République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

UNIVERSITÉ YAHIA FARES DE MÉDÉA

Faculté De Technologie

Département de Génies des procédés et environnement

Mémoire de fin d'études de Master

Spécialité : Hygiène et sécurité industrielle

Thème

Déploiement d'un système de management du risque industriel

Disposé par :

- OUSALEM Yazid
- ZERHOUNI Khaled

Promoteur :

- Mr. RAHMANI Ahmed Chérif

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Avant tout nous remercions « Allah » tout puissant qui nous a donné le courage la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail. Merci de nous avoir éclairer le chemin de la réussite.

Nous souhaitons tout d'abord remercier l'administration et les professeurs de la faculté technologie et tout qui nous donné le courage pour contenu notre étude.

Nous adressons nos plus vifs remerciements notre encadreur Mr. RAHMANI Ahmed Chérif pour ses conseils et son suivi durant la Période de la réalisation de ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

D'abord, louange à « Allah » qui nous avons guidé sur le droit chemin tout au long du travail et qui nous avons inspiré les bons pas et les justes réflexes, sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Je dédie ce mémoire à :
Tous ceux qui se sont donné toutes les peines et les Sacrifices,

Pour me voir réussir dans la vie.
Les deux personnes les plus chères à mon cœur, ma Mère et mon père, qui m'ont apporté soutien et Confort tout au long de mes études.

Mon frère Et la famille OUSALEM et MELIANI
Mon binôme « Khaled» et sa famille « ZERHOUNI »
Tous mes amis que j'aime et respecte. Mes collègues du groupe HSI sont tous mes amis sans exception. Et sans oublier mes professeurs qui m'ont soutenu tout au long de mes années scolaires.

OUSALEM Yazid

Dédicace

D'abord, louange à « Allah » qui nous avons guidé sur le droit chemin tout au long du travail et qui nous avons inspiré les bons pas et les justes réflexes, sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Je dédie ce mémoire à :

Tous ceux qui se sont donné toutes les peines et les Sacrifices,

Pour me voir réussir dans la vie.

Les deux personnes les plus chères à mon cœur, ma Mère et mon père, qui m'ont apporté soutien et Confort tout au long de mes études.

Ma femme

Mes frères et Mes sœurs

Et la famille Zerhouni

Mon binôme « Yazid » et sa famille Tous mes amis que j'aime et que j'estime.

Mes collègues du groupe HSI

Tous mes amis sans exception.

Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu Durant toutes mes années d'études.

ZERHOUNI Khaled

نبذة مختصرة

مع ارتفاع حوادث العمل المتعلقة بالآلات، وجد المصممون أنفسهم في أمس الحاجة لتصميم آلات أمنة. هذا التفكير جعل الارتقاء في مجال التنظيم والمقاييس واضح وجلي. وكمثال على هذا، منهجية تحليل أخطار الآلات وتقييمها من أجل التطرق إلى تقليصها والتي هي معرفة في المقاييس (ISO 12100 , ISO 14121)

وعليه فإن هاته المقاييس تدخل في إطار منهجي يبدأ بتحليل أخطار الآلات بطريقة متواصلة ومعادة إلى غاية الوصول إلى الأهداف الأولية. في هذا السياق الذي يخص بحثنا من خلال منهجية تحليل أخطار الآلات حول الظواهر الخطيرة خلال تنفيذ المهمة (الإنسان، الآلة) والذي يحتاج إلى إدخال مفهوم الأولويات الخاصة. من أجل هذا، أكملنا هاته المسيرة بالتطرق إلى تقسيم TPFحتى يتسنى لنا تقويم الظواهر الخطيرة، وانتقاء المتطلبات الأمنية وكذلك الحصول على المستوى الممكن لأمن الآلات.

الكلمات المفتاحية:

المقاييس ايزو , أخطار الآلات , التحليل , TPF , الظواهر الخطيرة , التقويم

Abstract

With the increasing number of work accidents related to machines, designers are compelled to develop what are known as safe machines. This consideration has made regulatory and normative development more apparent. This is the case, for example, with the methodology of machine risk analysis and evaluation for recommended reduction as specified by ISO 14121 and ISO 12100 standards.

Indeed, these standards introduce a methodology that continuously and iteratively analyzes machine risks until the initial objectives are achieved. It is within this context that our work integrates, focusing on hazardous phenomena during task execution (human vs. machine) as part of the machine risk analysis methodology, which requires the integration of performance indicator prioritization. To accomplish this, we have supplemented this approach with a TPF (Task-Piece-Function) decomposition to capitalize on these hazardous phenomena and optimize safety requirements, aiming to achieve the highest possible level of machine safety.

Keywords: ISO standards, machine risks, analysis, Task-Piece-Function, hazardous phenomena, capitalization**.**

Résumé :

Avec l'augmentation des accidents du travail liés aux machines, les concepteurs se trouvent dans l'obligation de concevoir des machines dites sûres. Cette réflexion a rendu le développement règlementaire et normatif très apparent. C'est le cas, par exemple de la méthodologie d'analyse des risques-machines et de leur évaluation en vue de leur réduction recommandée par les normes .ISO14121 & ISO12100

En effet, ces normes introduisent une méthodologie qui analyse les risques-machines de manière continue et itérative jusqu'à ce que les objectifs initiaux soient atteints. C'est dans ce contexte que s'intègre notre travail qui consiste à se focaliser, dans le cadre de cette méthodologie d'analyse des risques-machines, sur les phénomènes dangereux pendant l'exécution des tâches (homme vs machine) qui nécessitent l'intégration de la priorisation des indicateurs de performance. Pour cela, nous avons complété cette démarche par une décomposition TPF dans le but de capitaliser ces phénomènes dangereux afin d'optimiser les exigences sécuritaires et d'obtenir le niveau le plus possible de la sécurité des machines.

Mots-clés : Normes ISO, Risques-machines, Analyse, Tâche-Pièce-Fonction, Phénomènes Dangereux, Capitalisation.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste de figures

Liste de tableaux

Acronymes et Abréviations

Introduction générale 1

1. Problématique 1
2. Objectif 2
3. Organisation du mémoire 2

Chapitre I 4

I.1- Introduction 5
I.2.2- Système de commande / Partie opérative 7
I.2.3- Circuits de commande et de puissance 8

I.3- Les risques liés aux machines 9
I.3.1- Risque mécanique 10
I.3.2- Autre risques 11

I.4- Prévention des risques liés aux machines 12

I.5- Risques machines et accidents de travail 13
I.5.1- Lien causal entre risques machines et accidents de travail 13
I.5.2- Analyse statistiques des accidents de travail liés aux machines 14
I.5.3- Principaux facteurs de risques d'accidents 15

I.6- Objectifs de la sécurité des machines 15

I.7- Notions de conception et de conception sûre 16

I.8- Relation Conception / Exploitation pour une intégration des contraintes d'exploitation en conception 18
I.8.1- Contraintes de la conception propagée en exploitation 18
I.8.2- Des utilisateurs en conception 18
I.8.3- Notion de retour d'expérience (REX) 19
I.8.4- Notion de législation en matière de sécurité des machines 20
I.8.5- Notion de normes en matière de sécurité des machines 21

I.9- Conclusion 22

Chapitre II 23

II.1- Introduction 24

II.2- Synthèse de la démarche concrète de prévention 24

II.3- Les aspects réglementaire 27

II.3.1- La réglementation européenne (Directive Machine) 27
II.3.2- La réglementation algérienne 30
II.3.3- Synthèse sur la règlementation algérienne et européenne 33

II.4- Les aspects normative 34
II.4.1- La sécurité et son environnement 34
II.4.2- La normalisation en sécurité des machines et son environnement 37

II.5- Conclusion 40

Chapitre III 41

III.1- Introduction 42
III.2- Démarche normative de la gestion des risques machines 42
III.2.1- Processus accidentel 42
III.2.2- Etapes de la démarche de gestion des risques machines 43
III.2.3- Remarques concernant les étapes de la gestion des risques machines 50
III.3- Capitalisation des phénomènes dangereux liés à la machine 51
III.3.1- Analyse des risques 51
III.3.2- Détermination des mesures pour réduire les risques estimés 57

III.4- Conclusion 58

Chapitre IV 59

IV.1- Introduction 60
IV.2- Le complexe FERTIAL de Annaba « Site d'étude » 60
IV.2.1- Description succincte de l'usine 60
IV.2.2- Choix de la machine d'étude 62
IV.3- Gestion des risques-compresseur HP/BP 103J 65
IV.3.1- Analyse des risques 65
IV.3.2- Les mesures sécuritaires optimisées 71

IV.4- Discussion des résultats obtenus 73

IV.5- Conclusion 74

Conclusion générale 75

1- Travail réalisé 75

2- Perspectives envisageables 76

Bibliographie du mémoire 77

Annexe n°01 81

Annexe n°02 82

Liste des figures

Chapitre I	P
Figure I.1 : *Représentation schématique générale d'une machine (NF EN 292-1, 1991).*	**6**
Figure I.2 : *Chaîne des événements conduisant à l'accident d'après (Marsot & al., 2003).*	**7**
Figure I.3 : *Exemples illustrant différents phénomènes dangereux d'origine mécanique (Balaise & al., 2012).*	**9**
Figure I.4 : *Les facteurs ergonomiques (BIT, 2013).*	**10**
Figure I.5 : *Les principes généraux de prévention d'après (Droit Org, 2014).*	**11**
Figure I.6 : *La démarche d'analyse des risques machines.*	**13**
Figure I.7 : *Classification des accidents dus aux machines en 2004 selon la branche d'activité (CNAS, 2004).*	**13**
Figure I.8 : *Positionnement des notions « d'Utilisateur » et « de Concepteur » d'une machine (Blaise, 2000).*	**16**
Figure I.9: *Mise en évidence des contraintes liées à la conception en exploitation des machines (Blaise, 2000).*	**17**
Figure I.10 : *Relation « Concepteur / Utilisateur » d'après (Blaise, 2000).*	**18**
Figure I.11 : *Emergence d'une relation « Conception machine / Exploitation machine » via la notion de « Retour d'expérience » d'après (Blaise, 2000).*	**18**
Figure I.12: *Une relation « Concepteur / Utilisateur » via le domaine de la « législation » d'après (Blaise, 2000).*	**20**
Figure I.13 : *Positionnement du contexte législatif et normatif par rapport à la conception d'après (Blaise, 2000).*	**21**
Chapitre II	**P**
Figure II.1 : *Positionnement des règles de sécurité des machines et mécanisme dans le décret exécutif N° 91-05.*	**31**
Figure II.2 : *La situation globale du travail et son environnement (Pomian & al., 1997).*	**33**
Chapitre III	**P**
Figure III.1- *Processus accidentel et processus chronique (Champoux, 2006).*	**40**
Figure III.2- *Processus itératif de la gestion des risques machines selon (ISO 14121, 1999 ; ISO 12100-1, 2003).*	**41**
Figure III.3 : *Eléments du risque selon (ISO 14121, 1999).*	**43**
Figure III.4 : *Logigramme de risque d'après (CSST, 2004).*	**43**
Figure III.5 : *Exemples de protecteurs fixes constitués de grillage et de cornières, empêchant l'accès au mécanisme de transmission et munis de fixations imperdables (Blaise & al., 2012).*	**46**
Figure III.6 : *Tapis ou planché sensible (Blaise & al., 2012).*	**47**
Figure III.7 : *Relations « Tâche » → « Pièce » → « Fonction ».*	**50**
Figure III.8 : *Relation « Fonction / Phénomène dangereux ».*	**51**
Figure III.9 : *Capitalisation des phénomènes dangereux par la relation « Tâche / Phénomène dangereux ».*	**52**

Chapitre IV	P
Figure IV.1 : *Localisation du complexe FERIAL (Khellaf & Zegaoula, 2014).*	**57**
Figure IV.2 : *Compresseur (HP/BP) 103J.*	**61**
Figure IV. 3 : *Positionnement de notre démarche par rapport aux méthodes classiques d'analyse des risques.*	**70**

Liste des tableaux

Chapitre I	P
Tableau I.1 : *Définitions de la machine selon le code de travail d'après (Droit Org, 2014).*	**5**
Tableau I.2 : *Principaux risques liés aux machines (autre que mécaniques).*	**10**
Chapitre II	**P**
Tableau II.1: *La démarche concrète de prévention (INRS, 2011).*	**22**
Tableau II.2 : *Liste des articles relatifs à la nouvelle directive « DM 2006/42/CE ».*	**27**
Tableau II.3 : *Liste des annexes relatives à la nouvelle directive « DM 2006/42/CE ».*	**28**
Tableau II.4 : *Présentation de quelques lois et décrets relatifs à la sécurité d'après (Embarek, 2011).*	**29**
Tableau II.5 : *Représentation du système normatif en sécurité des machines.*	**36**
Chapitre III	**P**
Tableau III.1 : *Les différents types des limites de la machine.*	**48**
Tableau III.2 : *Définitions du concept « Tâche ».*	**49**
Tableau III.3 : *Définitions du concept « Fonction ».*	**50**
Chapitre IV	**P**
Tableau IV.1 : *FERIAL d'Annaba par les chiffres (FERTIAL News, 2014).*	**57**
Tableau IV.2 : *Extrait des quelques accidents liés à la FPAE.*	**58**
Tableau IV.3 : *Historique des pannes du compresseur (HP/BP) 103J (Embarek, 2011).*	**60**
Tableau IV.4: *Caractéristiques techniques du compresseur BP 103J d'après (Embarek, 2011).*	**62**
Tableau IV.5: *Caractéristiques techniques du compresseur HP 103J d'après (Embarek, 2011).*	**62**
Tableau IV.6 : *Statistiques des pannes de certaines pièces de la machine étudiée d'après (Embarek, 2011).*	**63**
Tableau IV.7 : *Fonctions des pièces du compresseur HP/BP 103J.*	**64**
Tableau IV.8 : *Décomposition TPF lié au compresseur HP/BP 103J.*	**64**
Tableau IV.9 : *Indices des risques des phénomènes dangereux retenus.*	**66**
Tableau IV.10 : *Mesures associées aux phénomènes dangereux priorisés.*	**67**
Tableau IV.11 : *Les actions formatives au cours du mois de janvier et février (FERTIAL News, 2014).*	**68**

Acronymes et Abréviations

AdE : Arbre des évènements

AdD : Arbre des défaillances

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances et leurs Effets, et leurs Criticité

ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents

AT /MP: Accidents du Travail, Maladies Professionnelles

BARPI : Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles

BIT : Bureau International du Travail

CdV : Cycle de Vie

CEN : Comité Européen de Normalisation

CETIM : Centre Technique des Industries Mécaniques

CNAS : Caisse Nationale des Assurances Sociales des Travailleurs Salaries

CM : Conception des Machines

CSST : Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail

DM : Directive Machine

EEE : Espace Economique Européen

EESS : Exigences Essentielles de Santé et de Sécurité

EvRP : Evaluation des Risques Professionnelles

GRM : Gestion des Risques Machines

HP/BP : Haute pression/Basse pression

INRS : Institut National de la Recherche et de Sécurité

ISO : International Organization for Standardization

PhD : Phénomène Dangereux

REX : Retour d'Expérience

RM : Risques Machines

S&ST : Santé & Sécurité au Travail

SM : Sécurité des Machines

TPF : Tâche-Pièce-Fonction

UE : Union Européenne

Introduction générale

1. Problématique

La protection de la Santé et de la Sécurité des Travailleurs (S&ST) et la réduction des Accidents du Travail (AT) sont des préoccupations majeures des législateurs, des normalisateurs ainsi que des industriels qui déploient des démarches pour faire face au problème récurrent des AT. La sécurité des machines et des installations est un élément essentiel de ces démarches. Ainsi, les directives internationales et plus particulièrement européennes (Directive 2006/42/CE)[1] stipulent que les machines concernées, doivent satisfaire aux exigences essentielles de S&ST:

- respecter le principe d'intégration de la sécurité dès la conception,
- effectuer une analyse de risque et fournir une notice d'instructions,
- constituer un dossier technique de construction,
- apposer le marquage CE et établir une déclaration CE de conformité.

De plus et dans le cadre de la phase de conception des machines, la directive européenne Machine "2006/42/CE", par les exigences essentielles de sécurité qu'elle contient, précise par exemple que « *les machines doivent, par construction, être aptes à assurer leur fonction, à être réglées et entretenues sans que les personnes soient exposées à un risque lorsque ces opérations sont effectuées dans les conditions prévues par le fabricant* ».

Dans le domaine de la prévention des accidents du travail liés à l'utilisation d'une machine, il est nécessaire de mettre en œuvre un processus global d'analyse des risques pour juger si les objectifs de réduction du risque ont été atteints (élimination des phénomènes dangereux). C'est dans ce contexte que s'intègre ce présent travail qui a pour objet d'apporter des éléments de réponse à la problématique de la Gestion des Risques Machines (GRM) en industries. La démarche méthodologique retenue dans notre travail a

[1] Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux machines. Journal Officiel de l'Union Européenne n° L 157/24 du 9 juin 2006.

pour vocation la priorisation des exigences de sécurité pendant l'exécution d'une tâche bien déterminée.

2. Objectif

Sur la base de ce qui précède, le but essentiel de ce mémoire est d'intégrer la priorisation des indicateurs dans le domaine de la gestion des risques machines ainsi que pendant la phase de conception (principe de combattre le risque à la source).

3. Organisation du mémoire

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire, développé en quatre chapitres, s'organise de la façon suivante :

- Le premier chapitre, intitulé "Sécurité des machines : notions fondamentales et principes généraux de conception" débute par une présentation de quelques concepts et définitions fondamentaux liés au système machine. Ces rappels sont suivis par une présentation des risques machines ainsi que les principes généraux de leur prévention. Nous abordons, ensuite, le lien entre les risques machines et les accidents du travail afin d'identifier les objectifs de Sécurité des Machines (SM). Enfin, nous examinons en détail les aspects liés à la Conception des Machines (CM).

- Le deuxième, relatif aux aspects règlementaires et normatifs de la sécurité des machines sera consacré, dans un premier temps, aux démarches concrètes de prévention pendant le cycle de vie d'une machine. Dans un second temps, nous abordons l'aspect règlementaire (européen et algérien) en matière de la sécurité des machines. Cela nous permet de faire le point sur notre règlementation en matière de la SM. Ce chapitre s'achève par une présentation de l'aspect normatif de la SM.

- Le troisième chapitre, dédié à la GRM, permet dans un premier temps de présenter la démarche normative de la GRM : de l'analyse des RM jusqu'à leur réduction. Dans un second temps, il présente une méthode de capitalisation des phénomènes dangereux que nous proposons pour compléter cette démarche. Notre intérêt s'est porté sur la sélection des phénomènes dangereux car ils constituent le point décisif entre l'appréciation et la réduction des risques-machines, d'une part, et par ce que notre motivation consiste également en une optimisation de la sécurité des machines moyennant la réduction des risques-machines, d'autre part.

- Le quatrième et dernier chapitre présentera l'application de la démarche de GRM dans le but d'illustrer le niveau d'appropriation de la démarche adoptée.

Nous concluons notre travail en dressant un bilan provisoire de nos contributions ainsi que les perspectives envisageables.

Enfin, certaines informations complémentaires et utiles à notre étude sont regroupées en annexes.

Chapitre I :

Sécurité des machines : notions fondamentales et Principes généraux de conception

I.1- Introduction

La sécurité est un besoin fondamental de l'homme. Les études montrent que les personnes soumises à des situations de stress permanent sont plus fréquemment sujettes à des maladies psychosomatiques (Audin, 2009). Bien que l'homme puisse s'adapter à long terme à des situations extrêmes, cela entraîne une contrainte individuelle très élevée. L'objectif est donc le suivant : les opérateurs et le personnel de maintenance doivent pouvoir faire confiance à la sécurité d'une machine.

Les exigences de sécurisation des machines ont évolué avec l'automatisation croissante des systèmes (Evrot, 2008). Auparavant, les dispositifs de sécurité étaient considérés comme une gêne dans le processus du travail, c'est pourquoi ils étaient souvent ignorés. L'innovation technologique a permis d'intégrer les équipements de protection dans le processus de travail. Ainsi, ils ne représentent plus un obstacle pour les opérateurs mais, souvent, améliorent même la productivité. C'est pour cette raison que des équipements de protection fiables et intégrés aux processus de travail sont devenus indispensables.

Le but de présent chapitre est d'effectuer un passage en revue de certaines notions fondamentales et des principes généraux de conception qui sont liées à la sécurité des machines.

I.2- Description d'une machine

I.2.1- *Définitions*

Les machines font partie des équipements de travail qui permettent de convertir l'énergie qu'ils utilisent, par le bais des mécanismes, pour agir sur de la matière la travailler et la transporter.

Ils existent plusieurs sources de définitions liées au terme « machine », à savoir : les normes ISO (ISO 14121, 1999) & (ISO 12100-1, 2003), La directive machine[1] 2006/42/CE, le code du travail (Droit Org, 2014), … etc. Cette dernière source renferme toutes les définitions concernant le domaine de la machine (tableau I.1).

Tableau I.1 : *Définitions de la machine selon le code de travail d'après (Droit Org, 2014).*

Machine	- Ensemble équipé ou destiné à être équipé d'un système d'entraînement autre que la force humaine ou animale appliquée directement, composé de pièces ou d'organes liés entre eux dont au moins un est mobile et qui sont réunis de façon solidaire en vue d'une application définie. - Ensemble de machines ou de quasi-machines qui, afin de concourir à un même résultat, sont disposées et commandées de manières à être solidaires dans leur fonctionnement. Cela signifie que plusieurs machines ou quasi-machines liées fonctionnellement constituent une seule machine : c'est le cas par exemple d'une ligne de production automatique.
Quasi-machine	Ensemble qui constitue presque une machine, mais qui ne peut assurer à lui seul une application définie. Une quasi-machine est uniquement destinée à être incorporée ou assemblée à d'autre machines ou à d'autre quasi-machines ou équipements en vue de constituer une machine. Un système d'entraînement est une quasi machine.
Equipements de travail	Machines, appareils, outils, engins, matériels et installations.

Rappelons que la machine est destinée à être utilisée dans un environnement dangereux, présentant des risques pour la sécurité et la santé de l'opérateur. La machine est elle-même peut être à l'origine d'un environnement dangereux. Conséquemment, des mesures appropriées devraient être prises pour garantir de bonnes conditions de travail à l'opérateur et pour le protéger contre tout danger prévisible.

Dans la suite de ce mémoire, nous considérons la machine comme étant un système et nous retenons, donc, le terme « système machine ».

[1] Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux machines. Journal Officiel de l'Union Européenne n° L 157/24 du 9 juin 2006.

I.2.2- *Système de commande / Partie opérative*

Le système de commande d'un équipement de travail est constitué des circuits qui élaborent les ordres destinés au processus ou à la machine et à l'opérateur (signalisation) à partir des informations de la partie opérative, des entrées externes (consignes) et de l'état du système (figure I.1).

