



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDÈS
FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département : Génie des Procédés

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en :

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle (HSI)

Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle (HSI)

THEME

*Optimisation de la sécurité dans un atelier de
préfabrication de la charpente métallique au sein de
l'ENGTP par l'application de la méthode
MADS-MOSAR*

Présenté par : KETIRI Abir

Sous la direction de : Mme KEBBOUCHE. Z

Soutenue le : 30 juin 2024

Devant le jury :

Président : Mme SOUAM. R

Examinatrice : Mme CORSO. M

Promotrice : Mme KEBBOUCHE. Z

Année universitaire : 2023/2024



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDÈS
FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département : Génie des Procédés

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en :

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle (HSI)

Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle (HSI)

THEME

*Optimisation de la sécurité dans un atelier de
préfabrication de la charpente métallique au sein de
l'ENGTP par l'application de la méthode
MADS-MOSAR*

Présenté par : KETIRI Abir

Sous la direction de : Mme KEBBOUCHE. Z

Soutenue le : 30 juin 2024

Devant le jury :

Président : Mme SOUAM. R

Examinatrice : Mme CORSO. M

Promotrice : Mme KEBBOUCHE. Z

Année universitaire : 2023/2024

Résumé

Ce mémoire vise à identifier et à gérer les risques, prévenir les accidents et protéger la santé des travailleurs. L'étude a utilisé différentes méthodes d'analyse des risques, notamment ADD, AMDEC, Arbre logique, Diagramme d'Ishikawa et MADS-MOSAR. La démarche comprenait la décomposition du système, l'identification des sources de danger, l'analyse des dysfonctionnements, l'établissement d'un plan préventif et l'identification des barrières de sécurité. Les résultats ont permis d'identifier les principaux scénarios d'accidents potentiels et de proposer des recommandations pour les prévenir.

Mots clés : Analyse des risques, ADD, AMDEC, Arbre logique, Diagramme d'Ishikawa, MADS-MOSAR, Scénarios d'accidents.

Abstract

This thesis aims to identify and manage risks, prevent accidents, and protect workers' health. The study utilized various risk analysis methods, including ADD, FMEA, Logic Tree, Ishikawa Diagram, and MADS-MOSAR. The approach included system decomposition, hazard source identification, malfunction analysis, establishment of a preventive plan, and identification of safety barriers. The results allowed for the identification of the main potential accident scenarios and the proposal of recommendations to prevent them.

Keywords : Risk analysis, ADD, FMEA, Logic Tree, Ishikawa Diagram, MADS-MOSAR, Accident scenarios.

ملخص

يهدف هذا البحث إلى تحديد وإدارة المخاطر، ومنع الحوادث، وحماية صحة العمال. استخدمت الدراسة طرقاً مختلفة لتحليل المخاطر، بما في ذلك ADD و AMDEC و شجرة المنطق و مخطط إيشيكوا و MOSAR-MADS. تضمنت الخطوة تحليل النظام، وتحديد مصادر الخطر، وتحليل الأعطال، ووضع خطة وقائية، وتحديد حواجز الأمان. سمحت النتائج بتحديد السيناريوهات الرئيسية للحوادث المحتملة وتقديم توصيات لمنعها.

الكلمات الرئيسية: تحليل المخاطر، تحليل الأسباب والأعطال (ADD)، تحليل أنماط وأثر الفشل (AMDEC)، شجرة المنطق، مخطط إيشيكوا، MADS-MOSAR، سيناريوهات الحوادث.

Remerciements

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à **Allah**, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, le courage, la santé et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche. Sa guidance et sa bénédiction ont été une source d'inspiration constante tout au long de mon parcours.*

*Je voudrais ensuite adresser mes sincères remerciements à ma directrice de mémoire, **Madame KEBBOUCHE. Z**, pour son encadrement précieux et son soutien indéfectible. Ses conseils avisés et sa confiance en mes capacités qui m'ont permis de progresser et de m'épanouir professionnellement.*

*Je tiens également à remercier mon promoteur, **Monsieur BENOUI. S**, pour avoir accepté de superviser mon mémoire et pour m'avoir accordé sa confiance. Ses encouragements, ses conseils pertinents et sa précieuse expertise m'ont été d'un grand apport tout au long de ce projet. Je lui suis particulièrement reconnaissante pour sa disponibilité et son dévouement, qui m'ont permis de surmonter les obstacles et d'avancer avec assurance.*

*Je remercie chaleureusement toute l'équipe de **L'ENGTP** pour leur accueil chaleureux et leur assistance précieuse. Ils ont contribué à créer un environnement de travail stimulant et propice à la recherche. Je suis reconnaissante pour leur disponibilité, leurs conseils et leur expertise, qui ont enrichi mon expérience de recherche.*

*J'exprime ma profonde reconnaissance aux membres du jury, **Mesdames/Messieurs**, qui ont accepté de consacrer leur temps et leur expertise à l'évaluation de mon travail. Je suis honorée par leurs commentaires constructifs et leurs suggestions précieuses, qui me permettront d'améliorer mes recherches futures.*

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont apporté leur contribution, directe ou indirecte, à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

À mes chers parents, Amar et Karima,

Je dédie ce travail à vous, qui n'avez jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs. Vos encouragements constants, vos sacrifices et votre amour inconditionnel ont été ma source de motivation tout au long de mon parcours. Je vous suis infiniment reconnaissante pour tout ce que vous avez fait pour moi et je vous serai toujours redevable de votre soutien indéfectible.

À mon petit frère Islam et à mes chères sœurs Yousra, Meriem et Zahra,

Merci pour vos soutiens moraux et votre présence bienveillante qui ont été une source de réconfort et d'inspiration pour moi. Je suis chanceuse de vous avoir dans ma vie.

À ma grand-mère Baya qui me manque beaucoup,

Votre amour, votre sagesse et votre Doua m'ont guidée tout au long de mon chemin.

À mes grands-pères Ahmed et Amar, à ma grand-mère Ghania et à mon oncle Mahfoud,

Je vous remercie pour l'amour et le soutien que vous m'avez apportés tout au long de ma vie. Même si vous n'êtes plus là physiquement, vos souvenirs vivent dans mon cœur. Si vous étiez parmi nous aujourd'hui, je sais que vous seriez fiers de moi.

À mes chères amies,

Merci pour vos encouragements, votre présence et votre amitié. Vous avez rendu ce projet possible en partageant les bons moments et en surmontant les défis ensemble. Votre amitié a illuminé cette expérience académique et l'a rendue mémorable. Cette réussite est aussi la vôtre.

Table des matières

<i>Résumé</i>	<i>III</i>
<i>Remerciements</i>	<i>IV</i>
<i>Dédicace</i>	<i>V</i>
<i>Table de matières</i>	<i>VII</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>IX</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>X</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>XI</i>

<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
------------------------------------	----------

Partie théorique

Chapitre I : Concepts et notions de base

<i>Introduction</i>	<i>3</i>
I.1. L'évolution des savoirs et des savoir-faire dans le domaine du risque	3
I.1.1 DANS LES ANNEES 60 :	3
I.1.2. DANS LES ANNEES 70 :	3
I.1.3. DANS LES ANNEES 80-90 :	4
I.2. Définition des concepts clés	4
1. Risque	4
2. Danger	4
3. Exposition	4
4. Facteurs de risque :	5
5. Risque industriel	5
6. Le risque professionnel	5
7. Les familles des risques professionnels	6
8. Situation dangereuse	8
9. Dommage	8
10. Accident de travail	8
11. Maladie professionnelle	8
12. La sécurité	8
13. La culture de sécurité	8
I.3. L'évaluation des risques	9
I.3.1. L'importance de l'évaluation des risques	9
I.3.2. Les étapes de l'évaluation des risques	9
1.4. Cadre réglementaire Algérien	11
<i>Conclusion</i>	<i>12</i>

Chapitre II : L'analyse des risques

Introduction	14
II.1. L'analyse des risques	14
II.2. Choisir la méthode d'analyse des risques	16
Étape 1 : Définir les objectifs	16
Étape 2 : Découper l'analyse des risques en plusieurs étapes	16
Étape 3 : Choisir l'approche méthodologique	16
Étape 4 : Mobiliser les ressources et compétences	17
II.3. Les méthodes classiques d'analyse des risques	17
II.3.1. L'arbre de défaillance	18
II.3.2. La méthode AMDEC	20
II.4. Les méthodes intégrées d'analyse des risques	22
Exemples de méthodes d'analyse des risques intégrées	23
II.5. La méthode MADS MOSAR	23
II.5.1. Structure de la méthode MADS MOSAR	24
II.5.2. Le modèle MADS	25
Les avantages de la méthode	27
Les inconvénients de la méthode (Grandamas, 2020)	28
Conclusion	29

Partie pratique

Introduction	31
1. Présentation de l'entreprise	31
1.1. L'histoire de L'ENGTP	31
1.2. Les métiers de l'ENGTP	32
1.3. Les produits de L'ENGTP	32
1.4. Les principaux axes de la politique QHSE :	33
1.5. Situation géographique siège de l'ENGTP :	34
2. Application de la méthode MADS MOSAR	35
2.1. Définition du système « Modélisation »	35
2.1.2. Décomposition du système étudié	36
2.1.3. Définition de chaque sous système	38
2.2. Le module A de la méthode	40
Etape1 : Identification des sources de danger de chaque sous-système	40
Etape 2 : Identifier les scénarios de danger	51
1. Mettre chaque sous-système sous forme d'une boîte noire	51
2. Génération de scénarios courts et de scénarios d'autodestruction	54

3. Présentation des scénarios longs	58
Etape 3 et 4 : Evaluation et hiérarchisation des scénarios a risques et négociation des objectifs	64
Négociation de grilles « Gravité × Probabilité »	64
Etape 5 : Définition et qualification des moyens de prévention et de protection.....	65
1. Identification des barrières de prévention et de protection.....	65
1.3. Le module B de la méthode	68
Etape 1 : Identifier les risques de fonctionnement	68
1. Identifier les dysfonctionnements opératoires détaillés	68
2. Identifier de manière détaillée les dysfonctionnements techniques	69
Etape 3 : Négocier les objectifs précis de prévention	73
Etape 4 : Affiner les objectifs et les moyens de prévention.....	74
Etape 5 : Gérer les risques.....	74
<i>Conclusion</i>.....	75
<i>Conclusion générale</i>.....	77
<i>Bibliographie</i>	78
<i>Annexes</i>	

Liste des abréviations

ADD : Arbre des défaillances.

ADC : Arbre des causes.

AMDEC : Analyse des modes des défaillances et leurs effets et criticités.

APR : Analyse préliminaire des risques.

BT : Barrière Technique.

BU : Barrière Utilisateur.

CEI : Commission Électrotechnique Internationale.

EII : Evènement initiateur interne.

EIE : Evènement initiateur externe.

ENS : Evènement non souhaité.

ENGTP : Entreprise Nationale Des Grands Travaux Pétrolier.

EP : Evènement principal.

EPI : Equipement de protection individuelle.

EPC : Equipement de protection collective.

HAZOP : HAZard and OPerability analysis.

HEEPO : Human Error and Error Producing Occasions.

IEC : Institut Européen de Cindyniques.

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des risques.

ISO : International Organisation for Standardisation.

LOPA : Layers of Protection Analysis.

MAG : Metal Active Gas.

MADS : Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes.

MIG : Metal Inert Gas.

MOSAR : Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques.

MP : Maladie professionnelle.

POI : Plan d'organisation interne.

PUI : Plan d'Urgence Interne.

QRA : quantitative risque assassement.

RPS : Risques psycho-sociaux.

TIG : Tungsten Inert Gas.

TMS : Troubles musculo-squelettiques.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Modes de défaillance généraux (extrait du tableau II de la norme CEI 60812 :1985).....	20
Tableau 2 : Modes de défaillance génériques (extrait du tableau II de la norme CEI 60812 :1985) ..	21
Tableau 3 : Exemple d'un tableau de type AMDEC.....	22
Tableau 4 : Equipements fixes se trouvent au niveau de la travée C	39
Tableau 5 : Typologie associe aux sources	41
Tableau 6 : Etablissement des processus de danger du sous-système Matière première et matériaux utilisées.....	43
Tableau 7 : Etablissement des processus de danger du sous-système Machines et équipements	44
Tableau 8 : Etablissement des processus de danger du sous-système Atelier.....	47
Tableau 9 : Etablissement des processus de danger du sous-système Opérateurs	49
Tableau 10 : Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement externe	50
Tableau 11 : Calcule de criticité P.G	65
Tableau 12 : Grille de criticité	65
Tableau 13 : Tableau B "Identification des barrières de prévention"	66
Tableau 14 : Opération de nettoyage des pièces sortants.....	69
Tableau 15 : Grille de cotation pour le calcul de la criticité	70
Tableau 16 : moyens de prévention	74

Liste des figures

Figure 1 : Définition du risque [Périlhon, P., 2007].....	5
Figure 2 : Les étapes d'évaluation des risques.....	10
Figure 3 : Le paradigme d'analyse des risques (PERILHON, DU RISQUE A L'ANALYSE DE RISQUES, juin 2003).....	15
Figure 4 : Exemple d'arbre des défaillances (A.VILLEMEUR, 1988).....	18
Figure 5 : Les deux modules et les dix étapes de MOSAR : le parcours complet du MOSAR (PERILHON, SE4060 V1, 2003).....	25
Figure 6 : Le modèle MADS ou l'univers du danger (PERILHON, SE4060 V1, 2003).....	26
Figure 7 : L'organigramme de l'ENGTP	32
Figure 8 : L'organigramme de la direction QHSE.....	33
Figure 9 : Localisation géographique de la commune de Réghaia et de l'ENGTP.	34
Figure 10 : L'installation étudiée.....	36
Figure 11 : Le système étudié Atelier de charpente travée C.....	37
Figure 12 : Diagramme ISHIKAWA	38
Figure 13 : La décomposition du contexte en cinq sous-systèmes.....	40
Figure 14 : Boîte noire "Matière première et matériaux utilisées"	51
Figure 15 : Boîte noire "Machines et équipements"	52
Figure 16 : Boîte noire Atelier	53
Figure 17 : Boîte noire "Opérateurs".....	54
Figure 18 : Boîte noire "Environnement externe"	54
Figure 19 : scénario court du ss3 : Atelier.....	55
Figure 20 : Scénario court 1	56
Figure 21 : Scénario court 2.....	56
Figure 22 : Scénario court 3	56
Figure 23 : Scénario court 4	56
Figure 24 : Scénario court 6	57
Figure 25 : Scénario court 7	57
Figure 26 : Scénario court 8	57
Figure 27 : Des figures explicatives du scénario long 1.....	58
Figure 28 : Arbre logique du scénario long 1 « Glissade ».....	60
Figure 29 : figures explicatives du scénario long 2.....	60
Figure 30 : figures explicatives du scénario 3	62
Figure 31 : Exemples de dysfonctionnement technique et opératoire.....	68
Figure 32 : Arbre de défaillances "Glissade à côté de la grenailleuse"	72

Introduction générale

Introduction générale

La sécurité au travail est un enjeu majeur dans le secteur industriel, particulièrement dans les ateliers de fabrication de charpente métallique où les risques d'accidents sont nombreux et variés. Garantir un environnement de travail sûr est non seulement une obligation légale mais aussi un impératif moral pour protéger la vie et la santé des travailleurs. L'optimisation des mesures de sécurité dans ces ateliers est un défi complexe qui nécessite une approche méthodique et rigoureuse pour prévenir les risques professionnels et assurer le bien-être des employés.

Malgré les efforts déployés, les accidents de travail et les maladies professionnelles demeurent un fléau dans l'industrie de la construction métallique. Les gestes répétitifs, l'exposition aux produits chimiques dangereux, les chutes de hauteur et les écrasements ne sont que quelques exemples des dangers auxquels font face les travailleurs de l'atelier. L'Entreprise Nationale des Grands Travaux Pétroliers (ENGTP), leader dans la construction et la maintenance d'infrastructures industrielles, n'échappe pas à cette problématique. Ses ateliers de préfabrication de charpente métallique sont confrontés à de nombreux risques potentiels liés aux matériaux, aux équipements, à l'environnement de travail et aux pratiques des opérateurs. La gestion de ces risques représente un défi majeur pour l'entreprise.

Ce mémoire aborde la question de la sécurité dans un atelier de fabrication de charpente métallique. Il vise à répondre à la problématique suivante : Comment optimiser la sécurité dans un atelier de préfabrication de charpentes métalliques en passant d'une gestion réactive des risques à une gestion proactive, capable d'identifier et de traiter les causes profondes des risques ?

L'objectif principal est d'optimiser la sécurité en utilisant la méthode MADS-MOSAR. Plus précisément, il s'agit de :

- Identifier les principaux dangers et les scénarios d'accidents potentiels dans l'atelier. Cela permettra de sensibiliser les travailleurs aux risques encourus et de cibler les actions de prévention les plus pertinentes.
- Identifier les dysfonctionnements techniques et opératoires dans l'installation et proposer des mesures de prévention et de protection adéquates pour réduire les risques et améliorer la sécurité des travailleurs.

Ce mémoire se déroulera en deux parties principales :

- Partie théorique composée de deux chapitres :

Le premier chapitre présentera les concepts et notions de base de la sécurité et de l'évaluation des risques.

Le deuxième chapitre s'intéressera aux différentes méthodes d'analyse des risques, avec un focus particulier sur la méthode MADS-MOSAR.

- Partie pratique composée d'un seul chapitre :

Le troisième chapitre appliquera la méthode MADS-MOSAR à l'atelier de préfabrication de charpente métallique de l'ENGTP et proposera des mesures de prévention et de protection concrètes.

En conclusion, ce mémoire apportera une contribution significative à l'amélioration de la sécurité dans l'atelier de préfabrication de charpente métallique de l'ENGTP.

Chapitre I

Concepts et notions de base

Chapitre I

Concepts et notions de base

Introduction

L'atelier de préfabrication de charpentes métalliques présente divers risques pour la sécurité et la fiabilité des équipements. Ce premier chapitre pose une base théorique essentielle pour que le lecteur comprenne les concepts de base relatifs à la notion de risque et les enjeux liés à la gestion des risques.

Nous commençons par une rétrospective historique, en examinant l'évolution des pratiques de gestion des risques depuis les années 60. Ensuite, on définit des concepts clés comme le risque, le danger, et les facteurs de risque.

Les étapes de l'évaluation des risques seront expliquées, ainsi que les réglementations et normes pertinentes. Ces bases théoriques sont cruciales pour comprendre l'application de la méthode MADS MOSAR dans notre étude.

I.1. L'évolution des savoirs et des savoir-faire dans le domaine du risque

I.1.1 DANS LES ANNEES 60 :

La naissance de l'ergonomie et l'essor des outils d'analyse (PERILHON, juin 2003).

- Les années 60 ont vu l'émergence de savoirs autour de la sécurité des machines et des relations homme-machine, donnant naissance à l'ergonomie, discipline qui vise à adapter les machines à l'homme plutôt que l'inverse.
- Cette période a également connu un développement important des savoir-faire en matière d'analyse du risque, notamment dans le domaine des systèmes d'armes, où la fiabilité et la sécurité étaient des exigences primordiales.
- Ces outils d'analyse ont ensuite trouvé leur application dans l'aéronautique, où la plupart des bureaux d'études ont été formés à leur utilisation.
- Les accidents tragiques de cette époque, tels que la catastrophe du Thalidomide, ont également contribué à une prise de conscience accrue des risques et à une responsabilisation accrue des dirigeants.
- Le développement des médias, en particulier de la télévision, a amplifié la diffusion d'informations, tant réelles que manipulées, et a conduit à une sensibilisation accrue aux risques, réels ou imaginaires, ce qui s'est traduit par des crises de gestion de catastrophes dans les années qui ont suivi.

I.1.2. DANS LES ANNEES 70 :

L'interface homme-machine, la sécurité des systèmes d'information et l'étude des impacts environnementaux.

- Les années 70 ont été marquées par un intérêt croissant pour l'interface homme-machine et la sécurité des systèmes d'information, liés à l'essor de l'informatique.

- La prise en compte des impacts des dangers sur les écosystèmes et les populations a également pris de l'ampleur, notamment avec le développement de l'énergie nucléaire.
- Des enquêtes d'opinion ont été mises au point et appliquées pour mieux comprendre les mécanismes d'acceptabilité des risques.
- Le comportement humain dans la conduite de systèmes complexes a également commencé à faire l'objet d'études approfondies.

I.1.3. DANS LES ANNEES 80-90 :

Développement des savoirs et savoir-faire, émergence de la science du danger et création d'institutions spécialisées

- Les années 80 et 90 ont vu une poursuite du développement des savoirs et savoir-faire acquis dans les décennies précédentes, avec l'émergence de sociétés savantes comme la 3SF (Société Française de Sécurité).
- L'utilisation des outils d'analyse du risque s'est généralisée en milieu industriel.
- De nouveaux cursus d'enseignement ont été créés, tels que des Masters et des DES (Diplômes d'Études Supérieures) spécialisés en sécurité.
- Les années 90 ont été marquées par la structuration d'une "science du danger" ou cindynique, avec la transformation de la 3SF en IEC (Institut Européen de Cindyniques) et la création de l'ISDF (Institut de Sûreté de Fonctionnement).
- La première école d'ingénieurs spécialistes en sécurité a été créée à Grenoble en 1990, et une quinzaine de DESS ont été mis en place.

I.2. Définition des concepts clés

Il est crucial de distinguer les notions de danger, de risque et de facteurs de risque. Le risque n'est pas un danger, mais plutôt sa conséquence directe lorsqu'une exposition au danger survient (AAA, 2013).

1. Risque :

Le risque représente la probabilité que des dommages ou des conséquences néfastes se manifestent effectivement. Un danger ne se transforme en risque qu'en cas d'exposition et, par conséquent, de possibilité de survenance de conséquences néfastes.

2. Danger :

Un danger est une propriété ou une capacité inhérente à un objet, une personne, un processus, etc., susceptible d'entraîner des conséquences néfastes, également appelées dommages. Un danger constitue donc une source potentielle d'accident.

3. Exposition :

Dans ce contexte, l'exposition se réfère au contact entre un individu et un danger, pouvant ainsi causer des dommages. Sans exposition, aucun dommage ne peut survenir. Le risque représente donc la probabilité qu'une personne soit affectée par un danger.

4. Facteurs de risque :

Les facteurs de risques sont des éléments qui peuvent augmenter ou diminuer la probabilité de survenance d'un accident ou la gravité d'un événement. Les facteurs de risques complètent l'équation :

$$\text{RISQUE} = \text{DANGER} \times \text{EXPOSITION}$$

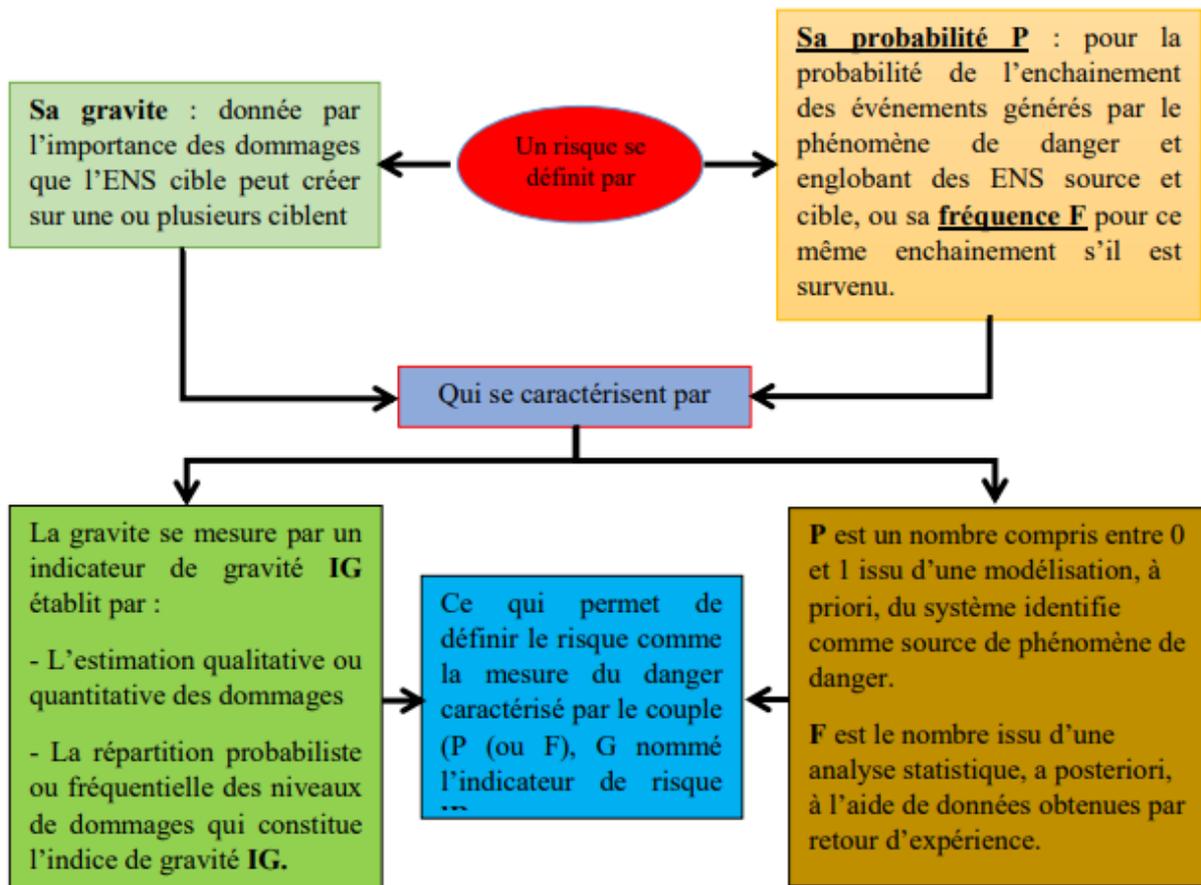


Figure 1 : Définition du risque [Périlhon, P., 2007]

5. Risque industriel

Un **risque industriel** est un événement accidentel qui se produit sur un site industriel et qui implique des produits ou des procédés dangereux. Cet événement peut entraîner des conséquences graves et immédiates pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. (Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2024)

6. Le risque professionnel

Selon le référentiel HSE-MS, un risque professionnel désigne tout risque découlant d'une activité professionnelle, c'est-à-dire un travail rémunéré essentiel à la vie quotidienne. Tout phénomène ou événement survenant en milieu de travail et présentant un danger pour l'homme est considéré comme un risque professionnel.

7. Les familles des risques professionnels

Selon l'Institut National de Recherche et de Sécurité français, les risques professionnels sont classés en 17 familles :

- **Risques de trébuchement, heurt ou autres perturbations du mouvement :**

Ces risques surviennent lorsqu'une tâche est perturbée par des glissades, des heurts, des trébuchements, ou encore par le fait de poser le pied sur une pointe ou un clou, ou en exerçant une force sur un objet qui cède ou glisse.

- **Risques de chutes de hauteur :**

Ils concernent les accidents liés à la perte d'équilibre et à la chute dans le vide, souvent accompagnés de heurts ou rebonds contre des éléments saillants. Ces risques peuvent survenir dans des milieux naturels ou des constructions, et lors de l'utilisation d'équipements de travail en hauteur.

- **Risques liés aux circulations internes de véhicules :**

Ce sont les risques d'accidents où une personne peut être heurtée par un véhicule (comme une motocyclette, une voiture, un camion, etc.) ou lorsque des véhicules entrent en collision entre eux ou contre un obstacle au sein de l'entreprise.

- **Risques routiers en mission :**

De nombreux salariés passent une grande partie de leur journée au volant pour leur travail, exposés à des risques d'accidents routiers ainsi qu'à des risques physiques (vibrations, bruit), posturaux, chimiques et psychosociaux.

- **Risques liés à la charge physique de travail :**

Ces risques peuvent entraîner fatigue, douleurs, lésions aiguës ou chroniques, touchant principalement l'appareil locomoteur. Ils sont dus à des efforts physiques intenses, prolongés, répétitifs ou à des postures inconfortables.

- **Risques liés à la manutention mécanique :**

Ces risques incluent les accidents dus à la chute, au heurt ou au renversement des charges, ainsi qu'à la défaillance des équipements de manutention et à la circulation des engins de manutention.

- **Risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets :**

Il s'agit de risques d'intoxication, d'allergie, ou de brûlure par inhalation, ingestion ou contact cutané avec des produits sous forme de gaz, particules solides ou liquides, pouvant parfois entraîner des maladies professionnelles.

▪ **Risques liés aux agents biologiques :**

Ce sont des risques d'infection, d'allergie ou d'intoxication liés à la présence de microorganismes, pouvant se transmettre par voie respiratoire, par contact, ingestion ou pénétration après une lésion.

▪ **Risques liés aux équipements de travail :**

Ils englobent les dangers mécaniques des machines et outils, ainsi que les risques liés aux énergies, températures extrêmes, rayonnements, bruit, émissions de substances dangereuses et aux principes ergonomiques mal appliqués.

▪ **Risques liés aux effondrements et aux chutes d'objets :**

Ces risques concernent les accidents causés par la chute d'objets provenant de stockages ou d'étages supérieurs, ou par l'effondrement de matériaux.

▪ **Risques et nuisances liés au bruit :**

L'exposition excessive au bruit peut entraîner des maladies professionnelles comme la surdité, ainsi que des accidents en masquant des signaux de danger.

▪ **Risques liés aux ambiances thermiques :**

Ces risques peuvent causer des plaintes d'inconfort, fatigue, et parfois des atteintes graves à la santé comme les gelures ou les coups de chaleur.

▪ **Risques d'incendie, d'explosion :**

Ils comprennent les accidents liés à des incendies ou explosions, entraînant brûlures, blessures ou intoxications, et peuvent avoir des conséquences graves pour les salariés et les installations.

▪ **Risques liés à l'électricité :**

Ces risques d'accidents (brûlures, électrisation, électrocution) surviennent lors de contacts avec des conducteurs électriques sous tension.

▪ **Risques liés aux ambiances lumineuses :**

Un éclairage inapproprié peut entraîner des accidents et renforcer les troubles musculosquelettiques en générant des éblouissements, contrastes fatigants, reflets ou ombres.

▪ **Risques liés aux rayonnements :**

Ils concernent les accidents et atteintes à la santé causés par des rayonnements émis par certains appareils ou matériaux.

▪ **Risques psychosociaux :**

Ils incluent le stress, les violences internes (harcèlement) et externes (agressions), pouvant affecter la santé physique (maladies cardiovasculaires, troubles musculosquelettiques) ou mentale (troubles anxieux, dépression).

8. Situation dangereuse

La situation dangereuse est une situation susceptible d'exposer les travailleurs à un danger (Le décret exécutif n° 88-07, 1988).

9. Dommage

Le dommage est tout atteinte corporelle ou psychique subie par un travailleur par le fait ou à l'occasion du travail (Le décret exécutif n° 88-07, 1988).

10. Accident de travail

Un accident de travail est un événement soudain et imprévu survenu par le fait du travail ou en relation avec le travail, ayant entraîné une lésion corporelle ou un dommage psychique occasionné au travailleur. Cela peut inclure des accidents tels que des chutes, des collisions, des expositions à des substances dangereuses ou des électrocutions. (Décret exécutif n° 88-07, 1988).

11. Maladie professionnelle

Une **maladie professionnelle** est une maladie qui est directement causée par l'exposition à des facteurs de risque résultant de l'activité professionnelle. Cela peut inclure des maladies telles que les maladies respiratoires dues à l'inhalation de poussières ou de fumées, les troubles musculosquelettiques dus à des mouvements répétitifs ou à des postures contraignantes, et les cancers dus à l'exposition à des substances cancérigènes. (C. Fritz, 1996).

12. La sécurité

La **sécurité** est l'état d'absence de risque et de danger. Elle implique la protection contre les accidents du travail, les maladies professionnelles et autres dangers liés au travail. La sécurité est une condition essentielle pour le bien-être des travailleurs et la réussite des entreprises. (Organisation internationale du travail (OIT), 2001).

13. La culture de sécurité

La **culture de sécurité** est l'ensemble des croyances, des valeurs, des attitudes, des normes, des comportements et des pratiques liés à la sécurité dans une organisation. Elle façonne la manière dont les membres de cette organisation perçoivent, comprennent et agissent en ce qui concerne la sécurité au travail. Une culture de sécurité positive encourage les travailleurs à identifier les risques, à prendre des mesures pour les prévenir et à signaler les problèmes de sécurité. ((HSE)., 2003).

14. QHSE

QHSE est l'acronyme de **Qualité, Hygiène, Sécurité et Environnement**. Il désigne un système de management intégré qui vise à améliorer les performances d'une organisation dans ces quatre domaines. Ce système permet de mettre en place des processus et des pratiques visant à garantir la qualité des produits et services, à protéger la santé et la sécurité

des travailleurs, à réduire l'impact environnemental des activités de l'organisation et à promouvoir le développement durable. (Organisation internationale de normalisation (ISO), 2015)

I.3. L'évaluation des risques

C'est un processus visant à évaluer les risques afin de garantir la sécurité et la santé des employés sur leur lieu de travail. Il est important de distinguer l'analyse des risques, qui consiste simplement à repérer les risques, de l'évaluation des risques, qui permet de les classer en fonction de leur importance. L'évaluation des risques est une étude systématique de tous les aspects du travail, visant à identifier les causes potentielles d'accidents, à envisager l'élimination des dangers, et à mettre en place des mesures de prévention ou de protection pour maîtriser les risques. Lorsqu'un risque est identifié, la première étape consiste à déterminer s'il peut être éliminé. Si ce n'est pas possible, le risque doit être maîtrisé, c'est-à-dire réduit au minimum et maintenu sous contrôle (AAA, 2013).

I.3.1. L'importance de l'évaluation des risques

L'évaluation des risques est un processus crucial pour évaluer les dangers potentiels pesant sur la sécurité et la santé des salariés sur leur lieu de travail. C'est la première étape de la gestion des risques, permettant de sensibiliser employeurs et salariés aux mesures à prendre pour améliorer la sécurité et la santé au travail. Sans une évaluation des risques adéquate, il est impossible de mettre en place un processus efficace de gestion des risques ou d'adopter des mesures préventives appropriées.

De plus, une évaluation des risques bien menée est bénéfique pour les entreprises, car elle permet de réduire les coûts liés aux accidents et aux maladies, ainsi que le taux d'absentéisme pour cause de maladie. Des salariés en bonne santé sont plus productifs et contribuent davantage à la compétitivité des entreprises.

En fin de compte, l'évaluation des risques conduit à une meilleure organisation de l'entreprise, ce qui se traduit par une augmentation de la productivité et de la qualité.

I.3.2. Les étapes de l'évaluation des risques

L'évaluation des risques est une démarche méthodique visant à identifier, analyser et mesurer les risques associés à une activité, un projet ou un processus. Ce processus se déroule en plusieurs étapes clés :

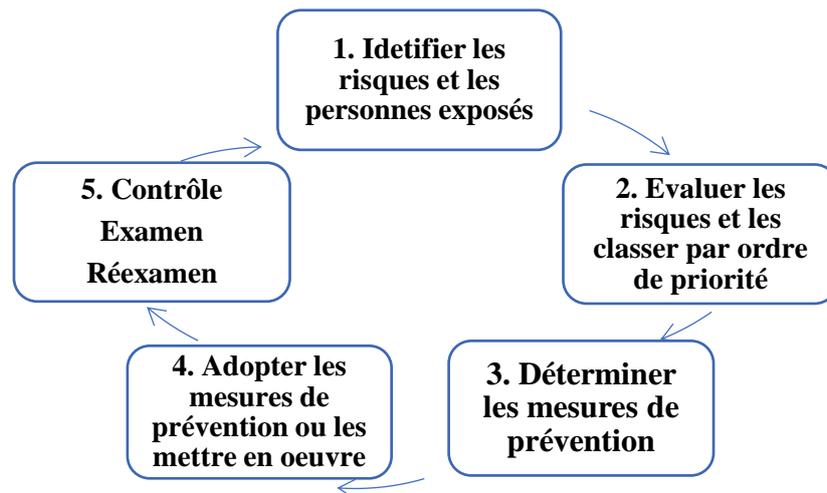


Figure 2 : Les étapes d'évaluation des risques (AAA, 2013)

▪ **Étape 1 : Identification des risques et des personnes exposées**

Cette étape consiste à repérer sur le lieu de travail les sources potentielles d'accidents et à identifier les personnes susceptibles d'être exposées. Il est crucial de se rendre sur place pour détecter les éléments pouvant causer des dommages. Chaque danger doit être associé aux personnes menacées, qu'elles soient directement ou indirectement exposées. Il est également important de considérer les groupes plus vulnérables, tels que les jeunes travailleurs, les intérimaires, les travailleurs handicapés, les femmes enceintes et les salariés convalescents.

