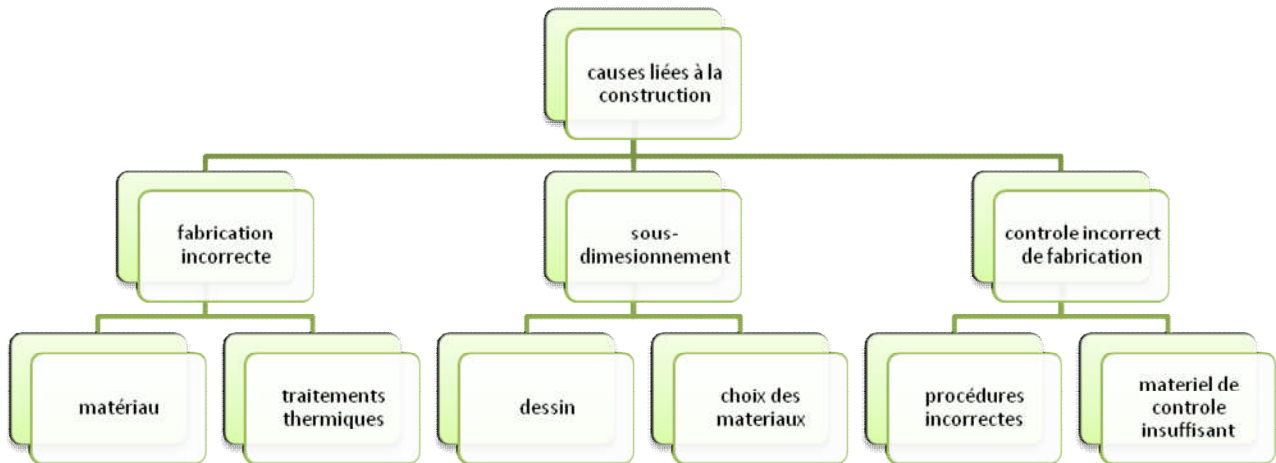
Une dégradation d'un système se présente comme suit :

- *Une perte de performances d'une des fonctions assurées par l'ensemble (si les performances sont au-dessous du seuil d'arrêt défini par les spécifications fonctionnelles, il n'y a plus de dégradation mais défaillance).*
- *Un sous-ensemble lui-même dégradé, voire défaillant (sans conséquences fonctionnelle sur l'ensemble) [26].*

iii. Cause de défaillance

Elle est définie comme étant « les circonstances liées à la conception, la fabrication, ou l'emploi et qui ont entraîné la défaillance ».

Cette définition est fondamentale en diagnostic et analyse des risques industriels puisque l'on cherche la cause première ou cause racine (root cause) de la défaillance en fonction de symptômes externes qui sont observés. Une bonne politique de maintenance passe par une maîtrise parfaite des mécanismes de ruine liés à la conception, la construction et à l'exploitation des matériels. Pour ce faire, détecter une défaillance est capital pour éviter une éventuelle perte de la fonction d'un processus industriel et surtout de connaître et de prévenir à temps une défaillance en suivant l'évolution d'une dégradation d'un élément matériel. Deux exemples sont illustrés dans les figures 2.4. et 2.5. qui représentent les principales causes lors de la construction et celles



corrosion.

Figure 2.3 : Causes de défaillances liées à la construction

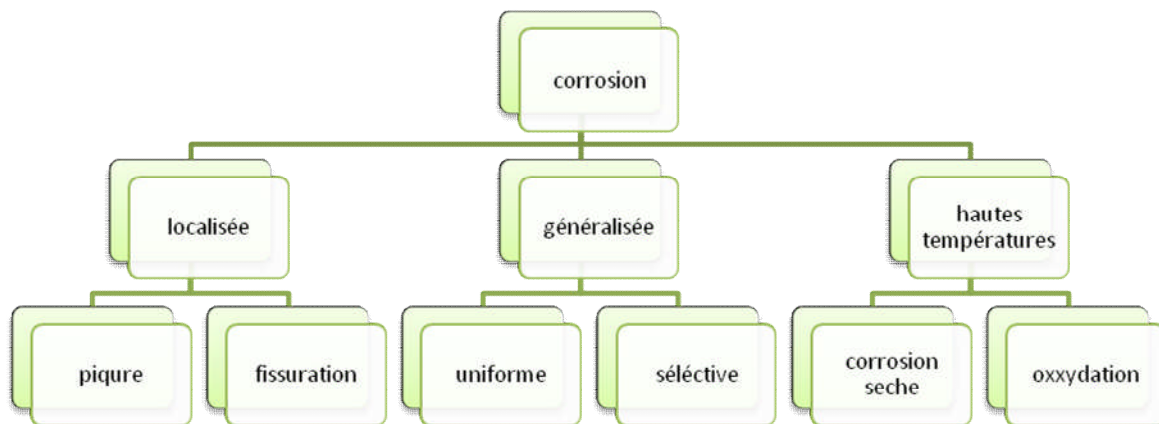


Figure 2.4 : Défaillance liées au phénomène de corrosion

iv. Mode de défaillance

« Effet par lequel une défaillance est observée. »

Comme par exemple un court circuit ou un circuit ouvert. A chaque défaillance d'un dispositif, d'un système ou composant on associe des modes de défaillances induit par les causes de défaillance, caractérisée ensuite par leurs effets et leur conséquences.

v. Mécanisme de défaillance

« Processus physique, chimique ou autre qui entraîne une défaillance. »

2.2.2.3. Classification des défaillances en fonction des causes

i. Défaillance due à un mauvais emploi

« Défaillance attribuable à l'application de contraintes au-delà des possibilités données du dispositif. »
C'est le cas, par exemple, de la rupture d'une enceinte sous pression au-delà de la pression pour laquelle elle a été conçue [27].

ii. Défaillance due à une faiblesse inhérente

« Défaillance attribuable à la faiblesse inhérente au dispositif lui-même lorsque les contraintes ne sont pas au-delà des possibilités données du dispositif. »

Cela peut être un défaut de conception par exemple.

iii. Défaillance première

« Défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte n'est pas la défaillance d'un autre dispositif. »

Cela correspond par exemple à la défaillance d'un palier de l'arbre d'un compresseur.

iv. Défaillance seconde

« Défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte est la défaillance d'un autre dispositif. »

La défaillance d'un transistor est liée à la défaillance d'une résistance.

2.2.2.4. Classification des défaillances en fonction du degré

i. Défaillance partielle

« Défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, mais telle qu'elle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction requises. »

Les limites correspondant à cette catégorie sont des limites spéciales spécifiées à cette fin.

ii. Défaillance complète

« Défaillance résultant de déviation d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, telle qu'elle entraîne une disparition complète de la fonction requise. »

Les limites correspondant à cette catégorie sont des limites spéciales spécifiées à cette fin.

iii. Défaillance intermittente

« Défaillance d'un dispositif subsistant pendant une durée limitée, à la fin de laquelle le dispositif retrouve son aptitude à accomplir sa fonction requise, sans avoir été soumis à une action corrective externe quelconque. »

2.2.2.5. Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition

i. Défaillance soudaine

« Défaillance qui n'aurait pas pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieure. »

Ce type de défaillance ne peut pas se détecter par un examen de l'évolution des caractéristiques du dispositif.

ii. Défaillance progressive

« Défaillance qui aurait pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieure. »

Ce type de défaillance peut se détecter par un examen de l'évolution des caractéristiques du dispositif.

2.2.2.6. Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition et du degré

i. Défaillance catalectique

« Défaillance qui à la foi soudaine et complète. »

En pratique le diagnostic d'une telle défaillance est souvent impossible.

ii. Défaillance par dégradation

« Défaillance qui est à la foi progressive et partielle. »

A la longue, un telle défaillance peut devenir une défaillance complète.

2.2.2.7. Classification des défaillances en fonction de la date d'apparition

i. Taux de défaillance

Une grandeur fondamentale souvent utilisée caractérise la défaillance d'un composant : le taux de défaillance $\lambda(t)$ (instantané).

Il est défini par la norme NF X 60-500 comme suit : « Limite si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour que l'instant d'une défaillance d'une entité soit comprise dans un intervalle de temps donné, $[t, t+\Delta t]$, par la durée Δt de l'intervalle de temps, lorsque Δt tend vers zéro sachant que l'entité n'a pas été défaillance entre 0 et t. »

$\lambda(t)$ est donc mathématiquement une densité de probabilité conditionnelle et s'écrit :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{R(t) - R(t+\Delta t)}{R(t)\Delta t} \right) = \frac{1}{R(t)} [-dR(t)/dt] \quad (2.8)$$

On appelle densité de défaillance la fonction :

$$f(t) = -dR(t)/dt \quad (2.9)$$

On peut exprimer le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ par :

$$\lambda(t) = f(t)/R(t) \quad (2.10)$$

Par exemple pour un matériel électronique dont la loi $R(t)$ donnée par une loi exponentielle : $R(t) = e^{-\lambda_0 t}$ (λ_0 constant), l'application de la formule XX démontre que le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ est égale à λ_0 et est donc constant au cours du temps.

Pour un matériel mécanique, dont les défaillances suivent dans certains cas la loi de weibull ; le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ s'écrit :

$$\lambda(t) = \frac{\beta(t-\gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta} \text{ pour } (t-\gamma) > 0 \quad (2.11)$$

avec : η = paramètre d'échelle

β = paramètre de forme

γ = paramètre de position

ii. Taux de remise en service

La norme NF X 60-500 définit un taux de remise en service $\mu(t)$: « limite si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour qu'une entité soit remise en service dans un intervalle $[t, t+\Delta t]$, sachant qu'elle a une défaillance à l'instant 0 et que la remise en service n'a pas encore été effectuée à l'instant t , par la durée Δt de l'intervalle de temps, lorsque Δt tend vers 0. »

$\mu(t)$ est donc mathématiquement une densité de probabilité conditionnelle et s'écrit :

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{M(t+\Delta t) - M(t)}{(1-M(t))\Delta t} \right) = \frac{1}{1-M(t)} \left[\frac{dM(t)}{dt} \right] \quad (2.12)$$

On définit également un taux de réparation noté $\nu(t)$ et qui parfois se confond avec $\mu(t)$. on peut mettre en évidence plusieurs types de défaillances suivant la manière, l'instant, les causes et les conséquences (effets) qui caractérisent leurs manifestations :

En fonction de la nature des dispositifs et de leur complexité on observe différentes allures de cette fonction (t)]. Dans de nombreux dispositifs, le taux de défaillance suit la courbe en baignoire représentée sur la figure 2.6. Suivant l'instant d'apparition de la défaillance, on peut prédire une classification appropriée [28].

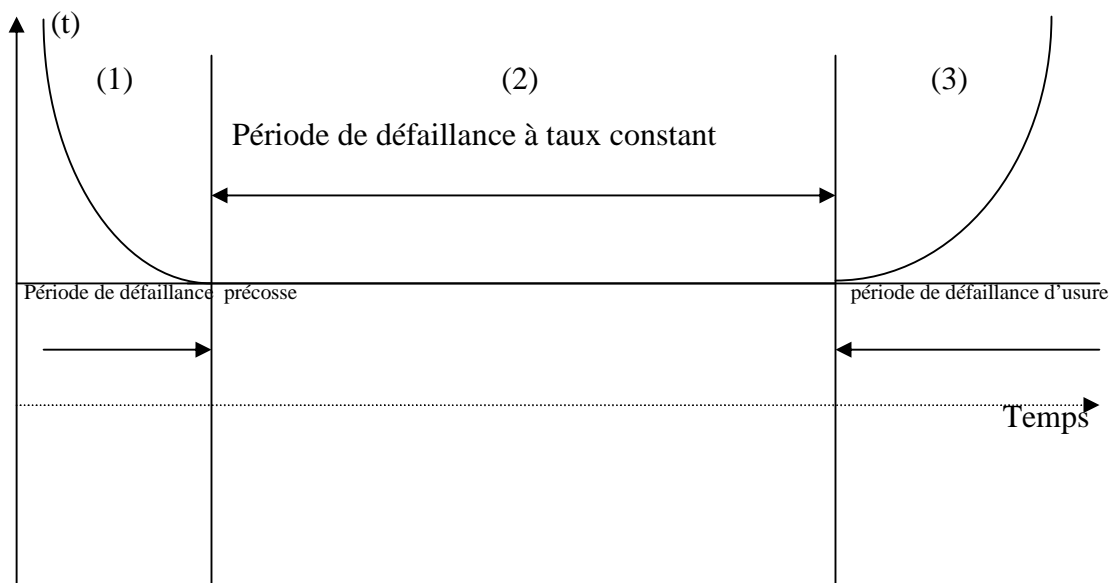


Figure 2.5. Allure de l'évolution du taux de défaillance (courbe en baignoire)

- *Période de défaillance précoce*

Cette période correspond à la zone (1) de la figure 2.4 : c'est la période, au début de la vie d'un dispositif, commençant à un instant donné, et pendant laquelle le taux de défaillance décroît rapidement en comparaison du taux de défaillance de la période suivante. En pratique cela correspond au « déverminage » pour les systèmes électroniques et à la période de rodage pour les systèmes mécaniques. Les défaillances qui apparaissent dans cette période sont appelées des défaillances précoces ou de jeunesse.

- ***Période de défaillance à taux constant***

Cette période correspond à la zone (2) de la courbe de la figure 2.4 : c'est la période éventuelle de la vie d'un dispositif pendant laquelle les défaillances apparaissent avec un taux sensiblement constant, c'est la durée de vie utile. Les défaillances qui apparaissent dans cette période sont des défaillances à taux constant.

- ***Période de défaillance d'usure***

Cette période correspond à la zone (3) de la courbe de la figure 2.4 : c'est la période éventuelle de la vie d'un dispositif pendant laquelle le taux de défaillance augmente rapidement en comparaison de la période précédente. Les défaillances qui apparaissent dans cette période sont appelées des défaillances d'usure et sont liées aux mode de vieillissement des matériaux et de dégradation des dispositifs.

2.2.2.8. Classification des défaillances par rapport aux conséquences

Les défaillances qui surviennent sur des dispositifs, systèmes et composants ont des conséquences et des effets qui peuvent avoir des degrés de gravité très divers. Ainsi certaines défaillances n'auront qu'un impact mineur sur les fonctions et mission remplies par le dispositif. Les actions correctives pourront s'effectuer avec des délais relativement longs. Par contre, d'autres défaillances par leurs conséquences sur l'intégrité des biens et des personnes exigeront des actions correctives immédiates.

i. Défaillance mineure

« Défaillances, autre que critique, qui ne réduit pas l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir sa fonction requise. »

Elle nuit au bon fonctionnement du dispositif en causant des dommages négligeables soit au système soit à l'environnement. Ainsi une fuite de liquide froid sur une bride d'une tuyauterie rentre dans cette catégorie.

ii. Défaillance majeure

« Défaillance, autre que critique, qui risque de réduire l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir sa fonction requise. »

Elle est appelée également défaillance significative. Elle ne cause pas de dommage notable au système, à l'environnement ou à l'homme. Par exemple, la dégradation d'un palier d'un groupe motopompe, caractérisé par un échauffement anormal, peut être assimilée à une défaillance majeure.

iii. Défaillance critique

« Défaillance qui risque de causer des blessures à des personnes ou des dégâts importants aux matériels. »

Cette défaillance entraîne la perte d'une ou des fonctions essentielles du dispositif avec un impact sur l'environnement, les systèmes et les personnes. La rupture d'une tuyauterie de vapeur sous pression peut causer ces dommages.

iv. Défaillance catastrophique

« Défaillance qui entraîne la perte d'une ou des fonctions essentielles d'un dispositif en causant des dommages importants au dit système, à l'environnement et peut entraîner la mort de l'homme. »

Basé sur les conséquences qui correspondent à toutes les suites logiques associées à l'apparition d'un événement, on peut alors définir les effets mineurs, majeurs, critiques et catastrophiques.

2.2.2.9. Définition des défauts et pannes

Lors des évaluations des risques en phase identification des et diagnostic, nous avons souvent tendance à confondre entre les termes défauts et pannes. De ce fait, il est nécessaire de définir ces termes :

La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Donc l'apparition d'une défaillance est caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction. Par conséquent, une panne résulte d'une défaillance. Les classifications des pannes sont similaires à celles définies pour les défaillances. On qualifiera alors les pannes mineures, majeures, critique, catastrophiques [29].

On peut citer, entre autre les types de pannes suivantes :

i. Panne intermittente

« Panne d'un dispositif subsistant sur une durée déterminée et limitée. Après cette période le dispositif est apte à assurer la fonction ou la mission pour lequel il a été conçu sans avoir fait l'objet d'une action corrective. »

En pratique ce sont les pannes les plus difficiles à diagnostiquer.

ii. Panne fugitive

« Panne d'un dispositif qui est intermittente et difficilement observable. »

La difficulté à diagnostiquer ce genre de pannes est due principalement à leurs apparitions aléatoires.

iii. Panne permanente

« Panne d'un dispositif qui subsiste tant qu'une opération de maintenance corrective n'a pas été effectuée. »

iv. Panne latente ou cachée

« Panne d'un dispositif qui existe mais qui n'a pas pu être détectée. »

Les pannes sont souvent caractérisées par leurs états et leurs modes ou effets.

v. Notions de défaut

Le concept de défaut est important dans les opérations de surveillance pour la conduite et la maintenance des processus industriels.

On considère comme défaut tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque celui-ci est en dehors des spécifications. De même, on applique les concepts de défaut mineur, majeur, critique, catastrophique, ... etc.

2.3- Outils de sûreté de fonctionnement

2.3.1- Caractérisation générale de ces méthodes

Toute activité industrielle comporte des dangers ou risques d'accidents avec ou sans gravité entraînant, en général, des conséquences fâcheuses relatives à la perte de production et un manque à gagner très onéreux suite à l'arrêt de la machine, des dommages matériels aux installations et équipements, ainsi que des blessures occasionnées aux opérateurs. Les causes peuvent être des facteurs techniques, des facteurs humains, l'environnement ou la combinaison de plusieurs de ces causes [30].

L'élimination totale des risques industriels est le risque zéro n'existe malheureusement pas pour ces activités due aux causes citées et par conséquent à défaut d'élimination des risques on essaie de les réduire au maximum.