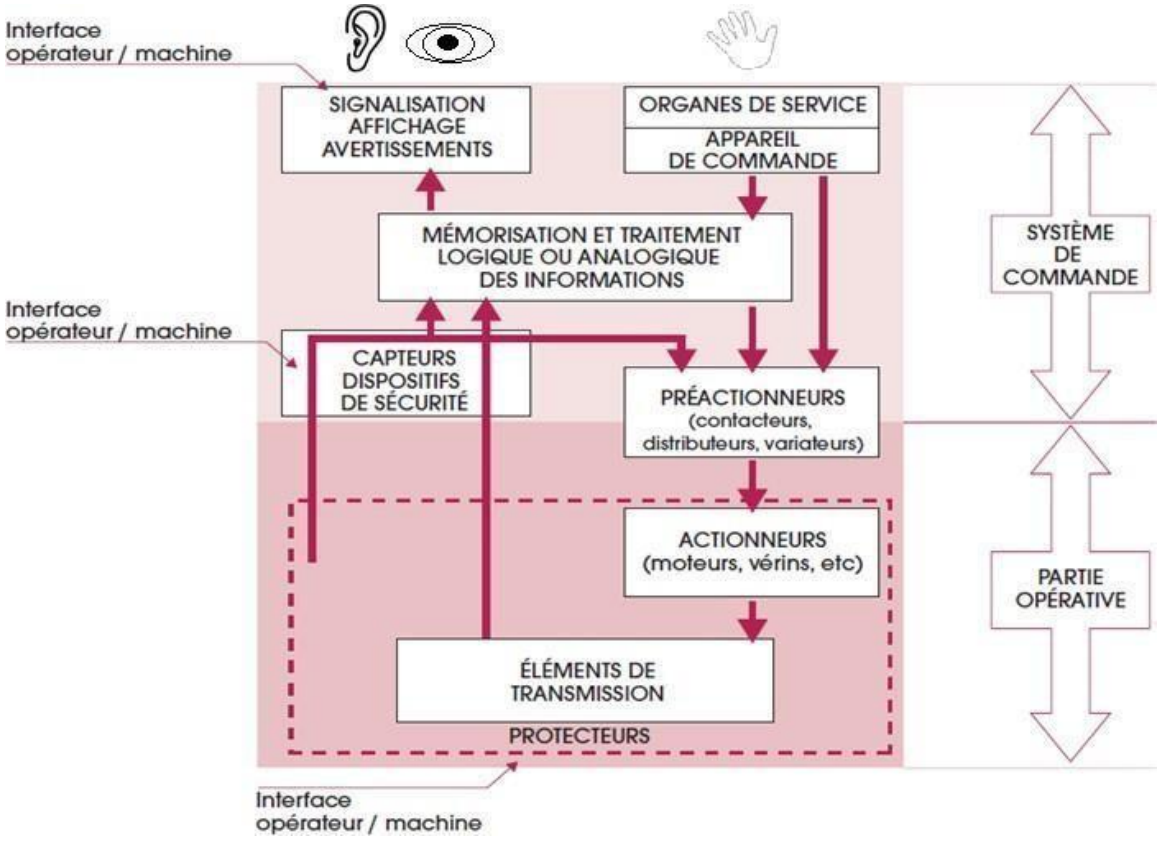


Figure I.1 : *Représentation schématique générale d'une machine (NF EN 292-1, 1991).*

Le système de commande comprend les dispositifs de signalisation, de commande (écran, pupitre, etc.), la partie traitant les informations logiques ou analogiques (automate programmable, micro-ordinateur, relais électromécanique, etc.), les dispositifs de sécurité (barrage immatériel, tapis sensible, scrutateur laser, dispositifs de verrouillage, etc.) et les capteurs. Il peut être réalisé par une combinaison des technologies suivantes (Marsot & al., 2003) : électromécanique (relais, interrupteurs de position, etc.), pneumatique, hydraulique et électronique (circuits analogique et numériques programmables).

La partie opérative, constituée par le processus que l'on souhaite piloter, exécute des tâches physiques et agit directement sur la matière d'œuvre à partir des ordres envoyés par le système de commande et renvoie à cette dernière des informations sur son état ou son

environnement. Ses principales fonctions sont : la transformation de l'énergie et des efforts, l'adaptation de l'énergie et l'action sur la matière d'œuvre.

Elle comprend principalement les actionneurs (moteurs, vérins, etc.) et les effecteurs (pinces, outils actifs). Pendant la phase d'exploitation, la partie opérative constitue la principale zone de dangers auxquels sont exposés les opérateurs de la machine. De ce fait, la mise en sécurité du personnel nécessite d'agir, via le circuit de commande, sur le (s) pré-actionneur(s) qui commande(nt) les actionneurs susceptibles d'entrainer des mouvements dangereux.

I.2.3- *Circuits de commande et de puissance*

En Sécurité des Machines (SM), un Accident de Travail (AT) est une séquence d'évènements liés par des relations en conjonction (figure I.2). En effet, un équipement de travail, de par les énergies en présence (de nature : électrique, thermique, cinétique, … etc.), est considéré comme étant une entité dangereuse. Associer à ce sous-système technique une présence humaine implique l'occurrence de situations potentiellement dangereuses. Toute situation potentiellement dangereuse ne conduit pas pour autant au dommage ; encore faut-il que l'enchaînement des différentes étapes soit conditionné par autres facteurs : persistance de phénomènes dangereux, apparition d'événements critiques, non-possibilité d'évitement.

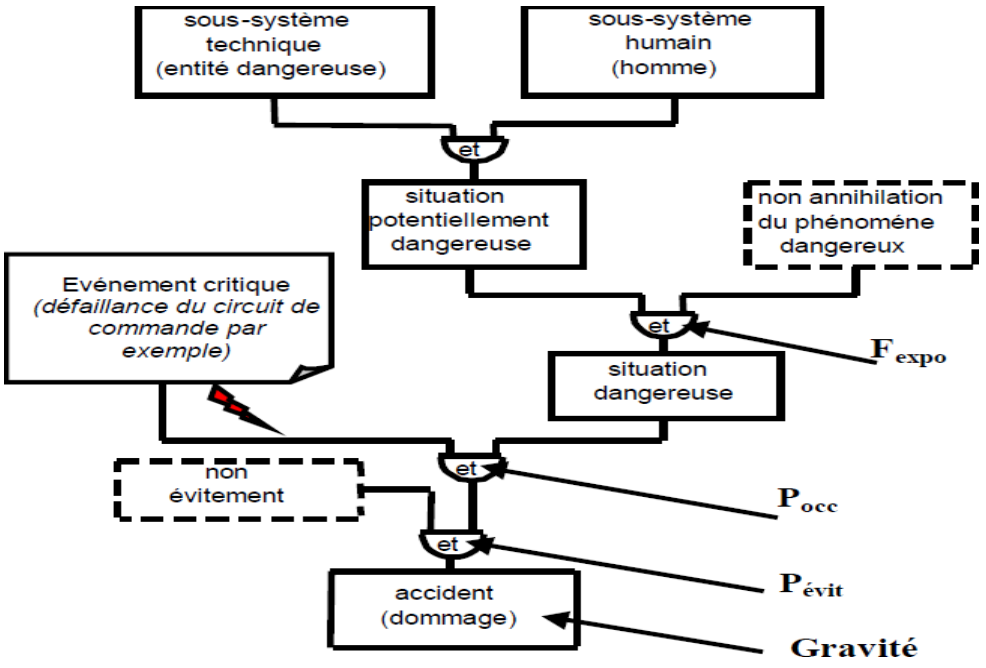


Figure I.2 : *Chaîne des événements conduisant à l'accident d'après (Marsot & al, 2003).*

Le Risque Machine (RM) est donc en fonction de la gravité (**G**) et la probabilité d'occurrence de la blessure ou dommage encouru (ISO 14121, 1999). Cette probabilité dépend elle-même de trois paramètres :

- la fréquence et/ ou la durée d'exposition (**F_{expo}**),
- la probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (**P_{occ}**). Cette probabilité d'occurrence peut d'être d'origine humaine (manœuvre inappropriée,…) ou technique (défaillance de composant, erreur logicielle, … etc.),
- la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage (**$P_{évit}$**).

Le niveau de risque généré par un phénomène dangereux peut alors être évalué par un indice de risque «R », fonction de ces différents paramètres :

$$R = f\,(G, F_{expo}, P_{occ}, P_{évit}) \qquad [1]$$

Les circuits de puissance et de commande d'une machine contribuent très souvent à la réduction du (des) risque(s) encouru(s) par les opérateurs (Marsot & al, 2003). C'est notamment le cas lorsqu'ils assurent des fonctions d'auto-surveillance[2], de tests périodiques, de mise et/ou de maintien à l'arrêt des éléments dangereux, … etc. Plus la contribution de ces circuits à la réduction du (des) risque(s) est importante, plus leur aptitude à résister aux défauts[3] doit être élevée.

I.3- Les risques liés aux machines

Des milliers de machines sont utilisées chaque jour à des fins industrielles ou manufacturières, et font courir des risques aux utilisateurs. L'employeur doit identifier les risques liés aux machines au même titre que les autres risques. Il peut se faire aider dans cette identification par le service S&ST.

---

[2] Selon (NF EN 292-1, 1991): Fonction de sécurité indirecte grâce à laquelle une action de sécurité est déclenchée si l'aptitude d'un composant ou d'un constituant à assurer sa fonction diminue, ou si les conditions de fonctionnement sont modifiées de telle façon qu'il en résulte un risque. Il existe deux catégories d'auto-surveillance :

- Auto-surveillance « continue », par laquelle une mesure de sécurité est immédiatement déclenchée lorsque se produit une défaillance,
- Auto-surveillance « discontinue », par laquelle une mesure de sécurité est déclenchée pendant un cycle ultérieur du fonctionnement de la machine si une défaillance s'est produite.

[3] Selon (ISO 13894-1, 1999) : État d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, non compris l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou due à un manque de moyens extérieurs.

Les principaux risques-machines sont rappelées ci-après.

I.3.1- *Risque mécanique*

Le risque prépondérant présenté par les machines est le risque mécanique (INRS, 2011) qu'est l'ensemble des facteurs physiques pouvant être à l'origine d'une blessure par l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, ou de matériaux solides ou de fluides projetés (figure I.3).

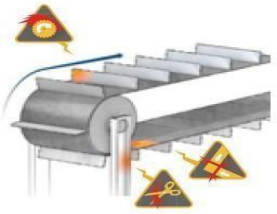
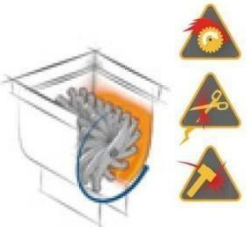
<table>
<tr><th colspan="2">Eléments mobiles de transmissions (exemples)</th><th colspan="2">Eléments mobiles concourant au travail (exemples)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Engrenage</td><td>Roue à chaîne</td><td>Transporteur à bande, à auge</td><td>Broyeur</td></tr>
<tr><td colspan="4">
</td></tr>
</table>

Figure I.3 : *Exemples illustrant différents phénomènes dangereux d'origine mécanique (Blaise & al, 2012).*

Le risque mécanique prend différentes formes (écrasement, cisaillement, coupure, happement, entrainement, emprisonnement, choc, chute, … etc) et a pour origine les éléments mobiles des machines. Il peut être lié par exemple à : des *éléments de transmission* (chaines, courroies, engrenage), des *éléments mobiles concourant au travail* (un mandrin et son outil), la *mobilité des équipements* (engins de terrassement) et au *levage de charges* (grue).

Parmi les risques mécaniques liés aux machines, citons les risques (BIT, 2013) : de perte de stabilité, de rupture en service, dus à la chute ou à l'éjection d'objets, dus aux surfaces, dus aux arêtes, dus aux angles, liés aux machines combinées, liés aux fluctuations des conditions d'utilisation et aux mouvements non commandés.

I.3.2- *Autre risques*

Les procédés de fabrication mis en œuvre, les produits, les matières ou les matériaux employés, les sources d'énergie qui alimentent les machines, les émissions produites lors de leur fonctionnement sont à l'origine de nombreux autres risques (tableau I.2).

Tableau I.2 : *Principaux risques liés aux machines (autre que mécaniques).*

- Alimentation en énergie électrique - Electricité statique - Alimentation en énergie autre qu'électrique - Erreurs de montage - Températures extrêmes - Effet du climat - Incendie, Explosion - Bruit et vibrations - Rayonnements (ionisants et non ionisants émis par les machines, externes, laser) - Conception des circuits de commande.	- Emissions de matières et de substances dangereuses - Risque de se retrouver enfermé dans une machine - Risque de glisser, de trébucher ou de tomber - Foudre - Accès aux postes de travail et aux points d'intervention - Séparation de la machine de ses sources d'énergie - Intervention du travailleur - Nettoyage des parties internes

Signalons que d'autres risques sont liés au non-respect des principes ergonomiques. C'est le cas par exemple d'un éclairage mal étudié qui causera une fatigue visuelle et pourra être à l'origine d'accidents.

Conséquemment, les facteurs ergonomiques sont d'extrême importance pour l'analyse des risques machines (figure I.4).

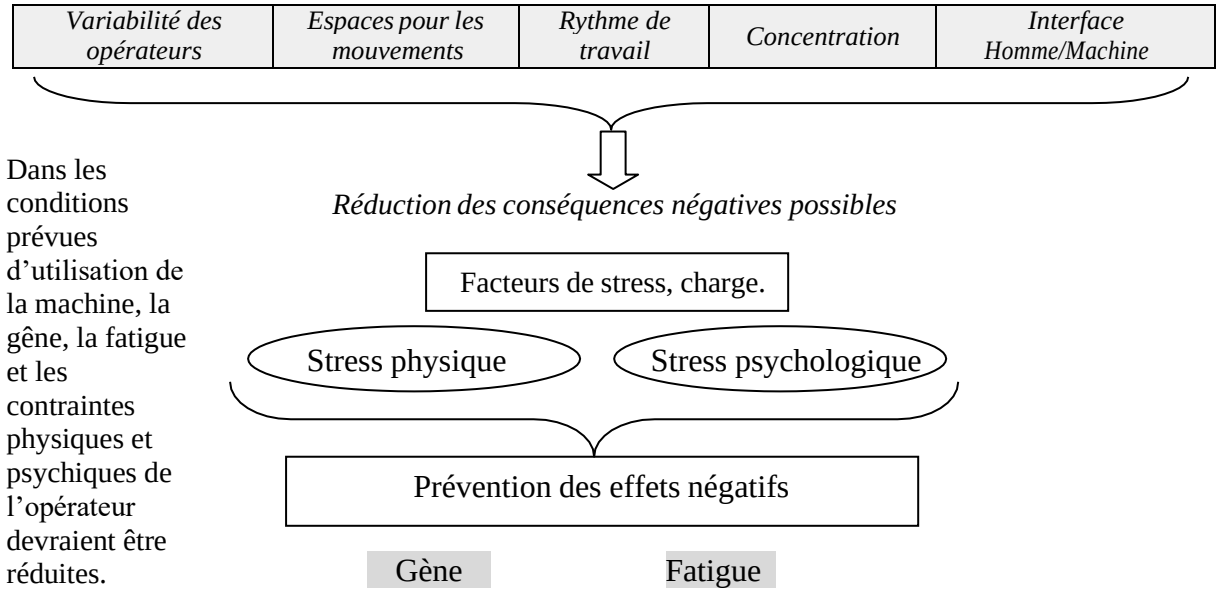


Figure I.4 : *Les facteurs ergonomiques (BIT, 2013).*

I.4- Prévention des risques liés aux machines

Rappelons d'abord que les risques liés aux machines sont des risques qualifiés de professionnels dont l'évaluation consiste à les identifier et à les classer afin de mettre en place des actions de prévention pertinentes, cohérentes et adaptées. L'Evaluation des Risques Professionnels (EvRP) est l'étape initiale de toute démarche de prévention (Andéol & al., 2010).

Les enjeux de la prévention des risques liés aux machines tendent à:

- protéger la santé et la sécurité des travailleurs,
- créer un emploi de qualité,
- répondre aux obligations de la prévention,
- favoriser le dialogue social,
- contribuer à la performance de l'entreprise.

La démarche de prévention des risques liés aux machines doit respecter les principes généraux de prévention synthétisés par la figure I.5. À ce titre, cette démarche de prévention s'attache en priorité, lors de la conception, à supprimer ou réduire le risque à la source : on choisit de préférence les technologies et produits les moins dangereux (prévention intrinsèque). Lorsque le risque ne peut être éliminé, des protecteurs et /ou des dispositifs de protection doivent être mis en place. Si des risques résiduels subsistent, le recours à des équipements de protection individuelle est alors nécessaire.

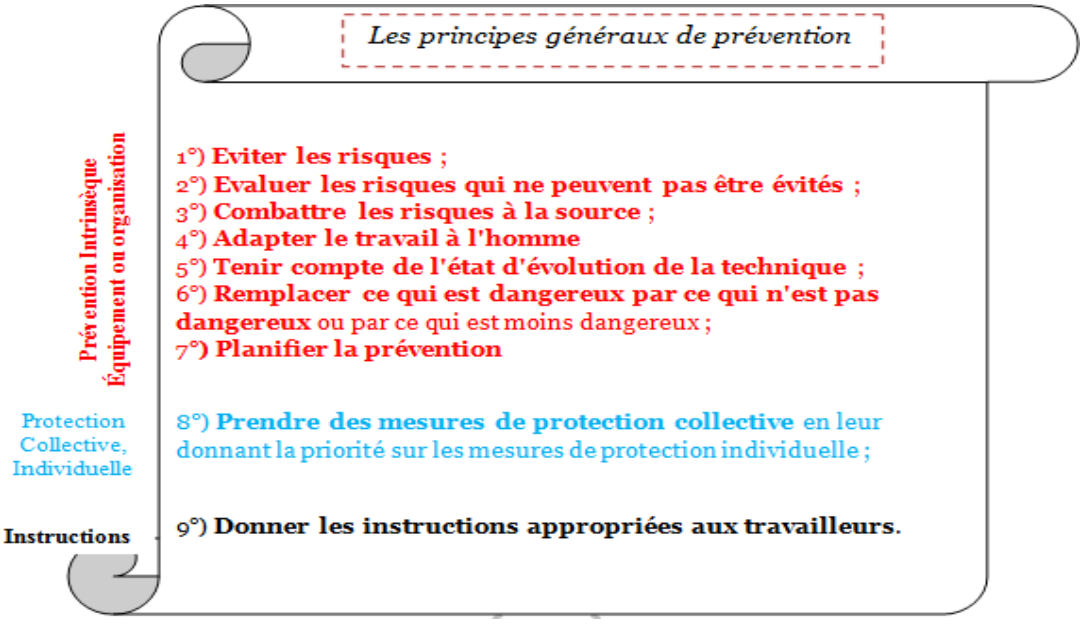


Figure I.5 : *Les principes généraux de prévention d'après (Droit Org, 2014).*

D'autre mesures de prévention sont également à mettre en œuvre par les employeurs : exploitation du contenu des notices d'instructions, mise en place d'une organisation du travail adaptée, rédaction de consignes d'utilisation, mise au point de procédures pour sécuriser les opérations telles que les réglages et la maintenance, information et formation des personnels,…

Vu l'intérêt que présente cette démarche, nous revenons dans le § II.2 du deuxième chapitre pour détailler, d'avantage, la démarche de prévention pendant le cycle de vie de la machine.

I.5- Risques machines et accidents de travail

I.5.1- *Lien causal entre risques machines et accidents de travail*

Selon (CNAS, 2004), est considéré comme accident du travail tout accident ayant entrainé une lésion corporelle imputable à une cause soudaine, extérieure, et survenue dans le cadre de la relation du travail. Par contre, sont considérées comme maladies professionnelles, les intoxications, infections et affections présumées d'origine professionnelle particulière.

L'analyse des risques machines (figure I.6) permet d'identifier et d'estimer l'importance des différents risques due à l'utilisation d'une machine. En conséquence, les résultats reposent sur la capacité de l'équipe d'analyse de faire un inventaire aussi exhaustif que possible des risques présents et de stratégie de contrôle mise en place pour les prévenir. Mieux encore, l'analyse des risques machines permet, à une organisation, d'agir par ordre d'importance sur les risques à contrôler. L'analyse des risques machines agit davantage sur la gravité des accidents que sur la fréquence ; car la priorité est pour la réduction de cette gravité.

L'analyse des risques machines est, donc, un outil d'identification et de prévention des risques à la santé (maladies professionnelles) et à la sécurité (accidents des travails) du travail «S&ST» alors que les AT/MP sont les résultants d'un manque de contrôle des risques associés au travail.

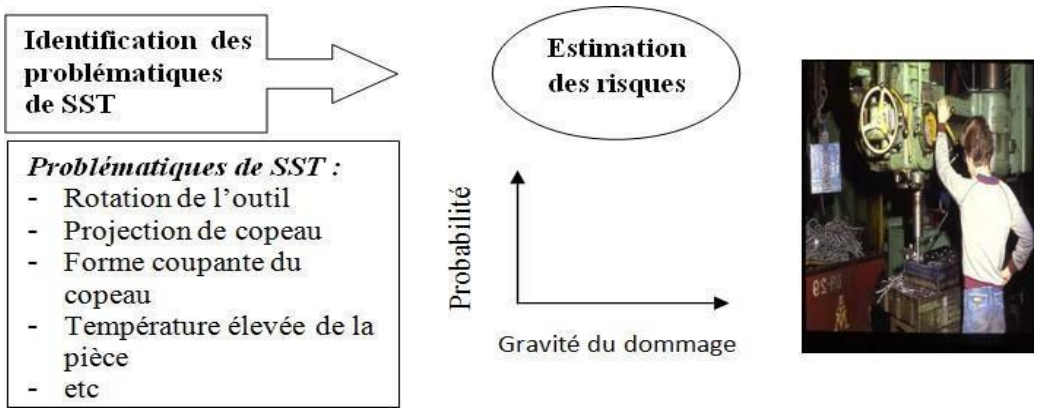
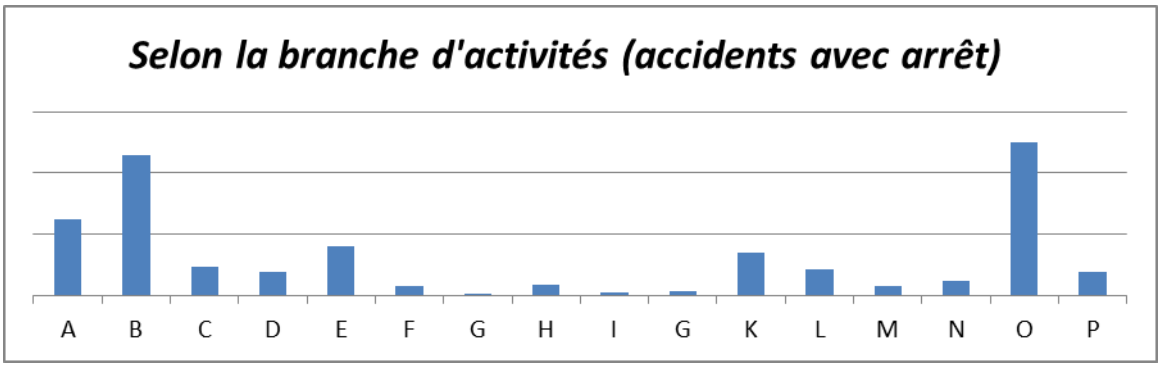


Figure I.6 : *La démarche d'analyse des risques machines.*

I.5.2- *Analyse statistiques des accidents de travail liés aux machines*

Un problème récurrent dans l'analyse des risques machines est l'obtention des statistiques fiables et récentes sur les AT/MP. Ces statistiques sont d'extrême importance pour l'analyse des risques.

Pour illustrer le rôle que jouent ces statistiques en matière du S&ST, nous illustrons nos propos par les statistiques de la CNAS (2004) où l'on notera dans l'ensemble une stabilité depuis 1999 de l'ordre d'importance du risque par branche d'activité (figure I.7).



(A) *Métallurgie avec 12,5% ;*
(B) *Bâtiments et les travaux publics avec 22,9% ;*
(C) *Bois avec 4,7% ;*
(D) *Chimie avec 3,7% ;*
(E) *Pierres et terres à feu avec 8% ;*
(F) *Caoutchouc, papeterie et cartonnes avec 1,5% ;*
(G) *Livre avec 0,3% ;*
(H) *Textiles avec 1,6% ;*
(I) *Vêtements avec 0,5% ;*
(J) *Cuire et peaux avec 0,7% ;*
(K) *L'alimentation avec 6,9% ;*
(L) *Transport et manutention avec 4,2% ;*
(M) *Eau, gaz et électricité avec 1,4% ;*
(N) *Commerce avec 2,4% ;*
(O) *Interprofession avec 25,10%*
(P) *Gaz pétrole et carburants avec 3,7% ;*

Figure I.7 : *Classification des accidents dus aux machines en 2004 selon la branche d'activité (CNAS, 2004).*

Par ailleurs, les statistiques montrent que la gravité est importante lorsqu'il s'agit d'accidents mortels ; c'est le cas de la branche « Bâtiment et Travaux Publics » qui a enregistré un nombre de décès particulièrement élevé (241) soit 32,5% du nombre total du décès. Les statistiques indiquent, également que le nombre de décès qui relève de la branche «Interprofessionnel » est aussi important avec 240 décès, de l'ordre de 32,3%.

On retiendra aussi que la branche « Gaz, Pétrole et Carburant » a enregistré 8,5% de l'ensemble des décès déclarés, suivie des branches : « Transport et Manutention » avec 7,8%, la branche « Pierres et Terre à Feu » avec 4,4% et la branche « Alimentation » avec 3,5%.