▪ **Étape 2 : Évaluation des risques et classification par ordre de priorité**

Cette étape implique d'évaluer les risques liés à chaque danger en analysant le niveau d'exposition des salariés, la gravité potentielle des accidents ou maladies, et la fréquence d'exposition. L'évaluation des risques peut être subjective, menant parfois à une surestimation ou à une sous-estimation. Différentes méthodes, comme les méthodes KINNEY, HEEPO, ou des checklists, peuvent être utilisées pour cette évaluation.

▪ **Étape 3 : Détermination des mesures de prévention**

Cette étape vise à identifier les mesures pour éliminer ou maîtriser les risques. Il faut déterminer si un risque peut être entièrement éliminé ou s'il doit être contenu pour ne pas compromettre la sécurité des salariés. Les risques combinés doivent également être pris en compte. Les mesures de prévention doivent être priorisées en fonction de leur efficacité, en suivant les principes d'élimination du risque, d'adaptation au progrès technique, et d'amélioration du niveau de protection. Il est crucial que ces mesures ne déplacent pas le risque ou n'en créent pas de nouveaux.

▪ **Étape 4 : Mise en œuvre des mesures de prévention**

Cette étape consiste à mettre en œuvre les mesures de prévention déterminées, en tenant compte de la gravité des risques et de leurs conséquences. Il faut établir un ordre de priorité, identifier les responsables de la mise en œuvre, estimer le temps nécessaire et fixer des délais.

Les mesures peuvent être classées en celles pouvant être appliquées immédiatement et à moindres frais, celles provisoires en attendant des mesures plus coûteuses à long terme, et celles nécessitant une planification et un budget préalable.

▪ **Étape 5 : Contrôle, examen, réexamen et enregistrement**

Après la mise en œuvre des mesures de prévention, il faut vérifier leur exécution et le respect des délais. Il est important de contrôler si les risques ont été éliminés ou réduits et s'assurer qu'aucun nouveau risque n'a été créé. Une réévaluation régulière des risques est recommandée, surtout après des changements dans l'entreprise, tels que la création de nouveaux postes, l'engagement de nouveaux salariés, ou l'installation de nouvelles machines. Enregistrer l'évaluation des risques est bénéfique pour les réexamens futurs, les contrôles officiels et l'information des personnes concernées. L'enregistrement doit inclure les noms et fonctions des personnes effectuant les contrôles, les dates, les risques identifiés, les groupes de personnes menacées, les mesures de prévention mises en œuvre, et les informations sur les contrôles futurs et la participation des travailleurs dans l'évaluation des risques.

1.4. Cadre réglementaire Algérien

En Algérie, la gestion et l'évaluation des risques dans les industries de fabrication et les ateliers mécaniques de fabrication métallique sont régies par plusieurs décrets et lois clés. Ces textes législatifs et réglementaires visent à garantir la sécurité et la santé des travailleurs (Décrets exécutifs et lois en matière d'hygiène et de sécurité au travail en Algérie).

Le Code du Travail algérien impose des obligations générales en matière de santé et de sécurité au travail. Il stipule que les employeurs doivent protéger la santé et la sécurité des travailleurs en identifiant les dangers et en mettant en œuvre des mesures de prévention adaptées.

Le Décret exécutif n° 93-05 du 09 janvier 1993 fixe les règles générales d'hygiène et de sécurité applicables dans les établissements de travail. Il oblige les employeurs à évaluer les risques sur le lieu de travail, à identifier les dangers potentiels et à mettre en place des mesures de prévention. Ce décret précise également les exigences en matière de ventilation, d'éclairage, de manutention et d'équipements de protection individuelle (EPI).

Le Décret exécutif n° 96-98 du 06 mars 1996 établit les prescriptions générales en matière d'hygiène et de sécurité des travailleurs dans les établissements classés. Ce décret s'applique aux entreprises industrielles, y compris les ateliers de fabrication métallique, et met l'accent sur la prévention des risques professionnels et la gestion des substances dangereuses.

Le Décret exécutif n° 06-235 du 04 juillet 2006 modifie et complète le décret n° 96-98 en précisant les conditions de travail sécurisées, les mesures d'urgence et les protocoles de gestion des accidents du travail.

Le Décret exécutif n° 09-218 du 22 juin 2009 concerne la sécurité des machines et équipements de travail. Il établit des exigences spécifiques pour la conception, la fabrication et

l'utilisation des machines afin de garantir la sécurité des travailleurs. Ce décret est essentiel pour les industries de fabrication métallique où les équipements et les machines jouent un rôle central.

La Loi n° 88-07 du 26 janvier 1988, relative à l'hygiène, la sécurité et la médecine du travail, prévoit des mesures pour l'amélioration des conditions de travail et la prévention des risques professionnels. Elle oblige les employeurs à organiser des services de santé au travail et à effectuer des contrôles réguliers pour garantir la sécurité des travailleurs.

Le Décret exécutif n° 08-126 du 10 avril 2008 établit la classification des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. Il classe les industries en fonction de leur niveau de dangerosité et impose des mesures de sécurité spécifiques à chaque catégorie. Cela permet une gestion plus ciblée des risques en fonction de la nature des activités industrielles.

Le Décret exécutif n° 04-82 du 18 mars 2004 fixe les conditions d'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) dans les entreprises. Il définit les types d'EPI nécessaires selon les risques présents sur le lieu de travail et oblige les employeurs à fournir ces équipements aux employés pour assurer leur protection.

En application pratique, l'identification des risques et des personnes exposées est une étape cruciale, comme le stipulent les décrets exécutifs n° 93-05 et n° 96-98. Ces textes exigent que les employeurs identifient les dangers sur le lieu de travail et les personnes susceptibles d'y être exposées. L'évaluation des risques, comme le précisent les décrets exécutifs n° 93-05 et n° 09-218, doit suivre des méthodes reconnues pour déterminer la probabilité et la gravité des risques.

La détermination des mesures de prévention suit les principes généraux d'élimination du risque, d'adaptation au progrès technique et d'amélioration continue, conformément au décret exécutif n° 96-98. La mise en œuvre des mesures de prévention, comme l'indique le décret exécutif n° 06-235, doit être planifiée et exécutée en fonction de la gravité des risques. Enfin, le contrôle, l'examen, le réexamen et l'enregistrement des mesures de prévention sont obligatoires, selon les décrets exécutifs n° 93-05 et n° 96-98, pour garantir une gestion rigoureuse et continue des risques professionnels.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'acquérir les connaissances fondamentales nécessaires pour aborder les méthodes d'analyse des risques et l'application de la méthode MADS MOSAR dans les chapitres suivants. Nous avons également compris comment l'évolution de la gestion des risques et des réglementations oblige toutes les industries à renforcer leurs mesures de sécurité et de prévention des risques.

Chapitre II

L'analyse des risques

Introduction

Tout système industriel est susceptible de générer divers types de risques. Gérer un risque est un processus itératif visant à identifier, analyser et minimiser ces risques, ou à les maintenir dans des limites acceptables. La gestion des risques est une composante essentielle de la gestion d'un système. L'analyse des risques constitue une étape clé de ce processus, nécessitant une démarche structurée et systématique.

Ce chapitre explore les différentes méthodes d'analyse des risques que nous allons utiliser dans cette étude. On commence par présenter les critères et les outils qui nous ont guidés dans le choix de la méthode d'analyse. Ensuite, on présente les méthodes classiques que nous avons intégrées pour enrichir notre approche MADS MOSAR. Enfin, on met en lumière la méthode MADS MOSAR elle-même, en décrivant ses points forts et son application spécifique à notre étude.

II.1. L'analyse des risques

Toutes les méthodes d'analyses des risques ont pour objectif commun d'identifier les dangers potentiels d'un système afin de prendre des mesures pour en réduire la gravité et la probabilité d'occurrence. Ces objectifs se concrétisent dans les différentes méthodes d'analyse des risques par des étapes plus ou moins formalisées visant à :

1. Définir le système auquel la méthode sera appliquée.
2. Identifier les risques auxquels le système est exposé.
3. Comprendre les mécanismes à l'origine de ces risques.
4. Évaluer les différents scénarios de réalisation de ces risques.
5. Hiérarchiser ces scénarios en fonction de leur gravité et de leur probabilité d'occurrence (étape parfois absente de certaines méthodes).
6. Identifier des solutions pour réduire ou éliminer les risques identifiés.

Toutes les méthodes d'analyse des risques comprennent implicitement l'ensemble de ces étapes. Cependant, certaines méthodes ne décrivent pas précisément les objectifs et la mise en œuvre de chaque étape. Notre choix de méthode se portera sur une approche où la plupart de ces étapes sont décrites en détail, afin de garantir une analyse complète et rigoureuse des risques. (Gardes, 2001)

L'analyse à posteriori est essentielle pour comprendre les origines des ENS déjà survenus. Elle s'appuie principalement sur la méthode de l'arbre des faits, un arbre logique retraçant la séquence d'événements (ou dysfonctionnements) ayant conduit à l'ENS final. Cette analyse permet de remonter la chaîne causale et d'identifier les facteurs ayant contribué à l'événement.

L'analyse à priori, quant à elle, vise à anticiper les ENS en construisant, avant qu'elles ne surviennent, la chaîne d'événements qui pourraient y mener. Cette démarche complexe

nécessite des outils adaptés, tels que l'arbre de défaillances, un autre arbre logique. L'identification à priori des risques potentiels permet de mettre en place des "barrières de prévention", des mesures de nature diverse visant à empêcher la survenance d'ENS.

Le retour d'expérience, fruit de l'analyse à posteriori et de l'analyse à priori, joue un rôle crucial dans la prévention des ENS. Il consiste à injecter les connaissances acquises lors de l'analyse d'événements passés dans les stratégies de prévention futures. Ce retour d'expérience permet d'enrichir la compréhension des ENS et d'améliorer continuellement les mesures de prévention (PERILHON, juin 2003).

Les ENS auxquels on s'intéresse le plus sont :

- **Les accidents** : ENS involontaire portant atteinte à des êtres vivants ou des systèmes matériels ou symboliques importants :

Individus → Accidents

Populations, écosystèmes, systèmes techniques ou symboliques importants → Catastrophes

- **Les incidents** : ENS involontaire n'ayant qu'un impact matériel ou ayant failli conduire à un accident.
- **Les anomalies** : dysfonctionnements élémentaires, ENS précurseurs des deux précédents.
- **La malveillance** : acte volontaire pouvant porter atteinte à une cible.

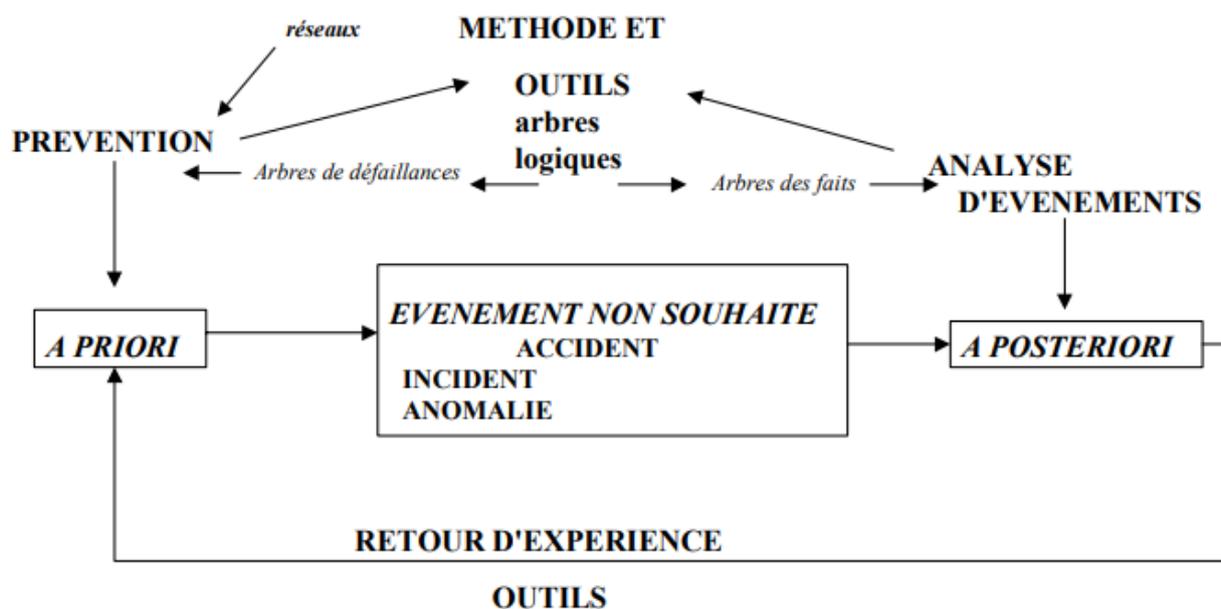


Figure 3 : Le paradigme d'analyse des risques (PERILHON, DU RISQUE A L'ANALYSE DE RISQUES, juin 2003)

II.2. Choisir la méthode d'analyse des risques

Sélectionner la méthode d'analyse des risques la plus adaptée à mon contexte est crucial pour garantir la sécurité de mon installation. Voici un processus en 4 étapes pour me guider dans ce choix (Olivier IDDIR, Technique de l'ingénieur, 2012):

Étape 1 : Définir les objectifs

Commencez par clarifier les objectifs de mon analyse :

- **Couverture complète** : L'analyse doit englober toutes les phases d'exploitation de l'installation (fonctionnement normal, maintenance, arrêt, redémarrage, et marches dégradées).
- **Identification exhaustive** : Tous les scénarios d'accidents potentiels doivent être identifiés.
- **Évaluation précise** : La probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des scénarios d'accidents doivent être évaluées.
- **Mesures de maîtrise** : L'analyse doit permettre d'identifier et de caractériser les mesures de maîtrise des risques (MMR) pour prévenir et limiter les conséquences des accidents.
- **Hierarchisation des risques** : Il est important de pouvoir juger de l'acceptabilité des risques et de les hiérarchiser.

Étape 2 : Découper l'analyse des risques en plusieurs étapes

Une analyse des risques efficace se déroule en trois étapes :

1. **Identification des dangers** : Recensement systématique des dangers potentiels.
2. **Analyse préliminaire des risques (APR)** : Évaluation préliminaire des risques pour identifier les dangers nécessitant une analyse plus approfondie.
3. **Analyse détaillée des risques** : Analyse approfondie des dangers identifiés comme critiques.

Chaque étape nécessite une ou plusieurs méthodes d'analyse spécifiques.

Étape 3 : Choisir l'approche méthodologique

Le choix de la méthode d'analyse des risques dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- **Le niveau de précision souhaité** : Les méthodes qualitatives offrent une évaluation approximative des risques, tandis que les méthodes quantitatives permettent une évaluation plus précise.

- **La nature des risques :** Certaines méthodes sont mieux adaptées à certains types de risques que d'autres.
- **Les ressources disponibles :** Certaines méthodes nécessitent des compétences et des outils spécifiques.

Les méthodes d'analyse des risques peuvent être classées en trois catégories :

- **Qualitative :** Appréciation générale de la probabilité et de la gravité (ex : probable, improbable, gravité importante, gravité faible).
- **Semi-quantitative :** Ordre de grandeur de la probabilité et de la gravité en utilisant des classes prédéfinies.
- **Quantitative :** Valeurs chiffrées pour la probabilité et la gravité (ex : nombre de personnes potentiellement impactées par un danger). Il est souvent judicieux de combiner différentes méthodes pour obtenir une analyse complète des risques.

En plus du type d'approche, il faut également choisir entre une méthode inductive (des causes vers les conséquences) ou déductive (des conséquences vers les causes).

Étape 4 : Mobiliser les ressources et compétences

La réussite d'une analyse des risques nécessite de mobiliser les compétences et ressources adéquates :

- **Compétences :** L'analyse préliminaire nécessite un groupe de travail pluridisciplinaire (exploitation, process, maintenance, instrumentation, sécurité). L'analyse détaillée est souvent confiée à des spécialistes en sécurité maîtrisant les méthodes d'analyse et la modélisation des phénomènes dangereux.
- **Ressources :** Bien que des logiciels spécialisés puissent faciliter l'analyse (arbres de défaillances, etc.), ils ne sont pas toujours indispensables. L'évaluation des conséquences peut nécessiter des logiciels de calculs spécifiques, coûteux mais parfois remplacés par des normes, des formules simplifiées ou des outils mis à disposition par les autorités.

En résumé, la sélection de la méthode d'analyse des risques doit être un processus rigoureux tenant compte des objectifs, des ressources disponibles et des spécificités de l'installation.

II.3. Les méthodes classiques d'analyse des risques

Les méthodes classiques d'analyse des risques sont des approches traditionnelles et éprouvées pour identifier, évaluer et traiter les risques potentiels auxquels une organisation ou un projet est confronté. Elles se caractérisent par leur simplicité d'utilisation et leur applicabilité à un large éventail de situations.

Les principales méthodes classiques d'analyse des risques sont :

- L'analyse préliminaire des risques (APR).
- L'analyse des modes de défaillance de leur effet et de leur criticité (AMDEC).
- L'analyse des risques sur schémas type HAZOP.
- L'analyse par arbres des défaillances (ADD).
- L'analyse par arbres d'évènements (ADE).
- L'analyse par Nœud Papillon.
- L'analyse par la méthode HIRA.

On va détailler dans les paragraphes suivants que les méthodes que nous allons utiliser dans la partie pratique.

II.3.1. L'arbre de défaillance

L'analyse par arbre des défaillances (ADD) est une méthode déductive qui permet d'identifier les causes possibles d'un événement indésirable, appelé événement redouté. Elle consiste à partir de cet événement, à remonter les causes qui y ont conduit, étape par étape, jusqu'aux événements élémentaires (INERIS, 2006).

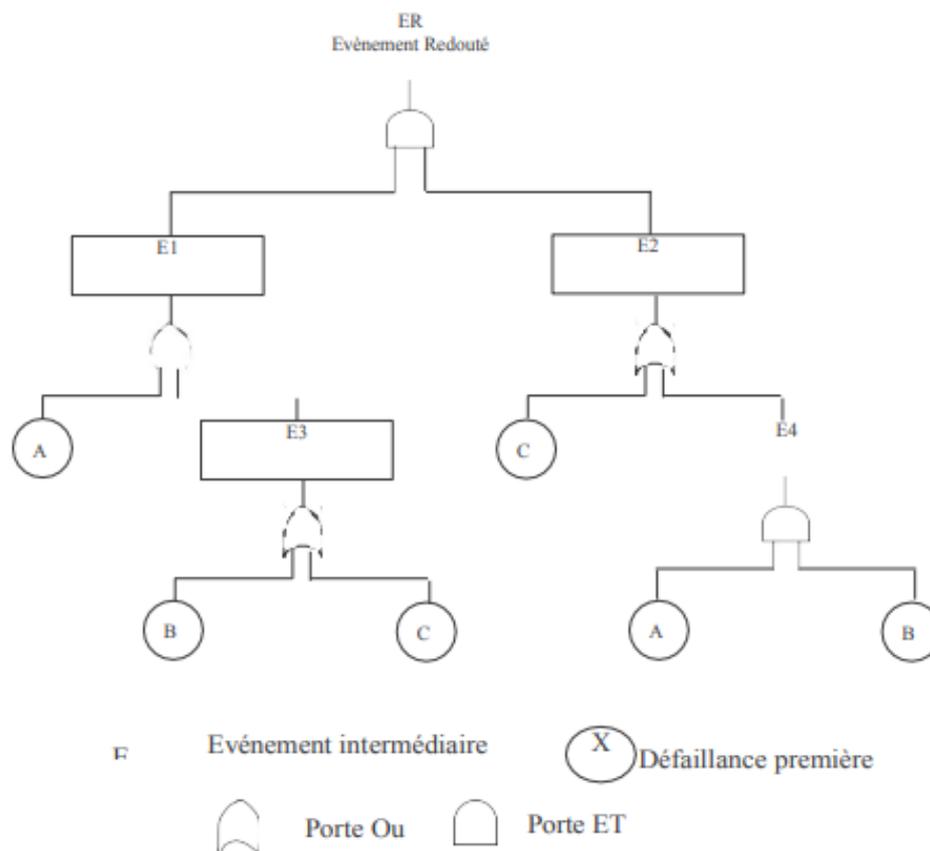


Figure 4 : Exemple d'arbre des défaillances (A.VILLEMEUR, 1988)

1. Identifier les événements de base

Les événements de base sont les éléments constitutifs de l'arbre des défaillances. Ils peuvent être de trois types :

- **Élémentaires** : Ce sont des événements simples et connus, dont les causes ne sont pas développées dans l'analyse.
- **Non élémentaires** : Ces événements ne sont pas simples, mais leurs causes ne sont pas développées pour des raisons de temps ou d'intérêt.
- **Développés** : Les causes de ces événements sont analysées plus en détail dans l'arbre des défaillances.

2. Construire l'arbre des défaillances

La construction de l'arbre des défaillances se fait en suivant les étapes suivantes :

- **Définir l'événement redouté** : Il s'agit de décrire précisément l'événement que l'on souhaite analyser.
- **Identifier les causes immédiates** : Pour chaque événement, on recherche les causes immédiates qui peuvent le déclencher.
- **Relier les événements par des portes logiques** : Les portes logiques "ET" et "OU" permettent de relier les événements entre eux en fonction de leur relation de cause à effet.
- **Répéter les étapes 2 et 3 jusqu'aux événements élémentaires** : On continue à identifier les causes immédiates et à les relier par des portes logiques jusqu'à atteindre les événements élémentaires.

3. Exploiter l'arbre des défaillances

L'analyse de l'arbre des défaillances permet d'obtenir plusieurs informations importantes :

- Les différentes combinaisons d'événements qui peuvent conduire à l'événement redouté.
- La probabilité d'occurrence de l'événement redouté.
- Les points de défaillance critiques du système.

4. Avantages et limites de l'analyse par arbre des défaillances

Avantages :

- Permet de considérer des combinaisons d'événements.
- Aide à identifier les causes d'accidents complexes.
- Permet d'estimer la probabilité d'occurrence d'un événement redouté.
- Aide à prioriser les actions de prévention des risques.

Limites :

- Peut-être fastidieuse à appliquer pour des systèmes complexes.
- Nécessite une bonne connaissance du système analysé.
- La quantification des probabilités peut être difficile.

L'analyse par arbre des défaillances est une méthode puissante pour identifier les causes d'un événement indésirable et comprendre les interactions entre ces causes. Elle est particulièrement utile pour analyser des accidents complexes et pour prioriser les actions de prévention des risques.

II.3.2. La méthode AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) : une approche méthodique pour identifier et prévenir les défaillances.

1. Principe de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'analyse rigoureuse qui permet d'identifier les défaillances potentielles d'un système, d'en comprendre les causes et d'en évaluer les conséquences. Elle s'appuie sur une terminologie précise pour décrire les différents aspects d'une défaillance :

Défaillance : La perte de la capacité d'un élément ou d'un système à remplir sa fonction prévue.

Mode de défaillance : La manière dont une défaillance se manifeste, c'est-à-dire l'effet observable de la défaillance sur un élément du système.

Cause de défaillance : Les événements qui déclenchent un mode de défaillance.

Effet d'un mode de défaillance : Les conséquences de la perte de la fonction d'un élément, engendrées par le mode de défaillance.

Tableau 1: Modes de défaillance généraux (extrait du tableau II de la norme CEI 60812 :1985)

1	Fonctionnement prématuré
2	Ne fonctionne pas au moment prévu
3	Ne s'arrête pas au moment prévu
4	Défaillance en fonctionnement

Tableau 2 : Modes de défaillance génériques (extrait du tableau II de la norme CEI 60812 :1985)

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

2. Déroulement de l'AMDEC :

L'AMDEC se déroule de manière structurée, en suivant les étapes suivantes :

1. Sélectionner l'équipement ou le composant à analyser.
2. Identifier les fonctions et les états de fonctionnement de l'équipement ou du composant.
3. Pour chaque état de fonctionnement, déterminer les modes de défaillance possibles.
4. Pour chaque mode de défaillance, identifier les causes potentielles.
5. Evaluer les effets de chaque mode de défaillance, tant au niveau local que sur l'ensemble du système.
6. Identifier les moyens de détection de chaque mode de défaillance.
7. Déterminer les actions préventives ou correctives mises en place pour limiter les effets des défaillances.
8. Evaluer la criticité de chaque mode de défaillance en considérant sa probabilité d'occurrence et la gravité de ses conséquences.
9. Recommander des actions supplémentaires si la criticité d'un mode de défaillance est jugée inacceptable.

Dans les faits, il est intéressant de se doter de tableaux tant en qualité de support pour mener la réflexion que pour la présentation des résultats. Un exemple de tableau est fourni ci-dessous.

Tableau 3 : Exemple d'un tableau de type AMDEC

N	Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité	Action corrective
---	---------	----------	---------------------	----------------------	----------------------	-----------	-----------	-------------------

3. Avantages et limites de l'AMDEC

L'AMDEC offre de nombreux avantages pour l'analyse des défaillances :

- Identification systématique des défaillances potentielles.
- Compréhension des causes et des effets des défaillances.
- Évaluation de la criticité des défaillances.
- Priorisation des actions préventives et correctives.

Cependant, l'AMDEC présente également certaines limites :

- Peut-être fastidieuse et chronophage pour les systèmes complexes.
- Ne prend pas en compte les défaillances multiples.
- S'appuie sur des estimations subjectives de la probabilité et de la gravité des défaillances.

L'AMDEC, un outil précieux pour la fiabilité et la sécurité des systèmes

Malgré ses limites, l'AMDEC demeure un outil précieux pour l'analyse des défaillances et l'amélioration de la fiabilité des systèmes. Sa démarche méthodique et son vocabulaire précis permettent d'identifier les défaillances potentielles et de mettre en place des actions préventives efficaces. L'AMDEC est particulièrement utile dans les domaines suivants :

- Conception de nouveaux systèmes.
- Maintenance préventive.
- Analyse des risques.
- Gestion de la qualité.

En complément de l'AMDEC, d'autres méthodes d'analyse des défaillances peuvent être utilisées pour une analyse plus approfondie, comme l'analyse par arbre des défaillances.

En résumé, l'AMDEC est une méthode d'analyse rigoureuse et structurée qui permet d'identifier les défaillances potentielles d'un système, d'en comprendre les causes et d'en évaluer les conséquences. Elle constitue un outil précieux pour améliorer la fiabilité et la sécurité des systèmes complexes.

II.4. Les méthodes intégrées d'analyse des risques

Contrairement aux approches traditionnelles, les méthodes intégrées d'évaluation des risques adoptent une vision d'ensemble. Elles intègrent des expertises variées et suivent un processus structuré pour identifier, analyser et prioriser les risques. Cela permet une meilleure compréhension des dangers et une allocation plus efficace des ressources pour les réduire.

Exemples de méthodes d'analyse des risques intégrées (INERIS, 2006)

1. Analyse quantitative des risques (QRA) :

Quantification précise des risques potentiels en utilisant des données statistiques et des modèles probabilistes, permettant une prise de décision éclairée basée sur des faits concrets.

2. Étude des dangers et de l'opérabilité (LOPA)

Permet d'évaluer la réduction du risque en analysant la contribution des différentes couches qui englobent l'ensemble des barrières, depuis la conception du procédé jusqu'aux mesures de secours en cas d'accident. Elle a pour avantage de valoriser toutes les **couches de protection** mises en oeuvre pour réduire les risques. Son application est recommandée dans la norme IEC 61511, dans le cadre de l'évaluation du niveau de SIL (Safety Integrity Level) requis pour les Fonctions de Sécurité Instrumentée (SIF).

3. Analyse de fiabilité, d'opérabilité et de maintenabilité (BORA)

Étude approfondie de la performance d'un système ou d'un composant, en tenant compte de sa capacité à fonctionner comme prévu, de sa facilité d'utilisation et de la simplicité de sa maintenance, permettant d'anticiper les problèmes et de prolonger sa durée de vie.

4. Risk Assessment Methodology for Industries (ARAMIS)

Approche méthodique et rigoureuse dédiée aux installations industrielles présentant des risques importants, permettant d'évaluer ces risques, de mettre en place des mesures de prévention et de protection adéquates, et de garantir la sécurité des populations environnantes.

II.5. La méthode MADS MOSAR

Cette méthodologie est structurée et progressive, utilisant des outils internes tels que la grille 1 et les tableaux A, B, C, ainsi que des méthodes d'analyse de risques reconnues à l'échelle internationale. Elle est systématique, fondée sur la systémographie, et centrée sur l'analyse des risques, permettant l'identification, l'évaluation, le contrôle, la gestion et la supervision des risques associés à une opération donnée. Initialement conçue dans une perspective de sûreté de fonctionnement, cette approche méthodologique peut être appliquée à des analyses a priori et a posteriori d'accidents, ces dernières fournissant une rétroaction essentielle pour les analyses préventives.

MOSAR peut être considérée comme une méthodologie a priori capable d'intégrer des méthodes d'analyse détaillées telles que l'AMDEC et l'HAZOP. Face aux dangers potentiels d'une installation.

Pour aborder les dangers potentiels d'une installation, MOSAR adopte une approche à la fois macroscopique et microscopique. La vision macroscopique se concentre sur l'analyse principale des risques (module A), mettant en lumière les risques principaux en relation avec les barrières de sécurité nécessaires. En revanche, la vision microscopique (module B), appelée Analyse des

Risques de Fonctionnement, va plus loin en explorant les mécanismes de dysfonctionnement et en identifiant les mesures d'élimination, de contrôle et de mitigation.

II.5.1. Structure de la méthode MADS MOSAR

La méthode MADS MOSAR s'articule autour de deux visions complémentaires, chacune donnant lieu à un module distinct :

Module A : Analyse macroscopique - Identification des risques de proximité

Ce module vise à identifier les dangers et les risques majeurs pouvant survenir du fait de la proximité des éléments constitutifs d'une installation (stockages, machines, chaînes de fabrication, opérateurs). Il s'appuie sur une approche systémique pour modéliser ces éléments et analyser leurs interactions potentielles.

Étapes clés du module A :

- 1. Identifier les scénarios de dangers :** Définir les événements potentiels qui pourraient causer des dommages.
- 2. Identifier les sources de dangers :** Déterminer les éléments ou facteurs qui pourraient déclencher ces événements.
- 3. Évaluer les scénarios de risques :** Estimer la probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences potentielles de chaque scénario.
- 4. Négocier des objectifs et hiérarchiser les scénarios :** Établir un consensus sur les risques acceptables et prioriser les scénarios en fonction de leur criticité.
- 5. Définir les moyens de prévention et les qualifier :** Identifier des mesures préventives pour réduire les risques et évaluer leur efficacité.

Module B : Analyse microscopique – Sureté de fonctionnement

Ce module vient compléter l'analyse du module A en se focalisant sur les dysfonctionnements techniques et opératoires des scénarios identifiés. Il s'appuie sur des outils tels que les AMDEC, HAZOP et les arbres des défaillances...

Étapes clés du module B :

- 1. Identifier les risques de fonctionnement :** Détailler les défaillances possibles des éléments techniques et des actions humaines dans chaque scénario.
- 2. Évaluer les risques en construisant des ADD et en les quantifiant :** Élaborer des arbres des défaillances (ADD) pour visualiser les causes des défaillances et estimer leur probabilité d'occurrence.
- 3. Négocier des objectifs précis de prévention :** Définir des objectifs clairs et mesurables pour la réduction des risques identifiés.
- 4. Affiner les moyens de prévention :** Optimiser les mesures préventives définies dans le module A en tenant compte des analyses détaillées du module B.

5. **Gérer les risques** : Mettre en place un plan de gestion des risques pour suivre l'efficacité des mesures préventives et assurer une amélioration continue de la sécurité (PERILHON, SE4060 V1, 2003).

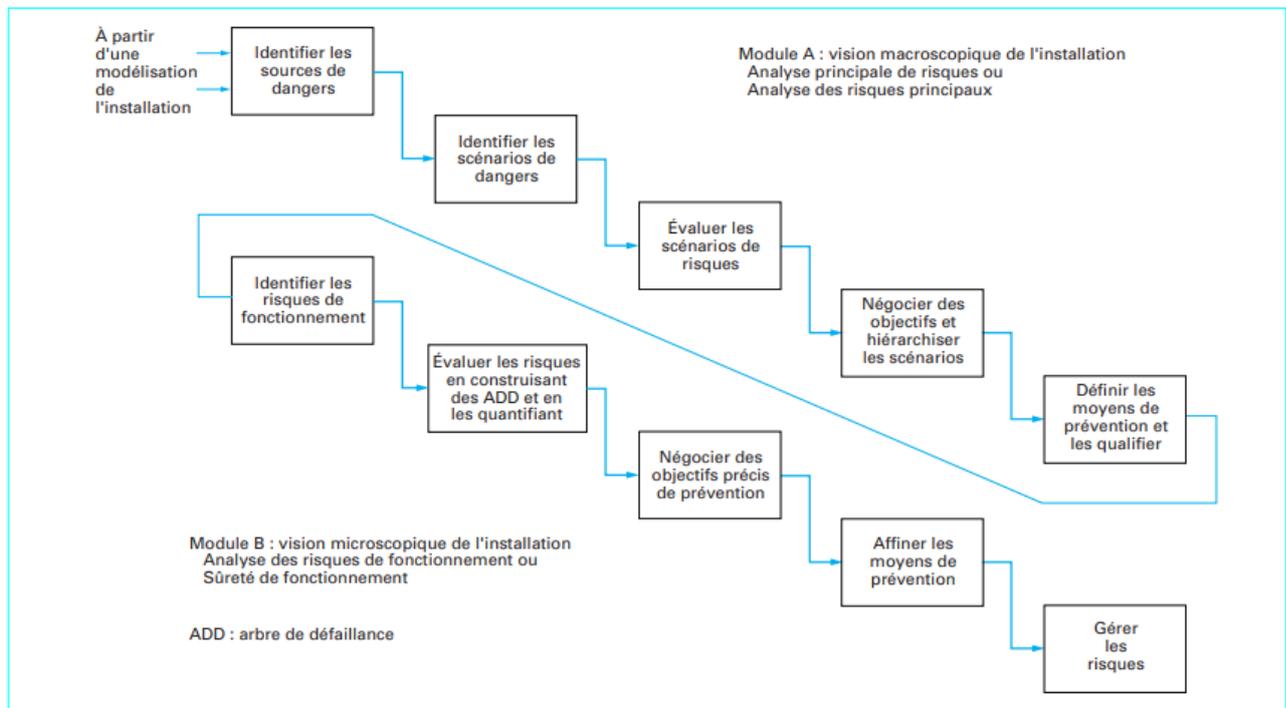


Figure 5 : Les deux modules et les dix étapes de MOSAR : le parcours complet du MOSAR (PERILHON, SE4060 V1, 2003)

La méthode MADS MOSAR offre une approche structurée et complète pour l'évaluation et la gestion des risques, en combinant une vision globale des interactions systémiques avec une analyse détaillée des défaillances techniques et opératoires.