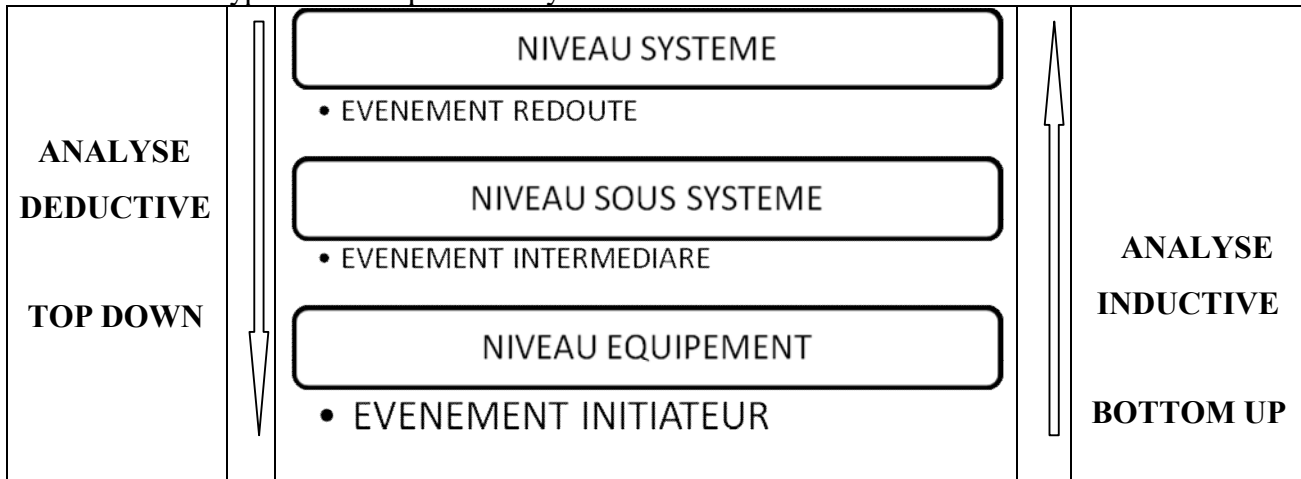
Pour tenter de réduire les risques à un niveau faible et acceptable, des méthodes et techniques scientifiques ont été développées pour évaluer les risques potentiels, prévoir l'éventualité de l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences. Ces méthodes se caractérisent par des études prévisionnelle et opérationnelle se basant sur les théories des probabilités. L'ensemble de ces méthodologies scientifiques développées représentent la discipline de **la sûreté de fonctionnement** [32].

Plusieurs méthodologies d'analyse des risques ont été développées afin de contrer et gérer les risques majeurs industriels. L'ensemble de ces méthodologies scientifiques développées représente la discipline de la sûreté de fonctionnement. Nous avons constaté que ces méthodologies sont soit empiriques, statistiques ou les deux en même temps et que dans tous les cas elles peuvent être soit qualitatives ou quantitatives. Dans ce chapitre, nous présentons un listing des méthodologies d'analyse des risques les plus utilisées et nous détaillerons les principales caractéristiques des méthodes les plus importantes par rapport aux activités industrielles.

Ces méthodologies sont en général soit déductives ou inductives selon les cas on remarque les cas suivants [33]:

- **Les méthodes à caractère inductif** : Dans ces méthodes on débute l'analyse à partir d'un événement initiateur et on recherche les conséquences éventuelles (causes → conséquences).
- **Les méthodes à caractère déductif** : Dans ces méthodes on débute l'analyse à partir d'un événement redouté et recherche les combinaisons de causes possibles (événement redouté → causes).

Tableau 2.2 : Type de techniques d'analyse



2.3.2. Principales méthodes d'analyse des risques

L'amélioration continue de la sûreté de fonctionnement consiste à mettre en place des actions permettant de parvenir aux meilleurs niveaux de sécurité et plus précisément la sûreté de fonctionnement, de maintenance et spécifiquement de qualité et de productivité [34]. Pour mener à bien cette démarche, il est nécessaire d'impliquer tous les acteurs de l'entreprise dans la recherche quotidienne d'efficacité et d'amélioration.

Une fois l'entreprise engagée dans une démarche d'amélioration continue, il sera nécessaire de mener à bien de simples actions d'amélioration, d'une manière cohérente, jour après jour.

Plusieurs méthodes permettent de mettre en place une démarche d'amélioration continue de la sûreté de fonctionnement et de réduction des risques. Celles-ci ont toutes un objet différent mais œuvrent toutes dans la même direction qui est la réduction des risques.

Les méthodes les plus utilisées sont présentées dans le tableau synthétisé 2.13.

L'étude de ces méthodes nous mène à déduire leurs points forts et les points faibles et qui sont présentés dans le tableau 2.4.

<i>Méthodes</i>	<i>Objectifs</i>	<i>principes</i>	<i>Domaines d'application</i>	<i>Données</i>	<i>Résultats</i>
A.P.R. L'analyse préliminaire des risques.	- Déceler les risques et leurs causes, - Déterminer la gravité de leurs conséquences - Définir des règles de conception et des procédures afin de maîtriser les situations dangereuses	Expliciter les scénarios d'accidents pouvant être générés à partir des dangers intrinsèques au système [35].	Méthode utilisée surtout dans la prévention des accidents industriels dus à des imperfections de conception ou de procédures Nous permet d'avoir un classement d'après le niveau de criticité.	-Spécifications du système. -Eléments potentiellement dangereux.	-Evénement causant une situation dangereuse -Situation dangereuse -Conséquences -Classification par ordre de gravité -Recommandations et mesures préventives.
A.F. Analyse	-Une démarche qui consiste à	A.F.Externe (needs) décrit les fonctions	Cette méthode est applicable sur toutes les	-Pour l'A.F.E. on doit	-Critères de choix des solutions envisageables pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Fonctionnelle	rechercher, ordonner, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions (NF X 50-150)	attendues du produit tout au long de sa durée de vie en considérant les contraintes de l'utilisateur et de l'environnement. A.F.Interne (technique) établit la relation entre A.F.E. et les solutions techniques envisageables pour répondre au besoin exprimé	phases du cycle de vie du produit. Elle s'appuie sur des méthodes reconnues comme : APTE (tout système, GRAHCET (automate), Analyse de la valeur, RELIASEP,SART (système informatique) [36].	connaître les besoins et contraintes des utilisateurs -Pour l'AFI on doit connaître l'architecture du système.	-Eléments d'entrée pour la réalisation d'analyse des modes de défaillance, leurs effets et criticités, ou de blocs diagrammes de fiabilité -En général l'A.F. nous permet d'avoir un préalable aux études de SdF et d'analyse des risques.
<i>Méthodes</i>	<i>Objectifs</i>	<i>principes</i>	<i>Domaines d'application</i>	<i>Données</i>	<i>Résultats</i>
A.M.D.E. et A.M.D.E.C. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et leurs criticités.	L'AMDEC est une méthode d'analyse inductive et rigoureuse ayant pour but d'identifier les défaillances dont les conséquences peuvent affecter le fonctionnement du système et de la hiérarchiser selon leur niveau de criticité afin de les maîtriser.	Les principes de l'AMDEC reposent sur deux aspects : -l'aspect qualitative qui consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié, de recherche et identifier les causes des défaillances et d'en connaître les effets sur les clients, les utilisateurs ou l'environnement. -l'aspect quantitatif qui consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle, ce qui nous permettra la hiérarchisation des défaillances potentielles par ordre décroissant.	L'AMDEC est utilisée dans divers domaines et il existe plusieurs types d'AMDEC tel que : -AMDEC organisation et gestion -AMDEC produit ou projet pour étudier en détail la phase de conception du produit ou projet. AMDEC processus (fabrication-postes de travail) AMDEC moyen s'applique aux machines, outils, équipements etc. AMDEC service AMDEC sécurité pour améliorer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il des risques.	Les données d'entrées se présentent comme suit : -historique des pannes du système existant -description fonctionnelle et structurelle du système, issue de l'analyse fonctionnelle. -connaissance de l'environnement du système, et des connaissances d'utilisation -APR, HAZOP -dossier de conception du nouveau système	-identification des dysfonctionnements potentiels et de leurs criticités -plan d'action préventives ou correctives d'amélioration
F.T.A. ou	Elle permet une analyse déductive	Il s'agit d'une méthode logique de	Le FTA est utilisé en général dans les	Liste des états indésirables du	Les sorties se présentent sous forme de document contenant:

<p>A.A.D. Fault Tree Analysis ou Analyse de l'Arbre des Défaillances</p>	<p>des causes techniques ou opérationnelle pouvant provoquer des situations contraires à un objectif spécifié, en particulier, de sécurité (situation redoutée) ou de disponibilité (événement indésirable). On dit que la méthode est déductive car elle permet d'identifier les causes à une situation [31].</p>	<p>type booléen. Cette analyse déductive est de nature « Top Down » c'est-à-dire qu'en partant de l'événement redouté, on recherche pas à pas les événements qui peuvent être la cause, de l'événement le plus général pour aller aux événements élémentaires.</p>	<p>domaines d'ingénierie divers et peut être utilisée aussi bien pour les systèmes ou sous-systèmes. Elle appliquée surtout pour : -la détection des éventuelles défaillances et de leurs effets au niveau de la phase de conception du système. -après la survenue de la défaillance ou de l'accident et pour des besoins d'investigation et de correction préventive du système</p>	<p>produit. Une telle liste peut être établie dès la phase amont de la conception, résulter de l'expérience de l'entreprise ou de son client ou de la réflexion libre d'un groupe de travail. Souvent, il s'agit de considérer les aspects réglementaires du système en situation ou les risques inacceptables à faire courir aux utilisateurs (cas des études de sécurité).</p>	<p>-Les arbres de défaillances correspondant aux événements redoutés étudiés. -Analyse des coupes minimales.</p>
<p>HAZOP Hazard and Operational Study</p>	<p>Examen détaillé des composants d'un système pour déterminer ce qui se produirait si ce composant devait fonctionner en dehors de son mode normal d'utilisation [39]. Le but est d'identifier les causes des risques et d'y trouver des remèdes.</p>	<p>Chaque composant est affecté d'un ou plusieurs paramètres (pression, débit, puissance électrique,...). L'HAZOP regarde chaque paramètre alternativement et emploie des mots-guide pour énumérer le comportement anormal possible tel que + ou - , « supérieur », « inférieur », « pas de »,...les effets d'un tel comportement sont</p>	<p>Utilisée au niveau de la conception ou par le concepteur. Les déviations éventuelles des spécifications techniques normales de fonctionnement sont remplacées par des appréciations.</p>	<p>Les entées sont : -Dossier de conception, -Analyse fonctionnelle, -Description de l'environnement , -APR, AMDEC, Arbre de Défaillances.</p>	<p>Les sorties sont : -Identification des risques, -Action des réduction des risques , -Hazard log, AMDEC, Arbre de Défaillances.</p>

		alors évalués[40].			
Graphe d'Etat	<p>Evaluer les principales caractéristiques de fiabilité et de disponibilité d'un système réparable. Cette technique est sollicitée surtout pour l'optimisation sous l'angle coût/disponibilité de l'architecture de systèmes réparables à taux de défaillance et taux de réparation constants dont les états ne sont pas influencés par des événements extérieurs se produisant à des instants prédéterminés [38].</p>	<p>Les états possibles d'un système (état nominal, état de fonctionnement dégradé, état de panne totale,...) sont modélisés à l'aide de cercles reliés entre eux par des flèches indiquant les transitions possibles entre ces états. Ces transitions sont conditionnées, selon les cas, par des processus de défaillance ou par des remises en état des entités en panne dont l'intensité (taux de défaillance ou taux de réparation) est indiquée. Mathématiquement, le diagramme d'état donne lieu à un système d'équation différentielle qualifié de « markovien » lorsque les taux de transition sont constants. La résolution de ce système différentiel permet de calculer les probabilités associées aux différents états identifiés et les principales caractéristiques de la sûreté de fonctionnement du système(SdF).</p>	<p>Son domaine de pertinence est centré surtout sur : Tout système dans lequel des interactions physiques, non appréhensives par des analyses classiques (AMDEC, FTA,...) entre « zones » distinctes risquent de nuire à son bon fonctionnement. Tout système dans lequel des défaillances de cause commune sont à prévoir. Interface homme/machine.</p>	<p>D'une manière générale les entées se présentent comme suit : -Etats du système -Taux de transition -Objectifs SdF</p>	<p>Les sorties se présentent comme suit : -Disponibilité (instantanée et/ou asymptotique) -Caractéristiques SdF, MTTF, MTBF, MTTR, fréquence de panne,...</p>

Arbre d'Evenements	<p>Les objectifs principaux sont l'identification et l'évaluation des conséquences possibles d'un événement selon les conditions ou événements avec lesquels il se combine [41].</p> <p>La méthode est également appelée méthode de l'arbre des conséquences (MACQ)</p>	<p>C'est un outil de modélisation très utile pour l'étude et l'estimation des risques d'accidents et l'enchaînement des aggravations successives conduisant à une liste de conséquences pour le système étudié, son personnel, les « riverains » et l'environnement.</p> <p>Dans cette technique on affecte une gravité moyenne à un événement difficile à éviter (agression, panne...). Comparer l'efficacité de différentes mesures de protection ou de prévention destinées à la réduction de l'impacte d'un événement initial.</p>	<p>couramment utilisée dans l'industrie nucléaire dans le cadre des études probabilistes de sûreté.</p>	<p>D'une manière générale les entées se présentent comme suit :</p> <p>Les éléments du système et de son environnement qui influent sur le cheminement des effets de l'événement étudié. Pour une approche quantitative, les probabilités des événements et conditions qui influent sur ces cheminements.</p>	<p>Les sorties se présentent sous forme de liste des conséquences possibles de l'événement, probabilités de chacune d'entre elles, liste pour chacune de ces conséquences des combinaisons d'éléments qui peuvent la causer, donc identification des possibilités de prévention de ces conséquences.</p>
Arbre de Maintenance et Aptitude à la Maintenance	<p>La méthode s'applique avec efficacité uniquement pour la maintenance d'un parc de biens durables hétérogènes sur le plan des origines de fabricants des technologies utilisées et des années de mise en service.</p>	<p>Chaque constituant de l'ensemble des biens durables sera bénéficiaire d'un niveau de maintenabilité opérationnel pondéré d'un facteur d'hétérogénéité dont les données seront déterminées :</p> <ul style="list-style-type: none"> -par le niveau de qualité des documentations techniques de maintenance de 	<p>Son application se situe sur le traitement des critères de choix des politiques de maintenance [42].</p> <ul style="list-style-type: none"> -Le type de problème à traiter par la méthode relève du domaine des activités de l'après-achat : +Service de maintenance interne de l'entreprise +Entreprises prestataires de services de maintenance multi marques. 	<p>Les données en générale se présentent comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> -L'inventaire des matériels et des logiciels identifiés -La nomenclature et les prix des articles composés et composants. -L'arborescence des objets de la nomenclature et 	<p>Les sorties sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> -L'évolution de la cartographie de la maintenabilité du patrimoine technique de l'entreprise. -Les éléments de décision en matière de gestion des rechanges et de politique de maintenance. -Les traitements statistiques d'aide à la décision.

		<p>chaque type de bien durable.</p> <p>-par un coefficient de dispersion de chaque type extrait de l'inventaire des biens durables de l'entreprise</p>	<p>-La méthode s'applique à tous les patrimoines techniques des entreprises, qu'elles produisent des biens ou des services, (Grands Comptes et PME/PMI)</p> <p>-La méthode est particulièrement pertinente pour les entreprises qui désirent trouver les solutions aux problèmes posés par l'arrêt d'activité ou la disparition des fabricants de leurs biens durables.</p>	<p>identifiés dans l'inventaire.</p> <p>-Les seuils de non-maintenabilité et les niveaux d'adéquation du soutien logistique de maintenance interne.</p>	
Analyse de Zone	<p>L'objectif est de mettre en évidence les problèmes résultant des interactions physiques entre éléments voisins ou de flux perturbateurs générés par de sources externes [43].</p>	<p>L'analyse consiste à identifier et analyser, grâce à une investigation systématique réalisée sur maquettes, les problèmes résultant d'interaction physique (émission thermique, bruit acoustique, nœuds de vibration, etc....) entre différentes « zones » d'un produit ou entre certaines « zones » et le milieu extérieur. Ces problèmes ne peuvent pas être identifiés, en principe, à partir de la seule documentation technique et nécessitent donc une investigation spécifique sur des ensembles maquetés faisant eux-mêmes</p>	<p>Son domaine de pertinence est centré surtout sur :</p> <p>Tout système dans lequel des interactions physiques, non appréhensives par des analyses classiques (AMDEC, FTA,...) entre « zones » distinctes risque de nuire à son bon fonctionnement.</p> <p>Tout système dans lequel des défaillances de cause commune sont à prévoir.</p> <p>Interface homme/machine.</p>	<p>Les entrées sont :</p> <p>Ensembles maquetés.</p> <p>Dossiers techniques.</p>	<p>Les sorties sont :</p> <p>Effets des flux perturbateurs sur les différentes zones du produit ou sur le milieu extérieur.</p> <p>Défaillances de causes communes</p> <p>Actions correctives ou essais à entreprendre</p>

		l'objet d'une partition en « zone ».			
--	--	--------------------------------------	--	--	--

<i>Méthodes</i>	<i>Points forts ou avantages</i>	<i>Points faibles ou inconvénients</i>
APR	L'APR peut être utilisée pour la conception de systèmes nouveaux ou l'étude de systèmes	L'analyse peut être relativement incomplète car elle repose sur la subjectivité de l'expert. En fait

