

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERINNE DEMOCRATIQUE ET POPLAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

-جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen

Faculté de Technologie



**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : **Génie Industriel**

Spécialité : Ingénierie de la production

Ingénierie des systèmes

**Par : SEMNAOUI Salah Eldine**

**BESSACI Fairouz**

**Sujet :**

**Analyse qualitative de fiabilité du système de production MPS500**

**« En utilisant la méthode de l'arbre de défaillance »**

Soutenu publiquement, le 10 / 06 / 2024, **devant le jury composé de :**

GUEZZEN Amine Hakim	MCB	Président
BESSENOUCI Hakim Nadhir	MAA	Examineur
MKEDDER Mohammed Amine	Ingénieur R & D du MELT	Examineur
HADDRI Abdelkader	MCB	Encadreur

**Année universitaire 2023-2024**

# **Remerciment**

*Pour chaque action, il y a une conséquence, et pour chaque conséquence, il y a une grâce d'ALLAH. Tout d'abord, nous remercions ALLAH Tout-Puissant pour la force qu'Il nous a donnée pour accomplir ce travail.*

*Deuxièmement, nous remercions M. Hadri Abdelkader pour sa supervision tout au long de cette période en nous guidant et en nous conseillant.*

*Nous remercions également tous les enseignants de la branche de génie industriel, nos collègues, et tous ceux qui ont contribué du personnel administratif et éducatif de cette branche à la réalisation de notre objectif en accomplissant ce travail.*

*Enfin, nous remercions également nos familles qui ont été un facteur important dans notre réussite."*

# ***Dédicace***

*Je dédie ce travail à mon père KOURAK et ma chère mère LHADJA*

*Bien-aimé, qui ont été les plus importants et influents  
dans mon succès. Leur objectif était que j'atteigne où je suis  
aujourd'hui, et je les remercie énormément et prie pour leur bien-être  
et leur longévité.*

*À ma sœur Fatima, à mes frères Abdel Razeck et Mohammed. À  
toute la famille SEMNAOUI et CHOULACK*

*A tous mes amis, particulièrement Abdelkrim, Taher, Nedjmo,  
Abdelbasset et Amine.*

*A mon binôme BESSACI Fairouz*

# ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :*

*À celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir, à la source  
d'amour incessible, à la mère des sentiments fragiles qui ma bénie  
par ces prières : Kallech Mama ma mère*

*À mon support dans ma vie, qui m'a appris m'a supporté et  
m'a dirigé vers la gloire : Abd El kader mon père*

*À la source du support et de motivation mes chères sœurs  
Razika et Yasmin, et mes frères Zakaria, Adam et Ali et sa  
femme Assia et sa petite princesse Souhilla*

*A toutes personnes de ma grande famille*

*A toutes les amies qui portent mes meilleurs souvenirs et tous  
mes sentiments spécialement mes meilleurs : Attia Amel et  
Bendaddouch Sabrina*

*Sans oublier mon Binôme Semnaoui Salah Eldin*

*A toutes mes connaissances*

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>9</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>12</b>
<b>I.1 Système de production</b> .....	<b>12</b>
I.1.1 Définition.....	12
I.1.2 Structure d'un système industriel automatisée : [3].....	12
I.1.2.1 La Partie opérative :.....	13
I.1.2.2 La Partie commande :.....	13
I.1.3 Présentation du système MPS 500.....	13
I.1.4 Composante du système MPS500 : [10].....	14
I.1.4.1 Sous station de distribution et contrôle :.....	14
I.1.4.2 Sous station de distribution :.....	14
I.1.4.3 Sous station de contrôle : [11].....	15
I.1.4.4 Stations de productions et manipulation : [12].....	15
I.1.4.4.2 Sous Station de manipulation :.....	15
I.1.4.5 Station caméra : [13].....	16
I.1.4.6 Station reboot et assemblage.....	16
I.1.4.6.2 Station d'assemblage :.....	17
I.1.4.7 Station stockage : [11].....	17
I.1.4.8 Station Livraison : [8].....	18
I.1.5 Systèmes de communication du MPS 500 : [09].....	19
I.1.5.1 Syslink :.....	19
I.1.5.2 ASI :.....	19
I.1.5.3 Profibus :.....	19
I.1.5.4 Profinet :.....	20
I.1.6 Parties principales d'un système de production :.....	20
I.1.6.2 Partie opérative :.....	22
<b>I.2 L'analyse fonctionnelle de système :</b> .....	<b>24</b>
I.2.1 Définition :.....	24
I.2.2 Principes de l'Analyse Fonctionnelle :.....	25
I.2.3 La méthode de FAST : [22].....	26
I.2.3.1 Définition :.....	26
I.2.3.2 Application de la méthode FAST sur le système MPS 500 :.....	26
I.2.3.3 Le diagramme de FAST :.....	26
I.2.3.4 Station de distribution :.....	27
I.2.3.5 Station de production :.....	28
I.2.3.6 Station de caméra :.....	29
I.2.3.7 Station de stockage :.....	29
I.2.3.8 Station de livraison :.....	30
<b>Conclusion :</b> .....	<b>31</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>33</b>
<b>II.1 Généralité sur la sûreté de fonctionnement :</b> .....	<b>33</b>
II.1.1 Définition :.....	33
II.1.2 Les notions fondamentales de la sûreté de fonctionnement :.....	33
<b>II.2 Les méthodes de la sûreté du fonctionnement :</b> .....	<b>34</b>
II.2.2 La méthode de Chaine de Markov :.....	37
II.2.3 La méthode de Réseau de Petri :.....	39
II.2.4 La méthode Arbre de défaillance :.....	41

<b>Conclusion :</b> .....	<b>50</b>
<b>Introduction :</b> .....	<b>52</b>
<b>III.1 Démarche de l'application de la méthode utilisée :</b> .....	<b>52</b>
Identification des événements principaux : .....	52
III.1.2 Arbre de défaillance pour le premier événement (Pièce non usiné) : .....	53
III.1.2.2 Identification des causes des deux événements intermédiaires .....	54
a) L'évènement "Problème en sous station Handling" : .....	54
b) L'évènement "problème en sous station de production" : .....	56
Figure III.2 : L'évènement "problème en sous station de production" .....	57
III.1.2.3 Réduction de l'arbre du premier événement .....	57
III.1.2.4 Analyse de l'arbre défaillance de premier l'évènement indésirable .....	59
III.1.3 Arbre de défaillance pour le deuxième événement (pièce mauvaise qualité) .....	60
III.1.3.1 Etablissement les causes immédiates de premiers niveaux.....	60
III.1.3.2 Identification des causes des deux événements principaux.....	60
III.1.3.3 Réduction de l'arbre : .....	64
III.1.3.4 Analyse de l'arbre défaillance de deuxième l'évènement indésirable : .....	65
III.1.4 Arbre de défaillance pour le troisième événement (Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrectes) : .....	65
III.1.4.1 Etablissement les causes immédiates de premiers niveaux : .....	65
III.1.4.2 Identification des causes des trois événements principaux : .....	66
III.1.4.3 Réduction de l'arbre : .....	73
III.1.4.4 Analyse de l'arbre défaillance de troisième l'évènement indésirable : .....	74
<b>III.2 Proposition des améliorations sur la station de production :</b> .....	<b>75</b>
<b>III.3 Les améliorations et les actions correctives proposées sur la station delivraison :</b> .....	<b>76</b>
Améliorations du Système de Détection : .....	76
Optimisation du Fonctionnement des Stoppeurs et Barrages : .....	76
Surveillance et Contrôle Qualité : .....	76
<b>Conclusion :</b> .....	<b>77</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>78</b>
<b>Références bibliographiques :</b> .....	<b>79</b>

## Liste des tableaux

Tableau II-1: Symboles des événements dans l'AdD [40] .....	42
Tableau II-2: Symboles des portes logiques dans l'AdD .....	43
Tableau II-3: Symboles de transfert sous l'AdD [39] .....	44
Tableau III-1: Les codes identifiés pour chaque événement .....	58
Tableau III-2: Les codes identifiés pour chaque événement .....	64
Tableau III-3: Les codes identifiés pour chaque événement .....	73

## Liste des figures

Figure I-1: Structure d'un système de production [2] .....	12
Figure I-2 : Structure d'un système automatisé [4] .....	13
Figure I-3: Système MPS 500 .....	14
Figure I-4 : Station de production et manipulation .....	16
Figure I-5 : Station caméra .....	16
Figure I-6: Station reboot et assemblage .....	17
Figure I-7: Station stockage .....	18
Figure I.I-8: Station Livraison .....	18
Figure I.I-9: Syslink .....	19
Figure I.I-10: ASI .....	19
Figure I.I-11: Profibus .....	20
Figure I.I-12: Profinet .....	20
Figure I.I-13: Pupitre de commande .....	21
Figure I.I-14: un type de pré-actionneur .....	22
Figure I.I-15: un type d'actionneur .....	23
Figure I-16: Capteur .....	23
Figure II.II-1: Exemple chaine de Markov pour un système d'un seul composent .....	38
Figure II-2    Figure II-3    Figure II-4 .....	39
Figure II-5 réseau de pétri .....	40
Figure II-6: Exemple d'un arbre des défaillances .....	46
Figure II-7: Exemple d'un arbre de défaillance .....	47
Figure III-1: les causes immédiates de premier évènement .....	54
Figure III-2: présente l'arbre de défaillance qui englobe l'ensemble des causes de l'évènement « Problème en sous station Handling » .....	55
Figure III-3: L'arbre réduit du premier évènement .....	59
Figure III-4: Les causes immédiates de premiers niveaux .....	60
Figure III-5: L'évènement "pièce mal a positionné" .....	62
Figure III-6: L'évènement "problème fonctionnelle dans la perceuse" .....	63
Figure III-7: L'arbre réduit de deuxième évènement .....	65
Figure III-8: les causes immédiates de premier niveau .....	66
Figure III-9: L'évènement "pièces rouges placées dans un emplacement incorrect" .....	68
Figure III-10: L'évènement "pièces métallique placées dans un emplacement incorrect" .....	70
Figure III-11: L'évènement "pièces noires placées dans un emplacement incorrect" .....	72
Figure III-12: L'arbre réduit de deuxième évènement .....	74

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

Dans le contexte industriel en constante évolution, la fiabilité des systèmes de production automatisés revêt une importance croissante. Les technologies modernes étant de plus en plus complexes, une approche analytique rigoureuse est essentielle pour garantir leur bon fonctionnement et réduire les risques de dysfonctionnement.

Notre projet de fin d'études se focalise sur l'évaluation qualitative de la fiabilité du système de production MPS 500, en utilisant l'Arbre de Défaillances (AdD) comme méthode d'analyse. Cette approche méthodique nous permettra de plonger en profondeur dans les caractéristiques et les potentialités du système MPS 500, tout en identifiant les défis susceptibles d'entraver son efficacité opérationnelle.

Le choix de ce sujet découle de la reconnaissance de l'impact significatif que les défaillances peuvent avoir sur les performances, la sécurité et les coûts de maintenance du système MP500. Notre objectif principal est donc de répondre à la question suivante : comment pouvons-nous garantir une analyse approfondie de la fiabilité de production du système MP500 ?

Pour atteindre cet objectif, notre projet se donne plusieurs missions claires. Tout d'abord, nous chercherons à identifier les principaux déterminants de la fiabilité de production du système MP500. Ensuite, nous mettrons en œuvre l'Arbre de Défaillances comme outil principal d'analyse pour évaluer ces facteurs. Cette méthode a été sélectionnée pour sa capacité à modéliser de manière structurée les causes potentielles de défaillance, fournissant ainsi une base solide pour une analyse qualitative approfondie.

À travers cette étude, nous visons à fournir des découvertes éclair précieuses pour optimiser la fiabilité et les performances opérationnelles du système MPS 500, contribuant ainsi à renforcer la compétitivité et la durabilité des processus de production industrielle.

Dans le premier chapitre de notre projet, nous allons explorer le fonctionnement du système MPS500. Nous commencerons par présenter le système de manière détaillée, en mettant en avant ses parties et comment elles interagissent entre elles. Ensuite, nous réaliserons une analyse approfondie des différentes fonctions du système en utilisant la méthode FAST (Functional Analysis System Technique). Cette approche nous aidera à décrire en détail comment chaque élément du système contribue à son bon fonctionnement. L'objectif principal de ce chapitre est de poser des bases solides pour notre étude, fournissant ainsi les informations nécessaires pour évaluer avec précision la fiabilité de production du système MPS500.

Dans le deuxième chapitre de notre projet, nous nous pencherons sur la sûreté de fonctionnement, un aspect crucial pour assurer la fiabilité du système MPS500. Nous expliquerons les concepts clés de la sûreté de fonctionnement, mettant en lumière son importance dans un contexte industriel. En outre, nous présenterons différentes méthodes de sûreté de fonctionnement (SDF) utilisées dans l'industrie. Nous justifierons spécifiquement notre choix d'utiliser l'Arbre de Défaillance parmi ces méthodes SDF, en expliquant comment cette approche nous permettra de modéliser de manière précise les scénarios de défaillance du

ystème MPS500. L'objectif principal de ce chapitre est de fournir une compréhension des principes de sûreté de fonctionnement et de justifier notre choix méthodologique pour la suite de l'étude

Dans le troisième chapitre de notre projet, nous nous concentrerons sur la construction de l'Arbre de Défaillance pour le système MPS500. Nous analyserons qualitativement les conséquences des défaillances, en examinant comment chaque défaillance potentielle peut impacter le bon fonctionnement du système. Ensuite, nous comparerons nos résultats avec d'autres études similaires déjà réalisées, afin de mettre en évidence les similitudes et les différences. Enfin, nous fournirons des suggestions pour des pistes futures, suggérant des améliorations possibles pour renforcer la fiabilité de production du système MPS500.

# **Chapitre I : Analyse Fonctionnelle du Système MPS 500**

## I. Introduction

Ce chapitre se concentre sur une analyse fonctionnelle détaillée du système MPS 500, jetant ainsi les bases nécessaires à l'évaluation de sa fiabilité via l'arbre de défaillance. L'analyse fonctionnelle est une méthode systématique qui permet de comprendre les fonctions d'un système et leurs interactions, en identifiant les éléments clés et les relations logiques entre eux. Dans le cas du système MPS 500, cette approche vise à décomposer le système en sous-systèmes et à identifier les fonctions essentielles pour son bon fonctionnement. Cette démarche est essentielle pour comprendre comment les différents éléments du système interagissent et comment ils contribuent à l'accomplissement des objectifs du système. En fin de compte, l'analyse fonctionnelle du système MPS 500 fournira une compréhension approfondie de son fonctionnement et des interactions entre ses différents éléments, ce qui sera essentiel pour l'évaluation de sa fiabilité et la mise en œuvre d'améliorations ciblées.

### I.1 Système de production

#### I.1.1 Définition

Un système de production peut être défini comme un ensemble de ressources qui permettent la conversion des matières premières en produits finis. Les équipements (machines, outils, transport, etc.), les ressources humaines qui assurent le bon déroulement du processus de transformation et les produits à différentes étapes de fabrication (matières premières, produits semi-finis) sont les quatre catégories principales de ces ressources. Il existe des stocks (produits finis et semi-finis) et des produits finis. [1]

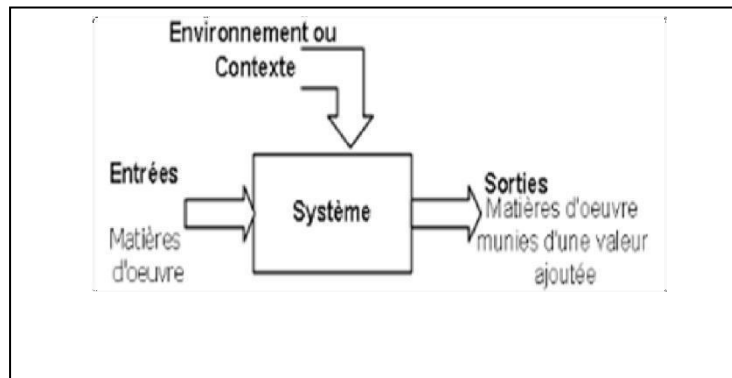


Figure I-1: Structure d'un système de production [2]

#### I.1.2 Structure d'un système industriel automatisée : [3]

Un système est qualifié d'automatisé lorsqu'il peut passer d'une condition initiale à une condition finale sans nécessiter d'intervention humaine, et que ce processus se répète de manière prévisible. Un système automatisé exécute différentes actions désignées sous le nom de "tâches". Il effectue une série d'opérations, également appelée "cycle", débutant d'un état initial pour aboutir à un état final.

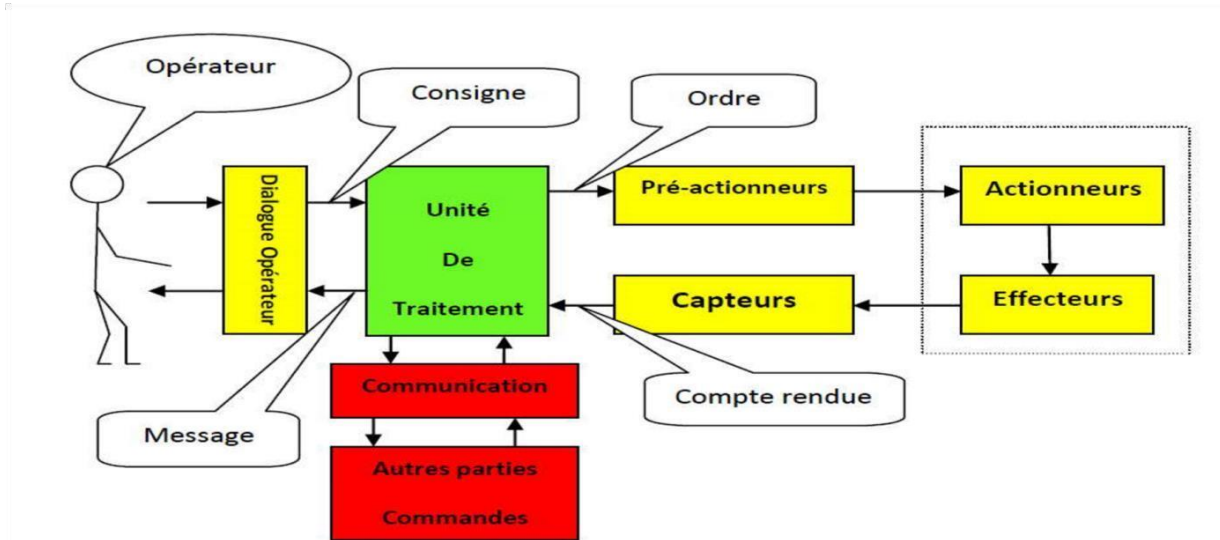


Figure I-2 : Structure d'un système automatisé [4]

Dans un système automatisé on distingue deux parties principales ; la partie opérative et la partie commande.

### I.1.2.1 La Partie opérative :

La partie opérative d'un système exécute les instructions de la partie commande en utilisant des actionneurs. Elle est équipée de capteurs pour collecter des données, communique avec la partie commande en recevant des messages et en envoyant des consignes. Les pré-actionneurs, tels que les contacteurs pour les moteurs électriques et les distributeurs pour les vérins pneumatiques, sont chargés de distribuer l'énergie aux actionneurs sur demande de la partie commande.

### I.1.2.2 La Partie commande :

La partie commande agit comme le cerveau du système, contrôlant la partie opérative en recevant des données des capteurs, puis en les transmettant aux pré-actionneurs et actionneurs de cette même partie opérative. Elle est généralement un ordinateur ou un automate programmable utilisé dans l'industrie pour gérer le fonctionnement du système. [5] [6] [7]

## I.1.3 Présentation du système MPS 500

Le système MPS\_FMS 500, qui signifie Modular Production System - flexible manufacturing system, tire son nom du chiffre 500 en raison de la disposition actuelle autour du convoyeur. Dans ce système, le convoyeur alimente différentes stations avec des pièces cylindriques à l'aide de palettes correctement orientées. La première station est la station de distribution, agissant comme un dispositif d'alimentation. Le corps du vérin est dirigé vers la station de distribution, transmettant les pièces à la station de contrôle. Après le contrôle, la station d'usinage effectue un usinage symbolique simulant une opération de perçage.

Ensuite, la station de manipulation prend en charge le transport vers le poste suivant. Un système vidéo vérifie la qualité de la pièce destinée à la station d'assemblage robotisé, où un robot industriel automatisé est utilisé. Les pièces sont stockées temporairement dans la station

magasin de grande hauteur avant d'être expédiées. La station de manipulation transfère ensuite les produits du convoyeur à la station de tri, où ils sont triés et préparés pour l'expédition.

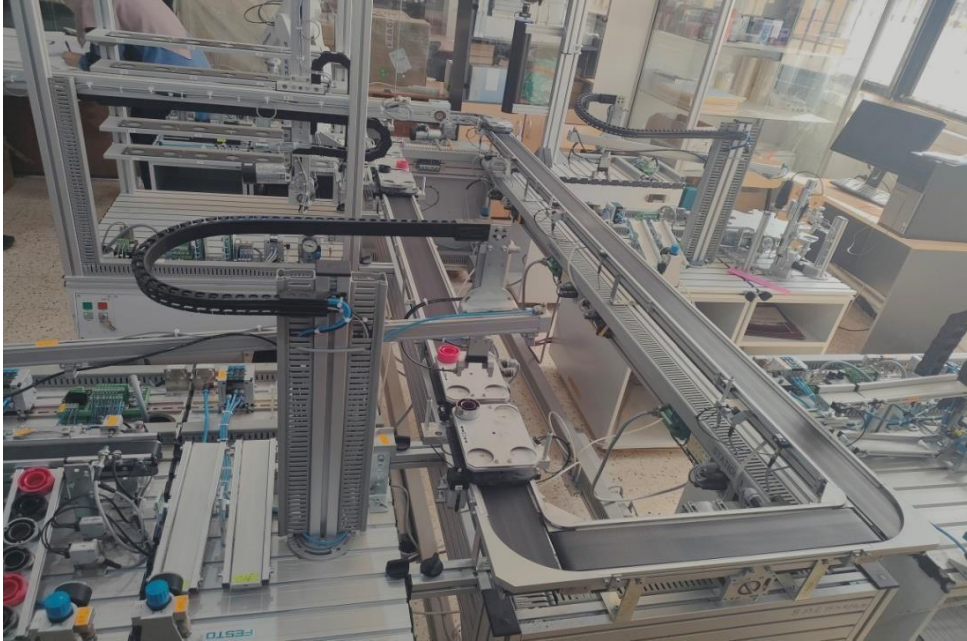


Figure I-3: Système MPS 500

#### **I.1.4 Composante du système MPS500 : [10]**

Le MPS 500 est constitué de plusieurs stations individuelles qui peuvent être reliées entre elles pour former un réseau de production. Chaque station remplit une fonction spécifique et définie au sein du processus de production, comme une station de tri, une station de montage, une station de contrôle de qualité, etc.