Il est à noter que la branche « Gaz, Pétrole et Carburant » a enregistré un nombre élevé d'accidents mortels pour 2004, voire le double de l'ordre de 8,5% de l'ensemble des accidents mortels par rapport à celui de l'année 2003, qui est de l'ordre de 4,2% de l'ensemble des accidents mortels.

I.5.3- *Principaux facteurs de risques d'accidents*

Les risques machines sont présents lors de l'utilisation normale, mais aussi lors de situations particulières telles que maintenance, réglage, nettoyage, … etc.

Les principaux facteurs d'accidents dus aux machines identifiés dans la base de données EPICEA[4] sont : les interventions en cours de fonctionnement, les modes opératoires inappropriés et dangereux, la mauvaise conception des machines, l'insuffisance de formation des opérateurs et le manque de sensibilisation à la sécurité des entreprises utilisatrices.

I.6- Objectifs de la sécurité des machines

De nos jours, la sécurité des machines est au cœur des préoccupations des entreprises à raison de leurs objectifs que ce soit au niveau de l'entreprise ou bien au niveau de la machine elle-même.

A l'échelle d'une machine, il s'agit de :

- sécuriser une machine durant toutes les phases de sa vie par l'implantation de mesures de réduction du risque,

[4] Cette base de données se trouve dans le site : www.inrs.fr.

- identifier si des correctifs sont nécessaires sur une machine nouvellement installée ou modifiée,
- concevoir/modifier adéquatement une machine,
- sécuriser une machine déjà installée (concevoir les systèmes de protection).
- valider/rédiger des méthodes de travail et procédures,
- identifier les tâches de maintenance préventive prioritaires sur une machine,
- proposer des correctifs suite à un accident,
- juger de l'efficacité de la protection offerte sur une machine,
- identifier les «dangers» présents à un poste de travail,
- faciliter la prise de décision.

A l'échelle d'une entreprise, il s'agit de :

- réduire la vulnérabilité (lésions, amendes et poursuites),
- identifier des priorités d'action,
- faciliter la prise de décision,
- optimiser l'utilisation des ressources,
- déterminer les vulnérabilités de l'entreprise en matière de S&ST,
- déterminer les priorités de l'entreprise en S&ST,
- cibler les produits chimiques, les équipements, les machines ou les tâches présentant le plus de risque pour le personnel,
- améliorer l'image corporative.

I.7- Notions de conception et de conception sûre

Il est nécessaire de bien faire la distinction entre la conception d'une machines sûre et la conception sûre d'une machine, le but n'étant pas le même. En effet, dans le premier cas, le résultat de la conception doit être la réalisation d'une machine sûre et pour cela le concepteur doit connaitre les notions relatives à la sécurité de la machine qu'il est en train de concevoir, tandis que dans le cas d'une conception sûre, le concepteur n'a pas forcément à se soucier du résultat mais plus de la façon dont il y parvient (Blaise, 2000).

L'énoncé de ce simple fait montre que le but est difficile à atteindre directement et cette relation doit être découpée en une problématique plus fine afin de rendre la connaissance et le savoir-faire à mettre en œuvre plus explicites (Vink, 1995). En effet et à titre d'illustration, la conception de machines sûres consiste à concevoir des machines pour leurs futurs utilisateurs potentiels en tenant compte, dès la conception, des risques

éventuels encourus par ces utilisateurs. La base du problème est bien évidemment la conception, et en l'occurrence de machine, donc de la relation entre un concepteur et une machine.

En réalité, l'intérêt ne se limite pas à la phase conception mais également après cette conception. Car et comme tout objet, une machine est conçue pour être exploitée par un ou plusieurs utilisateurs. La machine est principalement exploitée durant sa vie par divers opérateurs pour remplir sa fonction de production. Nous généralisons ces phases d'utilisation par la relation que joue la machine, après sa conception, avec ses différents usagers (figure I.8).

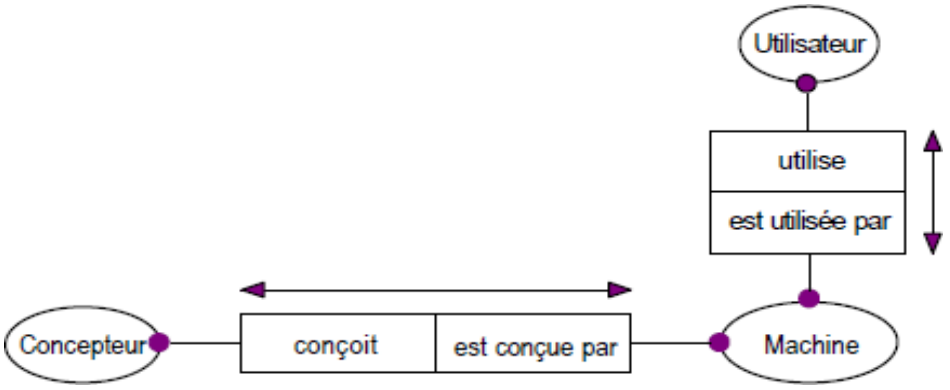


Figure I.8 : *Positionnement des notions « d'Utilisateur » et « de Concepteur » d'une machine (Blaise, 2000).*

Cette double relation met en exergue deux domaines qui sont la conception de cette machine et son utilisation, ou plus largement son exploitation.

L'émergence de ces deux domaines permet de montrer que, bien qu'ils soient liés par un même objet (la machine dans notre cas), ils ne sont pas forcément en relation directe. Ainsi, pendant de nombreuses années, ces domaines n'étaient liés que par le fait que la conception imposait plus ou moins ses contraintes en exploitation. En effet, lors de la conception, bien souvent seul le bon fonctionnement et l'utilisation normale sont pensés, contraignant ainsi les utilisateurs à ces seuls fonctionnements. Or, l'utilisation de la machine in situ diffère fréquemment de celle prévue initialement (Didelot & Fadier, 2000). La conception de la machine apporte, donc, une réponse à des besoins exprimés par le ou les utilisateurs en termes de fonctions mais peut également provoquer des situations inattendues.

I.8- Relation Conception / Exploitation pour une intégration des contraintes d'exploitation en conception

I.8.1- *Contraintes de la conception propagée en exploitation*

La conception contraint l'exploitation de la machines aux seuls critères qu'elle a pris en compte et, de plus, les contraintes d'exploitation de la machine ne sont pas forcément prises en considération dès la conception.

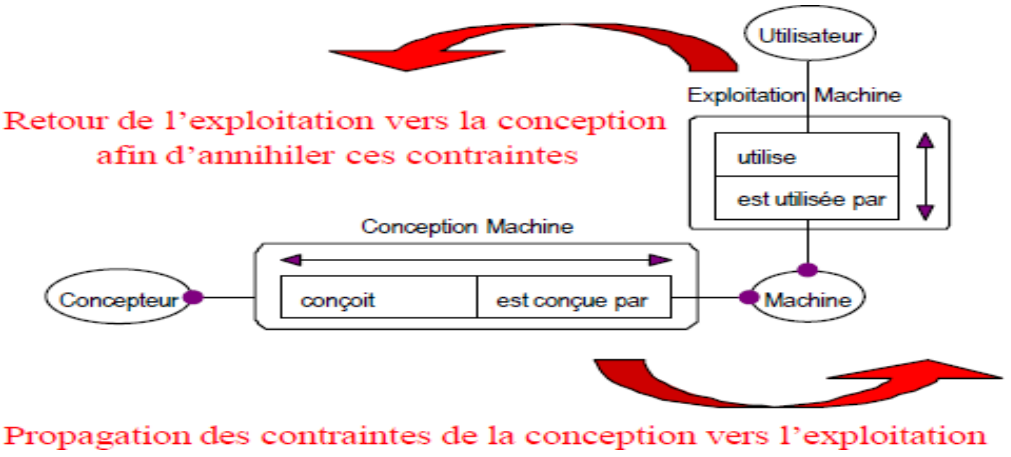


Figure I.9: *Mise en évidence des contraintes liées à la conception en exploitation des machines (Blaise, 2000).*

Une des premières réponses à apporter concerne l'intégration des besoins de l'utilisateur en conception. De façon à contraindre le moins possible l'exploitation de la machine en fonction de la conception qui en a été faite, il est nécessaire d'envisager une participation des utilisateurs en conception, ou plus exactement un retour de l'exploitation vers la conception (Neboit & al, 1993).

Ce retour est bien souvent ultérieur à la conception et nécessite des modifications voire une re-conception. L'exploitation peut mettre ainsi en évidence des problèmes de conception, ce qui nécessite une re-conception au moins partielle de la machine. Le but est d'intégrer dès la *1ère conception* les besoins des utilisateurs.

I.8.2- *Des utilisateurs en conception*

Les concepteurs ont souhaité de plus en plus intégrer les besoins de leurs clients par leur collaboration à la rédaction d'un cahier des charges (Malhotra & al, 1980) et dans les premières phases de spécification et de conception. Ainsi s'est instaurée une relation plus directe « Concepteur / Utilisateur » (figure 1.10).

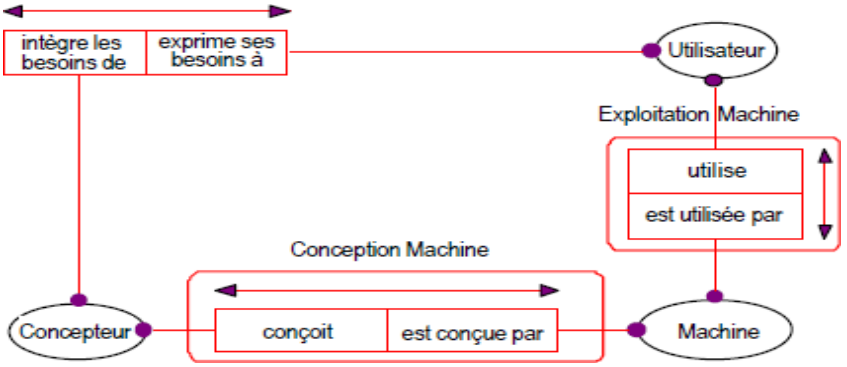


Figure I.10 : *Relation « Concepteur / Utilisateur » d'après (Blaise, 2000).*

Cette relation entre ces deux acteurs, par le biais de la rédaction d'un cahier des charges, permet ainsi d'améliorer la prise en compte en conception de certains aspects attendus en exploitation, tels que les divers comportements et les divers modes de production. Cette rédaction commune en amont de la conception permet de diminuer les erreurs potentielles car les principaux acteurs de l'exploitation émettent leurs attentes dès la conception. Cependant, une telle relation ne permet pas de relier directement l'exploitation de la machine avec la conception. En effet, cette liaison est basée sur des relations entre acteurs s'exposant ainsi à une fragilité due à des problèmes humains, et elle peut être brisée à tout moment.

I.8.3- *Notion de retour d'expérience (REX)*

La notion de cahier des charges n'étant pas suffisante, les bureaux d'études ont développé le principe de retour d'expérience direct afin de mieux comprendre comment une machine est exploitée. Ce retour d'expérience permet de déceler quelles sont les erreurs à ne plus commettre et de prendre en compte, tout au long de la conception, les attentes en exploitation (Corbel, 1995).

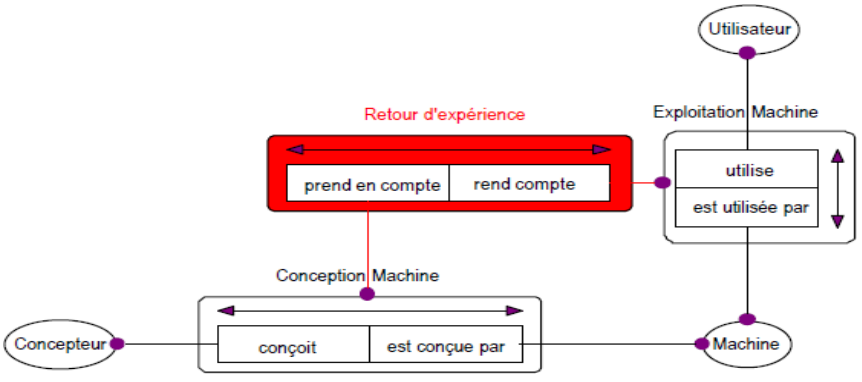


Figure I.11 : *Emergence d'une relation « Conception machine / Exploitation machine » via la notion de « Retour d'expérience » d'après (Blaise, 2000).*

Cette activité permet donc de prendre en compte les erreurs répétables, ainsi que les oublis, dans le but de capitaliser (Hasan & al, 2000) les corrections afin de les prendre en compte à chaque nouvelle conception de machine. En ce sens, (Caulier, 1997) montre l'intérêt de la capitalisation de la connaissance dans un but de réutilisation et illustre sa proposition pour l'aide à la supervision des procédés automatisés complexes. Toutefois, ce domaine du retour d'expérience n'est pas clairement identifiable ; car, bien souvent, il fait partie intégrante du domaine de la conception donc réalisé par l'équipe de conception.

Toutes ces activités, intégration des besoins utilisateurs, rédaction commune de cahier des charges et retour d'expérience, démontrent une volonté d'intégrer au plus tôt dans la conception les contraintes mises en évidence par l'exploitation (Cantin, 1995).

I.8.4- *Notion de législation en matière de sécurité des machines*

Cette nécessité de connaitre les contraintes d'exploitation dès la conception s'applique à tous les domaines et en particulier à celui de la sécurité des machines où la législation a formalisé cette liaison entre concepteurs et utilisateurs par l'instauration de directives. Suite au Traité de Rome (1957), l'Europe a mené une politique S&ST en établissant des dispositions législatives restrictives. Ceux qui nous concernent en premier lieu sont les directives S&ST qui sont de deux types (New approch, 2000): les directives, issues de l'article 100A du traité de Rome, relatives à la conception et à la mise sur le marché des produits et les directives issues de l'article 118A du traité de Rome relatives à la S&ST pour l'utilisation des produits.

Nous avons vu qu'auparavant les exigences de sécurité étaient majoritairement adressées aux utilisateurs, ceux-ci pratiquaient sur site des rectifications et des ajouts sur le matériel qu'ils avaient à utiliser. La directive concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines, est codifiée récemment en directive « 2006/42/CE » qui oblige les concepteurs à satisfaire les exigences essentielles en matière de sécurité qu'elle édicte. Ainsi, en respectant ces exigences, les concepteurs peuvent vendre librement leurs machines au sein de l'Espace Economique Européen (EEE).

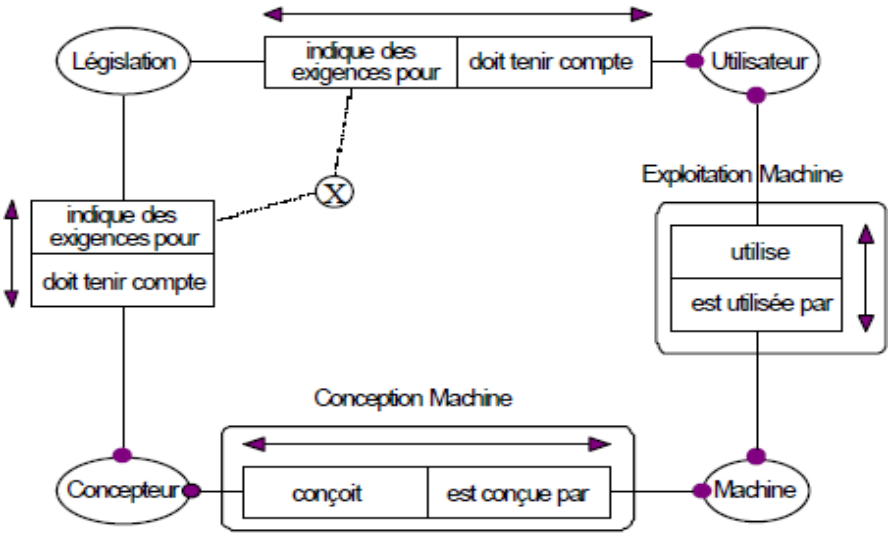


Figure I.12: *Une relation « Concepteur / Utilisateur » via le domaine de la « Législation » d'après (Blaise, 2000).*

Ce domaine, régi par des directives, permet de définir un cadre législatif entre ce que doit produire le concepteur et ce qu'attend l'utilisateur. Il permet, en fait, d'établir des contraintes de sécurité sur l'objet produit. L'existence de ce domaine permet ainsi de relier formellement les deux domaines relatifs à la machine : la conception d'une part et l'utilisation d'autre part.

I.8.5- *Notion de normes en matière de sécurité des machines*

Malgré l'émergence de ce « nouveau » concept qui est nommé « la nouvelle approche », les concepteurs ont actuellement encore des soucis pour intégrer les exigences édictées par les directives dans leurs activités de conception des machines ; car ces directives énoncent des objectifs globaux de résultat sans donner les moyens de les atteindre.

C'est pourquoi, dès 1980, les instituts de normalisation ont décidé de favoriser la prise en compte des exigences législatives par la rédaction de normes dans le cadre de la nouvelle approche (New approch, 2000).

Ainsi, nous nous intéressons plus particulièrement à ce domaine qu'est la normalisation et à ses produits : les normes. Ces normes constituent une sorte de cahier des charges complémentaire au cahier des charges technique que les concepteurs doivent respecter. Mais, encore une fois, cet effort est insuffisant et ne permet pas une intégration aisée de ces prescriptions qui ne donnent pas les moyens de les atteindre. En effet, c'est la conception

qui a pour but de trouver les solutions techniques conformément aux prescriptions données par les normes. D'où les trois domaines proches de la normalisation qui sont : la conception, l'exploitation et la législation (figure I.13).

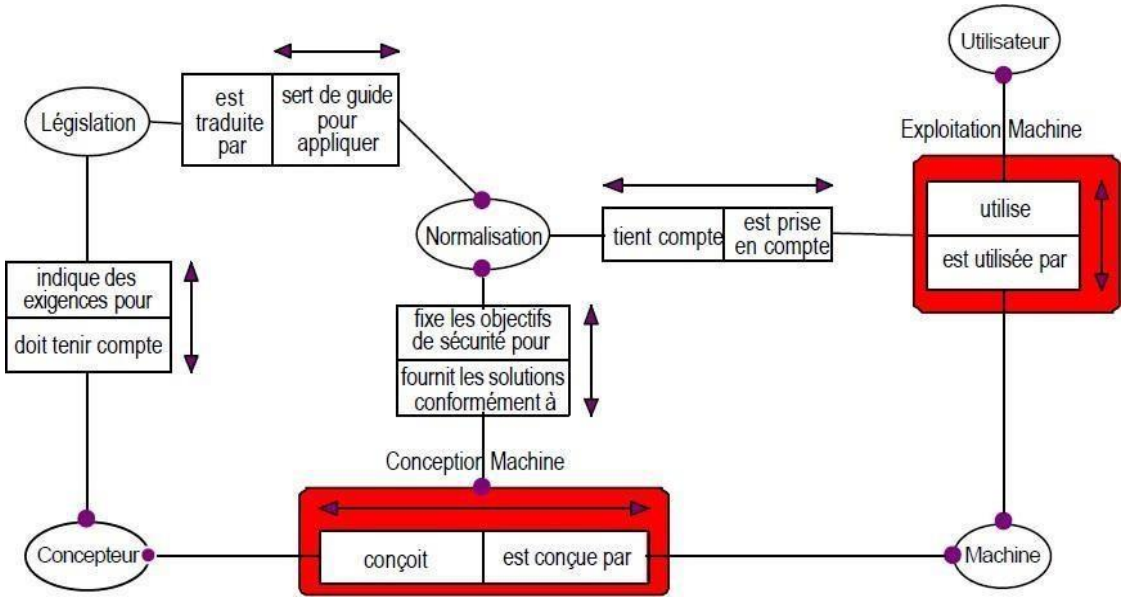


Figure I.13 : *Positionnement du contexte législatif et normatif par rapport à la conception d'après (Blaise, 2000).*

I.9- Conclusion

La sécurité des machines assure la sécurité juridique du fabricant et de l'exploitant. Les utilisateurs de machines attendent qu'on leur propose exclusivement des machines et des appareils sûrs, et ce, partout dans le monde. Parallèlement, il existe partout dans le monde des règles visant à protéger les utilisateurs de machines. Ces règles varient d'un pays à un autre. De ce fait, l'aspect réglementaire et normatif en matière de la sécurité des machines fera donc l'objet d'une étude détaillé dans le chapitre suivant.

Chapitre II :

Aspects règlementaire et normatif de la sécurité des machines

II.1- Introduction

Dans un monde où normes et réglementations deviennent de plus en plus complexes, les organisations doivent être suffisamment vigilantes et réactives. Elles doivent en connaître les enjeux et mettre en application ces exigences en amont afin de pouvoir proposer des produits conformes sur le marché. Ces enjeux sont d'autant plus stratégiques que les impacts en termes de coûts et d'image d'une non-conformité et de retours produits sont critiques dans un marché très compétitif.

L'objet de ce chapitre est de faire le point sur les aspects les plus importants des règlements et normes.

II.2- Synthèse de la démarche concrète de prévention

Le cycle de vie d'une machine, quel que soit son niveau de complexité, comprend plusieurs étapes fondamentales (conception → démolition). À chacune de ces étapes, les concepteurs et les utilisateurs ont un rôle à jouer et des actions à entreprendre pour prévenir les risques machines. Le tableau II.1 récapitule les actions-types à mener sur le cas des machines spéciales ou des lignes de production.

Tableau II.1: *La démarche concrète de prévention (INRS, 2011).*

PHASE DE CONCEPTION		
Etapes	*Objectifs*	*Actions types*
Décision	- Lancer une nouvelle fabrication - Automatiser ou mécaniser certaines tâches pour améliorer la production future ou réduire les risques - Remplacer un équipement de production	- Evaluer l'impact sur l'entreprise, en particulier sur le plan humain - Bien définir la (ou les) fonction(s) à assurer et la production en termes de performances, quantité, qualité, coûts (en tenant compte des évolutions possibles) - Prévoir des délais de réalisation (compatibles avec l'ampleur du projet)

Avant-projets	Rechercher des moyens et méthodes de production	S'informer et rechercher pour connaître : - Les procédés possibles - Les risques liés aux procédés et produits - Les règlements et normes applicables, rechercher des solutions techniques et procédures envisageables - Procéder à une analyse des risques *a priori* des différents projets pour permettre la sélection du projet final
Rédaction du cahier des charges	Formaliser le besoin et les bases contractuelles	- Rédiger le cahier des charges pour qu'il soit un véritable outil de communication entre le donneur d'ordre et les constructeurs - Définir qui fait quoi, notamment qui sera responsable du marquage CE - Définir les normes à respecter (les normes ne peuvent être imposées aux fournisseurs que sur une base contractuelle) - Prévoir les dispositions pour la formation des personnels d'exploitation et de maintenance - Etablir un questionnement pour évaluer les fournisseurs sur des critères tels que : méthodes d'évaluation des risques, adéquation du produit au besoin, délais de réalisation, qualité des produits livrés et qualité du service après-vente
Sélection des fournisseurs	Choisir le (ou les) meilleur(s) fournisseur(s)	Sélectionner les fournisseurs en se basant sur les réponses au questionnement de l'étape précédente et en les vérifiant (en visitant des fabrications identiques ou similaires)
Réalisation chez le constructeur	- Qualifier les procédés - Pré-réceptionner les équipements - S'informer	- Vérifier la conformité et les performances techniques (fonctionnelles et sécurité) - Analyser les risques détectables avant l'implantation
Implantation sur le site	Installer la machine ou la ligne de production	Suivre le chantier : - Accueillir et suivre les entreprises extérieures - Si nécessaire, s'assurer de la mise en place de protections temporaires - S'assurer de la qualité du montage - Analyser et valider les procédures définies dans la notice d'instructions du constructeur et le respect du cahier des charges - Procéder à une analyse des risques *in situ*
Essais des sous-ensembles	Procéder aux tests locaux de fonctionnement	- Analyser *a posteriori* les risques et le respect du cahier des charges - Vérifier les modes opératoires définis par le constructeur dans sa notice d'instructions (facilité, pertinence…) - Etablir les fiches de poste (projets)

Essais de l'ensemble constitué	Vérifier que tous les objectifs et prescriptions imposés par le cahier des charges sont atteints	- Vérifier que les fonctions et la production à assurer sont atteintes - Analyser *a posteriori* les risques - Vérifier les modes opératoires - Vérifier la conformité réglementaire et le respect des normes demandées - Améliorer les fiches de poste - Collecter les anomalies afin que le(s) constructeur(s) y remédient
EXPLOITATION		
Etapes	*Objectifs*	*Actions types*
Organisation du travail	Concevoir, définir, mettre en place les méthodes, les structures, les procédures, les équipements pour produire, régler, nettoyer, entretenir en sécurité	Exploiter le contenu de la (ou des) notice(s) d'instructions constructeur(s) et toutes informations pertinentes (liées aux produits par exemple) pour : - choisir les équipements de travail complémentaires, - mettre en place la logistique pour l'exploitation, - établir les procédures d'intervention, notamment celles relatives à la consignation, - valider les fiches de poste, - définir les missions et limites de mission des opérateurs selon leur fonction (production, réglage, maintenance…)
Formation Information	Former les différents opérateurs et leur encadrement	- Former les opérateurs et l'encadrement sur le plan technique et organisationnel sur site d'exploitation et si nécessaire chez le(s) constructeur(s) - Qualifier les opérateurs après validation de leur formation - Afficher / diffuser les fiches de poste et procédures d'intervention
Mise en production	Démarrer la production en toute sécurité	- Encadrer le personnel pour s'assurer que les acquis de la formation sont satisfaisants - Procéder à une montée en cadence de la production compatible notamment avec l'expérience du personnel - Collecter les anomalies pour que le(s) constructeur(s) y remédient - Valider les fiches de poste
Maintien en état	Produire, régler, entretenir, en permanence en toute sécurité	- S'assurer en permanence du bon état de l'équipement - Veiller au respect des modes opératoires - Collecter les anomalies pour y remédier - Améliorer si nécessaire les fiches de poste - Gérer les vérifications périodiques - Former le nouveau personnel préalablement à l'affectation au poste
Modifications	Préserver le niveau de sécurité	- Reprendre toutes les actions pertinentes des étapes ci-dessus, relatives à la conception, compte tenu de

		la nature et de l'ampleur des modifications - Mettre à jour la documentation (notices, fiches de poste…)
TRANSACTIONS & MISE AU REBUT		
Etapes	*Objectifs*	*Actions types*
Cession Revente	Céder ou vendre en conformité avec les dispositions réglementaires	- S'assurer de la conformité préalablement à la transaction - Délivrer un certificat de conformité au preneur - Fournir la notice d'instructions à jour
Location	Louer un équipement adapté et en bon état	- S'assurer de la conformité préalablement à la location - S'assurer de la présence et du bon fonctionnement des moyens de protection - Définir précisément les conditions de location dans le contrat de location
Mise au rebut	Mettre au rebut dans des conditions sûres	Respecter les dispositions de la notice d'instructions

II.3- Les aspects réglementaire

II.3.1- *La réglementation européenne (Directive Machine)*

Rappelons d'abord que la Directive[1] « Machines » 2006/42/CE s'adresse aux fabricants et aux sociétés mettant en circulation des machines et des composants de sécurité. Elle définit les tâches à exécuter pour respecter les exigences essentielles de santé et de sécurité « EESS »[2] applicables aux machines neuves, afin d'abolir les barrières commerciales au sein de l'Europe et de garantir un niveau élevé de sécurité et protection de la santé aux utilisateurs et aux opérateurs.