	<p>existants.</p> <p>Sa simplicité permet une analyse grossière ou macroscopique des dangers.</p> <p>L'APR constitue une étape préliminaire à la réalisation d'une étude de sûreté de fonctionnement plus détaillée comme l'AMDEC, FTA etc...</p>	<p>l'identification des dangers et leurs évaluations repose sur le jugement d'experts et qui sont parfois guidés par l'utilisation des listes préétablies</p>
AF	<p>Avantages : l'analyse fonctionnelle permet de préciser ' au mieux' les besoins réels des utilisateurs, de les traduire sous forme de fonctions à satisfaire et d'aider à optimiser l'adéquation produit/besoin, en faisant abstraction des solutions. Elle constitue, de plus, un référentiel commun pour le concepteur et l'analyse de sûreté de fonctionnement. Par l'application des méthodes reconnues, l'analyse fonctionnelle contribue à améliorer le management d'un programme en termes de coûts, délais et performances</p>	<p>Inconvénients : la complexité de la mise en œuvre de l'analyse fonctionnelle dépend de la méthode adoptée. De même la qualité des résultats obtenus dépend de celle de l'animateur, chargé de l'application de la méthode retenue.</p>
AMDEC	<p>Avantages : l'AMDEC est une méthode relativement simple et facilement accessible.</p> <p>C'est un outil très puissant, au domaine d'application très large, qui peut être mis en œuvre aussi bien en conception qu'en exploitation.</p> <p>En tant que méthode inductive, elle offre une analyse systématique et un maximum de garantie d'exhaustivité.</p> <p>Enfin, le tableau d'analyse assure une bonne traçabilité des réflexions et une aide à la décision pour les actions d'amélioration à entreprendre.</p>	<p>Les inconvénients se présentent comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> -La méthode souffre d'une certaine lourdeur en volume et temps passé. -Il est difficile de prendre en compte les phénomènes combinatoires ou dynamiques, les pannes multiples. Dans ce cas on peut utiliser d'autres méthodes mieux adaptées comme l'arbre de défaillance. -L'AMDEC ne prend pas en compte les défaillances dites de « mode commun ». -L'AMDEC est mieux adaptée aux systèmes mécaniques et analogiques qu'aux systèmes numériques. -On ne dispose pas à l'heure actuelle de banque de données de défaillances d'organes, cause, effets, etc.
FTA	<p>Les avantages sont : la méthode permet de connaître combien il est nécessaire d'avoir d'événements intermédiaires pour conduire à l'événement redouté (cut sets ou coupes minimales).</p>	<p>L'inconvénient est que la qualité des résultats dépend beaucoup de « l'aptitude et de l'imagination de celui qui effectue l'analyse ».</p> <p>La méthode nécessite un programme informatique, lorsque le nombre de combinaisons dépasse quelques dizaines d'unités, pour calculer l'occurrence de l'événement indésirable étudié et rechercher les</p>

		coupes minimales.
GRAPHE D'ETAT	<p>Les avantages sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Intérêt de la visualisation graphique. -Traitement possible de systèmes à éléments dépendants (ex : redondance passive) -Prise en compte possible de lois non exponentielles dans les durées de réparation (méthode des états fictifs). 	<p>Les inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Limité aux dispositifs sans usure. -Impossibilité de prendre en compte des événements déterministes dont la date est fixée de l'extérieur. -Croissance exponentielle du nombre d'états du graphe avec le nombre d'éléments du système. -L'usage d'un programme informatique spécialisé est nécessaire dès que le nombre devient important.
ARBRE D'EVENEMENT	<p>Démarche naturelle très facile à s'approprier.</p> <p>Quelques recommandations importantes faciles à assimiler. Un animateur bien formé est recommandé mais la méthode ne requiert pas de compétences longues ou difficiles à acquérir. La qualité des conclusions dépend de la qualité et l'exhaustivité de la liste des éléments pris en compte. Le chiffrage dépend de la disponibilité et de la précision des probabilités des alternatives élémentaires.</p> <p>Cette technique permet de suivre le déroulement d'un scénario accidentel et d'évaluer l'influence des parades sur la fréquence des conséquences.</p> <p>Associée aux arbres de défaillances elle permet de connaître combien il est nécessaire d'avoir d'événement intermédiaires pour conduire à l'événement redouté (coupes minimales).</p>	<p>Les inconvénients sont:</p> <p>Les facteurs d'aggravations peuvent se confondre avec des défaillances.</p> <p>La détermination des facteurs d'aggravation est fortement tributaire de la compétence de l'analyse.</p> <p>Lorsque les événements résultent d'arbres de défaillances qui dépassent quelques dizaines d'unités, la méthode nécessite un programme informatique pour calculer l'occurrence de chaque conséquence étudiée et rechercher les coupes minimales.</p>
ARBRE de maintenance et aptitude à la maintenance	<p>Les avantages sont :</p> <p>L'arbre de maintenance et d'aptitude à la maintenance, permet aux utilisateurs de maîtriser une politique de maintenance dynamique et adaptable aux évolutions du profil de mission de chaque élément de l'ensemble du patrimoine technique de l'entreprise.</p> <p>Pour les utilisateurs de matériels importés la méthode permet d'acquérir progressivement le savoir et le pouvoir faire une maintenance locale moins captive de monopoles ou d'obsolescences d'article de rechange.</p>	<p>Les inconvénients sont :</p> <p>L'obligation éventuelle de disposer de logiciels capables de nourrir et de traiter des bases de données en vérifiant la cohérence des informations sur les évolutions de structure des configurations et sur les informations de retour d'expérience de la maintenance.</p> <p>Obligation éventuelle de mettre en place en interne une nomenclature identifiant les articles de maintenance d'une façon univoque en filtrant les risques de doublons de références de fabricants/assembleurs différent.</p> <p>Recours à la maintenologie (étude du soutien logistique, de la maintenabilité durable, de la</p>

		pertinence des opérations de maintenance et de la typologie des défaillances probables).
ANALYSE DE ZONE	<p>Les avantages sont :</p> <p>Mise en évidence de problèmes non détectables par les analyses papier.</p>	<p>Les inconvénients sont :</p> <p>Nécessité de disposer de maquettes de plus en plus représentatives des exemplaires définitives.</p>

2.4- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les concepts de la terminologie en sûreté de fonctionnement, en analyse des risques, et diagnostic, même s'ils ne font pas l'unanimité de tous les acteurs industriels, ont cependant l'intérêt pour ceux qui les adoptent de servir de référentiel dans les discussions techniques et spécifiquement lors de l'analyse des risques industriels. L'objet des techniques d'analyse des risques étant de contribuer à l'amélioration de la conception, ou l'amélioration du capital investi dans l'outil de production ainsi qu'à l'amélioration de la sécurité de fonctionnement des systèmes industriels.

De même que nous avons présenté les principes de base des différentes méthodes d'analyse des risques et dans le but d'améliorer la sûreté de fonctionnement. Notre objectif principal était de trouver une méthodologie idéale qui répond aux exigences par rapport à une situation industrielle donnée, mais nous n'avons pas trouvé cette méthodologie standard s'appliquant à toutes les situations industrielles ou autres. Comme nous l'avons constaté dans ce chapitre chaque méthodologie a ses avantages et ses inconvénients et par conséquent la problématique est de bien choisir la méthode la plus appropriée et pourquoi pas mettre en place une méthodologie spécifique à une situation donnée. Dans le prochain chapitre, nous allons essayer d'analyser les différentes méthodes d'analyse des risques et de trouver comment faire un choix judicieux par rapport aux besoins et exigences d'une situation donnée.

Chapitre 3

Développement d'une méthodologie pour l'aide au choix de la technique d'analyse des risques des systèmes industriels

3.1. Introduction

Toute activité industrielle comporte chaque jour des défaillances techniques. Le risque zéro défaillance n'existe malheureusement pas pour ce genre d'activité due à différentes causes et par conséquent à défaut d'élimination des risques de défaillance on essaie de les réduire au maximum [1].

Pour tenter de réduire les risques à un niveau faible et acceptable, des méthodes et techniques scientifiques ont été développées pour évaluer les risques potentiels, prévoir l'éventualité de l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences. Ces méthodes se caractérisent par des études prévisionnelle et opérationnelle se basant sur les théories des probabilités. L'ensemble de ces méthodologies scientifiques développées représentent la discipline de **la sûreté de fonctionnement** [2].

La sûreté de fonctionnement est souvent appelée l'analyse des risques, la science des défaillances, la RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety)[3].

Cette discipline peut être utilisée aussi bien au niveau conceptuel des systèmes qu'au niveau opérationnel ou investigation après l'occurrence des accidents ou de défaillances des systèmes opérationnels afin de déterminer les causes exactes ayant provoqué cet accident et/ou incident soit l'arrêt de fonctionnement du système.

La sûreté de fonctionnement est donc un outil indispensable pour toutes les industries à risques dangereux de plus elle est considérée comme une marque de bonne qualité qui consiste à adapter l'homme à la machine et la machine à l'homme tout en assurant un bon fonctionnement.

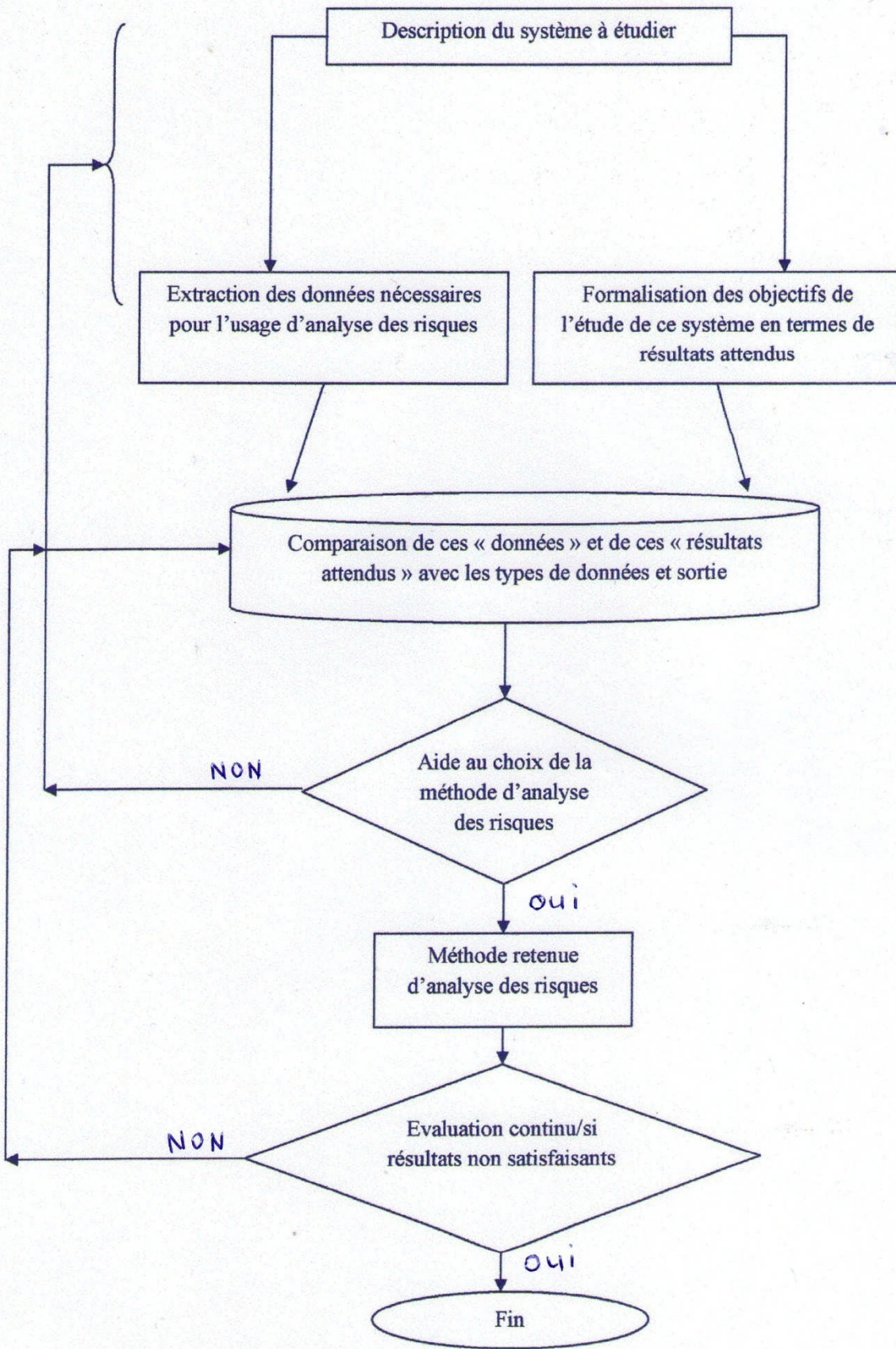
D'une manière générale l'ensemble de ces méthodologies sont appelées dans l'industrie comme les méthodes d'analyse des risques industriels qui permet une identification des sources des hasards potentiels afin de prévenir les scénarios de défaillance ou d'accident et d'estimer l'impacte sur l'être humain, l'environnement, et les équipements et de fait proposer les protections ou recommandations préventives.

Afin d'assurer une bonne sûreté de fonctionnement des systèmes, plusieurs méthodologies d'analyse des systèmes ont été développées afin de contrer et gérer les risques majeurs de défaillance. La grande difficulté est de bien choisir la méthodologie appropriée qui convient aux problèmes réels.

Dans ce document, 35 méthodes ont été identifiées afin de faire une étude qui nous permettra de bien choisir la méthodologie la plus judicieuse dans une situation donnée. Dans le but de comprendre le rôle de chaque méthode d'analyse, il a été indispensable de revoir toutes les données de départ utilisées et de classer les inputs en six groupes (plans et spécifications techniques, opération et process, substances et produits utilisés, fréquences et probabilités, politique de gestion, environnement historique et règlements). Les données d'output ont aussi été classées en trois classes (gestion, statistique, classification et listing). Afin de comprendre l'utilité et le rôle de chaque méthodologie des liens ont été élaborés entre les différents groupes de données de départ et les différents types de méthodologies d'une part et les liens entre les données de sortie et les méthodologies d'autre part. Ce travail présente la manière pragmatique pour aider à faire le choix de la méthodologie d'analyse des risques la plus appropriée en fonction de la situation à étudier, la disponibilité des données de départ et le type de résultats escomptés.

Notre travail repose essentiellement sur la mise en place d'une méthodologie qui nous aide à faire un bon choix de la méthode d'analyses des risques la plus appropriée. Le principe logique de cette méthodologie est représenté dans l'organigramme suivant :

Figure 3.1 : Organigramme représentant le principe de la méthodologie proposée



3.2. Étude de quelques méthodes d'analyse des risques

Plusieurs méthodologies ont été développées par les industriels et les organismes étatiques afin de contrer et gérer les risques majeurs ou catastrophiques. L'ensemble de ces méthodologies concernent généralement les sites industriels, les systèmes et sous systèmes, le transport et la manutention de certaines substances dangereuses, et certaines méthodes prennent en considération les facteurs humain [2].

La plupart de ces méthodes peuvent comprendre au moins l'une des trois phases suivantes :

- i. phase d'identification basée sur la description du système, des équipements, des produits, des activités dangereuses ou du site industriel d'une manière générale. Cette phase est importante car nécessaire pour développer le process des méthodologies.
- ii. phase d'évaluation et de quantification du risque ce qui nous permettra de déterminer les incidents ou accident les plus probables et leurs conséquences sur le système étudié.
- iii. la phase de classification des résultats afin d'éliminer ou de réduire le risque par priorité d'importance.

Une méthode d'analyse des risques ne contient pas nécessairement les trois phases décrites précédemment, elle peut contenir une phase d'identification seulement, une phase d'identification et d'évaluation ou les trois phases ensemble qui sont l'identification, l'évaluation et la classification par ordre d'importance.

3.3. Types de méthodes

Les méthodes utilisées sont principalement divisées en trois types qui sont soit :

- empiriques
- statistiques
- empirique et statistique en même temps

Les trois types de méthodes peuvent être qualitatifs ou quantitatifs.

Les méthodes empiriques prennent en considération les équipements, les produits et les dommages occasionnés aux installations, équipements, l'environnement, et les travailleurs.

Les méthodes statistiques sont basées sur les fréquences des événements hasardeux et les situations dangereuses éventuelles [4].

D'une manière générale ces méthodes peuvent contenir l'une des phases d'identification, d'évaluation, ou de classement (ranking).

En combinant plusieurs méthodes simples ne contenant qu'une phase on peut obtenir une méthode complexe contenant plusieurs phases en même temps et cette méthode peut être utilisée pour une situation spécifique et qui nous permet de faire une analyse plus complète ce qui nous permet d'obtenir de meilleurs résultats [3].

Le tableau 1 montre le classement de 35 méthodologies d'après les critères que nous avons décrit précédemment.

Tableau 3.1 : Classification des méthodologies d'analyse des risques

<i>No.</i>	<i>Méthodes</i>	<i>Emp</i>	<i>stat</i>	<i>Emp/stat</i>	<i>Qual</i>	<i>Quant</i>
1	TA Task Analysis	X			X	
2	PRIMA Process Risk Management Audit	X			X	
3	PRA Preliminary Risk Analysis	X			X	
4	Potential domino effects identification	X			X	
5	PLSA Plant Level Safety Analysis	X			X	
6	Insurer involvement risk reduction process	X			X	
7	HHAZOP Humain Hazard Operability	X			X	
8	HAZOP Hazard and operability	X			X	
9	FMEA Failure Mode Effect Analysis	X			X	
10	CSR Concept Safety Review	X			X	
11	CHA Concept Hazard Analysis	X			X	
12	Checklist	X			X	
13	TDI Toxic Damage Index	X				X
14	Method of Potential Risk determination and evaluation	X				X
15	Methodology of domino effects analysis	X				X
16	HIRA Hazard identification and ranking	X				X
17	FEDI Fire and explosion damage index	X				X
18	AHI Accident hazard analysis	X				X
19	Earthquake safety of structures and installations in chemical industries		X		X	
20	ASP Accident sequences precursor		X		X	
21	SCRA Short cut risk assessment		X			X
22	MA Maintenance analysis		X			X
23	FTA Fault tree analysis		X			X
24	ETA Event tree analysis		X			X
25	SRA Structure reliability analysis			X	X	
26	SA Safety analysis			X	X	
27	RBD reliability block diagram			X	X	
28	MCAA Maximum credible accident analysis			X	X	
29	RR Rapid ranking			X		X
30	QRA Quantitative risk assessment			X		X
31	PSA Probabilistic safety analysis			X		X
32	ORA Optimal risk assessment			X		X
33	MOSAR Method organized systematic analysis of risk			X		X
34	FMECA Failure mode effect criticality analysis			X		X
35	Facility risk review			X		X

D'après le tableau la plupart des méthodes sont empiriques car elles ont été réalisées par des industriels afin d'évaluer les différentes causes pouvant provoquer les incidents techniques ou événement redouté lors de la conception des systèmes ou après accident afin de déterminer les causes exactes.

3.4 Types de données de départ ou input data

Ces informations peuvent être soit des données techniques concernant le process de fonctionnement ou des données qualitatives de gestion de la sécurité technique et d'évaluation du programme de la sécurité de l'entreprise [5]. L'analyse de la majorité de ces données nous permet de les classer en six catégories :

- **Plans et Spécifications Techniques** : plans de masse et spécifiques des installations, schémas et spécifications techniques des systèmes de protection.
- **Opérations et Process** : description des différentes opérations normales de fonctionnement du process ainsi que les transformations et réactions physiques, mécanique, thermiques, hydraulique.
- **Substances et Produits Utilisés** : propriétés chimiques, toxique, physique et chimique des substances utilisées dans le process.
- **Fréquences et Probabilités** : fréquences et probabilités des composants du système ainsi que les probabilités des erreurs humaines intervenant dans la manipulation, la commande des machines au cours du process.
- **Politique et Gestion** : politique de la sécurité de bon fonctionnement par rapport aux objectifs de l'entreprise d'une manière générale. Relation de cette fonction par rapport à la maintenance, organisation de la sécurité dans l'entreprise, le transport, le coût des énergies, le manque à gagner en cas de pannes.
- **Environnement, Historique et Règlements** : impact sur l'environnement de l'activité industrielle et étude des risques dans différents types de situations, réglementation en vigueur, normes techniques, standards, codes et données historiques relatifs à l'activité industrielle.