Chaque station est pourvue de composants pneumatiques et électriques tels que des actionneurs, des capteurs, des valves, des contrôleurs et des interfaces de communication. Ces éléments sont utilisés pour créer des systèmes automatisés où les matières premières sont transformées en produits finis au cours d'un flux de production.

##### **I.1.4.1 Sous station de distribution et contrôle :**

C'est la première station du système MPS500-FMS. Cette station est distinguée des deux stations suivantes :

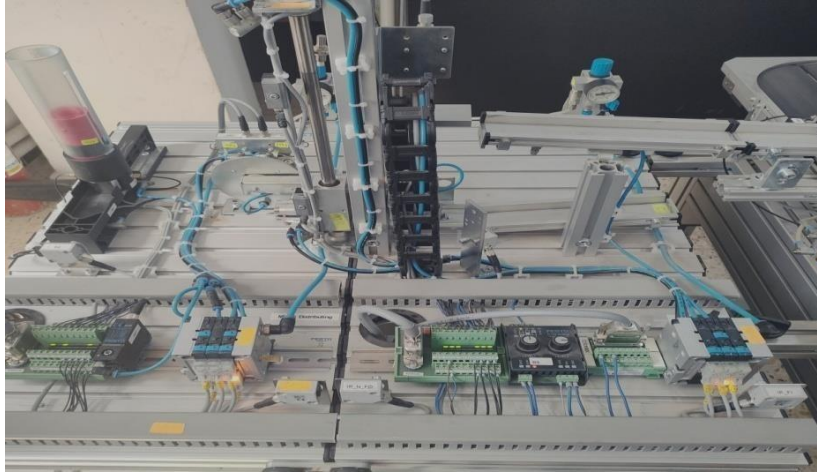
##### **I.1.4.2 Sous station de distribution :**

La station s'occupe de séparer les pièces. Le module de magasinage à empilage peut contenir jusqu'à 8 pièces maximum. Un vérin éjecte les pièces une par une. Ensuite, le module de transport utilise une ventouse pour saisir chaque pièce éjectée. Le bras

pivotant du module de transport, contrôlé par un vérin oscillant, déplace la pièce jusqu'au point de transfert de la station suivante.

#### **I.1.4.3 Sous station de contrôle : [11]**

Cette station permet de tester la reconnaissance des matériaux et le contrôle de la qualité des pièces à usiner afin à différencier ces pièces. La station de contrôle est relié directement au système de transports où des pièces conformes acheminent vers la station voisine par contre les pièces non conformes sont rebutées via une glissière spécifique.



**Figure I.4 : Station distribution et contrôle**

#### **I.1.4.4 Stations de productions et manipulation : [12]**

##### **I.1.4.4.1 Sous Station de production :**

La sous-station de production est dotée d'un système de manutention à deux axes flexibles, qui fonctionne comme un robot cartésien se déplaçant le long des axes verticaux et horizontaux

. Ce système est équipé de plusieurs éléments clés pour assurer son fonctionnement efficace, notamment un capteur optique de proximité pour détecter la présence d'une pièce, des vérins pneumatiques pour maintenir les pinces ouvertes et effectuer le mouvement vertical, ainsi que des moteurs pour déplacer le long de l'axe horizontal

. De plus, des capteurs électromagnétiques sont utilisés pour limiter les déplacements du système de manutention et contrôler sa position précise.

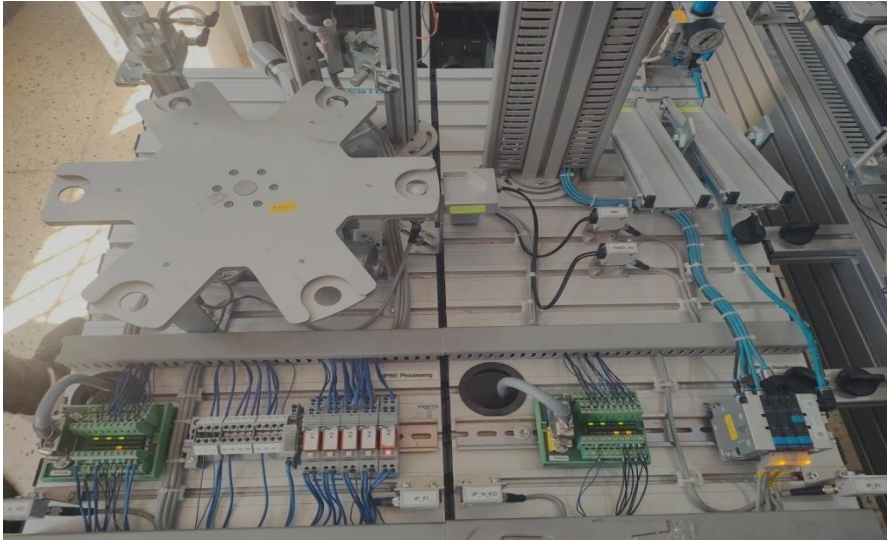
##### **I.1.4.4.2 Sous Station de manipulation :**

La sous-station de manipulation est représentée par un plateau d'indexation qui transfère les pièces pour deux tâches essentielles : le contrôle et le perçage.

. Ce plateau dispose de six emplacements pour empiler les pièces et est contrôlé par un moteur qui assure la rotation du plateau.

. Une table rotative est équipée de capteurs capacitifs de position pour indiquer la présence de la pièce à différentes positions clés.

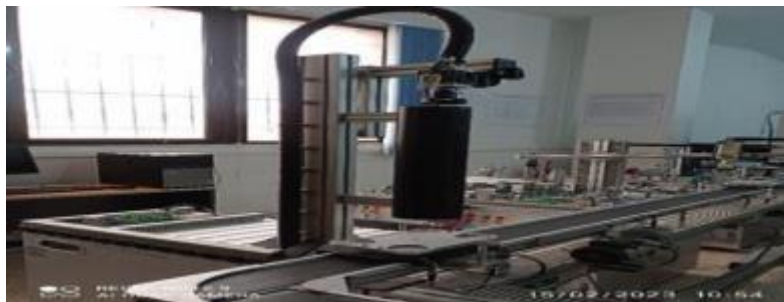
. Un actionneur électro-aimant travaille en tandem avec la perceuse pour fixer la pièce en dessous de la perceuse, et une machine effectue le mouvement vertical de la perceuse, limitée par des capteurs de fin de course électromécaniques pour garantir une précision optimale.



**Figure I-4 : Station de production et manipulation**

#### **I.1.4.5 Station caméra : [13]**

Avant d'assembler les pièces usinées avec les autres éléments du produit final, une caméra est employée pour examiner la qualité de ces pièces. Cette étape, appelée poste d'assurance qualité ou point de contrôle de la conformité, est cruciale pour garantir la conformité du produit final. Elle permet d'obtenir des informations et des données essentielles assurant l'alignement du produit final et sa conformité aux normes de qualité requises.



**Figure I-5 : Station caméra**

#### **I.1.4.6 Station reboot et assemblage**

##### **I.1.4.6.1 Station reboot :**

La station robotisée est en mesure de distinguer les différents types de pièces insérées sur sa rampe (noires, non noires) et de les transporter avec précision vers le dispositif de retenue d'assemblage. Ce dispositif de retenue est également équipé d'un capteur pour détecter l'orientation des pièces. Le robot trie les pièces depuis le point de préhension et les achemine vers différentes zones de stockage ou vers le poste suivant, permettant ainsi l'assemblage des

pièces. La station d'assemblage travaille en collaboration avec ce processus pour mener à bien l'assemblage final.

#### **I.1.4.6.2 Station d'assemblage :**

La station d'assemblage vient en complément de la station du robot. Elle fournit les composants cylindriques nécessaires au processus d'assemblage. Un vérin à double effet extrait le stock du cylindre de l'entrepôt, où les pistons sont disposés sur une palette. Ensuite, un vérin à double effet pousse le ressort hors de l'entrepôt.



**Figure I-6: Station reboot et assemblage**

#### **I.1.4.7 Station stockage : [11]**

La station de stockage a pour rôle de reconnaître la couleur des pièces et de les disposer à six niveaux sur deux profondeurs, offrant ainsi une capacité de stockage maximale de 48 pièces. Pour ce faire, une combinaison de détecteurs identifie la couleur du produit sur la glissière de réception des pièces, puis le positionne à l'un des six niveaux de stockage. Un manipulateur cartésien, contrôlé par des moteurs pas à pas et des fonctions robotiques, est utilisé à cet effet.

La pièce est saisie de son support initial par une pince pneumatique activée par un moteur pas à pas, qui la place ensuite au niveau de stockage souhaité en utilisant un axe à vis. Une programmation appropriée permet de positionner le dispositif de stockage au début (déstockage), à la fin (stockage) ou sur la ligne de production (stockage temporaire). De plus, le côté des produits sortants est également équipé d'une glissière.



Figure I-7: Station stockage

#### I.1.4.8 Station Livraison : [8]

Après avoir démarré le système en appuyant d'abord sur le bouton "reset" puis sur "Start", notre station commence son processus. Dans cet état initial, la pince est ouverte, détectée par le capteur 1B1, et le vérin de levage est en position. Lorsqu'une pièce à usiner (Rouge, noir ou métallique) arrive sur la palette, elle est repérée par le capteur 60B3. Ensuite, la pince la déplace et la place sur le convoyeur de la station de tri. Le capteur Av détecte la présence de pièces sur le convoyeur M1, déclenchant le processus de détection de la couleur noire par le capteur B3 et de la matière métallique par le capteur B2. Le tri des pièces selon leurs couleurs et matières est effectué par le stoppeur, le barrage et les dériviations dans les glissières. Si l'une des glissières se remplit, le système s'arrête.



Figure I.1-8: Station Livraison

## I.1.5 Systèmes de communication du MPS 500 : [09]

### I.1.5.1 Syslink :

Pour connecter les interfaces SysLink de l'API d'un EduTrainer au module de connexion universel numérique et pour connecter l'EasyPort aux bornes d'E/S d'un API.



Figure I.I-9: Syslink

### I.1.5.2 ASI :

AS-Interface (AS-i) est une interface intelligente conçue pour les actionneurs et les capteurs. C'est un système de bus ingénieux pour le niveau du terrain qui simplifie de manière inégalée la connexion entre tous les capteurs et actionneurs du terrain et l'automate de niveau supérieur de manière flexible et efficace.

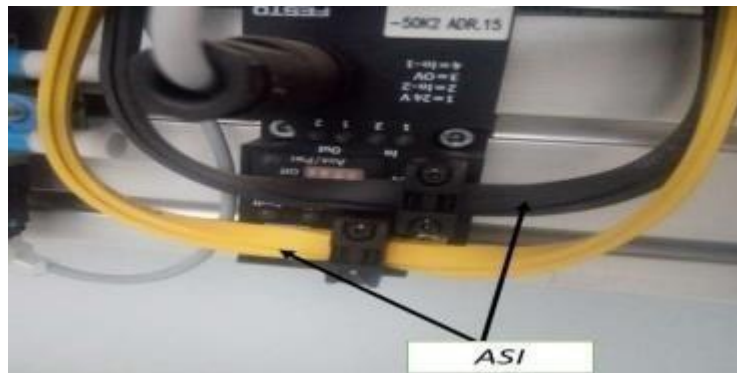


Figure I.I-10: ASI

### I.1.5.3 Profibus :

PROFIBUS est utilisé pour la communication dans les processus et sur le terrain, permettant la transmission de données entre des appareils de terrain de différents fabricants conformément aux normes CEI 61158/61784.

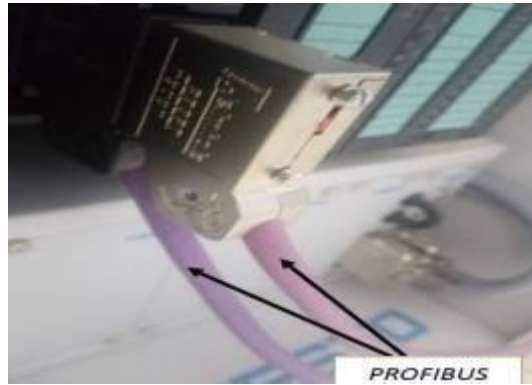


Figure I.I-11: Profibus

#### I.1.5.4 Profinet :

PROFINET est un standard industriel d'Ethernet ouvert conçu pour l'automatisation. Il repose sur Industrial Ethernet en temps réel et utilise les protocoles TCP/IP ou les normes informatiques. PROFINET facilite l'intégration fluide des bus de terrain. Festo utilise les deux types de connecteurs Profinet, RJ45 et CAT 5.

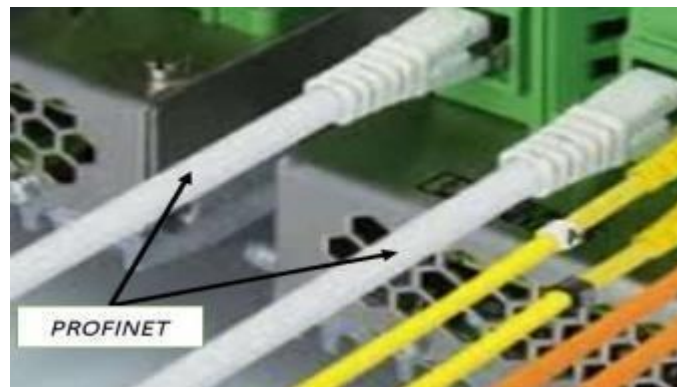


Figure II-12: Profinet

#### I.1.6 Parties principales d'un système de production :

Un système de production automatique est principalement constitué d'un ensemble d'équipements organisés pour accomplir diverses missions au sein d'un processus industriel, suivant des objectifs économiques et techniques.

Ces équipements sont connectés de manière à constituer une unité logique capable d'accomplir des tâches de production spécifiques sans nécessiter d'intervention humaine.

Un système automatisé se compose principalement de deux parties distinctes : la partie opérative et la partie commande.

##### I.1.6.1 Partie commande : [14]

La partie commande a pour fonction de superviser et de contrôler la partie opérative du système.

Elle prend des décisions en temps réel, coordonne les processus de production, assure la sécurité et l'efficacité globale du système.

La liaison entre l'opérateur et la partie opérative est assurée par la partie commande. Elle reçoit les instructions de l'opérateur, envoie des commandes à la partie opérative, et gère les échanges d'informations, y compris la réception des rapports de la partie opérative et leur transmission à l'opérateur. Ces interactions sont orchestrées par le programme de la partie commande.

Pour garantir une supervision efficace des opérations de production, la partie commande d'un système automatisé est constituée de divers éléments qui interagissent de manière cohérente. Voici les principaux composants de la partie commande :

**a) Pupitre de commande : [15]**

Le pupitre de commande sert d'interface de dialogue, facilitant à l'opérateur la surveillance des paramètres du système. Cet élément clé assure la communication entre l'utilisateur et le système par le biais de différents boutons de commande. Ces boutons, tels que Démarrer (en vert), Réinitialiser (en gris) et Arrêter (en rouge), présents sur le pupitre, permettent Le pupitre de commande sert d'interface de dialogue, facilitant à l'opérateur la surveillance des paramètres du système. Cet élément clé assure la communication entre l'utilisateur et le système par le biais de différents boutons de commande. Ces boutons, tels que Démarrer (en vert), Réinitialiser (en gris) et Arrêter (en rouge), présents sur le pupitre, permettent respectivement le démarrage, la réinitialisation et l'arrêt du système.



**Figure I.I-13: Pupitre de commande**

**b) L'Automate Programmable Industriel :**

L'Automate Programmable Industriel (API) est un appareil électronique programmable spécialement conçu pour les milieux industriels. Sa fonction principale consiste à automatiser les processus en supervisant les pré-actionneurs et actionneurs à l'aide de données logiques, analogiques ou numériques.

Les Automates Programmables Industriels (API) se présentent sous la forme d'un boîtier électronique équipé d'un processeur, de mémoire, ainsi que d'entrées et de sorties. Ils peuvent être programmés à l'aide de logiciels dédiés, permettant aux utilisateurs de créer des programmes sur mesure pour la gestion des processus industriels. [16]

### I.1.6.2 Partie opérative :

La partie opérative d'un système automatisé regroupe les composants physiques, notamment les capteurs, les actionneurs, les moteurs et les machines. Elle constitue la partie tangible et apparente du système, interagissant avec l'environnement pour exécuter les tâches prévues. Les éléments constitutifs de cette partie comprennent :

#### ➤ Pré-actionneurs : [17]

Les pré-actionneurs occupent une position essentielle dans le processus d'action d'un système automatisé. Ils opèrent en tant qu'intermédiaires entre la partie commande et la partie opérative, avec pour rôle principal de distribuer l'énergie de puissance aux actionneurs, conformément aux instructions émises par la partie commande. La variété des pré-actionneurs dépend du type d'énergie utilisé. On peut distinguer trois types de pré-actionneurs : Pneumatiques, électriques et hydrauliques.



Figure I.I-14: un type de pré-actionneur

#### ➤ Actionneurs : [18]

Un actionneur est un dispositif capable de convertir l'énergie qu'il reçoit en une action spécifique. Il est largement utilisé dans divers systèmes pour générer un mouvement, provoquer un changement physique ou produire une réponse souhaitée. En termes d'automatisation, l'actionneur est un composant essentiel de la partie opérative d'un système automatisé.

Plusieurs types d'actionneurs sont distingués : les moteurs linéaires, les moteurs « asynchrones, pas à pas, courant continue », les vérins pneumatiques, les pompes, les vannes ...



Figure I.I-15: un type d'actionneur

➤ **C. Capteurs :** [19]

Un capteur, faisant partie de la composante opérative d'un système, est conçu pour identifier un phénomène physique dans son environnement, que ce soit par contact direct ou sans contact. Sa principale fonction est de repérer des informations provenant de diverses sources et de les convertir en une autre forme, généralement sous la forme d'une tension électrique. Cette tension électrique peut ensuite être interprétée par la partie commande du système automatisé. La figure ci-dessous illustre un capteur électromagnétique utilisé pour détecter la position d'un vérin.



Figure I-16: Capteur

**1. Les capteurs Optique :**

Un capteur optique se compose d'une source lumineuse (émetteur) et d'un récepteur. Il repère la présence d'un objet en détectant une coupure ou une variation dans le faisceau lumineux. Le signal est amplifié pour être utilisé par le système de contrôle. Ce type de capteur fonctionne en émettant et en recevant un faisceau lumineux, qu'il soit visible ou non.

**2. Les Capteurs Inductifs à Proximité :**

Les capteurs inductifs créent un champ magnétique oscillant à l'extrémité de leur tête de détection. Ce champ est produit par une bobine et un condensateur monté en parallèle. Lorsqu'un objet métallique entre dans ce champ, il perturbe le champ et provoque une

diminution de l'oscillation. Cette variation est détectée par un amplificateur qui génère un signal de sortie, entraînant la commutation du capteur.

### **3. Les capteurs Capacitifs à proximité :**

Les détecteurs de proximité capacitifs fonctionnent en créant un champ électrostatique et en détectant les changements dans ce champ causés par une cible qui s'approche de la face de détection. Cette technologie permet de détecter différents types de matériaux, qu'ils soient conducteurs ou isolants, tels que le verre, l'huile, le bois, le plastique, etc.

### **4. Les captures fines de course :**

Il y a deux types de capteurs de fin de course : magnétique et mécanique. Ils sont utilisés dans les systèmes automatisés pour repérer les positions.

#### **➤ Les captures fines de course magnétique :**

Ce capteur est employé pour surveiller la position d'un vérin. Il comporte un interrupteur à lame souple qui inclut un boîtier contenant un contact électrique flexible réagissant aux champs magnétiques. Lorsque le champ magnétique est dirigé vers la partie sensible du capteur, le contact se ferme.

#### **➤ Les captures fines de course mécanique :**

Les interrupteurs de position, également appelés détecteurs mécaniques de position, sont principalement utilisés dans les systèmes automatisés pour repérer les différentes positions. Ils sont aussi connus sous le nom de détecteurs de présence.

## **I.2 L'analyse fonctionnelle de système :**

### **I.2.1 Définition :**

L'analyse fonctionnelle des systèmes de production est une approche essentielle pour comprendre et améliorer divers processus industriels. Voici quelques généralités sur l'analyse fonctionnelle basées sur les résultats de recherche fournis.

Voici quelques généralités sur l'analyse fonctionnelle basées sur les résultats de recherche fournis :

Pour commencer, l'analyse fonctionnelle débute par l'identification des fonctions principales que le système de production doit remplir. Cela implique de décomposer le système en éléments fonctionnels et de définir clairement les objectifs à atteindre.

Ensuite, une fois les fonctions principales identifiées, le système est décomposé en sous-fonctions plus spécifiques. Chaque élément du système est examiné pour comprendre comment il contribue à l'accomplissement des différentes fonctions.

L'analyse fonctionnelle cherche à établir la relation entre la forme des éléments du système et leur fonction. Il s'agit de comprendre comment la conception et la disposition des éléments influent sur leur capacité à remplir les fonctions assignées.