Elle s'applique à la construction de machines et de composants de sécurité mis en circulation individuellement, ainsi qu'aux machines d'occasion et aux appareils provenant de pays tiers mis sur le marché pour la première fois dans l'espace économique européen.

[1] Une directive est un acte juridique communautaire établi par le Conseil de l'Union Européenne. Les États membres doivent transposer la directive dans leur droit national. Les directives sont publiées au Journal Officiel des Communautés Européennes

[2] Les exigences auxquelles la machine doit satisfaire pour être en conformité avec la Directive Machine de l'Union européenne et obtenir le marquage CE. La liste de ces exigences se trouve dans l'Annexe I de la Directive Machine « 2006/42/CE ».

A- *Historique d'évolution*

- En 1989, le Conseil de l'Union européenne a promulgué la Directive concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux machines, connue sous le nom de Directive Machines « 89/392/CEE »,
- En 1995, cette directive devait s'appliquer dans tous les États membres de l'Union européenne,
- En 1998, diverses modifications ont été regroupées et consolidées dans la Directive Machines en vigueur « 98/37/CE »,
- En 2006, une « Nouvelle Directive Machines » 2006/42/CE a été promulguée. Elle remplace les versions précédentes et son application est obligatoire dans les États membres de l'UE à partir du 29.12.2009.

B- *Modifications introduites par la nouvelle Directive machines*

Les différences entre l'ancienne Directive « 98/37/CE » et la nouvelle Directive « 2006/42/CE » révisée ne sont pas très importantes. L'objectif de la nouvelle Directive est de renforcer les résultats obtenus par l'ancienne Directive Machine sur la libre circulation, la sûreté des machines et d'améliorer son application (ABB, 2010).

Les principales modifications introduites par la nouvelle Directive Machine sont les suivantes :

- *Modifications relatives au mode d'évaluation de la conformité pour les machines dangereuses figurant dans la liste de l'Annexe IV de la Directive Machine :* Avec la nouvelle Directive, le fabricant peut réaliser une auto-certification sans faire appel à un organisme notifié. À cette fin, le fabricant doit disposer d'une procédure d'assurance qualité mise en œuvre conformément aux exigences décrites à l'Annexe X de la Directive Machine.
- *Modifications relatives aux exigences essentielles de santé et de sécurité décrites à l'Annexe I de la Directive Machine :* Le fabricant doit maintenant réaliser une appréciation du risque relative aux EESS.
- *Modifications relatives à la preuve de la sécurité de différents produits :* Les réglementations relatives aux machines s'appliqueront de la même façon aux machines, aux équipements interchangeables, aux composants de sécurité, … etc. Les produits doivent être accompagnés de l'évaluation de la conformité CE, de la déclaration de conformité et des informations utilisateur requises.

- *Modification des exigences relatives aux quasi-machines :* La quasi-machine est assemblée à d'autres machines ou à d'autres quasi-machines ou équipements en vue de constituer une machine à laquelle la présente directive s'applique.

En plus de la déclaration du fabricant, celui-ci doit aussi fournir une déclaration d'incorporation précisant celles des exigences essentielles de la directive qui sont appliquées à la quasi-machine, et celles qui sont satisfaites. La documentation technique doit aussi comporter les instructions relatives à l'installation.

- *Modifications relatives à la Directive Basse tension :* Le champ d'application de la Directive Basse tension concerne maintenant un produit au lieu d'un risque. La distinction entre la Directive Machine et la Directive Basse tension a été clarifiée.
- *Modifications relatives à l'analyse de danger :* L'analyse de danger est remplacée par une appréciation et une évaluation des risques obligatoires.
- *Modifications relatives au contrôle de la fabrication :* Les machines de série font maintenant l'objet d'un contrôle interne de fabrication, précisé dans l'Annexe VIII de la Directive Machine.
- *Modifications relatives à la validité de l'attestation d'examen CE de type :* Un organisme notifié doit réexaminer la validité de l'attestation d'examen CE de type tous les cinq ans. Le fabricant et l'organisme notifié conservent les documents techniques pertinents pendant une durée de quinze ans.

C- *Architecture de la réglementation*

La nouvelle Directive Machine « 2006/42/CE » inclus vingt-neuf articles, et onze annexes (tableaux II.2 et II.3).

Tableau II.2 : *Liste des articles relatifs à la nouvelle directive « DM 2006/42/CE ».*

Article 1	Champ d'application
Article 2	Définitions
Article 3	Directives particulières
Article 4	Surveillance du marché
Article 5	Mise sur le marché et mise en service
Article 6	Libre circulation
Article 7	Présomption de conformité et normes harmonisées
Article 8	Mesures spécifiques
Article 9	Mesures particulières visant des machines potentiellement dangereuses
Article 10	Procédure de contestation d'une norme harmonisée
Article 11	Clause de sauvegarde
Article 12	Procédures d'évaluation de la conformité des machines

Article 13	Procédure pour les quasi-machines
Article 14	Organismes notifiés
Article 15	Installation et utilisation des machines
Article 16	Marquage «CE»
Article 17	Marquage non conforme
Article 18	Confidentialité
Article 19	Coopération entre les États membres
Article 20	Voies de recours
Article 21	Diffusion de l'information
Article 22	Comité
Article 23	Sanctions
Article 24	Modification de la directive 95/16/CE
Article 25	Abrogation
Article 26	Transposition
Article 27	Dérogation
Article 28	Entrée en vigueur
Article 29	Destinataires

Tableau II.3 : *Liste des annexes relatives à la nouvelle directive « DM 2006/42/CE ».*

ANNEXE I	Exigences essentielles de santé et de sécurité relatives à la conception et à la construction des machines
ANNEXE II	Déclarations
ANNEXE III	Marquage «CE»
ANNEXE IV	Catégories de machines pour lesquelles il faut appliquer une des procédures visées à l'article 12, paragraphes 3 et 4
ANNEXE V	Liste indicative des composants de sécurité visés à l'article 2, point c)
ANNEXE VI	Notice d'assemblage d'une quasi-machine
ANNEXE VII	A. Dossier technique pour les machines B. Documentation technique pertinente pour les quasi-machines
ANNEXE VIII	Évaluation de la conformité avec contrôle interne de la fabrication d'une machine
ANNEXE IX	Examen CE de type
ANNEXE X	Assurance qualité complète
ANNEXE XI	Critères minimaux devant être pris en considération par les États membres pour la notification des organismes

II.3.2- *La réglementation algérienne*

A- *Historique d'évolution*

L'évolution de la prévention des risques professionnels (y compris risques machines), depuis l'indépendance, s'est faite progressivement dans un contexte d'intégration systématique aux schémas organisationnels des organismes et des entreprises algériennes.

Afin réduire les situations dangereuses qui entrainent des accidents graves liées aux machines, l'Algérie a mis en place tout un dispositif de prévention basé sur un ensemble de moyens :

- législatifs et réglementaires,
- technique : services d'hygiène et sécurité, services de médecine du travail, institutions professionnelles, …etc.
- de contrôle : inspection du travail.

Ainsi et pour ce qu'est de la règlementation applicable à la sécurité des machines, le tableau suivant présente quelques lois et décrets relatifs à la sécurité des machines.

Tableau II.4 : *Présentation de quelques lois et décrets relatifs à la sécurité d'après (Embarek, 2011).*

Lois/Décret	*Domaine*
Loi N°83-13 du 2/07/1983	Relative aux accidents de travail et aux maladies professionnelles (jora N°28)
Loi N°85-05 du 16/02/1985	Relative à la protection et à la promotion de la santé (jora N°8)
Loi N°88-07 du26/01/1988	Relative à l'hygiène, à la sécurité et la médecine du travail (jora N°4)
Loi N°89-23 du 19/12/1989	Relative à la normalisation (jora N°54)
Loi N°90-03 Du 6/02/1990	Relative à l'inspection du travail (jora N°06)
Loi N°90-11 du 21/04/1990	Relative aux relations de travail
Décret N°74-255 du 28/12/1974	Relatif aux modalités de constitution, les attributions et le fonctionnement de la C.H.S. (jora N°2)
Décret N°76-34 du 20/02/1976	Relatif aux établissements dangereux, insalubres et incommodes (jora N°21)
Décret N°84-55 du 3/3/1984	Relatif à l'administration des zones industrielles (jora N°10)
Décret N°84-105 du 12/05/1984	Relative à l'institution d'un périmètre de protection des installations et infrastructures. (jora N°20)
Décret N°84-385 du 22/12/1984	Relatif aux mesures destinées à protéger les installations, ouvrages et moyens. (jora N°69)
Décret N°93-184 du 27/7/93	Réglementant l'émission des bruits (jora N°50)
Décret N°84-387 du 22/12/84	Relatif aux mesures destinées à protéger les installations, ouvrages et moyens (jora N°69)
Décret N°85-231	Relatif au plan d'organisation des secours (jora N°361)

du 25/8/1985	
Décret N°85-232 du 25/8/1985	Relatif aux risques de catastrophes (jora N°361)
Décret N°86-132 du 27/5/1986	Fixant les règles de protections des travailleurs contre les risques de rayonnements ionisants. (jora N°35)
Décret N°90-79 du 27/2/1990	Portant réglementation du transport de matières dangereuses (jora N°10)
Décret N°90-24 du 18/8/90	Portant règlementation des appareils à pression de gaz (jora N°36)
Décret N°90-246 du 18/8/1990	Portant règlementation des appareils à pression de vapeur (jora N°36)
Décret N°92-42 du 4/2/1992	Relatif aux autorisations préalables à la fabrication des produits toxiques ou présentant un risque particulier (jora N°09)
Arrêté interministériel du 10/2/1988	Fixant la délimitation et la signalisation particulière des zones réglementées et interdites (jora N°35)

Rappelons que la liste du tableau ci-dessus n'est pas limitative et d'autres décrets, lois et arrêtés peuvent être considérés comme étant des textes relatifs à la sécurité des machines. C'est le cas par exemple, du Décret Exécutif N° 91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu du travail qui édicte dans son contenu les règles de sécurité relative aux machines et mécanismes. Il précise les modalités d'application suivantes :

- Hygiène générale des locaux et de leur dépendance,
- Mesures générales de Sécurité sur les lieux de travail :
    - Manutention et circulation,
    - Prévention des chutes d'un niveau supérieur,
    - Machines et mécanismes.
- Mesures Particulières de Prévention des Risques d'incendie :
    - Dispositions générales,
    - Evacuation du personnel,
    - Lutte contre l'incendie.
- Vérifications périodiques et mesures d'entretien des installations électriques, des moyens de protection collective et individuelle, … etc.

B- *Architecture de la réglementation*

La figure II.1 illustre les règles de sécurité relatives aux machines et mécanismes et leur positionnement selon le décret exécutif N° 91-05.

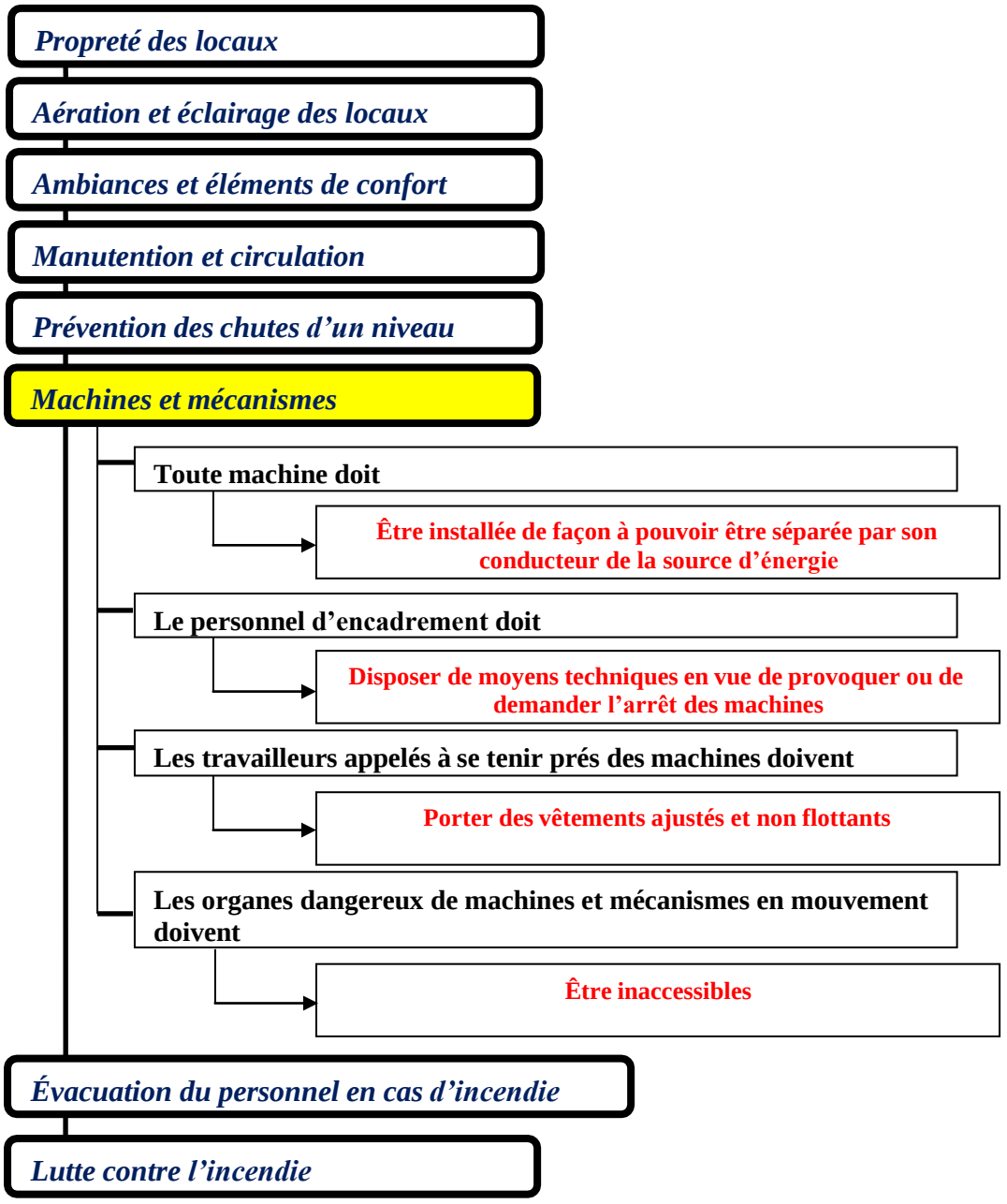


Figure II.1 : *Positionnement des règles de sécurité des machines et mécanisme dans le décret exécutif N° 91-05.*

II.3.3- *Synthèse sur la règlementation algérienne et européenne*

La caractéristique fondamentale d'une règlementation est l'obligation de son application. Ainsi et pour ce qu'est de la sécurité des machines, la règlementation européenne stipule que pour tout fabricant de machines, il doit :

- respecter les exigences essentielles de sécurité et de santé de la Directive Machines,
- planifier l'intégration de la sécurité dès la conception,

- appliquer la procédure applicable aux machines de l'annexe IV pour déclarer la conformité de votre machine,
- établir un dossier technique de la machine contenant en particulier tous les documents de conception relatifs à la sécurité,
- fournir une notice d'instructions dans la langue officielle du pays d'utilisation. La version d'origine est également à joindre,
- remplir une déclaration de conformité et apposer sur la machine ou le composant de sécurité le marquage CE.

Par contre, la réglementation algérienne en matière de la sécurité des machines et mécanismes n'édicte que les quatre obligations citées dans la figure II.1. Ceci nous permet d'évoquer la nécessité de promouvoir notre règlementation en matière de la sécurité des machines.

Il est important de souligner également qu'au niveau des tribunaux, il est recommandé d'utiliser les normes et règlements internationaux les plus appropriés en cas de d'absence de normes et règlements algériennes (Embarek, 2011).

Un dernier constat sur cette synthèse règlementaire est que dans la réglementation algérienne il n'existe pas de méthodes ou de techniques appropriées 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 la normalisation en matière de la sécurité des machines s'avère incontournable.

II.4- Les aspects normative

II.4.1- *La sécurité et son environnement*

A- *Contexte global*

Dans ce mémoire, nous utilisons le terme « machine » pour définir un ensemble de éléments matériels capable de transformer (usiner, traiter, plier, conditionner, déplacer,...) de la matière (NF EN 292-1 ,1991). C'est un constat, depuis aussi longtemps que les machines existent, elles opèrent certes une transformation sur la matière (c'est leur raison d'être, elles ont été conçues pour cela), mais également une transformation sur elle mêmes, à la fois au niveau de leur composante technique (usure vieillissement, destruction des éléments techniques matériels) mais aussi au niveau de la composante humaine

environnante (génération d'accidents et de maladies professionnelles, atteintes à la santé de l'homme). Ce sont ces conséquences de la transformation opérée sur la composante humaine qui sont au centre des études et des préoccupations du spécialiste en prévention (préventeur). En ce sens, dans le domaine de la prévention, la notion de système «Homme-Machine» est utilisée pour mieux mettre en évidence, dans cette transformation, l'interaction entre les deux sous- systèmes, humains et technique, dans une situation globale de travail.

Cette situation de travail et l'activité qui y est associée, dépendent à la fois de facteurs économiques, technologiques, sociopolitiques, écologiques ou encore juridiques, ce qui rend cette notion difficile à appréhender et à étudier du fait du réseau complexe de relations existant entre les différents facteurs qui la composent (figure II.2).

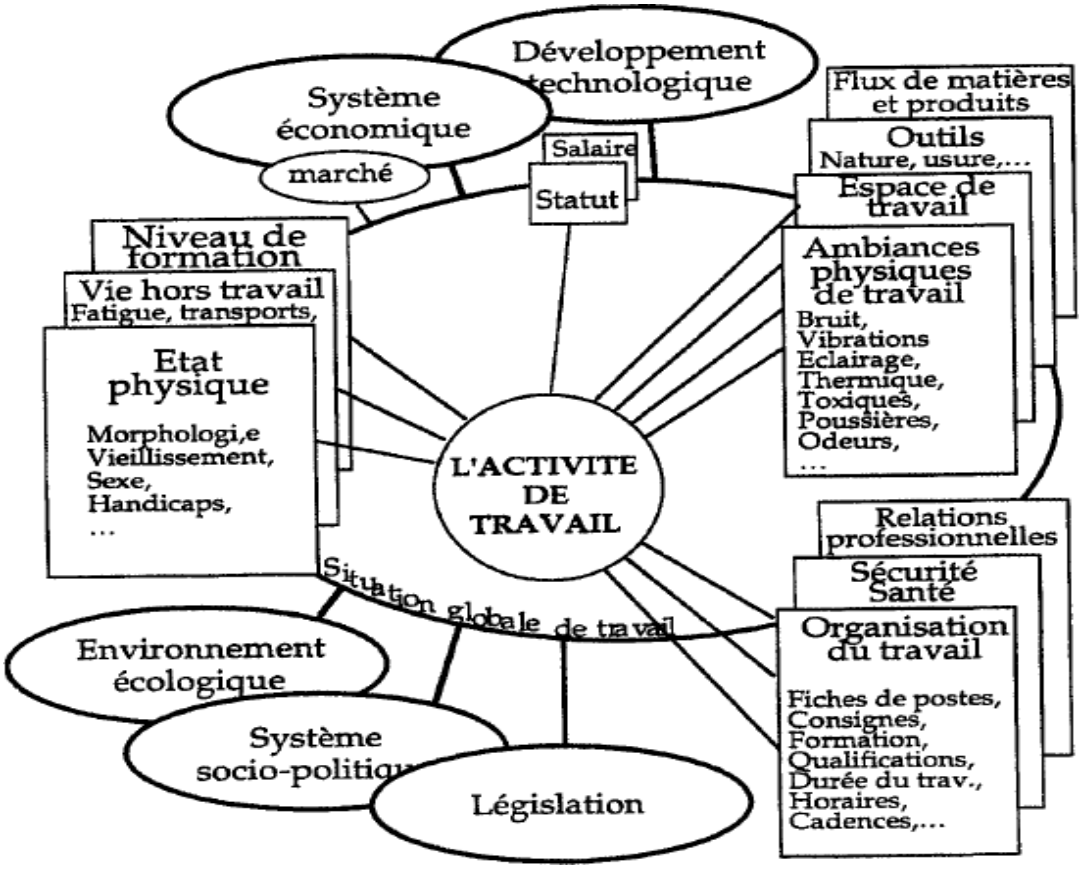


Figure II.2 : *La situation globale du travail et son environnement (Pomian & al., 1997).*

Les concepteurs faisant face actuellement à des obligations législatives relatives à la sécurité venant s'ajouter à tous les autres impératifs (coût, délais, production,…), la sécurité n'est prise en compte que de manière secondaire et tardivement dans la conception. Ce constat s'explique et ne constitue donc pas un point de passage obligé mais

une activité à considérer tout au long de la conception (Blaise, 2000). Cette problématique montre le but à atteindre en termes d'intégration de la sécurité. Il ne s'agit pas de réfléchir sur les possibilités d'intégration de la sécurité ni de définir, à un moment donné de la conception, une activité de prise en compte de la sécurité, mais bien d'accentuer les efforts sur cette intégration sachant qu'elle doit se faire à tout moment du cycle de développement de la machine et que les normes sont un réel vecteur d'intégration (Blaise, 2000).

Cependant, cette intégration quelques limites que nous allons mettre en évidence par la présentation du dispositif normatif.