Le tableau 3.2 montre la relation entre les méthodologies et les différentes données de départ.

Tableau 3.2 : Relation entre les données input et les méthodologies

<i>Type input</i>	<i>Quali/quant</i>	<i>Empirique</i>	<i>Statistique</i>	<i>Empi/stat</i>
Plans et spécifications techniques	Qualitative	2/3/4/8/9/10/11/12		25/27/28
Plans et spécifications techniques	Quantitative	13/14/15/16/17/18	22/23/24	30/32/33/34/35
Opérations et Process	Qualitative	1/3/5/7/8/11/12		
Opérations et Process	Quantitative	13/14/16/17		
Substances et Produits utilisés	Qualitative	3/4/5		28
Substances et Produits utilisés	Quantitative	13/14/17/18		31/33/35
Fréquences et Probabilités	Qualitative	5	19/20	25/26/27/28
Fréquences et Probabilités	Quantitative		21/22/23	30/31/34/35
Politique et Gestion	Qualitative	2/6/12		
Politique et Gestion	Quantitative	17		35
Environnement, Historique et Reglements	Qualitative	3/4/9/10		
Environnement, Historique et Reglements	Quantitative	15/16/17/18		30/34/35

En général les méthodes sont basées sur les données concernant les plans et spécifications techniques. Les données de départ les plus sollicitées sont :

- Plans et spécifications techniques
- Process et transformation
- Substances, matières premières et produits finis
- Fréquences et probabilités
- Politique de sécurité, historique.

3.5. Type de données résultantes ou output

L'expérience dans l'utilisation des la plus part des méthodes d'analyse des risques montre que les données d'output peuvent être classées en trois catégories et se présente comme suit :

- **Gestion** : *Recommandations et modification relatif à la gestion, aux opérations et procédures, la formation et training [6].*
- **Statistiques** : *Fréquences et probabilités des défaillances, fiabilité, probabilité des chemins critiques pouvant provoquer l'accident [7].*
- **Classification et Listing** : *Classification selon les niveaux de risques, gravité et criticité, toxicité, feux et explosion, séquence et listing des hasards, erreurs, des causes et conséquences, défaillances et dommages, activités critiques, mode de défaillance, lieu névralgique et vulnérable, scénarios majeurs d'incidents ou d'accidents [8].*

Le tableau 3.3 montre la relation entre les données d'output et les méthodologies d'analyse des risques.

Les données d'output comme celles de gestion et listing sont généralement basées sur l'avis d'experts (appréciation qualitative). Par contre les données d'output basées sur les fréquences et les probabilités nous permettent d'avoir des résultats quantitatifs sous forme de listing de classement par degré de gravité [9]. Les méthodes empiriques et statistiques nous permettent d'avoir une multitude de résultats et plus d'informations.

Tableau 3.3 : Relation entre l'output et les méthodologies

Type output	genre	Empirique	Statistique	Empi/stati
Gestion	Qualitative	1/2/6/8/9/10/11		
Gestion	quantitative	15		29/30/35
Statistique	Qualitative		19/20	25/26/27/28
Statistique	quantitative		23/24	
Classification et Listing	Qualitative	3/4/5/7/8/9/12	19/20	25/26/28
Classification et Listing	quantitative	13/14/15/16/17/18	21/22/23	29/30/31/32/33/34/35

3.6. Relation entre les données de départ- les méthodologies et les outputs

En fonction de l'attente de l'utilisateur ou en fonction de la disponibilité des données de départ, l'utilisateur peut choisir la méthode appropriée à la situation et aux exigences [10]. Le tableau 4 montre la relation entre les méthodes d'analyse des risques-l'input et l'output.

TABLE No.4
Links between Input data— Methodologies —Output data

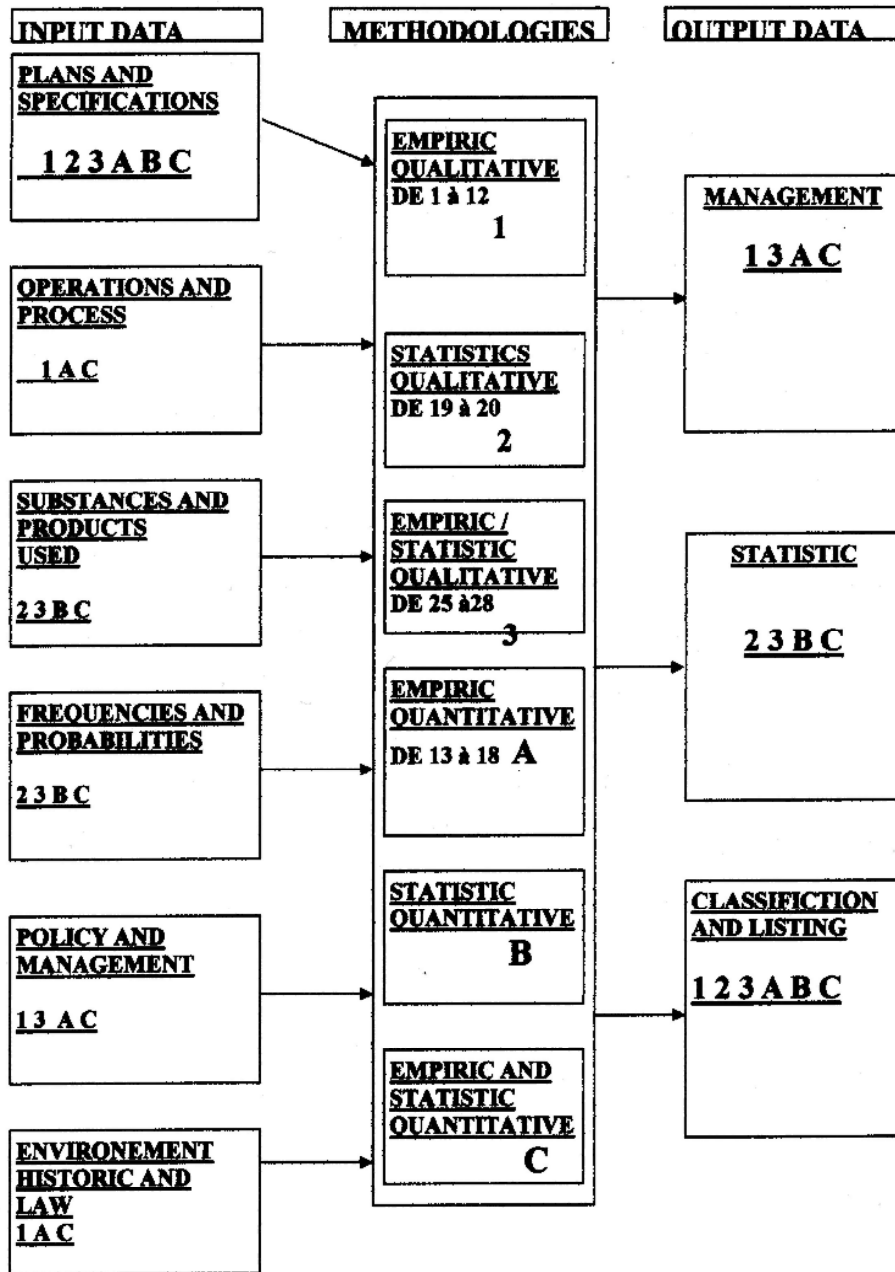


Figure 3.2 : Relation entre les données d'entrées- les méthodologies- les données de sortie

3.7. Conclusion

L'application des méthodes d'analyse des risques est indispensable pour assurer la sûreté de fonctionnement des installations industrielles et de même prévenir les arrêts des machines et les accidents techniques.

Ce travail présente la manière la plus judicieuse pour le choix de la méthode la plus appropriée en fonction de la situation à étudier, la disponibilité des données de départ, et les résultats escomptés.

Une méthodologie d'analyse des risques simple se concentre généralement sur l'identification des risques alors que les méthodologies combinées ou composées de plusieurs méthodes d'analyse simples couvrant l'identification, l'évaluation et la classification sont plus complètes et permettent finalement d'obtenir une échelle du niveau du risque.

L'utilisation des méthodes combinées nécessitent une expérience des analystes afin d'avoir de bon résultats tels que la probabilité et l'importance des dommages, la fréquence des événements, l'échelle des niveaux de risques et les recommandations. L'utilisation réelle sur site des ces méthodologies nous permettra d'améliorer l'efficacité et la perfection de la méthodologie par rapport à une activité industrielle donnée.

Chapitre 4

Application de la méthodologie au cas Des installations l'entreprise FERTIAL Annaba

4-1- Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire une application des résultats obtenus du chapitre précédent aux installations de production d'ammoniac de l'entreprise FERTIAL Annaba [44]. Nous allons donc commencer par faire la collection des données d'input concernant les objectifs de cette entreprise, toutes spécifications techniques, schémas, plans des installations de production, ainsi que les exigences de l'entreprise. Sachant que FERTIAL a pour objectif principal d'obtenir un listing ou une classification des risques afin de faciliter leurs intervention en fixant des priorités dans les opérations de maintenance préventive et l'amélioration de la sûreté de fonctionnement. L'analyse de ces informations nous permettra de faire le meilleur choix de la méthodologie qui nous permettra de répondre aux besoins spécifique de la production de FERTIAL avec efficacité. Nous allons, alors présenter, d'une manière très succincte, d'abord la théorie des turbomachines et ensuite les spécifications techniques des installations de cette entreprise et précisément l'unité ammoniacque.

4-2- Les turbomachines

Les turbos machines sont des appareils dans lesquels un fluide échange de l'énergie avec une ou plusieurs roues (rotors) qui sont munies d'aubes (ailettes). Les rotors tournant autour d'un axe.

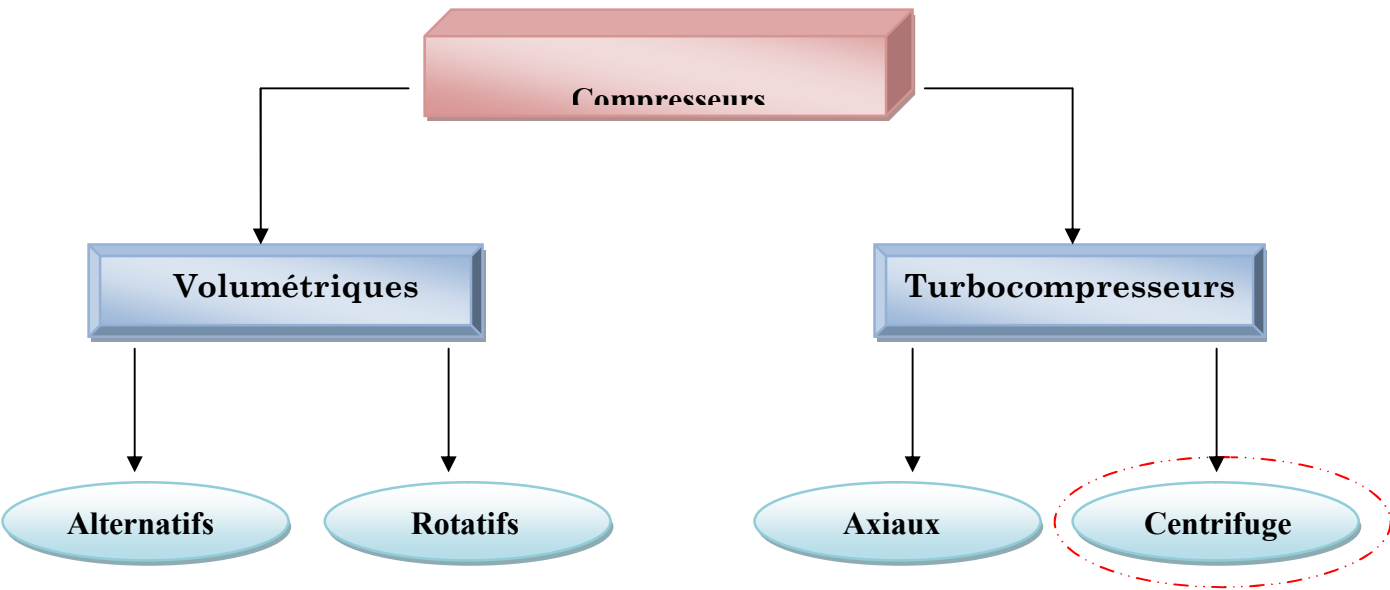
Ces aubes sont des obstacles profilés, plongés dans l'écoulement et ménagent entre elles des canaux par lesquels le fluide s'écoule.

Elles peuvent être orientables pour guider l'écoulement du fluide et pour échanger des efforts mécaniques. L'effort mécanique résulte de la différence de pression entre les deux faces d'une aube.

4-2-1- Définition et classification des compresseurs

Les compresseurs peuvent être divisés en deux familles comme cela est montré dans la figure suivante.

Figure 4.1 : Les deux principales familles de compresseurs



4-2-2- Les compresseurs Volumétriques

Les Compresseurs volumétriques sont des machines réceptrices, il peut être rotatifs (vis, palette etc.) ou bien alternatifs (à piston). La transformation du travail reçu en énergie de pression en diminuant le volume du fluide qui traverse la machine

4-2-3- Les Turbocompresseurs

Les Turbocompresseurs sont des turbomachines dans lesquelles le fluide reçoit de l'énergie mécanique d'une ou plusieurs roues mobiles (monocellulaire ou multicellulaire). Le turbocompresseur est axial ou centrifuge.

4-2-4- Définition et classification des Turbocompresseurs

4-2-4-1- Les Turbocompresseurs axiaux

Les Turbocompresseurs axiaux sont des turbomachines où le fluide a une trajectoire axiale.

Exemple : compresseur d'air G. H. H NZ2010 (unité acide nitrique).

4-2-4-2- Les Turbocompresseurs centrifuges

Les Turbocompresseurs centrifuges sont des turbomachines où le fluide a une trajectoire centrifuge. Les éléments existants dans le turbocompresseur sont : le distributeur, le rotor, le diffuseur et la volute.

4-3- Description technique d'une installation stratégique

Cas du compresseur 103j FERTIAL Annaba.

Dans la production d'ammoniac les turbocompresseurs sont les machines les plus importantes du procédé, ils sont le cœur de l'unité, l'arrêt d'un seul d'entre eux entraînerait l'arrêt de toute l'installation.

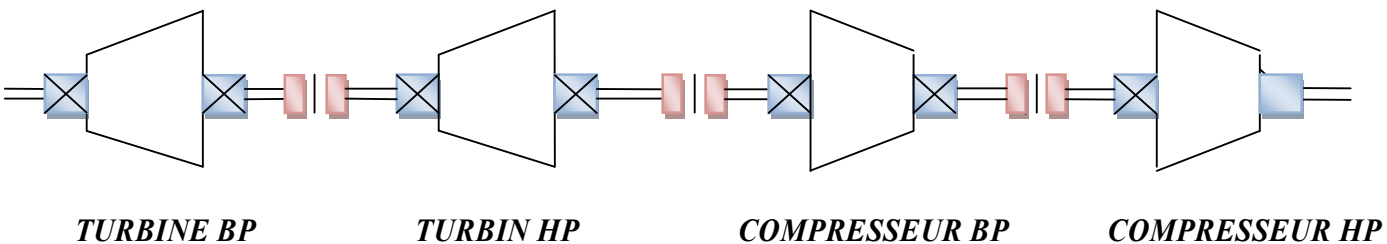
Dans cette unité, les turbocompresseurs sont :

- *Turbocompresseur d'air 101 J.*
- *Turbocompresseur de gaz naturel 102 J.*
- *Turbocompresseur de synthèse 103j*
- *Turbocompresseur de réfrigération 105 J.*

Ces turbocompresseurs se trouvent dans une salle indépendante appelée «salle des machines».

Dans notre étude, on s'intéresse au groupe du turbocompresseur de synthèse 103 J.

Figure 4.2 : description de l'installation



L'installation est composée de quatre machines sur une même ligne d'arbre :

- *Turbine BP*
- *Turbine HP*
- *Compresseur BP*
- *Compresseur HP*

Sont liés avec deux types d'accouplements : Les accouplements des compresseurs sont de type à lames doubles avec "scaper", les autres accouplements sont de type à denture.

Le compresseur centrifuge a pour rôle de comprimer le gaz de synthèse. Dans les conditions normales, le gaz de synthèse entre dans le premier étage du compresseur, après la compression, ce gaz passe pour le refroidissement, en suite entre dans le deuxième étage du compresseur pour la deuxième compression. Un gaz de recyclage de la boucle de synthèse entrée par la vanne de recyclage ou il sera comprimé avec le gaz d'apport jusqu'à 150 bars et 70°C.

L'entraînement principal du compresseur est assuré par deux turbines à vapeur, l'une à contre pression HP et l'autre à condensation BP avec réglage sur vitesse constante. La vitesse peut être réglée manuellement sur place ou pneumatiquement à partir du poste de commande, La vapeur pénètre dans la turbine à condensation travers un tamis, une soupape de fermeture rapide de démarrage et un groupe de soupapes de commande de la vapeur vive, après son passage à travers la turbine, la vapeur est condensée dans une installation avec réglage automatique du niveau de condensât. Le contrôle automatique de la vitesse s'obtient en premier lieu par le réglage des vannes de contrôle moyenne pression, la vitesse varie par un signal du régulateur de la pression, elle peut être variée entre 8420 t/m à 11000 t/m. Le système d'huile du type compact fournit non seulement l'huile pour les paliers et autres points de lubrification des machines et de leurs accessoires, mais aussi l'huile motrice pour les régulateurs et l'étanchéité. En plus de la pompe à huile principale, entraînée par une petite turbine à vapeur, on dispose également d'une pompe à huile auxiliaire entraînée par un moteur électrique. Un réservoir d'huile en charge assure la lubrification des paliers durant la marche d'arrêt dans le cas où aucune des pompes installées ne serait à même d'assurer leur service.

L'installation est équipée de tous les appareils de contrôle, de réglage et d'alarme nécessaire pour assurer une bonne surveillance, garantie d'un service impeccable. En outre, le dispositif de fermeture rapide de la turbine à vapeur ainsi qu'une soupape électrique à trois voies intervenant dans le flux d'huile de cette turbine sont intégrés dans une chaîne de verrouillage sensible aux alarmes centrales de sorte que, dès l'apparition de différentes perturbations, toute l'installation à l'arrêt par la soupape à fermeture rapide.