II.5.2. Le modèle MADS

Le modèle MADS (Méthodologie d'Analyse du Dysfonctionnement des Systèmes), également connu sous le nom d'Univers du Danger, est un outil pédagogique précieux pour conceptualiser et analyser les risques. Fondé sur les principes de la modélisation systémique développés par Jean-Louis Le Moigne dans "La Théorie du Système Général", MADS offre une approche structurée pour comprendre les interactions complexes entre les éléments d'un système et son environnement dans le contexte de l'analyse des risques.

Structure fondamentale du modèle MADS

L'univers du danger dépeint par MADS repose sur deux systèmes clés : le système source de danger et le système cible. Ces systèmes interagissent en permanence et sont immergés dans un environnement dynamique appelé champ de danger. Les échanges entre ces systèmes

s'effectuent sous forme de processus, impliquant le transfert de matière, d'énergie et d'information. Les autres actions au sein de cet univers sont également représentées sous forme de processus. La modélisation des deux systèmes, en fonction des problèmes étudiés, s'articule autour de leur structure, de leur fonctionnement, de leurs interactions avec l'environnement et de leur évolution (PERILHON, SE4060 V1, 2003).

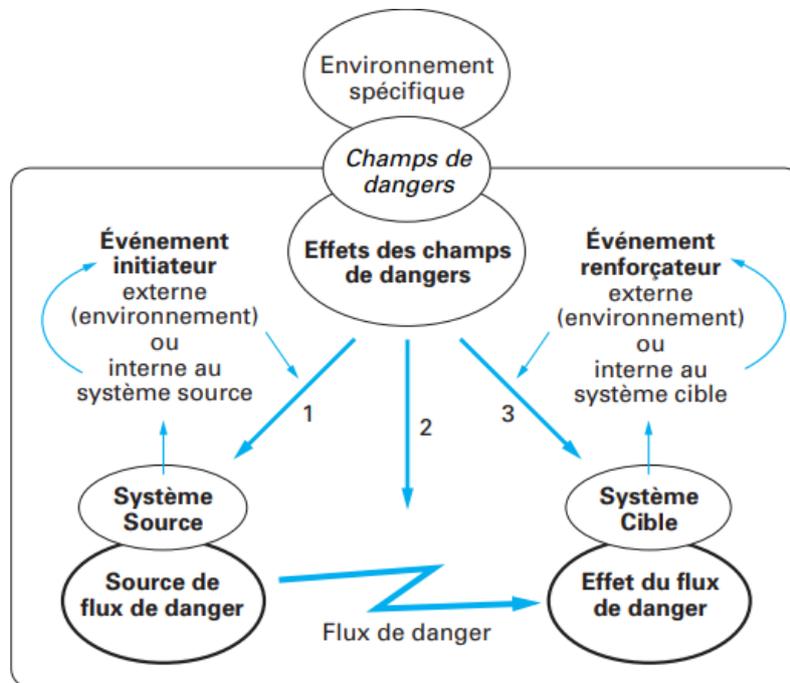


Figure 6 : Le modèle MADS ou l'univers du danger (PERILHON, SE4060 V1, 2003)

Éléments clés du modèle MADS

Le flux de danger, également appelé Événement Non Souhaité (ENS) ou Événement Redouté, représente l'élément central du modèle.

Le système cible est l'entité sur laquelle le flux de danger agit. L'impact du flux sur la cible, appelé **effet du danger**, peut affecter sa structure, son activité, son évolution, ou une combinaison de ces aspects.

Le système source de danger est à l'origine du flux de danger. La source de flux de danger correspond à la rupture d'équilibre du système source, qui peut impliquer sa structure, son activité, son évolution, ou son interaction avec l'environnement.

Réversibilité du processus de danger :

Le modèle souligne la réversibilité du processus de danger, un système source pouvant devenir une cible et vice-versa.

Les systèmes sources et cibles considérés peuvent être : un ou des individus, une ou des populations, un ou des écosystèmes, ou encore un ou des systèmes matériels ou symboliques (savoirs, savoir-faire, données).

Champ de danger :

Les éléments "source - flux - cible" sont immergés dans un environnement actif appelé champ de danger.

Processus et événements :

Le champ de danger est composé de processus qui peuvent influencer le système source via des événements initiateurs, et agir sur la cible et le flux de danger via des événements amplificateurs.

Un événement amplificateur est dit **renforceur (ou amplificateur positif)** s'il intensifie l'effet du flux sur la cible, et **atténuateur (ou amplificateur négatif)** s'il le diminue.

Exemple : Un individu exposé à un flux de danger thermique. Le port de vêtements en fibres synthétiques facilement inflammables aura un effet renforceur sur les brûlures, tandis que des vêtements protecteurs résistants à la chaleur auront un effet atténuateur.

Les avantages de la méthode

La méthode MADS-MOSAR présente plusieurs avantages qui la rendent particulièrement adaptée à l'analyse des risques d'une installation industrielle :

Réponse aux besoins :

- **Éthique et communication :** La méthode garantit une prise en compte exhaustive des risques potentiels, en intégrant des approches déterministes et probabilistes. Elle favorise la communication et la négociation entre les acteurs concernés, en définissant des objectifs communs et en assurant la transparence.
- **Intégration de la réglementation :** MADS-MOSAR dépasse la simple application de la réglementation en proposant des mesures de prévention et de protection pour des événements non couverts par la législation.
- **Apprentissage et performance :** La méthode intègre les retours d'expérience et s'avère ainsi flexible pour adapter les mesures de sécurité au fil du temps. Elle permet de créer un document de référence qui assure le suivi de la performance et la pérennité des barrières de sécurité.
- **Confiance et management :** MADS-MOSAR permet de construire une démonstration de la sécurité, favorisant la confiance des acteurs internes et externes. Elle identifie les modalités de management et d'organisation nécessaires pour garantir la pérennité des barrières de sécurité.
- **Construction du POI :** La méthode facilite la construction d'un Plan d'Opérations Interne (POI) à partir des scénarios d'accidents identifiés.

Exhaustivité :

- **Grille de systèmes sources de danger :** La méthode utilise une grille de systèmes sources de danger stabilisée, permettant une identification exhaustive des sources potentielles. La grille est adaptable et peut être complétée si nécessaire.
- **Genèse de scénarios :** L'approche par "boîtes noires" permet de générer une large variété de scénarios, incluant les scénarios dimensionnants et maximums physiquement possibles.
- **Recherche systématique des barrières :** L'analyse systématique des barrières pour chaque événement garantit une exhaustivité de la méthode.

Coordination des outils :

Prise en compte globale : MADS-MOSAR ne s'appuie pas directement sur des outils spécifiques (AMDEC, HAZOP, arbres logiques) au début de l'analyse, évitant ainsi une dispersion précoce.

Niveaux d'analyse : La méthode crée des niveaux d'analyse, du global au détail, permettant de choisir la profondeur d'analyse en fonction des objectifs et du temps disponible.

Souplesse :

- **Parcours flexibles :** La méthode propose des parcours d'analyse adaptés aux objectifs à atteindre, permettant une utilisation flexible selon les besoins.
- **Gestion du temps :** Malgré un processus global qui peut paraître long, la possibilité de choisir un parcours adapté permet de gérer le temps de manière efficace.

Complexité de l'analyse de risques :

Il est important de souligner que l'analyse des risques d'une installation industrielle est un processus complexe et chronophage. La méthode MADS-MOSAR, en offrant une structure rigoureuse et une approche exhaustive, permet de garantir une analyse efficace et cohérente. Il est illusoire de penser pouvoir réaliser une analyse de risques de manière intuitive ou avec des solutions improvisées.

La méthode MADS-MOSAR offre une approche rigoureuse et complète pour l'analyse des risques, répondant aux exigences éthiques, réglementaires et de performance, tout en s'adaptant aux besoins spécifiques de chaque installation industrielle.

Les inconvénients de la méthode (Grandamas, 2020)**Systématisation et exhaustivité**

MADS-MOSAR est perçue par certains comme une méthode trop systématique et exhaustive. Par exemple, analyser 100 sous-systèmes avec en moyenne 5 sources par sous-système, cela fait 500 sources à analyser. Et si on attache en moyenne 10 événements par source, cela représente 5000 événements à combiner pour faire des scénarios et 5000 événements sur lesquels il faut attacher des mesures de maîtrise des risques.

Lourdeur et complexité de mise en œuvre

Bien que ses principes soient bons, la mise en œuvre de MADS-MOSAR est considérée comme lourde et fastidieuse. Elle est réservée à des experts et le rapport temps passé sur travail produit est jugé trop important.

Formalisme initial et absence de règles claires

Le formalisme initial de MADS-MOSAR (module A, module B) ainsi que l'absence de règles claires, notamment quant à la signification et au vocabulaire des événements (EI, EII, EIE, EP), rendent la méthode difficilement applicable. Seul celui qui a mené l'analyse s'y retrouve.

Absence de capitalisation

Un autre inconvénient de MADS-MOSAR est son absence de capitalisation des analyses réalisées précédemment.

En résumé, bien que MADS-MOSAR soit toujours enseignée, elle est très peu appliquée en pratique en raison de sa lourdeur, de sa complexité et de son manque d'opérationnalité perçue par les utilisateurs.

Conclusion

Ce chapitre a exploré les différentes méthodes d'analyse des risques qui seront employées dans cette étude. La sélection rigoureuse de ces méthodes, basées sur des critères précis, garantit leur pertinence pour le contexte particulier de l'étude. La méthode MADS MOSAR, choisie comme méthode centrale, a été présentée en détail, en mettant en lumière ses atouts et son adaptation spécifique à l'étude.

L'application de ces méthodes permettra d'identifier, d'analyser et de minimiser efficacement les risques encourus par le système étudié. Les résultats obtenus éclaireront la prise de décision quant aux mesures préventives à mettre en œuvre, contribuant ainsi à la sécurité et à la fiabilité du système sur le long terme.

Partie pratique :
Application de la méthode
MADS MOSAR

Introduction

Dans ce chapitre, on va appliquer la méthode MADS MOSAR à l'atelier de préfabrication de la charpente métallique de l'ENGTP. Notre objectif est d'identifier et de gérer de manière proactive tous les risques potentiels inhérents à ce processus vital pour l'entreprise. On commence par une présentation de l'entreprise et de ses activités pour donner un contexte clair à l'analyse. Ensuite, à travers l'analyse détaillée de chaque étape de cette méthode rigoureuse, on démontre comment elle permet de renforcer la sécurité, d'améliorer la qualité des produits et de prévenir les incidents au sein de cet environnement spécialisé dans la production de structures métalliques.

1. Présentation de l'entreprise

L'ENGTP « Entreprise Nationale des Grands Travaux Pétrolier », filiale du groupe Sonatrach, est une entreprise d'envergure spécialisée dans la construction, en tous corps de métiers, de grands ensembles industriels et de canalisations dans différents domaines principalement les Hydrocarbures et l'Energie.

Nom de l'Entreprise : Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers

- Statuts : Société par Actions Filiale à 100% du groupe SONATRACH

A l'échelle nationale, L'ENGTP compte parmi les grandes entreprises de Constructions et est un chef de file des grandes réalisations dans le secteur de l'énergie et des hydrocarbures.

ENGTP respecte des normes exceptionnellement élevées de qualité et sécurité et s'engage dans la protection de l'environnement et ce, à l'entière satisfaction de ses clients.

1.1. L'histoire de L'ENGTP

L'Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers, a été créée par le décret N° 80/103 du 04 Avril 1980 en tant qu'Entreprise publique sous l'égide du ministère de l'énergie et des mines.

Le statut de l'ENGTP a évolué comme suit :

- **ALTRA** une entreprise qui fut créé le **15 novembre 1967** par association entre **SONATRACH** et le groupe français **UIE** « Entreprise Française spécialisée dans la construction d'installations pétrolières de surface » qui, à l'époque, opérait en Algérie.
- **1972** ALTRA devient filiale de Sonatrach à 100%
- **1980** Création de l'ENGTP héritière du patrimoine d'ALTRA
- **1989** L'ENGTP passe au statut d'EPE.
- **2004** 51% du capital de l'ENGTP est détenu par Sonatrach et 49% par le Holding Public « TRAVEN »
- **2005** l'ENGTP devient filiale à 100% du groupe SONATRACH Holding SPP.

- Le capital social de l'ENGTP a évolué progressivement de 35 Millions de DA en 1989 à 16.500.000.000 de dinars actuellement.

1.2. Les métiers de l'ENGTP

L'ENGTP est une entreprise spécialisée dans la réalisation des projets. Ses principaux métiers sont :

- Construction et/ou montage de grands ensembles industriels
- Engineering et contrôle de réalisation
- Préfabrication de tuyauterie et de charpente métallique
- Maintenance industrielle
- Expertise et contrôle de soudage
- Canalisations « pipe »
- Génie civil et bâtiment

1.3. Les produits de L'ENGTP

- **Construction** : préfabrication de tuyauterie et charpentes métalliques, montage mécanique, génie civil, électricité, instrumentation, pose de canalisations, réseaux de collectes et de dessertes, réservoirs de stockage.
- **Engineering** : Etudes de faisabilité, engineering de base, engineering de détail, contrôle de réalisation
- **Procurement**: Approvisionnement, achats, transport, dédouanement
- **Maintenance Industrielle** : Mise à disposition de ressources et intervention

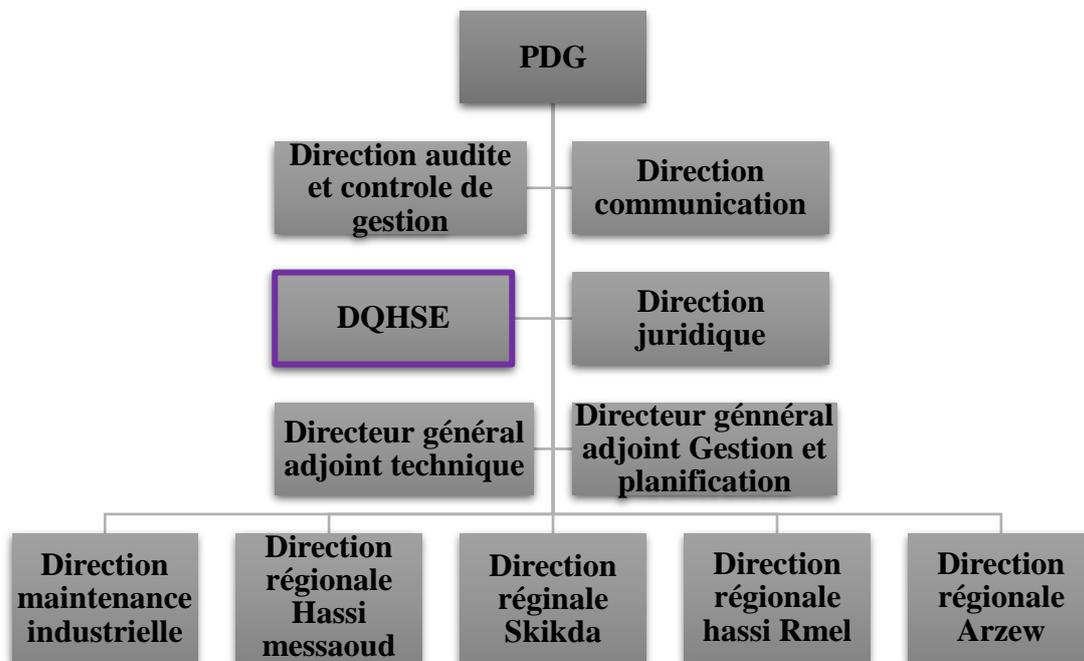


Figure 7: L'organigramme de l'ENGTP (2024)

1.4. Les principaux axes de la politique QHSE :

- Maintenir l'écoute permanente de nos clients et parties intéressées pertinentes.
- Orientation de nos clients (améliorer la satisfaction du client).
- Le respect de la législation, la réglementation et les normes en vigueur.
- La réduction des coûts et amélioration de la qualité de vie des travailleurs.
- Préserver la santé et la sécurité des travailleurs.
- Procurer des conditions sûres et saines, pour la préservation des traumatismes et des pathologies liées au travail.
- Réduire les dangers les risques sur la santé, la sécurité et l'environnement.
- Protéger l'environnement et prévenir la pollution, rationaliser la consommation des ressources naturelles et maîtriser les déchets générés.
- La maîtrise des aspects environnementaux significatifs.

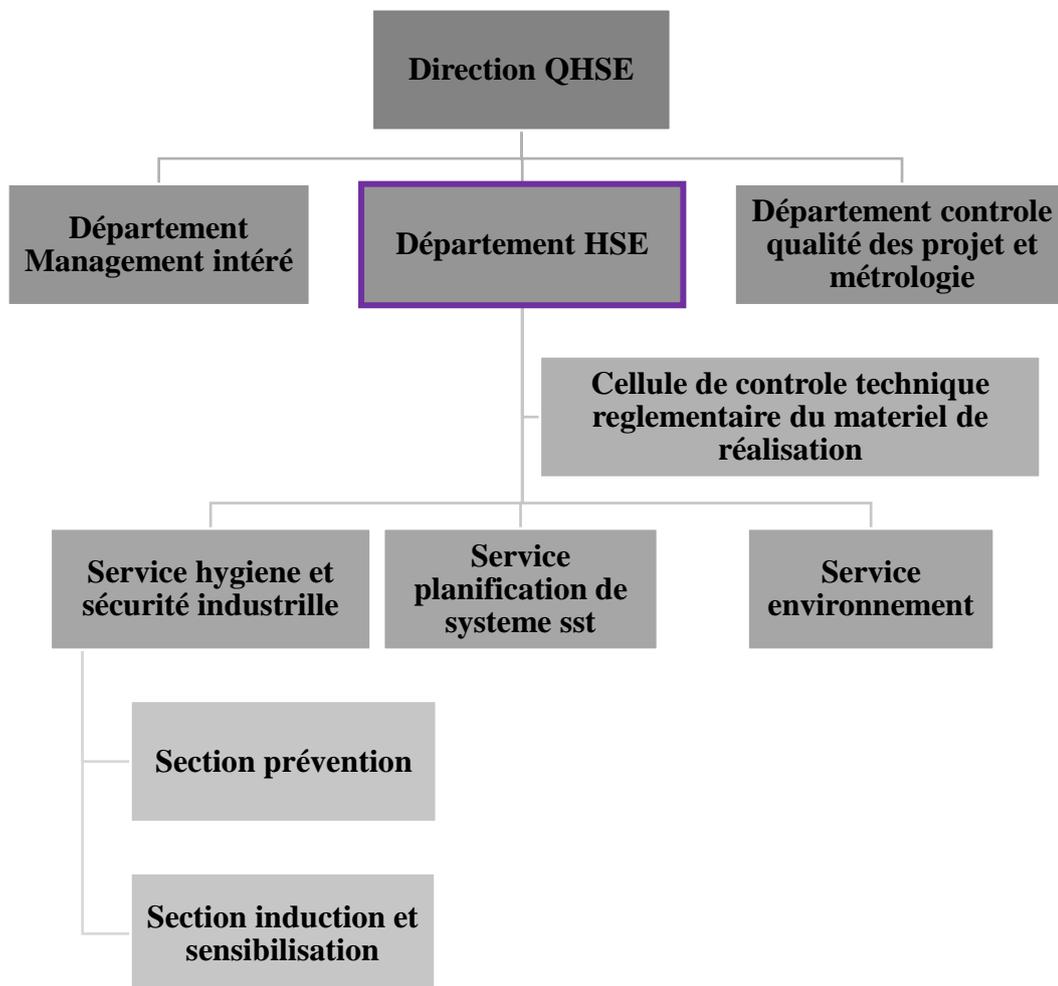


Figure 8: L'organigramme de la direction QHSE (2024)

1.5. Situation géographique siège de l'ENGTP :

Le site d'implantation de l'ENGTP est situé dans le territoire de la commune de Réghaïa, appartenant à la daïra de Rouiba (wilaya d'Alger). Il se trouve à 700 m au sud de la route nationale n° 5 et à 1 km au nord de l'autoroute Alger-Boumerdes, il s'étend sur une superficie de 8300 m².

Il est limité :

- Au Nord par l'autoroute Alger-Boumerdes ;
- A L'Est par Réghaja ville ;
- A L'Ouest par la zone industrielle de Rouiba;
- Au Sud par la RN 5.



Figure 9 : Localisation géographique de la commune de Réghaïa et de l'ENGTP.

2. Application de la méthode MADS MOSAR

2.1. Définition du système « Modélisation »

Le système étudié est une travée dans un atelier de préfabrication de la charpente métallique

2.1.1. Le processus de préfabrication de la charpente métallique

A. Réception de la matière première du magasin

Le magasin central est chargé d'alimenter les ateliers en acier de charpente (tout type de profilés). Les opérations de chargement sont effectuées à l'aide des grues, des ponts roulants et des chariots élévateurs.

B. Débitage

Le débitage est la première opération à réaliser qui consiste à découper la matière (profilés, tôles ...) préalablement tracés conformément aux plans de fabrication.

C. Repérage

Toutes les pièces préfabriquées sont repérées conformément aux plans d'exécution afin d'éviter toute erreur au moment du montage.

D. Assemblage

Les travaux d'assemblage sont exécutés conformément aux plans établis par la section méthode. L'assemblage des différents éléments se fera par le soudage par point.

E. Contrôle dimensionnel

Conformément aux plans de fabrication, un contrôle est effectué depuis la phase débit jusqu'à la réception.

F. Soudage

Généralement toutes les pièces assemblées sont soudées au niveau de l'atelier de préfabrication, à l'exception de quelques supports qui nécessitent un assemblage sur chantier.

G. Traitement de surface et peinture

La préparation des surfaces est réalisée par grenailage des pièces préfabriquées.

Avant l'expédition, toutes les pièces préfabriquées sont peintes par une couche antirouille au niveau de l'atelier.

2.1.2. Décomposition du système étudié



Figure 10: L'installation étudiée

Il existe plusieurs manières de décomposer une installation en sous-systèmes :

- Décomposition hiérarchique en fonction des relations des éléments de l'installation entre eux ;
- Décomposition topologique en fonction de la position des éléments de l'installation dans l'espace ;
- Décomposition fonctionnelle par la situation des éléments de l'installation dans la chaîne de fonctionnement de cette dernière.

Pour le cas de l'atelier de préfabrication, on utilise une association des deux dernières méthodes en répondant aux trois conditions ci-dessous :

- Les sous-systèmes répondent aux cinq critères d'un système (structure, fonction, finalité, évolution et environnement) ;
- Chacun doit être homogène ;
- Leur nombre doit être le plus limité possible, en tout cas inférieur ou égal à 12.



Figure 11 : Le système étudié Atelier de charpente travée C

Dans le cas de l'atelier de charpente, on a identifié selon le modèle MADS cinq sous-systèmes (figure 13) ; Pour réaliser cette décomposition on s'est t'inspiré de la méthode ISHIKAWA également connue sous le nom de diagramme de cause à effet ou diagramme en arêtes de poisson.

Cette méthode est utilisée pour identifier, organiser et représenter visuellement les causes potentielles de problèmes ou de risques en les classant en cinq grandes catégories : Matières, Machines, Milieu (Environnement), Main-d'œuvre (Opérateurs), et Méthodes (Processus).

En appliquant cette méthode à l'analyse des risques, j'ai obtenu les cinq sous-systèmes suivants :

1. **SS1 : Matières premières et matériaux utilisés** : correspond à la catégorie "**Matière**" de la méthode Ishikawa. Il couvre la qualité et les caractéristiques des matériaux entrant dans le processus de fabrication, ainsi que les risques associés à leur stockage et à leur manipulation.
2. **SS2 : Machines et équipements** : correspond à la catégorie "**Machines**" de la méthode Ishikawa. Il englobe les équipements et outils utilisés pour le travail des métaux, leur maintenance, leur fiabilité, et les risques mécaniques qu'ils peuvent présenter.
3. **SS3 : Atelier** : correspond à la catégorie "**Milieu**" de la méthode Ishikawa. Ce sous-système se concentre sur le milieu de travail et les conditions environnementales internes, y compris la disposition de l'atelier, la ventilation, l'éclairage, et les risques associés à l'organisation spatiale.
4. **SS4 : Opérateurs** : Correspond à la catégorie "**Main-d'œuvre**" de la méthode Ishikawa, ce sous-système inclut les compétences, la formation, les pratiques de travail et la sécurité des travailleurs, ainsi que les risques ergonomiques et les erreurs humaines.
5. **SS5 : Environnement externe** : Ce sous système est considéré comme une extension de la catégorie "**Milieu**" pour inclure les facteurs externes. Ce sous-système examine les influences

extérieures telles que les conditions météorologiques, les réglementations locales, et d'autres facteurs externes pouvant impacter l'atelier.

Dans cette analyse on n'a pas considéré la catégorie "**Méthodes**" de la méthode **Ishikawa** comme un sous-système distinct. Car les méthodes et les processus de travail sont intégrés dans chacun des sous-systèmes qu'on avait définis. Ils influencent directement la façon dont nous manipulons les matières premières, utilisons les machines, organisons l'atelier et effectuons nos tâches.

Ainsi, les risques liés aux méthodes sont pris en considération de manière globale dans l'évaluation de chaque aspect de notre opération. Cette approche assure une prise en charge complète et intégrée de tous les aspects procéduraux.

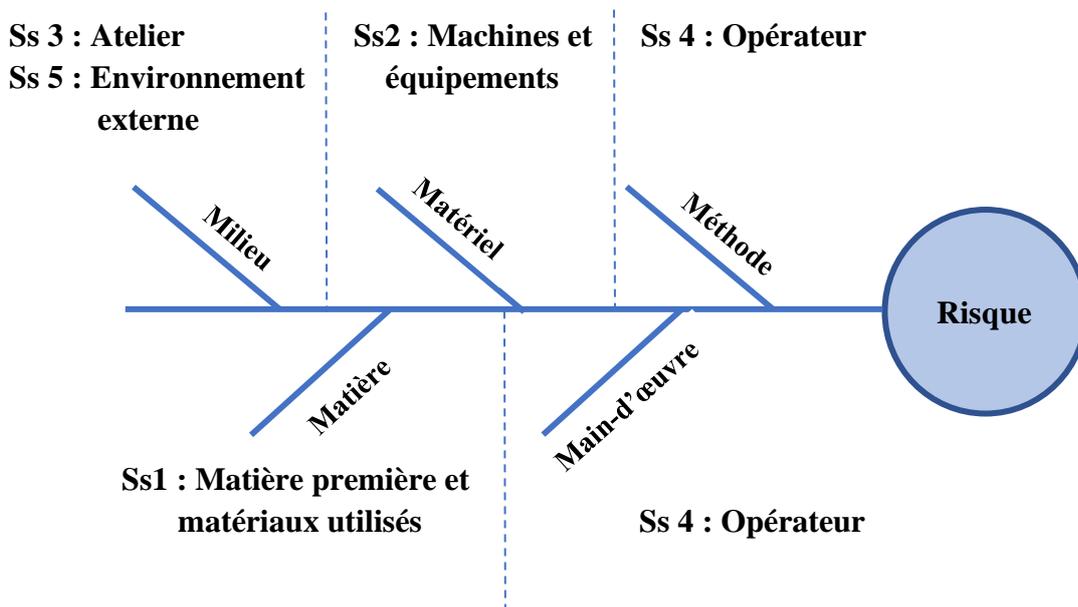


Figure 12 : Diagramme ISHIKAWA

2.1.3. Définition de chaque sous système

SS1 - Matière première et matériaux utilisés :

- **Matière première métallique :** Tôles d'acier, Profilés métalliques, Barres et tubes métalliques ;
- **Matière consommable :** Electrodes de soudage, Fils de soudage, Consommables de découpe (les disques de découpe et les consommables de poinçonnage) ; Batteries, clapet antiretour, lampe led ...
- **Autres matériaux auxiliaires :** Produits chimiques (graisses, huiles, diluant, oxygène, azote, acétylène, peinture ; gasoil ; Gaz de protection (l'argon, le CO2) Produits de lubrification, Abrasifs.

SS2 - Machines et équipements :

- **Machine de découpe :** scies, cisailles, Plasma, Laser...
- **Machine de soudage :** soudeuses MIG/MAG/TIG, Soudeuse à l'arc...
- **Équipement de levage et manipulation :** Ponts roulants, Chariots élévateurs...
- **Équipement de traitement de surface :** Grenailleuse...

Tableau 4 : Equipements fixes se trouvent au niveau de la travée C

Équipements	Nombre
Ponts Roulant	08
Poinçonneuse oxycoupeuse plasma MAG B620	01
Poste à souder	04
Presse plieuse	02
Cisaille guillotine	2
Poinçonneuse / cisaille HACO	01
Découpeuse / poinçonneuse VERNET	01
Tronçonneuse à disque	02
CINTREUSE SOCAD	01
Cintreuse rouleuse SCHNELL	01
Codeuse OFMER	01
Grugeoire de tôle HACO	01
Station grenailleuse	01

SS3 - Atelier :

C'est un hangar ouvert sur deux côtés, il baigne dans une lumière naturelle et homogène grâce à des lampes LED performantes.

Pour le fonctionnement de ces machines et équipements l'atelier est muni de :

- Un réseau électrique qui alimente les machines et les équipements ;
- Un réseau d'air comprimé qui dessert les outils pneumatiques ;
- Trois réseaux de gaz distincts, oxygène, gaz de ville et gaz industriel, qui répondent aux besoins spécifiques de l'activité ;
- Un réseau d'eau qui complète l'ensemble ;
- Des extracteurs qui assurent une meilleure qualité d'air ;
- Des armoires et des espaces de stockage adjacents à chaque machine facilitant l'accès aux outils et aux matériaux ;
- Des escaliers permettant d'accéder à l'étage supérieur.

SS5 - Environnement externe :

Concernant l'environnement externe, on ne prend en compte que l'environnement spécifique directement lié à l'installation.

SS4 – Opérateurs :

Concernant les opérateurs, on ne modélise dans un premier temps que les opérateurs fonctionnels de l'atelier que l'on appelle : sous-système opérateur.

Ainsi, en ajoutant le sous-système opérateur et le sous-système environnement externe (figure 13), on aura pour ce contexte au total cinq sous-systèmes.

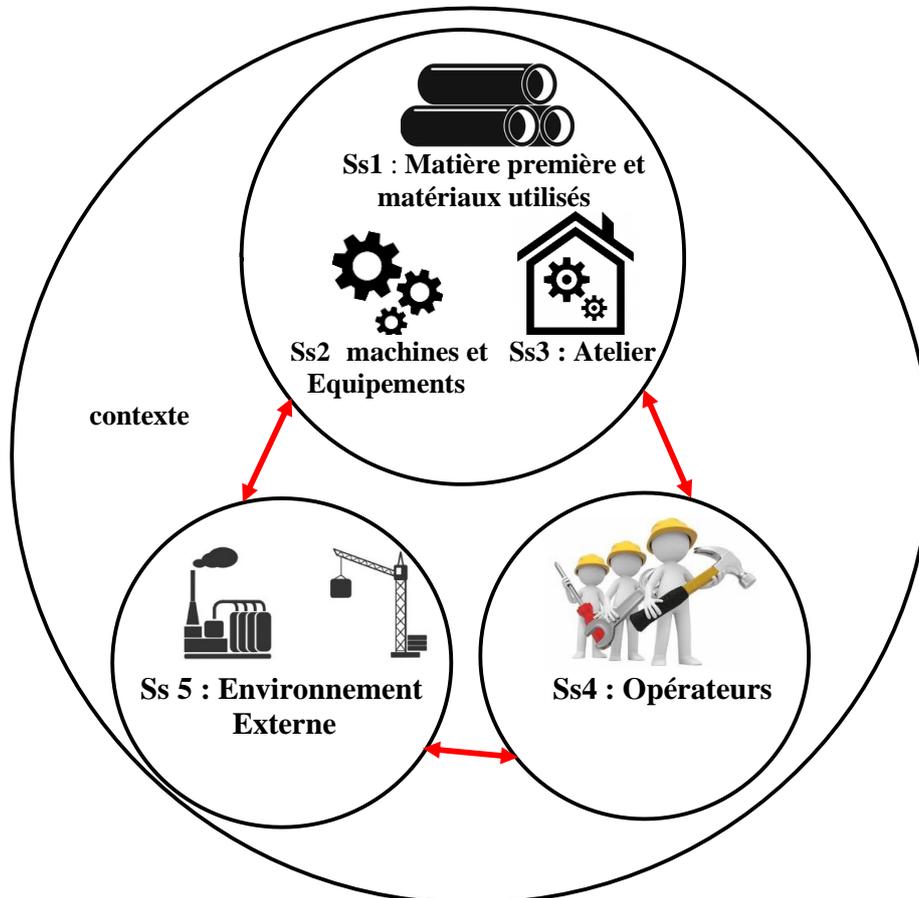


Figure 13 : La décomposition du contexte en cinq sous-systèmes

2.2. Le module A de la méthode

Etape1 : Identification des sources de danger de chaque sous-système

Pour commencer, on a identifié en comment chaque sous-système peut constituer une source de danger. Pour réaliser cette tâche, on a examiné chaque sous-système selon la grille de typologie des systèmes sources de danger, telle que décrite dans le paragraphe 2.2 de l'article [SE 4060].

En remplissant la première colonne des tableaux pour chaque sous-système, on a pu dresser une liste exhaustive des dangers potentiels de l'atelier.

Tableau 5 : Typologie associée aux sources

Encadré 1 — Systèmes sources de danger dans la fabrication, le stockage, le transport ; de matière, d'énergie, d'information (classification aussi appelée grille 1)	
<p>A - Systèmes sources de dangers d'origine mécanique</p> <p>A - 1. Systèmes sous pression — de gaz ou vapeur — hydraulique</p> <p>A - 2. Systèmes sous contraintes mécaniques (autres que la pression)</p> <p>A - 3. Systèmes en mouvement — solides — liquides — gaz</p> <p>A - 4. Systèmes nécessitant une manutention — manuelle — mécanique</p> <p>A - 5. Systèmes sources d'explosions d'origine physique autres que A1 — implosion — flash électrique — BLEVE (Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion) — mélange de liquides à des températures très différentes — caléfaction</p> <p>A - 6. Systèmes sources de chute de hauteur (éléments en hauteur et accès en hauteur)</p> <p>A - 7. Systèmes sources de chute de plain-pied (encombrement au sol, dénivellations...)</p> <p>A - 8. Autres systèmes sources de blessures (objets coupants, piquants, contondants...)</p> <p>A - 9. Systèmes sources de bruit et de vibrations</p> <p>B - Systèmes sources de danger d'origine chimique (produits utilisés, produits de réaction, contacts avec matériaux)</p> <p>B - 1. Systèmes sources de réactions chimiques</p> <p>B - 2. Systèmes sources d'explosions — en milieu condensé — en phase gazeuse</p> <p>B - 3. Systèmes sources de toxicité et d'agressivité</p> <p>B - 4. Systèmes sources de pollution et d'odeurs</p> <p>B - 5. Systèmes sources de manque d'oxygène</p> <p>C - Systèmes sources de danger d'origine électrique</p> <p>C - 1. Système mettant en œuvre de l'électricité à courant continu ou alternatif</p> <p>C - 2. Systèmes sources d'électricité statique</p> <p>C - 3. Systèmes condensateurs de puissance électrique</p> <p>C - 4. Systèmes générateurs de hautes fréquences</p> <p>D - Systèmes sources de danger de développement d'incendie</p> <p>D - 1. Systèmes sources d'allumage (nature, type, puissance)</p> <p>D - 2. Systèmes sources liés aux cloisonnements (présence ou non-présence, type, résistance au feu, distances entre sous-systèmes)</p> <p>D - 3. Systèmes sources liés aux matériaux (nature, mise en œuvre, réaction au feu, charge thermique)</p>	<p>D - 4. Systèmes sources liés à la ventilation (présence ou non-présence, nature, débit)</p> <p>D - 5. Systèmes sources liés à l'extinction (présence ou non-présence, nature)</p> <p>E - Systèmes sources de dangers liés aux rayonnements</p> <p>E - 1. Systèmes sources de dangers liés aux rayonnements ionisants — systèmes sources d'irradiation — systèmes sources de contamination — systèmes sources de criticité nucléaire — systèmes sources liés à l'évacuation d'énergie radioactive</p> <p>E - 2. Systèmes sources de rayonnements UV - IR - VISIBLE (éclairage)</p> <p>E - 3. Systèmes sources de rayonnement laser</p> <p>E - 4. Systèmes sources de rayonnements micro-ondes</p> <p>E - 5. Systèmes sources de champs magnétiques intenses</p> <p>F - Systèmes sources de danger de nature biologique</p> <p>F - 1. Systèmes sources de dangers liés aux micro-organismes (virus, bactéries), et aux prions</p> <p>F - 2. Systèmes sources de dangers liés aux modifications génétiques animales et végétales</p> <p>F - 3. Systèmes sources de dangers liés aux animaux</p> <p>F - 4. Systèmes sources de dangers liés aux végétaux</p> <p>F - 5. Systèmes sources de dangers liés au comportement humain — en situation normale (on modélise l'opérateur comme un sous-système d'une installation) — en situation de malveillance (il faut connaître le scénario)</p> <p>H - Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif</p> <p>H - 1. Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif artificiel — modes de transports — installations industrielles — barrages</p> <p>H - 2. Systèmes sources de danger d'origine naturelle — géologiques : • séismes • glissements de terrain • volcanisme</p> <p>— climatiques : • avalanches • tempêtes, cyclones, tornades, ouragans, coups de vent • brouillard, sécheresse, inondations • feux de forêts, foudre, gel • irradiation solaire</p> <p>— déséquilibres écologiques</p> <p>— épidémies, pandémies</p> <p>I - Systèmes sources de danger d'origine économique et sociale — finances – migrations – conflits – criminalité – violence — grands rassemblements</p>

En utilisant la colonne "phases de vie", on a pu préciser certains dangers. Cette approche nous a permis d'analyser les dangers phase par phase et d'identifier les principaux risques présents dans les différentes étapes du processus.