B- *Normalisation en sécurité des machines*

« … Dans le nouveau contexte réglementaire, le fabricant doit apporter une attention toute particulière à la commercialisation de son produit. En effet, mettre sur le marché un équipement qui va s'avérer dangereux risque d'entrainer des conséquences économiques et sociales dramatiques. Tomber dans l'excès inverse en poussant à l'extrême l'application de certaines règles peut aussi constituer un handicap inutile…»[3].

L'évolution de la normalisation en matière de la Sécurité des Machines, telle que présentée par Lacore (1993a), montre clairement qu'il s'agit d'un domaine en pleine expansion, justifiant les besoins actuels auxquels la recherche tente de répondre :

« …Si l'on en juge par les formes successives prises par la réglementation, en France et ailleurs, il semble bien que les mesures prises par les Etats en vue d'assurer la Sécurité des personnes travaillant à l'aide de machines aient d'abord, et pendant une assez longue période, fait principalement appel à des adjonction, à des améliorations devant être apportées par l'utilisateur à du matériel parfois très dangereux dans son état de livraison. En France, un premier pas important vers des exigences adressées non plus aux utilisateurs, mais aux concepteurs et constructeurs, a été fait vers le milieu du siècle lorsque la mise sur le marché de quelques machines (qui s'étaient révélées particulièrement dangereuses) s'est trouvée conditionnée par l'obtention d'une homologation, marque de reconnaissance par les pouvoirs publics de leur conformité avec des exigences réglementaires. Mais, on sait qu'il a fallu attendre le début des années 80 pour voir le principe de l'intégration de la sécurité dans la conception de toutes les

[3] Citation du Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM) dans l'attestation de conformité « CETIM-SECURITE ».

machines, consacré par des mesures législatives et réglementaires. En juin 1989, la directive européenne relative à la conception des machines, reflet assez fidèle de la réglementation française, offrait aux 12 Etats de la Communauté Européenne un solide modèle pour la révision ou l'élaboration de leurs règles nationales en cette matière… ».
« … Dans le même temps, c'est pour aider les bureaux d'études à bien appliquer les exigences de la directive "Machines" qu'a été lancé le programme actuel de normalisation européenne en matière de conception des machines, sans précédent dans l'histoire mondiale de la normalisation technique…».

Le concepteur de machines dispose désormais de cadres de référence (plusieurs directives, de nombreuses normes), mais se trouve confronté à des difficultés techniques de mise en application : comment exploiter cette énorme quantité d'informations ? Comment retenir ce qui est applicable et en tenir compte le plus tôt possible en conception, sans pour cela pénaliser en temps et en coût le développement, et finalement, réussir à mettre en œuvre une solution acceptable ?

Les travaux actuels ont pour objectif de contribuer à l'élaboration de telles solutions en proposant une exploitation plus performante du dispositif normatif en matière de « Sécurité des Machines ». Dans l'environnement de ce dispositif normatif, d'autres intervenants que les seuls concepteurs de machines sont également concernés (normalisateurs, formateurs, certificateurs et les évaluateurs). Ils doivent aussi faire face à des problèmes d'interprétation des règles et de maîtrise du volume de cette connaissance créant un réel besoin d'outils d'assistance.

II.4.2- *La normalisation en sécurité des machines et son environnement*

A- *La notion de norme*

Selon la norme NF EN 45020 (1998), une norme est un document établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné.

En effet, les dispositions contenues dans une norme peuvent prendre la forme d'un énoncé d'une instruction, d'une recommandation ou d'une exigence. Cependant, les normes n'ont aucun caractère obligatoire, elles indiquent uniquement des prescriptions.

B- *Caractéristiques du Dispositif Normatif*

Afin d'encadrer la mise en application des exigences de la directive, le Comité Européen de Normalisation «CEN» et l'Organisation International de Normalisation «ISO» ont développé un programme de normalisation portant sur la sécurité des machines (Jocelyn, 2012). De même, (INRS, 2011) indique qu'il existe trois grandes classes de normes en sécurité des machines. Ces normes européennes harmonisées ont pour but de fournir les spécifications techniques dont les professionnels ont besoin pour produire et mettre sur le marché des équipements conformes aux exigences essentielles de santé et de sécurité prescrites par la réglementation. Une machine, conçue conformément à ces normes, bénéficiera d'une présomption de conformité aux exigences essentielles. Ces normes sont régulièrement révisées : elles représentent l'état de la technique à un moment donné.

Ces normes sont divisées en : normes dites horizontales « A, B1 et B2 » applicables à l'ensemble des machines et normes dites verticales « C » qui s'appliquent à une machine ou à un groupe de machines (tableau II.5).

Tableau II.5 : *Représentation du système normatif en sécurité des machines.*

	Norme de type A
Définition	Notions fondamentales, principes de conception et aspects généraux concernant tous les types de machines.
Exemples	- EN 12100-1 et -2 (remplace EN 292-1 et EN 292-2) : Concepts fondamentaux, principes généraux de conception, - EN 14121 : Principes pour l'évaluation du risque.
	Norme de type B1
Définition	Aspects particuliers de la sécurité tels que la mesure des niveaux de bruit, les distances de sécurité, les températures superficielles…
Exemples	- EN 62061 : Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande et de contrôle électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité, - EN 13849-1 et -2 : Parties des systèmes de commande liées à la sécurité.
	Norme de type B2
Définition	Moyens de protections pouvant être utilisés sur divers types de machines (commandes bi manuelles, dispositifs de verrouillage et d'inter verrouillage, tapis sensible…).
Exemples	- EN 418: Equipements d'arrêts d'urgence), - EN 574 : Commandes biannuelles.

	Norme de type C
Définition	Spécifications de sécurité détaillées applicables à une machine ou à un groupe de machines (faisant référence aux normes de type A, B1, B2).
Exemples	- EN 201: Presses à injection, - EN 619: Convoyeurs, - prEN 691: Machines à bois, - EN 692: Presses mécaniques.

Le constructeur de dispositifs ou de machines devra tout d'abord vérifier si son produit entre dans une norme de type C. Dans le cas positif, ce sera cette norme qui établira les prescriptions pour la sécurité, sinon, ce seront les normes de type B qui feront foi pour tout aspect ou dispositif spécifique du produit. En absence de spécifications supplémentaires, le constructeur suivra les principes généraux énoncés dans les normes de type A.

L'accroissement du nombre de normes et leur mise à jour renforcent d'autant plus les problèmes de maitrise de cette complexité pour les différents acteurs concernés par l'application du contenu normatif.

C- *Environnement du Dispositif Normatif : les Acteurs*

Le dispositif normatif est cadré par un certain nombre d'acteurs humains concernés par la connaissance contenue dans les normes. Il s'agit des acteurs suivants (Lacore, 1993b) :

- Les normalisateurs qui conçoivent le dispositif normatif moyennant : une identification des besoins, une programmation collective, une élaboration par les experts, un consensus des experts sur le projet de norme, une validation obligatoire par enquête et, enfin, une approbation.
- Les concepteurs et constructeurs de machines qui utilisent ce dispositif durant toutes les phases de vie de machines. Cependant et face à l'expansion de contraintes législatives et normatives, certains industriels internationaux ont développé leurs propres démarches pour présenter les pratiques de conception et d'exploitation des machines sûres. C'est le cas du Groupe SCHNEIDER qui recommande une démarche basée sur (Boudillon & sourisse, 1996) : le développement d'une logique basée sur la réglementation actuelle et sur les normes existantes en matière de sécurité, la proposition d'une synthèse des techniques actuelles et disponibles en matière de sécurité, et des méthodes applicables aux divers cas industriels et enfin une analyse

des fonctions et des technologies des constituants et outils de sécurité mis à la disposition des concepteurs et utilisateurs de machines.

- Les certificateurs et évaluateurs qui sont amenés à se prononcer sur la conformité des machines (Lupin & Desmoulins, 1996 ; Trivin, 1993).
- Les formateurs qui contribuent à la diffusion du dispositif normatif auprès des futurs ingénieurs et techniciens de conception (Lacore, 1993a).

II.5- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons survolé les aspects normatifs et règlementaires relatifs à la sécurité des machines. À l'issue de ce survol nos principaux constats sont les suivants :

- au niveau international et malgré l'existence de normes et règlements en matière de la sécurité des machines, certains groupes industriels optent pour le développement de leurs propres méthodologies intégrant ces normes et règlements (cas du Groupe SCHNEIDER que nous avons cité dans ce chapitre à titre d'illustration),
- au niveau national, l'orientation est vers l'usage des normes internationales pour combler le vide dans certains aspects de la règlementation algérienne.

Ce constat nous conduit logiquement à œuvrer dans le sens d'adaptation des méthodologies d'analyse des risques machines intégrant les exigences légales et normatives. Conséquemment, la suite de ce mémoire se propose pour prendre en charge cette préoccupation.

Chapitre III :

Le management des risques machines

III.1- Introduction

Les risques liés aux machines continuent de provoquer des accidents graves dans l'industrie. Pour y faire face, une des conditions est de concevoir des machines sûres. La première étape de la démarche de prévention en conception conduit à analyser l'ensemble des risques susceptibles d'affecter les travailleurs qui interagissent avec ces machines, à les estimer et à les évaluer, pour être ainsi en mesure de définir une stratégie pour les réduire.

Le but de ce chapitre est de détailler ces étapes dans le cadre d'une démarche de gestion des risques machines.

III.2- Démarche normative de la gestion des risques machines

III.2.1- *Processus accidentel*

Pour mieux comprendre les principes qui guident l'analyse des risques dans le domaine de la sécurité des machines, il est important de comprendre les éléments du processus accidentel, c'est-à-dire les éléments que l'on doit retrouver pour que survienne un accident causant une lésion (Chinniah & Champoux, 2008).

Tout d'abord, pour qu'une personne subisse un dommage résultant d'un accident, il faut que celle-ci se retrouve en situation dangereuse, c'est-à-dire une «*situation dans laquelle une personne est exposée à au moins un phénomène dangereux*» (ISO 12100-1, 2003). On entend par phénomène dangereux toute «*source potentielle de dommage*» (ISO 14121, 1999). Ensuite, avant que ne se produise un accident, il faut que survienne un événement dangereux, c'est-à-dire un «*événement susceptible de causer un dommage*» (ISO 14121, 1999).

C'est donc lorsque l'on est en présence **(i)** *d'un phénomène dangereux*, **(ii)** *d'une situation dangereuse* et **(iii)** *d'un événement dangereux* que peut survenir un accident causant **(iv)** *un dommage* à une personne c'est-à-dire une «*blessure physique ou atteinte à la santé*» (ISO

12100-1, 2003). Conséquemment, l'analyse des risques machines vise notamment à mettre en évidence ces quatre éléments lors de l'examen des activités humaines impliquant des machines.

La figure suivante (figure III.1), illustre la différence entre le processus accidentel et le processus chronique :

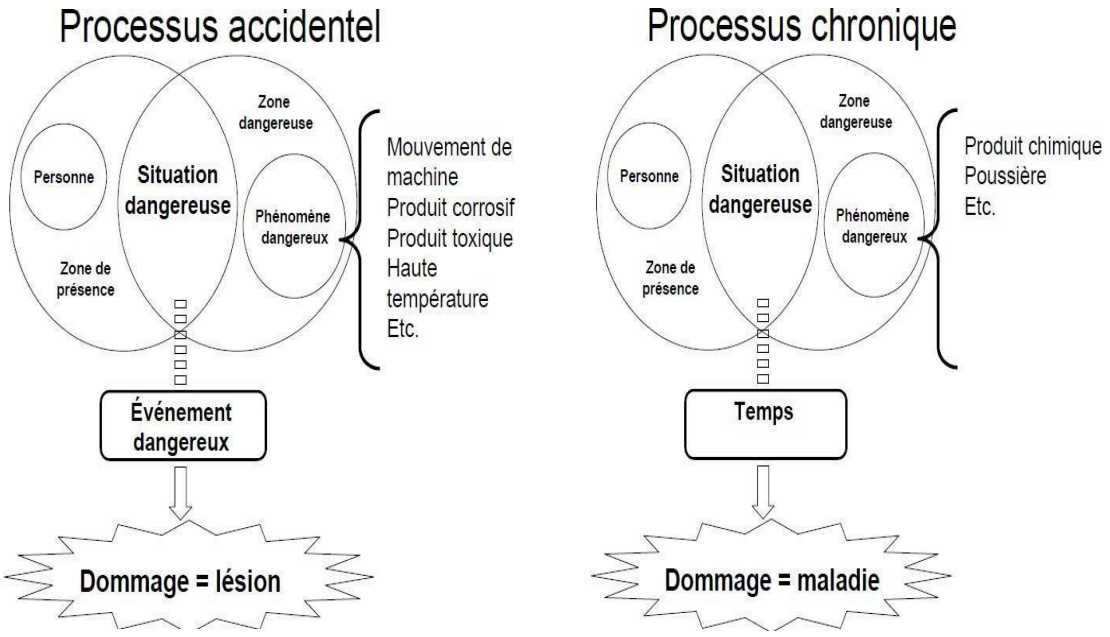


Figure III.1- *Processus accidentel et processus chronique (Champoux, 2006).*

III.2.2- *Etapes de la démarche de gestion des risques machines*

La gestion des risques machines comporte deux grandes étapes (figure III.2) : l'appréciation des risques « ISO 14121 » et la réduction des risques «ISO 12100».

A- *Appréciation des risques machines*

L'appréciation du risque est définie comme étant le «processus global d'analyse et d'évaluation du risque» (ISO 14121, 1999). Cette démarche consiste en une série d'étapes visant à porter un jugement sur la sécurité de la machine, permettant ainsi de statuer si une démarche de réduction du risque doit être entreprise. L'appréciation du risque est donc une étape essentielle à tout processus d'amélioration de la sécurité d'une machine.

La démarche comporte une phase d'analyse du risque et une phase d'évaluation du risque qui sont détaillés ci-après.

A.1- *Analyse des risques machines*

L'analyse des risques comporte trois étapes qui sont : la détermination des limites de la machine, l'identification des phénomènes dangereux et l'estimation des risques.

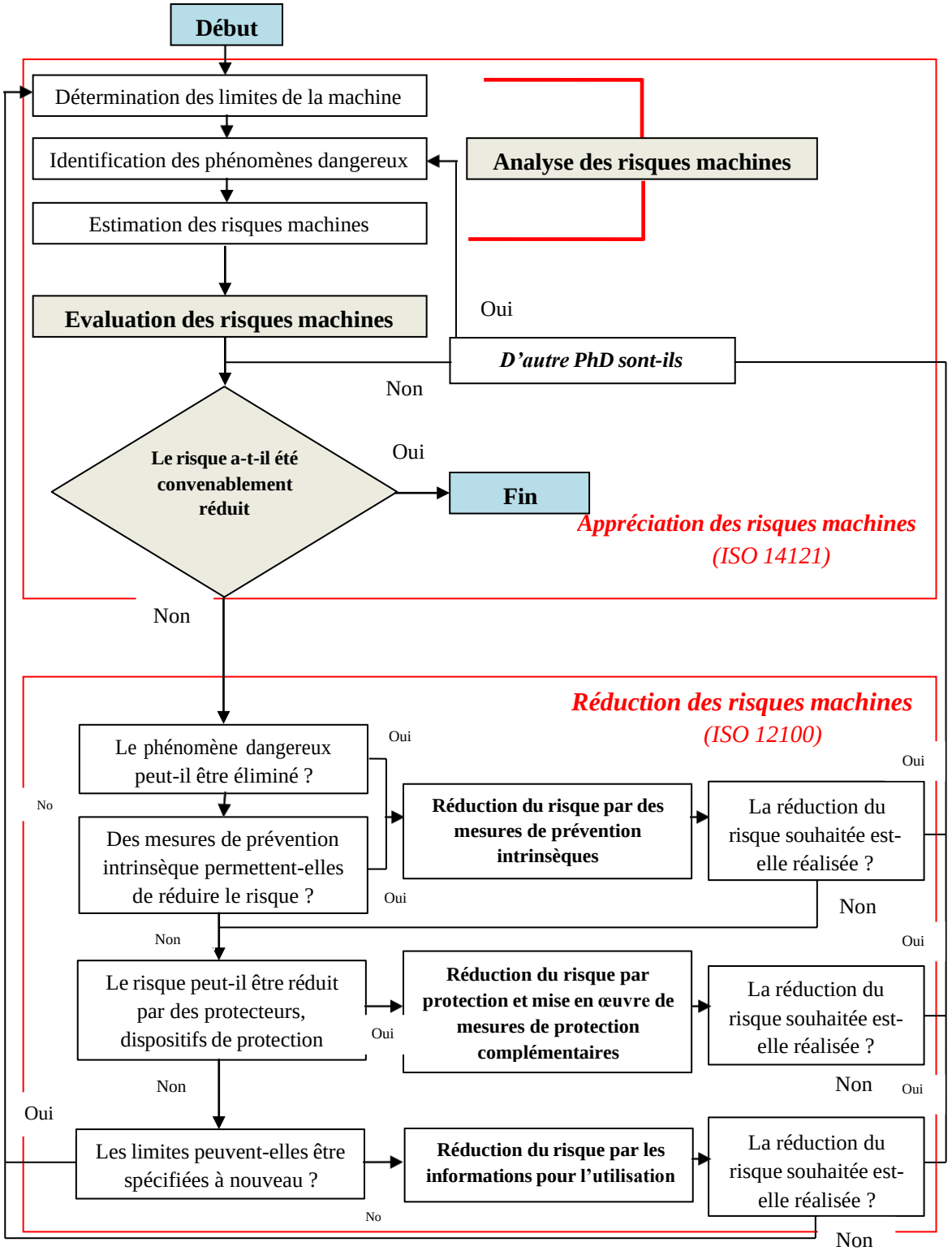


Figure III.2- *Processus itératif de la gestion des risques machines selon (ISO 14121, 1999 ; ISO 12100-1&-2, 2003).*

A.1.1- *Détermination des limites de la machine*

Cette étape a pour but de préciser les conditions dans lesquelles la machine sera utilisée. Notamment, les caractéristiques de la machine et de l'environnement où sera situé l'équipement. Sans oublier, évidemment, les caractéristiques des personnes ainsi que des produits qui interagiront avec celle-ci ou à proximité durant toutes les phases de la vie de la machine. Au cours de cette étape, il est aussi pertinent de mettre en évidence les bons et les mauvais usages raisonnablement prévisibles de la machine ainsi que les conséquences de défaillances raisonnablement prévisibles.

A.1.2- *Repérage des phénomènes dangereux*

Les phénomènes dangereux sont à l'origine de toutes les situations dangereuses. Exposé à un phénomène dangereux, un travailleur se trouve dans une situation dangereuse et l'apparition d'un événement dangereux mène à un accident qui peut entraîner des dommages.

Le repérage des phénomènes dangereux est l'une des étapes les plus importantes de la démarche de gestion des risques machines. La liste des phénomènes dangereux doit être aussi exhaustive que possible. C'est le cas, par exemple : de pièces en mouvement (risque d'origine mécanique), d'éléments sous tension (risque d'origine électrique), de parties d'une machine trop chaudes ou trop froides (risque d'origine thermique), de bruit, de vibrations, de rayonnements visibles (laser) ou invisibles (électromagnétiques), de matières dangereuses ou de postures contraignantes (risque ergonomique), la liste de toutes les sources d'énergie ou de toutes les interfaces homme-machine qui peuvent porter atteinte à la santé et à la sécurité des travailleurs exposés doit être dressée avec soin.

Ces phénomènes dangereux sont, ensuite, associés aux situations dangereuses auxquelles les travailleurs sont exposés.

A.1.3- *Estimation des risques machines*

L'estimation des risques consiste à comparer entre elles les différentes situations dangereuses repérées. Cette comparaison relative permet, par exemple, d'établir une priorité d'action.

Le risque est défini comme la combinaison de la *gravité d'un dommage* **(G)** et de la *probabilité d'occurrence de ce dommage* (figure III.3). La probabilité d'occurrence du dommage (ISO 14121, 1999) peut être scindée en trois parties :

1) *la fréquence et la durée d'exposition au phénomène dangereux (F),*
2) *la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux (O),*
3) *la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage (P).*

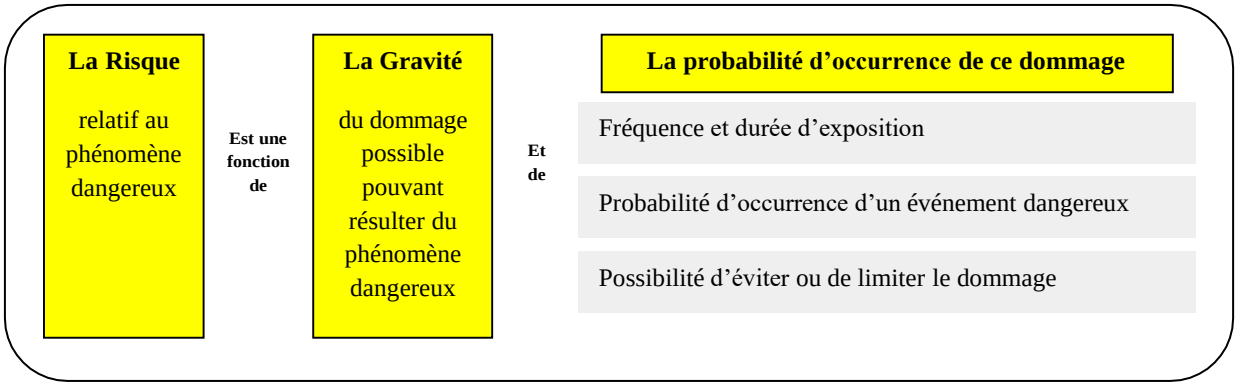


Figure III.3 : *Eléments du risque selon (ISO 14121, 1999).*

Pour faciliter cette estimation, un indice de risque peut être défini pour chaque situation dangereuse. Le document ED 807 de l'INRS (Lupin & Marsot, 2006) propose une plage de valeurs à associer aux composants du risque. Lorsque les plages de valeurs sont définies, il est possible d'utiliser des outils d'estimation du risque (figure III.4) qui sont souvent du type graphique (CSST, 2004).

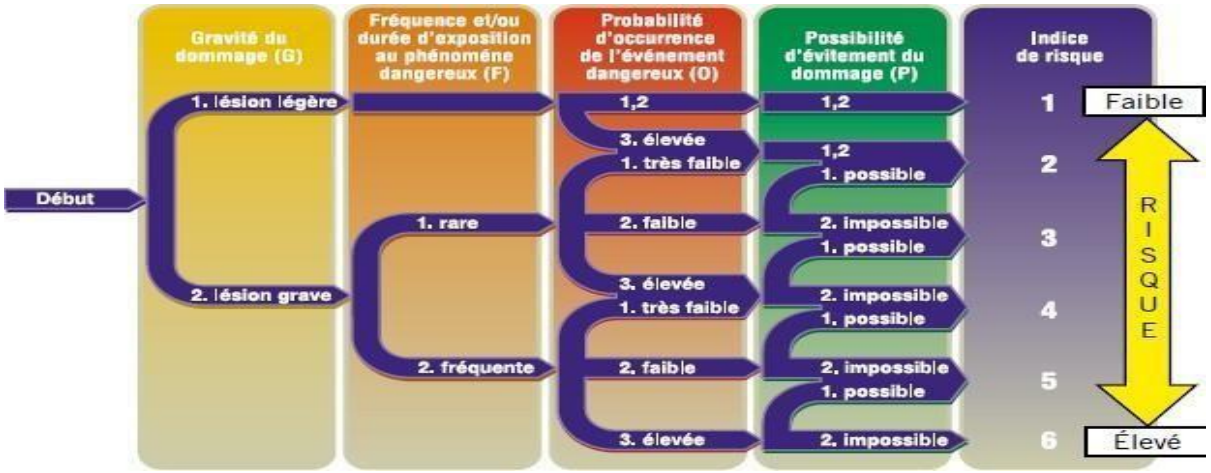


Figure III.4 : *Logigramme de risque d'après (CSST, 2004).*

Dans la pratique, il est important de fixer d'avance des limites objectives aux facteurs G, F, O et P en consultant des références (ISO 14121, 1999). Pour illustrer nos propos, nous considérons que :

- la Gravité du dommage (G) peut être estimée en prenant en compte la gravité des lésions ou de l'atteinte à la santé,
- la Fréquence ou durée d'exposition au phénomène dangereux (F) qui pourra être estimée en prenant en compte :
  - le besoin d'accéder à la zone dangereuse (par exemple, pour le fonctionnement normal, la maintenance ou la réparation),
  - la raison de l'accès (par exemple, l'alimentation manuelle de matières),
  - le temps passé dans la zone dangereuse,
  - le nombre de personnes devant y accéder,
  - la fréquence d'accès.
- La probabilité d'Occurrence d'un événement dangereux qui pourra être estimée en tenant compte :
  - des données de fiabilité et d'autres données statistiques,
  - de l'historique des accidents,
  - de l'historique des atteintes à la santé,
  - d'une comparaison des risques avec ceux que présente une machine similaire (si certaines conditions sont remplies).
- la Possibilité d'évitement du dommage (P) qui permet d'empêcher la production du dommage ou de le limiter, en fonction :
  - des travailleurs qui utilisent la machine,
  - de la rapidité d'apparition de l'événement dangereux,
  - de la conscience de l'existence du phénomène dangereux,
  - de la possibilité pour le travailleur d'éviter ou de limiter le dommage (par exemple, action, réflexe, agilité, possibilité de fuite).