L'objectif ultime est d'optimiser les performances du système de production en analysant les interactions entre les différents éléments. Cela peut nécessiter des ajustements dans la conception des éléments, les processus de fabrication ou les flux de travail pour améliorer l'efficacité globale du système.

Enfin, l'analyse fonctionnelle des systèmes de production est un processus itératif visant à identifier les points faibles, proposer des améliorations et mettre en œuvre des solutions pour optimiser en permanence les performances du système. [20]

### **I.2.2 Principes de l'Analyse Fonctionnelle :**

L'analyse fonctionnelle vise à modéliser les interrelations entre les différentes fonctions d'un système, en mettant l'accent sur les besoins et les attentes des parties prenantes impliquées. [21]

Elle permet de structurer les besoins d'un projet système en identifiant les fonctions essentielles à remplir pour atteindre les objectifs fixés, facilitant ainsi la conception et la mise en œuvre des solutions techniques.

Cette approche structurée permet de définir les fonctions essentielles d'un projet système pour atteindre ses objectifs, facilitant ainsi la conception et la mise en œuvre des solutions techniques. Dans le contexte des systèmes automatisés de production, l'analyse fonctionnelle peut être étendue pour inclure la sécurité opérationnelle dès la phase de spécification du système.

Plusieurs méthodes d'analyse fonctionnelle sont utilisées pour comprendre et optimiser les systèmes de production. Voici quelques-unes des principales approches : [20]

- ❖ La méthode SADT est un outil graphique qui permet de représenter les fonctions d'un système et leurs interactions. Elle décompose le système en activités et sous-activités de manière hiérarchique, montrant les éléments entrants, sortants, de contrôle et les mécanismes de chaque fonction pour faciliter la compréhension du système.
- ❖ La technique FAST vise à identifier les fonctions d'un système et leurs relations logiques en utilisant un diagramme en forme d'arbre. Cela permet de visualiser les fonctions principales et les sous-fonctions nécessaires pour les réaliser, aidant ainsi à comprendre comment les fonctions sont accomplies et à repérer les fonctions essentielles.
- ❖ L'analyse de la valeur est une méthode systématique visant à optimiser la valeur d'un produit ou service. Elle consiste à évaluer les fonctions, leur coût et leur importance, puis à rechercher des alternatives moins coûteuses tout en maintenant la qualité, dans le but d'améliorer la valeur perçue par le client.

### I.2.3 La méthode de FAST : [22]

#### I.2.3.1 Définition :

La méthode FAST (Functional Analysis System Technique) est une approche utilisée en ingénierie pour l'analyse fonctionnelle des systèmes.

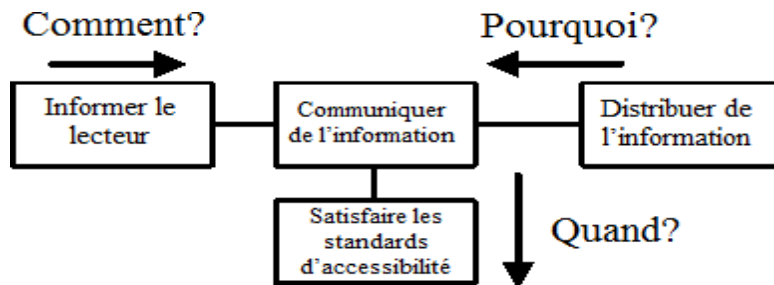


Fig. I.14 : structure de La méthode FAST

Voici comment elle peut être appliquée :

1. **Identification des fonctions principales :** Identifier les fonctions principales du système, c'est-à-dire les fonctions essentielles qu'il doit remplir.
2. **Décomposition des fonctions :** Décomposer chaque fonction principale en sous-fonctions plus détaillées pour comprendre comment elles contribuent à la fonction principale.
3. **Identification des relations :** Identifier les relations entre les différentes sous-fonctions pour visualiser comment elles interagissent pour atteindre la fonction principale.
4. **Construction du diagramme FAST :** Construire un diagramme FAST qui représente graphiquement les fonctions principales, les sous-fonctions et leurs relations.
5. **Analyse et optimisation :** Analyser le diagramme FAST pour identifier les points critiques, les redondances ou les améliorations potentielles dans le système.

En résumé, la méthode FAST permet une analyse structurée des fonctions d'un système, facilitant ainsi la compréhension de son fonctionnement global et des interactions entre ses composants.

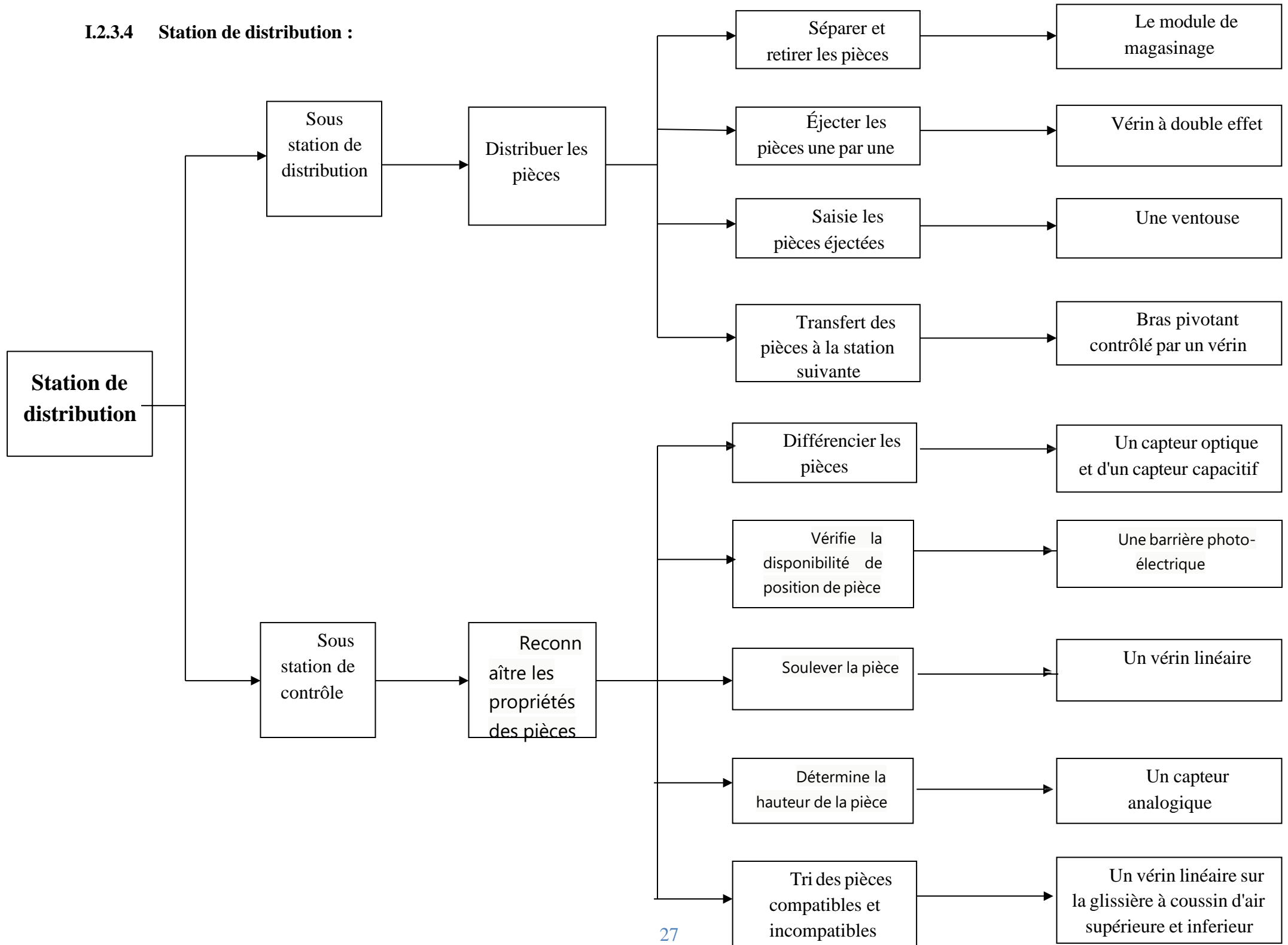
#### I.2.3.2 Application de la méthode FAST sur le système MPS 500 :

L'application de la méthode FAST au système MPS 500 vise à identifier précisément les fonctions du système et leurs relations logiques. Cette approche permet de visualiser clairement les fonctions principales du MPS 500 ainsi que les sous-fonctions nécessaires pour les réaliser, en utilisant un diagramme en forme d'arbre. La méthode FAST aide ainsi à comprendre comment les différentes fonctions du système sont accomplies et à mettre en évidence les fonctions essentielles au bon fonctionnement du MPS 500.

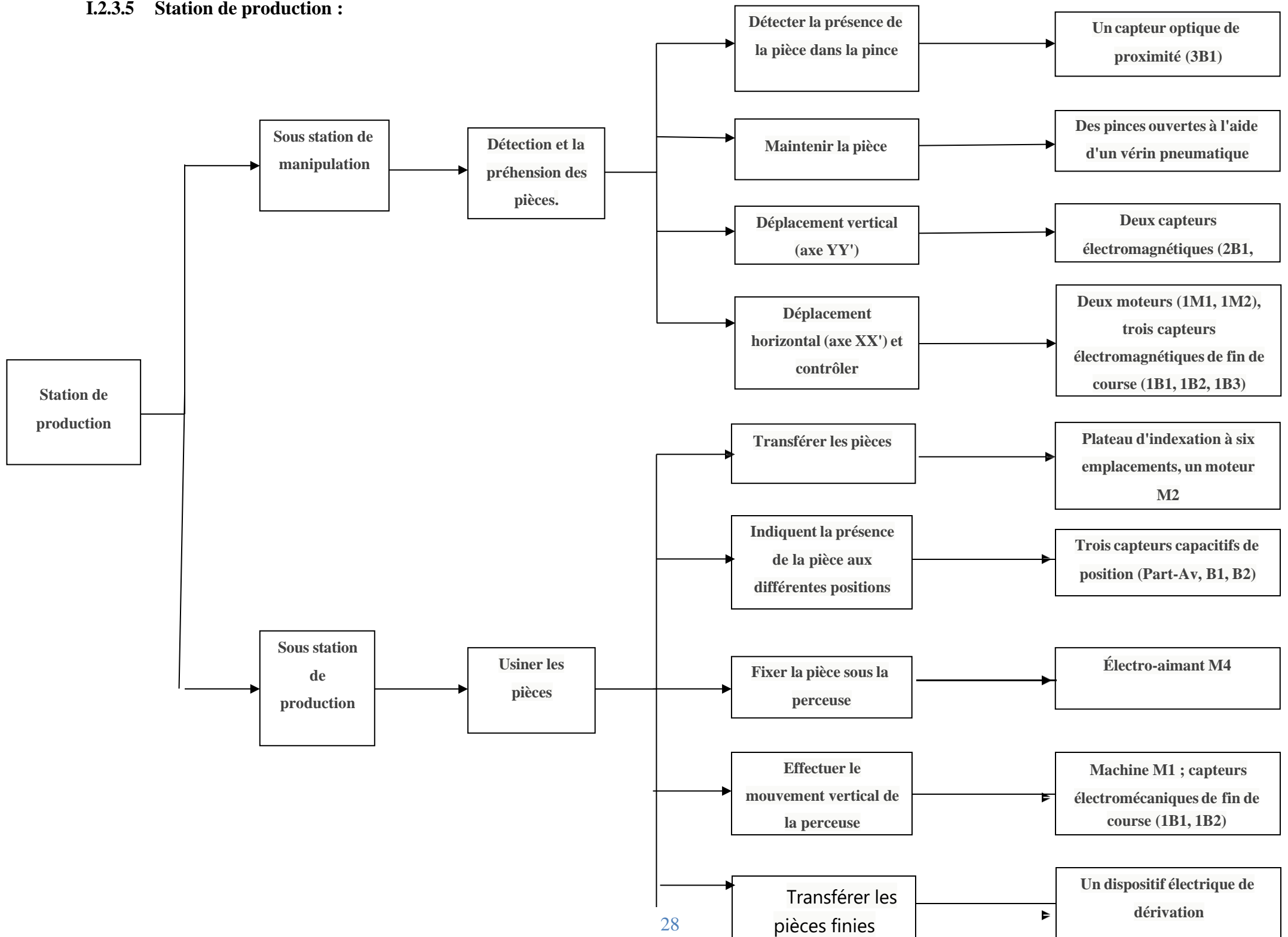
De ce fait, en se basant sur la fonction principale de chaque station nous avons pu réaliser cinq diagrammes « FAST » modélisant en détail le fonctionnement global de ces stations.

#### I.2.3.3 Le diagramme de FAST :

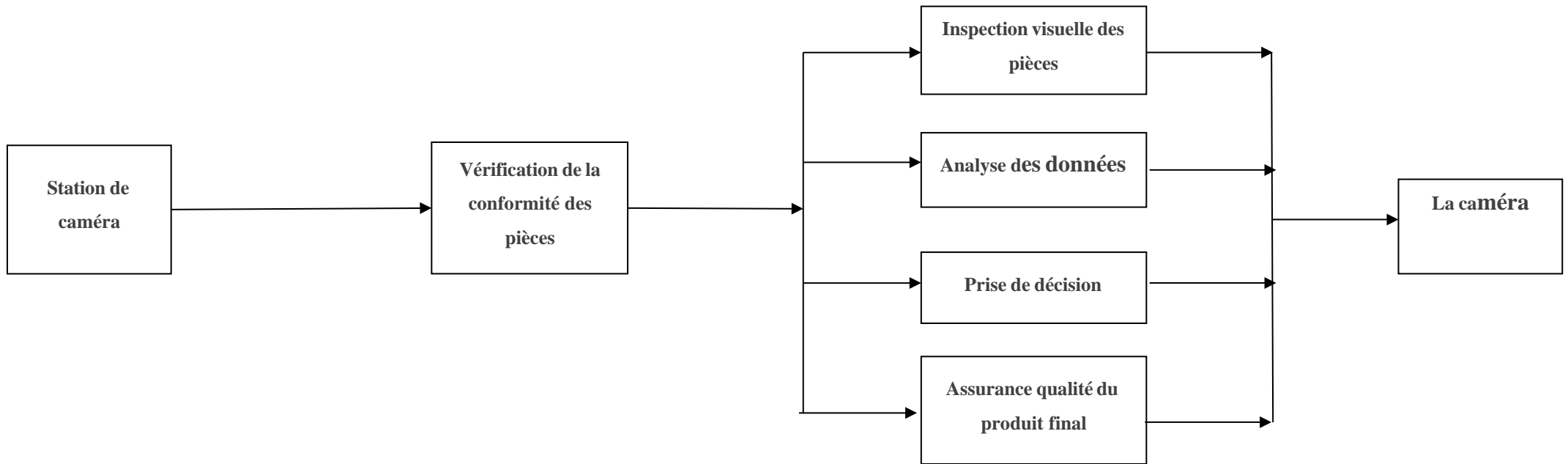
I.2.3.4 Station de distribution :



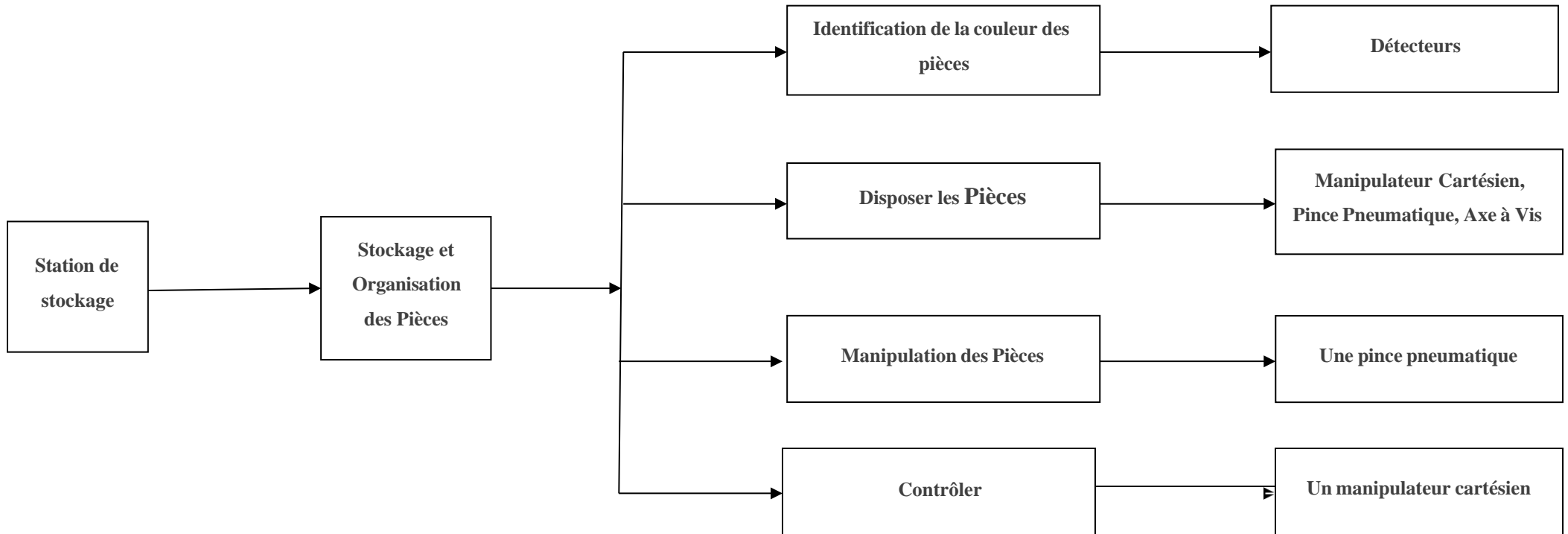
I.2.3.5 Station de production :



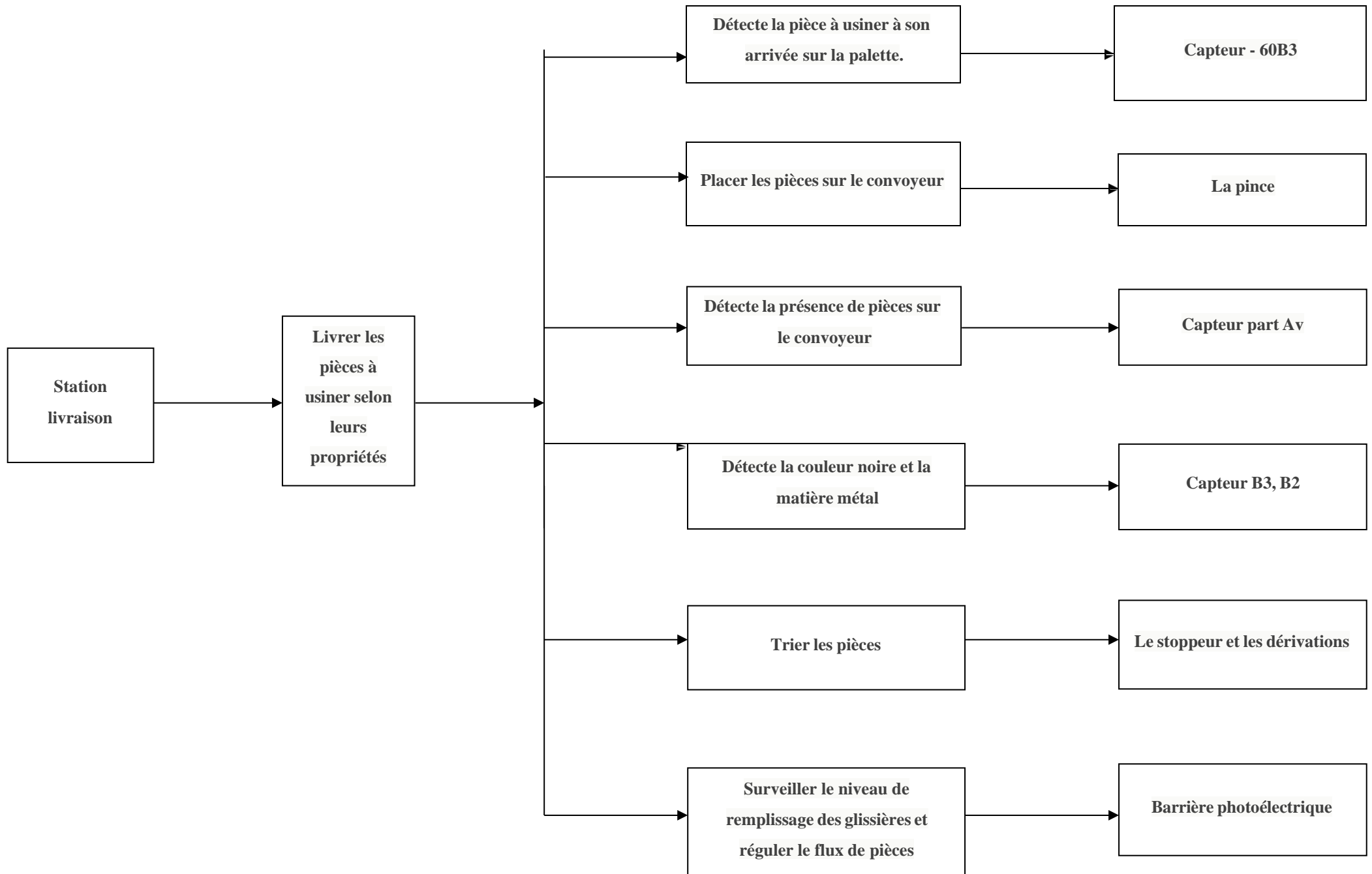
**I.2.3.6 Station de caméra :**



**I.2.3.7 Station de stockage :**



**I.2.3.8 Station de livraison :**



**Conclusion :**

En terminant le premier chapitre de Notre projet sur le système MPS500, nous avons solidement présenté le système en détail et analysé ses fonctions avec la méthode FAST. Cette approche a permis une compréhension approfondie de la contribution de chaque élément au bon fonctionnement du système. En mettant en lumière les différentes parties du système et en expliquant leurs interactions, vous avez jeté les bases nécessaires pour évaluer la fiabilité de production du MPS500. Cette analyse approfondie nous aiderons à comprendre précisément comment le système fonctionne, offrent ainsi une vision claire de ses capacités et de ses possibilités.