Par exemple : pendant la phase d'exploitation normale **EX**, il n'y a pas de danger lié au démontage de grandes pièces. Cependant, dans la phase d'entretien **EN**, le risque de chute de grandes pièces apparaît lors de leur démontage pour inspection ou réparation.

Phase de vie _ **EX** : Exploitation _ **EN** : Entretien _ **AR** : Arrêt _ **DE** : Dépannage _

_Association des événements selon le modèle MADS :

Une fois que les sources de danger sont identifiées, il est nécessaire de leur associer des événements, en suivant le modèle MADS. Cette association se divise comme suit :

- **L'événement initial (EI) :** Il s'agit de l'événement redouté directement lié à la source de danger, tel qu'une rupture de confinement, un incendie, une explosion, etc.
- **Les événements initiateurs internes (EII) :** Ce sont des événements internes spécifiques à la source de danger, capables d'initier l'occurrence de l'événement initial par eux-mêmes, tels que l'usure, la corrosion, un dysfonctionnement, etc.
- **Les événements initiateurs externes (EIE) :** Ce sont des événements externes à la source de danger, susceptibles d'initier l'occurrence de l'événement initial par eux-mêmes, comme un flux thermique chaud, un flux liquide, une action involontaire, etc.

Tableau 6 : Etablissement des processus de danger du sous-système Matière première et matériaux utilisés

Types de systèmes sources de danger (1) Matière première et matériaux utilisés	Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
		Externes (environnement actif)	Internes	Liés aux contenants	Liés aux contenus	
A1. Bouteilles de gaz utilisés pour le soudage et la découpe au plasma.	EX EN	Flux thermique ; choc ; projectiles ; chute de la bouteille.	Corrosion ; Usure ; surpression	Rupture de la valve ; Disfonctionnement de la soupape ; Fissure	Surpression	Fuite des gaz ; explosion ;
A2. Matière première et produit en acier (Tôles, Profilés, Barres, Tubes) ; accessoires de levage ; Pièces métalliques à traiter.	EX EN	Choc ; Surcharge de poids ; Défaut de manipulation	Usure ; Corrosion ; Défauts de fabrication ; Défaillance	Défaillance structurelle ; Renversement ; Déformation/rupture ; Dysfonctionnement	Chute d'objet ; Projection de débris ;	Perte de la matière ; Blessures
A4. Matière première métallique, Matière consommable, Autres matériaux auxiliaires.	EX EN	Faute de manutention	Flux thermique Arêtes vives		Chute/Projection des pièces métallique ; Rupture/Déformation	TMS ; Blessures ; Brulure ; défaillance de la matière
A6. Matière première métallique, Matière consommable, Autres matériaux auxiliaires.	EX EN	Maladresse ;	Déversement des produits ; Stockage des matériaux en hauteur	Surface glissante ;	Effondrement	Manipulation des matériaux stockés en hauteur dangereuse
A7. Matière première métallique, Matière consommable, Autres matériaux auxiliaires.	EX EN DE	Maladresse ; Fatigue ; Espace mal éclairé	Déversement des matériaux ; Présence de grenaille sur sol ; Stockage inapproprié des matériaux ;	Sol glissante	Lots non rangés	Circulation à pied dangereuse
A8. Matière première métallique, Matière consommable, Autres matériaux auxiliaires.	EX EN DE	Maladresse ; Faute de manipulation ; flux thermique	Nature de la matière et matériaux (arêtes vives, tranchants) ; Charge lourde ;	Heurtement	Surface chaude ; effondrement de la matière ;	Possibilité de blessure
B1. Produits chimiques et matériaux utilisés.	EX EN DE AR	Flux thermique ; Humidité	Déversement des matériaux toxiques ou corrosifs ; Présence des produits combustibles		Libération des gaz toxiques ; présence des produit chimique	Libération des gaz toxiques ; Corrosion ; combustion
B2. Stockage des gaz / liquides inflammables	EX EN AR	Flux thermique ; Espace mal ventilé ; Faute de manipulation	Fuite de gaz ; Rupture de la bouteille à gaz		Accumulation des gaz ; Surpression	Explosion

B3. Produits chimiques et matériaux utilisés.	EX EN DE	Manipulation incorrecte	Produits toxiques		Inhalation, ingestion ou contact cutané	Intoxication ; brûlures ;
B4. Produits chimiques et matériaux utilisés ;	EX DE EN	Maladresse ; Manipulation incorrecte	Déversement des produits ;		Espace contaminé ; Libération des gaz et d'odeurs	Pollution et odeurs
B5. Utilisation des gaz inertes et des produits chimiques.	EX DE EN	Manque d'aération/d'extraction	Manipulation des produits chimiques et des gaz		Accumulation des gaz	Manque d'oxygène
C2. Matériaux isolants	EX EN DE	Pas de liaison avec la terre ; Faute de manipulation ; Faible humidité	Surfaces isolantes ; Matériaux isolants.		Frottement des matériaux ; Accumulation d'électricité statique	Electricité statique
D. Gaz / Liquides inflammables ; matériaux combustibles.	EX EN DE	Flux thermique ; Faute de manipulation.	Déversement des liquides inflammables ; Fuite des gaz ; Matériaux combustibles ;		Fuite enflammée ; combustion.	Incendie
F1. Les matériaux contaminés	EX EN DE	Faute de manipulation ; Manque d'hygiène ;	Matériaux contaminés ; Choc ; Mauvaise stockage ;		Déversement des produits	Matériaux contaminés
F2. Produits chimiques et matériaux utilisés.	EX EN DE	Ventilation inadéquate ; Humidité et chaleur	Matériaux contaminés/toxiques		Libération de particules ou de vapeurs toxiques	Intoxication ; Irritations et allergies ; Maladies professionnels

Tableau 7 : Etablissement des processus de danger du sous-système Machines et équipements

Types de systèmes sources de danger (2) Machines et équipements	Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
		Externes (environnement actif)	Internes	Liés aux contenants	Liés aux contenus	
A1. Système pneumatique ; Système hydraulique ; Bouteilles à gaz.	EX EN DE	Maladresse ; Choc ; flux thermique ; Faute de manipulation	Corrosion ; Usure ; dysfonctionnement du régulateur de pression	Rupture de tuyauterie ; Fissure	Surpression ; Défaillance des équipements.	Fuite (gaz /huile) ; Explosion ; Jet d'air Dysfonctionnement ; Projection des débris ;
A2. Lames de coupe ; Poinçons et matrices ; Disques de coupe ; Outils de pliage ; Rouleaux et	EX EN DE	Surcharge ; Malveillance ; Faute de manipulation ;	Défaillance du système de sécurité ; utilisation prolongée	Arrêt de la machine ; Dommages structurels ;	Projection de débris ; Collision entre	Situation dangereuse (blessures/mort) ;

galets ; Turbines de projection ; Composants de levage (poutres, câbles, rails) ; Fourches de chariot élévateur ; Bras de nacelle élévatrice ; Mécanismes de levage des ponts roulants ; Axes, arbres, engrenages		Matière première non conforme ;			machines ; Chute de la charge.	Dysfonctionnement de la machine.
A3. Lames de coupe ou de poinçonnage ; Bras mobiles ou plateaux de travail ; Rouleaux d'alimentation ou de guidage ; Disques de coupe rotatifs ; Roues de projection de grenaille ; Rouleaux de redressement ; Outils de poinçonnage ; Crochets ou palans de levage ; Fourches de chariots élévateurs ; Plateformes de travail des nacelles élévatrices.	EX DE EN	Utilisation incorrecte (excès de vitesse, charge manipulée instable, mauvaise répartition de la charge...) ; Choc ; Effort du vent ; Nature du sol ; Surcharge ; action involontaire ; malveillance ; Présence d'objets étrangers ; Contact avec les parties mobiles.	Défaillance structurelle ; Défaut de commande ; Usure	Renversement ; Basculement de l'appareil ;	Chute de la charge ; Projections des débris ; Coincement de matériaux ; Défaut de sécurité	Dompage matériel ; Situation dangereuse (Blessure/mort) ;
A4. Equipement de soudage ; Tronçonneuse ; Éléments de commande (Leviers, Boutons, Pédales, Interrupteurs) ; Éléments de réglage (Manivelles, Poignée) ; Éléments de manipulation (Bras, Crochets, Roues, Rails)	EX DE	Mauvaise manipulation ; Action involontaire ; Malveillance	Surface chaude ; Élément défaillant ;	Défaillance structurelle ; Défaut de sécurité ; Dysfonctionnement.	Brulure ; chute d'objets ; contact avec des parties dangereuse de l'appareil	TMS ; Blessures ; Dysfonctionnement de l'équipement ;
A6. Chariot élévateur ; Nacelle élévatrice ; Pont roulant	EX EN DE	Mauvaise surface de travail ; Erreur de conduite ; Nature du sol ; Vent ; Fatigue Surcharge ; condition métrologique	Défaut de l'équipement	Basculement de l'appareil	Perte de contrôle ; Glissement	Possibilité de chute de hauteur
A7. Les machines et ces équipements (les câbles, les chaînes, outillage et	EX EN DE	Manque d'éclairage ; Fatigue ; Maladresse ; Pas de signalisation ;	Les câbles et les chaînes non rangés ; Présence d'outils ou d'accessoires au sol ;	Présence d'un obstacle	Trébuchement ; Sol glissant	Possibilité de chute plein pied

accessoires, Lubrifiants et fluides).		Personnel non formé ; Surfaces de travail endommagées	Fuites de fluides ou de lubrifiants			
A8. Bords tranchants et pièces mobiles ; Surface chaude, étincelle ; Circulation des chariots élévateurs et ponts roulants ;	EX DE EN	Mauvaise manipulation ; Action non conforme ; Choc ; Fatigue ; maladresse	Bords tranchants et pièces mobiles ; Circulation des engins ; Surface chaude, étincelle ; Dysfonctionnement	Projections et éclats de débris et grenaille ;	Blessures ; Heurtement ; Collision ; Brulure	Blessures
A9. Les mécanismes de guidage et de support ; Les outils et accessoires utilisés ; Les systèmes de transmission de puissance ; Les moteurs et mécanismes des machines ; Les systèmes de refroidissement et de ventilation et d'extraction.	EX	Chocs mécaniques ; Manque d'entretien et de maintenance préventive ; Mauvaise utilisation ;	Usure des pièces ; Défauts de fabrication ; Dysfonctionnement		Bruit et vibration	Bruit et vibration
B4. Grenailleuse ; Les postes à souder ; Machines de découpe et de meulage.	EX EN DE	Manipulation incorrecte Maladresse ; Malveillance ;	Dysfonctionnement ; Utilisation des huiles et lubrifiants		Émissions des particules/gaz/fumées ; Déchets et résidus ;	Pollution et odeurs
C1. Poste redresseur ; Les postes à souder ; équipements de levage et de manutention ; Systèmes de contrôle et d'automatisation ; autres équipements électriques.	EX EN DE	Choc ; Présence d'eau/humidité ; Manipulation incorrecte ; Malveillance	Usure ; Surcharge électrique ; Défaillance des dispositifs de protection ; Mauvaise connexion à la terre ; surtension.	Exposition aux parties électrifiées ;	Surchauffe d'un moteur électrique ; Fils endommagé ; Accumulation de charges électrostatiques	Electrisation ; Electrocutation ; Court-circuit ; incendie.
C2. Grenailleuse ; Presse plieuse COLLY ; tronçonneuse a disque ; Cintreuse rouleuse.	EX	Faible humidité	Projections des particules à haute vitesse ; Frottements ou de mouvements de matériaux.		Etincelles	Electricité statique
D. Poste à souder ; Machines de découpe et de tronçonnage ; presse plieuse ; la grenailleuse et la poinçonneuse découpeuse ; cintreuse rouleuse.	EX	Malveillance ; Maladresse ; Manipulation incorrecte	Electricité statique ; Échauffement des matériaux ; Utilisation de torches à flamme nue, allumettes, briquets.		Résidus d'huile ou de graisse ; matériaux inflammables	Déclenchement d'un incendie

E2. Poste de soudure ; Cisaille guillotine ; Tronçonneuses à disque ; Grenailleuse ; Poinçonneuse ; Presse plieuse ; découpeuse.	EX		Les arcs électriques ; Étincelles ;		UR-IR-Visible	UR-IR-Visible
E3. Découpeuse poinçonneuse VERNET	EX	Utilisation inappropriée	Activation intentionnelle ; Dysfonctionnements		Émission non contrôlée	Lasers
E5. Les moteurs électriques ; Aimants de levage.	EX		Fonctionnement des équipements électriques		Champs magnétiques	Champs magnétiques
F2. Poste de soudure ; Grenailleuse ; Découpeuse poinçonneuse VERNET	EX DE EN	Utilisation inappropriée ; Malveillance ; Maladresse.	Vapeurs, fumées, gaz et particules toxiques		Accumulation de substances toxiques ; Inhalation des substances toxique	Toxines

Tableau 8 : Etablissement des processus de danger du sous-système Atelier

Types de systèmes sources de danger (3) Atelier	Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
		Externes (environnement actif)	Internes	Liés aux contenants	Liés aux contenus	
A1. Canalisations d'air comprimé, d'oxygène et de gaz de ville ; Bouteilles d'extincteurs.	EX EN DE	Flux thermique ; Choc ; Mauvaise manipulation ; Malveillance ; Maladresse.	Surpression ; Corrosion ; Usure	Fissure ; Rupture	Surpression ; Défaillance structurelle	Fuite ; Explosion ; Jet d'air comprimé ; Projections des débris.
A2. Structure de l'atelier (poutres, colonnes, cadres, escalier) ; Equipements de stockage (étagères, armoire) ; Structures de protection (garde-corps, enclos de protection) ; Plateforme de travail (escabeau, échelle escalier, échafaudage) ; tréteaux.	EX DE EN	Mauvaise utilisation ; Surcharge de poids ; Choc ; instabilité du sol	Défaut de conception ; Défaillance structurels ; Usure ; Corrosion	Rupture ; Déformation ; Effondrement ; Défaillance.		Effondrement ; Renversement ; Déformation
A4. Déchets et matériaux usagés ; Emballages et fournitures ; Outillages ou	EX DE EN	Mauvaise manipulation ; Maladresse	Natures (tranchants, arrêts vives, toxique) ; Moyens de manutention	Coupures ; Heurtes ; Lésions corporelles ; Blessures dorsales, des	Chutes ; Collisions, renversements,	Blessures ; Maladies professionnelles ; Défaillance matériel

gabarits de production ; Produits finis ;			non conforme ; Charges lourdes ;	entorses ou des tensions musculaires.		
A5. Poussière métallique ; Les équipements électriques (coffret de prise de courant, canalisation électrique...)	EX DE EN	Mauvaise manipulation ; Maladresse ; Pas d'aération et d'extraction	Etincelles ; Incendie		Accumulation de la poussière métallique ; fuite des gaz inflammables.	Explosion
A6. Escaliers ; Plates-formes de travail ; Matériaux stockés en hauteur ; Trappes et ouvertures dans le plancher.	EX DE EN	Fatigue ; Utilisation incorrecte ; Pas de signalisation ; Choc ; Absence de garde-corps ; Maladresse ; Malveillance ;	Usure ; Défaillance structurelle ; Surface glissante ; Mauvaise organisation de stockage ; obstacles	Perte d'équilibre ; Glissade ; Trébuchement	Rupture ; Défaillance structurelle.	Possibilité de chute de hauteur
A7. Planchers ; Débris et objets ; Câbles et fils ; Zones de passage ; stockages ;	EX DE EN	Fatigue ; Pas de signalisation ; Choc ; Absence de garde-corps ; Maladresse ; Malveillance ;	Planchers glissants ou inégaux ; Présence d'obstacles ; Chutes d'objets ;	Zones de passage congestionnées ; Stockages encombrés	Débris et objets laissés sur le sol ; Câbles et fils mal rangés ;	Possibilité de chute plein pied
A8. Conditions ergonomiques ; Déchets ; câbles et fils ; Sol et zones de passage,	EX DE EN	Fatigue ; Maladresse ; Postes de travail non ergonomiques ; Malveillance ;	Obstacles et débris ; Sol mouillé ou huileux		Trébuchement ; Glissade ; Collision ;	Possibilité de blessures
B3. Canalisation des gaz ; Fumées et gaz de soudage ; Poussières métalliques.	EX EN DE AR	Choc ; Manipulation incorrecte ; Manque d'aération et d'extraction.	Fumées de soudage ; Défaillance structurelle de la canalisation ;		Fuite de gaz ; Fumées, gaz, poussières métalliques	Toxicité et agressivité
B4. Emissions de (fumées, gaz, poussières) ; Les conduites de distribution des gaz ;	EX	Choc ; Manipulation incorrecte ; Manque d'aération et d'extraction	Utilisation des gaz et matériaux toxiques.		Emissions de (fumées, gaz, poussières)	Pollution et odeurs
B5. Accumulation des poussières et fumées.	EX	Manipulation incorrecte ; Manque d'aération et d'extraction	Fumées de soudage ;		Accumulation des poussières et fumées	Manque d'oxygène
C1. Circuit électrique.	EX EN DE	Choc ; Manipulation incorrecte ; Présence d'eau/humidité ; Malveillance	Usure ; Surcharges électriques ; surtension Défaillance des dispositifs de protection	Exposition aux parties électrifiées ;	Câbles défectueux court-circuit ; Accumulation de charges électrostatiques	Electrisation ; Electrocutation ; Court-circuit ; incendie.

C2. Surface métalliques ; matières isolantes.	EX	Mauvaise manipulation ; Maladresse ; Faible humidité.	Frottement entre les surfaces ; Certains processus de production.		Étincelles	Electricité statique
D. Circuit électrique ; Accumulation de poussières métalliques inflammables ; gaz ; Allumettes, briquets ; Matières combustibles.	EX EN DE	Maladresse ; Malveillance	Electricité statique ; Étincelles ; Déchets ; Poussières combustibles ; Fuite de gaz ; Utilisation des allumettes, briquets		Fuite enflammée ; Combustion des matériaux	Déclenchement d'un incendie
E2. Lampes de travail	EX DE EN		Utilisations des lampes (LED...)		Emissions des UR-IR-Visible	UR-IR-Visible
F1. L'environnement de travail partagé ; Surfaces contaminées par les personnes ; Déchets.	EX DE EN	Manque d'hygiène ; Présence d'humidité ; Malveillance ; Espace non aéré ;	Déchets ; Surface contaminé ; Environnement de travail partagé		Contact direct ou par inhalation des virus et bactérie.	Virus et bactérie
F2. Fumées et vapeurs et poussières métalliques.	EX DE EN	Mauvaise manipulation ; Maladresse ; Malveillance.	Pas d'extraction et d'aération ; Emissions de fumées, vapeurs et de poussières métalliques.		Accumulation des gaz, fumées et vapeurs et poussières métalliques	Toxines

Tableau 9 : Etablissement des processus de danger du sous-système Opérateurs

Types de systèmes sources de danger (4) Opérateurs	Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
		Externes (environnement actif)	Internes	Liés aux contenants	Liés aux contenus	
G1. Main d'œuvre ; stagiaire ; visiteur.	EX AR EN DE	Pression des délais ; Environnement de travail bruyant et poussiéreux ; Manque de communication et de coordination ; Absence de consignes ;	Manque de formation ; Qualifications insuffisantes ; Stress et Risques psychosociaux. ; Comportements imprudents ou négligents ;		Fatigue et épuisement professionnel ; Stress et RPS (Risque Psycho-Social) ; Panique	Aggravation de la situation ; Erreur d'exploitation ; Maladresse ;
G2. Main d'œuvre ; stagiaire ; visiteur.	EX AR DE EN	Violences ; Conflits ; Harcèlement moral ; Insultes ; Menaces ; Agressions.			Malveillance	Action non conforme ; Malveillance

Tableau 10 : Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement externe

Types de systèmes sources de danger (5) Environnement externe	Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
		Externes (environnement actif)	Internes	Liés aux contenants	Liés aux contenus	
H2. Foudre	EX EN AR DE	Foudre		Incendie ; Blessures par électrocution ; Dommages structurels et des pertes matérielles.		Incendie ; Blessures par électrocution ; Dommages structurels et des pertes matérielles.
H3. Circulation aérienne, circulation routière interne.	EX EN AR DE	Collision ; Accident sur le parc de stockage ; Déraillement ;		Blessures ou pertes de vie ; Nuisances sonores ; Pollution ; Interruptions de travail ; Dommages aux structures		Blessures ou pertes de vie ; Nuisances sonores ; Pollution ; Interruptions de travail ; Dommages aux structures
H4. Industries environnantes : SONATRO ; SNVI ; ENAG ; Linede Gas	EX EN AR DE	Explosion ; Pollution		Explosion ; Incendie ; Pollution		Blessures ou pertes de vie ; Nuisances sonores ; Explosion ; Incendie ; Pollution ; Interruptions de travail ; Dommages aux structures
H5. Séisme Zone classée II.b "Littoral Lacustre et Balnéaire"	EX EN AR DE	Séisme		Blessures ou pertes de vie ; Nuisances sonores ; Explosion ; Incendie ; Pollution ; Interruptions de travail ; Dommages aux structures.		Blessures ou pertes de vie ; Nuisances sonores ; Explosion ; Incendie ; Pollution ; Interruptions de travail ; Dommages aux structures.
H6. Chaud et froid ; Humidité ; Exposition aux intempéries (pluie, neige, vent, gel)	EX EN AR DE	Chaud et froid ; Exposition aux intempéries (pluie, neige, vent, gel) ; Humidité		Problèmes de santé ; Blessures ; Stress ; Perte matériels		Problèmes de santé ; Blessures ; Stress ; Perte matériels
I. Finances ; migration ; conflits ; criminalité ; violence ; grands rassemblements	EX AR	Finances ; migration ; conflits ; criminalité ; violence ; grands rassemblements		Problèmes de sécurité ; Fluctuation de la main d'œuvre ;		Problèmes de sécurité ; Fluctuation de la main d'œuvre ;

Etape 2 : Identifier les scénarios de danger

1. Mettre chaque sous-système sous forme d'une boîte noire

En reprenant chaque sous-système dans les tableaux A, on les représente sous forme de boîtes noires dont les entrées sont les événements initiateurs d'origine interne ou externe et les sorties sont les événements principaux.

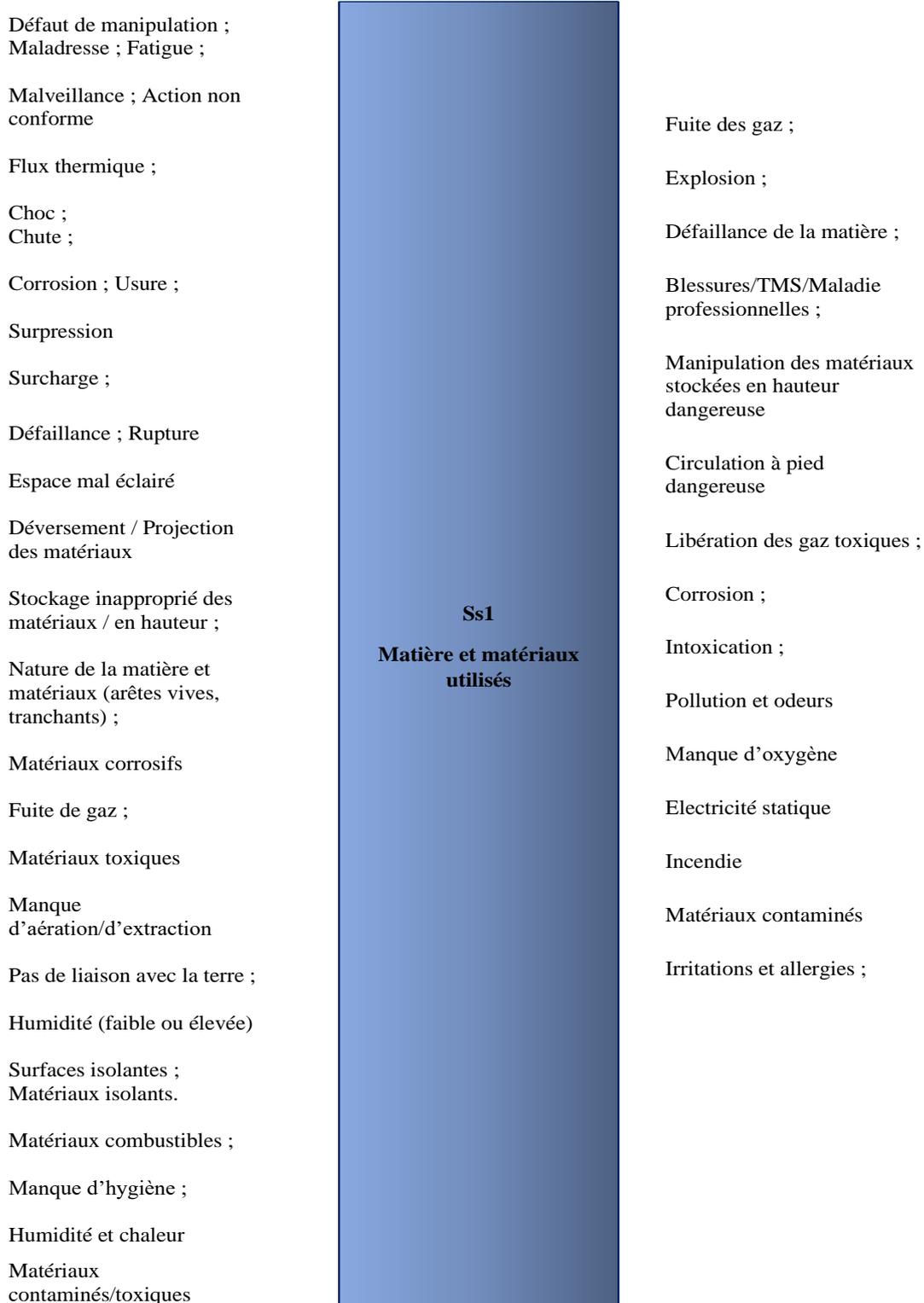


Figure 14: Boite noire "Matière première et matériaux utilisées"

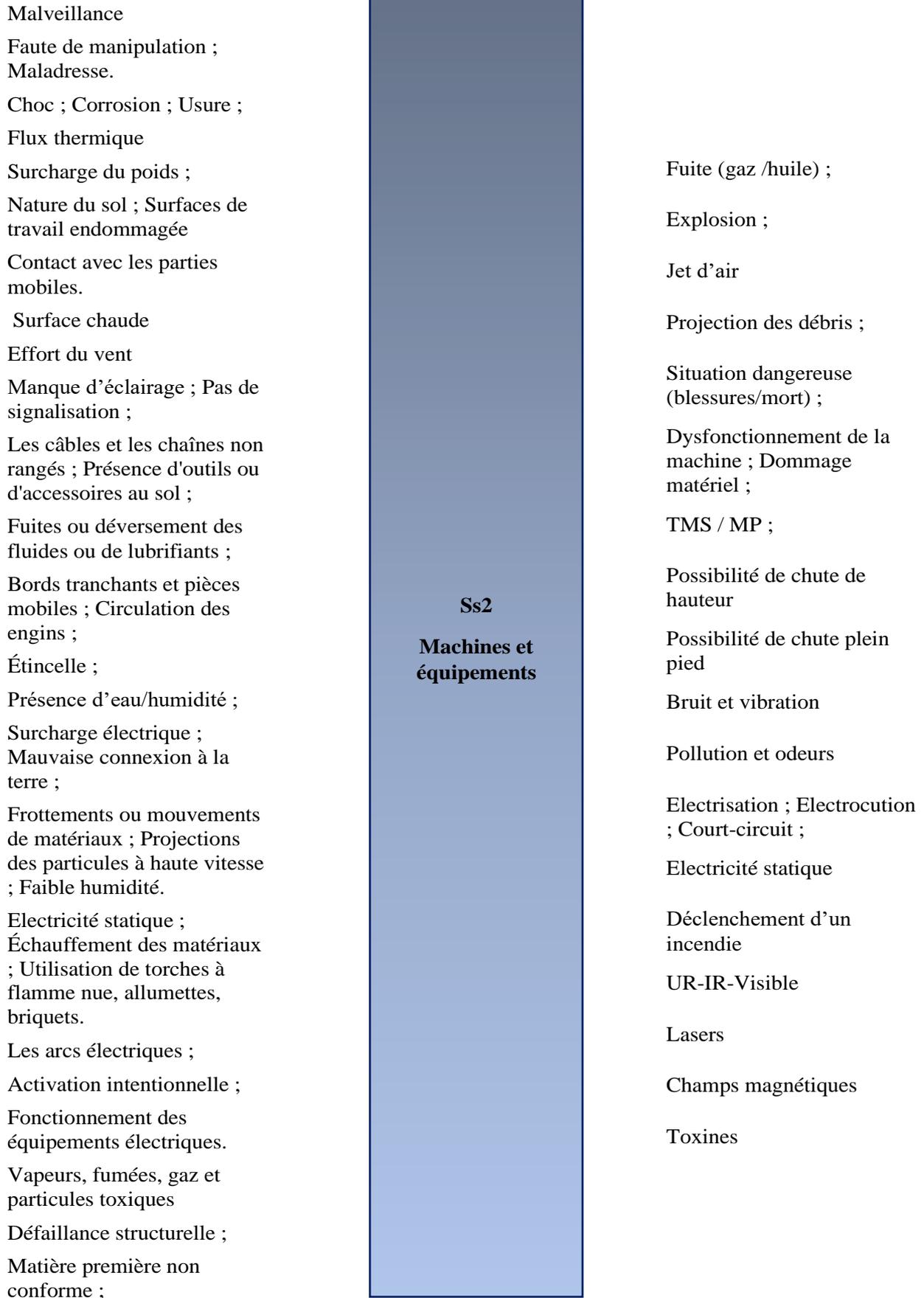


Figure 15 : Boite noire "Machines et équipements"

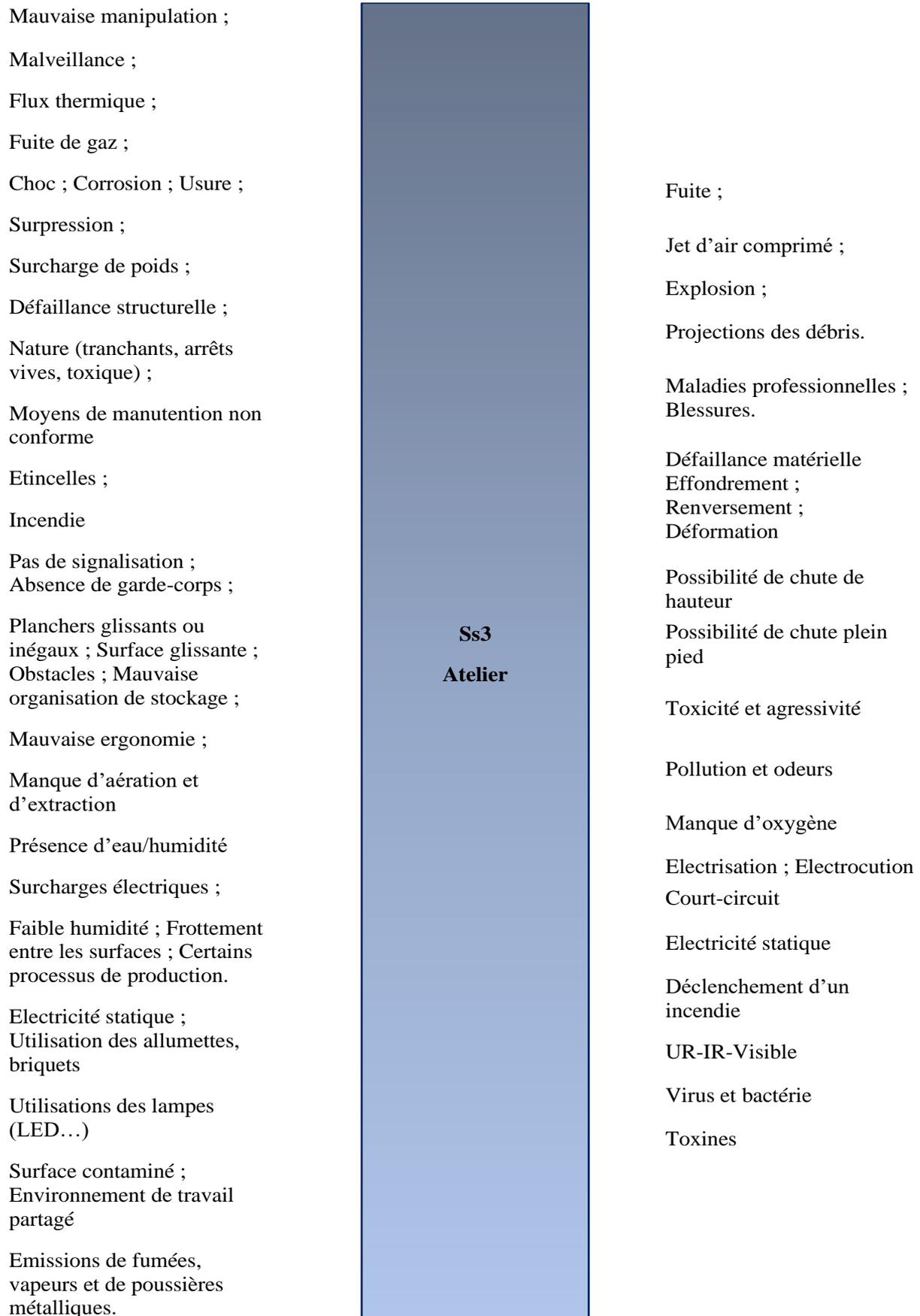


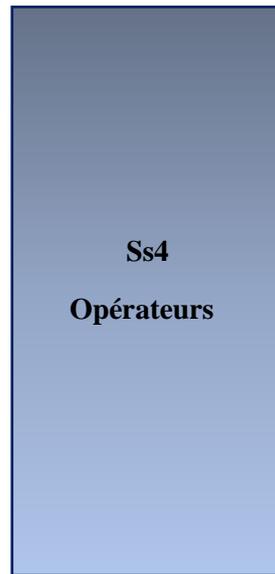
Figure 16 : Boite noire Atelier

Pression des délais ;
 Absence de consignes ;
 Manque de communication
 et de coordination ;

Violences ; Conflits ;
 Harcèlement moral ; Insultes
 ; Menaces ; Agressions.