4-3-1- Conception du turbocompresseur

4-3-1-1- Compresseur

Le compresseur est composé des parties essentielles suivantes :

- ❖ *L'enveloppe a joints horizontale avec les, reposant avec ses pattes coulées sur deux chevalets de palier qui sont reliés aux guidages avant et arrière de l'enveloppe. Un des chevalets étant mobile sur la plaque de base, l'enveloppe peut se dilater librement en direction axiale.*
- ❖ *Sur les cotés frontaux, l'enveloppe est étanchéifiée par des labyrinthes.*
- ❖ *Les roues sont vissées sur l'arbre.*
- ❖ *Les diffuseurs en deux éléments, sont logés sans triquement dans les parties supérieures et*

inférieures de l'enveloppe et assurés contre tout mouvement par des boulons disposés dans le joint.

❖ Le rotor du compresseur repose dans des paliers lisses, réglés, lubrifiés par huile sous pression. Il est fixé axialement dans un palier de butée à a patins oscillants approprié pour les deux directions de poussée et de rotation.

4-3-1-2- Turbine à vapeur

La turbine à vapeur se compose des parties essentielles suivantes :

- ❖ L'enveloppe de vapeur vive, à joint horizontal, soumise à une haute pression et à une température élevée, est en acier moulé. Elle est boulonnée au fond d'échappement en fonte grise également à joint horizontal. Avec ses deux pattes à l'avant, l'enveloppe s'appuie sur un chevalet droit séparé et est reliée à celui-ci par un guidage spécial. Le chevalet droit à l'arrière est coulé en un bloc avec la partie inférieure du fond d'échappement qui s'appuie avec ses pattes latérales sur la plaque de base, où il n'est fixé dans le sens axial de manière qu'une dilatation latérale n'est pas empêchée. Le chevalet arrière est en outre commandé axialement sur la plaque de base. Par contre, le chevalet avant est fixé sur la plaque de base de façon mobile pour pourvoir compenser les dilatations dans le sens axial.
- ❖ Les segments à tuyères avec les logements pour les soupapes de commande de la vapeur vive sont coulés en un bloc avec la partie supérieure de l'enveloppe de vapeur vive. La soupape de fermeture rapide est, soit bridée, soit coulée le tératome sur l'espace de vapeur vive commun des segments à tuyères.
- ❖ Les passages de l'arbre à travers l'enveloppe sont étanchéifiés par des labyrinthes munis d'une lanterne à vapeur de barrage ou d'extraction de vapeur de fuite et d'une des deux Lanternes pour l'évacuation des buées.
- ❖ Le rotor de turbine est forgé en un bloc avec ses extrémités d'arbre du disque de la roue de réglage du piston d'équilibrage. L'extrémité avant de survitesse est fixée sur les rainures de la roue de réglage et du rotor qui cause l'arrêt du groupe au dépassement de la vitesse admise de la turbine par truchement d'un dispositif de fermeture rapide. Après l'assemblage complet, le rotor subit un équilibrage dynamique.
- ❖ Le rotor de la turbine à vapeur repose dans des paliers lisses réglés et lubrifiés par l'huile sous pression. Il est fixé en direction axiale dans un palier de butée à patins oscillants, agissant dans les deux sens de poussée et de rotation.

4-4- Description du turbocompresseur 103.J

Le compresseur de gaz de synthèse 103J est composé de deux unités :

- un compresseur basse pression –BP- à joint vertical comportement 09 étages de compression entraîne

directement par la turbine.

- *un compresseur haute pression –HP- à joint vertical comporte également 08 étages de compression entraîné par le compresseur -BP-.*

Ses composantes sont résumées dans le tableau suivant.

Le Bâti	Il est composé d'une enveloppe cylindrique épaisse comporte les turbines d'aspiration et de refoulement. Cette enveloppe reçoit le B undle (ensemble formé du rotor et du stator). Cette enveloppe venue de fonderie comportant les trous de fixation du compresseur sur le châssis .
L'étanchéité	L'étanchéité de la compression est assurée par des anneaux d'étanchéité et un film d'huile.
Diaphragmes	Les diaphragmes sont réalisés en deux parties. Ce qui permet d'accéder nettement au rotor. Ces deux demi-diaphragmes sont assemblés par des vis à tête cylindrique à six pans creux ces diaphragmes sont conçus pour s'emboîter les uns dans les autres de manière à constituer le bundle ou stator.
Rotor	Les rotors sont composés d'un arbre sur lequel sont emmanchés à la presse et à chaud les impulsers. Un piston d'équilibrage est monté sur l'arbre. Un rotor interne bloque le piston sur l'arbre. La face interne du piston est soumise à la pression de refoulement de manière contre balancer les pressions s'exerçant et de soulager la butée.
Paliers	L'arbre est supporté à chaque extrémité par des paliers du type à patin Axillants. Ils sont lubrifiés par une circulation d'huile abondante. Les paliers sont montés à l'extérieur de l'enveloppe et fixés par des vis à tête cylindriques à six pans creux. la poussée axiale du rotor est absorbée par le palier de butée. Le palier de butée est constitué d'un collet solidaire de l'arbre et de deux couronnes sur les quelles sont fixés des patins axillant garnis de métal. La butée est capable de supporté les charges dans les deux directions axiales Le collet de butée est claveté sur l'arbre et maintenu en place par un écrou freine.



Figure 4.3 : COMPRESSEUR 103 J – compresseur HP/BP - turbine HP/BP -

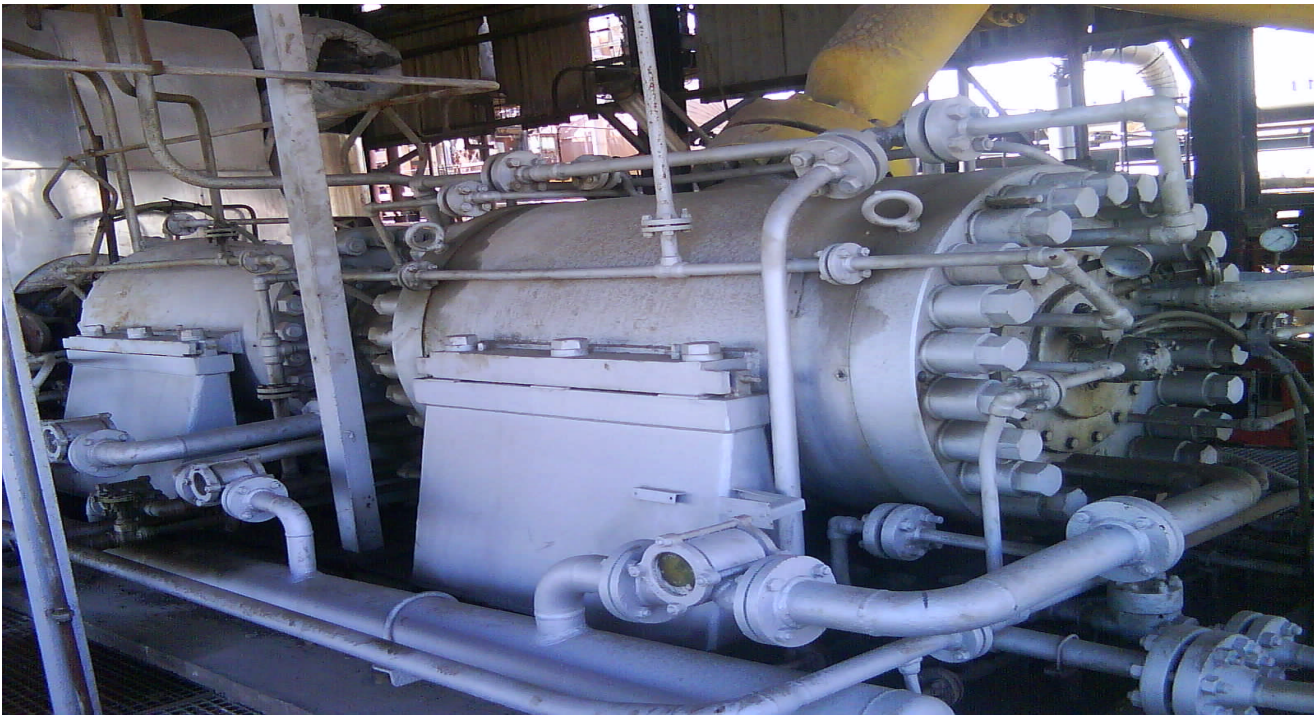


Figure 4.4 : COMPRESSEUR : HP / BP

4 -5- Caractéristiques technique du turbocompresseur 103.J

Tableau 4.1 : Caractéristiques techniques basse pression 103.j

<i>Éléments</i>	<i>Spécifications et valeurs</i>
Nature fluide	Gaz
Date de fabrication	1977
Date de mise en service	1984
Poids	8717Kg
Nombre roues	9
Pression d'entrée	25.6 bars
Température d'entrée	38°C
Température refoulement	173.4 °C
Débit	5890 m ³ /h
Vitesse maxi	11000tr/mn

Tableau 4.2 : Compresseur haute pression 103JHP

<i>Éléments</i>	<i>Spécifications et valeurs</i>
Nature fluide	Gaz
Date de fabrication	1977
Date de mise en service	1984
Poids	10800 Kg
Nombre roues	8
Pression d'entrée 2ieme/3ieme sections	64.2/134.8 bar abs
Pression refoulement 2ieme/3ieme sections	134.8/150.9 bars abs
Température d'entrée 2ieme/3ieme sections	8/52°C
Température de refoulement 2ieme/3ieme sections	115.3/66.2°C
Débit d'entrée	2107/6262 m3/h
Vitesse maxi	11000 t r/mn
Température maxi de fonctionnement	180°c

Tableau 4.3 : Turbine a condensation basse pression « 103JTBP » :

<i>Éléments</i>	<i>Spécifications et valeurs</i>
Puissance	4110 KW
Débit vapeur vive	21 T/h
Pression vapeur vive normale	39.3 bars
Pression vapeur maxi	44.5 bars
Pression vapeur épuisée normale	0.19 bars
Pression vapeur maxi	1.4 bars
Température vapeur vive normale	320°C
Température maxi vapeur épuisée	120°C
Vitesse nominale	10527 tr/mn
Vitesse mini	8400 tr/mn
Vitesse maxi	11000 tr/mn

Tableau 4.4 : Turbine à condensation haute pression « 103JTHP » :

<i>Éléments</i>	<i>Spécifications et valeurs</i>
Nature fluide	Vapeur
Date de fabrication	1976
Nombre d'étages	5
Poids rotor	528 kg
Poids total	7200 kg
Diametre bout d'arbre	125 mm
Puissance	13600 kw
Débit vapeur vive	260 t/h
Débit vapeur soutirage	239 t/h
Pression vapeur vive normale	102 bars abs
Pression vapeur vive maxi	113 bars abs
Pression vapeur de soutirage	39.6 bars
Pression vapeur soutirage maxi	44.5 bars
Température vapeur vive normale	439 °C
Température maxi vapeur épuisée	470 °C
Vitesse nominale	10527 tr/mn
Vitesse mini	8400 tr/mn
Vitesse maxi	11000 tr/mn

4-6- Fonctionnement et caractéristiques de service 103 J

4-6-1- Fonctionnement de la turbine à vapeur :

La vapeur s'écoule dans les tuyères, vers la turbine dans laquelle les jets sont fixés sur la partie intérieure de l'enveloppe de la turbine, la première roue à action, dilate la vapeur et augmente sa vitesse vite, après la vapeur traverse le redresseur qui dirige leurs trajets vers la deuxième roue, la vapeur se dilate encore et sa vitesse devient plus grande, en suite après la vapeur s'écoule vers les autre roues faisant tourner l'arbre sur laquelle elles sont montées. Lorsque la vapeur se dilate, sa température diminue et donc son énergie interne diminue, cette réduction de l'énergie interne s'accompagne d'une augmentation de l'énergie cinétique sous la forme d'une accélération des particules de vapeur. La turbine développe une poussée axiale du fait de la chute de pression sur les roues, cette poussée est généralement compensée par l'utilisateur d'un piston d'équilibrage. A la sortie de la turbine en fond d'échappement la vapeur se transforme en eau dans le condenseur au moyen de l'eau refroidissement, puis elle est récupérée dans une bache à l'aide des pompes d'extraction de condensation. Dans le condensateur règne presque le vide d'où la pression est inférieure à 0.1 bar.

4-6-2- Fonctionnement du compresseur

L'air s'écoule par des tuyères d'aspiration vers le premier étage de la basse pression à 25.6 bar et 38°C est comprimé jusqu'à 64.9 bars et 173°C, ce gaz passe ensuite par les réfrigérant, la température diminue jusqu'à 8°C. La sortie du premier étage et l'entrée du deuxième étage sont liées par une petite tuyère qui sert à équilibrer la pression. Le gaz comprimé parcouru vers le réfrigérant pour diminuer sa température, et réduire le besoin en puissance du compresseur, après la réfrigération, le gaz s'écoule vers l'entrée du deuxième étage, il se comprime encore avec un gaz de recyclage de la boucle de synthèse, et il doit sortir du deuxième étage avec une température et une pression de (T= 70 °C, P=150 bars).

4-7- Conclusion et Problématique

Le Turbocompresseur 103J est une machine stratégique considéré comme la plus importante des machines tournantes de l'unité Ammoniac. Son arrêt provoque l'arrêt total de l'unité et le coût de perte de production et de la maintenance engendrés par cet arrêt est très élevé. En plus de ces coûts directs et apparents, les exploitants de l'entreprise FERTIAL sont très exigeants sur la qualité de production et surtout la réputation et le sérieux de l'entreprise quant aux livraisons à terme de leurs produits finis.

Lors de nos visites sur site, les responsables de la maintenance ont bien voulu porter à notre connaissance l'existence du problème lié aux arrêts multiples du Turbocompresseur de synthèse 103 J qui occupent une place stratégique et très importante dans la chaîne de production, ceci dit leur arrêt entraîne des pertes considérables et des conséquences techniques dans la production pour l'entreprise.

4.8. Historiques des défaillances du compresseur 103j.

Basé sur l'étude du choix des méthodologies d'analyse des risques [44] présentées au chapitre 4, nous présentons l'histogramme des défaillances du compresseur 103J depuis février 2008 à décembre 2010.

Tableau 4.5 : Historique des pannes du compresseur 103J

N°	Date d'incident	Début de l'arrêt	Fin de l'arrêt	Durée de l'arrêt	Durée de l'intervention	Travaux effectués
1	23/02/2008	7 ^h :00	9 ^h :00 07/03/07	290 ^h	280 ^h	Changement : rotor + palier porteur étanchéité + accouplement
2	15/03/2008	9 ^h :00	21 ^h :00 15/03/07	12 ^h	11 ^h	Fuit d'huile
3	17/03/2008	10 ^h :00	10 ^h :00 19/03/07	48 ^h	40 ^h	Inspection compresseur BP-rotor
4	01/04/2008	11 ^h :00	9 ^h :00 03/04/07	46 ^h	40 ^h	Rénovation câble. compresseur HP
5	13/04/2008	15 ^h :00	9 ^h :00 16/04/07	66 ^h	60 ^h	Changement accouplement. compresseur HP
6	17/04/2008	9 ^h :00	17 ^h :00 17/04/07	8 ^h	6 ^h	Mise en place sonde palier
7	30/05/2008	7 ^h :00	19 ^h :00 30/05/07	12 ^h	10 ^h	Inspection palier et changement sonde. compresseur HP
8	05/07/2008	9 ^h :00	17 ^h :00 05/07/07	8 ^h	7 ^h	Travaux sur les sondes. compresseur BP
9	16/09/2008	14 ^h :00	22 ^h :00 19/09/07	72 ^h	68 ^h	Inspection palier. turbin HP. compresseur BP
10	16/12/2008	8 ^h :00	8 ^h :00 17/12/07	24 ^h	20 ^h	Prévention instrumentation compresseur – fuit d'huile
11	12/03/2009	11 ^h :00	15 ^h :00 12/03/08	4 ^h	3 ^h	Elimination fuit d'huile
12	11/05/2009	15 ^h :00	15 ^h :00 16/05/08	120 ^h	110 ^h	Travaux sur régulateur de vitesse de compresseur (changement)
13	14/06/2009	9 ^h :00	7 ^h :00 02/07/08	430 ^h	420 ^h	Révision turbine HP
14	30/07/2009	13 ^h :00	23 ^h :00 30/07/08	10 ^h	8 ^h	Changement sonde de vibration
15	26/10/2009	10 ^h :00	19 ^h :00 26/10/08	9 ^h	8 ^h	Vérification de l'étanchéité de turbine HP
16	24/12/2009	14 ^h :00	14 ^h :00 08/01/09	360 ^h	350 ^h	Ouverture éventuels réparation compresseur BP

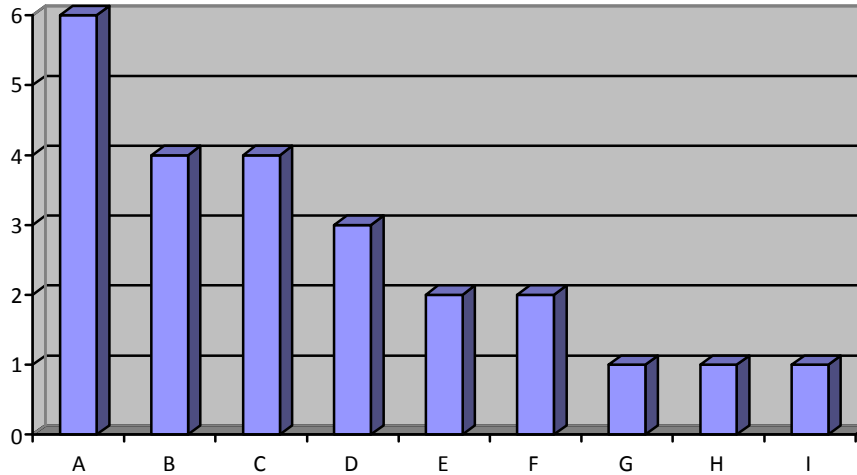
17	26/02/2010	10h :00	10h :00 28/02/09	48 ^h	46 ^h	Travaux sur les sondes. turbine HP
18	05/04/2010	9h :00	9h :00 07/04/09	48 ^h	46 ^h	Inspection accouplement. Compresseur BP
19	13/05/2010	11h :00	5h :00 16/05/09	66 ^h	60 ^h	Synchronisation vannes BP/HP
20	28/05/2010	13h :00	13h :00 30/05/09	48 ^h	45 ^h	Inspection palier et accouplement. turbine HP
21	01/07/2010	9h :00	21h :00 01/07/09	12 ^h	11 ^h	Remise d'indication locale de la vitesse. Turbine HP
22	27/08/2010	10h :00	15h :00 27/08/09	5 ^h	4 ^h	Étanchéité – sonde. Compresseur BP
23	27/09/2010	11h :00	11h :00 29/09/09	48 ^h	44 ^h	Travaux sur les sondes
24	31/10/2010	8h :00	18h :00 31/10/09	10 ^h	8 ^h	Changement filtre. Compresseur BP
25	20/12/2010	10h:00	22h :00 20/12/09	12 ^h	10 ^h	Fuite de vapeur. Turbine

a) Étude de diagramme de Pareto

Tableau 4.6 : Classement de Pareto

	Organe	Nombre des pannes	Heurs d'arrêt
A	Sonde	6	139
B	Palier	4	422
C	Accouplement	4	452
D	Huile	3	40
E	Boite étanchéité	2	299
F	Rotor	2	338
G	Régulateur	1	120
H	Câble	1	46
I	Vanne	1	66