## **Chapitre II : Généralité sur la sûreté de fonctionnement**

## II.Introduction

Les constructeurs accordent une attention croissante à la sûreté de fonctionnement, désormais un élément essentiel. Les entreprises sont à la recherche de technologies et de stratégies pour évaluer les risques, gérer les pannes et limiter leurs conséquences grâce à des politiques de maintenance. Elles cherchent également à se démarquer de leurs concurrents en assurant une production rapide et en réduisant les coûts. Parmi les méthodes utilisées, on retrouve : l'analyse d'arbres de défaillances, la méthode AMDEC, l'utilisation de chaînes de Markov et de réseaux de Petri.

Dans ce chapitre, nous présenterons une introduction générale à la sûreté de fonctionnement. Nous aborderons sa définition et ses différentes approches.

### II.1 Généralité sur la sûreté de fonctionnement :

#### II.1.1 Définition :

La discipline de la sûreté de fonctionnement, souvent appelée la science des défaillances, englobe la compréhension, l'évaluation, la prédiction, la mesure et le contrôle des incidents défectueux.

La sûreté de fonctionnement représente un domaine interdisciplinaire exigeant une connaissance approfondie du système, englobant les conditions d'utilisation, les risques externes, la conception fonctionnelle et matérielle, ainsi que la structure et la fatigue des matériaux. [23]

La sécurité du fonctionnement englobe plusieurs notions, que nous détaillons dans cette section en fournissant des définitions claires. La sécurité du fonctionnement peut être conceptualisée à travers trois composantes principales :

- Attributs : évaluation de la perspective de sécurité du fonctionnement ;
- Entraves : événements susceptibles d'influencer la sécurité du fonctionnement du système ;
- Moyens : méthodes visant à améliorer la sécurité du fonctionnement ; [24]

#### II.1.2 Les notions fondamentales de la sûreté de fonctionnement :

Il y a trente ans, le terme "sûreté de fonctionnement" a été créé pour englober divers concepts et n'a pas d'équivalent précis en anglais. En France, sûreté de fonctionnement englobe quatre notions principales ;

##### a) La fiabilité :

Se réfère à la probabilité qu'un système opère sans erreur pendant une période spécifique.

##### b) La maintenabilité :

C'est fait référence à la facilité et à la rapidité avec lesquelles un système peut être réparé en cas de panne. Un système maintenable permet de réduire les temps d'arrêt et de remettre rapidement le système en service. Par exemple, les systèmes dotés de composants facilement

accessibles et remplaçables bénéficient généralement d'une meilleure maintenabilité que ceux avec des composants difficiles à atteindre ou à remplacer. La conception modulaire et l'utilisation de pièces standardisées améliorent souvent la maintenabilité d'un système.

**c) La disponibilité :**

Se définit comme sa capacité à être opérationnel au moment où il est sollicité. Cette notion est particulièrement critique pour les dispositifs de sécurité tels que les disjoncteurs, où une disponibilité élevée est essentielle pour garantir leur fonctionnement en cas d'urgence. Bien que la disponibilité puisse être conciliée avec une fiabilité moindre, il est important que l'appareil puisse être réparé rapidement pour minimiser les temps d'arrêt et assurer une reprise rapide du service

**d) La sécurité :**

La sécurité d'un système se réfère à sa capacité à prévenir des pannes graves jugées catastrophiques sur une période spécifique. L'acronyme FMDS est également utilisé pour représenter la sûreté de fonctionnement, englobant des aspects tels que la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité. [25]

## **II.2 Les méthodes de la sûreté du fonctionnement :**

### **II.2.1 La méthode AMDEC :**

L'AMDEC, qui signifie Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités, est une méthode inductive essentielle pour évaluer de manière qualitative et quantitative la fiabilité ou la sécurité d'un système. Cette approche est précieuse pour repérer les éventuels problèmes au sein d'une entreprise et éliminer les causes probables de défaillances. Son but est d'identifier les potentielles défaillances d'un produit, d'un processus ou d'un procédé, afin de mettre en place des actions correctives ou préventives. En fait, l'AMDEC correspond à l'équivalent français de la FMEA, qui se réfère à l'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité. Son utilisation vise à renforcer la qualité et la fiabilité des produits, des procédés et des processus en identifiant les risques de défaillance et en prenant des mesures pour les atténuer.

**a) Différents types d'AMDEC :**

Important de noter qu'il existe plusieurs types d'AMDEC, notamment les suivants :

➤ Procédé :

Se concentre sur l'identification des défaillances du procédé de fabrication qui affectent directement la qualité du produit fabriqué, sans prendre en compte les pannes

➤ Moyen :

Il vise à identifier les défaillances des moyens de production qui ont un impact direct sur la productivité de l'entreprise, incluant l'analyse des pannes et l'optimisation de la maintenance.

➤ Sécurité :

L'AMDEC sécurité a pour but de réduire les risques liés à l'utilisation d'un moyen de production, en mettant l'accent sur la sécurité des opérations.

➤ Conception :

L'AMDEC conception est réalisée lors de la conception d'un outil de production, pour anticiper et minimiser les défaillances potentielles

➤ Produit :

L'AMDEC produit analyse l'impact des défaillances d'un produit sur son utilisation par un client, pour améliorer la qualité et la fiabilité du produit.

➤ Organisation :

L'AMDEC organisation est applicable à divers niveaux d'un système, englobant la gestion, l'information, la production, le marketing, les ressources humaines, les finances et tous les niveaux de l'organisme, pour identifier les défaillances et améliorer la performance globale de l'entreprise. [26]

**b) Démarche de la méthode AMDEC [10]**

- **Etape 1** : Dans la première étape, il est essentiel de former un groupe de travail multidisciplinaire pour mener à bien l'étude et assurer le bon déroulement du processus.
- **Etape 2** : L'analyse fonctionnelle consiste à définir de manière détaillée les principales fonctions d'un produit, les fonctions contraintes et les fonctions élémentaires.
- **Etape 3** : L'étude qualitative des défaillances débute par l'identification des défauts pour chaque composant du système afin de définir les divers modes de défaillance. Cette analyse évalue également les effets potentiels associés à chaque mode de défaillance, ainsi que les causes probables. [27]
- **Etape 4** : La phase quantitative, quatrième étape, attribue à chaque défaillance un indice de criticité en prenant en compte la gravité, la fréquence d'apparition et la probabilité de non-détection. Ces éléments combinés donnent un indice de criticité qui guide la priorisation des actions.

L'indice de criticité, souvent noté C ou IPR (Indice de Priorité de Risque), est déterminé par l'interaction de trois facteurs clés : la gravité (G) de la défaillance, la fréquence d'apparition de la défaillance (F), et la probabilité de non-détection (D). Pour calculer cet indice, on multiplie ces trois critères ensemble, ce qui se traduit par l'équation :

$$C = G * F * D$$

- **Etape 5** : Hiérarchisation. Une fois que les indices de criticité sont calculés, ils doivent être classés par ordre décroissant, et les défaillances correspondantes doivent être traitées selon cet ordre. Les actions préventives doivent également être proposées

dans le même ordre pour chaque défaillance, afin de garantir une approche cohérente et efficace.

- **Etape 6** : Recherche des actions préventive/corrective. Une fois la criticité la plus élevée sélectionnée, il est nécessaire de déterminer des mesures visant à réduire les indicateurs les plus élevés en termes de gravité, de probabilité de non-détection ou d'occurrence.
- **Etape 7** : Après la mise en œuvre d'actions préventives ou correctives pour atténuer les risques identifiés, il est essentiel de réévaluer les indices de criticité pour mesurer l'efficacité de ces mesures. L'objectif est de s'assurer que le nouvel indice de criticité est inférieur à sa valeur précédente, démontrant ainsi une diminution des risques et une amélioration de la sécurité du système ou de l'environnement. Un nouvel indice de criticité élevé indiquerait que les actions prises n'ont pas eu les effets escomptés.
- **Etape 8** : Représentation des résultats. Une fois la dernière évaluation effectuée, toutes les données précédentes doivent être consignées dans un tableau AMDEC.[28]

### c) **Les avantages et l'inconvénient général de la méthode AMDEC :**

La méthode AMDEC confronte les connaissances de chaque domaine opérationnel au sein de l'organisation, afin de produire, dans une séquence que nous avons structurée de manière pertinente, les résultats qui suivent. [20]

#### ➤ **Les avantages d'AMDEC :**

- ❖ **Priorité à la satisfaction du client** : L'AMDEC considère la satisfaction du client comme son objectif primordial, un but incontestable aujourd'hui. Si ce seul argument en faveur de l'AMDEC devait être retenu, il serait amplement suffisant pour la rendre incontournable au sein de nos organisations.
- ❖ **Pilotage de l'amélioration continue** : La gestion des plans d'action, élaborés et régulièrement mis à jour grâce à l'AMDEC, représente l'un des moyens principaux pour insuffler une dynamique à l'amélioration continue et démontrer sa concrétisation.
- ❖ **Réduction des coûts** : Contrairement à certaines affirmations, l'AMDEC contribue à réduire les coûts internes liés à l'obtention de la qualité, à condition de travailler également sur les aspects internes. Dans le cadre de l'AMDEC procédé, cela se traduit par la diminution des rebuts et des retouches. Les coûts externes seront également réduits, avec moins de retours garantis, moins de réclamations clients, et moins de plaintes, entre autres.
- ❖ **Optimisation des contrôles** : L'AMDEC vous guide pour concentrer les contrôles uniquement là où ils sont nécessaires, évitant ainsi la contrainte d'une surveillance exhaustive, comme on l'entend parfois trop souvent.

- ❖ Élimination des causes de défaillances : Un des objectifs majeurs de l'AMDEC consiste à éliminer les causes de défaillances, se traduisant par la mise en œuvre de mesures préventives et la formulation de plans d'actions.

➤ **Inconvénients d'AMDEC :**

- ❖ Des coûts initiaux fréquemment élevés peuvent être associés à la mise en œuvre.
- ❖ Parfois incapable de traiter la combinaison de plusieurs défaillances de manière adéquate.
- ❖ La gestion peut parfois être ardue en raison de la participation de responsables de secteurs qui ont du mal à respecter les séances de travail.

Implique la nécessité de mener des sessions de réflexion collective. [29]

## **II.2.2 La méthode de Chaîne de Markov :**

### **1. Définition chaîne de Markov:**

La chaîne de Markov implique de représenter le fonctionnement d'un système à travers un ensemble d'états. Ces états résultent de la combinaison des états de ses composants, pouvant être des états de fonctionnement ou de panne. Un support graphique, tel que le graphe des états, offre une visualisation des différents états du système, représentés par des cercles et connectés entre eux par des arcs orientés appelés transitions, indiquant une panne ou une réparation.[30]

### **2. Démarche de la méthode**

#### **a) Démarche de la méthode :**

Pour construire la chaîne de Markov d'un système, on part toujours du principe que le système est constitué de  $n$  composants et qu'il possède un nombre limité d'états de fonctionnement et de défaillance. De plus, le système doit être réparable, et chaque composant est réparé une fois que sa défaillance est détectée. Les différents états du système sont alors :

- Les états de fonctionnement décrivent les conditions dans lesquelles un système opère de manière adéquate, que ce soit lorsque tous ses composants sont en bon état de marche ou lorsqu'il y a des défaillances mineures mais que le système continue de fonctionner normalement.
- Les états de pannes désignent l'indisponibilité du système à remplir sa fonction attendue. Pendant ces états, il est typiquement observé qu'un nombre suffisant de composants du système sont en panne. [18]

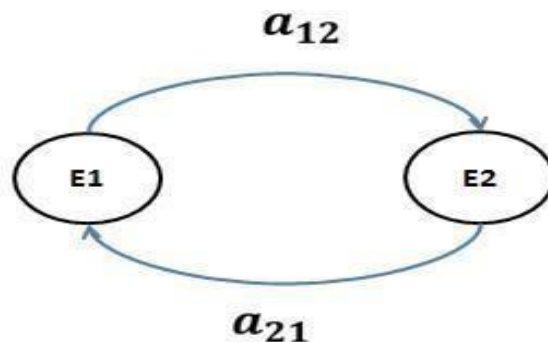
Pour élaborer le graphe de Markov, il faut suivre trois étapes :

- La première étape : identifier tous les états envisageables. En matière de sûreté de fonctionnement, il est généralement admis qu'un composant de système peut se trouver dans l'un des deux états possibles (fonctionnement ou défaillance). Ainsi, pour un système composé de  $n$  composants, il peut y avoir  $2n$  états potentiels.
- La deuxième étape : répertorier toutes les transitions envisageables entre les différents états et déterminer toutes les causes qui les déclenchent. Ces causes peuvent être liées aux défaillances des composants ou aux opérations de réparation effectuées sur ces composants.
- La troisième étape : créer les graphiques représentatifs

### b) Représentation d'un graphe de Markov :

Les étapes de la représentation sont les suivantes :

- Identifier et répertorier tous les états possibles du système ( $E_i$ ).
- Définir les transitions entre ces états et en déterminer les causes.
- Élaborer des graphiques représentatifs.
- Classer les états en fonctionnement ou en état de panne du système.



$A_{ij}$  : taux de transition  
système

$E_i$  : état de

**Figure II.II-1: Exemple chaîne de Markov pour un système d'un seul composant**

Dans la figure précédente, le système est représenté par deux états connectés par les transitions  $a_{12}$  et  $a_{21}$ . Le premier état représente le taux de défaillance du système, tandis que le second représente son taux de réparation. [31]

### II.2.3 La méthode de Réseau de Petri:

#### 1. Définition:

Un Réseau de Petri (RdP) est une structure graphique qui comprend un ensemble de places et de transitions reliées par des arcs orientés, pouvant éventuellement porter des poids. Ces arcs sont des liens entre les places et les transitions, ou entre les transitions et les places exclusivement.

Les jetons (ou marques) se déplacent dans cette structure, apparaissant dans les places et franchissant éventuellement les transitions selon certains critères de franchissabilité et de franchissement.

Les figures 1, 2 et 3 illustrent de tels réseaux. La première figure représente un processus à deux états (par exemple, Arrêt-Marche). Dans le deuxième réseau, le passage d'un état à l'autre nécessite l'utilisation d'une ressource, symbolisée par le jeton contenu dans la place qui a été ajoutée à partir de la figure 1. Le troisième modèle peut décrire l'assemblage et le désassemblage successifs de deux éléments.

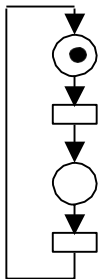


Figure II-2 : un processus à deux états

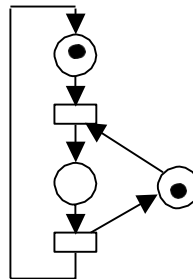


Figure II-3 : le passage d'un état

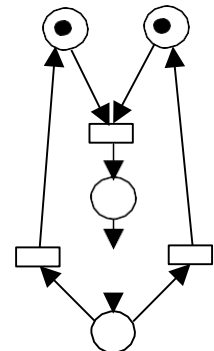


Figure II-4 : l'assemblage et le désassemblage successifs

Habituellement, les places sont identifiées de  $P_1$  à  $P_n$  et les transitions de  $T_1$  à  $T_m$ . Les poids des arcs sont notés sur le modèle à côté des arcs. L'absence de notation signifie que l'arc en question est implicitement pondéré à 1. [32]

#### 2. Evolution d'un RdP :

- Marquage : Chaque place est dotée d'un nombre entier (positif ou nul) de marques ou jetons. Le nombre de marques contenu dans une place  $P_i$  est représenté soit par  $M(P_i)$ , soit par  $m_i$ . Le marquage du réseau à l'instant  $i$ ,  $M_i$ , est défini par le vecteur de ces marquages  $m_i$ , c'est-

à-dire  $M_i = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ . Le marquage initial décrit l'état initial du système modélisé ( $M_0$ ).

- **Franchissement d'une Transition :** Une transition est qualifiée de "franchissable" si chaque place d'entrée associée contient un nombre de jetons égal ou supérieur à celui spécifié sur la flèche correspondante.  
Le franchissement représente une action où des jetons sont enlevés des places en amont et ajoutés aux places en aval de la transition franchie. Le nombre de jetons retirés ou ajoutés correspond au poids de l'arc reliant la transition à la place.
- **Synchronisation :** La synchronisation désigne l'action d'harmoniser plusieurs opérations en fonction du temps.

Exemple 1 : Considérons le réseau de Petri ci-dessous :

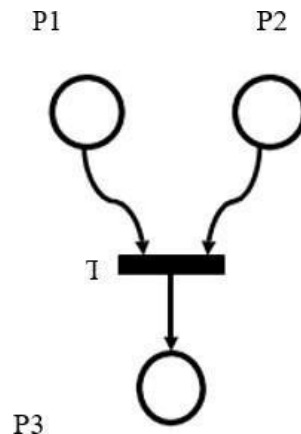


Figure II-5 réseau de pétri

### 3. Graphe de transitions (Graphe d'états)

Cela désigne une représentation visuelle des différentes évolutions possibles d'un Réseau de Petri (RdP). Elle se construit en partant du marquage initial et en étudiant à chaque marquage obtenu  $M_i$  après le franchissement d'une transition  $T_j$  les différentes possibilités d'évolution du RdP, Ceci correspond aux différentes transitions validées par le marquage  $M_i$ . [SBS].

### 4. Matrice d'incidence

La matrice d'incidence résume tous les rapports entre les places et les transitions du RdP. Généralement, cette matrice est rectangulaire, avec un nombre de colonnes égal au nombre de transitions du réseau et un nombre de lignes égal au nombre de places. Chaque valeur de la matrice indique s'il existe ou non un lien entre chaque place et chaque transition, ainsi que le poids de cet arc. Le signe de chaque élément de la matrice indique la direction de cet arc. [33]

## 5. Démarche de Réseau de Petri

L'utilisation des RdP dans le domaine de la sûreté de fonctionnement implique un processus comprenant plusieurs phases :

- a) **Identification du système** : Cette étape consiste à déterminer le système à étudier, en spécifiant ses fonctions, ses éléments constitutifs, ses interactions, ses contraintes, ainsi que ses caractéristiques en fonction des objectifs visés, ...
- b) **Identification des événements et des états** : Cette étape consiste à identifier les événements qui peuvent être apparus dans le système, les divers états dans lesquels le système peut se trouver, ainsi que les interactions entre les événements et les états.
- c) **Construction du modèle du système** : En se basant sur les données recueillies lors de l'étape précédente, on crée un réseau de Petri représentant le fonctionnement du système. Il est essentiel que ce modèle prenne en considération toutes les interactions et les dépendances entre les différentes fonctions du système et ses éléments constitutifs. Cette modélisation doit être suffisamment détaillée.
- d) **Simulation du système** : Une fois le modèle établi, il est essentiel de le soumettre à des simulations en faisant varier les paramètres d'entrée. Cela permet d'observer les impacts sur les différents états du système. Cette phase vise à identifier les points faibles, les défaillances potentielles et à améliorer les mesures de prévention et de récupération.
- e) **Analyse des résultats** : dans cette phase, il s'agit d'évaluer les résultats de la simulation pour analyser la fiabilité, la disponibilité, la sécurité et la maintenabilité du système. Cette évaluation se fait en analysant les probabilités de défaillance, les temps de réparation, les coûts de maintenance, et autres facteurs pertinents.
- f) **Optimisation du système** : La phase finale implique la suggestion d'améliorations pour le système en se basant sur les conclusions de l'analyse. Ces propositions peuvent inclure des ajustements au niveau des composants, la diminution des interdépendances, l'intégration de fonctions de surveillance ou l'adoption de stratégies de redondance. [34]

### II.2.4 La méthode Arbre de défaillance :

#### 1. Définition

L'analyse par arbre de défaillances, ou ADD, est une méthode couramment utilisée en ingénierie pour évaluer la sécurité et la fiabilité des systèmes statiques. Elle consiste à représenter graphiquement les défaillances potentielles des composants d'un système sous forme d'un arbre, qui permet de visualiser la transmission des défaillances et leurs conséquences sur le système. L'objectif de l'ADD est d'identifier les événements susceptibles de causer une défaillance du système, appelée événement redouté, et d'évaluer l'efficacité des mesures

préventives pour éviter ces événements. Les événements représentés sur l'arbre sont considérés comme indépendants les uns des autres. [35]

## Objectifs de l'Analyse des Arbres de Défaillance (AdD)

L'objectif principal de l'Analyse des Arbres de Défaillance (AdD) est de recueillir des informations pertinentes pour faciliter la prise de décisions. Cet outil polyvalent fournit des données utiles pour diverses tâches. Voici quelques objectifs spécifiques de l'AdD dans le cadre de la prise de décision :

- **Comprendre la logique des événements** : Identifier la chaîne de causes qui conduit à un événement critique.
- **Prévention proactive** : Éviter la survenue de l'événement majeur en utilisant une approche préventive.
- **Suivi des performances** : Surveiller et évaluer les performances du système.
- **Optimisation des ressources** : Réduire et optimiser l'utilisation des ressources à risque.
- **Soutien à la conception** : Contribuer à la conception et à l'amélioration du système.
- **Diagnostic et correction** : Identifier les causes des événements critiques et mettre en place des mesures correctives.