Manque de formation ;
 Qualifications insuffisantes ;
 Comportements imprudents
 ou négligents ;

Stress et RPS ; Fatigue ;
 Environnement de travail
 bruyant et poussiéreux ;



Aggravation de la situation ;

Erreur d'exploitation ;
 Maladresse ;

Action non conforme ;
 Malveillance

Figure 17 : Boite noire "Opérateurs"

Foudre ;
 Explosion ;
 Séisme

Collision ; Accident sur le
 parc de stockage ;
 Déraillement ;

Pollution

Chaud et froid ; Exposition
 aux intempéries (pluie,
 neige, vent, gel) ; Humidité

Finances ; migration ;
 conflits ; criminalité ;
 violence ; grands
 rassemblements



Incendie ;

Dommages structurels et des
 pertes matérielles.

Blessures ou pertes de vie ;

Nuisances sonores ;
 Pollution ;
 Interruptions de travail ;
 Problèmes de sécurité ;

Explosion ;

Problèmes de santé ;

Stress ;

Fluctuation de la main
 d'œuvre ;

Figure 18 : Boite noire "Environnement externe"

2. Génération de scénarios courts et de scénarios d'autodestruction

Pour l'instant, dans le tableau A « génération de processus », nous avons fait apparaître les liaisons directes entre les événements d'entrée et de sortie des boîtes noires. Après, Il faut combiner les événements d'entrée entre eux, les événements de sortie entre eux et identifier les retours en bouclage des événements de sortie et des événements d'entrée. Les deux premières opérations mettent en évidence des scénarios courts et la dernière des scénarios qui entraînent une autodestruction du sous-système.

Remarque :

L'identification des scénarios courts prend beaucoup de temps, et il est presque impossible de les réaliser tous pendant la période du stage. C'est pourquoi on ne présente uniquement les scénarios courts du sous-système atelier à titre indicatif.

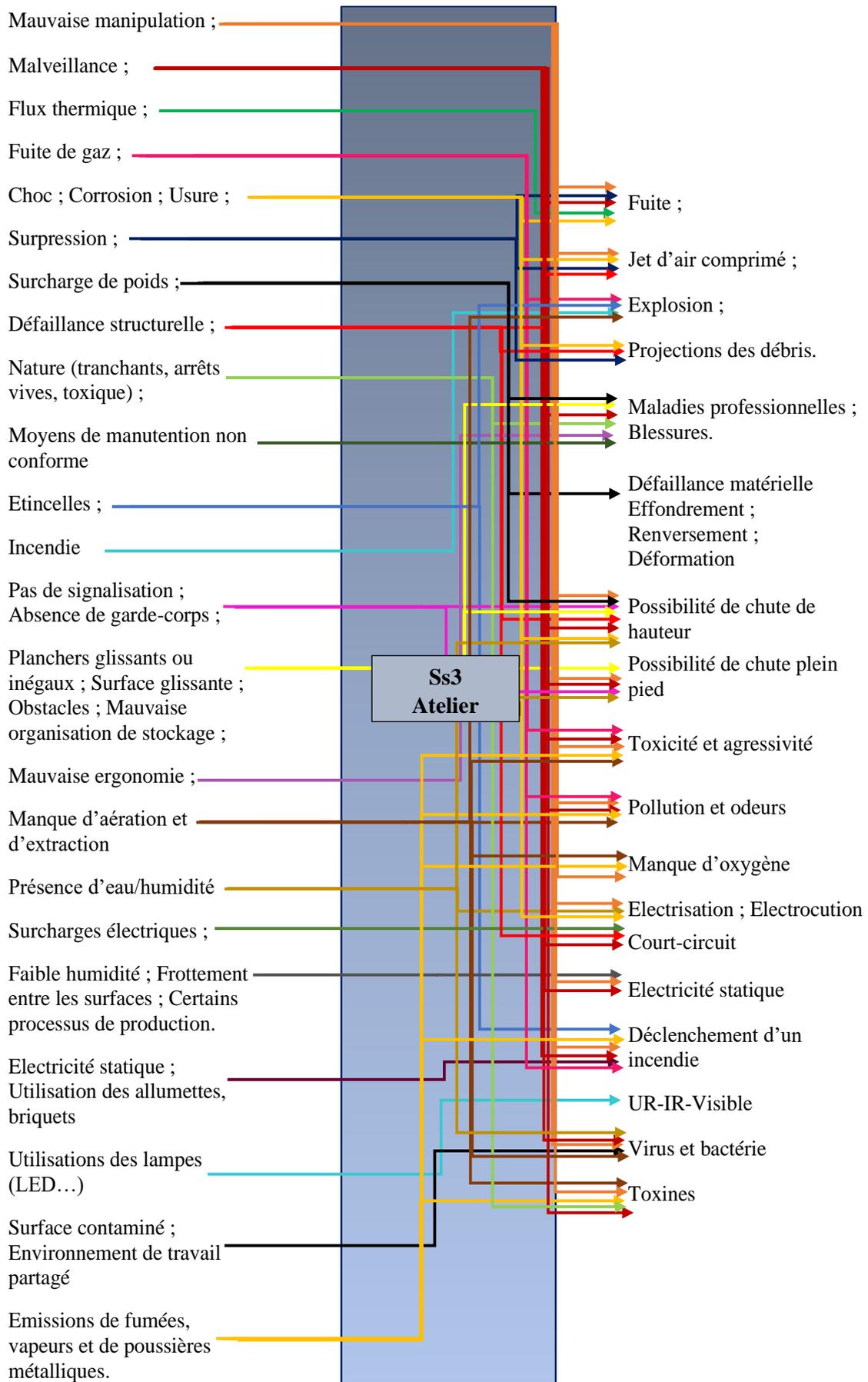
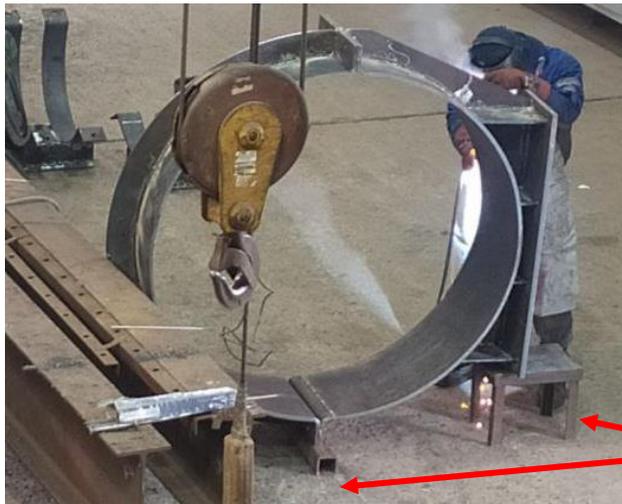


Figure 19: scénario court du ss3 : Atelier

Scénario court 1 « Blessure par écrasement »



Action non conforme → Blessure par écrasement

Utilisation d'une barre et une table métallique (matériel inadéquat)

Figure 20 : Scénario court 1

Scénario court 2 « Faute de manipulation »

Faute de manipulation → Blessure /MP

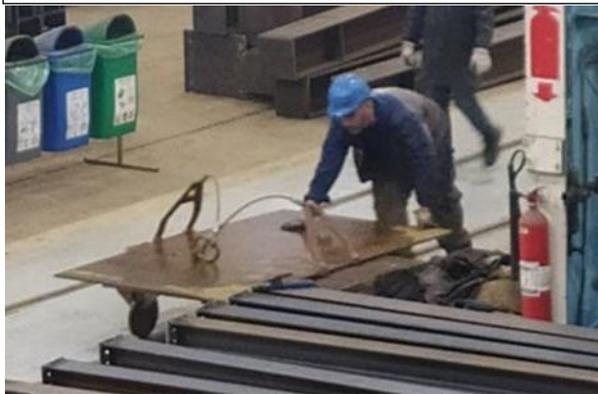


Figure 21 : Scénario court 2

Scénario court 3 « Milieu encombré »

Stockage non conforme → Chute plein pied conforme



Figure 22 : Scénario court 3

Scénario court 4 « Milieu poussiéreux »

Poussières métallique → Maladie professionnel



Figure 23 : Scénario court 4

Scénario court 5 « Chute de hauteur »



Figure 24 : Scénario court 6

Scénario court 7 « Chute plein pied »

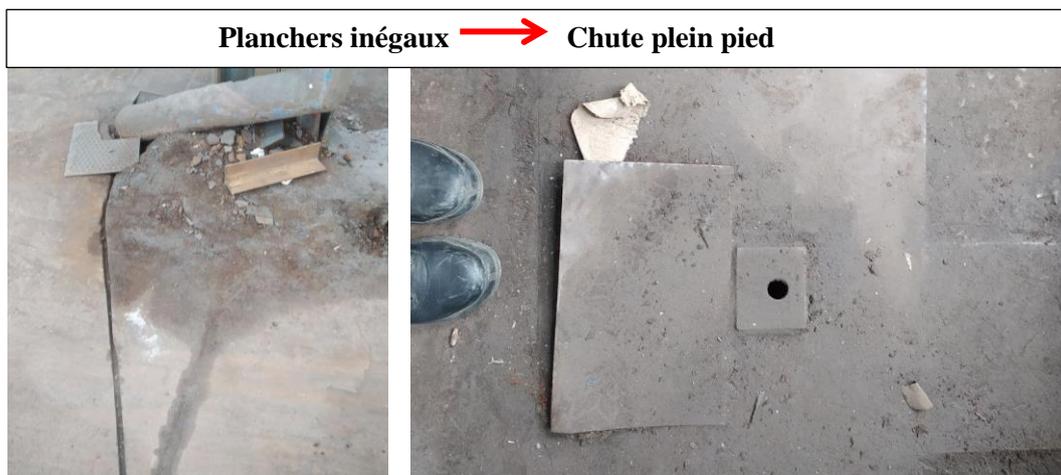


Figure 25 : Scénario court 7

Scénario court 8 « Happement »

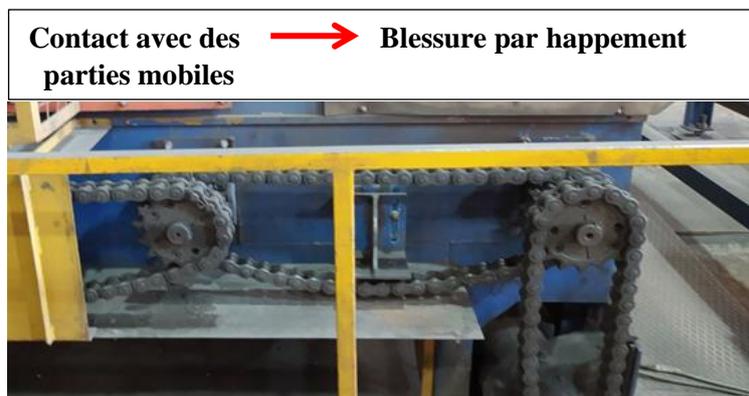


Figure 26 : Scénario court 8

On a mis toutes les boîtes noires sur une même page pour relier les sorties de certaines boîtes, repérées par les mêmes mots (événements), aux entrées d'autres boîtes. On a ainsi obtenu des scénarios longs d'enchaînements d'événements, également appelés scénarios principaux d'ENS (accidents).

Remarque

On a identifié pour chaque scénario uniquement les événements causaux afin de simplifier la compréhension pour le lecteur.

3. Présentation des scénarios longs

Présentation du scénario long 1 « Glissade »



Présence de grenaille sur sol



Garde corp non conforme

Des fuites dans le système de distribution

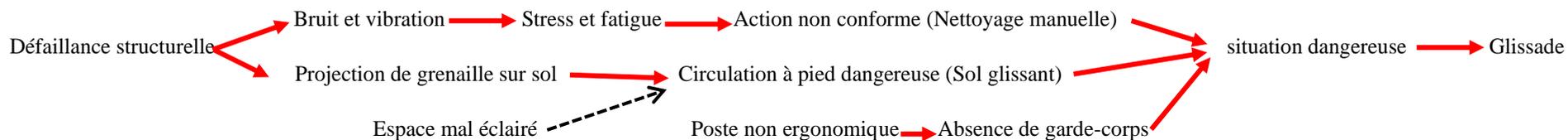
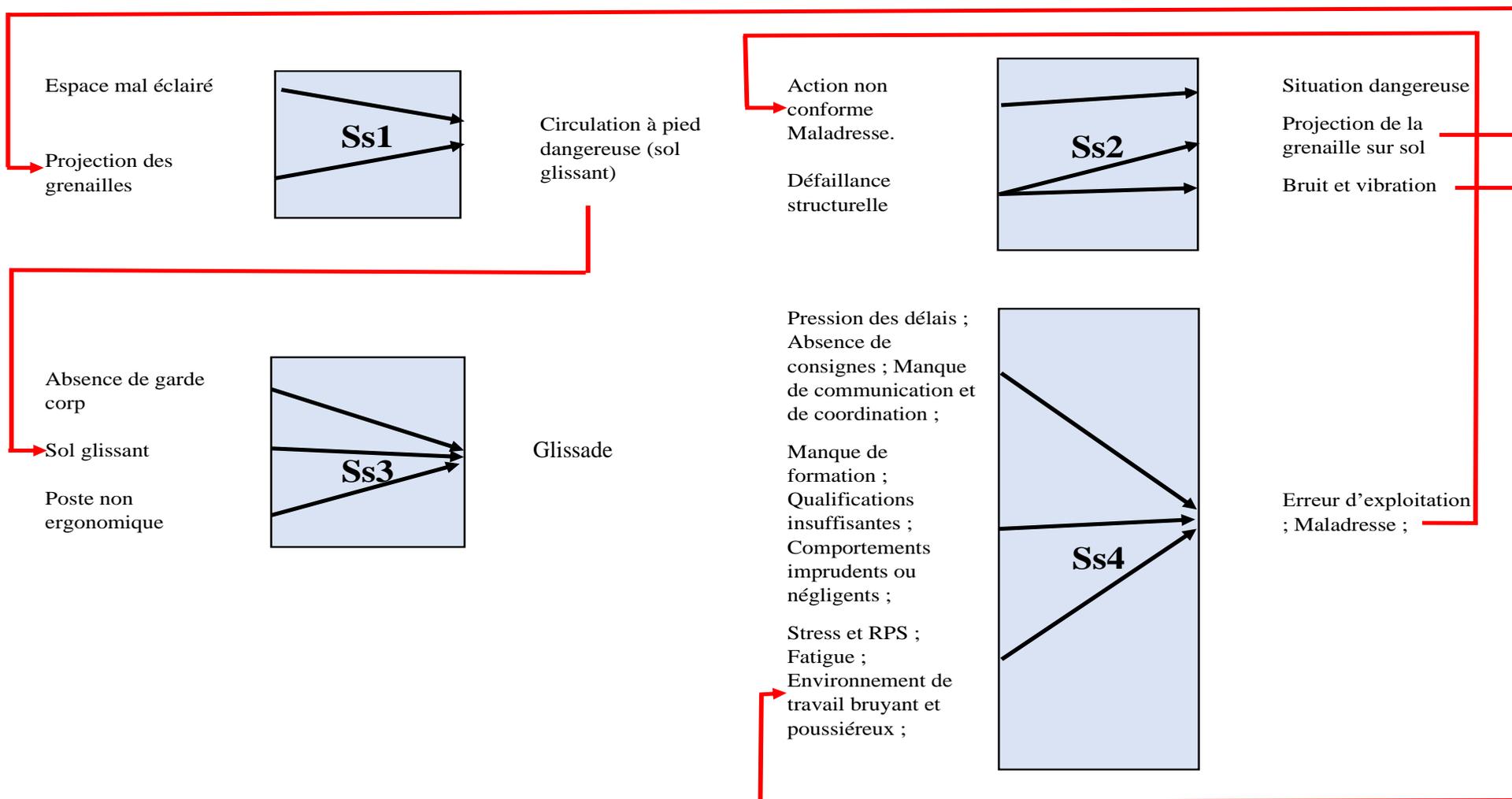


La grenaille

Les tuyaux de nettoyage supprimé

L'emplacement de l'opérateur lors de nettoyage

Figure 27 : Des figures explicatives du scénario long 1



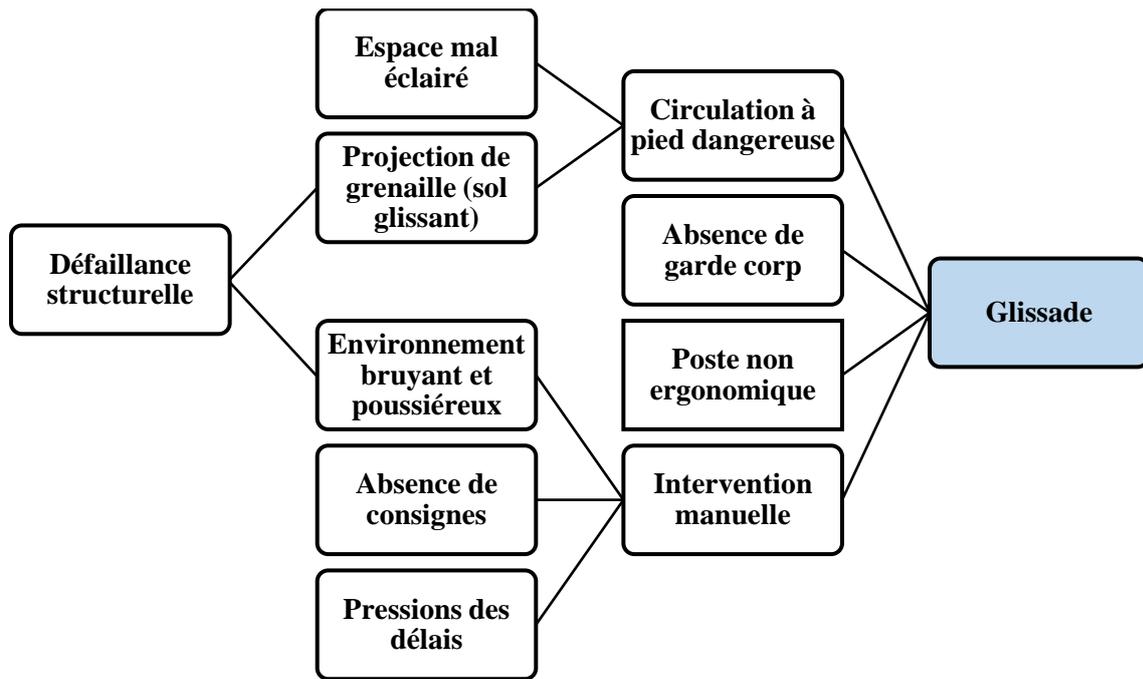


Figure 28 : Arbre logique du scénario long 1 « Glissade »

Représentation de scénario long 2 « Incendie »



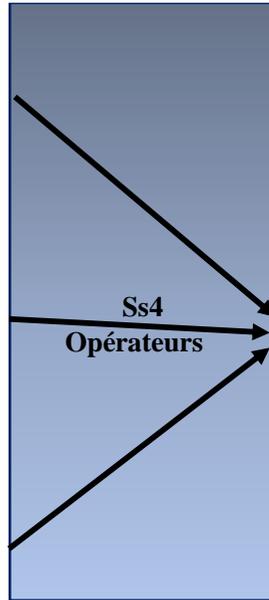
Figure 29 : figures explicatives du scénario long 2

Chapitre II

Pression des délais ;
Absence de consignes ; Manque de communication et de coordination ;

Manque de formation ;
Qualifications insuffisantes ;
Comportements imprudents ou négligents ;

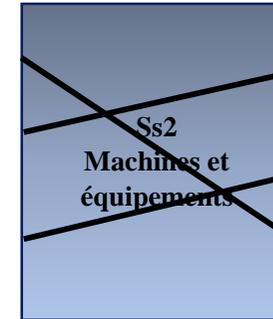
Stress et RPS ;
Fatigue ;
Environnement de travail bruyant et poussiéreux ;



Aggravation de la situation ;
Erreur d'exploitation ; Maladresse ;
Action non conforme ;

Faute de manipulation ;
Maladresse.
Choc ; Corrosion ;
Usure ;
Défaillance structurelle (Câbles défectueux) ;

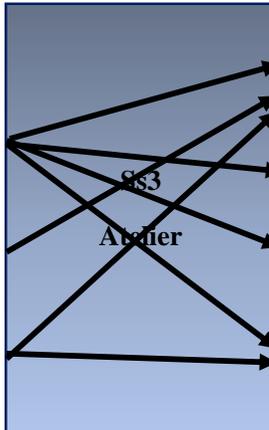
Application de la méthode MADS MOSAR



Fuite d'huile ;
Pollution et odeurs ;
Court-circuit ;
Déclenchement d'un incendie



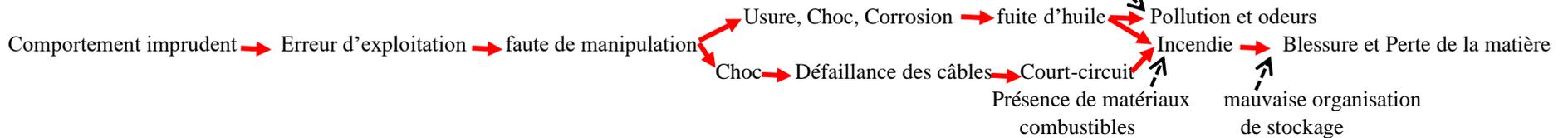
Perte des matériaux
Incendie



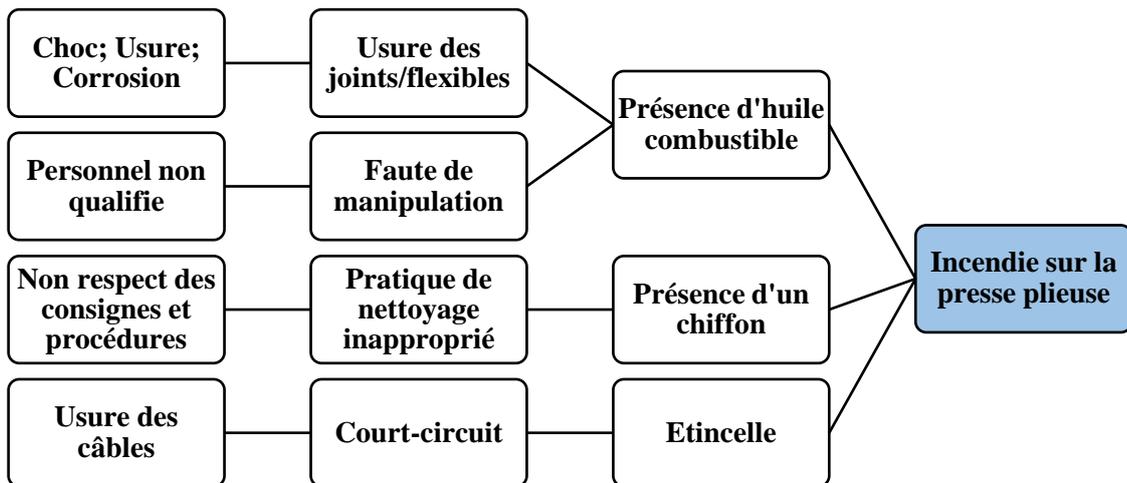
Explosion ;
Déclenchement d'un incendie ; UR-IR-Visible
MP/ Blessures.
Défaillance matérielle ;
Toxicité et agressivité ;
Pollution et odeurs ;
Manque d'oxygène

Flux thermique ;
Incendie
Mauvaise organisation de stockage ;
Manque d'aération et d'extraction

Manque d'extraction et aération



Arbre logique de scénario 2 «Incendie »



Représentation de scénario long 3 « Ecrasement »

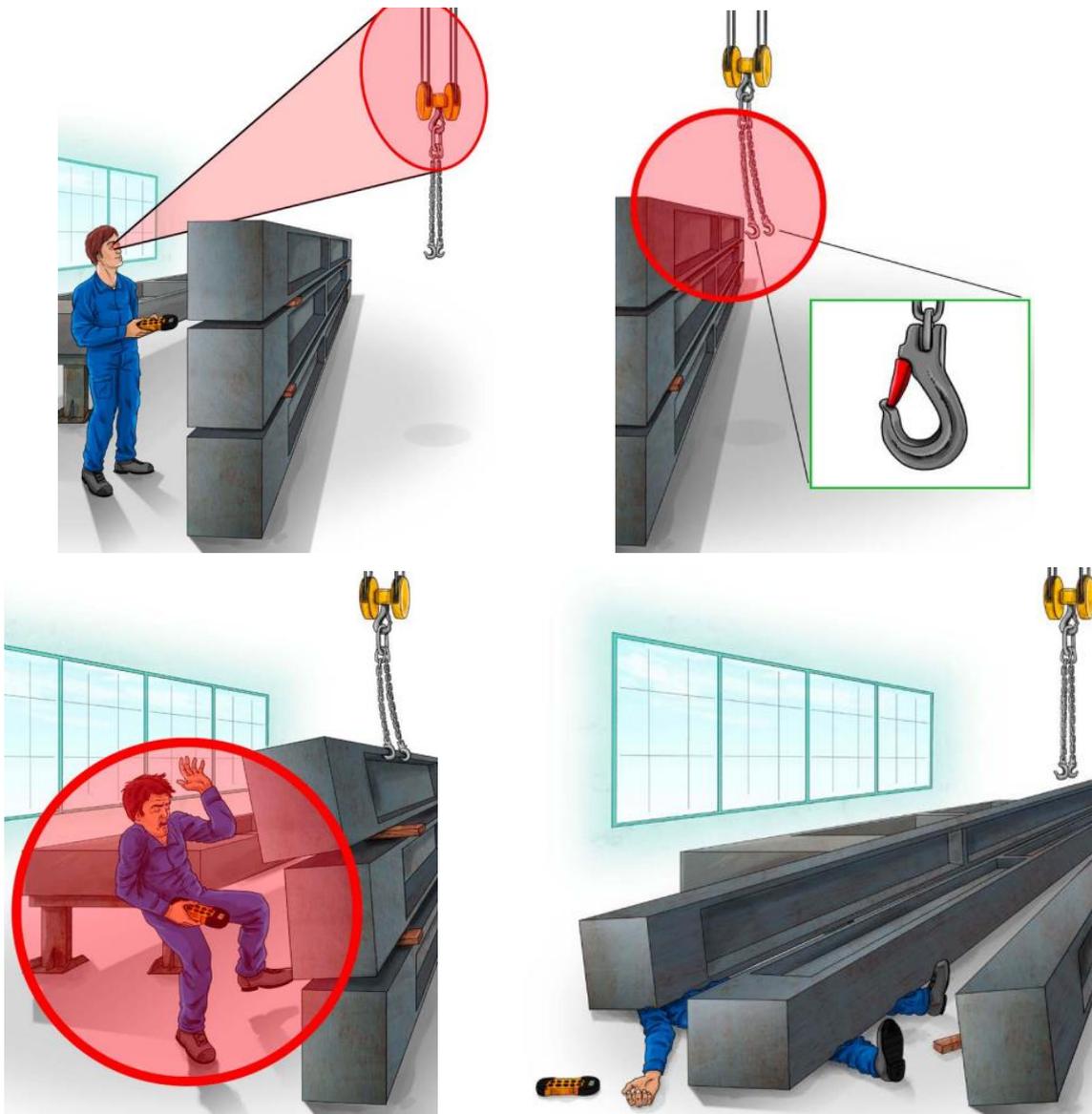
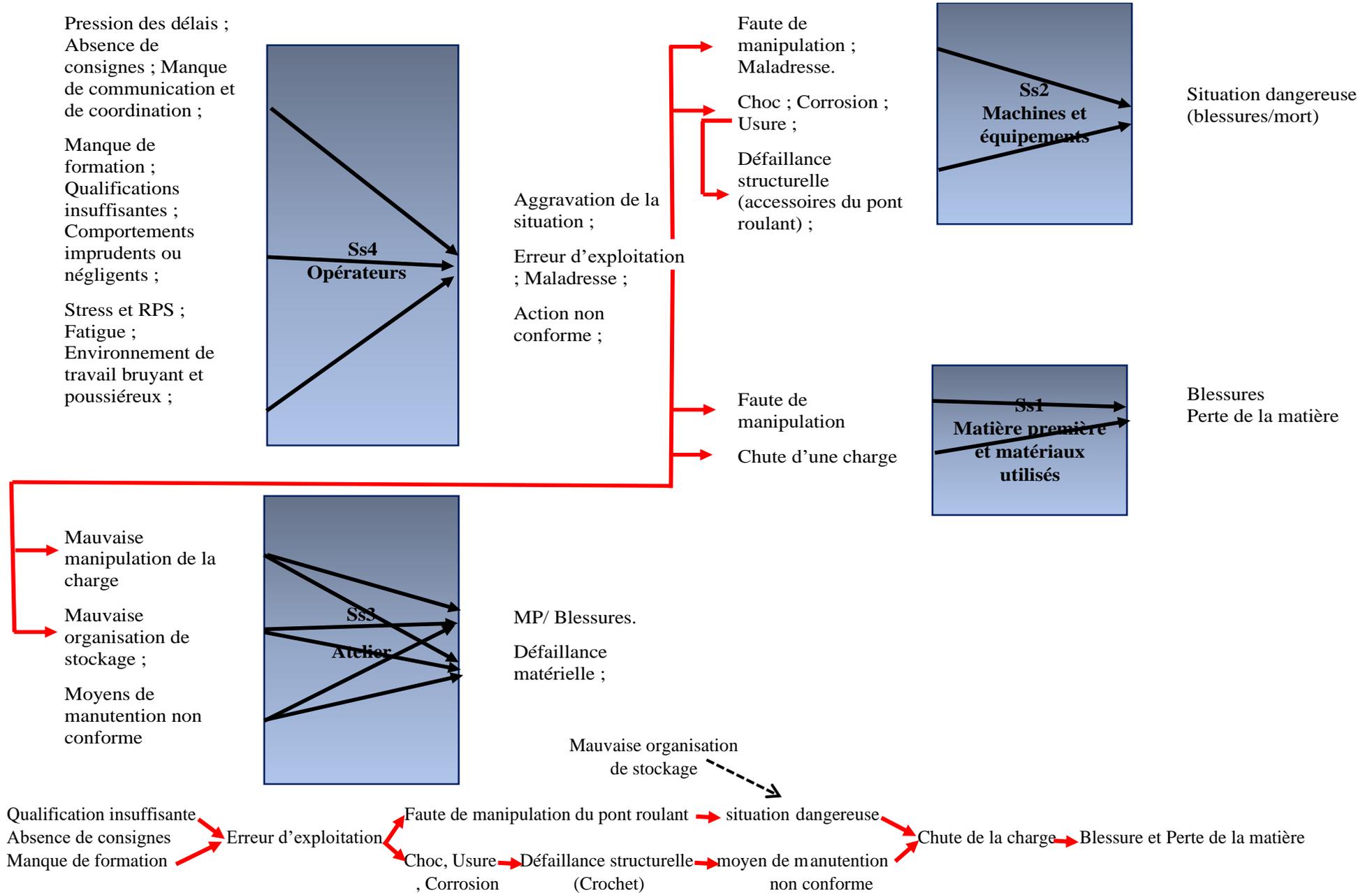


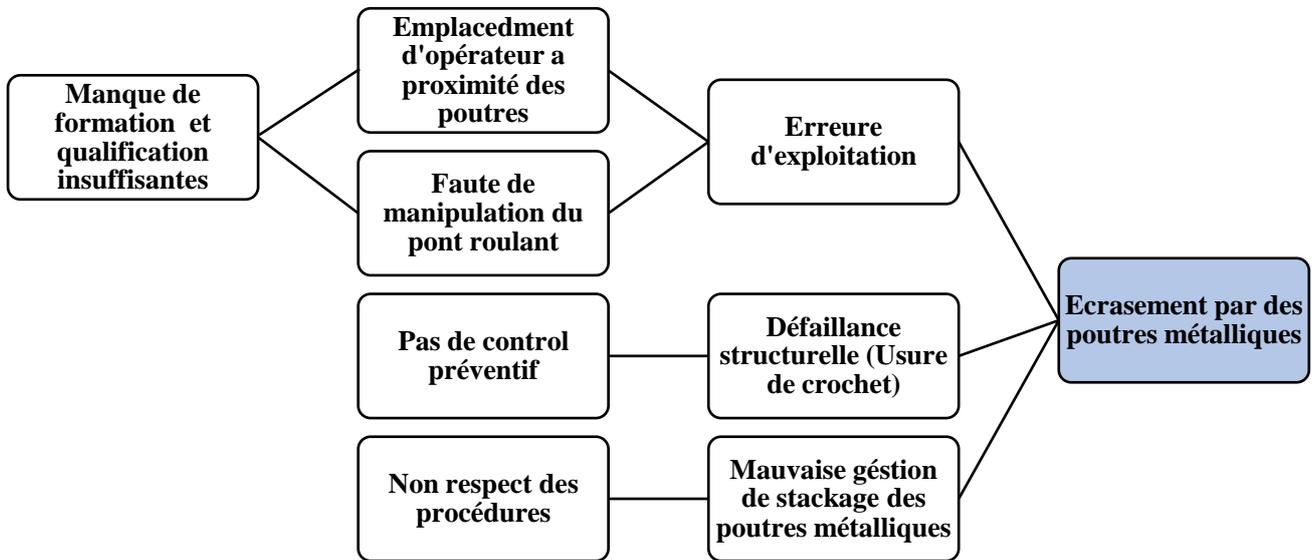
Figure 30 : figures explicatives du scénario 3

Chapitre II

Application de la méthode MADS MOSAR



Arbre logique du scénario long 3 « Ecrasement »

**Etape 3 et 4 : Evaluation et hiérarchisation des scénarios a risques et négociation des objectifs****Négociation de grilles « Gravité × Probabilité »**

Jusqu'à présent, aucun objectif n'a été fixé. La mise en évidence des scénarios des risques et leurs évaluations nous permet de mieux définir ces objectifs. Dans un premier temps, il est nécessaire de construire un outil qui permettra de concrétiser ces objectifs.

On a opté pour la formule la plus simple $R = \text{« Gravité } \times \text{ Probabilité (G } \times \text{ P) »}$ pour ce faire (PERILHON, SE4061 V1, 2004)

Définition des gravités ou effets sur une cible :

- **G1** : Mineur, blessures légères, accident sans arrêt de travail.
- **G2** : Peu important, effets irréversibles, accident avec arrêt de travail sans invalidités.
- **G3** : Important, effets irréversibles, accident avec arrêt de travail invalidités.
- **G4** : Très important, mort d'homme.

Définition de la probabilité de l'effet : (Pendant 10ans)

- **P1** : Très improbable (moins d'une fois).
- **P2** : Improbable (une fois).
- **P3** : Peu probable (peut être une fois).
- **P4** : Probable (plus d'une fois).