En combinant le résultat obtenu pour les quatre paramètres, l'indice de risque est défini en utilisant le logigramme de risque (figure III.4), qui permet de définir six indices de risque croissant allant de 1 à 6.

L'intérêt du graphe représenté par la figure III.4 est qu'il s'inspire du graph-risk couramment utilisé en sécurité industrielle et notamment dans les systèmes instrumentés de sécurité. Ce type d'outil est très puissant comparativement aux outils classiques représentés essentiellement par les grilles (ou matrices) de criticité des risques (Lievens, 1976) surtout dans la prise en considération des dépendances entre les critères d'évaluation des risques.

A.2- *Évaluation des risques machines*

La dernière étape du processus d'appréciation des risques machines consiste à porter un jugement sur le niveau de risque estimé. C'est à cette étape que l'on détermine si ce risque est tolérable ou non.

Lorsque le risque est jugé intolérable (indice de risque élevé), des mesures de réduction du risque doivent être choisies et mises en œuvre. Afin de s'assurer que les solutions choisies permettent d'atteindre les objectifs de réduction des risques sans créer de nouvelles situations dangereuses, la procédure d'appréciation des risques doit être répétée après l'application des solutions.

B- *Réduction des risques machines*

B.1- *Élimination du phénomène dangereux et réduction des risques*

L'élimination du phénomène dangereux est le premier objectif à atteindre. Il s'agit d'éliminer le phénomène de façon à rendre la situation sécuritaire : c'est ce que l'on appelle la prévention intrinsèque.

Selon l'article 4.1 de la norme ISO 12100-2 (2003): « *La prévention intrinsèque que constitue la première et la plus importante étape de réduction du risque […] consiste à éviter les phénomènes dangereux ou à réduire les risques par un choix judicieux des caractéristiques de conception de la machine […].* ».

C'est donc à l'étape de la conception de la machine que la sécurité du travailleur est assurée. Le concepteur cherche à améliorer les caractéristiques de la machine : écartement des pièces mobiles pour éliminer les zones de coincement, suppression des arêtes vives, limitation des efforts d'entraînement ou limitation des niveaux d'énergie (masse, vitesse, accélération) des éléments mobiles.

B.2- *Protecteurs et dispositifs de protection*

Les protecteurs, qu'ils soient fixes ou équipés de dispositifs de verrouillage ou d'inter-verrouillage, suivent de près la prévention intrinsèque en termes d'efficacité dans la hiérarchie des moyens de réduction du risque. Viennent ensuite les dispositifs de protection tels que les barrages immatériels, les tapis sensibles, les détecteurs surfaciques ou les commandes bi-manuelles.

B.2.1- *Protecteurs fixes et protecteurs munis de dispositifs*

L'un des meilleurs moyens de réduire l'exposition à un phénomène dangereux est d'en empêcher l'accès par l'installation d'un protecteur. Idéalement, il est « fixe » et il faut utiliser un outil pour le retirer. Cependant, il peut être nécessaire d'ouvrir le protecteur pour avoir accès périodiquement à la zone dangereuse, par exemple, pour des besoins de production, de dégagement ou de maintenance.

Les protecteurs « mobiles » (munis de dispositifs de verrouillage ou d'inter-verrouillage) doivent donner un signal d'arrêt à la machine dès qu'ils sont ouverts. Si le temps d'arrêt de la machine est suffisamment court pour que le phénomène dangereux cesse avant que le travailleur puisse l'atteindre, un dispositif de verrouillage est utilisé. Si, par contre, le temps d'arrêt du phénomène dangereux est plus long, on utilise un dispositif d'inter-verrouillage qui, en plus de remplir les fonctions du dispositif de verrouillage, bloque le protecteur en position fermée jusqu'à ce que le phénomène dangereux ait complètement disparu.



Figure III.5 : *Exemples de protecteurs fixes constitués de grillage et de cornières, empêchant l'accès au mécanisme de transmission et munis de fixations imperdables (Blaise & al., 2012).*

B.2.2- *Dispositifs de protection*

Si l'utilisation d'un protecteur, qu'il soit fixe ou mobile, n'est pas envisageable, il faut envisager la possibilité d'utiliser un dispositif de protection tels que : le dispositif de protection optoélectronique (barrage immatériel, détecteur surfacique), le dispositif de validation, d'un tapis sensible, d'une commande bimanuelle, … etc.

Ces dispositifs sont conçus spécialement pour réduire le risque associé à une situation dangereuse.



Figure III.6 : *Tapis ou planché sensible (Blaise & al., 2012).*

B.3- *Avertissements, méthodes de travail et équipements de protection individuelle*

Les procédures, les avertissements, les méthodes de travail et les équipements de protection individuelle ne sont pas considérés comme les moyens les plus efficaces. Bien qu'essentiels dans des situations où aucune autre solution ne semble apporter de résultats satisfaisants, leurs effets sur l'amélioration de la sécurité sont jugés de moindre importance. Ils sont souvent utilisés en complément d'autres moyens de réduction des risques.

B.4- *Formation et information*

Dans tous les cas où le phénomène dangereux ne peut pas être éliminé, les travailleurs doivent recevoir une formation afin de les informer de la nature du risque résiduel auquel ils sont exposés et des moyens de réduction de ce risque utilisés pour y parer. Cette formation s'ajoute à la formation générale que l'employeur doit donner aux travailleurs en vue de l'utilisation de la machine.

B.5- *Vérification du résultat final*

Afin de s'assurer que les solutions choisies permettent d'atteindre les objectifs de réduction du risque sans créer de nouvelles situations dangereuses, la procédure d'appréciation du risque doit être répétée une fois les solutions appliquées.

III.2.3- *Remarques concernant les étapes de la gestion des risques machines*

Deux remarques ont attiré notre attention pour ce qu'est du processus de la gestion des risques machines : la première concerne les outils d'indexation des risques machines et la seconde concerne la nécessité d'identifier de manière exhaustive les situations dangereuses.

Pour la première remarque et étant donné que l'indexation des risques machines est basée sur le graph-risk qu'est d'usage intéressant en matière des risques machines, il est recommandé de procéder à son étalonnage (par fixation des objectifs de sécurité-machine).

Pour la seconde remarque et étant donné qu'une situation dangereuse est en fonction des phénomènes dangereux, il est intéressant de capitaliser ces phénomènes par trinôme « tâche-pièce-fonction » afin d'en retenir que ceux les plus impliqués dans les situations dangereuses. Ceci fera l'objet de la section suivante.

III.3- Capitalisation des phénomènes dangereux liés à la machine

III.3.1- *Analyse des risques*

A- *Limites de la machine*

On peut distinguer deux types de limites de la machines (tableau III.1) : limites techniques de spécifications et limites d'utilisation.

Tableau III.1 : *Les différents types des limites de la machine.*

Limites techniques de spécifications	*Limites d'utilisation*
- Pression d'utilisation - Force de fermeture - Température maximale - Amplitude maximale des mouvements de la machine - Défaillances prévisibles - Fréquences d'entretien - … etc.	- Usages normalement prévisibles - Mauvais usages raisonnablement prévisibles - Caractérisation des intervenants (formation, expériences, aptitudes) - Caractérisation des produits utilisés - … etc.

B- *Décomposition (Tâche-Pièce-Fonction)*

Une fois les limites de la machine identifiées, l'étape de décomposition «Tâche-Pièce-Fonction» peut être amorcée. Avant de procéder à cette étape, il est préférable de rappeler la définition des éléments du triptyque « Tâche-Pièce-Fonction ».

B.1- *La tâche*

Le tableau ci-dessous récapitule les définitions données par quelques sources documentaires.

Tableau III.2 : *Définitions du concept « Tâche ».*

Source	***Définition***
Hachette	La tâche est l'obligation que l'on doit remplir, par devoir ou par nécessité dans un temps donné.
(Lhote & al, 1995)	Du point de vue automatique, la tâche est un changement défini et finalisé de l'état d'un objet donné : entité matérielle, information, système technique, personnel, organisme.
(Norme, 1995)	Une tâche représente les activités nécessaires pour obtenir le résultat fixé par le système (la situation) de travail.

Ce concept représente d'une part, la tâche demandée au système (machine, dans notre cas). Dans ce cas, le système fonctionne dans un mode de fonctionnement qui correspond aux tâches réalisées par la machine (marche normale, machine à l'arrêt, réglage, calage, mode de fonctionnement dégradé, … etc.). D'autre part, ce concept concerne les tâches demandées à l'utilisateur de la machine ou à l'équipe de travail associée. Dans ce cas, l'équipe de travail réalise la tâche dans un mode d'intervention (mode de maintenance, de réglage, mode de dépannage, … etc.). Il est possible que pour réaliser un réglage, l'utilisateur appuie sur un bouton qui déclenche une série de tâches automatisées. Or, par le fait d'appuyer sur le bouton, l'utilisateur intervient sur la machine dans le cadre d'un mode d'intervention ; Par contre, la machine fonctionnera dans un mode de fonctionnement.

La tâche peut être réalisée dans des zones dangereuses par usage des outils, des produits de maintenance et des matières premières. Elle est réalisée par l'application des activités et elle consomme des énergies, … etc. De plus, la tâche n'a pas une durée propre, il existe habituellement des contraintes multiples qui correspondent à un ordre logique partiel sur certaines dates de début ou de fin. En plus, rien n'empêche les tâches d'être réalisées en plusieurs fois et non en une seule fois. La capacité maximum de travail dépend de l'état (physiologique, psychologique et cognitif) de l'opérateur. Cet état est influencé par la tâche effectuée, notamment par la performance obtenue et la charge de travail (Millot, 1999).

B.2- *La pièce*

La réalisation d'une tâche nécessite parfois l'utilisation ou la confrontation des pièces liées à la machine. D'où son intégration dans le triptyque « TPF ».

La pièce représente, donc, tous les outils et les matières nécessaires à la réalisation des tâches liées à la machine. Le terme pièce regroupe toutes les pièces concernant la tâche à

exécuter qui peuvent amener des phénomènes dangereux. Ces phénomènes peuvent causés des risques pour l'utilisateur (exécuteur de la tâche).

B.3- *La fonction*

Le tableau suivant récapitule les définitions données par quelques sources documentaires.

Tableau III.3 : *Définitions du concept « Fonction ».*

Source	***Définition***
(Dictionnaire)	C'est ce à quoi sert une chose dans l'ensemble dont elle fait partie.
(Pomian & al, 1997)	La fonction est l'action d'un produit exprimée en termes de finalité qui constitue un référentiel commun au besoin, aux contraintes et au produit.
(AFNOR, 1982)	La fonction est une action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité.

Une fonction dangereuse d'un système est une fonction pouvant engendrer un risque ou un phénomène dangereux lorsque le système fonctionne (souder, couper, plier). Les fonctions peuvent être classées selon un certain principe et chacune est caractérisée par son nom et son type. Il est possible aussi que la fonction soit décomposable en sous-fonctions.

C- *Relations Tâche →Pièce →Fonction*

Les paramètres du TPF sont intimement liés et la Pièce joue un trait d'union entre la Tâche et la Fonction (figure III.7). De même, la décomposition du système « machine » suivant le triptyque TPF permet de prendre en considération trois aspects (Saadi, 1997) : l'aspect fonctionnel (représenté par les Fonctions », l'aspect structurel (représenté par les Pièces) et l'aspect fonctionnement multi-phases (représenté par les tâches).

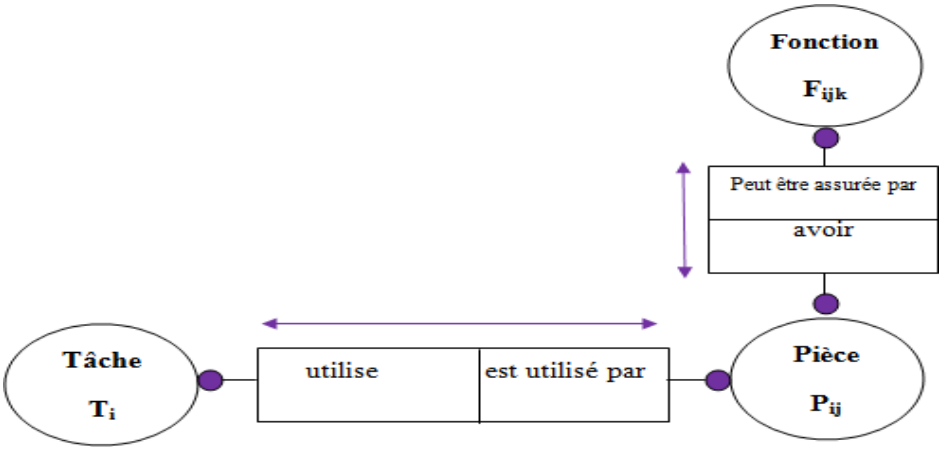


Figure III.7 : *Relations « Tâche » → « Pièce » → « Fonction ».*

Dans la figure précédente, chaque Tâche utilise une ou plusieurs Pièces et chaque Pièce est utilisée par une ou plusieurs Tâches. De même, chaque Pièce peut avoir une ou plusieurs Fonction et chaque Fonction peut être assurée par une ou plusieurs Pièces.

Un examen de cette relation montre que si la Pièce joue un trait d'union entre la Tâche et la Fonction, la Tâche peut être considéré comme un élément de regroupement d'un ensemble de Pièces et de leurs Fonctions qu'elles assurent. L'intérêt de ce regroupement, nous permet de nous focaliser que sur les Pièces/Fonctions qui complètent la même tâche.

L'intérêt partagé des termes « Tâche » et « Pièce » concerne également le terme « Fonction » dont sa formulation duale nous permet de déduire un dysfonctionnement quelconque qui peut être à l'origine d'un phénomène dangereux. Conséquemment, le triptyque TPF contribue efficacement à l'analyse dysfonctionnelle de la machine qui vise à recenser tous les phénomènes dangereux pouvant entrainer des risques liés à la santé et sécurité du travail pendant l'utilisation de la machine.

D- *Déduction des phénomènes dangereux*

Durant cette étape, il est avantageux d'identifier tous les phénomènes dangereux pour chaque tâche, notamment afin de faciliter la mise en œuvre de l'étape suivante relative à l'estimation du risque.

La déduction des phénomènes dangereux s'effectue à partir de la fonction d'une pièce. Plus précisément à partir du mode de défaillance qui n'est que le fonctionnement anormal d'une pièce (Villemeur, 1988). Ce fonctionnement anormal peut être un : arrêt non prévu, un fonctionnement prématuré, un refus de démarrage, … etc. En conséquence, chaque fonctionnement anormal d'une pièce peut engendrer un phénomène dangereux et inversement un phénomène dangereux peut être engendré par une ou plusieurs fonctions en mode de fonctionnement anormal (figure III.8).

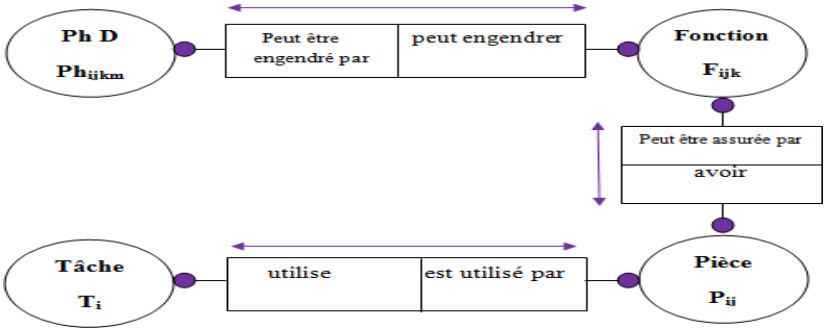


Figure III.8 : *Relation « Fonction / Phénomène dangereux ».*

Il important de rappeler qu'une pièce en fonctionnement normal est caractérisée par une fonction qui, normalement, n'engendre pas de phénomène dangereux ; car nous supposons que la machine qui renferme cette pièce soit conforme aux normes et aux règlements d'usage en termes de la sécurité des machines.

Enfin, la liste des phénomènes dangereux associée à une tâche nous permet de capitaliser ces phénomènes par tâche (figure III.9).

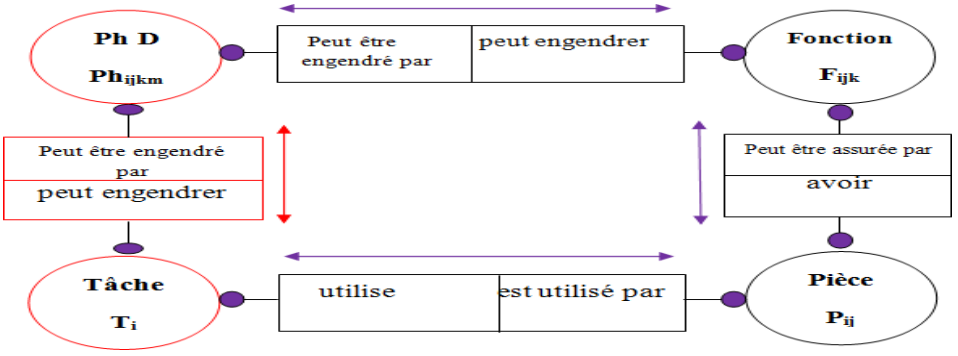


Figure III.9 : *Capitalisation des phénomènes dangereux par la relation « Tâche / Phénomène dangereux ».*

E- *Estimation des phénomènes dangereux*

Après la déduction des phénomènes dangereux pour une tâche donnée, les risques correspondant à chaque phénomène dangereux doivent être estimés pour chaque tâche de la phase de vie. Cette étape vise à déterminer l'ampleur de l'enjeu que représente chacun des phénomènes dangereux identifiés précédemment afin de faciliter la prise de décision.

F- *Évaluation des risques liés aux phénomènes dangereux*

Au cours de cette étape, le responsable de la tâche doit veiller à ce qu'une évaluation des risques soit effectuée afin de déterminer les exigences S&ST liées à l'utilisation de celle-ci.

G- *Capitalisation des phénomènes dangereux par tâche*

Pour compléter cette démarche et mieux concrétiser la capitalisation[1]des phénomènes dangereux par tâche, nous recommandons de sélectionner, pour une tâche donnée, les phénomènes dangereux les plus récurrents (fréquents) et ceux qui ont un indice de risque le plus élevé.

[1] Le mot capitalisation (d'une connaissance qu'est un phénomène dangereux dans notre cas), sous-entend une meilleure exploitation des phénomènes dangereux (Boubaker & al., 2012).

Ces deux critères de sélection de ces phénomènes dangereux nous permettent de respect les grandeurs de base de risques machines qui sont la fréquence et la gravité des risques.

La formulation mathématique que nous proposons pour cette capitalisation est la suivante :

$$\Theta = \{T_1, T_2, \ldots, T_n\} \quad [3]$$

$$T_k = \{PhD_{1k}, PhD_{2k}, \ldots, PhD_{mk}\} \quad [4]$$

$$PhD_{ij} = \{NT_{ij}, R_{ij}\} \quad [5]$$

$$LT = \{PhD_{xy}, PhD_{yz}, \ldots\} \quad [6]$$

Avec : - Θ un ensemble de tâches et n le nombre total des tâches.

- PhD_{ij} est un phénomène dangereux « i » d'une tâche « j » caractérisé par : NT_{ij} qu'est le nombre de tâches pour lesquelles il est associé et R_{ij} est son indice de risque.
- $NT_{ij} \in N^*$ et $R_{ij} \in [1\text{-}6]$
- LT est la liste finale des phénomènes dangereux priorisés.

Rappelons qu'initialement, la liste LT est vide : $LT = \{\varnothing\}$.

La capitalisation des phénomènes dangereux consiste, donc, en une finalisation de cette liste « LT » moyennant un critère de seuil de tolérance des risques machines δ.

La capitalisation des phénomènes dangereux consiste, donc, en un établissement d'une liste finale des phénomènes dangereux les plus représentatifs en termes de grandeurs des risques-machines.

L'algorithme proposé pour l'établissement de cette liste LT est le suivant :

Etablissement de la liste LT suivant le critère seuil de tolérance des risques-machines δ (boucles sur le nombre de PhD « i » et de tâches « j »)

$\delta \leftarrow 6$; $j \leftarrow 1$.

Pour l'ensemble des phénomènes dangereux d'une tâche T_j Faire :

Si Max (R_{ij}) < δ Alors :

$\delta \leftarrow$ Max (R_{ij})

Insérer PhD_{ij} dans la liste LT

Sinon $j \leftarrow j+1$

Un examen rapide de notre proposition montre que la procédure de capitalisation des phénomènes dangereux permet, non seulement, de sélectionner les phénomènes les plus représentatifs en termes de risques-machines mais également de veiller quant à la présence des tâches dans la priorisation de ces phénomènes dangereux.

Rappelons que cette procédure de sélection des phénomènes dangereux (priorisation) réponde, indirectement, au principe de tolérance des risques (risques-machines, dans notre cas).

III.3.2- *Détermination des mesures pour réduire les risques estimés*

Réduire le risque demande la mise en œuvre d'un ensemble de moyens et de prescriptions qui concourent à obtenir un niveau de sécurité acceptable.

L'objectif à atteindre est la réduction la plus importante possible du risque en prenant en compte différents facteurs. Le processus est itératif et, en utilisant au mieux les technologies disponibles, plusieurs répétitions consécutives peuvent être nécessaires pour réduire le risque.

Dans l'exécution de ce processus, il est nécessaire de prendre en compte l'ordre de prévalence suivant : la sécurité de la machine dans toutes les phases de sa durée de vie, la capacité de la machine à effectuer sa fonction, l'utilisabilité de la machine.

Evidemment, pour optimiser ce processus itératif de réduction des risques-machines nous préconisons de s'en occuper prioritairement des phénomènes dangereux de la liste LT (voir algorithme de capitalisation de ces phénomènes présenté dans la page précédente).

L'analyse du risque et le processus de réduction du risque exigent que les phénomènes dangereux sélectionnés soient éliminés ou réduits par des mesures de prévention hiérarchisées :

- suppression des dangers ou réduction du risque par des mesures constructives,
- réduction du risque au moyen de dispositifs de sécurité et de mesures de protection complémentaires,
- réduction du risque par la mise à disposition d'informations sur le risque résiduel destinées à l'utilisateur.

III.4- Conclusion

La gestion des risques machines, cadré par une démarche scientifique a obligation de résultats, a fait l'objet de ce chapitre.

L'intérêt de la démarche retenue dans cette partie du présent mémoire est l'intégration du triptyque TPM où une présentation détaillée des relations entre ces paramètres a fait également le centre d'intérêt de ce chapitre.

Le domaine de priorisation des indicateurs de performance d'une manière générale qu'est devenu très évoque nous a conduit à compléter cette démarche de gestion des risques-machines par une proposition de méthode de capitalisation des phénomènes dangereux dans le but d'optimiser les mesures de réduction des risques-machines.

Le chapitre suivant aura donc pour vocation de valider cette démarche sur un exemple d'application.

Chapitre IV :

Le déploiement du système de sécurité proposée

Cas proposé :

IV.1-Introduction

La sécurité industrielle contribue efficacement à l'amélioration de performance globale de l'entreprise (Léger, 2009) et donc aux performances techniques qui sont liées aux machines ainsi qu'aux installations. Pour cette raison, un plan de leurs sécurisations doit être élaboré pendant l'exécution de toutes les tâches qui peuvent engendrer des dangers parfois graves. Conséquemment, la Gestion des Risques Machines (GRM) est d'une grande utilité.