NOMBRE DES PANNES



ORGANES

Figure 4.5 : Histogramme des pannes

HEURES D'ARRÊT

ORGANES

Figure 4.6 : Histogramme des heures d'arrêt

Commentaire

Cet histogramme nous montre quelle sont les avaries qui sont les plus importants. Dans ce cas on a trouvé qu'il s'agit des Sonde, Palier et Accouplement. Le management de FERTIAL est surtout préoccupé par

le nombre et la durée d'arrêt de leurs installations de production, car le manque à gagner est très onéreux. Le coût de maintenance est pratiquement négligeable par rapport au coût du manque à produire pendant l'arrêt de l'installation d'une part et d'autre part le respect des obligations de l'entreprise par rapport à ses clients est une priorité majeure.

b) Classement des TBF :

Tableau 4.7 : Classement des TBF

N°	TBF on ordre croissant
1	24
2	37
3	146
4	192
5	246
6	296
7	313
8	678
9	690
10	740
11	764
12	765
13	863
14	902
15	1020
16	1172
17	1192
18	1285
19	1411
20	1440
21	1749
22	2067
23	2098
24	2099

4.9. Récapitulatif et classification des données de notre système :

4.9.1. Récapitulation et classification des données d'entrée ou input

Suite à la précédente présentation de notre système, nous pouvons récapituler la collecte de ces données de manière suivante :

- *Données techniques concernant les turbomachines (pages 72 à 74)*
- *Les caractéristiques et spécifications techniques concernant le turbocompresseur 103J (pages 74 à 81)*
- *L'historiques des pannes du turbocompresseur (pages 82 à 84)*
- *Les temps de bon fonctionnement TBF du turbocompresseur (page 85)*

D'après le paragraphe 3.4 du troisième chapitre, nous avons présenté une classification des données d'entrée en six catégories et qui sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4.8 : Énumération des données de base de chaque catégorie des inputs

<i>Catégories de données</i>	<i>Données de base de la catégorie</i>
<i>1- Plans et spécifications</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Site</i>• <i>Installations</i>• <i>Unités</i>• <i>Réseau de fluide ou de gaz</i>• <i>Fonctionnement</i>• <i>Protection de sécurité</i>• <i>Stockage et entreposage</i>
<i>2- Opérations et process</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Description des opérations</i>• <i>Description des travaux</i>• <i>Réactions physiques ou chimiques</i>• <i>Paramètres cinétiques ou calorimétriques</i>• <i>Conditions normale de fonctionnement</i>• <i>Conditions opérationnelles</i>
<i>3- Substances et produits utilisés</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Types de produits</i>• <i>Propriétés physiques et chimiques</i>• <i>Quantités</i>• <i>Données toxicologiques</i>• <i>Données d'inflammabilité et d'explosivité</i>

4- Fréquences et probabilités	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Temps de bon fonctionnement</i> • <i>Probabilité de défaillance</i> • <i>Taux de défaillance</i> • <i>Type de défaillances</i> • <i>Défaillances humaines</i> • <i>Probabilité d'exposition</i>
5- Management et police	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Police de sécurité</i> • <i>Organisation</i> • <i>Programme de maintenance</i> • <i>Gestion des transports</i> • <i>Coûts des équipements</i> • <i>SMS safety management systems</i>
6- Environnement, historique et lois	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Site environnemental</i> • <i>Densité de la population</i> • <i>Données topographiques</i> • <i>Normes</i> • <i>Réglementations</i> • <i>Historique</i>

La comparaison des données d'entrées collectées au niveau de l'unité Ammoniac de l'entreprise FERTIAL et les données de base de chaque catégorie de données d'entrée citées dans le chapitre précédent et récapitulées dans le tableau 4.1, montre que les données collectées sont comparables aux données classées dans les catégories 1 et 4 c'est-à-dire que ces données appartiennent aux catégories : Plans & spécifications et Fréquences & Probabilités.

L'expérience montre que généralement dans l'industrie, pour les installations et équipements industriels, on utilise surtout les méthodes d'analyse des risques du type quantitatif- empirique et statistique [3].

D'après le tableau 3.1, qui présente les relations entre les données collectées et les différentes méthodologies, on peut déduire que les méthodes les plus appropriées par rapport aux données collectées sont présentées dans le tableau 4.2.

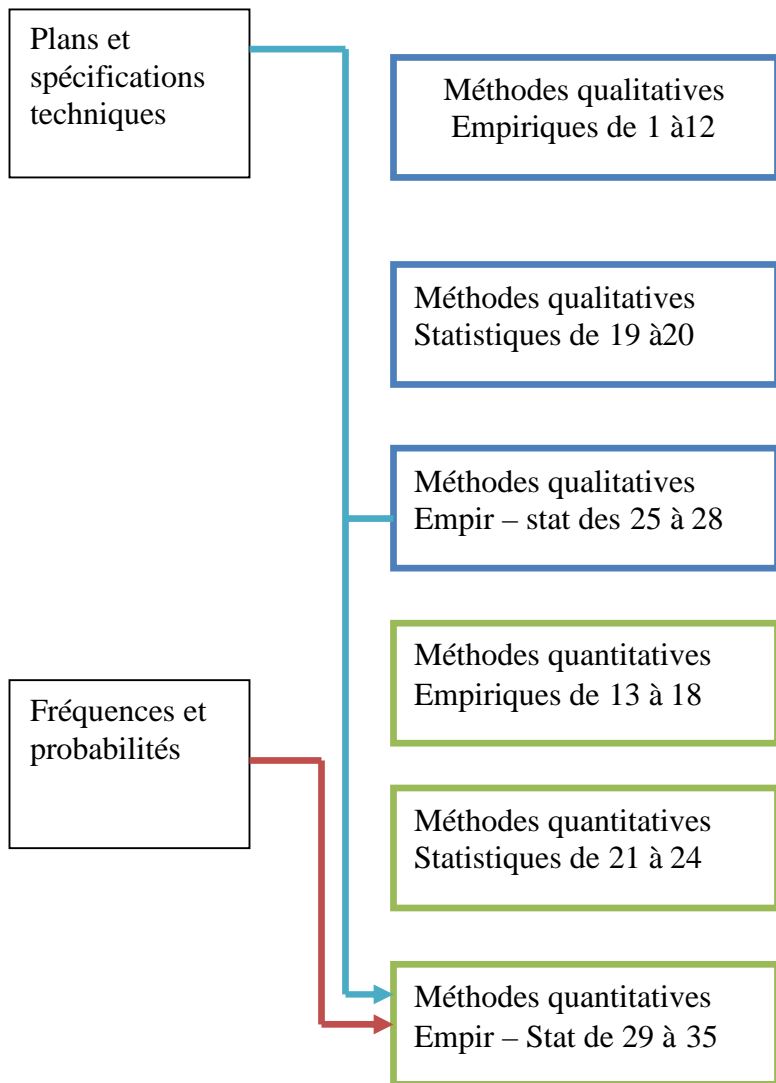
Tableau 4.9 : Méthodes appropriées par rapport aux données collectées à FERTIAL

Type input	Quali/quant	Empirique	Statistique	Empi/stat
Plans et spécifications techniques	Quantitative	13/14/15/1 6/17/18/	22/23/24	<u>30/32/33/34/35</u>
Fréquences et Probabilités	Quantitative		21/22/23	<u>30/31/34/35</u>

D'après le tableau 4.2 les méthodes quantitatives (empiriques et statistiques) les plus appropriées aux données collectées à FERTIAL, valables aussi bien pour les plans/spécification et les fréquences et probabilités, sont les méthodes numérotées 30, 34 et 35.

Ce résultat est présenté dans le schéma suivant :

Figure 4.7 : Relations entre les données collectées et les méthodes d'analyse des risques



4.9.2. Récapitulation et classification des résultats attendus

Basé sur nos différents entretiens avec les responsables des services d'exploitation, de la direction des études techniques et le service de maintenance de l'unité Ammoniac, nous avons noté qu'afin d'assurer un bon fonctionnement du compresseur 103J, l'entreprise a besoin de certains résultats et qui se présentent de la façon suivante :

- *Liste des modes de défaillance*
- *Liste des causes/conséquences et dommages*
- *Gravité et criticité*
- *Recommandations préventives et correctives*
- *Estimation des risques du système et sous-systèmes*

D'après le point 3.5 du troisième chapitre, nous avons présenté une classification des résultats de sortie en trois catégories et qui sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4.10 : Énumération catégories de résultats (output) avec leurs données de base.

<i>Catégories des résultats</i>	<i>Données de base de la catégorie</i>
Management	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Recommandations</i> • <i>modification relatif à la gestion,</i> • <i>opérations et procédures</i> • <i>formation et training</i>
Statistique	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fréquences et probabilités des défaillances,</i> • <i>fiabilité,</i> • <i>probabilité des chemins critiques pouvant provoquer l'accident</i> • <i>Fréquences d'accidents</i>
Classification et listing	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Classification et index selon les niveaux de risques</i> • <i>Gravité et criticité</i> • <i>Index des fuites toxiques toxicité</i> • <i>Index des feux et explosion</i> • <i>séquence et listing des hasards</i> • <i>erreurs, des causes et conséquences défaillances et dommages</i> • <i>activités critiques</i> • <i>mode de défaillance</i> • <i>lieu névralgique et vulnérable</i> • <i>scénarios majeurs d'incidents ou d'accidents</i>

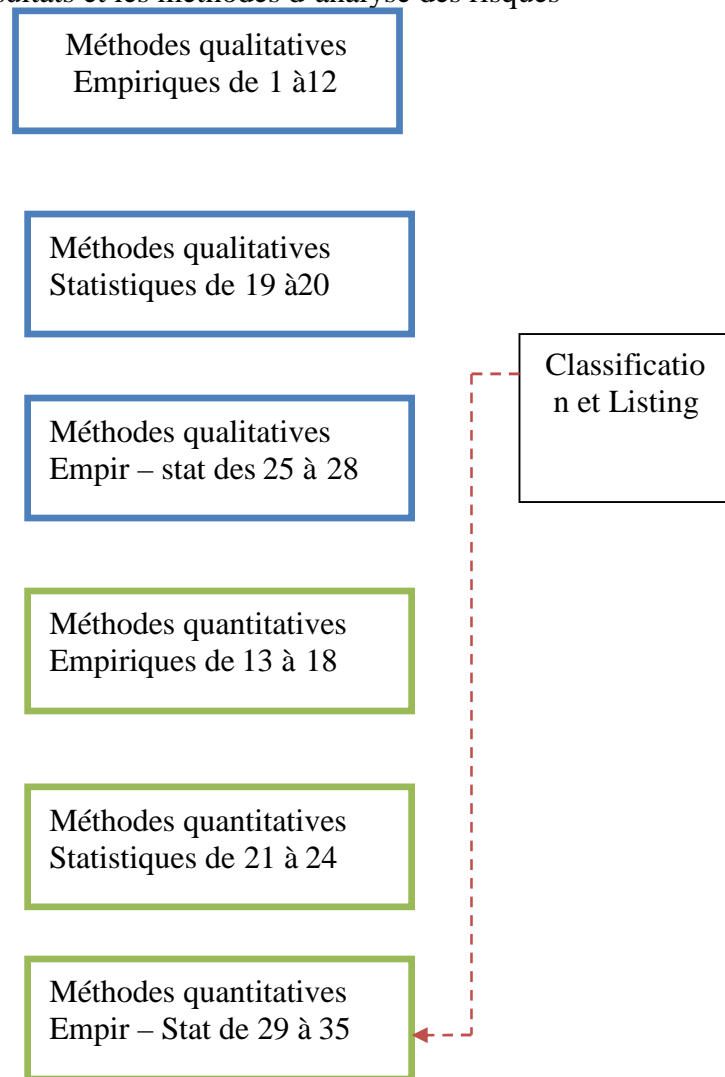
La comparaison des résultats attendus au niveau de l'unité Ammoniac de l'entreprise FERTIAL et les données de base de chaque catégorie de données résultantes citées dans le chapitre précédent et récapitulées dans le tableau 4.3, montre que les résultats attendus sont comparables aux données classées dans les catégories 1 c'est-à-dire que ces données appartiennent à la catégorie : Classification & listing

D'après le tableau 3.3, qui présente les relations entre les résultats ou output et les différentes méthodologies, on peut déduire que les méthodes les plus appropriées par rapport aux résultats attendus sont présentée dans le tableau 4.4.

Tableau 4.11 : Méthodes appropriées par rapport aux résultats attendus par FERTIAL

<i>Type output</i>	<i>genre</i>	<i>Empirique</i>	<i>Statistique</i>	<i>Empi/stati</i>
Classification et Listing	quantitative	13/14/15/16/17/18	21/22/23	29/ 30 /31/32/33/ 34 / 35

Figure 4.8 : Relations entre les résultats et les méthodes d'analyse des risques



D'après les tableaux 4.2 et 4.4 les méthodes quantitatives (empiriques et statistiques) les plus appropriées aux données collectées (pour les plans/spécification et les fréquences et probabilités) et les résultats attendus (Classification et listing) par FERTIAL, sont les méthodes numérotées 30, 34 et 35 en d'autres termes ce sont les méthodes :

- *La méthode 30 : QRA Quantitative risk assessment*
- *La méthode 34 : FMECA Failure mode effect criticality analysis*
- *La méthode 35 : Facility risk review*

Ces trois méthodes répondent aux exigences des données collectées nécessaires pour l'analyse des risques et des résultats attendus.

4.9.3. Choix spécifique de la méthode d'analyse

Grâce à la méthodologie nous avons donc proposé ces trois techniques d'analyse des risques à FERTIAL. Pour des raisons pratiques et efficaces nous allons porter le choix sur une seule méthode d'analyse des risques et l'utiliser au niveau de l'unité Ammoniac.

Devant cette situation, nous devons procéder par élimination afin de sélectionner la méthode la plus appropriée à notre situation. Pour cela nous présentons brièvement ces techniques :

i. La méthode Facility Risk Review :

C'est une méthode d'analyse des risques qui est très spécifique à l'étude des risques existant dans les locaux comprenant, généralement, des installations chimiques, des laboratoires chimiques, des cuisines de grande importance, des locaux de déchets.

Les objectifs de cette méthode sont :

- *L'identification des modes de défaillances et des risques associés*
- *de voir s'il y a un risque potentiel associé à la conception ou l'exploitation des locaux (facilities)*
- *de proposer le **revue (review)** de la conception de la structure des grands **locaux** conteneurs*
- *vérifier les méthodes des mesures (toxicologiques)*
- *proposer des recommandations.*

Suite à ces précisions, il nous paraît très claire de conclure que cette méthode n'est pas appropriée à notre situation car notre installation ne se trouve pas dans un local et ne comporte pas de risques chimiques ou toxicologiques.

ii. La méthode Quantitative Risk Assessment

L'objectif de cette méthode est de nous permettre de montrer les priorités et l'urgence des actions correctives en fonction de tel ou tel risque.

Le QRA modélise la progression d'accidents et combine la fréquence et les conséquences des accidents afin d'estimer le risque. Son objectif est de nous permettre de :

- *Vérifier si les installations répondent à certains critères de risque acceptable*
- *Identification des éléments et opérations accidentelle contribuant au risque*
- *Identification et évaluation de la réduction des risques et des mesures de contrôle*
- *Identification des besoins des risques management (les intervalles de maintenance)*
- *Mise en place des risques-codes*

La méthodologie de la QRA (Quantitative risk analysis) est basée sur les méthodes suivantes :

- *Hazard Analysis - identification des événements initiateurs*
- *Event Tree Analysis – progression de la séquence d'accident*
- *FTA fault tree analysis – Arbre des défaillances –*
- *Data Analysis – données des défaillances*
- *Human Reliability Analysis – quantification des erreurs humaines*
- *Conséquence évaluation – conséquences sur les scénarios d'accidents*
- *Quantification – évaluation des risques*
- *Uncertainty assessment – assumptions et évaluation des événements incertains*

Malgré sa lourdeur, cette méthodologie semble être très intéressante, cependant le groupe qui dirige l'analyse des risques n'est pas formé pour utiliser le FTA par exemple d'une part ; d'autre part, les techniciens de FERTIAL ont trouvé que la méthode AMDEC est moins complexe et plus pratique afin d'avoir des résultats dans l'immédiat et surtout ne pas interrompre la production en d'autres termes améliorer la sûreté de fonctionnement de leur installation.

Donc nous avons proposé d'appliquer l'AMDEC en attendant la formation de l'équipe d'analyse des risques.

iii. *La méthode AMDEC :*

Cette méthode a été déjà présentée au chapitre trois, cependant il existe globalement plusieurs types d'AMDEC, parmi les plus importants, mentionnons [45] :

- *AMDEC-Produit - L'AMDEC-Produit ou l'AMDEC-projet est utilisé pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique l'AMDEC-composants*
- *AMDEC-Processus s'applique à des processus de fabrication. Elle est utilisée analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être aussi utilisée pour les postes de travail.*
- *L'AMDEC - Moyen de production, plus souvent appelée AMDEC- Machine, permet de réaliser l'étude du moyen de production lors de sa conception ou pendant sa phase d'exploitation. Elle s'applique aussi à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels est des systèmes de transport interne.*
- *L'AMDEC –organisation s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires : du premier niveau qui englobe le système personnel, le système marketing et le système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.*
- *L'AMDEC-servie s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service corresponde aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillance.*
- *L'AMDEC-sécurité s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans le procédé ou il existe des risques pour ceux-ci.*

Suite à cette présentation, il nous parait approprié de choisir la méthode AMDEC moyen ou machine pour l'analyse des risques du turbocompresseur 103J de l'unité Ammoniac de l'entreprise FERTIAL.