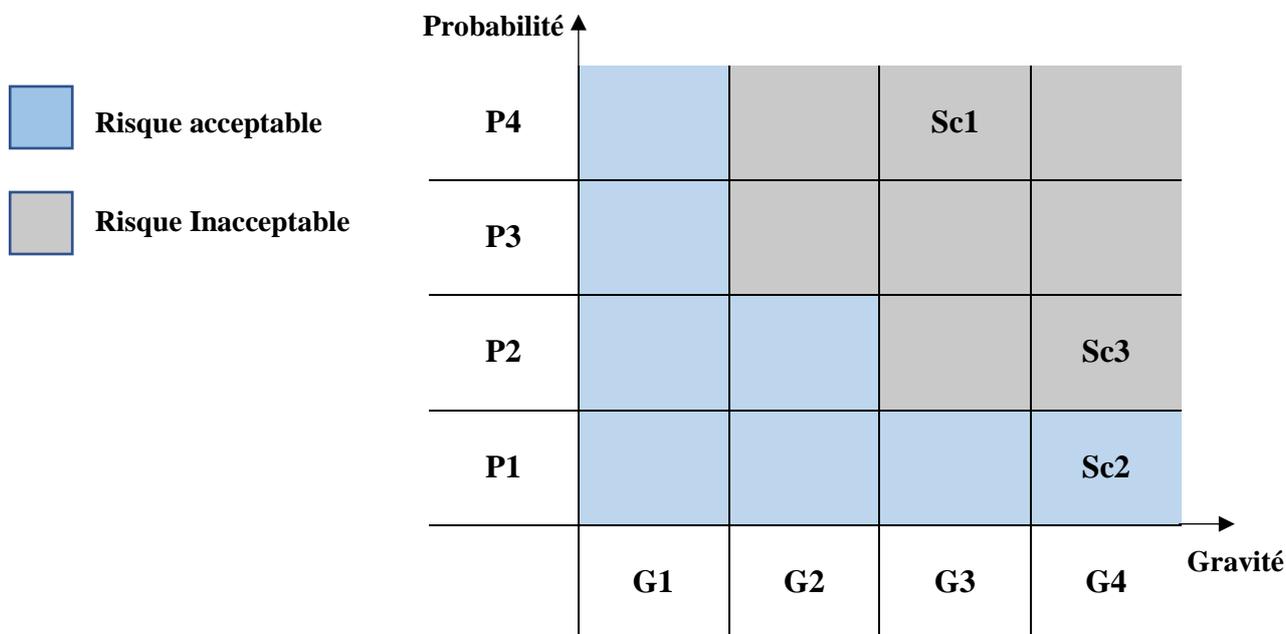
De là, on trace le tableau suivant :

Tableau 11 : Calcul de criticité P.G

Scénario	Probabilité	Gravité	Criticité
Sc1	4	3	12
Sc2	1	4	4
Sc3	2	4	8

D’où on a la présentation graphique suivante :

Tableau 12 : Grille de criticité



Après avoir évalué les scénarios, on a pu conclure que le scénario 2 est acceptable. En revanche, les scénarios 1 et 3 sont jugés inacceptables.

Etape 5 : Définition et qualification des moyens de prévention et de protection

1. Identification des barrières de prévention et de protection

On va maintenant identifier des barrières de prévention et de protection. Ces barrières nous permettront de neutraliser les scénarios de risques, de les réduire en termes de gravité, de fréquence, ou des deux, les rendant potentiellement acceptables.

Ces barrières sont de deux types :

Barrière technologique (BT)

C'est un élément ou un ensemble technologique intégré à l'installation qui s'oppose automatiquement à l'apparition d'un événement dangereux, sans intervention humaine. Elle peut être statique (comme un écran fixe ou un capot de protection) ou dynamique (comme une soupape de sécurité ou des éléments de contrôle-commande).

Barrière opératoire ou d'utilisation (BU)

C'est une action nécessitant une intervention humaine, basée sur une consigne précise, activée ou non par un élément technologique (comme une procédure, une vanne à ouverture manuelle ou des protections individuelles).

Les BU sont souvent considérées comme plus faibles que les BT, car elles dépendent fortement de la formation des opérateurs, en particulier en matière de sécurité.

On identifie ces barrières à l'aide du tableau B, qui facilite ce travail.

Tableau 13 : Tableau B "Identification des barrières de prévention"

Tableau B				
Barrières	Scénario 1 « Glissade »	Scénario 2 « Incendie »	Scénario 3 « Ecrasement »	Type de barrière
Barrières de conception	Pour la grenailleuse : Enceintes acoustiques intégrées ; Matériaux anti-vibrations ; Des roulements silencieux ; Système de confinement étanche ; Système de surveillance des fuites ; Substituer le système de nettoyage des pièces automatique.	Pour la presse plieuse : Matériaux résistants aux feux ; système de détection et extinction de feu automatique ; composants hydrauliques et électrique résistants et de la bonne qualité.	Pont roulant : Conception sécurisée des zones de travail ; Utiliser des accessoires de levage conçus.	BT
Contrôles et vérifications techniques	Contrôle sonore et vérification des fuites ; vérification des pannes.	Contrôle de l'état des composants hydraulique et électrique ; Contrôle des fuites et de la température.	Inspections régulières du pont roulant et des accessoires de levage ; Vérification des empilages	BU
Maintenance	Suivre un programme de maintenance préventive ; Réparation des pannes.	Suivre un programme de maintenance préventive ; Réparation des pannes.	Entretien des zones de stockage; Maintenance préventive des équipements	BU
Contrôle qualité	-	-	-	BU
Télesurveillance	Sonomètre Détecteur de vibration	Capture des fuites ; Détecteur de température	-	BT

Procédures	Plan d'urgence ; Procédures de nettoyage et de graissage régulières.	Procédure d'utilisation ; plan d'urgence	Procédure d'utilisation ; plan d'urgence	BU
Consignes	Consignes de sécurité ; Interdiction du nettoyage manuelle.	Consignes de sécurité affichées	Consignes de sécurité affichées	BU
Consignations	En cas d'accident ou de travaux	En cas d'accident ou de travaux	En cas d'accident ou de travaux	BU
Facteurs d'ambiance	Assurer l'éclairage et contrôler l'humidité.	Assurer l'éclairage et contrôler l'humidité.	Le vent peut perturbe l'opération de levage ; Assurer l'éclairage	
Comportement humain	Opérateur qualifié et confirmé	Opérateur qualifié et confirmé	Opérateur qualifié et confirmé	BU
Habilitations	A l'accès à la zone de la machine	A l'utilisation de la machine	Certification pour la manipulation du pont roulant	BU
Barrières de protection individuelle	Casques antibruit, lunettes de protection, chaussures de sécurité	Gants ; Lunettes et chaussures de sécurité ; Casques de sécurité.	Gants ; chaussures de sécurité ; casque de sécurité.	BU
Formation des opérateurs	Formation sur l'utilisation et sur les mesures de sécurité et sur la situation d'urgence.	Formation sur l'utilisation et sur les mesures de sécurité et sur la situation d'urgence.	Formation de pontier Formation sur les mesures de sécurité et la situation d'urgence	BU
Surveillance médicale	Travail dans un milieu poussiéreux et brouillant.	Tâches répétitives ; Travail dans un milieu poussiéreux et brouillant.	Travail dans un milieu poussiéreux et brouillant.	BU
Implantation	Placement stratégique de la grenailleuse pour minimiser les nuisances sonores pour les travailleurs.	Placement des machines loin des matériaux combustibles.	Disposition sécurisée des équipements ; Stockage selon les normes.	BT
Balisage – accès-circulation	Installation de balisage pour délimiter les zones dangereuses et restreindre l'accès aux personnes non autorisées.	Autour de la presse plieuse	Signalisation claire et les itinéraires sécurisés pour la circulation des employés et des équipements.	BT-BU
Réglementation applicable	Respect des normes et réglementations en matière de sécurité au travail et de protection de l'environnement.	Respect des normes et réglementations en matière de sécurité au travail et de protection de l'environnement.	Respect des normes et réglementations en matière de sécurité au travail et de protection de l'environnement.	BU
Barrières de protection de l'environnement	Système de récupération des poussières métalliques et de réduction de bruit.	Système de récupération d'huile perdue.	Gestion des stockage	BT

1.3. Le module B de la méthode

Etape 1 : Identifier les risques de fonctionnement

On va reprendre l'arbre logique du scénario 1 « **Glissade** » (figure 28).

On s'intéresse aux dysfonctionnements techniques et aux dysfonctionnements opératoires qui constituent les événements initiaux de cet arbre et qu'on n'a pas détaillé ni traité d'une manière globale dans le module A précédent, (figure 31).

À titre d'exemple, on retient :

— **le dysfonctionnement opératoire** : Intervention manuelle (action non conforme)

— **et le dysfonctionnement technique** : défaut interne de la machine

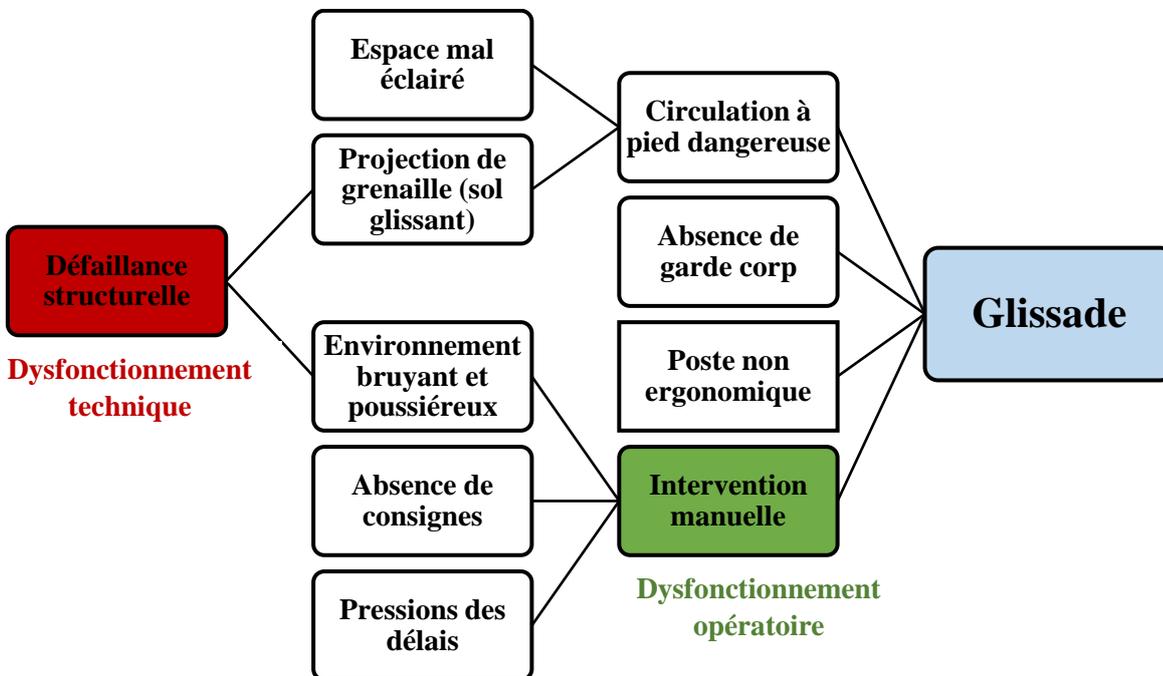


Figure 31 : Exemples de dysfonctionnement technique et opératoire

On va identifier les événements initiateurs de ces dysfonctionnements.

1. Identifier les dysfonctionnements opératoires détaillés

Cette partie de l'analyse consiste à prendre en compte aussi complètement que possible le facteur humain.

Le système de fonctionnement de la grenailleuse est automatisé lors de l'opération de grenailage cependant on constate une intervention manuelle de l'opérateur pour le nettoyage des pièces à leurs sorties de la grenailleuse ce qui peut engendrer un risque pour l'intervenant.

Il est à signaler que l'opération de nettoyage devrait se faire automatiquement en respectant le mode opératoire de la grenailleuse.

Tableau 14 : Opération de nettoyage des pièces sortants

Opération	Dysfonctionnement possible	Conséquence
Nettoyage automatique	Nettoyage manuelle	Blessure de l'intervenant

2. Identifier de manière détaillée les dysfonctionnements techniques

Concernant les dysfonctionnements techniques, on utilise la méthode AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité).

Application de la méthode AMDEC sur la grenailleuse :

La grenailleuse est une machine qui projette de la grenaille sous forme de microbilles à grande vitesse pour décaper et nettoyer les surfaces des pièces, qu'elles soient finies ou non finies (dessablage, décalaminage et nettoyage de la rouille).

Les risques engendrés par le grenailage (Federation Francaise du Batiment, 2014):

1. Pénétration des poussières dans l'organisme :

Les poussières peuvent pénétrer dans l'organisme principalement par les voies respiratoires, digestives et cutanées. Elles contiennent des substances dangereuses telles que la silice cristalline et les oxydes de fer. Lors du décapage d'ouvrages anciens, des résidus de plomb (issus d'anciennes peintures) ou d'autres métaux peuvent également être présents.

2. Risque de blessures :

La projection d'abrasifs expose l'opérateur non protégé à des lésions de la peau et des yeux.

3. Risque d'exposition au bruit :

Le niveau sonore dans une cabine de grenailage dépasse souvent 90 dB(A). Une exposition prolongée à ce niveau de bruit sans protection peut entraîner une diminution des capacités auditives, tant pour l'opérateur que pour les personnes à proximité.

4. Risque de chute :

La grenaille, composée de microbilles dures et rondes, rend le sol extrêmement glissant, posant un risque important de chute pour les opérateurs.

5. Risque pendant la maintenance :

Les opérateurs effectuant la maintenance de la grenailleuse sont exposés aux risques d'inhalation de poussières concentrées remises en suspension, notamment lors des opérations de nettoyage des filtres.

En plus de ces risques, il faut considérer ceux liés à la manutention des pièces à grenailler, qui peuvent parfois être de grande taille et lourdes.

La grille de cotation (Association Française de Normalisation (AFNOR), 2016) :

Tableau 15 : Grille de cotation pour le calcul de la criticité

Fréquence F	Valeur	Condition
	1	1 défaillance maxi par an
	2	1 défaillance maxi par trimestre
	3	1 défaillance maxi par mois
	4	1 défaillance maxi par mois
Gravité G	Valeur	Condition
	1	Pas d'arrêt de production
	2	Arrêt =1 heure
	3	1 heure < arrêt
	4	Arrêt >24 heures
DéTECTABILITÉ D	Valeur	Condition
	1	Visible par l'opérateur
	2	Détection aisée par un technicien
	3	Détection difficile (Ingénieure)
	4	Indécelable

N	Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	
							F	G	D	C		
1	Moteur électrique	Entrainer les turbines	Le moteur ne démarre pas / Fonctionne lentement	Alimentation électrique défaillante	Arrêt de la grenailleuse	Aucune	1	1	4	4	Vérifier et contrôler les câbles électriques ; Vérifier la tension d'alimentation.	
				Tension d'alimentation trop basse								
			Surchauffe du moteur	Alimentation excessive des grenailles	Courroie détériorée ; Arbre endommagé ; Roulement cassée ; Bruit ; Vibration	Par capture ou contrôle sonore	3	2	1	6		Remplacement des organes détériorés ; Graissage et maintenance
				Défaut de maintenance ; Manque ou excès de graissage								
2	Turbine	Projection des grenailles	Pas de projection	Quantité insuffisante de grenailles	Pas de projection	Visuelle	3	1	2	6	Contrôler les quantités des grenailles utilisées ; Maintenance des éléments défaillants.	
				Défaillance pneumatique								1
			Projection non contrôlée	Quantité de grenailles non conforme	Bruit ; Vibration ; Augmentation de la température ; Mauvaise répartition des grenailles ;	Par capture ou contrôle sonore	3	3	2	18		Remplacement des pales défaillantes ; Contrôler les quantités des grenailles utilisées
				Déséquilibre des pales de distribution								
3	Système d'alimentation en grenailles	Alimentation en grenailles	Pas d'alimentation	Vis sans fin bloqué (condensé avec la grenaille)	Surchauffe du moteur ; Bruit ; Vibration ; Des fuites dans le système de distribution.	Visuelle	3	3	1	9	Utilisation correcte de la grenaille ; Remplacement des organes détériorés ; Maintenance préventive.	
				Vis sans fin usée								

Étape 3 : Évaluer les risques en construisant des arbres de défaillances et en les quantifiant

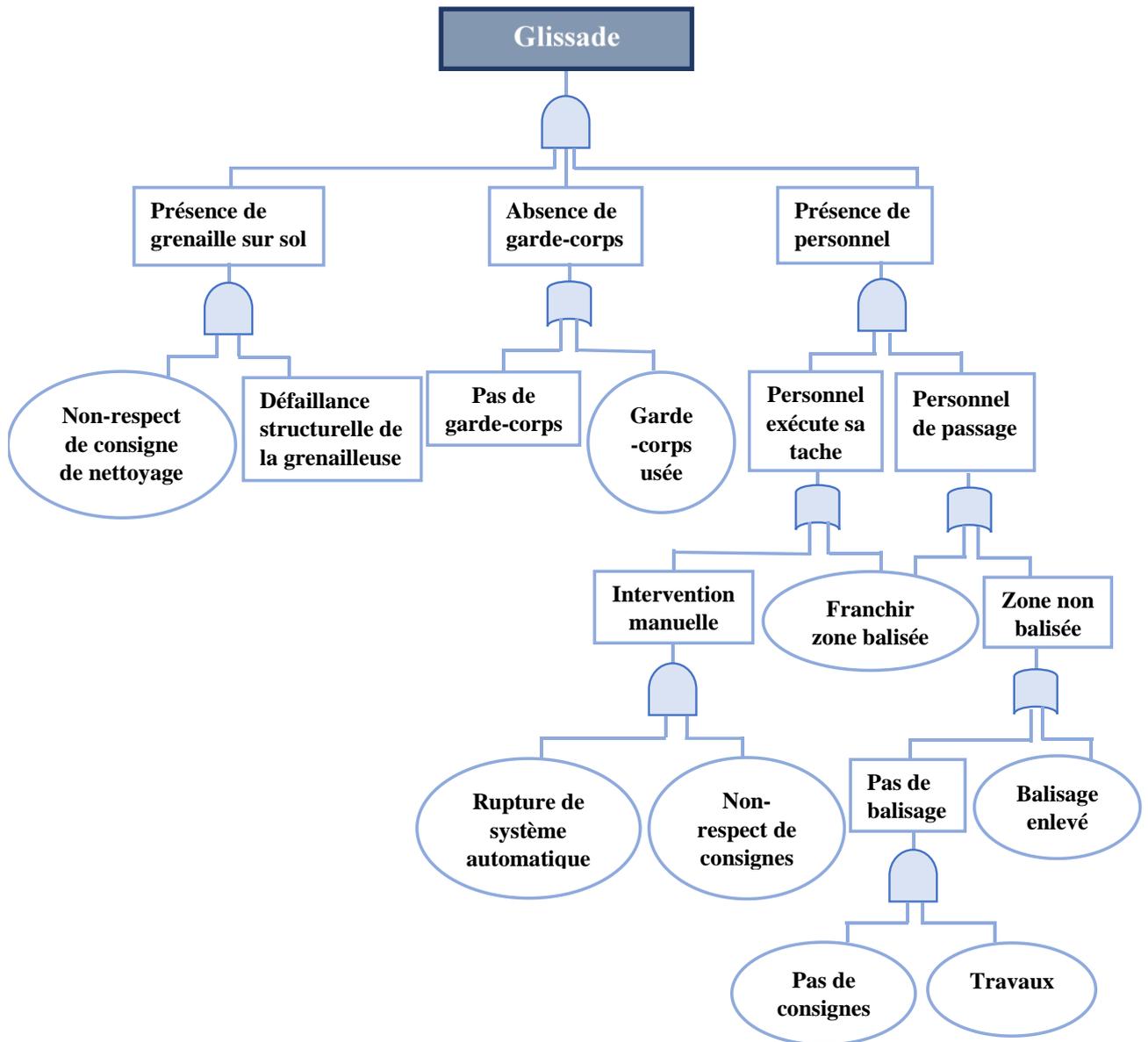


Figure 32 : Arbre de défaillances "Glissade à côté de la grenailleuse"

Quantification de l'arbre, c'est-à-dire calcul de la probabilité de l'ENS en appliquant l'équation de l'arbre en algèbre de Boole. Pour cela il est nécessaire de connaître la probabilité des événements primaires. Si l'on examine les événements primaires de l'ADD « Glissade », on remarque toute la difficulté de trouver ces dernières. Pour cette raison, il est rare, en milieu industriel, de pouvoir calculer la probabilité des ENS.

Etape 3 : Négocier les objectifs précis de prévention

Les précautions prises autour d'une grenailleuse (Federation Francaise du Batiment, 2014)

Protection collective

- **Zone dédiée** : Le grenailage doit s'effectuer dans une zone réservée à cet usage et adaptée à la dimension des pièces à traiter.
- **Cabine fermée obligatoire** : Le travail en cabine fermée est indispensable.
- **Ventilation performante** : Les cabines doivent être équipées d'un système de ventilation puissant (100 à 180 volumes/h) pour éliminer les poussières en temps réel, assainir l'air et garantir la visibilité de l'opérateur.
- **Extraction et apport d'air équilibrés** : L'extraction d'air pollué doit être couplée à une introduction d'air propre équivalente.
- **Filtration efficace** : L'air pollué est dépoussiéré par des filtres adaptés avant d'être rejeté à l'extérieur.
- **Récupération des poussières** : Les poussières sont collectées dans des filtres ou des silos pour recyclage (selon leur nature).
- **Recyclage partiel possible** : Le recyclage total de l'air est déconseillé pour éviter la réintroduction des poussières. Un recyclage partiel peut être toléré sous certaines conditions pour limiter les pertes d'énergie.
- **Équipements de sécurité pour la cabine** :
 - Hublot pour la visibilité.
 - Sortie de secours avec dispositif antipanique.
 - Voyant indiquant le grenailage en cours.
- **Construction ignifugée** : Les cabines doivent être construites en matériaux incombustibles ou difficilement inflammables.
- **Prévention des incendies et explosions** : Les systèmes de récupération et de filtration doivent être conçus pour limiter les risques d'incendie et d'explosion liés à certains métaux (aluminium, etc.). Suivre les directives des constructeurs à cet égard.
- **Maintenance régulière** : Des vérifications périodiques des installations sont nécessaires.

Protection individuelle :

- Des gants spéciaux,
- Des chaussures de sécurité,
- Une combinaison en toile épaisse, ne laissant pas pénétrer la grenaille,
- Des protections sonores.

Etape 4 : Affiner les objectifs et les moyens de prévention

Tableau 16 : moyens de prévention

ENS primaires	Barrières possibles	
	Barrières techniques BT	Barrières opératoires BU
Non-respect de consigne de nettoyage	Système de récupération de grenaille automatique par aspiration.	Formation du personnel, inspections régulières, affichage des consignes
Défaillance structurelle de la grenailleuse	Maintenance préventive ; Graissage et nettoyage régulier ; Capteurs de détection de défauts,	Protocoles de vérification, formation des opérateurs
Pas de garde-corps	Installation de garde corp	Inspections régulières, sensibilisation des employés
Garde -corps usée	Réparation de garde-corps ou le remplacer par un autre plus résistant	Inspections périodiques, suivi des réparations
Rupture de système de nettoyage automatique	Maintenance du système ; Réglage de la pression d'air comprimé ; Réglage de quantité de grenaille ajouter	Formation sur les procédures de panne ; Formation sur l'utilisation de machine et sur les quantités d'alimentations en grenaille nécessaires
Non-respect de consignes	Système de détection de personnel (Arrêt automatique)	Formation continue ; Audits réguliers ; Sanction
Pas de consignes	Développement/affichage de consignes ; Signalisation	Formation, révision périodique des consignes
Travaux	Cloisonnement des zones ; EPI adaptés	Planification des travaux ; briefings de sécurité

Etape 5 : Gérer les risques

Cette étape est essentielle pour garantir que les risques identifiés sont correctement maîtrisés et que les mesures de prévention sont à la hauteur des exigences de sécurité.

Pour conclure l'analyse des risques dans l'atelier de préfabrication de charpente métallique, il est crucial d'élaborer un plan d'intervention en cas d'accidents, PUI (Plan d'Urgence Interne). Ce plan doit détailler les moyens d'intervention et les procédures à suivre pour faire face aux incidents identifiés, comme les fuites enflammées. On construit également des arbres d'événements pour chaque risque, identifiant les conséquences possibles et plaçant des barrières de protection pour limiter les effets des incidents. Cette étape garantit que l'atelier est bien préparé à gérer les urgences et à minimiser les impacts négatifs, assurant ainsi la sécurité et la continuité des opérations.

Conclusion

Grâce à l'application de la méthode MADS_MOZAR, on a pu identifier les risques potentiels et les causes racines des problèmes qui pourraient affecter les activités de l'atelier ou poser un risque pour les opérateurs et l'entreprise. En gérant ces risques de manière proactive, nous avons renforcé la sécurité et amélioré la qualité des produits. Cette analyse confirme que la méthode MADS MOSAR est un outil précieux pour optimiser la gestion des risques dans un environnement industriel spécialisé.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire a été consacré à l'optimisation de la sécurité dans un atelier de fabrication de charpente métallique, en utilisant la méthode MADS-MOSAR. L'objectif principal était d'identifier les principaux dangers et les scénarios d'accidents potentiels, puis de proposer des mesures de prévention et de protection adéquates pour réduire les risques et améliorer la sécurité des travailleurs.

On a pu, grâce à cette méthode :

- Identifier les sources de dangers : ignorance du risque, absence de formation, mauvaise organisation, installations défectueuses, non-respect des normes,
- Identifier les risques principaux et les scénarios associés : Incendie, chutes, glissade, écrasement, etc.
- Evaluer ces risques en termes de gravité et de probabilité,
- Identifier et analyser les dysfonctionnements opératoires et techniques d'un scénario et les analyser.
- Identifier, enfin, les meilleures barrières à mettre en place : choix, validation et évaluation de la réduction du risque associé à chaque scénario.

Les résultats de cette étude montrent que la méthode MADS-MOSAR est un outil efficace pour identifier et gérer les risques dans un atelier de fabrication de charpente métallique. Les différents sous-systèmes étudiés, tels que les matériaux, les équipements, l'environnement et les opérateurs, ont été décomposés pour identifier les sources de danger et les scénarios d'accidents potentiels.

Les recommandations issues de cette étude peuvent être utilisées pour améliorer la sécurité et la qualité de vie des travailleurs dans l'atelier de préfabrication de charpente métallique de l'ENGTP. Ces recommandations incluent la mise en place de barrières de conception tels que le système d'arrêt automatique, l'utilisation des métaux résistants au feu ; le contrôle et la maintenance périodique pour réduire les pannes ; ainsi que des procédures de formation et de sensibilisation pour les travailleurs.

Enfin, ce mémoire a mis en évidence la nécessité d'une approche continue et proactive en matière de gestion des risques. La méthode MADS-MOSAR offre un cadre solide pour cette démarche, mais son efficacité dépendra de l'engagement de tous les acteurs de l'entreprise, de la direction aux opérateurs sur le terrain. En adoptant une culture de sécurité et en intégrant les pratiques de prévention dans les routines quotidiennes, l'ENGTP peut non seulement réduire les accidents de travail et les maladies professionnelles, mais aussi créer un environnement de travail plus sûr et plus sain pour tous ses employés.

Bibliographie

1. (s.d.). *DU PEUPLE, A. U. N. O. M. JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE.*
2. Organisation internationale de normalisation. (2018). ISO 31000, Management du risque, Principes et lignes directrices . Genève.
3. (HSE)., H. a. (2003). "*Developing a Safety Culture - A Guide for Organisations*". Sudbury: HSE Books.
4. A.VILLEMEUR. (1988). *SURETE DE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES INDUSTRIELS.* n°67, Ed. Eyrolles, : Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France,.
5. AAA. (2013, 07). Pas à pas : Évaluation et gestion des risques. 125, route d'Esch, L-2975 Luxembourg. Récupéré sur <https://aaa.public.lu/fr/documentation/publications/brochures/pas-pas-evaluation-gestion-risques.html>
6. Association Française de Normalisation (AFNOR). (2016). Analyse du risque et de la criticité des défaillances. *Manuel de formation.NF EN 13309:2016.* AFNOR.
7. C. Fritz, e. a. (1996). Cindynics—Natural and industrial disasters. *Journal of Hazardous Materials,,* 89-99.
8. Décrets exécutifs et lois en matière d'hygiène et de sécurité au travail en Algérie. (s.d.). DE n° 93-05 du 09 janvier 1993- DE n° 96-98 du 06 mars 1996-DE n° 06-235 du 04 juillet 2006-DE n° 09-218 du 22 juin 2009- Loi n° 88-07 du 26 janvier 1988-DE n° 08-126 du 10 avril 2008- DE n° 04-82 du 18 mars 2004. *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.*
9. Federation Francaise du Batiment. (2014). Environnement, sécurité, qualité dans les ateliers de métallerie. *100 réponses à vos questions.* Fédération Française du Bâtiment.
10. Gardes, L. (2001). Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME : application au secteur du traitement de surface. Sciences de l'environnement, français: Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etien.
11. Grandamas, O. (2020). se4062. *Méthode MADS-MOSAR - Pour en favoriser la mise en œuvre.* Techniques de l'Ingénieur.
12. INERIS. (2006). *Ω 7 : Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle.* P46055-CL47569 :: DRA.
13. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). (2024, 05 05). Récupéré sur <http://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels.html>
14. Le décret exécutif n° 88-07. (1988, 01 26). l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail. *journal officiel.*
15. Olivier IDDIR, Technique de l'ingénieur. (2012, janvier 18). Comment choisir sa méthode d'analyse des risques : savoir définir la méthode requise en fonction de ses objectifs. Récupéré sur <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/risques-securite-th1/analyse-des-risques-42485210/comment-choisir-sa-methode-d-analyse-des-risques-savoir-definir-la-methode-requise-en-fonction-de-ses-objectifs-be-8520-0532/>
16. Organisation internationale de normalisation (ISO). (2015). ISO 45001, Exigences et lignes directrices pour leur utilisation 2018, Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail. Genève, Suisse.

17. Organisation internationale du travail (OIT). (2001). *Sécurité et santé au travail: Guide pratique*. Récupéré sur <https://libguides.ilo.org/occupational-safety-and-health-fr>
18. PERILHON, P. (2003, octobre 10). SE4060 V1. *MOSAR - Présentation de la méthode*. boulevard Ornano, 93288 Saint-Denis Cedex: Techniques de l'Ingénieur.
19. PERILHON, P. (2004, Avril 10). SE4061 V1. *MOSAR-Cas industriel*. boulevard Ornano, 93288 Saint-Denis Cedex: Techniques de l'ingénieur.
20. PERILHON, P. (juin 2003). *DU RISQUE A L'ANALYSE DE RISQUES*. ingénieur ENSAM.

Annexes



**TECHNIQUES
DE L'INGÉNIEUR**

Réf. : **SE4060 V1**

MOSAR - Présentation de la méthode

Date de publication :
10 octobre 2003

Date de dernière validation :
02 septembre 2020

Cet article est issu de : **Environnement - Sécurité | Sécurité et gestion des risques**

par **Pierre PERILHON**

Résumé Analyser les risques d'une installation industrielle est une démarche complexe car cette dernière est elle-même une structure complexe constituée de machines, de stockages, en interaction entre eux, avec les opérateurs ainsi qu'avec l'environnement. La méthode MOSAR, pour Méthode organisée systémique d'analyse des risques, est une réponse logique à ce genre de besoins. Cet article présente les grandes orientations de cette méthode, les modèles liés et différentes mises en oeuvre possibles.

Pour toute question :
Service Relation clientèle
Techniques de l'Ingénieur
Immeuble Pleyad 1
39, boulevard Ornano
93288 Saint-Denis Cedex

Par mail :
infos.clients@teching.com
Par téléphone :
00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **28/12/2023**
Pour le compte : **7200092269 - cerist // 193.194.76.5**

© Techniques de l'Ingénieur | Tous droits réservés

Présentation de la méthode

par **Pierre PERILHON**

Ingénieur de l'École nationale supérieure des arts et métiers (ENSAM)

Ancien responsable de sécurité-sûreté au Commissariat à l'énergie atomique (CEA)

1. Nécessité d'une méthode d'analyse des risques d'une installation industrielle	SE 4 060 - 2
1.1 Problématique.....	— 2
1.2 Les besoins d'analyse de risques.....	— 3
1.3 Les outils existants	— 3
1.4 Nécessité d'une méthode	— 3
2. Structure générale de la méthode MOSAR	— 4
2.1 Les deux modules et les dix étapes	— 4
3. Modèles mis en œuvre : MADS	— 4
3.1 Description de MADS	— 4
3.2 Applications à une démarche méthodique	— 5
4. Différents modes de mise en œuvre de la méthode	— 7
4.1 MOSAR comme boîte à outils	— 7
4.2 Les parcours de MOSAR	— 8
4.3 Genèse de scénarios dans l'analyse de risques d'un site industriel	— 9
4.4 Extraits d'exemple d'analyse en conception d'une installation	— 10
4.5 Extrait d'exemple d'analyse en diagnostic d'une installation existante	— 13
5. Avantages de la méthode	— 14
5.1 La réponse aux besoins	— 14
5.2 Exhaustivité.....	— 15
5.3 Coordination des outils	— 15
5.4 Souplesse.....	— 15
5.5 Mise en œuvre en situation opérationnelle et pédagogique	— 15
Références bibliographiques	— 16
Pour en savoir plus	Doc. SE 4 062

L'analyse des risques d'une installation industrielle est une démarche complexe car cette dernière est elle-même une structure complexe constituée de machines, de stockages, en interaction entre eux, avec les opérateurs ainsi qu'avec l'environnement. Pour se donner le maximum de chances de mettre en évidence la majorité des risques d'une installation, une méthode logique est proposée : la **méthode organisée systémique d'analyse des risques** ou **MOSAR**. Elle fait appel à la **modélisation systémique** [1] car après avoir décomposé l'installation en sous-systèmes et recherché systématiquement les dangers présentés par chacun d'entre eux, ces sous-systèmes sont remis en relation pour faire apparaître des scénarios de risques majeurs. Cette partie de l'analyse est une APR (Analyse préliminaire des risques) évoluée car elle ne se contente pas de passer l'installation au crible de grilles préétablies issues du retour d'expérience. Elle construit, à partir d'une modélisation des différents types de dangers par le modèle MADS (Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes), les scénarios possibles. La négociation d'objectifs permet de hiérarchiser ces scénarios. La recherche systématique de barrières permet de neutraliser ces scénarios.

et leur qualification dans le temps en assure la pérennité. La démarche peut se poursuivre par une analyse détaillée de type sûreté de fonctionnement avec mise en œuvre d'outils comme les AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) (cf. article AMDEC-Moyen [AG 4 220] dans le traité *L'Entreprise industrielle*), les arbres de défaillances (cf. article Arbres de défaillance, des causes et d'événement [SE 4 050] dans ce traité), HAZOP (Hazard and Operability study) [4].

Sa constitution modulaire permet une grande souplesse d'utilisation. Elle se termine sur la construction des plans d'intervention.

Le modèle MADS, élaboré dans les années 1980 par un groupe d'ingénieurs du CEA (Commissariat à l'énergie atomique) et d'universitaires de l'IUT de sécurité de Bordeaux, est une modélisation systémique générale du danger mise en œuvre ici de manière spécifique dans la méthode MOSAR.

La méthode MOSAR complète fait l'objet d'un support [5], d'un résumé [8] et d'un logiciel d'apprentissage [6].

Cet article constitue la première partie d'une série consacrée à la méthode MOSAR :

- MOSAR - Présentation de la méthode [SE 4 060] ;
- MOSAR - Cas industriel [SE 4 061].

Terminologie	
Problématique	Une certaine façon de poser un ou des problèmes propres à une notion ou à un domaine de connaissance.
Méthodologie	Réflexion qui a pour objet d'examiner la nature, la valeur et le choix des matériaux avec lesquels nous pouvons construire notre connaissance en vue de déterminer à quels usages ils sont propres ou impropres.
Méthode	Programme réglant d'avance une suite d'opérations à accomplir et signalant certains errements à éviter, en vue d'atteindre un résultat déterminé.
Outils	Procédés techniques de calcul ou d'expérimentation utilisés pour le développement d'une méthode.
Analyse de risques	Toute démarche structurée permettant d' identifier, évaluer, maîtriser, manager et gérer des risques et notamment les risques industriels.

1. Nécessité d'une méthode d'analyse des risques d'une installation industrielle

1.1 Problématique

Une installation industrielle peut être modélisée comme un système ouvert sur son environnement, et composé essentiellement de matériels ($M_1, M_2, M_3...$) et d'opérateurs ($O_1, O_2, O_3...$), en interaction entre eux et avec l'environnement (figure 1).

Les matériels (machines, stockages, appareils, bâtiments...) peuvent :

- interagir de manière séquentielle (séquences linéaires, parallèles ou en réseaux) lorsqu'ils constituent des chaînes de fabrication ;
- ou être isolés.