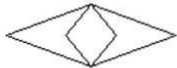



## 2. Représentation graphique de l'AdD :

La représentation graphique de l'arbre de défaillance se fait à l'aide de symbolisation graphique classée en : Evènements, Portes logiques et Symboles de transfert. [36]

### ➤ Les évènements

Le but de symbolisation graphique des évènements est de faciliter la désignation entre les différents types d'évènements





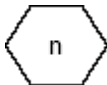
Tableau II-1: Symboles des évènements dans l'Add [37]

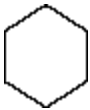
Symbole des évènements	Signification	Explication
	Rectangle	Evénement résultant de la combinaison d'autres évènements par l'intermédiaire d'une porte logique
	Losange	Evénement qui ne peut être considéré comme élémentaire mais dont les causes ne seront pas développées
	Double losange	Evénement dont les causes ne sont pas encore développées mais le seront ultérieurement
	Cercle	Evénement élémentaire qui ne nécessite pas d'être développé
	Maison	Evénement de base qui se produit normalement pendant le fonctionnement du système
	Ovale	Evénement conditionnel, utilisé avec certaines portes logiques telles que le OU (i.e. la sortie est vraie si au moins une des entrées l'est et si la condition est réalisée)

### ➤ Portes logiques

Les portes logiques (ou connecteurs logiques) sont les liaisons entre les différents branches et/ou évènements. Les portes les plus classiques sont : la porte « ET » et la porte « OÙ »

Tableau II-2: Symboles des portes logiques dans l'Add



Symbole	Désignation
	<b>Porte OU</b> : La défaillance en sortie surviendra si au moins l'une des défaillances en entrée se produit.
	<b>Porte ET</b> : La défaillance en sortie surviendra si toutes les défaillances en entrée se produisent.
	<b>Porte Priorité ET</b> : La défaillance en sortie surviendra si toutes les défaillances en entrée se manifestent selon un ordre spécifié (cet ordre est défini par un évènement de condition situé à droite de la porte).
	<b>Porte OU EXCLUSIF</b> : Une variante spécifique de la porte logique OU, qui comporte généralement deux entrées. La défaillance en sortie se produira uniquement si l'une des entrées se produit sans que les deux ne se produisent simultanément.
	<b>Porte de Combinaison</b> : La défaillance en sortie se produira lorsque n défaillances en entrée se produisent.

	<p><b>Porte INHIBER :</b> La défaillance en sortie surviendra si une défaillance unique en entrée se manifeste en présence d'une condition d'autorisation (cette condition d'autorisation est représentée par un événement de condition situé à droite de la porte).</p>
---	--

### ➤ Symboles de transfert

Il existe pour les arbres de défaillances une symbolisation normalisée qui permet de faire référence à des parties de l'arbre qui se répètent de manière *identique*\*ou de manière *semblable* + pour éviter de les redéfinir. L'objectif est de réduire la taille du graphique.

Tableau II-3: Symboles de transfert sous l'Add [36]

Symbole	Désignation
	<p><b>Transfert in :</b> signifie que l'arbre sera développé après l'apparition du symbole de transfert out correspondant.</p>
	<p><b>Transfert out :</b> signifie que cette section de l'arbre doit être reliée au transfert in correspondant.</p>

### 3. Construction de L'arbre :

Cette structure est décrite dans diverses normes industrielles :

#### a) Évènement sommet (évènement indésirable) :

La première étape consiste à définir de manière explicite et précise l'évènement à étudier, communément appelé le sommet ou l'évènement redouté. Cette étape revêt une importance cruciale pour garantir la qualité des conclusions tirées de l'analyse. Dans le cadre de l'arbre de défaillance, qui vise à offrir une représentation synthétique. Il est également nécessaire d'ajouter un texte complémentaire à cette boîte afin de fournir toutes les précisions nécessaires sur la définition de l'évènement. Cette recommandation s'applique également à tous les autres éléments qui seront inclus dans l'arbre.

#### b) Évènements intermédiaires :

Une fois l'évènement sommet défini, il est nécessaire de décrire la combinaison d'évènements pouvant mener à cet évènement sommet. Ces évènements intermédiaires sont des évènements moins globaux. Une fois qu'un évènement est défini, il est relié à l'évènement sommet par le biais d'un connecteur. Ces évènements intermédiaires peuvent à leur tour être définis plus en détail par d'autres évènements intermédiaires.

#### c) Évènements de base, transfert et conditions :

Il existe des évènements pour lesquels les informations sont soit insuffisantes pour les détailler davantage, soit leur développement supplémentaire n'est pas jugé nécessaire ; ces

événements sont désignés comme des événements non détaillés. Lors de la création d'arbres de défaillance complexes, il est pratique d'utiliser des portes de transfert pour faciliter la lecture et la validation de l'arbre. Ces portes indiquent que la suite de l'arbre est développée sur une autre page.

Les événements de base sont les éléments les plus simples de l'arbre et ne peuvent pas être subdivisés plus loin ; ils concernent la défaillance (électrique, mécanique, logicielle, etc.) d'un composant du système.

L'émergence de certains événements (de base ou autres) peut entraîner des conséquences sous certaines conditions. Par conséquent, il est nécessaire d'introduire dans l'arbre des conditions dont la réalisation conditionne la séquence des événements. Ces conditions sont intégrées à la construction de l'arbre de manière similaire aux événements intermédiaires, à La différence est que ces conditions ne sont pas subdivisées et sont considérées comme des événements de base.

#### **d) Connecteurs logiques :**

Les connecteurs logiques, également appelés portes logiques, établissent les liens entre les différentes branches et/ou événements d'un système. Les plus courants sont les opérateurs logiques « ET » et « OÙ ». Leur fonctionnement est le suivant :

- ❖ L'opérateur logique OU indique que l'événement en sortie ou supérieur se produit si au moins un des événements en entrée ou inférieur survient ou est présent.
- ❖ L'opérateur logique ET stipule que l'événement en sortie ou supérieur se produit uniquement si tous les événements en entrée ou inférieur surviennent ou sont présents.
- ❖ K/N : Il s'agit d'un vote majoritaire : l'événement en sortie ou supérieur se produit si au moins K (un entier qui définit le comportement de la porte) parmi les N événements en entrée ou inférieur surviennent ou sont présents. Cette porte généralise les deux précédentes : une porte OU correspond à une porte 1/N et une porte ET correspond à une porte N/N.

L'utilisation exclusive des trois connecteurs mentionnés ci-dessus permet de maintenir la cohérence des arbres de défaillances, ce qui est généralement la pratique la plus courante. Cependant, dans certaines situations, l'introduction de connecteurs tels que NON, OU exclusif (actif si et seulement si une seule de ses entrées est active), etc., peut être nécessaire, même si cela rend le traitement mathématique plus complexe.

De plus, il peut être utile à des fins descriptives d'employer des connecteurs plus complexes, tels que des connecteurs voleurs, conditionnels, etc. Ces connecteurs permettent de représenter des comportements spécifiques que l'on peut rencontrer dans certaines architectures. De même, l'introduction d'une dimension temporelle peut être nécessaire pour décrire le comportement d'un système.

À cette fin, il existe des connecteurs ET séquentiels qui prennent en compte la séquence des événements, des connecteurs SPARE qui intègrent les ensembles de pièces de rechange, etc. Cependant, l'utilisation de ces connecteurs peut conduire à des modèles dont la signification mathématique est ambiguë et est interprétée différemment selon les outils informatiques utilisés pour les saisir. [38]

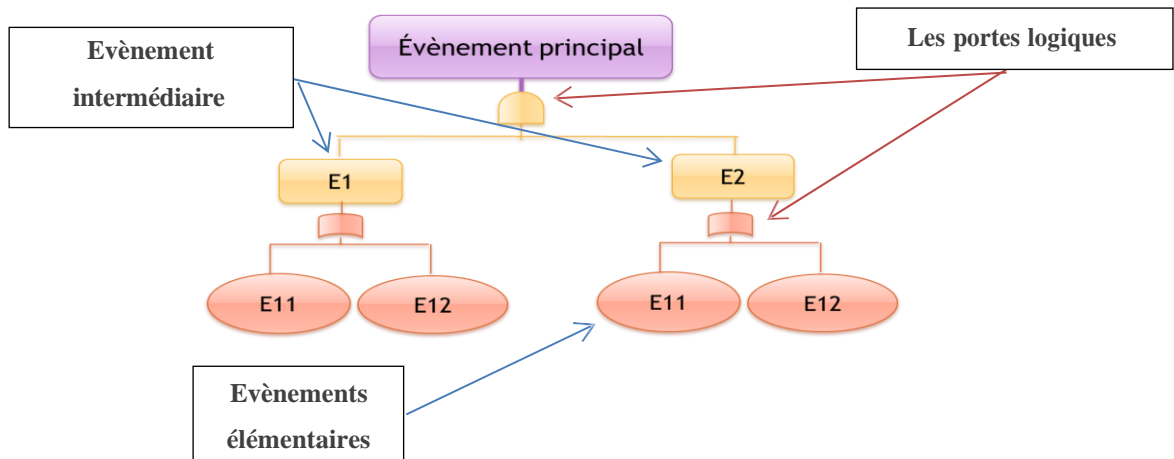


Figure II-6: Exemple d'un arbre des défaillances

#### 4. Les règles de construction :

Les règles de construction de l'arbre de défaillance sont essentielles pour garantir la cohérence et la pertinence de cette méthode analytique. Voici un résumé des principales règles à suivre lors de la construction d'un arbre de défaillance :

1. Détermination de l'événement indésirable : Identifier clairement l'événement redouté pour lequel on étudie les causes qui y conduisent.
2. Détermination des limites de l'étude : Fixer des limites géographiques et temporelles pour l'analyse, afin d'éviter les cas non pertinents et de définir clairement le champ d'étude.
3. Procédure itérative : Suivre une approche itérative en cherchant les causes de l'événement indésirable jusqu'aux événements de base, en explorant toutes les combinaisons possibles.
4. Élaboration horizontale : Construire l'arbre horizontalement en recherchant toutes les causes immédiates, nécessaires et suffisantes d'un événement avant de passer au niveau inférieur, pour maintenir la logique de lecture et d'exploitation.
5. Liaisons et désignation des événements : Éviter d'avoir deux opérateurs logiques consécutifs et s'assurer d'enchaîner sur des événements pour une représentation claire et logique de l'arbre de défaillance.

En respectant ces règles, la construction de l'arbre de défaillance sera structurée, logique et permettra une analyse approfondie des événements menant à une défaillance spécifique.

#### 5. Les coupes minimales :

Les coupes minimales d'un arbre de défaillance sont les plus petites combinaisons d'événements de base qui, si elles se produisent simultanément, entraînent l'événement indésirable ou redouté représenté par l'événement sommet de l'arbre. Voici les principales caractéristiques des coupes minimales :

- Elles représentent les chemins critiques menant à la défaillance

- Elles peuvent être d'ordres différents : une coupe de niveau 1 est une simple défaillance, une coupe de niveau 2 nécessite la combinaison de deux événements de base, etc.
- Elles sont obtenues en appliquant les règles de l'algèbre de Boole sur l'arbre de défaillance
- Chaque coupe minimale est une combinaison d'événements de base liés par des portes logiques "ET"
- L'ensemble des coupes minimales est relié par des portes logiques « OÙ »

L'identification des coupes minimales est une étape clé dans l'exploitation de l'arbre de défaillance, car elle permet de déterminer les points critiques sur lesquels il faut agir en priorité pour réduire le risque.

La figure suivante montre un exemple simple d'un arbre de défaillance et sa version réduite.

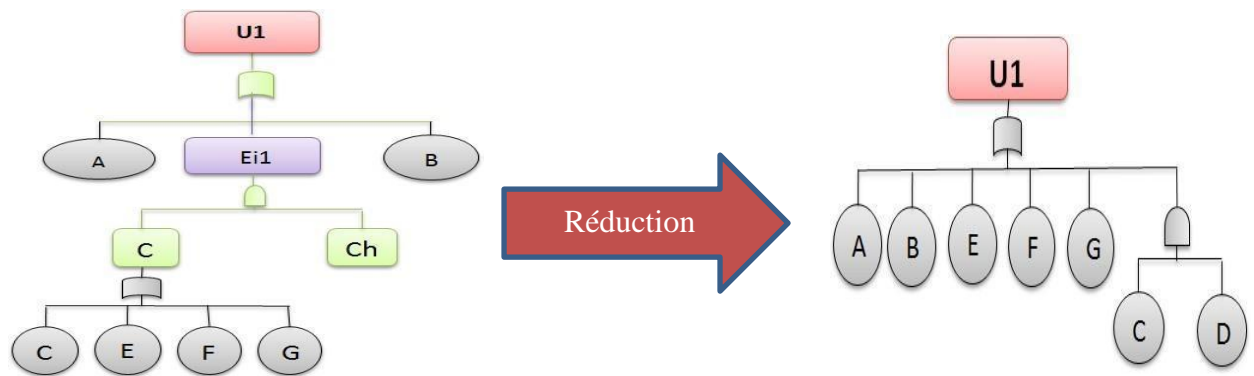


Figure II-7: Exemple d'un arbre de défaillance

Pour trouver les coupes minimales de cet arbre on doit trouver l'équation simplifiée qui relie l'évènement redouté les évènements de base. L'équation est écrite comme suit :

$$S = A + Ei1 + B$$

$$S = A + [Ei2.Ei3] + B$$

$$S = A + [(C + E + F + G). (D + E + F + G)] + B$$

$$S = A + (E + F + G) + (C.D) + B$$

$$S = A + E + F + G + (C.D) + B$$

$$S = A + E + F + G + B + (C.D)$$

Donc, les coupes minimales sont :

- Cinq coupes minimales d'ordre 1 : A, B, E, F et G
- Une coupe minimale d'ordre 2 : (C.D)

## 6. Analyse quantitative :

Analyse quantitative permettant de déterminer la probabilité de défaillance d'un système modélisé en fonction des probabilités de défaillance constantes de ses composants.

Calcul de probabilité de l'exemple précédent :

$$P(S) = P[(A + B + E + F + G) + (C \cdot D)]$$

$$P(S) \approx P(A) + P(B) + P(E) + P(F) + P(G) + [P(C) \times P(D)]$$

## 7. Les avantages pour les quelle on a choisi la méthode ADD :

Les avantages de la méthode de l'arbre de défaillance sont multiples et en font un outil précieux pour l'analyse des défaillances et la sûreté de fonctionnement des systèmes. Voici quelques avantages clés de cette méthode :

- a) **Représentation graphique efficace** : L'aspect graphique de l'arbre de défaillance facilite la représentation des combinaisons d'événements menant à une défaillance, ce qui en fait un outil visuel puissant pour la compréhension et la communication au sein d'équipes pluridisciplinaires.
- b) **Focus sur les événements critiques** : La méthode déductive de construction de l'arbre permet aux analystes de se concentrer uniquement sur les événements contribuant à l'événement redouté, ce qui simplifie l'analyse et la recherche des causes.
- c) **Analyse qualitative et quantitative** : L'arbre de défaillance offre la possibilité d'une exploitation qualitative pour identifier les combinaisons d'événements critiques et une exploitation quantitative pour hiérarchiser ces combinaisons selon leur probabilité d'apparition, permettant ainsi d'estimer la probabilité de l'événement redouté.
- d) **Prévention des accidents potentiels** : En évaluant les probabilités d'occurrence des événements conduisant à l'événement final, cette méthode fournit des critères pour déterminer les priorités en matière de prévention des accidents potentiels, contribuant ainsi à renforcer la sécurité des systèmes.

En résumé, le choix de l'Arbre de Défaillances est justifié par son efficacité dans la représentation de la logique de combinaison des défaillances, sa facilité d'analyse et de communication, ainsi que sa capacité à fournir des informations quantitatives et qualitatives pour la prévention des accidents potentiels.

## 8. Les inconvénients de l'arbre de défaillance :

Les inconvénients de l'arbre de défaillance incluent :

1. **Complexité de construction** : La construction d'un arbre de défaillance peut être complexe et nécessiter une expertise approfondie pour identifier correctement les événements et leurs relations.
2. **Sensibilité aux données** : L'efficacité de l'arbre de défaillance dépend fortement de la qualité des données utilisées pour évaluer les probabilités d'occurrence des événements, ce qui peut introduire des biais ou des incertitudes.
3. **Limitation de la portée** : L'arbre de défaillance peut ne pas capturer tous les scénarios possibles de défaillance, laissant des lacunes potentielles dans l'analyse des risques.
4. **Interprétation subjective** : L'interprétation des résultats de l'arbre de défaillance peut être subjective, ce qui peut entraîner des conclusions variables en fonction des personnes impliquées dans l'analyse.
5. **Coût en temps et ressources** : La construction et l'analyse d'un arbre de défaillance peuvent nécessiter des ressources importantes en termes de temps et de personnel qualifié, ce qui peut limiter son application dans certains contextes.

En résumé, bien que l'arbre de défaillance soit un outil puissant pour l'analyse des risques, il présente des inconvénients liés à sa complexité, sa sensibilité aux données, sa portée limitée, son interprétation subjective et ses exigences en termes de temps et de ressources

" Pour découvrir des articles récents sur l'application de la méthode de l'arbre de défaillance (AAD), diverses publications récentes proposent des perspectives intéressantes à ce sujet.

1. Analyse floue de l'arbre de défaillance et mesures de sécurité pour le système de transport de gaz de mine : Cet article applique la méthode de l'analyse floue de l'arbre de défaillance (FFTA) afin d'évaluer les risques d'explosions de gaz et de poussière de charbon dans les systèmes de transport de gaz. L'étude suggère des mesures de sécurité basées sur les résultats obtenus, telles que le préchauffage indirect du gaz et la régulation intelligente du mélange de gaz.

2. Utilisation des arbres de défaillance dynamiques (DFTA) pour le diagnostic des systèmes de puissance : Cet article explore l'application de l'arbre de défaillance dynamique dans le diagnostic des transformateurs. Il propose un système de diagnostic des pannes basé sur le DFTA, conçu pour être pratique et extensible, avec des capacités d'auto-apprentissage afin d'améliorer la fiabilité du système.

3. Combinaison de l'analyse d'arbre de défaillance et de réseau bayésien pour les drones : Cette étude évalue les risques associés aux drones en intégrant des arbres de défaillance et des

Chapitre II : Généralité sur la sûreté de fonctionnement réseaux bayésiens. Cette méthode hybride permet une compréhension et une modélisation plus approfondies des risques pour la sécurité publique liés à l'utilisation des drones.

4. Extensions et méthodes de résolution pour les arbres de défaillance et d'attaque : Une édition spéciale de la revue Information met en lumière les avancées récentes concernant les arbres de défaillance et d'attaque. Les articles traitent des extensions de modélisation, des méthodes automatiques de génération de modèles de niveaux inférieurs, ainsi que des outils logiciels pour la conception et l'analyse de ces arbres.

Ces articles illustrent la variété des applications et des approches méthodologiques employées pour renforcer la fiabilité et la sécurité des systèmes à travers l'analyse par arbre de défaillance. Pour obtenir plus de détails, vous pouvez consulter les articles complets dans les revues scientifiques mentionnées"

### **Conclusion :**

En conclusion, les méthodes de la sûreté de fonctionnement revêtent une importance capitale dans l'assurance de la fiabilité et de la sécurité des systèmes. Elles jouent un rôle essentiel en identifiant les potentielles défaillances d'un système, en les évaluant, et en instaurant des mesures préventives ou correctives pour les anticiper ou les rectifier

**Chapitre III : Application de la  
méthode arbre de défaillance sur le  
système MPS 500 : résultats et analyse.**

### **III. Introduction :**

Étant donné la complexité du système MPS 500 et la grande quantité d'informations à traiter, notre étude s'est concentrée sur deux stations : la station "production et livraison", qui est la composante la plus cruciale du système, et la station "tri et livraison". Nous avons appliqué la méthode de l'arbre de défaillance (AdD) pour analyser la fiabilité de ces deux stations.

Dans ce chapitre, nous détaillerons l'application de cette méthode. Nous commencerons par décrire les étapes de création des arbres de défaillance, depuis la sélection des événements indésirables jusqu'à la représentation des arbres de défaillance. Ensuite, nous présenterons notre analyse de ces arbres. Cette analyse nous a permis de recueillir des informations précieuses pour améliorer la fiabilité et l'efficacité du MPS 500. Enfin, nous formulerons des recommandations concrètes visant à renforcer la fiabilité du système.

#### **III.1 Démarche de l'application de la méthode utilisée :**

Pour appliquer la méthode de l'arbre de défaillance au système MPS 500, nous avons suivi une démarche structurée en trois étapes. Nous avons commencé par identifier les événements principaux susceptibles de causer des défaillances significatives, en ciblant les éléments critiques dont les défaillances peuvent affecter gravement le fonctionnement global du système.

Ensuite, nous avons construit les arbres de défaillance pour chacun de ces événements, représentant graphiquement les relations de cause à effet entre les différentes défaillances potentielles, ce qui a permis de visualiser les différentes voies pouvant conduire à une défaillance.

Après la construction des arbres de défaillance, nous avons entrepris une analyse détaillée de chacun d'eux pour comprendre les mécanismes sous-jacents des défaillances, identifier les causes racines et évaluer l'impact de chaque défaillance. Cette analyse nous a aidés à mieux comprendre les vulnérabilités du système et à identifier les points faibles nécessitant une attention particulière.

##### **III.1.1 Identification des événements principaux :**

L'étape d'identification des événements indésirables dans l'analyse de la station de production et de livraison du système MPS 500 vise à identifier les événements clés qui pourraient affecter négativement le fonctionnement de ces stations et la performance globale du système. Cette phase a pour objectif de repérer les événements qui pourraient causer des problèmes majeurs, tels que :

- 1) **Pièce non usinée** : Une pièce qui n'a pas été correctement usinée peut entraîner des dysfonctionnements dans l'assemblage final, ce qui peut affecter la qualité globale du produit et la satisfaction du client.
- 2) **Pièce de mauvaise qualité** : La présence de pièces défectueuses peut compromettre la qualité globale du produit et affecter la satisfaction du client.

- 3) **Erreur dans la station de tri des pièces** : Des erreurs dans le tri des pièces dans la glissière peuvent entraîner des problèmes de livraison et de gestion des stocks, ce qui peut affecter la qualité globale du produit.