Le but de ce dernier chapitre est d'appliquer la démarche GRM présentée dans le chapitre précédent au « Compresseur HP/BP 103J » du complexe FERTIAL de Annaba. Cette application sera précédée, logiquement, par une présentation succincte de ce complexe. Ceci fera l'objet de la section suivante.

IV.2- Le complexe FERTIAL de Annaba « Site d'étude »

IV.2.1- *Description succincte de l'usine*

Le complexe FERTIAL de Annaba, spécialisé dans la fabrication d'engrais minéraux (engrais phosphatés, super simple phosphate, urée et nitrate d'ammonium) est situé en plein centre urbain de la ville d'Annaba et à proximité de la mer (Figure IV.1) :

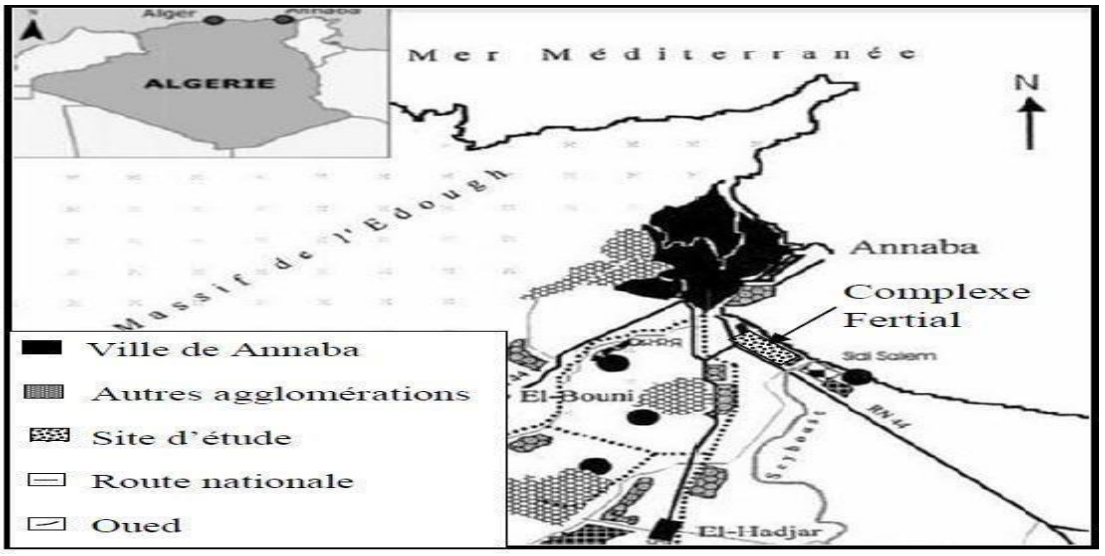


Figure IV.1 : *Localisation du complexe FERTIAL (Khellaf & Zegaoula, 2014).*

Afin d'avoir une idée sur les activités de ce complexe, Le tableau IV.1 donne quelques chiffres concernant le site d'étude en février 2014. C'est un instantané de ses activités.

Tableau IV.1 : *FERIAL d'Annaba par les chiffres (FERTIAL News, 2014).*

Production	14138 tonnes d'ammoniac ont été produites et 10027.276 tonnes exportées. Alors que la production du NPKs (15-15-15) s'est élevée, au cours du mois de février, à 16950 tonnes.
Direction technique	Au cours du mois de février, la direction technique a procédé au suivi en matière de process des unités de production. Le laboratoire du complexe a effectué des analyses de contrôle « qualité des matières premières et produits finis » des unités de production. Ainsi, 31 échantillons ont été analysés pour les rejets atmosphériques et 20 autres analysés pour les rejets liquides. De même, le laboratoire Agronomique du complexe a également réceptionné 540 échantillons dont 473 sol et 67 végétaux. 204 échantillons ont été traités et analysés.
Manutention et approvisionnement	14.913 Tonnes ont été ensachées, dont 11.834 T de NPK et 3.079 T de Sulfazote. Les activités portuaires du mois de février, ont consisté à l'expédition de 10.027 T d'ammoniac à travers d'un navre et à l'importation de 3.150 T de SAM. A noter que 11.415 Tonnes d'engrais ont été expédiées, dont 9.315 T par route et 2.100 T par wagon.
Sécurité	Au cours du mois de février, l'usine d'Annaba n'a enregistré aucun accident avec ou sans arrêt de travail. Néanmoins, les sociétés sous-traitantes, ont enregistré un accident sans arrêt. Ainsi, le nombre de journées sans accidents avec arrêt au 28.02.2014 est de 37 jours.

IV.2.2- *Choix de la machine d'étude*

L'analyse des incidents/accidents passés est une étape ultime dans le recueil des informations indispensables à l'analyse des risques (Debray & al, 2006). Les statistiques mondiales de l'ARIA-BARPI, montrent de façon claire l'ampleur et la gravité des dégâts engendrés par les usines de fabrication de produits azotés et d'engrais (FPAE) ainsi que la machine qui fréquemment en cause (Tableau IV.2).

Tableau IV.2 : *Extrait des quelques accidents liés à la FPAE*[1].

1985	*USA*	Dans une unité de production d'ammoniac, une fuite à 350 bars de gaz de synthèse (ammoniac + hydrogène) se produit dans le local des compresseurs à la suite de la défaillance d'une soudure sur une ligne (2 ») en sortie d'un compresseur. L'un des moteurs électriques des 4 compresseurs présents est probablement à l'origine de l'explosion du nuage formé dans le local de 15 m x 105 m, 30 à 45 s plus tard. Un incendie perdurera une dizaine de minutes. Le bilan fait état de 8 personnes blessées, les bâtiments alentours sont diversement endommagés, tout comme la tour de refroidissement et l'unité de production acide de l'usine ; les dommages matériels sont évalués à 13,4 millions de dollars.
1991	*France*	Dans une unité de fabrication de NH_3, une fuite d'un mélange hydrogène-azote se produit sur une bride d'aspiration d'un compresseur. Le mélange s'enflamme au contact de l'air et l'incendie se propage à un bac d'huile. Il est maîtrisé par l'équipe de sécurité. Les pompiers se placent en protection. Les dommages restent limités au bâtiment du compresseur.
2000	*USA*	Une violente explosion se produit dans une usine fabriquant des engrais azotés. Les témoins présents dans les alentours rapportent la présence d'un nuage de fumées jaunes et d'une boule de feu à sa base. L'incendie qui suit, alimenté par une canalisation d'hydrogène (5,5 t de H_2 présentes dans l'installation) est contenu par les pompiers jusqu'à son extinction naturelle. De faibles quantités d'ammoniac ont probablement été émises à l'atmosphère. Aucun blessé n'est relevé mais les dégâts matériels sont importants. L'usine est fermée pour une semaine. Des travaux de désamiantage sont effectués, l'explosion ayant détruit un mur à l'origine d'une dissémination d'amiante. L'explosion, qui s'est produite dans le local des compresseurs, fait suite à une succession d'incidents survenus au cours de 7 jours précédents ; une semaine plus tôt, des dysfonctionnement d'un compresseur et d'une chaudière auxiliaire avaient entraîné l'arrêt de l'usine et le rejet d'ammoniac à l'atmosphère ; puis lors du

[1] *http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/*

		redémarrage, la rupture d'un joint d'étanchéité avait provoqué une fuite d'hydrogène et une petite explosion sans faire de dégâts apparents. L'installation avait redémarré 2 jours plus tard pour s'arrêter à nouveau le lendemain suite à l'emballement d'un compresseur. Après une journée entière passée à vérifier l'unité, celle-ci est redémarrée peu avant l'accident. Une enquête est effectuée ; la partie soudée sur la conduite d'hydrogène à l'origine du premier incident avait été retirée pour être analysée, notamment en terme de fatigue du métal.
2003	*France*	Dans une usine chimique, une fuite enflammée de gaz de synthèse se déclare au niveau d'un réacteur de l'unité ammoniac (NH_3) lors de son redémarrage à la suite d'un arrêt technique. Le plan d'organisation interne (POI) de l'établissement est activé, le dispositif d'extinction à la vapeur d'eau est déclenché entraînant l'extinction quasi-immédiate de la flamme. L'unité est arrêtée, vérifiée et remise en service 4 jours plus tard. L'arrêt technique préalable à l'accident résultait d'un incident sur le circuit de lubrification du turbocompresseur d'air de l'unité NH_3 stoppant la machine puis presque totalement l'unité. Après remise en ordre du circuit de lubrification, l'atelier est remis en production et 14 h plus tard la synthèse est remise en route. C'est au redémarrage du compresseur de synthèse que la fuite de gaz s'est déclarée au niveau du joint supérieur du réacteur, s'enflammant spontanément. Une différence de dilatation thermique entre le joint (refroidi par le gaz à la mise en service de la synthèse) et le corps du réacteur (resté chaud) est à l'origine de la fuite, la forte teneur en hydrogène du gaz de synthèse expliquant son inflammation spontanée. Par ailleurs, les modalités de mise à l'air rapide et complète du contenu de la boucle de synthèse, par ouverture systématique de toutes les vannes de sectionnement, même en cas d'arrêt court, accentue la propension de l'unité à ce type d'incident. Les actions correctives entreprises sont le maintien du réacteur en pression par injection d'azote (80 – 100 bars) lors des arrêts courts et la fermeture automatique de la liaison au compresseur de synthèse pour réduire la vitesse de la chute de pression.

L'analyse du tableau ci-dessus montre que dans l'industrie de fabrication de produits azotés et engrais, les turbocompresseurs sont les machines les plus dangereuses et elles constituent le cœur de l'unité. De plus, leurs arrêts entraîneraient l'arrêt de toute l'installation.

Partant de ce constat, nous avons procédé à l'inventaire de ces machines au sein de l'unité FERTIAL d'Annaba et nous avons énumérés les turbocompresseurs sont :

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

Ces turbocompresseurs se trouvent dans une salle indépendante appelée «salle des machines». De même, le turbocompresseur de synthèse 103J renferme quatre machines sur une même ligne d'arbre. Ces machines (Turbines BP et HP, Compresseurs BP et HP) sont liées avec deux types d'accouplements : Lames doubles avec "scaper" pour les compresseurs et Denture pour les autres accouplements.

L'historique des défaillances de cette machine durant la période 2008 - 2010 est résumé par le tableau IV.3 ci-dessous où l'on remarque que le compresseur (HP/BP) 103J a vécu plusieurs pannes.

Tableau IV.3 : *Historique des pannes du compresseur (HP/BP) 103J (Embarek, 2011).*

Date d'incident	*Durée de l'arrêt (Heures)*	*Durée de l'intervention (Heures)*	*Tâches effectués*
23/02/2008	290	280	*Changement : rotor + palier porteur étanchéité + accouplement*
15/03/2008	12	11	*Fuit d'huile*
17/03/2008	48	40	*Inspection compresseur BP- rotor*
01/04/2008	46	40	*Rénovation câble (compresseur HP)*
13/04/2008	66	60	*Changement accouplement (compresseur HP)*
17/04/2008	8	6	*Mise en place sonde palier*
30/05/2008	12	10	*Inspection palier et changement sonde (compresseur HP)*
05/07/2008	8	7	*Travaux sur les sondes (compresseur BP)*
16/12/2008	24	20	*Prévention instrumentation compresseur – fuit d'huile*
12/03/2009	4	3	*Elimination fuit d'huile*
11/05/2009	120	110	*Travaux sur régulateur de vitesse de compresseur (changement)*
30/07/2009	10	8	*Changement sonde de vibration*
24/12/2009	360	350	*Ouverture éventuels réparation (compresseur BP)*

05/04/2010	48	46	*Inspection accouplement (Compresseur BP)*
13/05/2010	66	60	*Synchronisation vannes BP/HP*
27/08/2010	5	4	*Etanchéité – sonde (Compresseur BP)*
27/09/2010	48	44	*Travaux sur les sondes*
31/10/2010	10	8	*Changement filtre (Compresseur BP)*

Pour remédier à ces pannes qui peuvent engendrées des risques-machines, nous devons donc nous intéressés aux risques associés au compresseur HP/BP 103J afin de les gérer de la manière la plus adéquate.

C'est dans ce contexte que nous avons jugé utile d'appliquer la démarche GRM présentée au chapitre précédent et que nous appliquons, donc, au turbocompresseur HP/BP 103J.

IV.3- Gestion des risques-compresseur HP/BP 103J

IV.3.1- *Analyse des risques*

A- *Limites de la machine*

Le compresseur de gaz de synthèse 103J est composé de deux unités (Figure IV.2) :

- Un compresseur Basse Pression (BP) à joint vertical qui comporte 09 étages de compression entraînés directement par la turbine,
- Un compresseur Haute Pression (HP) à joint vertical comporte également 08 étages de compression entraînés par le compresseur BP.



Figure IV.2 : *Compresseur (HP/BP) 103J.*

Les limites de spécification et d'utilisation de la machine étudiée sont synthétisées dans les tableaux suivants.

Tableau IV.4: *Caractéristiques techniques du compresseur BP 103J d'après (Embarek, 2011).*

Éléments	*Spécifications et valeurs*
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 maximal	11000tr/mn

Tableau IV.5 : *Caractéristiques techniques du compresseur HP 103J d'après (Embarek, 2011).*

Éléments	*Spécifications et valeurs*
Nature fluide	Gaz
Date de fabrication	1977
Date de mise en service	1984
Poids	10800 Kg
Nombre roues	8
Pression d'entrée $2^{ieme}/3^{ieme}$ sections	64.2/134.8 bar abs
Pression refoulement $2^{ième}/3^{ième}$ sections	134.8/150.9 bars abs
Température d'entrée $2^{ième}/3^{ième}$ sections	8/52°C
Température de refoulement $2^{ième}/3^{ième}$ sections	115.3/66.2°C
Débit d'entrée	2107/6262 m^3/h
Vitesse maximal	11000 tr/mn
Température maximal de fonctionnement	180°C

B- *Décomposition TPF*

B.1- *Les tâches*

Compte tenu des arrêts multiples du turbocompresseur étudié (Embarek, 2011) et de sa place stratégique qu'il occupe dans la chaîne de production, les tâches retenues sont les suivantes :

T_1 = Renfermer le compresseur,

T_2 = Transformer le mouvement de rotation,

T_3 = Tâches liées au piston (Transmettre de mouvement au piston, leur guidage et déplacement, renfermer le piston),

T_4 = La fixation de la crosse et la tige,

T_5 = Assurer l'étanchéité,

T_6 = Orienter le mouvement de translation,

T_7 = Assurer la compression,

T_8 = Assurer la fixation,

T_9 = Capter les vibrations,

T_{10} = Faire passer la vapeur dans un seul sens.

Donc et en référence à l'équation [3] du chapitre trois, nous aurons :

$$\Theta = \{T_1, T_2, \ldots, T_{10}\} \qquad [3\text{-bis}]$$

B.2- *Les pièces*

Les pièces qui composent le turbocompresseur 103J sont les suivantes : le Bâti, le Vilebrequin, la Bielle, les Ecrous, la Bague, la Glissière, la Crosse de piston, la Tige de piston, la Chemise, les Cylindres, les Segments, les Pistons, les Calfat, le Fonds inférieur, le Joint et Boite d'étanchéité, les Goujons, la Sonde, le Palier, le Rotor, le Régulateur, la Vanne et les Clapets d'aspiration et de refoulement.

Pour compléter cette description des pièces de la machine étudiée, nous rappelons dans le tableau suivant le nombre de pannes ainsi que les heures d'arrêts qu'ont connu certaines pièces du turbocompresseur 103J.

Tableau IV.6 : *Statistiques des pannes de certaines pièces de la machine étudiée d'après (Embarek, 2011).*

	Nombre des pannes	*Heurs d'arrêt*
Sonde	6	139
Palier	4	422
Boite étanchéité	2	299
Rotor	2	338
Régulateur	1	120
Vanne	1	66

B.3- *Les fonctions*

Chacune des pièces ci-dessus peut avoir une ou plusieurs fonctions que nous regroupons dans le tableau suivant.

Tableau IV.7 : *Fonctions des pièces du compresseur HP/BP 103J.*

Pièces	*Fonctions*
Bâti	Supporte l'ensemble des organes mécaniques de la machine
Vilebrequin	Assure la conversion du le mouvement rectiligne alternatif des bielles en mouvement circulaire
Bielle	Assure la liaison entre l'excentrique ou maneton et le piston
Ecrous	Assurent la fixation de la crosse et la tige
Bague	Assure l'étanchéité du gaz
Glissière	Assure le guidage de piston
Crosse de piston	Supporte le piston
Tige de piston	Assure le déplacement du piston
Chemise / cylindre	Cadre le coulissage du piston.
Segments	Assurent l'étanchéité du piston dans le cylindre
Piston	Assure la compression
Calfat	Assure l'étanchéité du gaz
Fonds inférieur	Renferme le compresseur
Joint d'étanchéité	Assure l'étanchéité et évite les fuites
Goujons	Assure la fixation des pièces
Sonde	Capte les vibrations
Clapets d'aspiration et de refoulement	Assurent l'aspiration et le refoulement de la vapeur

C- *Tableau TPF*

À partir de la description précédente des pièces et fonctions, nous procédons à l'établissement des relations : tâches → pièces → fonctions.

Le tableau de la page suivante résume ces relations.

Tableau IV.8 : *Décomposition TPF lié au compresseur HP/BP 103J.*

	Tâches	*Pièces*	*Fonctions*
T1	*Renfermer le compresseur*	**1.1)** Bâti	Supporte l'ensemble des organes mécaniques de la machine
		1.2) Cylindres	Cadre le coulissage du piston.
		1.3) Fonds inférieur	Renferme le compresseur
T2	*Transformer le mouvement de rotation*	**2.1)** Vilebrequin	Assure la conversion du le mouvement rectiligne alternatif des bielles en mouvement circulaire
T3	*Tâches liées au piston (Transmettre de mouvement au piston, leur guidage et déplacement, renfermer*	**3.1)** Bielle	Assure la liaison entre l'excentrique ou maneton et le piston
		3.2) Glissière	Assure le guidage de piston
		3.3) Tige de piston	Assure le déplacement du piston
		3.4) Chemise	Cadre le coulissage du piston.

	le piston)		
T4	*La fixation de la crosse et la tige*	**4.1)** Écrous	Assurent la fixation de la crosse et la tige
T5	*Assurer l'étanchéité*	**5.1)** Bague	Assure l'étanchéité du gaz
		5.2) Segments	Assurent l'étanchéité du piston dans le cylindre
		5.3) Calfat	Assure l'étanchéité du gaz
		5.4) Joint d'étanchéité	Assure l'étanchéité et évite les fuites
T6	*Orienter le mouvement de translation*	**6.1)** Crosse de piston	Supporte le piston
T7	*Assurer la compression*	**7.1)** Piston	Assure la compression
T8	*Assurer la fixation*	**8.1)** Goujons	Assure la fixation des pièces
T9	*Capter les vibrations*	**9.1)** Sonde	Capte les vibrations
T10	*Faire passer la vapeur dans un seul sens*	**10.1)** Clapets d'aspiration et de refoulement	Assurent l'aspiration et le refoulement de la vapeur

D- *Déduction des phénomènes dangereux*

L'étape suivante est la déduction des phénomènes dangereux par tâche. Cette déduction est réalisée grâce à l'exploitation des fonctions supportées par les différentes pièces de la machine 103J.

Pour rappel, un phénomène dangereux est une libération d'énergie ou de substance qui produit des effets physiques d'une certaine intensité. Conséquemment, dans notre cas, nous avons énumérée les phénomènes dangereux suivants :

- PhD_1 = échauffement,
- PhD_2 = bruit,
- PhD_3 = usures (ou détériorations),
- PhD_4 = fuites.

A partir de cette liste primaire, on procède à la spécification « tâches ↔ phénomènes dangereux » conformément à la relation [4] du chapitre III :

$T_1 = \{PhD_1, PhD_2, PhD_3\}$ [4bis-1]

$T_2 = \{PhD_2, PhD_3\}$ [4bis-2]

$T_3 = \{PhD_1, PhD_2, PhD_3\}$ [4bis-3]

$T_4 = \{\varnothing\}$ [4bis-4]

$T_5 = \{PhD_1, PhD_3, PhD_4\}$ [4bis-5]

$T_6 = \{PhD_2, PhD_3\}$ [4bis-6]

$T_7 = \{PhD_1, PhD_2, PhD_3\}$ [4bis-7]

$T_8 = \{PhD_2\}$ [4bis-8]

$T_9 = \{PhD_3\}$ [4bis-9]

$T_{10} = \{PhD_3\}$ [4bis-10]

E- *Déduction des indices de risques-machine*

Lors de cette étape, l'intérêt est porté sur la déduction des indices des risques pour chaque phénomène dangereux dans le but d'évaluer son intensité (Tableau IV.9).

Tableau IV.9 : *Indices des risques des phénomènes dangereux retenus.*

Tâches	*PhD_{ij}*	*R_{ij}*
T_1 ; T_3 et T_7	$PhD_{1-1} = PhD_{1-3} = PhD_{1-7}$ = « échauffement »	3
	$PhD_{2-1} = PhD_{2-3} = PhD_{2-7}$ = « bruit »	4
	$PhD_{3-1} = PhD_{3-3} = PhD_{3-7}$ = « usure »	6
T_2 et T_6	$PhD_{1-2} = PhD_{1-6}$ = « bruit »	4
	$PhD_{2-2} = PhD_{2-6}$ = « usure »	6
T_5	PhD_{1-5} = « échauffement »	3
	PhD_{2-5} = « usure »	6
	PhD_{3-5} = « fuite »	5
T_8	PhD_{1-8} = « bruit »	4
T_9 et T_{10}	$PhD_{1-9} = PhD_{1-10}$ = « usure »	6

Signalons que par manque d'informations sur la spécificité des phénomènes dangereux pour chacune des tâches[2], nous avons retenu le même indice de risque pour tous les phénomènes dangereux ayant le même libellé : par exemple, le PhD_{x-y} = « bruit » a le même indice de risque pour l'ensemble des tâches où il figure.

D'où et en référence à la formulation [5] du chapitre nous obtenons :

$PhD_1 = \{4, 3\}$ [5bis-1]

$PhD_2 = \{6, 4\}$ [5bis-2]

$PhD_3 = \{8, 6\}$ [5bis-3]

$PhD_4 = \{1, 5\}$ [5bis-4]

[2] Par exemple, Le phénomène dangereux « bruit » peut avoir des indices de risques différents pour les différentes tâches auxquelles il est associé.

F- *Capitalisation de la liste des phénomènes dangereux*

Cette dernière étape a pour objet d'en retenir que les phénomènes dangereux les plus intenses afin d'optimiser les moyens de prévention et de protection.

La capitalisation des phénomènes dangereux est matérialisée moyennant l'algorithme développé dans le chapitre trois (page 53). A l'issue de cette capitalisation, nous obtenons la liste finale des phénomènes dangereux pour lesquels il faut déployer un plan d'action.

L'application de l'algorithme du chapitre trois permet d'obtenir les phénomènes dangereux priorisés. En effet, afin d'illustrer le principe de l'algorithme de priorisation (du chapitre trois) nous constatons que pour les tâches ($T_1/T_3/T_7$; T_2/T_6 ; T_5; T_9/T_{10}) seul le phénomène dangereux « usure » est priorisé ($\delta = 6$). Cependant, l'appréciation des phénomènes dangereux « bruit » de la tâche T_8 permet de prioriser tous les phénomènes dangereux ayant un indice de risque égale ou supérieur à 4.

Finalement, grâce au seuil de tolérance des risques introduit par Saadi (2014) que la priorisation des phénomènes dangereux est étendue à tous les phénomènes ayant des indices de risques-machines supérieur ou égal à δ pour une tâche donnée. Cette introduction du seuil δ a permis d'améliorer la procédure de priorisation des risques proposé initialement par Diakaki & al., (2006) pour les risques environnementaux.

IV.3.2- *Les mesures sécuritaires optimisées*

Cette phase consiste à proposer des actions (préventives, corrective) destinées à faire chuter les indices des risques liés phénomènes dangereux capitalisés pour chaque tâche à exécuter. Le tableau suivant résume ces actions.