Les opérateurs sont tous les acteurs de l'installation depuis le responsable jusqu'à l'exécutant. Ils peuvent être aussi isolés ou en relation à travers des hiérarchies linéaires ou parallèles, des groupes en réseau ou des structures diverses.

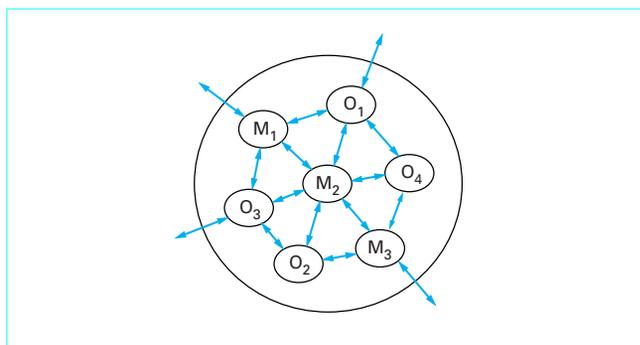


Figure 1 – Modélisation d'une installation industrielle

Analyser les risques d'une installation va consister essentiellement à **identifier les dysfonctionnements de nature technique et opératoire** (opérationnelle, relationnelle, organisationnelle) **dont l'enchaînement peut conduire à des événements non souhaités par rapport à des cibles** (individus, populations, écosystèmes, systèmes matériels ou symboliques).

Ces dysfonctionnements proviennent des matériels, de leurs liaisons et de leur proximité, ainsi que des opérateurs, de leurs liaisons entre eux et avec les matériels.

Il est possible d'imaginer analyser les risques d'une installation à un instant donné, par exemple à t_1 ou à t_2 . On dira alors que l'on a travaillé dans une **coupe synchronique de l'installation**. Mais entre les instants t_1 et t_2 , l'installation a évolué (diachronie). Il est donc impossible de faire l'analyse des risques d'une installation dans sa diachronie. Tout au plus pourra-t-on la pratiquer à certains moments discrets de cette dernière, que nous allons identifier, et l'on pourra éventuellement mettre en évidence des risques de transition entre ces moments.

Ces moments de vie d'une installation ou phases de vie sont les suivants :

- **conception** (CO). C'est le travail de bureau d'études qui définit un cahier des charges, un dossier d'appel d'offre, un descriptif, un dossier de réalisation. Il est évidemment très intéressant d'analyser les risques en conception car on peut intégrer leur maîtrise dès le départ et cela est moins coûteux que de modifier par la suite l'installation pour des raisons de sécurité ;

- **montage** (MO). C'est la phase de réalisation qui correspond au chantier avec des risques très spécifiques notamment de manutention ;

- **essais** (ES) ou **recette**. C'est la phase qui permet de faire les vérifications de conformité par rapport au cahier des charges. Elle est souvent l'objet de risques spécifiques car les éléments de l'installation peuvent être testés jusqu'à leurs performances maximales voire au-delà ;

- **exploitation**. Cette phase correspond aux périodes de mise en œuvre de l'installation. On peut la diviser en :

- **fonctionnement normal** (on la symbolisera par EX) : l'installation fonctionne dans le cadre de ses caractéristiques nominales. Elle peut alors générer des nuisances et être la source d'accidents,
- **maintenance** qui comprend :
 - l'**entretien** (EN), préventif ou curatif,
 - le **dépannage** (DE),
- **arrêt** (AR). L'installation peut présenter des dangers spécifiques à l'arrêt ;

- **transformation**. Cette phase concerne les transformations générant des risques spécifiques liés aux chantiers nécessaires pour les réaliser ou à l'installation transformée ;

- **démantèlement** (DEM) ou **déconstruction**. Cette phase correspond aussi à une phase de chantier très spécifique.

Il est donc nécessaire de préciser la phase de vie de l'installation dans laquelle l'analyse est réalisée. Il est aussi possible de se situer dans une phase et de faire apparaître les risques principaux des autres phases.

Une **vision systémique** consiste par exemple à prévoir et à maîtriser les risques apparaissant dans les autres phases de la phase de conception.

1.2 Les besoins d'analyse de risques

Nota : le lecteur consultera utilement sur ce sujet l'article *Importance de la sécurité dans l'entreprise* [AG 4 600] dans le traité *L'Entreprise industrielle*.

Les besoins dans ce domaine sont multiples. Si la connaissance et la maîtrise des risques de l'entreprise sont tout d'abord un problème d'éthique, ce sont aussi un moyen :

- d'accroître la **confiance** du public, du personnel, des investisseurs et de conserver une bonne image de marque ;
- de satisfaire les **contraintes réglementaires** multiples : Code du travail, installations classées pour la protection de l'environnement, circulaire Seveso, règles des services de prévention des CRAM (Caisses régionales d'assurance maladie) et des assurances ;

- de faciliter la **communication** avec le public ;

- indispensable pour la **construction des Plans d'Intervention** : le Plan d'Opération Interne (POI) qui gère l'organisation des secours en cas d'accident à l'intérieur du périmètre de l'installation, sous la responsabilité du directeur de cette dernière ; le Plan Particulier d'Intervention (PPI) qui gère l'organisation des secours à l'extérieur du périmètre de l'installation, si les conséquences de l'accident franchissent ce périmètre, sous l'autorité du Préfet.

1.3 Les outils existants

Le contexte d'une analyse de risques peut être défini par deux situations principales :

- on s'intéresse à un **objet technique**, par exemple un avion, un véhicule, une machine ;

- on s'intéresse à un **milieu plus complexe**, par exemple un atelier de fabrication, une usine, une installation industrielle, agricole, urbaine... Ce milieu comportera bien sûr des objets comme des machines, des stockages, des alimentations en fluides, des engins de manutention..., mais il y aura beaucoup de relations entre ces objets et avec leur environnement.

Les **méthodes et outils** mis en œuvre pour l'analyse de risques ne seront pas les mêmes dans chacun des deux cas :

- dans le **premier cas ce sont plutôt les outils classiques de la Sûreté de fonctionnement** qui seront utilisés (consulter à ce propos les articles *Analyse préliminaire des risques* [SE 4 010] et *Arbres de défaillance, des causes et d'événement* [SE 4 050] et la référence [4]) ;

- dans le **deuxième cas**, ces outils seuls ne permettront qu'une **analyse parcellaire**, notamment des objets de l'installation, et **il sera nécessaire de disposer de méthodes**, c'est-à-dire de démarches complètes incluant bien sûr les outils, mais capables d'organiser la mise en œuvre.

Les outils disponibles peuvent être classés en deux catégories :

- des **outils semi-empiriques** comme l'APR (Analyse Préliminaire des Risques) qui a donné lieu au développement de grilles issues du retour d'expérience, l'AMDE (Analyse des modes de défaillance et de leurs effets) et l'AMDEC (bien que normalisé il reste dans cette catégorie), HAZOP, l'Analyse Fonctionnelle ;

- des **outils logiques** comme les **arbres logiques** (arbre de défaillances, arbres causes conséquences ou arbres d'événement) et des **outils de type réseaux** comme les chaînes de Markov (cf. article *Relations entre probabilités et équations aux dérivées partielles* [A 565] dans le traité *Sciences fondamentales*) ou les réseaux de Pétri (cf. articles *Réseaux de Petri* [R 7 252] dans le traité *Mesures et Contrôle*, *Applications des réseaux de Petri* [S 7 254] dans le traité *Informatique industrielle* et la *Sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques* [AG 4 670] § 5.5 dans le traité *L'Entreprise industrielle*). Tous ces outils permettent des **approches par le calcul notamment en matière de probabilité**.

La mise en œuvre de ces outils présente un certain nombre de **difficultés**. Ce sont en effet pour la plupart des outils dont l'origine est liée à l'analyse de fiabilité « d'objets » ou d'éléments « d'objets » et leur adéquation à l'analyse de risques n'est pas totale. Par ailleurs, leur mise en œuvre nécessite de l'information et l'outil en lui-même n'est pas générique de cette dernière.

1.4 Nécessité d'une méthode

On voit donc apparaître une double nécessité :

- essayer de **rationaliser les outils à caractère empirique**. Le modèle MADS (Methodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes) tente de répondre à ce besoin. Modélisation systémique générale du danger, le modèle MADS constitue la structure conceptuelle des outils et méthodes empiriques ou semi-empiriques qui se sont développés sur le terrain. MADS permet par exemple de faire apparaître les concepts de l'AMDEC ;

— **construire des méthodes qui assurent à la fois une cohérence** dans le déroulement de la démarche analytique, qui **facilitent et articulent la mise en œuvre des outils** précités, et qui **participent à la genèse de l'information nécessaire** à la bonne utilisation de ces derniers. MOSAR essaie de répondre à ces contraintes. Dans MOSAR, MADS permet de faire apparaître la structuration des dangers et par conséquent de les identifier de manière rationnelle.

2. Structure générale de la méthode MOSAR

2.1 Les deux modules et les dix étapes

La méthode s'articule autour de deux visions, d'où les deux modules qui la composent (figure 2) :

— une **vision macroscopique** conduisant à un **module A** qui consiste à faire une **analyse des risques de proximité ou analyse principale de sécurité ou analyse des risques principaux**. C'est parce que les éléments qui constituent l'installation (stockages, machines, chaînes de fabrication, opérateurs) sont à proximité les uns des autres que des risques apparaissent, souvent majeurs. Ces éléments sont modélisés sous forme de systèmes ce qui va permettre d'identifier en quoi ils peuvent être sources de danger. On recherche ensuite comment ils peuvent interférer entre eux et avec leur environnement pour générer des scénarios d'accidents. Ce travail nécessite la mise en œuvre du modèle MADS (Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes) [2] [3]. Ce module comporte aussi une phase de négociation avec les acteurs concernés, qui va permettre d'éta-

blir un consensus sur les risques acceptables sous forme d'une grille Gravité-Probabilité ;

— une **vision microscopique** conduisant à un **module B** qui consiste à faire une **analyse détaillée et complémentaire des dysfonctionnements techniques et opératoires** identifiés dans le module A. C'est en fait une approche de type « **sûreté de fonctionnement** » qui vient faire foisonner l'analyse précédente. Dans les scénarios établis dans le module A, on va développer les dysfonctionnements de nature opératoire et ceux de nature technique. C'est à ce niveau que l'on mettra en œuvre les outils comme les AMDEC, HAZOP et les arbres logiques. Le module se termine par le rassemblement et l'organisation de l'information acquise pour la gestion des risques c'est-à-dire des scénarios identifiés s'ils surviennent.

3. Modèles mis en œuvre : MADS

3.1 Description de MADS

Le modèle MADS (Méthodologie de dysfonctionnement des systèmes, figure 3), appelé aussi **Univers du danger** est un outil initialement à vocation pédagogique qui permet de construire et de comprendre la problématique de l'analyse des risques. Il est construit sur les bases des principes de la modélisation systémique développés par Jean-Louis Le Moigne dans « *La Théorie du Système général* » [1].

L'univers du danger est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement dit actif.

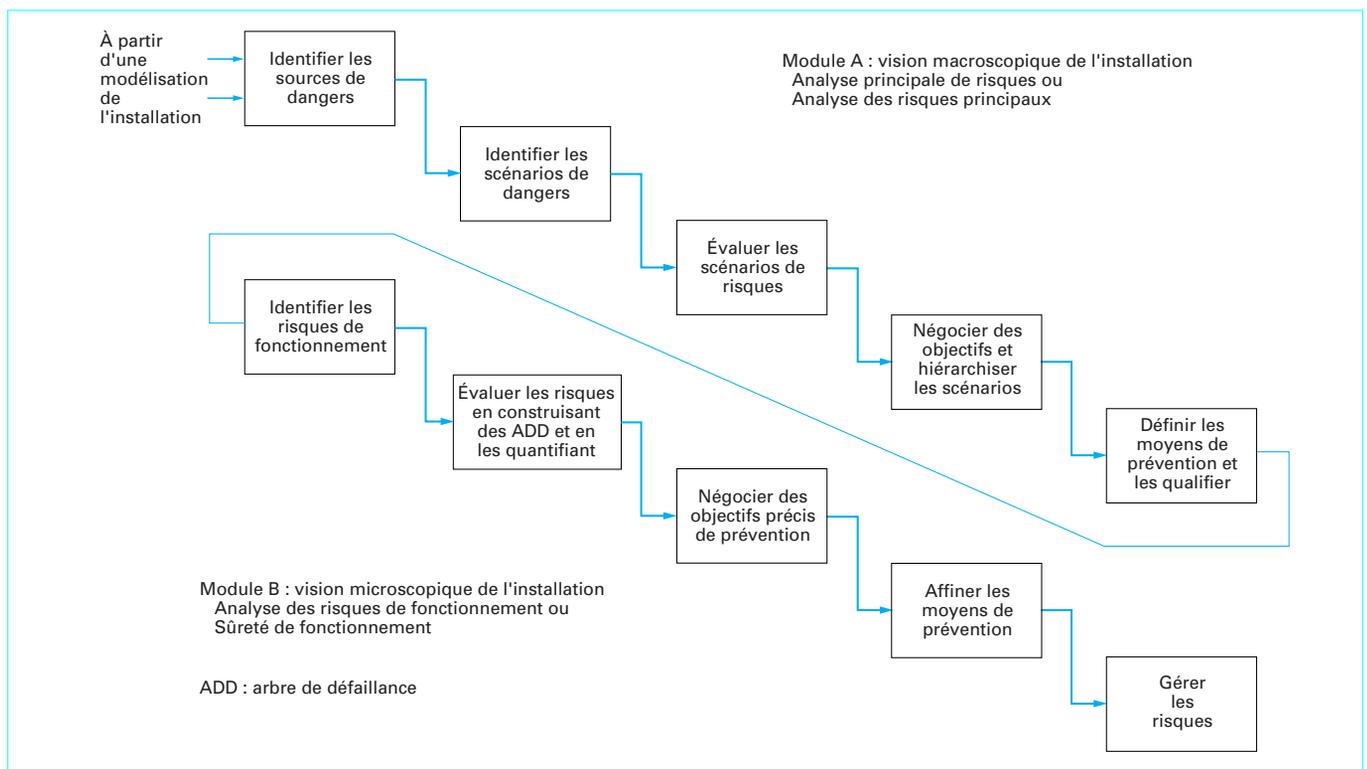


Figure 2 – Les deux modules et les dix étapes de MOSAR : le parcours complet du MOSAR

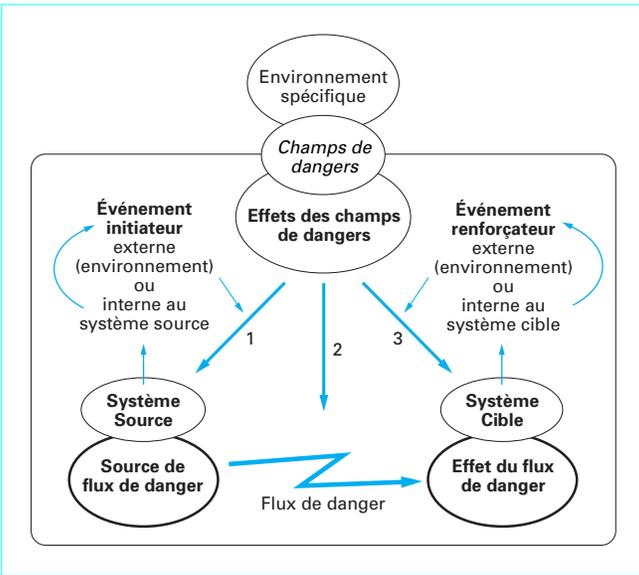


Figure 3 - Le modèle MADS ou l'univers du danger

Les interactions entre ces deux systèmes se font sous forme de processus c'est-à-dire d'échange de flux de matière, énergie, information entre les deux systèmes, dans le temps, l'espace et la forme.

Les autres actions qui se produisent dans cet univers sont expliquées aussi sous forme de processus.

La modélisation des deux systèmes se fait, suivant les problèmes posés, sur leur structure, leur fonctionnement, leur relation avec l'environnement, leur évolution.

On fait donc apparaître :

- le **flux de danger** que l'on appelle aussi l'**Événement Non Souhaité (ENS)** ou aussi parfois l'**Événement Redouté** ;
- le **système cible** sur lequel agit le flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et est appelée **effet du danger** ;
- le **système source de danger** émetteur du flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et/ou son interaction avec l'environnement et est appelée **source de flux de danger** ;
- le **processus de danger** est **réversible** c'est-à-dire qu'un système source peut devenir système cible et vice-versa. Les systèmes sources et les systèmes cibles pris en compte sont : un ou des individus, une ou des populations, un ou des écosystèmes, un ou des systèmes matériels ou symboliques (savoirs, savoir-faire, données...);
- les « **éléments orientés** » source-flux-cible sont « **immergés** » dans un environnement actif appelé **champ de danger** ;
- le champ de danger est « **tapissé** » de processus qui peuvent agir sur le système source par des **événements initiateurs** (notés 1 sur la figure 3), ainsi que sur le système cible et le flux de danger par des **événements amplificateurs** (notés 2 sur la figure 3). Un tel événement est dit **renforçateur**, ou aussi **amplificateur positif**, s'il renforce l'effet du flux de danger sur la cible. Il est dit **atténuateur**, ou **amplificateur négatif**, s'il diminue l'effet du flux de danger sur la cible. Par exemple si l'on identifie comme cible un individu soumis à un flux de danger de nature thermique, dans le cas où cet individu est habillé de vêtements en fibres synthétiques facilement fusibles, la fusion de ces vêtements aura un effet renforçateur sur l'effet de brûlure du flux thermique sur sa peau et un effet atténuateur s'il est habillé de vêtements protecteurs en fibres résistantes au flux thermique.

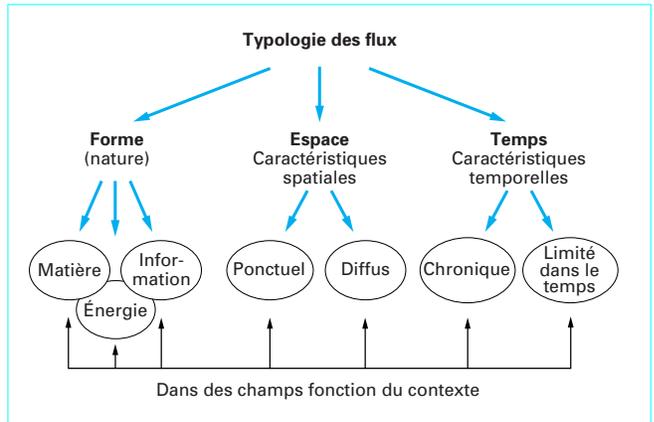


Figure 4 - La typologie des flux de danger

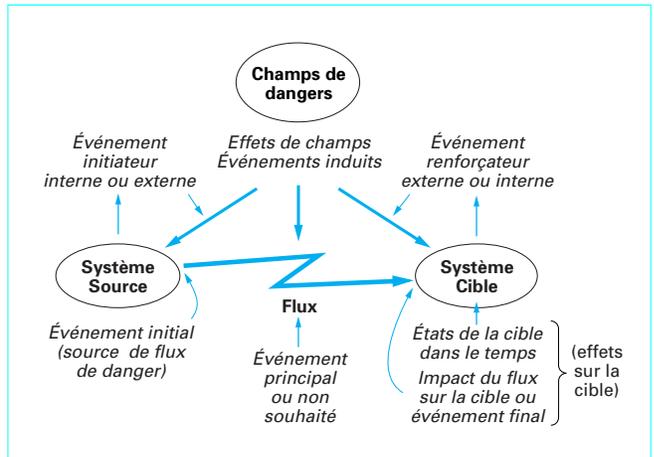


Figure 5 - MADS comme un enchaînement d'événements

Le système source et le système cible étant eux-mêmes animés de processus, ces événements initiateurs et renforçateurs peuvent provenir respectivement en interne des systèmes sources de danger et des systèmes cibles.

Les flux de danger peuvent être décrits sous forme de processus par des *processeurs de champ* tels que (figure 4) :

- des processeurs de temps : flux chronique, flux limité ;
- des processeurs d'espace : flux concentré, flux diffus.

Ces flux sont également décrits sous forme de processus par des *processeurs de source* ou de *cible* tels que :

- des processeurs de forme (transformation du mode pour un type de flux) : par exemple, flux d'énergie sous forme de travail mécanique en flux d'énergie sous forme de chaleur ;
- des processeurs de nature (transformation du type de flux) : par exemple, transformation d'un flux de matière en flux d'énergie.

3.2 Applications à une démarche méthodique

Le modèle MADS peut être représenté avec un vocabulaire plus pratique qui met en évidence un enchaînement d'événements (figure 5).

Parution : octobre 2003 - Dernière validation : septembre 2020 - Ce document a été délivré pour le numéro 7200092269 - cerist // 193.194.76.5

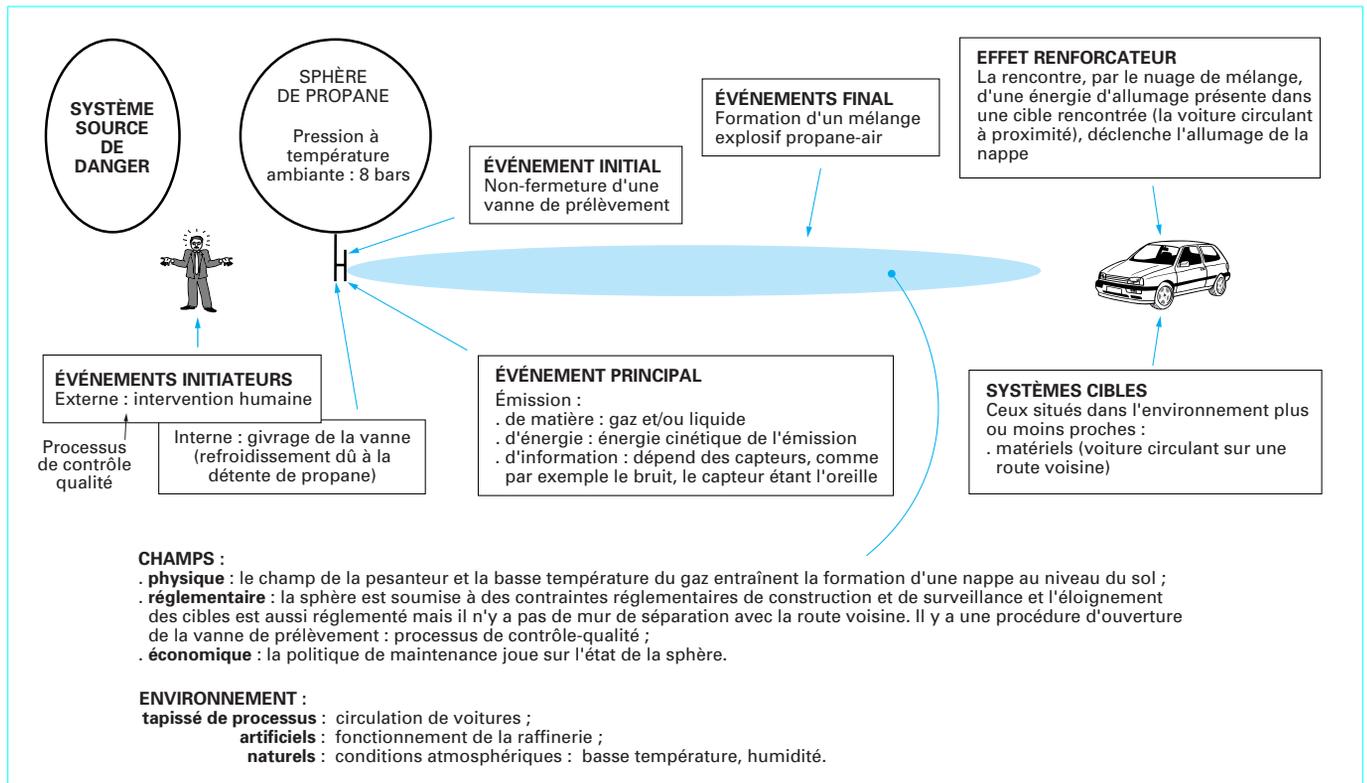


Figure 6 – Accident de Feyzin (1966) : première phase de l'accident. La sphère de propane en tant que système source de danger lié à la pression

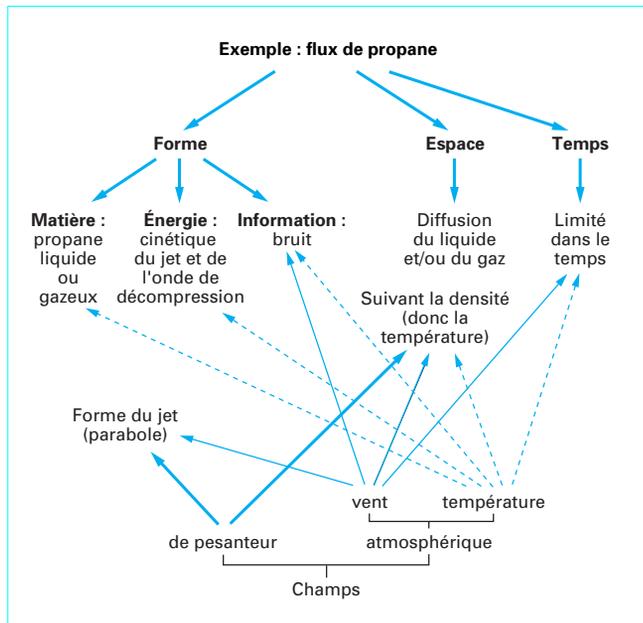


Figure 7 – Le flux de propane de l'accident de Feyzin

Les figures 6 et 7 illustrent le modèle sur un accident survenu (explosion d'une sphère de propane à Feyzin en 1966).

Aux éléments constitutifs de l'univers du danger, on doit associer les attributs :

- aux systèmes source et cible, des **variables d'état** ;
- au champ, des **variables d'environnement** ;
- au flux, des **variables de flux**.

Ces éléments constitutifs font l'objet de typologies. Par exemple une typologie des systèmes sources de danger en milieu industriel a été développée. Elle constitue une grille de travail stabilisée dite grille 1 qui est mise en œuvre dans la méthode MOSAR (encadré 1 page 8).

L'identification, l'enchaînement et l'évaluation (à l'aide de modèles) des attributs et variables des éléments constitutifs du modèle MADS permettent d'estimer le **risque du système**. Ce travail est mis en œuvre dans les méthodes d'analyse des risques.

Le modèle MADS peut, en particulier, apparaître comme le « guide support » de la démarche AMDEC, outil d'origine pragmatique, dont il modélise la structure et en facilite la construction sous une forme moins concentrée (on ne recherche pas tout de suite les moyens de prévention).

Il permet aussi d'illustrer : la démarche probabiliste (figure 8a), et la démarche préventive par barrières ou de dimensionnement (figure 8b) (que l'on peut organiser sous la forme de la défense en profondeur).

La modélisation du champ comme étant tapissé de processus (figure 9), et le fait que le modèle MADS soit réversible c'est-à-dire qu'un système source peut devenir système cible et inversement, met en évidence l'enchaînement de scénarios (figure 10). Ces derniers sont générés par la technique des « boîtes noires » (voir l'article MOSAR – Cas industriel [SE 4 061] dans ce traité). La concaténation de ces derniers conduit à la réalisation d'arbres logiques centrés sur un événement non souhaité (ENS). Ce mécanisme est mis en œuvre dans la méthode MOSAR.

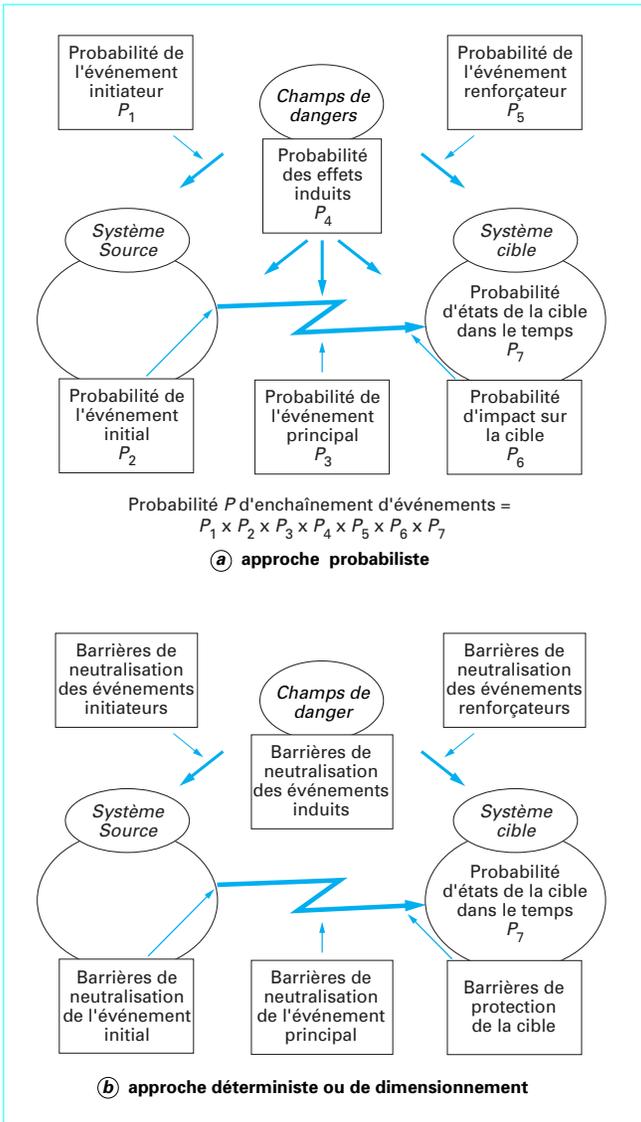


Figure 8 – Approches probabiliste et déterministe du modèle MADS

Le champ de danger proche, dans le cas d'un système industriel, peut être explicité sous la forme de la figure 2. Il est explicité dans la grille des systèmes sources de danger (encadré 1) par la rubrique H.

4. Différents modes de mise en œuvre de la méthode

4.1 MOSAR comme boîte à outils

On peut ne pas tout enchaîner comme sur la figure 2 et l'on peut alors partir des « actions » non reliées. On dispose ainsi d'une sorte de boîte à outils (les actions) pour construire des parcours particuliers en créant des liaisons permettant de répondre à des situations spécifiques d'analyse.

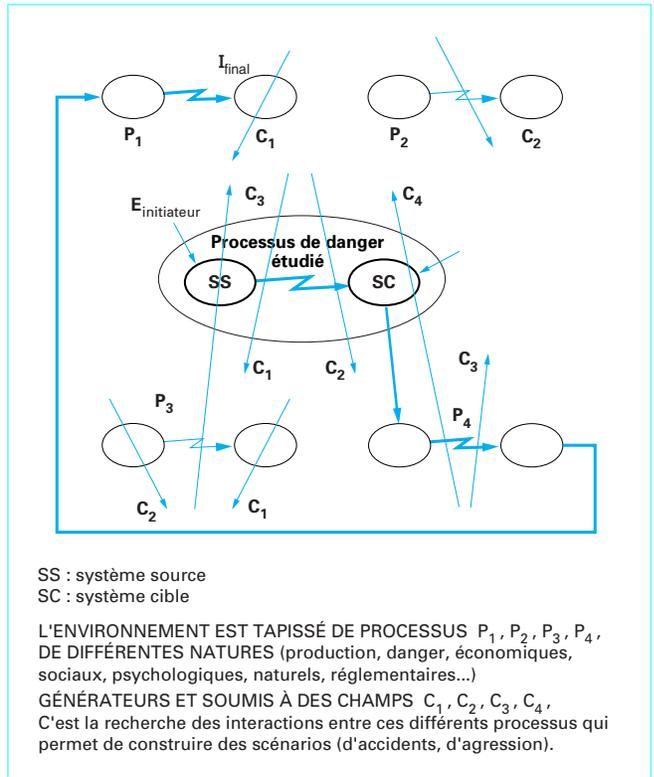


Figure 9 – L'environnement tapissé de processus en interaction

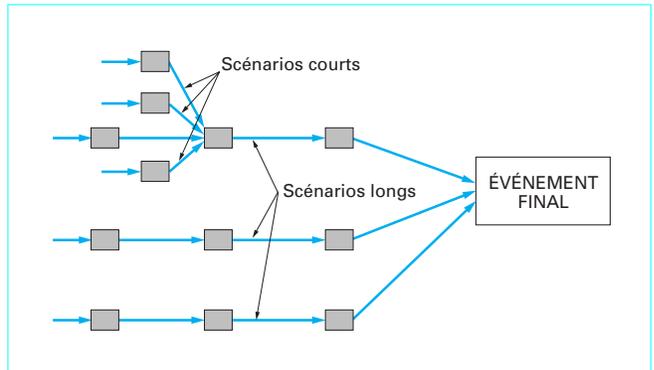


Figure 10 – Concaténation sous forme d'arbre logique

Chaque boîte contient en fait un ou plusieurs outils qu'il est possible de mettre en œuvre dans des démarches réduites ou simplifiées dont on donne quelques exemples.

■ Identification simple des sources de danger d'une installation (figure 11, page 9)

On lit l'installation, sans la décomposer en sous-systèmes, à travers la grille (encadré 1). On obtient donc une liste exhaustive des sources de danger de l'installation.

Si l'on fait cela pour plusieurs installations, il est alors possible de les classer par importance des dangers qu'elles présentent ce qui permet de savoir par quel ordre commencer leur analyse de risques.

Parution : octobre 2003 - Dernière validation : septembre 2020 - Ce document a été délivré pour le compte de 7200092269 - cerist // 193.194.76.5

Encadré 1 — Systèmes sources de danger dans la fabrication, le stockage, le transport ; de matière, d'énergie, d'information (classification aussi appelée grille 1)

- A - Systèmes sources de dangers d'origine mécanique**
- A - 1. Systèmes sous pression
— de gaz ou vapeur
— hydraulique
- A - 2. Systèmes sous contraintes mécaniques (autres que la pression)
- A - 3. Systèmes en mouvement
— solides
— liquides
— gaz
- A - 4. Systèmes nécessitant une manutention
— manuelle
— mécanique
- A - 5. Systèmes sources d'explosions d'origine physique autres que A1
— implosion
— flash électrique
— BLEVE (Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion)
— mélange de liquides à des températures très différentes
— caléfaction
- A - 6. Systèmes sources de chute de hauteur (éléments en hauteur et accès en hauteur)
- A - 7. Systèmes sources de chute de plain-pied (encombrement au sol, dénivellations...)
- A - 8. Autres systèmes sources de blessures (objets coupants, piquants, contondants...)
- A - 9. Systèmes sources de bruit et de vibrations
- B - Systèmes sources de danger d'origine chimique** (produits utilisés, produits de réaction, contacts avec matériaux)
- B - 1. Systèmes sources de réactions chimiques
- B - 2. Systèmes sources d'explosions
— en milieu condensé
— en phase gazeuse
- B - 3. Systèmes sources de toxicité et d'agressivité
- B - 4. Systèmes sources de pollution et d'odeurs
- B - 5. Systèmes sources de manque d'oxygène
- C - Systèmes sources de danger d'origine électrique**
- C - 1. Système mettant en œuvre de l'électricité à courant continu ou alternatif
- C - 2. Systèmes sources d'électricité statique
- C - 3. Systèmes condensateurs de puissance électrique
- C - 4. Systèmes générateurs de hautes fréquences
- D - Systèmes sources de danger de développement d'incendie**
- D - 1. Systèmes sources d'allumage (nature, type, puissance)
- D - 2. Systèmes sources liés aux cloisonnements (présence ou non-présence, type, résistance au feu, distances entre sous-systèmes)
- D - 3. Systèmes sources liés aux matériaux (nature, mise en œuvre, réaction au feu, charge thermique)
- D - 4. Systèmes sources liés à la ventilation (présence ou non-présence, nature, débit)
- D - 5. Systèmes sources liés à l'extinction (présence ou non-présence, nature)
- E - Systèmes sources de dangers liés aux rayonnements**
- E - 1. Systèmes sources de dangers liés aux rayonnements ionisants
— systèmes sources d'irradiation
— systèmes sources de contamination
— systèmes sources de criticité nucléaire
— systèmes sources liés à l'évacuation d'énergie radioactive
- E - 2. Systèmes sources de rayonnements UV - IR - VISIBLE (éclairage)
- E - 3. Systèmes sources de rayonnement laser
- E - 4. Systèmes sources de rayonnements micro-ondes
- E - 5. Systèmes sources de champs magnétiques intenses
- F - Systèmes sources de danger de nature biologique**
- F - 1. Systèmes sources de dangers liés aux micro-organismes (virus, bactéries), et aux prions
- F - 2. Systèmes sources de dangers liés aux modifications génétiques animales et végétales
- F - 3. Systèmes sources de dangers liés aux animaux
- F - 4. Systèmes sources de dangers liés aux végétaux
- F - 5. Systèmes sources de dangers liés au comportement humain
— en situation normale (on modélise l'opérateur comme un sous-système d'une installation)
— en situation de malveillance (il faut connaître le scénario)
- H - Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif**
- H - 1. Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif artificiel
— modes de transports
— installations industrielles
— barrages
- H - 2. Systèmes sources de danger d'origine naturelle
— géologiques :
• séismes
• glissements de terrain
• volcanisme
— climatiques :
• avalanches
• tempêtes, cyclones, tornades, ouragans, coups de vent
• brouillard, sécheresse, inondations
• feux de forêts, foudre, gel
• irradiation solaire
— déséquilibres écologiques
— épidémies, pandémies
- I - Systèmes sources de danger d'origine économique et sociale**
— finances – migrations – conflits – criminalité – violence
— grands rassemblements

On poursuit le travail précédent en recherchant rapidement les moyens de prévention pour chaque danger.