L'identification de ces incidents majeurs repose sur une analyse approfondie des possibles défaillances, des causes sous-jacentes, et des conséquences associées. Plusieurs éléments peuvent contribuer à ces événements indésirables, tels que des soucis mécaniques, des pannes de composants, des erreurs de programmation, des interruptions d'approvisionnement en matières premières, ou d'autres problèmes opérationnels.

Les conséquences de ces incidents peuvent être importantes, entraînant un arrêt de la production, une diminution de la productivité, et des retards dans les livraisons vers les autres parties du système MPS 500. Il est donc crucial de comprendre les causes potentielles et de mettre en place des actions préventives pour réduire les risques liés à ces événements.

Dans la continuité de notre analyse, nous examinerons en détail les diverses causes possibles de ces incidents indésirables, afin de définir les mesures correctives et préventives à appliquer. L'objectif est d'assurer une fiabilité accrue de deux stations, d'améliorer la disponibilité des composants, et de diminuer les risques de défaillance associés à ces événements.

### **III.1.2 Arbre de défaillance pour le premier évènement (Pièce non usiné) :**

La construction de l'arbre de défaillance permet d'identifier les différentes défaillances potentielles qui peuvent contribuer à l'évènement indésirable. Ces défaillances peuvent être de nature mécanique, électrique, logicielle, résulter d'erreurs humaines, de problèmes d'approvisionnement en matières premières, ou encore de dysfonctionnements des systèmes auxiliaires.

Chaque défaillance identifiée est représentée par un nœud de l'arbre, et les relations de cause à effet entre ces défaillances sont établies à l'aide de portes logiques telles que l'(ET) et le (OU). En construisant l'arbre de défaillance, nous visualisons clairement les différents scénarios menant à l'évènement indésirable.

Dans la suite de notre analyse, nous examinerons en détail la construction de l'arbre de défaillance pour le premier évènement indésirable.

#### **III.1.2.1 Etablissement des causes immédiates du premier évènement « Pièce non usiné »**

Dans notre étude sur le problème de « pièce non usiné » ou "Pas d'usinage de pièce" dans la station de production du système MPS 500, nous avons identifié deux évènements intermédiaires qui sont les principales causes de ce dysfonctionnement. Ces évènements sont les suivants : "problème en sous station Handling" et un "problème en sous station production". Ces deux problèmes sont liés par une logique « OU » c'est-à-dire si l'un d'eux se produit, cela peut contribuer à l'absence d'usinage des pièces dans la station de production. Comme il est montré par la figure III.1.

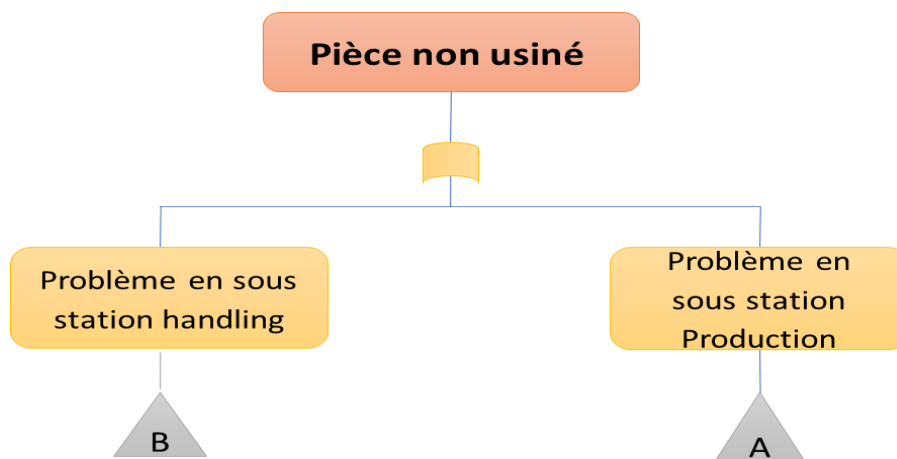


Figure III-1: les causes immédiates de premier évènement

### III.1.2.2 Identification des causes des deux évènements intermédiaires

Après avoir identifié les événements intermédiaires liés à "Pas d'usinage de pièce" dans la station de production du système MPS 500, à savoir les problèmes de "sous station handling" et "sous station production", nous avançons vers la prochaine étape qui est l'identifier les causes possibles de ces événements.

#### a) L'évènement "Problème en sous station Handling" :

La sous-station Handling joue un rôle crucial dans le transfert des pièces vers la sous-station Production via le robot cartésien. Un dysfonctionnement de cette sous-station peut empêcher le robot de déplacer les pièces, engendrant ainsi l'évènement indésirable "Problème en sous station Handling".

Trois types de défaillances majeures peuvent empêcher le robot de fonctionner correctement.

Défaut de déplacement horizontal (XX') : Le robot ne parvient pas à se déplacer latéralement le long de son axe X, bloquant le transfert des pièces.

Défaut de déplacement vertical (YY') : Le robot ne parvient pas à se déplacer verticalement le long de son axe Y, empêchant la saisie ou le dépôt des pièces.

Défaut de la pince : La pince du robot ne peut pas saisir ou maintenir correctement les pièces, compromettant leur transfert.

Absence de détection de la pièce par le capteur de l'entrée de la station (3B1) : Si le capteur 3B1 ne détecte pas la présence de la pièce, le robot ne peut pas initier le cycle de transfert, même en l'absence de défaillances mécaniques.

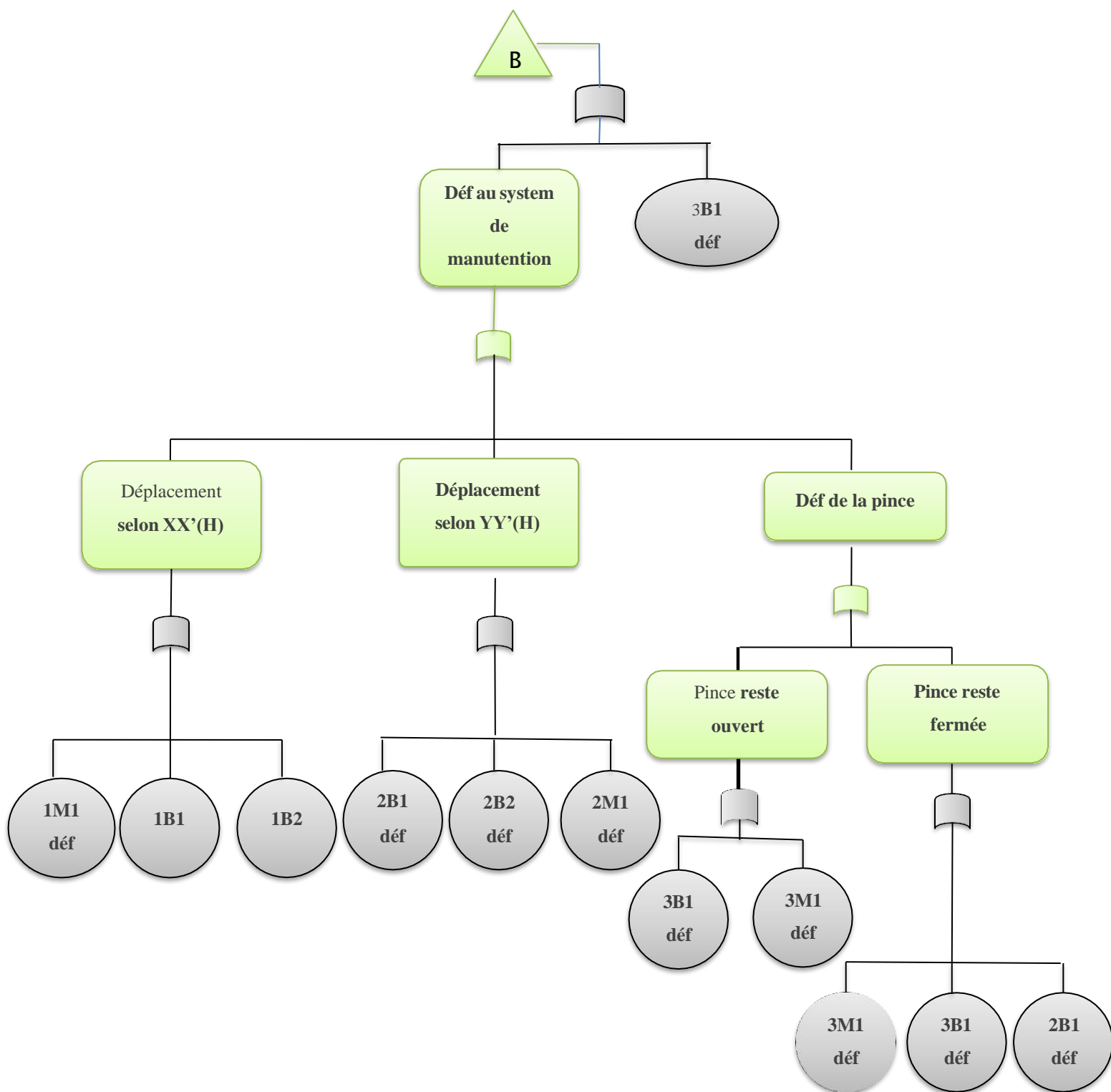


Figure III-2: présente l'arbre de défaillance qui englobe l'ensemble des causes de l'évènement «  
Problème en sous station Handling »

**b) L'évènement "problème en sous station de production" :**

L'évènement "Problème en sous-station de production" désigne une situation dans laquelle la sous-station ne parvient pas à assurer la production effective des pièces. Cette défaillance peut avoir des conséquences importantes sur la chaîne de production globale.

En réalité, trois causes majeures pouvant engendrer ce problème

- La table d'indexation ne fonctionne pas :

La table d'indexation est un élément crucial qui permet le positionnement précis des pièces pour les opérations de perçage. Un dysfonctionnement de la table peut empêcher le mouvement correct des pièces, interrompant ainsi le processus de production.

Les défaillances de la table d'indexation peuvent prendre diverses formes, telles que des problèmes moteurs, des pannes de capteurs ...

- La perceuse ne fonctionne pas :

La perceuse est l'outil principal utilisé pour la réalisation des trous dans les pièces. Sa défaillance peut empêcher l'exécution des opérations de perçage, stoppant ainsi la production.

Les causes possibles de défaillance de la perceuse incluent des problèmes mécaniques (usure des pièces, bris de forets), des problèmes électriques (court-circuit, surcharges) ...

- Défaillance du capteur de contrôle

Le capteur de contrôle joue un rôle essentiel dans la surveillance du processus de production et la fourniture de données critiques au système de contrôle. Un capteur défaillant peut transmettre des informations erronées, entraînant des problèmes de positionnement, de perçage ou de qualité des pièces.

Les défaillances du capteur de contrôle peuvent résulter de divers facteurs, tels que des dommages physiques, des interférences électromagnétiques ou des problèmes de calibrage.

La figure suivante présente l'arbre de l'évènement « problème en sous station de production »

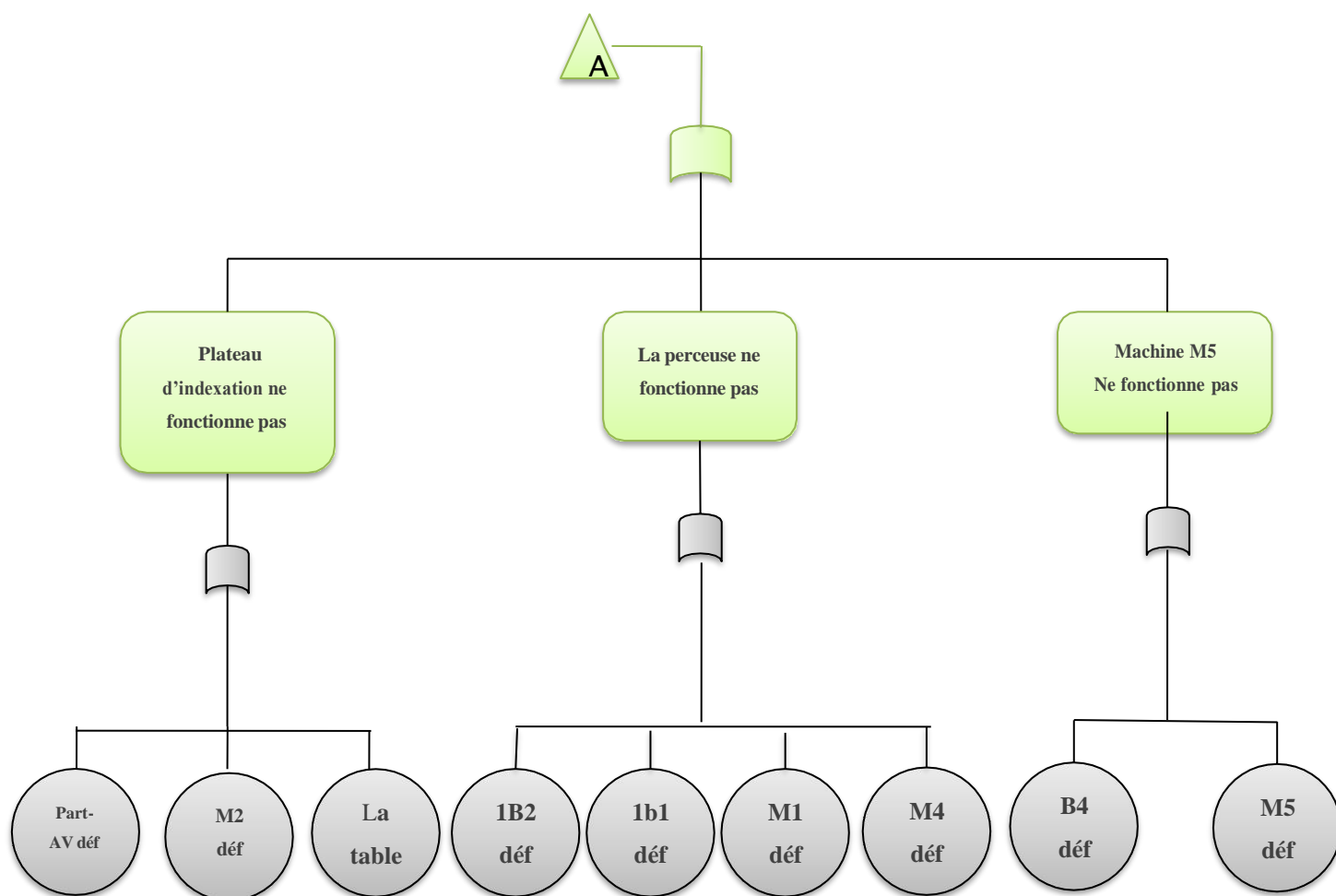


Figure III.2 : L'évènement "problème en sous station de production"

### III.1.2.3 Réduction de l'arbre du premier évènement

Après avoir construit l'arbre de défaillance, nous devons le simplifier en regroupant les événements similaires ou redondants. Lors de cette étape, nous cherchons à identifier les événements ou les causes qui peuvent être traités de manière similaire ou qui ont des mesures préventives et correctives communes. Par exemple, si plusieurs événements intermédiaires ont des causes similaires ou nécessitent les mêmes actions correctives, nous les regroupons en un seul événement pour simplifier l'arbre. Cette réduction permet également de se concentrer sur les événements et les causes les plus critiques et significatifs, en éliminant les branches ou les nœuds moins pertinents. Cela nous permet d'optimiser nos ressources et nos efforts de prévention en nous concentrant sur les facteurs qui ont le plus grand impact sur la fiabilité et le bon fonctionnement du système.

Chapitre III : Application de la méthode arbre de défaillance sur le système MPS 500 :  
résultats et analyse.

Pour faciliter la réduction de l'arbre de défaillance, nous utilisons des codes spécifiques pour chaque événement élémentaire. Ces codes nous permettent d'identifier de manière unique chaque événement et de simplifier la manipulation et l'analyse de l'arbre. Dans notre étude, nous avons établi un tableau des codes utilisés pour chaque événement intermédiaire. En utilisant ces codes, nous avons pu établir l'équation booléenne correspondante, ce qui nous a permis de déterminer les coupes minimales pour simplifier l'expression logique de l'événement principal.

Tableau III-1: Les codes identifiés pour chaque évènement

<i>Evénements</i>	<i>Codes</i>	<i>Evénements</i>	<i>Codes</i>
Pièce non usinée	<b>E</b>	1M1 défaillant	<b>C</b>
Problème en sous station Handling	<b>E1</b>	1M2 défaillant	<b>D</b>
Problème en sous station de production	<b>E2</b>	Capteur 2B1 défaillant	<b>F</b>
Défaut de système manutention	<b>E12</b>	Capteur 2B2 défaillant	<b>G</b>
Défaut de déplacement horizontal XX'	<b>E121</b>	Capteur 1B2 défaillant	<b>H</b>
Défaut de déplacement vertical YY'	<b>E122</b>	Capteur 1B1 défaillant	<b>I</b>
Défaut de la pince	<b>E123</b>	M1 défaillant	<b>J</b>
La pince reste ouverte	<b>R1</b>	M2 défaillant	<b>K</b>
La pince reste fermée	<b>R2</b>	M4 défaillant	<b>L</b>
La table ne fonctionne pas	<b>E21</b>	M5 défaillant	<b>M</b>
La perceuse ne fonctionne pas	<b>E22</b>	Capteur B1 défaillant	<b>N</b>
Machine M5 ne fonctionne pas	<b>E23</b>	Capteur B2 défaillant	<b>O</b>
Capteur 3B1 défaillant	<b>A</b>	Capteur B4 défaillant	<b>P</b>
Vérin défaillant	<b>B</b>	Part_Av défaillant	<b>Q</b>

- **L'équation booléenne de l'événement redouté « E » est la suivante :**

$$E = E1 + E2$$

$$E = A + E121 + E122 + E123 + E21 + E22 + E23$$

$$E = (B + C + D) + (F + G) + (R1 + R2) + (H + I + J) + (K + L) + (M + N + O) + (P + Q)$$

$$E = B + C + D + F + G + R1 + R2 + H + I + J + K + L + M + N + O$$

- L'équation de l'événement redouté après des réductions devienne :
- $E = B + C + D + F + G + R1 + R2 + H + I + J + K + L + M + N + O$
- Les coupes minimales sont alors des coupes minimales d'ordre 1 :

$$B, C, D, F, G, R1, R2, H, I, J, K, L, M, N, O$$

À partir ces coupes minimales on peut faire l'arbre réduite qui est dans la figure suivante :

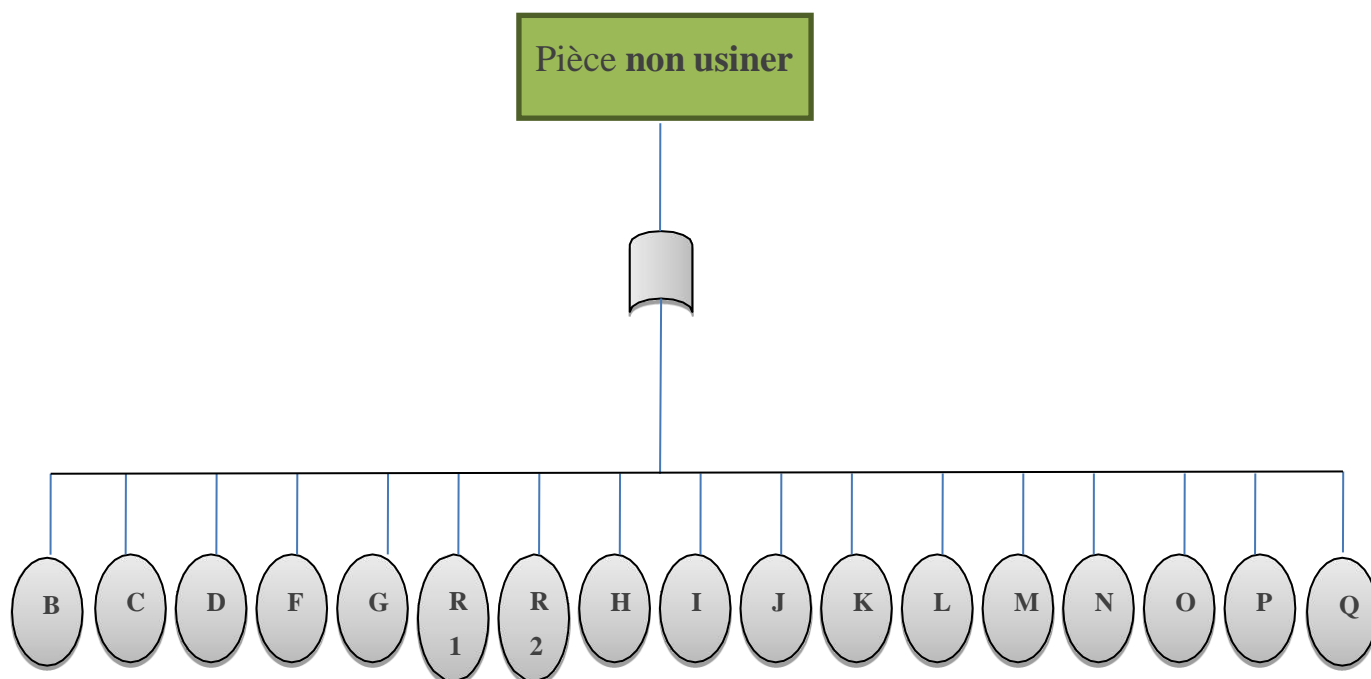


Figure III-3: L'arbre réduit du premier évènement

#### III.1.2.4 Analyse de l'arbre défaillance de premier l'évènement indésirable

Dans notre analyse de ce l'arbre défaillance pour l'évènement indésirable "**Pas d'usinage de pièce**" dans la station de production du système MPS 500, nous avons identifié les causes principales de ce dysfonctionnement. Les problèmes au niveau de la sous-station de manutention et de la sous-station de production sont essentiels. Au niveau de la sous-station de manutention, les défauts de déplacement horizontal et vertical du robot cartésien, ainsi que les problèmes de la pince, peuvent perturber le déplacement correct des pièces vers la station de production. De plus, le défaut de détection des pièces par le capteur 3B1 peut également contribuer à cet évènement indésirable. Concernant la sous-station de production, la défaillance de la table d'indexation peut compromettre le positionnement précis des pièces pour l'usinage, tandis qu'une panne de la perceuse peut stopper complètement la production. En se concentrant sur les problèmes immédiats des sous-stations de manutention et de production.