4.10 Application de l'AMDEC à notre machine

L'application de l'AMDEC à notre machine est présentée dans les tableaux 4.12, 4.13 et 4.14 présentés ci-après :

Élément	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement		Tableau : 87 / 3		
	Système : turbocompresseur centrifuge		Sous - Ensemble : compresseur							
	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
F						G	N	C		
bâti	Renferme le compresseur	Ovalisation d'alésage portant les roulements	Usure	Détériorations des paliers	-échauffements -bruit	1	2	2	4	- Réalisation des chemises pour les paliers. - changement du bâti
vilebrequin	Transformer le mouvement de rotation	Usure au niveau des paliers lisses	Frottements	Mauvais fonctionnement de compresseur	-Bruit	1	2	4	8	- changement des paliers lisses - remplacement du vilebrequin
bielle	Transmet le mouvement au piston	-cassure -fissure	-fatigue -mauvaise conception	Pas de mouvement	-Visuel	1	4	2	8	- Changement de la bielle - Nouvelle conception
Les écrous	La fixation de la crosse et la tige	Fissuration de taraudage	-choc -surcharge	Arrêt du compresseur	-Visuel	1	4	2	8	Changement de l'écrou
Bague	Assurer l'étanchéité	usure	Fatigue	échauffement	-Fuit	1	4	2	8	Changement de la bague
glissière	Guidage de piston	usure	Frottement	vibration	-Bruit	2	2	2	8	- vérifier le système de graissage - changement
Crosse de piston	Orienter le mouvement de translation	usure	Frottement	vibration	-Bruit	2	2	2	8	- vérifier le système de graissage
Tige de piston	Assurer le déplacement de piston	-criques -flambage	-corrosion -surcharge	Mauvais fonctionnement	-échauffements -bruit	2	2	3	12	- Remplacement de la tige - traitement de la tige
chemise	-Renfermer le piston -chambre de compression	usure	Frottements	Mauvaise compression	Faible débit au refolement	3	2	2	12	Remplacer la chemise
cylindre	Renfermer le compresseur	déformation	Chocs	Mauvais fonctionnement	Visuel	1	2	1	2	Changer le cylindre
segments	Assurer l'étanchéité	usure	Fatigue	Mauvaise compression	Faible débit de refolement	2	4	3	24	Changement des segments
piston	Assurer la compression	usure	Fatigue	Mauvais fonctionnement	-bruit -échauffement	1	2	2	4	Remplacement de piston
Calfat	Assurer l'étanchéité de gaz	usure	Fatigue	Fuite de gaz	Faible débit de refolement	2	4	3	24	Remplacement de calfat
Fonds inférieur	Renfermer le compresseur	déformation	Choc	Mauvais fonctionnement	visuel	1	1	1	1	Remplacement des fonds
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	usure	Fatigue	échauffement	Fuite d'huile	4	4	1	16	Changement des joints
goujons	Assurer la fixation	desserrage	Chocs	vibration	bruit	4	4	1	16	Serrage
Sonde	Capter les vibrations	Détérioration	Fatigue	Perte de précision	Mauvaise détreccion	4	4	3	48	Changement de la sonde
Clapets d'aspiration et de refolement	Faire passer la vapeur dans un seul sens	-usure -colmatage	-Fatigue -Mauvais fonctionnement de filtre	-Diminution de pression	Faible débit	2	3	2	12	-Changement de clapet -nettoyage ou changement de Filtre
Calfat	Assurer l'étanchéité de gaz	usure	Fatigue	Fuite de gaz	Faible débit de refolement	2	4	3	24	Remplacement de calfat
Fonds inférieur	Renfermer le compresseur	déformation	Choc	Mauvais fonctionnement	visuel	1	1	1	1	Remplacement des fonds
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	usure	Fatigue	échauffement	Fuite d'huile	4	4	1	16	Changement des joints
goujons	Assurer la fixation	desserrage	Chocs	vibration	bruit	4	4	1	16	Serrage
Sonde	Capter les vibrations	Détérioration	Fatigue	Perte de précision	Mauvaise détreccion	4	4	3	48	Changement de la sonde
Clapets d'aspiration et de refolement	Faire passer la vapeur dans un seul sens	-usure -colmatage	-Fatigue -Mauvais fonctionnement de filtre	-Diminution de pression	Faible débit	2	3	2	12	-Changement de clapet -nettoyage ou changement de Filtre

Élément	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement	Tableau : 3/ 3			
	Système : turbocompresseur centrifuge		Sous - Ensemble : groupe virage							
	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
F	G	N	C							
Accouplement	Transmettre la puissance au réducteur	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -fatigue - désalignement	-Mauvaise transmission -usure des paliers -usure des dents d'engrenages -dégradation de fonctionnement de compresseur	visuel	4	3	1	12	-réalignement -serrage de système de fixation

Élément	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement				Tableau : 2 / 3
	Système : turbocompresseur centrifuge		Sous - Ensemble : turbine							
	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				
F						G	N	C		
bâti	Renferme-le compresseur	Ovalisation d'alésage portant les roulements	usure	Détériorations des paliers	- échauffements -bruit	1	2	2	4	- Réalisation des chemises pour les paliers. - changement du bâti
Paliers	Guider et supporter le rotor	usure -cassure	-Fatigue -vibration	Echauffement -Blocage de rotor	- échauffements -bruit	4	3	2	24	Changement des roulements
Rotor	Assurer le mouvement de rotation	Défaillance de la cage	-Fatigue -Surcharge	Arrêt de compresseur	Visuel	1	4	2	8	Changement de la cage
goujons	Assurer la fixation	desserrage	chocs	vibration	bruit	3	4	1	12	Serrage
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	usure	fatigue	échauffement	Fuite d'huile	3	4	1	12	Changement des joints
Les écrous	La fixation de la crosse et la tige	Fissuration de taraudage	-choc -surcharge	Arrêt du compresseur	visuel	1	4	2	8	Changement de l'écrou
Vannes	Assure les commandes d'ouverture et fermeture	Fuit de vapeur	Raccords desserrés / joints défectueux	Arrêt de compresseur	Visuel (fuit)	1	3	4	12	Changement
Tuyères	Assure la circulation de vapeur	Fuit de vapeur	-Pression -Fatigue	Arrêt de compresseur	Visuel (fuit)	1	3	4	12	Changement

Tableau 4.14: AMDEC Turbine

4.11. Classification des éléments suivant leur indice de criticité

4.11.1. Hiérarchisation des résultats

L'opération d'hiérarchisation nous permet de classer les modes de défaillances et d'organiser leurs traitements par ordre d'importance. Le classement est fait par ordre décroissant en quatre catégories (voir annexe1) : $80 > C \geq 20$ – $20 > C \geq 16$ – $16 > C \geq 12$ – $C < 12$

Avec la collaboration du bureau méthodes ainsi que l'équipe d'exploitation de l'unité Ammoniac de FERTIAL, on a choisi la valeur 12 comme seuil de criticité. Les éléments dont la criticité dépasse 12 sont regroupés par ordre décroissant dans le tableau. C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des actions correctives appropriées.

Le tableau 5.9 présente le classement des différents modes de défaillances potentielles d'après les indices de criticité, et basé sur ce classement on propose des actions préventives ou correctives.

Tableau 4.15 : classification des défaillances d'après la criticité

élément	criticité	Actions correctives à engager
Sonde	48	Remise en cause complète de la conception
Paliers	24	
Calfat	24	
Segments	24	
goujon	16	
Joint d'étanchéité	16	
Tige de piston	12	Amélioration des Performances des éléments. Maintenance préventive systématique
Chemise	12	
Clapets d'aspiration	12	
Vanne	12	
Tuyères	12	
Accouplement	12	

4.11.2. Actions correctives à engager :

Basé sur le classement de l'indice de criticité on propose des actions préventives ou correctives. Notre but est de réduire l'indice de criticité par des actions qui visent :

- La réduction de la probabilité d'occurrence (par la modification de la conception du produit ou du process)
- La réduction de la non détection (modification conception de processus ou modification du système de contrôle)
- Réduction de la gravité de l'effet de défaillance (modification de la conception)

L'indice le plus grand est celui qui représente la défaillance des sondes de captage des vibrations du compresseur 103J, c'est l'élément le plus critique (indice égal à 48).

Les sondes ne sont pas des éléments essentiels au fonctionnement du turbocompresseur mais ne sont que des capteurs de détection des vibrations afin d'améliorer la disponibilité de la machine et font partie des outils de maintenance conditionnelle.

Le système de collecte et d'analyse des signaux de vibrations est pratiquement neuf, récent et très fiable. Après l'installation de ce système, toutes les analyses des défaillances se font par l'intermédiaire du traitement des défaillances en faisant recours à ce système. Toutes les techniques d'analyse des risques ont été délaissées au détriment du traitement du signal vibratoire.

Grâce à l'utilisation de la méthode AMDEC nous avons découvert que la cause la plus importante des arrêts de la machine est due aux sondes, éléments sur lesquels on compte pour la détection des défaillances et personne ne croyait que les sondes sont la cause principale des arrêts du turbocompresseur.

Suggestions :

Nous proposons :

- *Le remplacement des sondes existantes par des sondes plus fiables et mieux adaptées aux conditions d'exploitation (conception des capteurs différentes)*
- *Revoir l'installation des capteurs ou sondes d'une manière judicieuse afin de bien capter les vibrations et de permettre en même temps un accès facile et rapide en cas de défaillance des sondes. (conception des dispositions)*
- *Multiplier le nombre de capteurs afin de remplacer la sonde défaillante tout en assurant le bon fonctionnement du compresseur. (augmenter la fiabilité de fonctionnement des capteurs)*
- *En ce qui concerne les autres défaillances ayant un indice supérieur à 12, l'équipe de maintenance de FERTIAL s'en charge de corriger ces défaillances en :*
 - *Équilibrant le rotor afin d'éviter l'usure des paliers et des segments*
 - *Remplacant le calfat, les goujons, les joints d'étanchéité par d'autres éléments d'origine et plus fiables. (revue de la conception des matériaux des pièces de rechange)*

D'après l'équipe de maintenance, ces opérations de corrections sont programmées pour la fin de l'année en cours.

4.11.3. Suivi des actions et la réévaluation de la criticité

Suite à ces corrections, un nouvel indice de criticité sera calculé de la même façon que lors de la première évaluation, en prenant en compte les actions prises. L'objectif de cette réévaluation est de déterminer l'impact et l'efficacité des actions prises. Le nouvel indice doit être inférieur au seuil de criticité.

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de mettre en place une nouvelle approche d'analyse des risques industriels qui favorise l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations stratégiques des entreprises industrielles.

L'existence de plusieurs méthodes d'analyse des risques et la complexité des différentes installations industrielles ainsi que différentes données et différents résultats exigés, nous laisse devant une situation très difficile quant au choix de la méthode d'analyse des risques qui répond le plus aux besoins.

La mise en place d'une méthodologie pour le choix de la technique d'analyse des risques nous a beaucoup facilité la tâche. L'utilisation de cette méthode avec les données d'input ainsi que les résultats exigés ou output nous a aidé à faire le bon choix de la méthode la plus appropriée pour procéder à l'analyse des risques de l'installation de production d'Ammoniac de FERTIAL afin sa sûreté de fonctionnement.

L'utilisation de la méthodologie nous a aidé à :

- ❖ *Choisir l'AMDEC comme techniques d'analyse des risques la plus appropriée pour notre situation,*
- ❖ *Découvrir que QRA (quantitative risk assessment) peut être plus appropriée mais pour l'appliquer il faut d'abord entraîner le groupe analyste de FERTIAL afin de maîtriser les différentes techniques sur lesquelles est basé le QRA.*
- ❖ *L'application de l'AMDEC nous a permis de découvrir les différents modes de défaillances, leurs causes, et leurs conséquences*
- ❖ *Des recommandations ont été proposées*
- ❖ *Un classement ou hiérarchisation des niveaux de criticité a été établi*
- ❖ *Nous avons découvert que le système qui est conçue pour protéger la machine et lui-même la cause des arrêts du turbocompresseur*
- ❖ *Les sondes ou capteurs de vibrations faisant partie du système de traitement du signal vibratoire ont la plus grande criticité C=48 et nous avons proposé des recommandations préventives*
- ❖ *Une opération de suivi est programmée juste après les travaux de rénovation de fin d'année.*

Notre contribution intitulée « développement d'une méthodologie d'aide au choix d'une méthode d'analyse des risques » est projetée pour un usage combiné de plusieurs méthodes d'analyse des risques tel que l'AMDEC et le QRA par exemple.

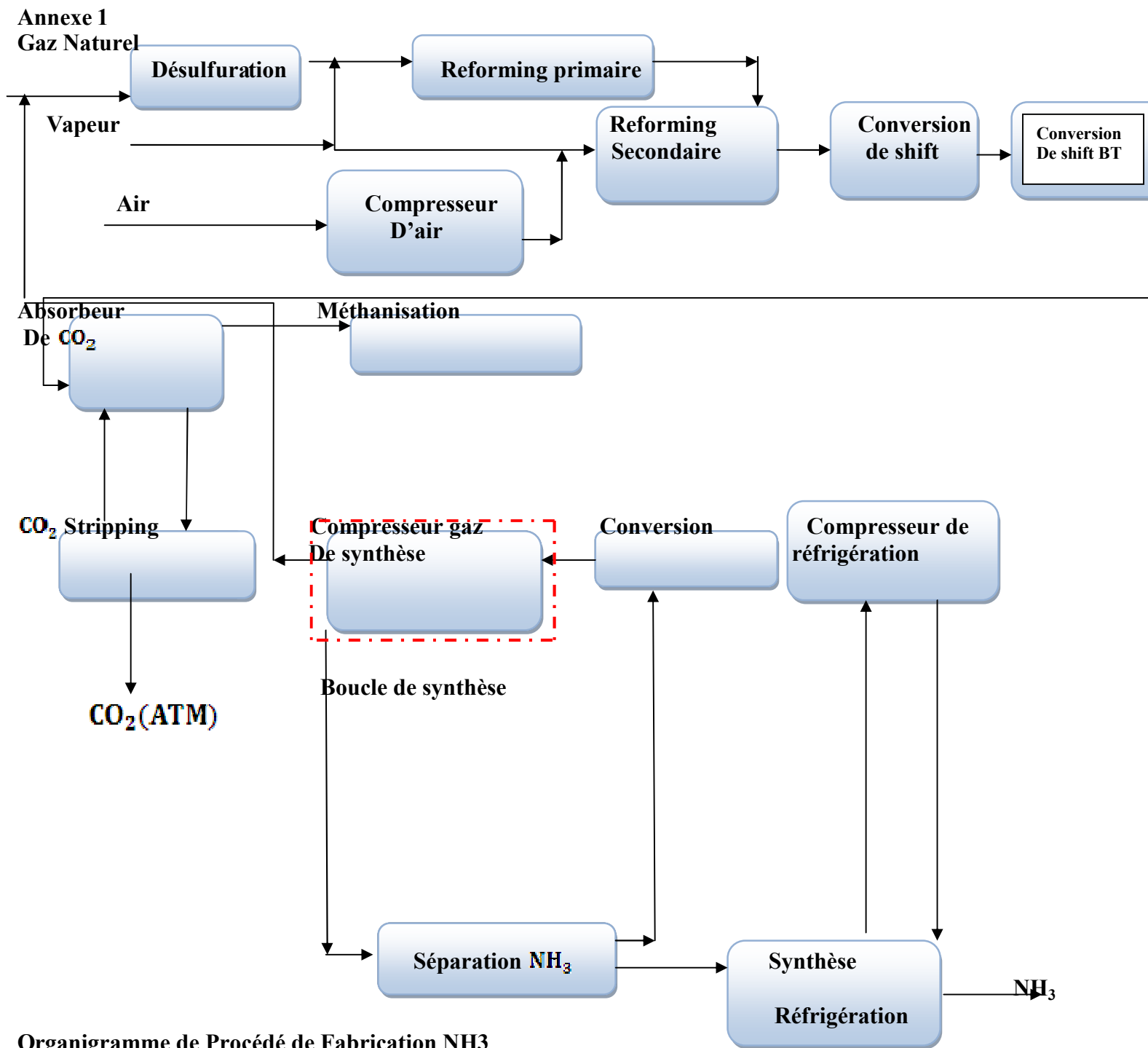
Nous projetons aussi d'affiner les classes de données de départ et les classes des résultats en augmentant le nombre de classes, ce qui nous permettra de faire un choix d'une technique plus spécifique et plus appropriée.

Références

- [1] Basnyat, S., Chozos, N., Palanque, P., 2006. Multidisciplinary perspective on accident investigation. *Reliab. Eng. Syst. Saf. J. (Spec Edn.)* **91**(12), 1502-1520 (2006)
- [2] O. Salvi, C. Kirchsteiger, C. Delvosalle, N.J. Duijm, J. Casal, L.H.J. Goossens, B. Mazzarotta, K. Lebecki, J.-L. Wybo, G. Duserre, H. Londiche, J. Calzia, ARAMIS. Accidental risk assessment methodology for industries in the framework of Seveso II directive, in: Paper Presented at the Seminar on Progress in European Research on Major Hazards, Chemical Risks Directorate, Belgian Ministry of Labour, Brussels, October 10, 2001.
- [3] AvenT. Risk analysis and science. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering* 2004;11:1–15.
- [4] BedfordT, CookeR. Probabilistic risk analysis. Foundations and methods. Cambridge: Cambridge University Press 2001.
- [5] AvenT. Foundations of risk analysis—a knowledge and decision oriented perspective. New York: Wiley; 2003.
- [6] Yang, Z. L., Wang, J., Bonsall, S., & Wong, S. (2007). Risk management with multiple uncertain decision making attributes. In ESREL 2007 safety and reliability conference, 25–27 June, Stavanger, Norway.
- [7] LindleyDV. The philosophy of statistics. *The Statistician* 2000;49:293–337.
- [8] Khan, F.I. and Amyotte, P.R., 2004, Integrated inherent safety index (I2SI): a tool for inherent safety evaluation, *Process Safety Prog*, 23(2): 136–148.
- [9] Mosleh, A., Wang, C., Groth, K., Mohagegh, Z., 2005. Integrated Methodology for Identification , Classification and Assessment of Aviation system Risk, Prepared for Federal Aviation Administration (FAA), Center for Risk and Reliability.
- [10] Gupta, J. P, and Edwards, D.W., 2003, A simple graphical method for measuring inherent safety, *J Hazard Mater*, 104: 15–30.
- [11] AFNOR Norme, ‘ *Statistique et Qualité, introduction à la fiabilité* ’, X NF, 06-501, Novembre (1977)
- [12] Zwingelstein. G, ‘ *Diagnostic des défaillances* ’, HERMES, Paris, (1995).
- [13] C. W. Johnson; C. M. Holloway: “A Survey of Logic Formalisms to Support Mishap Analysis”, *Reliability Engineering and Systems Safety*, Volume 80, Issue 3, pp. 271-291, June 2003.
- [14] INCOSE website. 2008. <http://www.incose.org/practice/whatissystemseng.aspx>.
- [15] ISO 12100-1. 2003. Safety of machinery. Basic Concepts, general principles for design. Part 1: Basic terminology, methodology. 52
- [16] Vassakis A G. Safety assessment, reliability, and the probability operation diagram. *IEEE Transactions on Reliability*, 1996;45(1):90–94.
- [17] Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. 2000. *Product Design and Development*. New York: MacGraw-Hill. ISBN 007-123273-7. 366 p.
- [18] American National Standard Z359.1-1992 (R1999). *Safety Requirements for Personal Fall Arrest Systems, Subsystems and Components*