■ **Exemple de parcours mis en œuvre chez EDF** (Centres de recherches et d'essais) [9] à la **SNECMA** (Installations d'essais de Melun) et au **CEA** (Installations d'essais) (figure 12).

On passe directement de la négociation d'objectifs à la construction d'arbres de défaillances (ADD) sur les ENS (événements non souhaités) à partir des arbres logiques et on recherche les barrières sur les événements primaires en s'assurant que tous les événements peuvent être neutralisés.

4.2 Les parcours de MOSAR

On trouvera figures 13 et 14 un ensemble de cheminements possibles avec MOSAR pour le module A et pour toute la méthode.

■ **Remarque** : le tableau B (appelé aussi grille 2) permet d'identifier les barrières de prévention et de protection. Le tableau C (appelé aussi grille 3) permet de s'assurer de la pérennité des barrières identifiées avec le tableau B (une forme de qualification de ces barrières). Le tableau D recense les barrières qu'il est possible de mettre sur les éléments primaires.

Ces trois tableaux sont développés et mis en œuvre dans l'article complémentaire *MOSAR – Cas industriel* [SE 4 061] ainsi que les grilles gravité \times probabilité ($G \times P$).

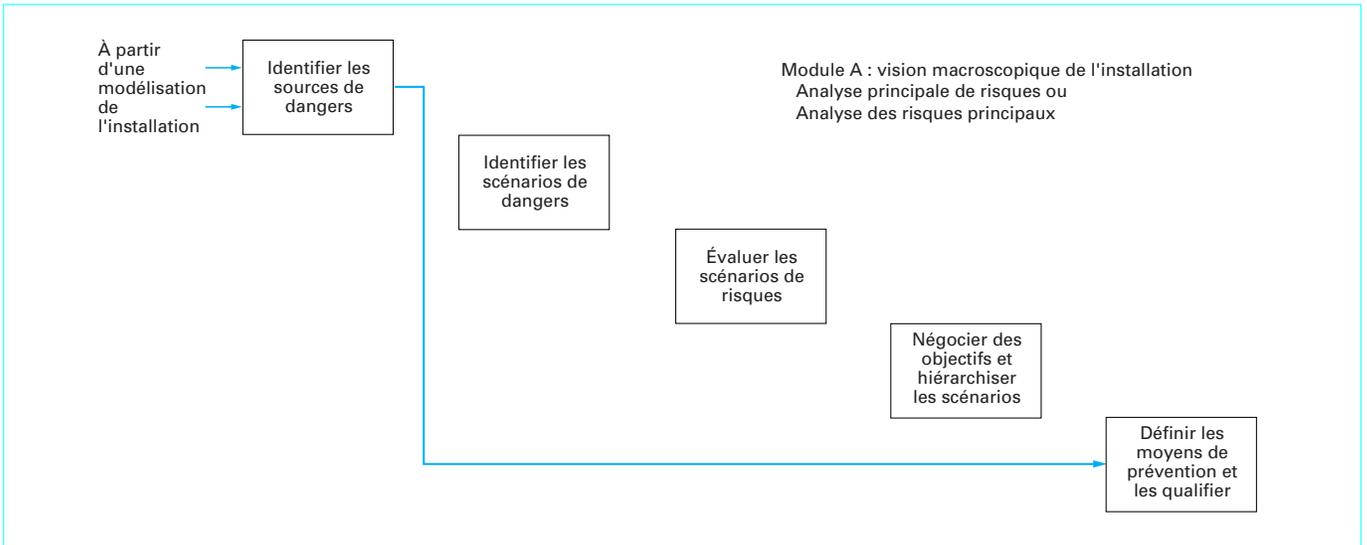


Figure 11 – Une utilisation très simple de MOSAR

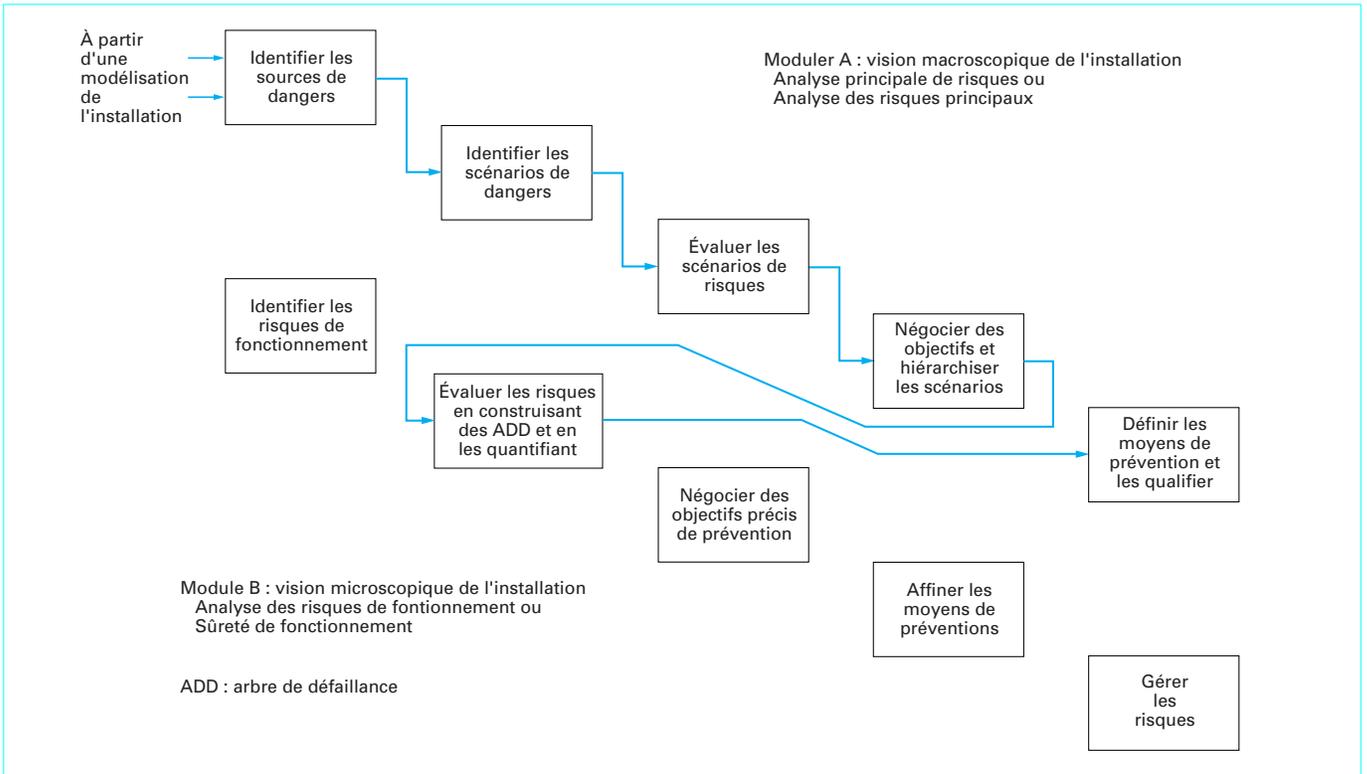


Figure 12 – Autre parcours simplifié de MOSAR

4.3 Genèse de scénarios dans l'analyse de risques d'un site industriel

La technique d'interaction des boîtes noires pour la genèse de scénarios peut être mise en œuvre dans le cas d'un site ou d'une

zone industrielle pour rechercher les scénarios d'interaction entre les ateliers, les installations d'un même établissement et divers établissements entre eux. Il s'agit donc d'un effet de « zoom » à différents niveaux avec mise en évidence des scénarios dominos comme le montre la figure 15.

Parution : octobre 2003 - Dernière validation : septembre 2020 - Ce document a été délivré pour le compte de 7200092269 - cerist // 193.194.76.5

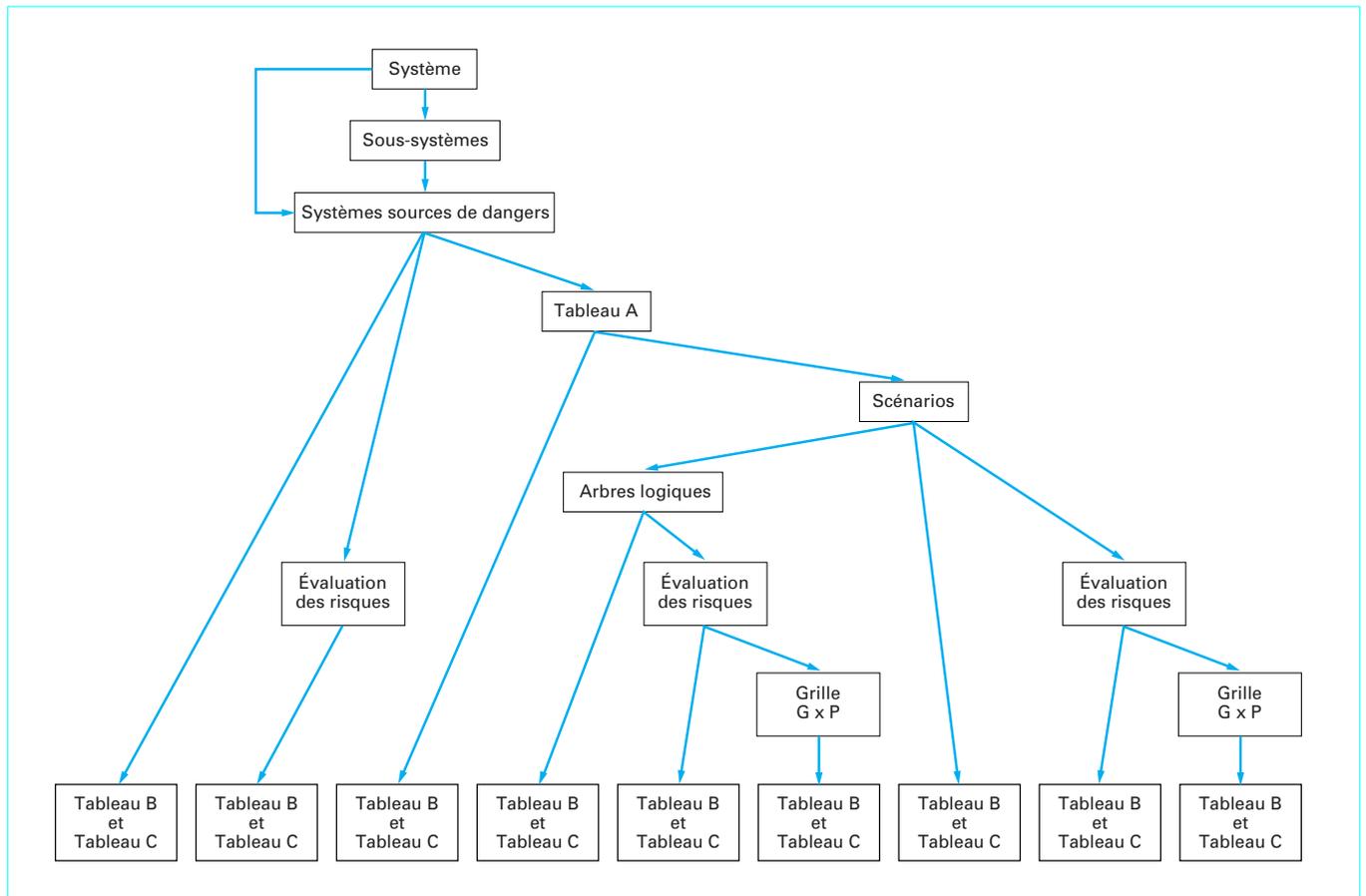


Figure 13 – Les cheminement possibles dans le module A de MOSAR

4.4 Extraits d'exemple d'analyse en conception d'une installation

On considère ici, à titre d'exemple le cas de l'application de la méthode MOSAR au niveau de la conception d'une installation nucléaire de type industriel.

On veut construire une unité d'irradiation d'œuvres d'art pour rendre ces dernières pratiquement imputrescibles. Pour cela un procédé a été mis au point il y a une trentaine d'années consistant à imprégner les œuvres à traiter (statues, sculptures en pierre ou en bois, planchers...) d'une résine monomère en solution dans un styrène, dans des cuves métalliques et sous pression d'azote. Les objets sont ensuite irradiés par un faisceau de rayonnements gamma produits par des sources radioactives de Cobalt 60 (^{60}Co). Cette irradiation provoque une polymérisation de la résine dans l'œuvre d'art, qui rend celle-ci pratiquement imputrescible.

Le projet prévoit donc (figure 16) :

- un atelier d'imprégnation avec ses cuves ;
- une piscine de stockage des sources en attendant leur utilisation (les sources sont stockées au fond de la piscine dont la hauteur d'eau assure la protection biologique contre le rayonnement des sources en absorbant celui-ci) ;
- une cellule d'irradiation avec hublot et télémanipulateurs ;
- un dispositif de transfert des sources depuis le fond de la piscine jusqu'à la cellule d'irradiation et un hall de manœuvre avec

un pont roulant qui sert notamment à manipuler les châteaux de plomb dans lesquels sont amenées les sources. Chaque local possède sa propre ventilation.

Le schéma de la figure 16 montre une première approche du projet avec sa décomposition en sous-systèmes au nombre de 8.

On donne à titre d'exemples quelques extraits de l'analyse.

Des scénarios et l'un des arbres logiques construits sont représentés figure 17.

À partir de cet arbre logique (figure 17c) sont par la suite, après négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios :

- identifiés les éléments importants pour la sûreté (EIS) ;
- recherchées les barrières de prévention qui sont tout de suite placées, à travers un tableau B spécifiquement construit, sous la forme de l'approche analyse de sûreté (barrières de pérennité des EIS, exigences définies...) dans la stratégie de défense en profondeur ;
- construit l'arbre de défaillances (ADD) « irradiation » après qu'aient été construits les ADD sur les dysfonctionnements élémentaires de l'arbre logique (dysfonctionnements techniques comme ceux du pont roulant faisant l'objet d'une AMDEC complète et ceux opérationnels comme ceux liés à la mise en œuvre du pont roulant) ;
- recherchées les barrières complémentaires permettant de neutraliser ces derniers dysfonctionnements ;
- qualifiées toutes les barrières.

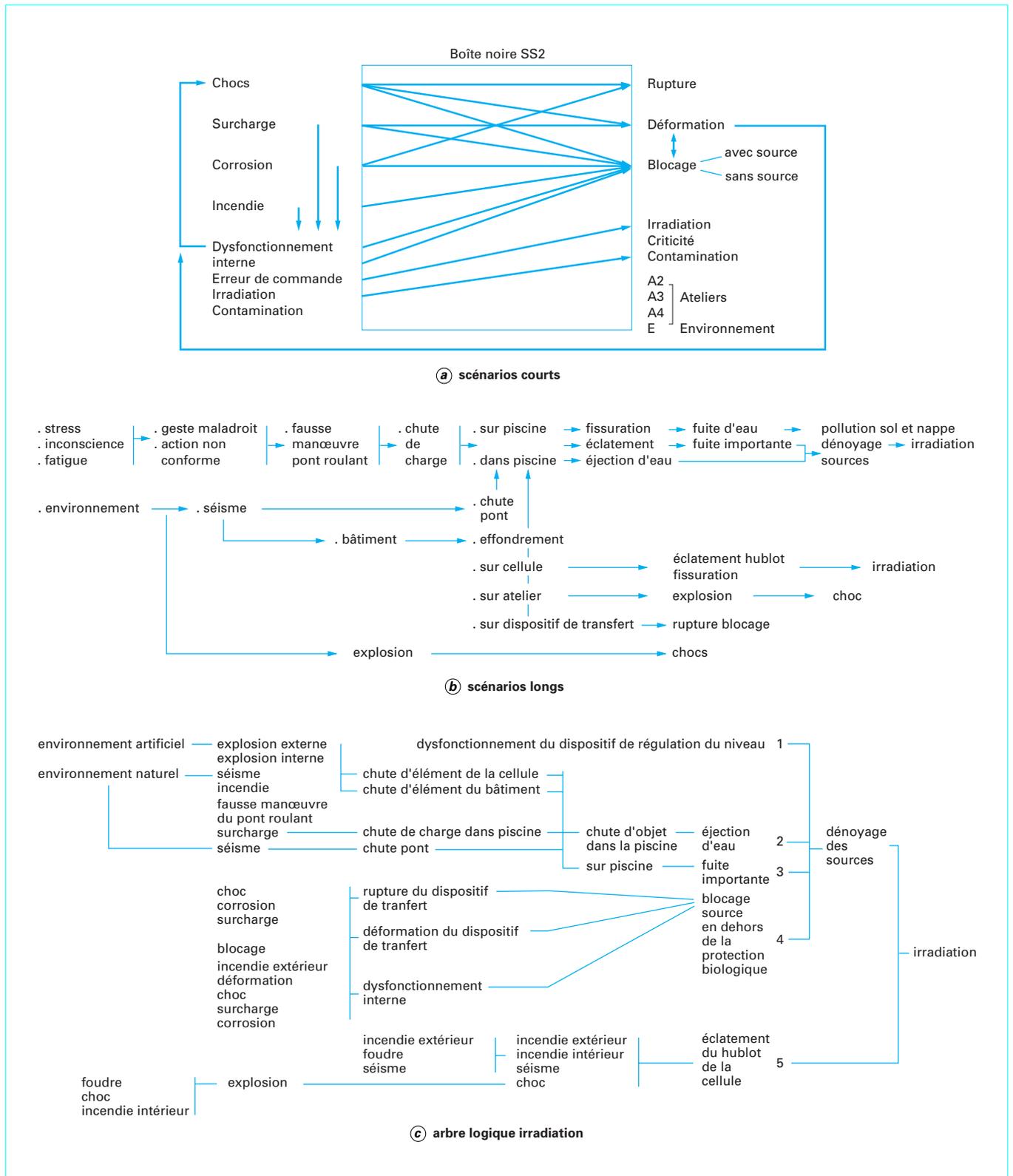


Figure 17 – Analyse des risques d’une installation d’irradiation d’œuvres d’art (cf. figure 16) : scénarios courts, longs et arbre logique

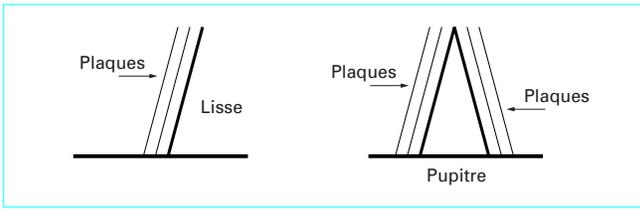


Figure 18 – Supports de verre plat

4.5 Extrait d'exemple d'analyse en diagnostic d'une installation existante

On étudie ici, à titre d'exemple, le cas d'une unité de fabrication de verre plat.

Cette unité fabrique du verre plat d'épaisseurs variant de 5 mm à 15 mm suivant la demande. Elle est très récente au moment de l'analyse et fonctionne depuis six mois.

Elle est constituée d'ateliers formant un bâtiment de 15 m de large et 600 m de long.

La silice est introduite à une extrémité par des silos et le verre sort sur un tapis roulant à l'autre extrémité où il défile à la vitesse de 1 m/s. Cette sortie se fait dans un hall. Les plaques de verre de plusieurs mètres, une fois découpées, sont saisies pendant leur déroulement par une machine de manutention à ventouses qui les redresse et les stocke sur des supports appelés **pupitres** ou **lisses** suivant leur forme (figure 18).

L'analyse a porté sur le hall de contrôle, découpe et d'expédition. Une dizaine de personnes y ont participé dont le directeur de l'usine et le médecin du travail.

Chacun se rend dans l'atelier avec la grille (encadré 1, page 8). Au retour, on constate que tout le monde n'a pas vu la même chose. Dans l'esprit des participants de l'usine les risques sont essentiellement mécaniques. Or il y a par exemple dans le hall une petite unité de traitement d'eau avec acide sulfurique et soude, ce que la grille 1 permet tout de suite d'identifier si on l'applique systématiquement et ce dont les participants n'avaient pas conscience.

Mais le plus intéressant apparaît lorsque l'on construit un arbre de défaillance (figure 19, page 14) sur un événement non souhaité identifié comme majeur : l'écrasement d'un opérateur par une chute de plaque de verre.

L'identification des barrières de neutralisation des événements primaires, que ce soient des barrières technologiques (BT) ou d'utilisation (BU), montre d'un simple coup d'œil lorsqu'elles sont listées (comme au tableau 1), qu'il y a peu de barrières technologiques (alors que dans l'esprit des participants l'usine étant très récente, tous les problèmes techniques sont bien pris en compte) et beaucoup de barrières d'utilisation. Autrement dit la sécurité repose avant tout sur les opérateurs sans que ceci ait participé d'un choix délibéré.

La question qu'il faut se poser alors est : sont-ils bien formés ?

La colonne « formation » du tableau B (cf. [SE 4 061]) montre tout de suite qu'il n'en est rien et donne en même temps les manques à combler pour y remédier.

5. Avantages de la méthode

5.1 La réponse aux besoins

La méthode ainsi décrite :

- répond à **une éthique** :
 - s'assurer qu'une installation a pris en compte les risques qu'elle peut générer. Pour cela, elle procède à une approche

déterministe complétée par une approche probabiliste dans la mesure où l'on a pu quantifier les probabilités de scénarios d'accidents majeurs mis en évidence,

- introduire une phase de **négoce** sur les objectifs à atteindre impliquant si possible tous les acteurs concernés et faciliter ainsi la communication à tous les niveaux ;
 - intègre la **réglementation** applicable mais va plus loin en identifiant des moyens de prévention et de protection pour des événements qui ne sont pas pris en compte par la réglementation ;
 - intègre le **retour d'expérience** dans la genèse de scénarios et dans la recherche de barrières permettant de les neutraliser ;
 - construit une forme de **démonstration** de la sécurité d'une installation qui permet d'établir une confiance aussi bien des acteurs internes que des acteurs externes ;
 - permet de disposer d'un **document de référence** qu'il est possible de tenir à jour en cas de modification et qui constitue un suivi de performance à travers l'assurance de la pérennité des barrières par leur qualification dans le temps ;
 - fait apparaître les modalités de **management** et d'organisation nécessaires pour le choix des barrières et l'assurance de leur pérennité ;
 - conduit tout naturellement à la **construction du POI** à partir des scénarios construits et retenus.

5.2 Exhaustivité

La grille des systèmes sources de danger d'une installation industrielle, ou grille 1 (cf. encadré 1, page 8), est stabilisée depuis une vingtaine d'années. Elle permet d'établir de manière exhaustive les sources de danger d'une installation. Elle reste cependant ouverte c'est-à-dire qu'il n'est pas du tout interdit de la modifier ou de la compléter si le besoin en apparaît. Il faut cependant garder à l'esprit qu'elle correspond à l'activité industrielle et qu'un travail dans une autre activité (urbaine, domestique...) nécessite une autre grille, ayant la même structure mais pas le même contenu.

La genèse de scénarios par la technique des boîtes noires permet d'obtenir une vision assez exhaustive de la variabilité de ces derniers, même et surtout si leur foisonnement est grand. L'identification des scénarios dimensionnants et des scénarios maximums physiquement possibles permet de réduire ce foisonnement.

La **recherche systématique des barrières** correspondant aux événements identifiés apporte aussi une bonne exhaustivité à la méthode.

5.3 Coordination des outils

On n'entre pas dans l'analyse directement avec des outils tels que l'AMDEC ou HAZOP ou les Arbres Logiques ce qui évite de travailler tout de suite dans le détail avec le risque de dispersion que cela entraîne. Ce n'est que dans le module B (cf. figure 2) que la **nécessité** de mettre en œuvre ces outils se fait sentir et l'on y arrive tout naturellement. On peut donc dire que la méthode assure une **coordination de ces outils** au bon moment de l'analyse. Ceci a aussi pour avantage de créer des **niveaux de l'analyse, du global au détail**, avec possibilité de s'arrêter à une profondeur préalablement choisie et donc de consacrer un temps donné à cette dernière. Le module A nécessite **quelques jours** d'analyse suivant la complexité de l'installation, tandis que le module B durera **plusieurs semaines voire plusieurs mois**.

5.4 Souplesse

Par ses différents parcours, la méthode est souple d'utilisation.

Il est possible de **choisir un parcours en fonction des objectifs à atteindre**. Si le déroulement complet de la méthode peut paraître *a priori* long, compliqué, voire fastidieux, cette adéquation parcours/objectifs permet de limiter cet inconvénient.

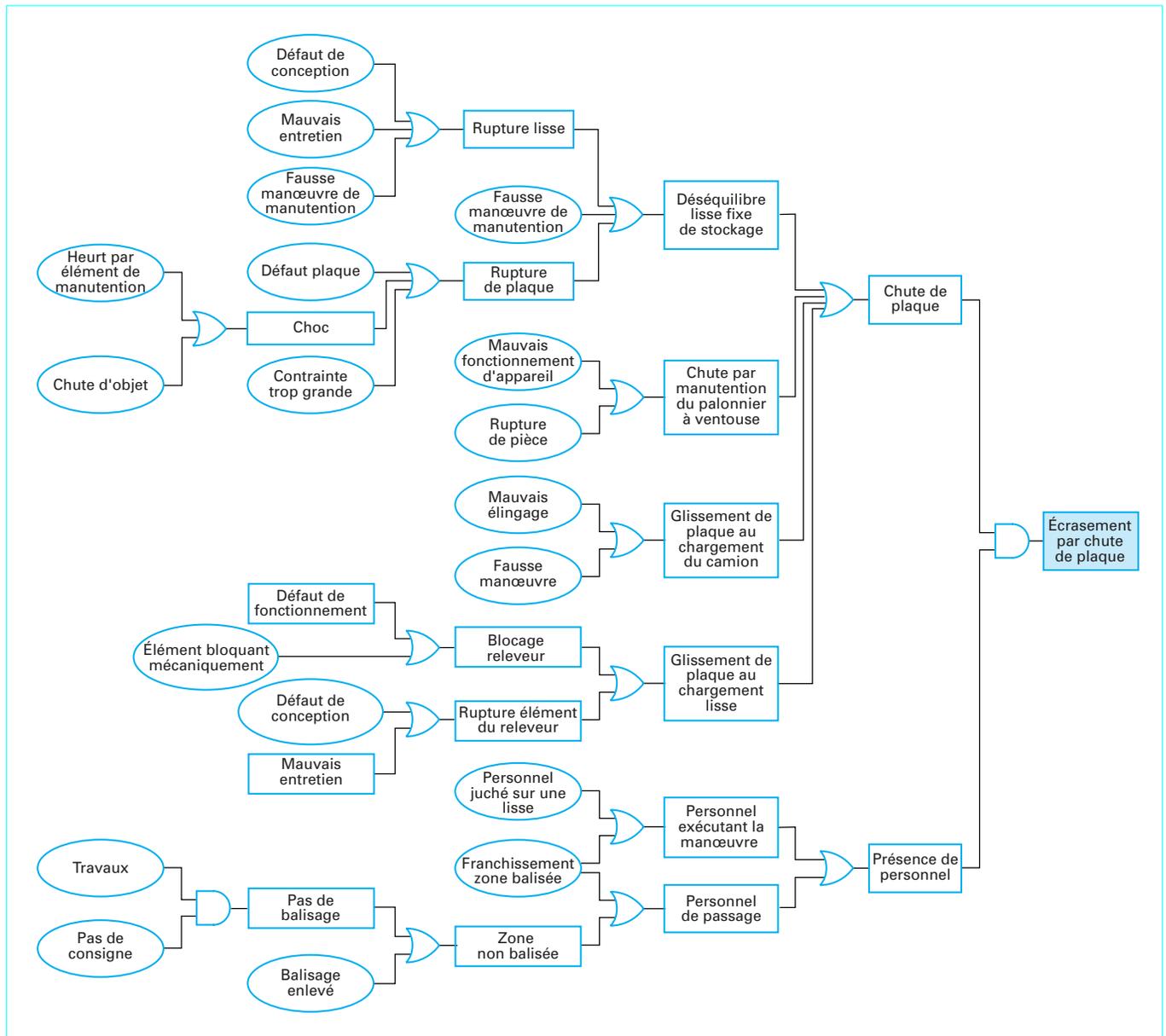


Figure 19 – Arbre de défaillances « écrasement par chute de plaque »

Il est aussi nécessaire d’avoir conscience que l’analyse de risques d’une installation industrielle est un **processus complexe** qui demande **méthode et temps**. Il est illusoire de penser pouvoir la réaliser en faisant appel à **des recettes** ou à des approches bricolées forcément réductrices et incohérentes.

5.5 Mise en œuvre en situation opérationnelle et pédagogique

■ Conception d’installation : le travail de bureau d’étude avec les futurs utilisateurs

La pratique de la méthode dans ces conditions est la solution idéale pour intégrer la maîtrise des risques dès la conception d’une

installation. Le caractère pédagogique que revêt une telle application permet la sensibilisation, voire la formation des acteurs, et notamment des futurs utilisateurs qui l’exploiteront.

■ Diagnostic d’une installation existante : le travail avec les opérateurs

Cette pratique permet de dresser le niveau de sécurité d’une installation en fonctionnement et de déterminer les améliorations à apporter pour accroître ce niveau, la rendre conforme à la réglementation, améliorer ses performances. Les opérateurs prennent conscience des risques et du pourquoi des contraintes de sécurité.

Il est aussi possible de pratiquer une telle approche sous forme **d’audit**.

Tableau 1 – Barrières sur les événements primaires

Événement primaire	Barrières technologiques (BT)	Barrières d'utilisation (BU)
Mauvais fonctionnement de l'appareil	Étude de sécurité de fonctionnement Sécurités de mise en sécurité	-
Rupture de pièce	Qualité de conception	Contrôle périodique
Défaut de conception	Qualité de conception	Contrôle de réception Contrôle périodique
Mauvais entretien	-	Vérification de la politique d'entretien Politique d'entretien
Fausse manœuvre de manutention	-	Formation du personnel Outils de cette formation
Défaut de plaque	Qualité du produit	Contrôle qualité Contrôle que ce contrôle est fait
Heurt par élément de manutention	Obstacle ?	Formation du personnel Contrôle de cette formation
Chute d'objet	Obstacle ?	Contrôle de la présence d'obstacle
Contrainte trop grande	Limitation du nombre de plaques	Consignes vérification de la présence consignes
Mauvais éclairage	-	Formation du personnel Contrôle de cette formation
Défaut de fonctionnement	Étude de sécurité de fonctionnement Sécurités de mise en sécurité	-
Éléments bloquant mécaniquement	Obstacle à la présence d'un élément	Consigne Formation du personnel
Personnel perché sur une lisse	Obstacle ?	Consigne Formation du personnel
Franchissement zone balisée	Obstacle ?	-
Pas de balisage	Obstacle ?	Balisage Formation du personnel Consignes
Travaux	-	Consignes Contrôle de présence de consignes
Pas de consignes	-	-

■ Formation initiale et formation continue

En formation initiale, la logique de la démarche s'inscrit bien dans la plupart des formations dispensées notamment dans l'enseignement supérieur. Les élèves adhèrent vite à un parcours organisé démontrant que même si ce n'est pas la seule façon d'opérer, une démarche rationnelle permet d'aller assez loin dans la prévention des risques. La mise en œuvre de leur imagination à différents stades de la méthode complète ce point de vue.

L'application de la grille 1 entraîne tout naturellement le développement de la **connaissance des différents types** de risques et des moyens de calcul et d'évaluation qui leur sont propres ainsi que des moyens de prévention associés.

Des travaux pratiques ou dirigés développés à partir de **cas réels**, neutralisés quant à leur origine, permettent de se heurter aux problèmes de terrain même si cela est limité par le fait qu'il n'est pas possible de travailler vraiment dans l'installation. Il est possible cependant, comme nous l'avons fait plusieurs fois, de travailler sur une installation appartenant à une unité d'enseignement ou de recherche (pilote, laboratoires, installation de démonstration...).

Une autre solution, pratiquée aussi avec l'IUT de Sécurité de Bordeaux, a consisté à faire travailler les élèves par petits groupes, sous le tutorat d'un enseignant et d'un représentant de l'installation, un jour par semaine pendant plusieurs mois. Les élèves ont ainsi aidé **l'entreprise à structurer son analyse de risques et à construire son POI**, à la grande surprise des responsables qui n'y croyaient pas au départ mais avaient accepté de jouer le jeu. Enfin, des applications multiples ont été faites à travers les **stages en entreprise** faits par les élèves.

■ Formation de formateurs

La structure de la méthode permet de dresser assez aisément des programmes de formation de formateurs.

Du vocabulaire aux concepts, des concepts aux modèles de la Science du Danger, des modèles aux outils et méthodes d'analyse de risques en passant par la connaissance des différents types de risques, le domaine est riche et structuré pour développer la connaissance qui lui est liée et l'appliquer dans des études de cas.

Références bibliographiques

- [1] LE MOIGNE (J.L.). – *Théorie du Système Général, théorie de la modélisation*. Éd. PUF, Paris (4^e édition) (1994).
- [2] *Actes des colloques cindyniques*. Institut Européen de Cindyniques (1992), (1994), (1996).
- [3] *Actes des assises internationales des formations universitaires et avancées dans le domaine des sciences et techniques du danger*. Université Bordeaux 1, IUT A, Département Hygiène, Sécurité, Environnement (1993).
- [4] NICOLET (J.L.), CARNINO (A.) et WANNER (J.C.). – *Catastrophes, non merci ! La prévention des risques technologiques et humains*. Ed. Masson, Paris (1989).
- [5] *L'État de l'art dans le domaine de la fiabilité humaine*. Ouvrage collectif, Institut de Sécurité de fonctionnement. Ed. Octarès Toulouse (1994).
- [6] VILLEMEUR (A.). – *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. Ed. Eyrolles (1988).
- [7] PERILHON (P.). – *Du risque à l'analyse de risques. Développement d'une méthode : MOSAR*. Document support de cours, à paraître sous forme d'ouvrage.
- [8] PERILHON (P.). – *Logiciel MADS-MOSAR, CD-Rom version 2.09*, Éditions Fox Média, 38 MEYLAN, (Logiciel d'apprentissage) (1999).
- [9] PERILHON (P.). – *L'analyse des risques - Méthode MOSAR*. Brochure HE - 54/96/35A EDF et INSTN CEA Grenoble, Éditions Prévention active (1996).