### III.1.3 Arbre de défaillance pour le deuxième événement (pièce mauvaise qualité)

#### III.1.3.1 Etablissement des causes immédiates de premiers niveaux

Dans notre étude sur le problème de "pièce mauvaise qualité" dans la station de production du système MPS 500, nous avons identifié deux événements intermédiaires qui sont les principales causes de ce dysfonctionnement. Ces événements sont les suivants : un "pièce mal à positionner" et un "erreur fonctionnelle dans la perceuse".

Ces deux problèmes sont liés par une porte logique « OÙ » : si l'un d'eux se produit, cela peut contribuer à générer l'événement principal. En comprenant ces événements intermédiaires, nous pouvons progresser dans la construction de l'arbre de défaillance en les intégrant et en établissant leurs liens avec le problème principal de "pièce mauvaise qualité".

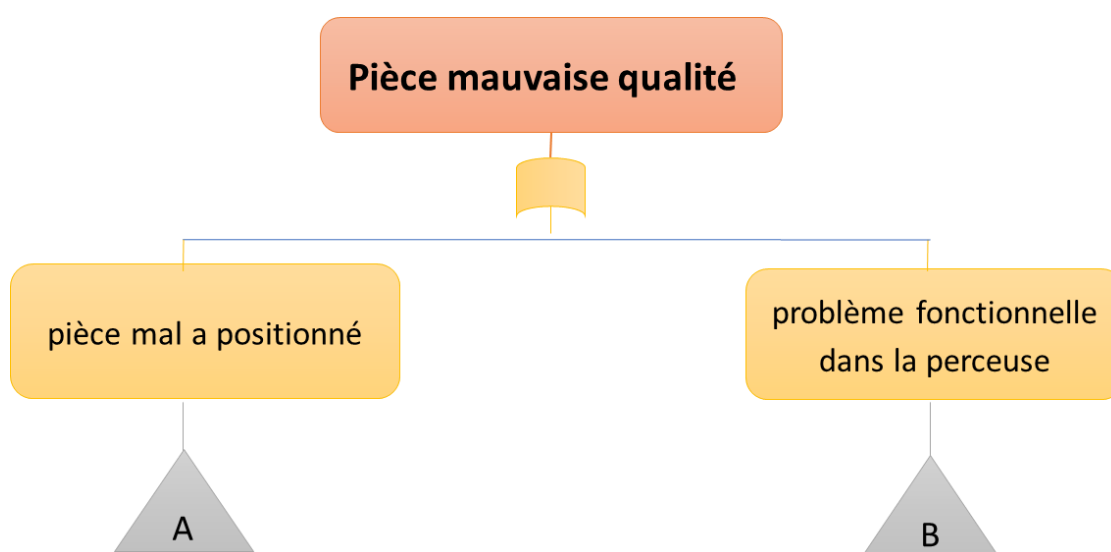


Figure III-4: Les causes immédiates de premiers niveaux

#### III.1.3.2 Identification des causes des deux événements principaux

L'analyse des événements intermédiaires associés aux pièces de mauvaise qualité dans la station de production du système MPS 500 nous permet de passer à l'étape suivante : l'identification des causes racines de ces problèmes.

##### a) L'évènement "pièce mal positionné" :

Dans notre analyse de l'évènement "pièce mauvaise qualité" dans la station de production du système MPS 500, nous avons identifié le "pièce mal positionner" comme l'une des causes principales. Ce problème peut sérieusement perturber la production en entraînant une erreur de l'usinage des pièces. Dans cette section de l'arbre de défaillance, nous allons examiner en détail les diverses raisons possibles. Pour cet événement, les causes typiques incluent des problèmes mécaniques ou électriques.

Dans cette partie de l'arbre de défaillance, nous pouvons voir que l'évènement indésirable "pièce mal a positionné" est causé par deux événements intermédiaires reliés par une porte

logique OÙ : erreur fonctionnelle dans la table d'indexation, erreur fonctionnelle dans le robot cartésien.

- Problème fonctionnel dans le robot cartésien :

Le problème fonctionnel dans le robot cartésien peut être causé par plusieurs facteurs, notamment :

- Un défaut de calibration ou de réglage des capteurs optiques de proximité (3B1) et des capteurs électromagnétiques de fin de course (1B1, 1B2, 1B3, 2B1, 2B2) peut entraîner une erreur de détection de la présence des pièces ou une limitation incorrecte des déplacements du robot. Cela peut compromettre la précision du positionnement des pièces, y compris lorsqu'il s'agit de poser une pièce sur la table d'indexation, et perturber le fonctionnement global du système.
- Un dysfonctionnement des vérins pneumatiques (2M1, 3M1), responsables du mouvement vertical et de l'ouverture des pinces, peut causer une erreur de positionnement des pièces. Si ces vérins ne fonctionnent pas correctement, la pince du robot pourrait ne pas se déplacer de manière fluide et précise, impactant ainsi la manipulation des pièces, y compris lors de la pose sur la table
- Un problème de synchronisation entre les moteurs (1M1, 1M2) et les vérins pneumatiques peut affecter la précision et la coordination des mouvements du robot. Une synchronisation inadéquate peut entraîner des erreurs de positionnement des pièces, y compris lors de la pose sur la table, et des

Mouvements incohérents de la pince, compromettant ainsi l'efficacité du processus de manipulation.

- Problème fonctionnel de la table d'indexation :

Le problème fonctionnel de la table d'indexation peut être attribué à plusieurs causes, notamment :

- Un défaut de calibration ou de réglage de la table d'indexation peut entraîner une erreur de positionnement des pièces, perturbant ainsi le bon déroulement du processus.
- Le dysfonctionnement du moteur M2, chargé de la rotation du plateau, peut causer des erreurs de positionnement des pièces, compromettant la précision du système.

- L'usure ou les dommages mécaniques sur les mécanismes de la table d'indexation peuvent affecter sa précision et sa fiabilité, entraînant des problèmes de positionnement des pièces.

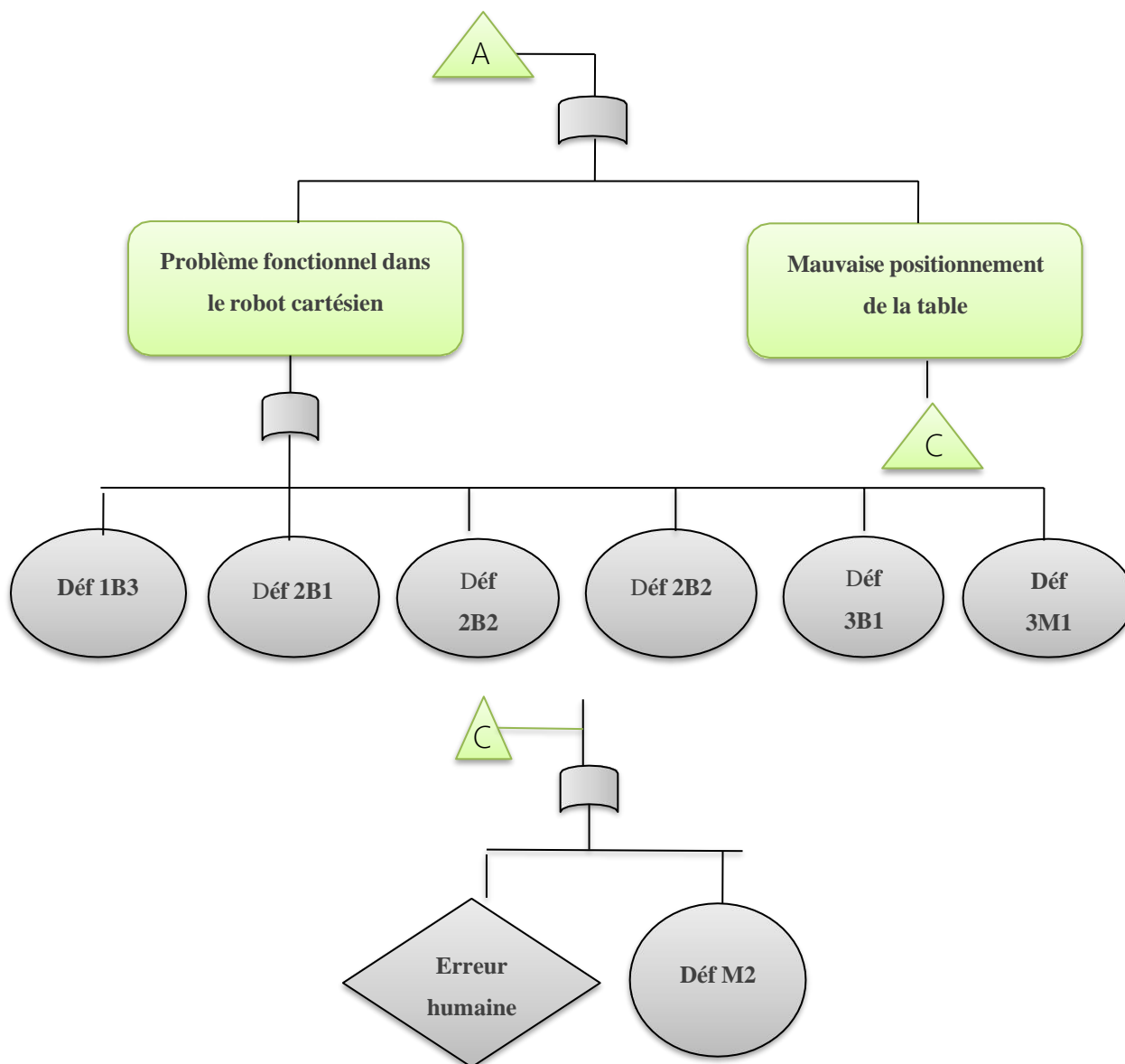


Figure III-5: L'évènement "pièce mal a positionné"

**b) L'évènement "problème fonctionnelle dans la perceuse" :**

Les causes du problème fonctionnel dans la perceuse, entraînant des pièces usinées de mauvaise qualité, sont les suivantes :

- Si l'électro-aimant (M4) qui maintient la pièce sous la perceuse ne fonctionne pas correctement, la pièce peut bouger ou vibrer pendant l'usinage, causant des défauts de qualité. Une synchronisation défaillante entre l'électro-aimant et la perceuse peut également entraîner des erreurs d'usinage.

- Une fixation incorrecte de la pièce sur la table rotative peut entraîner des vibrations et des défauts d'usinage. Il est crucial que la pièce soit bien maintenue en place pendant le perçage.
- Des paramètres d'usinage inadaptés, comme une vitesse de rotation ou une avance trop élevée, peuvent causer des défauts de surface, des bavures ou une mauvaise qualité des trous percés.
- Une erreur dans le déplacement vertical de la perceuse, limité par les capteurs de fin de course (1B1 et 1B2), peut causer des défauts de perçage si le mouvement n'est pas précis.
- Un manque de coordination entre les mouvements de la perceuse et ceux du robot lors du chargement et du déchargement des pièces peut provoquer des collisions ou des erreurs de positionnement, affectant la qualité de l'usinage. Une synchronisation précise est essentielle pour éviter ces problèmes.
- L'usure ou les dommages sur les composants de la perceuse, comme les roulements, les broches ou les outils de coupe, peuvent détériorer la qualité de l'usinage. Un entretien régulier et le remplacement des pièces usées sont nécessaires pour maintenir des performances optimales.

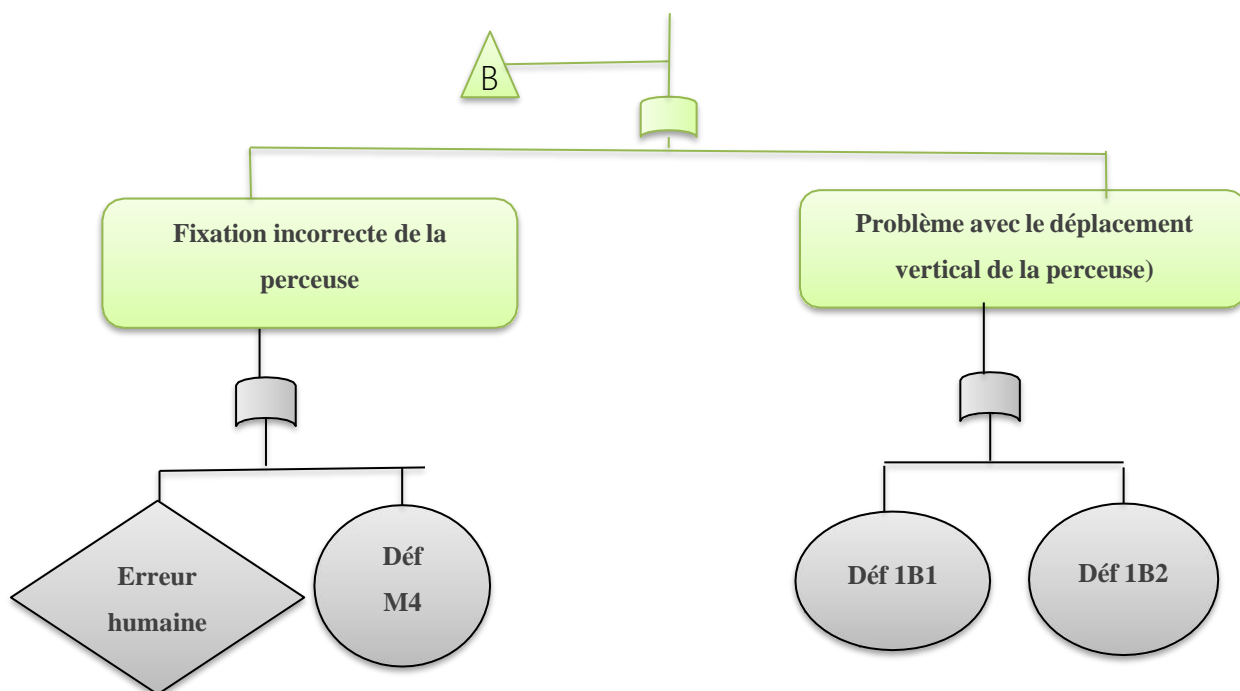


Figure III-6: L'évènement "problème fonctionnelle dans la perceuse"

### III.1.3.3 Réduction de l'arbre :

Tableau III-2: Les codes identifiés pour chaque événement

<i>Evénements</i>	<i>Les codes</i>
Pièce mauvaise qualité	<b>E</b>
Pièce mal a positionné	<b>E1</b>
Problème fonctionnelle dans la perceuse	<b>E2</b>
Problème fonctionnel dans le robot cartésien	<b>E11</b>
Mauvaise positionnement de la table	<b>E12</b>
Fixation incorrecte de la perceuse	<b>E21</b>
Problème avec le déplacement vertical de la perceuse	<b>E22</b>
Capteur 3B1 défaillant	<b>A</b>
Capteur 1B1 défaillant	<b>B</b>
Capteur 1B2 défaillant	<b>C</b>
Capteur 1B3 défaillant	<b>D</b>
Capteur 2B1 défaillant	<b>F</b>
Capteur 2B2 défaillant	<b>G</b>
Erreur dans le Mateur M2	<b>H</b>
Erreur dans le Moteur M1	<b>I</b>
Erreur dans le moteur M4	<b>J</b>
Erreur dans le vérin 1M2	<b>K</b>
Erreur dans le vérin 2M2	<b>L</b>

- **L'équation booléenne de l'événement redouté « E » est la suivante :**

$$E = E1 + E2$$

$$E = (E11 + E12) + (E21 + E22)$$

$$E = (A + B + C + D + F + G + K + L) + (H + I + J)$$

$$E = A + B + C + D + F + G + K + L + H + I + J$$

- **L'équation de l'événement redouté après des réductions devienne :**
- **$E = A + B + C + D + F + G + K + L + H + I + J$**
- **Les coupes minimales sont alors des coupes minimales d'ordre 1 :**

$$E = A, B, C, D, F, G, K, L, H, I, J$$

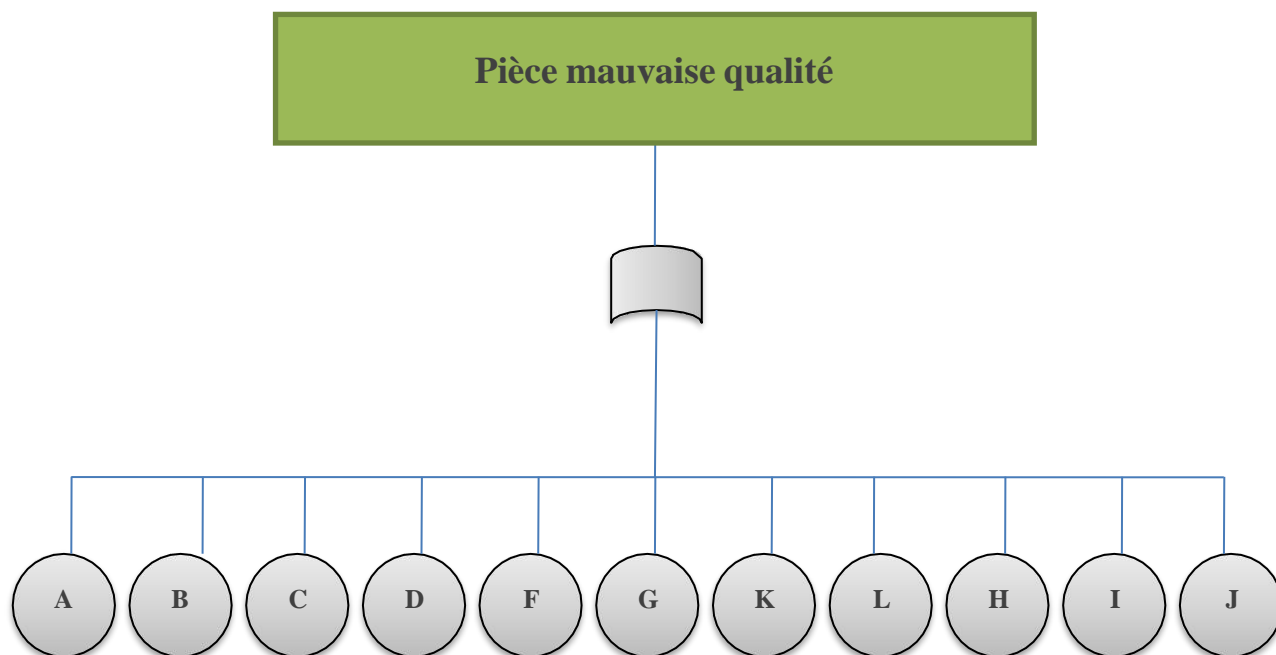


Figure III-7: L'arbre réduit de deuxième événement

#### III.1.3.4 Analyse de l'arbre défaillance de deuxième l'évènement indésirable :

A partir notre analyse approfondie de l'arbre de défaillance, nous avons identifié les deux principales causes menant à la production de pièces de mauvaise qualité dans la station MPS 500 : les problèmes de positionnement des pièces et les erreurs fonctionnelles de la perceuse. Les défaillances potentielles au niveau du positionnement incluent des problèmes du robot cartésien, tels qu'un défaut de calibration des capteurs, un dysfonctionnement des vérins, ou un manque de synchronisation. Des problèmes peuvent également survenir au niveau de la table d'indexation, comme un défaut de calibration, un dysfonctionnement du moteur ou des dommages mécaniques. Ces défaillances peuvent compromettre la précision du positionnement des pièces. Concernant la perceuse, plusieurs facteurs peuvent détériorer la qualité des pièces usinées : un mauvais fonctionnement de l'électro-aimant, une fixation incorrecte des pièces, des paramètres d'usinage inadaptés, une erreur dans le déplacement vertical, un manque de coordination avec le robot, ou encore l'usure des composants. En nous concentrant sur ces causes immédiates, il est possible de prioriser les actions correctives et préventives, comme la maintenance préventive des composants, l'optimisation des paramètres de contrôle, la redondance des capteurs critiques. Ces mesures nous permettront de réduire significativement les risques de défaillance et d'améliorer la qualité des pièces usinées.

#### III.1.4 Arbre de défaillance pour le troisième évènement (Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrectes) :

##### III.1.4.1 Etablissement les causes immédiates de premiers niveaux :

Dans notre analyse du problème "Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrects" dans la station de livraison du système MPS 500, nous avons identifié trois

événements intermédiaires qui sont les causes principales de ce dysfonctionnement. Il s'agit des problèmes suivants : "pièces rouges placées dans un emplacement incorrect", "pièces noires placées dans un emplacement incorrect" et "pièces métalliques placées dans un emplacement incorrect". Ces trois événements sont liés par une logique simple : si l'un d'eux se produit, cela peut entraîner l'absence de livraison des pièces dans la station. En comprenant ces événements intermédiaires, nous pouvons progresser dans la construction de l'arbre de défaillance en les intégrant et en établissant leurs liens avec le problème principal de "Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrects".