- [19] Vassakis A G. Safety assessment, reliability, and the probability operation diagram. *IEEE Transactions on Reliability*, 1996;45(1):90–94.
- [20] Leveson, N. G. 2005. Safety in Integrated Systems Health Engineering and Management. NASA Ames Integrated System Health Engineering and Management Forum, Napa, November 2005. Aeronautics and Astronautics. Engineering Systems MIT.
- [21] Wang J, Yang JB, Sen P. Safety analysis and synthesis using fuzzy set modelling and evidential reasoning. *Reliability Engineering and System Safety* 1995; **47**(3):103–118.
- [22] Spitzer C. Review of probabilistic safety assessments: insights and recommendations regarding further developments. *Reliability Engineering and System Safety*, 1992;52(2):153–163.
- [23] AFNOR, Maintenance industrielle, Recueil de normes françaises AFNOR, AFNOR-UTE, 1988.
- [24] American National Standard Z359.1-1992 (R1999). *Safety Requirements for Personal Fall Arrest Systems, Subsystems and Components*
- [25] ISO 13849-1. 2006. Safety of machinery . Safety-related parts of control systems . Part 1: General principles for design. 85 p.
- [26] Wang J, Ruxton T, Labrie C R. Design for safety of engineering systems with multiple failure state variables. *Reliability Engineering and System Safety*, 1995;52(3):271–284.
- [27] Berg HP, Kafka P. Developments and practice towards risk based regulations in various technologies. In *Advances in Safety and Reliability (Proc. ESREL '97 Int. Conf. on Safety and Reliability)*, Vol. 1, ed. C. Guedes Soares. Pergamon, 1997, pp. 15–26.
- [28] Druzdzel, M.J. and L.C. van der Gaag, “Elicitation of Probabilities for Belief Networks: Combining Qualitative and Quantitative Information,” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 12(4), 481-486, 2000.
- [29] Goble W, Cheddie H. Control system safety evaluation and reliability. US: ISA; 1998.
- [30] Renooij, S., “Probability Elicitation for Belief Networks: Issues to Consider,” *The Knowledge Engineering Review*, 16(3), 255-269, 2001.
- [31] Summers A. Viewpoint on ISA TR84.0.02—simplified methods and fault tree analysis. *ISA Trans* 2000;39(2):125–31.
- [32] F.I. Khan, P.R. Amyotte, I2SI: a comprehensive quantitative tool for inherent safety and cost evaluation, *J. Loss Prev. Proc. Ind.* 18 (2005) 310–326.
- [33] C. Perrow, *Normal Accidents—Living with High-risk Technologies*, Basic Books, second ed., Princeton University Press, Princeton, USA, 1984
- [34] Haines, Y.Y., 1998. *Risk Modeling, Assessment and Management*. Wiley, New York, NY.
- [35] Siu N. Risk assessment for dynamic systems: an overview. *Reliability Engineering and System Safety*, 1994;43:43–73.
- [36] J. Leplat, Event analysis and responsibility in complex systems, in: A. Hale, B. Wilpert, M. Freitag (Eds.), *After the Event—From Accident to Organisational Learning*, Pergamon, Oxford, 1999, pp. 23–41.
- [37] Christensen, Wayne C. and Fred A. Manuele, ed. *Safety through Design*, National Safety Council, Itasca, Illinois, 1999.
- [38] Ayyub, B.M., *Elicitation of Expert Opinions for Uncertainty and Risks*, New York: CRC Press, 2001.
- [39] Kaiser, G.D., Bearrow, M., Fleger, S., Young, J., 1993. HAZOP-like Methodologies for Distributed

- [40] Kennedy, R.J., 1997. The development of a HAZOP-based methodology to identify safety management vulnerabilities and their associated safety cultural factors. PhD thesis, University of Birmingham, Birmingham.
- [41] Reason, J., *Managing the Risks of Organizational Accidents*. England: Ashgate Publishing Limited, 1997.
- [42] Pagés A. Gondran M., *fiabilité des systèmes*, Edition Eyrolles, 1980.
- [43] Adler, N., Friedman, L., Sinuany-Stern, Z., 2002. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *Eur. J. Oper. Res.* 140, 249–265.
- [44] Embarek M.C., Study of methodologies for risk Assessment in Operational System Safety, *J. Fail. Anal. And Preven.* (2010) 10 :540-544.
- [45] Bowles JB, Pelaez CE. prioritisation of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering and System Safety* 1995; **50**:203–213.



Organigramme de Procédé de Fabrication NH₃

Annexe 2

L'AMDEC est une technique d'analyse qui a pour but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement des machines par la maîtrise des défaillances. Elle a pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement global maximum des machines de production et équipements industriels.

Son rôle n'est pas de remettre en cause les fonctions de la machine mais plutôt d'analyser dans quelle mesure ces fonctions ne peuvent plus être assurées correctement.

L'étude de l'AMDEC machine vise à :

- **Réduire le nombre de défaillances**
 - Prévention des pannes
 - Fiabilisation de la conception
 - Amélioration de la fabrication, du montage, de l'installation
 - Optimisation de l'utilisation et de la conduite
 - Amélioration de la surveillance et des tests
 - Amélioration de la maintenance préventive
 - Détection précoce des dégradations
- **Réduire le 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
- **Améliorer la sécurité**

- Démarche pratique de L'AMDEC MACHINE

Une étude AMDEC comporte 4 étapes successives, soit un total de 21 opérations. La puissance d'une étude AMDEC réside autant dans son contenu que dans son exploitation. Une étude AMDEC resterait sans valeur si elle n'était pas suivie par la mise en place effective des actions correctives préconisées par le groupe, accompagnées d'un contrôle systématique.

L'étude peut être prolongée par des travaux complémentaires tels que les calculs de fiabilité et disponibilité, l'élaboration de plans de maintenance et des aides au diagnostic, etc.

- Etape 1 : Initialisation :

L'initialisation de l'AMDEC machine est une étape préliminaire à ne pas négliger. Elle est menée par le responsable de l'étude avec l'aide de l'animateur, puis précisée avec le groupe de travail. Elle consiste à poser clairement le problème, à définir le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents et informations nécessaires à son bon déroulement [45].

- 1. Définition du système à étudier :** définir le système et ses limites matérielles.
- 2. Définition de la phase de fonctionnement :** définir la phase de fonctionnement et la machine pour laquelle l'étude sera menée.
- 3. Définition des objectifs à atteindre :** définir les objectifs à atteindre, les limites techniques de remise en question du système, le champ possible des interventions à proposer.
- 4. Constitution du groupe de travail :** constituer un groupe de travail pluridisciplinaire, motivé et compétent.
- 5. Etablissement du planning :** définir le planning et la durée des réunions.
- 6. Mise au point des supports de l'étude :** préparer les grilles et la méthode de cotation de la criticité, le tableau de saisie AMDEC machine, les feuilles de synthèse.

- Etape 2 : Décomposition Fonctionnelle

Il s'agit d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer et non de faire l'analyse critique de l'adéquation des fonctions de la machine au besoin.

C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement.

Elle facilite grandement l'étape ultérieure d'analyse des défaillances. Elle permet aussi au groupe d'adopter un langage commun. Les relations entre l'analyse fonctionnelle et l'analyse AMDEC sont données sur le schéma suivant.

La décomposition fonctionnelle utilise les résultats des études fonctionnelles de conception (analyse fonctionnelle, cahier des charges, etc.).

La décomposition fonctionnelle de la machine se prépare hors réunion du groupe. C'est à une personne compétente et qui connaît le mieux la machine de faire la décomposition fonctionnelle. Cette décomposition doit toutefois être validée par le groupe. Les outils tels que le SADT ou le FAST permettent une compréhension aisée de la décomposition.

7. **Découpage du système** : découper en blocs fonctionnels, sous une forme arborescente, selon autant de niveaux que nécessaire et définir le niveau d'étude et les éléments à traiter correspondants.
8. **Identification des fonctions des sous-ensembles** : faire l'inventaire des milieux environnants des sous-ensembles auxquels appartiennent les éléments étudiés dans la phase de fonctionnement retenue et identifier les fonctions de service des sous-ensembles.
9. **Identification des fonctions des éléments** : identifier les fonctions de chaque élément du sous-ensemble dans la phase de fonctionnement retenue.

- Etape 3 : Analyse AMDEC

Elle consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés de la machine, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives pour y remédier.

Cette étape est à mener élément par élément.

C'est le travail essentiel de l'étude où la synergie du groupe doit jouer à fond. Le tableau AMDEC machine est le support de travail de l'étape 3. Il doit être rempli au fur et à mesure des travaux par le rédacteur désigné.

Phase 3a : analyse des mécanismes de défaillance :

Cette phase consiste à examiner comment et pourquoi les fonctions de la machine risquent de ne plus être assurées correctement. On identifie les mécanismes de défaillance des éléments de la machine de manière exhaustive, pour la phase de fonctionnement considérée.

10. **Identification des modes de défaillance** : identifier les modes de défaillances de l'élément en relation avec les fonctions à assurer dans la phase de fonctionnement retenue.

- 11. Recherche des causes :** rechercher les causes possibles de défaillance, pour chaque mode identifié.
- 12. Rechercher des effets :** rechercher les effets sur le système et sur l'utilisateur pour chaque combinaison cause / mode de défaillance.
- 13. Recensement des détections :** rechercher les détections possibles, pour chaque combinaison cause / mode de défaillance.

Phase 3b : estimation de la criticité :

Cette phase consiste à évaluer la criticité des défaillances de chaque élément, à partir de plusieurs critères de cotation indépendants. Pour chaque critère de cotation, on attribue un niveau (note ou indice). Un niveau de criticité en est ensuite déduit, ce qui permet de hiérarchiser les défaillances et d'identifier les points critiques.

L'évaluation de la criticité se fonde sur l'état actuel ou prévu de la machine au moment de l'étude. Les critères de criticité s'expriment dans le tableau AMDEC par leurs niveaux respectifs.

- 14. Estimation du temps d'intervention :** estimer le temps d'intervention de maintenance corrective, pour chaque combinaison cause / mode / effet.
- 15. Evaluation des critères de cotation :** évaluer le niveau atteint par les critères de fréquence, gravité et probabilité de non détection, pour chaque combinaison cause / mode / effet.

Selon les standards automobiles, les critères de cotation sont :

- La fréquence d'apparition d'une défaillance associée au niveau F
- La gravité de la défaillance associée au niveau G
- La probabilité de non détection de la défaillance associée au niveau N

Pour effectuer l'évaluation, on utilise des grilles ou des barèmes de cotation définis selon 3 ou 4 ou 5 niveaux. On s'appuie alors sur :

- Les connaissances des membres du groupe sur les dysfonctionnements
- Les banques de données fiabilité, historiques d'avaries, retours d'expérience, etc.

- 16. Calcul de la criticité :** calculer le niveau de criticité, pour chaque combinaison cause / mode / effet, à partir des niveaux atteints par les critères de cotation.

La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation.

$$C = F \times G \times N \quad (5.1)$$

Phase 3c : proposition d’actions correctives :

Cette phase consiste à proposer des actions ou mesures a amélioratives destinées à faire chuter la criticité des défaillances, en agissant sur un ou plusieurs critères de fréquence, gravité et probabilité de non détection.

17. Recherche des actions correctives : rechercher des actions correctives, pour chaque combinaison cause / mode / effet.

Les actions correctives sont des moyens, dispositifs, procédures ou documents permettant la diminution de la valeur d’un ou de plusieurs niveaux (fréquence, gravite, probabilité de non détection) et par suite la réduction de la criticité. Elles sont de 3 types :

- Actions de prévention des défaillances
- Actions de détection préventive des défaillances
- Actions de réduction des effets

Plusieurs possibilités existent dans la recherche des actions selon les objectifs de l’étude :

- On ne s’intéresse qu’aux défaillances critiques
- On s’intéresse systématiquement à toutes les défaillances
- On oriente l’action à engager selon le niveau de criticité obtenu d’après le tableau ci-après

Tableau 5.4 : Action corrective selon la criticité

NIVEAU DE CRITICITE	EXEMPLES D’ACTIONS CORRECTIVES A ENGAGER
<p>$1 \leq C < 12$</p> <p>Criticité négligeable</p>	<p>Aucune modification de conception</p> <p>Maintenance corrective</p>
<p>$12 \leq C < 16$</p> <p>Criticité moyenne</p>	<p>Amélioration des performances de l’élément</p> <p>Maintenance préventive systématique</p>

$16 \leq C < 20$ Criticité élevée	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments De surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
$C \geq 20$ Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception

18. Calcul de la nouvelle criticité : calculer la nouvelle criticité pour chaque combinaison cause / mode / effet.

- Etape 4 : SYNTHESE :

Cette étape consiste à effectuer un bilan de l'étude et à fournir les éléments permettant de définir et lancer, en toute connaissance de cause, les actions à effectuer. Ce bilan est essentiel pour tirer vraiment parti de l'analyse.

Les synthèses sont effectuées à partir des informations consignées dans le tableau AMDEC.

19. Hiérarchisation des défaillances : hiérarchiser les défaillances selon les niveaux atteints par les critères de criticité, avant ou après les actions correctives.

20. Liste des points critiques : effectuer la liste des points critiques de la machine.

21. Liste des recommandations : établir la liste ordonnée des actions proposées.

Cette liste permet de recenser, voire de classer par ordre de priorité, les actions préconisées. Un plan d'action peut être établi et des responsables désignés. On utilise souvent une grille d'aide à la décision dans laquelle on peut faire apparaître les critères de coût ou de difficulté de mise en place des actions à entreprendre. Il faut agir en priorité sur les causes par des actions de prévention. Le critère de coût n'apparaît qu'à ce stade de l'analyse.

Tableau 5.5 : Exemple de cotation proposée

FREQUENCE : F	
1	1 défaillance maxi par an
2	1 défaillance maxi par trimestre
3	1 défaillance maxi par mois
4	1 défaillance maxi par semaine
GRAVITE (INDISPONIBILITE) : G	

1	Pas d'arrêt de la production
2	Arrêt \leq 1 heure
3	1 heure < arrêt \leq 1 jour
4	Arrêt > 1 jour
NON DETECTION : N	
1	Visite par opérateur
2	Détection aisée par un agent de maintenance
3	Détection difficile
4	Indécelable

Le calcul de la criticité se fait, pour chaque combinaison cause / mode / effet, à partir des niveaux atteint par les critères de cotation. La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation.

ملخص

طورت الكثير من المنهجيات و طرق تحليل الخطر الصناعي لتحكم و إدارة الأخطار الصناعية المهمة. تمثل كل هذه الطرق الأمن الصناعي الفعلي والعملي. في الحقيقة يصعب علينا اختيار المنهجية و الطريقة الصحيحة لتحليل الخطر الصناعي المناسب حتى يسمح لنا التحصل على نتائج أكثر فائدة ونفعا.

في هذا العمل درست 35 عينة وطرق ليسمح لنا بالاقتراح و الابتكار منهجية تعيننا في اختيار الطريقة المناسبة و الصحيحة لدراسة الأخطار الصناعية الفعلية في وضعية مميزة.

بعد البحث و الدراسة لاحظنا أن هذه الطرق لتحليل الخطر تكون إما تجريبية أو إحصائية أو كلتاهما معاً، و في أي من الحالات تكون الطريقة إما طريقة كمية أو طريقة كمية.

دراسة و مراجعة المعطيات الابتدائية التي تدخل في الطريقة و النتائج المحصل عليها من الطريقة تسمح لنا أن نقسم هذه المعطيات و النتائج إلى أصناف مختلفة، و لفهم دور و فائدة كل طريقة ربطت أصناف المعطيات مع الطرق و ربطت الطرق بالنتائج.

الفائدة من هذا العمل هو اختيار الطريقة المثالية لدراسة الأخطار الفعلية بين كل الطرق بالنسبة لوضعية خاصة و بالنسبة لمعطيات مميزة في حالة صناعية مشخصة و حسب النتائج المطلوبة و المختارة.

Abstract:

In certain companies, the failure of strategic machines of production causes, directly, very expensive losses and indirectly the survival of the company is threatened. The insurance of operational safety and the quality insurance of maintenance are a need and a requirement.

In order to ensure a good operational safety, several methodologies for risk analysis have been developed to manage major industrial risks. All of these developed scientific methodologies represent the discipline of operational system safety. In the industrial activities, it is often difficult to choose and to find the best and the most appropriate methodology for a given situation which allows us to obtain the most complete and benefic results. In this paper, 35 methods were identified to be studied that will allow us to choose and eventually develop the most appropriate methodology in a given situation. We found that these methods are either empirical, statistical or both at the same time and in any case they may be either qualitative or quantitative. The review of all input and output data used permits us to divide them into different classes. To understand the usefulness and role of each methodology links were developed between different classes of input data and different types of methodologies on the one hand and on the other hand links between the different classes of output data and methodologies. This work shows the judicious way to choose or develop the methodology for risk analysis the most appropriate depending on the situation to be analyzed, the availability of the basic input data and the type of results needed.

Résumé

Dans certaines entreprises, l'arrêt de machines stratégiques de production provoque, directement, des conséquences très coûteuses, et indirectement la survie de l'entreprise et mise en jeu. Le cout de la maintenance est en général négligeable par rapport aux pertes de production pendant l'arrêt des installations stratégiques de production. L'assurance de la disponibilité des machines est donc un besoin et une exigence.

Afin d'assurer une bonne sûreté de fonctionnement des systèmes, plusieurs méthodologies d'analyse des systèmes ont été développées afin de contrer et gérer les risques majeurs de défaillance. La grande difficulté est de bien choisir la méthodologie appropriée qui convient aux problèmes réels. Dans ce document, 35 méthodes ont été identifiées afin de faire une étude qui nous permettra de bien choisir la méthodologie la plus judicieuse dans une situation donnée. Dans le but de comprendre le rôle de chaque méthode d'analyse, il a été indispensable de revoir toutes les données de départ utilisées et de classer les inputs en six groupes (plans et spécifications techniques, opération et process, substances et produits utilisés, fréquences et probabilités, politique de gestion, environnement historique et règlements). Les données d'output ont aussi été classées en trois classes (gestion, statistique, classification et listing). Afin de comprendre l'utilité et le rôle de chaque méthodologie des liens ont été élaborés entre les différents groupes de données de départ et les différents types de méthodologies d'une part et les liens entre les données de sortie et les méthodologies d'autre part. Ce travail présente la manière pragmatique pour faire le choix de la méthodologie d'analyse des risques la plus appropriée en fonction de la situation à étudier, la disponibilité des données de départ et le type de résultats escomptés.