Tableau IV.10 : *Mesures associées aux phénomènes dangereux priorisés.*

Action	*PhD priorisé*	*Pièce concernée*
Re-conception	Ph_2	Goujons
	Ph_3	Segments Sonde
Amélioration des performances des pièces	Ph_3	Glissière Crosse de piston Piston
Maintenance	Ph_3	Vilebrequin Bague Chemise

		Clapets d'aspiration et de refoulement

Sur la base des actions précédentes, nous appuyons les recommandons effectuées par Emabarek (2011) par :

- la substitution des sondes existantes par d'autres plus fiables,
- la réinstallation des capteurs ou sondes de manière à mieux capter les vibrations d'une part et de permettre en même temps un accès facile et rapide en cas de leurs défaillances, d'autre part,
- l'équilibrage du rotor afin d'éviter l'usure des paliers et des segments,
- le remplacement du calfat et les joints d'étanchéité par d'autres éléments plus fiables.

Ces mesures doivent être renforcées par d'autres actions de sensibilisation, d'information et de formation. Dans ce contexte, des formations sur l'utilisation de la machine doivent être engagées de manière régulière et continue car elles constituent un élément stratégique du plan d'action. A ce propos, nous recommandons d'axer ces formations sur ces phénomènes dangereux ainsi que leurs maîtrises dans les futures formations (tableau IV.11).

En effet, dans ce tableau qui recense les formations enregistrées au cours des premiers mois de janvier et février 2014, il indique que les mesures d'informations sur les conséquences liées aux tâches dangereuses ont été intégrées de façon insuffisante en dépit de leur importance stratégique.

Tableau IV.11 : *Les actions formatives au cours du mois de janvier et février (FERTIAL News, 2014).*

Janvier	*Février*
- Formation sur les échafaudages assurée par CPP - Exploitation des chaudières assurée par CSC - Opérations unitaires assurée par AEW - Vannes automatique assurée par EMERSON - Formation des nouvelles recrues 2013 assurée par IFA & BEFAD - Formation en interne des nouvelles recrues 2013 - Formation Process NH_3 en interne	- Formation des nouvelles recrues 2013 assurée par IFA+BEFAD - Formation Haut Potentiel assurée par CESI - Exploitation des chaudières assurée par CSC - Opérations unitaires assurée par AEW - Vannes automatiques assurée par EMERSON - Formation en interne des nouvelles recrues 2013.

IV.4- Discussion des résultats obtenus

La gestion des risques-machines basée sur la capitalisation des phénomènes dangereux permet d'optimiser les mesures de sécurité relatives à la machine 103J retenues dans cette étude.

L'intérêt de la démarche retenue dans la deuxième partie du mémoire (chapitres III & IV) réside dans l'exploitation des phénomènes dangereux conformément à la norme ISO 12100-1. C'est dans ce contexte que cette démarche a le mérite de mieux analyser les phénomènes dangereux en se basant, d'abord, sur la décomposition TPF du système machine (compresseur HP/BP 103J, dans notre cas) afin de faciliter la déduction des phénomènes dangereux et par la suite de mieux estimer leurs indices de risques-machine. Et ensuite sur la priorisation de ces phénomènes dangereux.

Cette priorisation a pour avantage de se focaliser, non seulement, sur les phénomènes dangereux les plus significatives conformément au principe général du processus de gestion des risques mais également de retenir toutes les tâches qui engendrent ces phénomènes dangereux. Donc, le principe de priorisation des phénomènes dangereux a pour objectif principal de retenir toutes les tâches ainsi que les phénomènes dangereux les plus critiques pour ces tâches. Cette stratégie qu'est axée sur les tâches se justifie par le fait que les phénomènes dangereux sont classés en fonction des tâches et sont également déduit suite à la décomposition TPF du système-machine. Donc, c'est dans le but de garder la traçabilité de la catégorisation des phénomènes dangereux par tâches que la priorisation de ces phénomènes est pratiquée.

Un autre avantage de la démarche présentée dans notre travail est la possibilité de choisir la meilleure politique de maintenance du système-machine. En effet et pour rappel, des études ont été réalisées en se basant sur l'AMDEC en tant qu'outil support pour l'aide au choix de la meilleure politique de maintenance (Elghorba & Herrou, 2005). Dans ce contexte, l'avantage de la décomposition TPF est sa possibilité de déduire les modes de défaillances des pièces en se basant sur les fonctions identifiées et par la suite l'élaboration de l'AMDEC-machine (Figure IV.3) en vue de déduire la meilleure politique de maintenance.

Un dernier avantage de notre proposition est que la démarche préconisée permet d'effectuer à la fois une Analyse Préliminaire des risques-machines (APR) et en même temps une analyse par tâche grâce à la décomposition TPF (Figure IV.3).

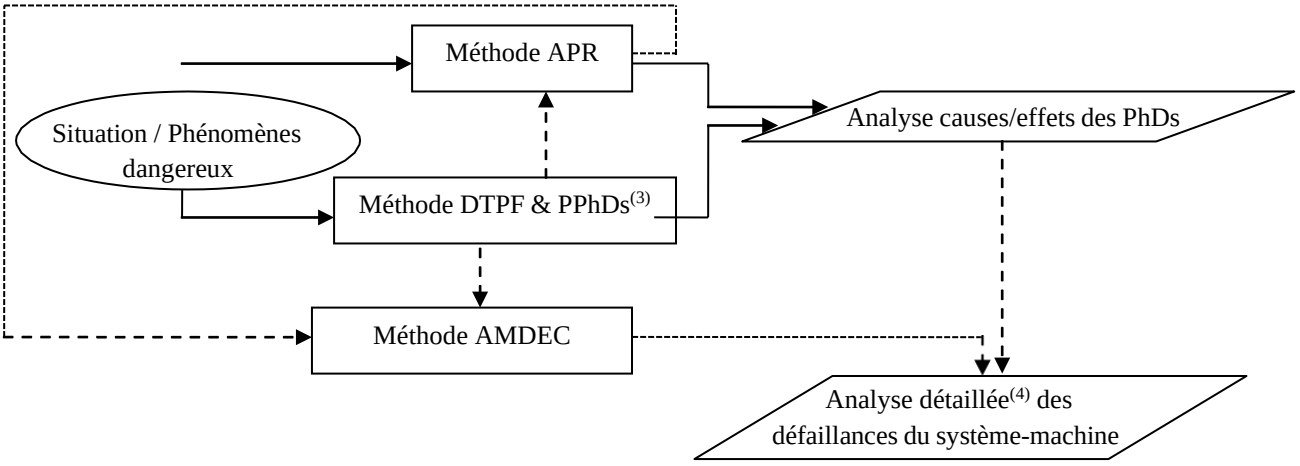


Figure IV.3 : *Positionnement de notre démarche par rapport aux méthodes classiques d'analyse des risques*[3].

IV.5- Conclusion

L'industrie de fabrication de produits azotés et d'engrais est une source de dangers permanents. De ce fait, nous avons analysé dans la première partie de ce chapitre, la cause du choix de la machine étudiée à partir, non seulement, des pannes précédentes, mais aussi les scénarios d'accidents/incidents passés qui ont été enregistrés dans la base de données ARIA-BARPI.

La deuxième partie de ce chapitre est réservée à l'application de la démarche de gestion des risques-machines proposée dans le chapitre trois au compresseur HP/BP 103J. L'application de cette démarche nous a permis de sélectionner les phénomènes dangereux les plus redoutés.

[3] Méthode de Décomposition TPF et de Priorisation des Phénomènes dangereux.
[4] L'analyse détaillée des défaillances machines peut être du type inductif (AdE) ou bien déductif (AdD).

Conclusion générale

La sécurité des machines est l'aptitude qu'une machine, dans des conditions d'utilisation normales, accomplisse sa fonction, à être transportée, à être installée, à être mise au point, à être entretenue, à être démontée, à être mise au rebut, sans causer de lésions ou d'atteinte à la santé de son utilisateur.

Dans le domaine de la prévention des accidents du travail liés à l'utilisation d'une machine, il est nécessaire d'adopter une stratégie (processus) de réduction du risque qui a pour but de reconnaître les phénomènes dangereux, de les évaluer et de les maitriser à l'aide de mesures de prévention et de protections afin qu'elles n'engendrent aucun dommage, et plus particulièrement, dans la phase[1] de conception des machines (principe de réduction du risque à la source). En effet, cette priorité accordée en phase de conception permet d'optimiser les efforts en matière du management santé et sécurité au travail «SST». C'est dans ce contexte d'optimisation de ces efforts que s'intègre notre travail qui porte essentiellement sur la gestion des risques-machines moyennant la priorisation des phénomènes dangereux.

1- Travail réalisé

Deux parties ont fait l'objet du présent mémoire : la première est une partie bibliographique (chapitres un et deux) qui a pour objet principal de rappeler les notions fondamentales et les principes généraux de conception dans le domaine de la sécurité des machines afin de mieux positionner le cadre général du présent travail. De plus, nous avons aussi procédé au développement réglementaire et normatif en matière de la sécurité des machines afin d'avoir une idée sur ces aspects qui occupent une place de choix en matière des risques-machines.

Le seconde partie de ce mémoire (chapitres trois et quatre) est dédiée à la démarche de gestion des risques machines axée sur la décomposition TPF ainsi que sur la priorisation

[1] Étant donné que ce processus doit être intégrer dans toutes les phases du cycle de vie de la machine (conception, installation, maintenance, modification…).

des phénomènes dangereux qu'est d'un usage très récent (Saadi, 2014). L'application de la démarche proposée est réalisée sur une machine opérationnelle de l'unité Fertial de Annaba qui est compresseur HP/BP 103J.

A ce propos, nous tenons à signaler que la démarche proposée a également un autre avantage qu'est celui de son alignement avec les directives des normes ISO 12100 et ISO 14121.

2- Perspectives envisageables

Nous tenons à signaler que le travail réalisé dans ce mémoire doit être considéré comme une première tentative d'approche de la gestion des risques-machines notamment pour ce qu'est de la priorisation des phénomènes dangereux où nous avons mis en exergue l'intérêt de la priorisation de ces phénomènes compte tenu des tâches qui les cadrent.

Deux pistes sont envisageables pour notre travail :

i- une première à vocation **Ergonomique** qui consiste à consolider la priorisation desphénomènes dangereux par des approches ergonomiques axées sur les tâches cruciales (Veyrac Merad-Boudia, 2008) où nous projetons la déduction de ces tâches moyennant la procédure de priorisation,

ii- une seconde piste, dominée par des aspects de sûreté de fonctionnement, consiste à prioriser les indicateurs de fiabilité, disponibilité, sécurité et maintenabilité et comparer la pertinence de cette priorisation aux autres approches bien connues telle que l'approche multicritères (Colibaly & al, 2008 ; Dias, 2011).

Bibliographie du mémoire

ABB, 2010, *Sécurité fonctionnelle*, Guide technique n°10, France, 3AUA0000048753 REV C, 43 p.

AFNOR, 1982, « *Termes et définitions des éléments constitutifs et de leurs approvisionnements pour les biens durables* », Rapport n° NF X 60-012.

Andéol B., Guelemy N. & Leroy A., 2010, *Evaluation des risques professionnels : Questions-réponses sur le document unique*, INRS ED887, ISBN 978-2-7389-1508-5, 16 p.

Audin, 2009, *Guide Sécurité des machines : Six étapes pour une machine sûre*, Saint Brice Courcelles, 121 p.

Blaise J-C., 2000, *Apport d'une modélisation de l'information normative à l'intégration des règles de sécurité des machines en conception*, Thèse de doctorat spécialité Production automatisée, Université de Nancy I, 172 p.

Blaise J-C., Daille-Lefèvre B., Lupin H., Marsot J. & Wélitz G., 2012, *Sécurité des équipements de travail Prévention des risques mécaniques*, Edition INRS ED6122, ISBN 978-2-7389-2002-7, 84 p.

Boubaker L., Djebabra M., Mellal L. & Chabane H., 2012, *Environmental knowledge memory : contribution of the DIK model*, Safety Science, 50, pp. 554-562.

Boudillon L. & Sourisse C., 1996, *La Sécurité des machines automatisées tome 1 : Notions fondamentales. Réglementation. Normes. Technique de prévention*, Institut Schneider Formation, ISBN 2-907314-29-7, 236 p.

Bureau International du Travail (BIT), 2013, *La sécurité et la santé dans l'utilisation des machines*, ISBN 978-92-2-227725-4, Genève, 99 p.

Caisse Nationale des Assurances Sociales des Travailleurs Salaries (CNAS), 2004, *Statistiques nationales des accidents du travail et des maladies professionnelles*, Ministère du travail et de la sécurité sociale, Alger, Algérie.

Cantin R., 1995, *Retours d'expérience de la pratiques et maîtrise des procédés industriels*, dans l'ouvrage ''Connaissances et savoirs faire en entreprise'', Editions Hermès, ISBN 2-86601-627-0.pp. 229-247.

Caulier P., 1997, *Méthodologie de capitalisation et de réutilisation des connaissances pour l'aide à la supervision des procédés automatisés complexes Application à la supervision du trafic téléphonique de l'Île de France*, Thèse de doctorat spécialité Automatique Industrielle et Humaine, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis. 221 p.

Champoux M., 2006, *Sécurité des machines : L'analyse du risque - Pour partir du bon pied*, ASP Métal Électrique, Canada, 54 p.

Chinniah Y. & Champoux M., 2008, *La sécurité des machines automatisées - Analyse des risques et des moyens de protection sur une presse à injection de plastique*, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Montréal (Canada), ISBN : 978-2-89631-254-2, 93 p.

Colibaly A., Houssin R. & Mutel B., 2008, *Maintainability and safety indicators at design stage for mechanical products*, Computers in Industry. 59(5), pp. 438-449.

Corbel J.C., 1995, *Méthodologie de retour d'expérience, démarche MEREX de Renaut*, dans l'ouvrage ''Connaissances et savoir-faire en entreprise''. Editions Hermès. ISBN 2-86601-627-0. pp. 93-110.

CSST, 2004, *Sécurité des machines, aide-mémoire : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages*, Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail du Québec, Québec, ISBN 2-550-43217-7, 15 p.

Debrey B., Chaumette S., Descouriere S. & Trommeteur V., 2006, *Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA.35)*, L'étude de danger d'une installation classé, Rapport d'étude INERIS n°46055/04/2006, 119 p.

Diakaki C., Grigoroudis E. & Stabouli M., 2006, "*A risk assessment approach in selecting environmental performance indicators"*, Management of environmental quality: an international journal, 17:2, 126-139.

Dias J-A., 2011, *Multiple criteria decision aiding for sorting problems: concepts, methodologies and applications*. Thèse de doctorat présentée à l'Universités Paris IX Dauphine et Universidade Tecnica de Lisboa, 334 p.

Didelot A. & Fadier E., 2000, *L'apport de l'analyse opérationnelle à la conception : cas d'un processus d'imprimerie*, Actes du 12ème colloque national de fiabilité et de maintenabilité, Montpellier, pp. 231-240.

Droit Org, 2014, *Code du travail*, Institut français d'information juridique, Version consolidée du code au 22 août 2014. Edition : 24-08-2014, 1788 p.

Elghorba M. & Herrou B., 2005, *L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à un motocompresseur d'une PME marocaine,* CPI'2005 – Casablanca, Morocco.

Embarek M.C., 2011, *Développement d'une méthode de contrôle pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles stratégiques*, Thèse de doctorat spécialité Electromécanique, Université de Annaba - Algérie. 97 p.

Evrot D., 2008, *Contribution à la vérification d'exigences de sécurité : Application au domaine de la machine industrielle*, Thèse de doctorat spécialité Automatique, Traitement du Signal, Génie Informatique, Université de Nancy I, 150 p.

European harmonized standards under the New approach directives, 2000, site web: http://www.newapproach.org/.

FERTIAL News, 2014, *Dossier Rétrospective 2013 ; Succès garantis*, Magazine édité par Fertial - N°46, 43 p.

Hasan R., Bernard A., Ciccotelli J. & Martin P., 2000, *Intégration de la sécurité dès la conception de système de production : Modélisation de l'interaction homme- machine dans le fonctionnement du produit lors du processus de conception*, 3rd International Conference on Integrated Design and manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME'2000, Montreal, Canada, 12 p.

INRS, 2011, *Machines*, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Nancy, France, 26 p.

ISO 13849-1, 1999, *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception*, Organisation Internationale de NORmalisation.

ISO 14121, 1999, *Sécurité des machines – Principes pour l'appréciation du risque*, Organisation Internationale de NORmalisation.

ISO 12100-1, 2003, *Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie*, Organisation Internationale de NORmalisation.

ISO 12100-2, 2003, *Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 2 : Principes techniques*, Organisation Internationale de NORmalisation.

Jocelyn S., 2012, *Identification et réduction du risque pour les interventions de maintenance et de production sur des presses à injection de plastique en entreprises*, Université de Montréal, Montréal (Canada), 247 p.

Khellaf N. & Zegaoula W., 2014, *Evaluation du dégrée de pollution des rejets liquides et atmosphériques du complexe FERTIAL Annaba (Algérie*), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014, pp. 77-91.

Lacore J.P., 1993a, *Le Principe d'Intégration de la Sécurité et de la Norme EN 292*, Journées CETIM des 14 et 15 décembre 1993, la ''Sécurité des Equipements de Travail : Les nouvelles règles techniques européennes et leur transposition en droit français'', pp. 85-90.

Lacore J.P., 1993b, *Normes et Normalisation européennes en matière de santé et de sécurité dans le cadre de la nouvelle approche*, Cahiers ND 1993, n 150, 1er trimestre 1993, pp. 79-86.

Le grand dictionnaire terminologie, http://www.granddictionnaire.com/_fs_global_01.html

Léger A., 2009, *Contribution à la formalisation unifiées des connaissances fonctionnelles et organisationnelles d'un système industriel en vue d'une évaluation quantitative des risques et de l'impact des barrières envisagées*, Thèse de doctorat spécialité Automatique, Traitement du signal et Génie informatique, Université de Nancy I - France, 224 p.

Lhote F., Jacqmart S., Gosset P., Vallet G., Pertuiset R., Bontemps J.P. & Valancogne J., 1995, *«Repaires pour l'ingénierie des systèmes»*, Colloque bilan A2RP, MESR, Paris, Actes p. 373-383.

Lievens C., 1976, *Sécurité des systèmes*, Edition Cépaduès.

Lupin H. & Desmoulins J., 1996, *L'auto-certification ''CE'' applicable aux machines et à d'autres équipements de travail*, Fiche Pratique de Sécurité ED 54, INRS, ISSN 0373-1944, 4 p.

Lupin H. & Marsot J., 2006, *Sécurité des machines et des équipements de travail – Moyens de protection contre les risques mécaniques*, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Nancy, France.

Malhotra A., Thomas J.C., Caroll J.M. & Miller L.A., 1980, *Cognitive processes in design*, International Journal of Man Machine Studies, N°12, pp. 119-140.

Marsot J., Klein R., Pagliero D. & Dei-Svaldi D., 2003, *Sécurité des machines et des équipements de travail. Circuits de commande et de puissance. Principe d'intégration des exigences de sécurité,* Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Nancy, France, 35 p.

Millot P., 1999, «*Système Homme - Machine et Automatique*», Journées Doctorales d'Automatique JDA'99, pp. 21-23.

Neboit M., Fadier E. & Poyet C., 1993, *Analyse systémique et analyse ergonomique, application conjointe à la reconception d'une cellule robotisée d'usinage*, NS 0100, INRS.ISSN 0367-4529, 42 p.

NF EN 292-1, 1991, *Sécurité des machines – Notions fondamentaux, principes généraux de conception, Partie 1 : Terminologie de bases, méthodologie*, Association Française de NORmalisation.

NF EN 45020, 1998, *Normalisation et activités connexe -Vocabulaire général*, AFNOR, Paris La Défense, 90 p.

Norme Européenne, NF EN 614-1, 1995, *Principes ergonomiques de conception,* « *Terminologie et principes généraux* ». Comité Européen de Normalisation.

Pomian J.L., Pradère T. & Gaillard I., 1997, *Ingénierie et ergonomie*, Edition Cépaduès, Toulouse, 259 p.

Saadi S., 1997, *Méthodologie d'intervention pour l'étude de la sûreté de fonctionnement des ouvrages d'épuration et de la sécurité de l'environnement*. Mémoire de Magister soutenu à l'Institut IUH&S de l'Université de Batna, Algérie.

Site internet : *(http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/).*

Trivin J., 1993, *La procédure d'examen CE de type*, Journées CETIM, sécurité des équipements de travail les nouvelles règles techniques européennes et leur transposition en droit français, ISBN 2-85400-291-1, pp.51-64.

Veyrac Merad-Boudia H., 2008, *Approche ergonomique des représentations de la tâche pour l'analyse d'utilisations des consignes dans des situations de travail à risques*. Thèse de doctorat spécialité Ergonomie, Université de Toulouse - France, 256 p.

Villemeur A., 1988, *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels ; Fiabilité, Facteurs Humains, Informatisation*, Editions Eyrolle, Paris (France).

Vink D., 1995, *La connaissance: ses objets et ses institutions, dans Connaissances et savoir-faire en entreprise*, Editions Hermès, ISBN 2-86601-627-0, pp. 55-91.

Annexe n°01 :

Extraits des termes tirés de les normes (ISO 13849-1:1999 ; ISO 12100-1:2003)

1.1- Les termes ci-dessous sont définis dans la norme (ISO 13849-1:1999 :

- **Partie d'un système de commande relative à la sécurité**
- **Catégorie**
- **Sécurité des systèmes de commande**
- **Sécurité positive**
- **Défaut**
- **Défaillance**
- **Fonction de sécurité des systèmes de commande**

1.2- Les termes ci-dessous sont définis dans la norme (ISO 12100-1:2003) :

- **Fiabilité (d'une machine)**
- **Dommage**
- **Phénomène dangereux**
- **Risque**
- **Situation dangereuse**
- **Zone dangereuse (Zone de risque)**
- **Appréciation du risque**
- **Analyse du risque**
- **Estimation du risque**
- **Évaluation du risque**
- **Protection**
- **Utilisation normale d'une machine**
- **Moyen de protection**
- **Protecteur (fixe, mobile)**
- **Protecteur avec dispositif de verrouillage**
- **Protecteur avec dispositif d'interverrouillage**
- **Dispositif de protection**
- **Dispositif de verrouillage**
- **Dispositif de commande bimanuelle**
- **Dispositif de protection optoélectronique actif (AOPD)**
- **Fonction de sécurité**
- **Mise en marche inattendue**
- **Mise en marche intempestive**
- **Défaillance dangereuse**
- **Défaillances de cause commune**
- **Défaillances de mode commun**

Annexe n°02 :

Exemples des Phénomènes dangereux, Situations dangereuses et Evènements dangereux

2.1- Phénomènes dangereux :

Le phénomène dangereux est une source potentielle de dommage et peut être d'ordre mécanique, thermique, chimique, électrique, etc. (ISO 14121, 1999). Voici quelques exemples:

- Phénomènes dangereux mécaniques : des angles rentrants (rouleaux, convoyeurs etc.), des formes dangereuses (tranchante, pointue etc.), des pièces et outils en mouvement.
- Phénomènes dangereux d'origine électrique : parties normalement sous tension, parties devenues accidentellement sous tension.
- Phénomènes dangereux d'origine thermique : objets ou matériaux à température extrême, flammes, explosions, rayonnement de source de chaleur.
- Phénomène dangereux chimiques : fluides, gaz, fumées et poussières ayant un effet nocif.

2.2- Situations dangereuses :

Une situation dangereuse résulte de l'exposition d'une personne à un phénomène dangereux. Voici quelques exemples :

- Possibilité d'entrer en contact avec une forme dangereuse.
- Possibilité de bris de pièces de machine ou d'entrer en contact avec des zones de happement, enroulement, entraînement.
- Travail en hauteur, en dessous une charge, sur un plancher glissant.

2.3- Événements dangereux :

Un événement dangereux est un événement qui peut engendrer un dommage. Voici quelques exemples :

- Événements associés aux phénomènes dangereux mécaniques : ruptures ou défaillance d'un organe mécanique, chute d'un composant, éjection de pièce, mise en marche intempestive, survitesse/ralentissement inattendu, chute du travailleur.
- Événements associés aux phénomènes dangereux électriques; entrée en contact avec un élément sous tension, défaillance ayant pour effet de mettre sous tension des éléments de la machine.
- Événement associés aux phénomènes dangereux thermiques : entrée en contact avec des objets à des températures extrêmes.