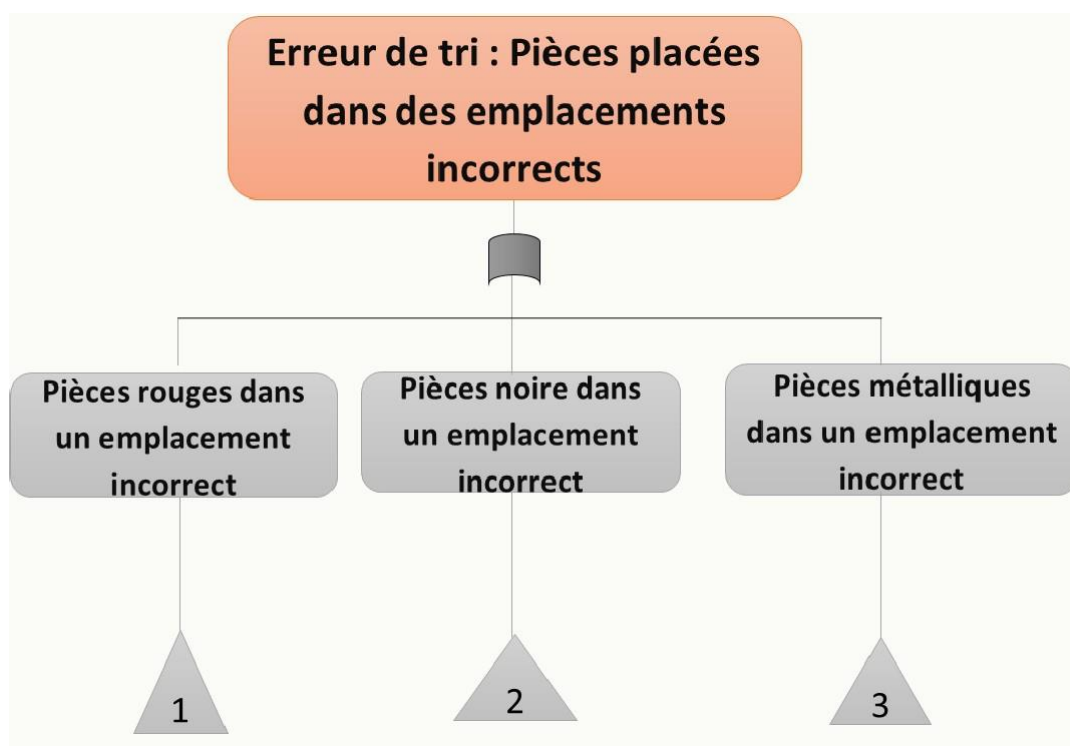


Figure III-8: les causes immédiates de premier niveau

#### III.1.4.2 Identification des causes des trois événements principaux :

Après avoir identifié les événements intermédiaires liés à "**Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrects**" dans la station de production du système MPS 500.

Nous avançons vers la prochaine étape : comprendre les causes de ces événements.

##### a) L'évènement "**pièces rouges placées dans un emplacement incorrect**" :

Dans notre analyse de l'évènement "Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrects" dans la station de livraison du système MPS 500, nous avons identifié que les "pièces rouges placées dans un emplacement incorrect" sont une cause principale. Ce problème peut perturber sérieusement la livraison des pièces. Dans cette section de l'arbre de défaillance, nous allons examiner en détail les différentes raisons possibles pour cet événement.

Dans cette partie de l'arbre de défaillance, nous constatons que l'événement indésirable "pièces rouges placées dans un emplacement incorrect" est causé par deux événements intermédiaires reliés par une porte logique OÙ : la pièce rouge dans l'emplacement métallique et la pièce rouge dans l'emplacement noir.

- **La pièce rouge dans l'emplacement métallique :**

L'événement indésirable de "la pièce rouge dans l'emplacement métallique" peut s'expliquer par deux causes principales. D'abord, le problème de détection peut être en cause : le capteur - 60B3 n'a peut-être pas correctement identifié la couleur de la pièce à usiner, la classant à tort comme rouge au lieu de métallique.

Ensuite, un dysfonctionnement du stoppeur ou du barrage pourrait également contribuer à cette situation. Si ces composants ne parviennent pas à diriger correctement la pièce rouge vers l'emplacement adéquat, elle risque d'être placée dans l'emplacement métallique.

- **La pièce rouge dans l'emplacement noire :**

L'événement indésirable de "la pièce rouge placée dans l'emplacement noir" peut s'expliquer par deux causes principales. D'abord, un problème de détection est possible le capteur B3, chargé de détecter la couleur noire, a pu identifier à tort la pièce rouge comme étant noire.

Ensuite, un dysfonctionnement du stoppeur ou du barrage pourrait aussi contribuer à cette situation. Si ces composants ne parviennent pas à diriger correctement la pièce rouge vers le bon emplacement, elle risque d'être placée dans l'emplacement prévu pour les pièces noires. Ainsi, la combinaison de ces deux facteurs - problème de détection et mauvais fonctionnement du stoppeur - peut conduire à l'événement indésirable d'une pièce rouge se retrouvant dans l'emplacement noir.

Chapitre III : Application de la méthode arbre de défaillance sur le système MPS 500 :  
résultats et analyse.

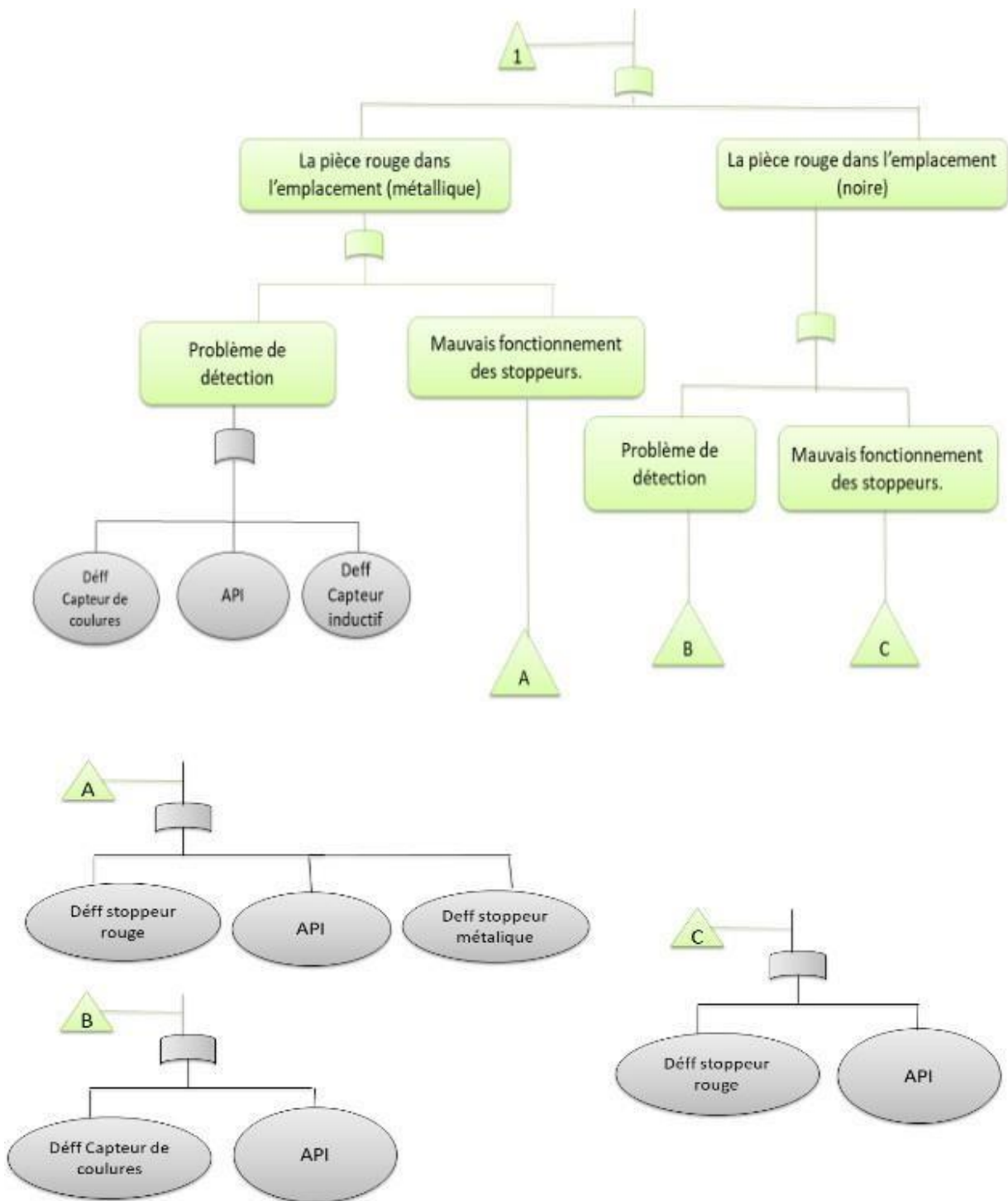


Figure III-9: L'évènement "pièces rouges placées dans un emplacement incorrect"

**b) L'évènement "pièces métalliques placées dans un emplacement incorrect" :**

Dans notre analyse de l'évènement "Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrects" dans la station de livraison du système MPS 500, nous avons identifié que les "pièces métalliques placées dans un emplacement incorrect" sont une cause principale. Ce problème peut perturber sérieusement la livraison des pièces. Dans cette section de l'arbre de défaillance, nous allons examiner en détail les différentes raisons possibles pour cet évènement.

Dans cette partie de l'arbre de défaillance, nous constatons que l'évènement indésirable "pièces rouges placées dans un emplacement incorrect" est causé par deux évènements intermédiaires reliés par une porte logique OÙ : la pièce métallique dans l'emplacement rouge et la pièce métallique dans l'emplacement noir.

**- La pièce métallique dans l'emplacement noire :**

L'évènement indésirable d'une pièce métallique se retrouvant dans l'emplacement prévu pour les pièces noires peut s'expliquer par deux causes principales. Tout d'abord, un problème de détection est possible : le capteur B2, chargé d'identifier les pièces métalliques, a pu classifier à tort la pièce en question comme étant noire.

Ensuite, un dysfonctionnement du stoppeur ou du barrage pourrait aussi contribuer à cette situation. Si ces composants ne parviennent pas à diriger correctement la pièce métallique vers l'emplacement qui lui est dédié, elle risque d'être placée dans celui prévu pour les pièces noires. Ainsi, la combinaison de ces deux facteurs - problème de détection et mauvais fonctionnement du stoppeur - peut conduire à cet évènement indésirable.

**- La pièce métallique dans l'emplacement rouge :**

L'évènement indésirable où une pièce métallique se retrouve dans l'emplacement prévu pour les pièces rouges peut être expliqué par deux causes principales. Initialement, un problème de détection peut survenir : le capteur B2, chargé d'identifier les pièces métalliques, pourrait erronément considérer la pièce en question comme étant rouge.

Ensuite, un dysfonctionnement du stoppeur ou du barrage pourrait également contribuer à cette situation. Si ces éléments ne parviennent pas à orienter correctement la pièce métallique vers son emplacement prévu, il y a un risque qu'elle soit placée dans l'emplacement destiné aux pièces rouges. Ainsi, la conjonction de ces deux facteurs - le problème de détection et le mauvais fonctionnement du stoppeur - peut entraîner cet évènement indésirable.

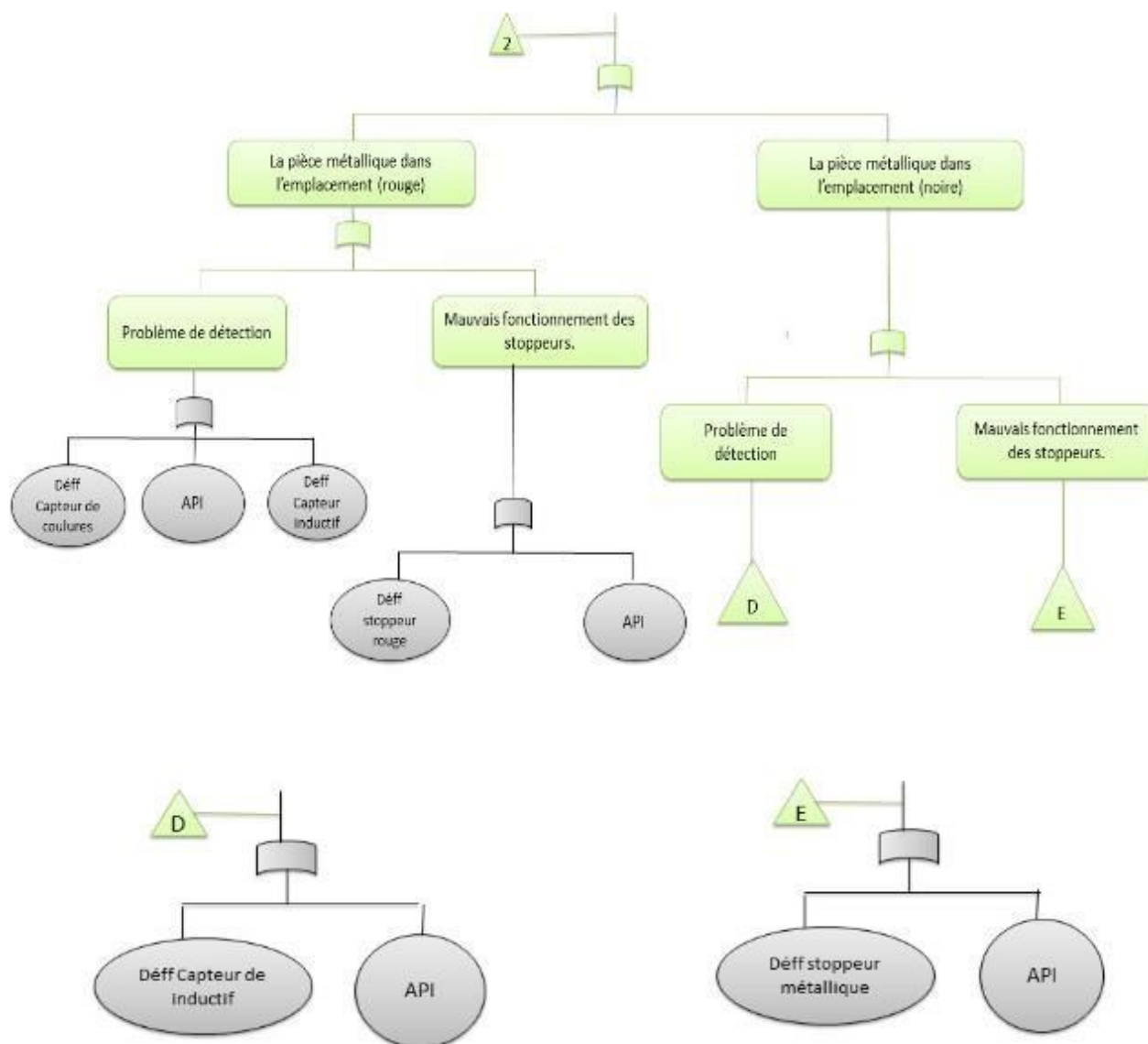


Figure III-10: L'évènement "pièces métallique placées dans un emplacement incorrect"

**c) L'évènement "pièces noires placées dans un emplacement incorrect" :**

Dans notre analyse de l'évènement "Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrects" dans la station de livraison du système MPS 500, nous avons identifié que les "pièces noires placées dans un emplacement incorrect" sont une cause principale. Ce problème peut perturber sérieusement la livraison des pièces. Dans cette section de l'arbre de défaillance, nous allons examiner en détail les différentes raisons possibles pour cet évènement.

Dans cette partie de l'arbre de défaillance, nous constatons que l'évènement indésirable "pièces noires placées dans un emplacement incorrect" est causé par deux évènements intermédiaires reliés par une porte logique OÙ : la pièce noire dans l'emplacement rouge et la pièce noire dans l'emplacement métallique.

- **La pièce noire dans l'emplacement rouge :**

L'événement indésirable où une pièce noire se retrouve dans l'emplacement prévu pour les pièces rouges peut s'expliquer par deux causes principales. Initialement, un problème de détection est envisageable : le capteur B3, chargé de détecter la couleur noire, a peut-être mal identifié la pièce noire comme étant rouge.

Ensuite, un dysfonctionnement du stoppeur ou du barrage pourrait également contribuer à cette situation. Si ces éléments ne parviennent pas à diriger correctement la pièce noire vers l'emplacement prévu, elle risque d'être placée dans l'emplacement destiné aux pièces rouges. Ainsi, la combinaison de ces deux facteurs - problème de détection et mauvais fonctionnement du stoppeur - peut conduire à cet événement indésirable.

- **La pièce noire dans l'emplacement métallique :**

L'événement indésirable où une pièce noire se retrouve dans l'emplacement prévu pour les pièces métalliques peut s'expliquer par deux causes principales. Tout d'abord, un problème de détection est envisageable : le capteur B3, chargé de détecter la couleur noire, a peut-être identifié erronément la pièce noire comme étant métallique.

Ensuite, un dysfonctionnement du stoppeur ou du barrage pourrait également contribuer à cette situation. Si ces éléments ne parviennent pas à diriger correctement la pièce noire vers l'emplacement qui lui est dédié, elle risque d'être placée dans celui destiné aux pièces métalliques. Ainsi, la combinaison de ces deux facteurs - problème de détection et mauvais fonctionnement du stoppeur - peut conduire à cet événement indésirable.

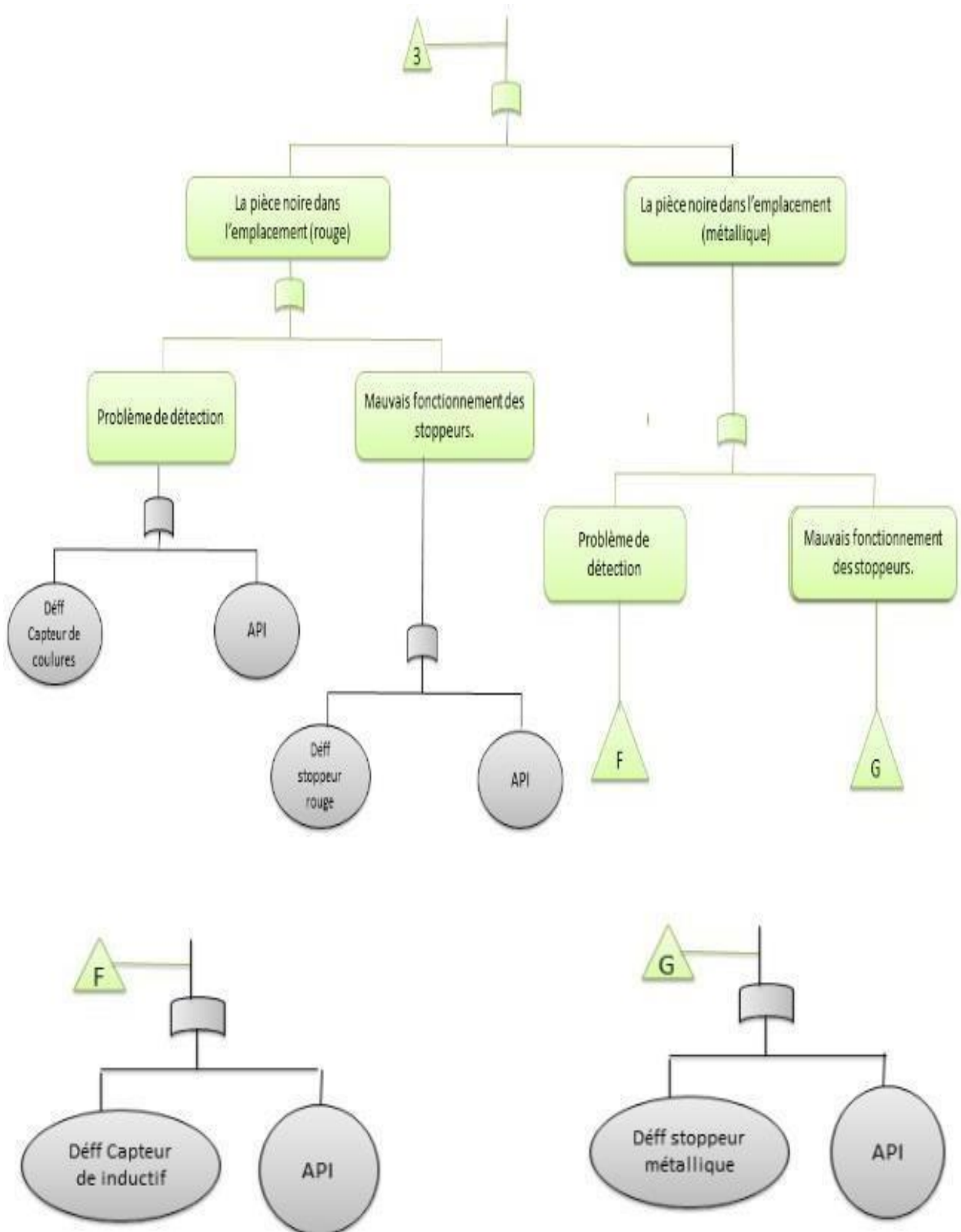


Figure III-11: L'évènement "pièces noires placées dans un emplacement incorrect"

### III.1.4.3 Réduction de l'arbre :

Tableau III-3: Les codes identifiés pour chaque évènement

<i>Evénements</i>	<i>Les codes</i>
Erreur de tri : pièces placées dans des emplacements incorrectes	<b>E</b>
Pièces rouges placées dans un emplacement incorrect	<b>E1</b>
Pièces métallique placées dans un emplacement incorrect	<b>E2</b>
Pièces noires placées dans un emplacement incorrect	<b>E3</b>
La pièce rouge dans l'emplacement métallique	<b>E11</b>
La pièce rouge dans l'emplacement noire	<b>E12</b>
La pièce métallique dans l'emplacement noire	<b>E21</b>
La pièce métallique dans l'emplacement rouge	<b>E22</b>
La pièce noire dans l'emplacement rouge	<b>E31</b>
La pièce noire dans l'emplacement métallique	<b>E32</b>
Capteur B2 défaillant	<b>A</b>
Capteur B3 défaillant	<b>B</b>
Stoppeur défaillant (rouge)	<b>C</b>
Stoppeur défaillant (métal)	<b>D</b>
Stoppeur défaillant (noire)	<b>F</b>

- **L'équation booléenne de l'événement redouté « E » est la suivante :**

$$E = E1 + E2 + E3$$

$$E = (E11 + E12) + (E21 + E22) + (E31 + E32)$$

$$E = (B + C) + (A + D) + (B + F)$$

$$E = A + B + C + D + F$$

- **L'équation de l'événement redouté après des réductions devienne :**

- $E = A + B + C + D + F$

- **Les coupes minimales sont alors des coupes minimales d'ordre 1 :**

$$E = A, B, C, D, F$$

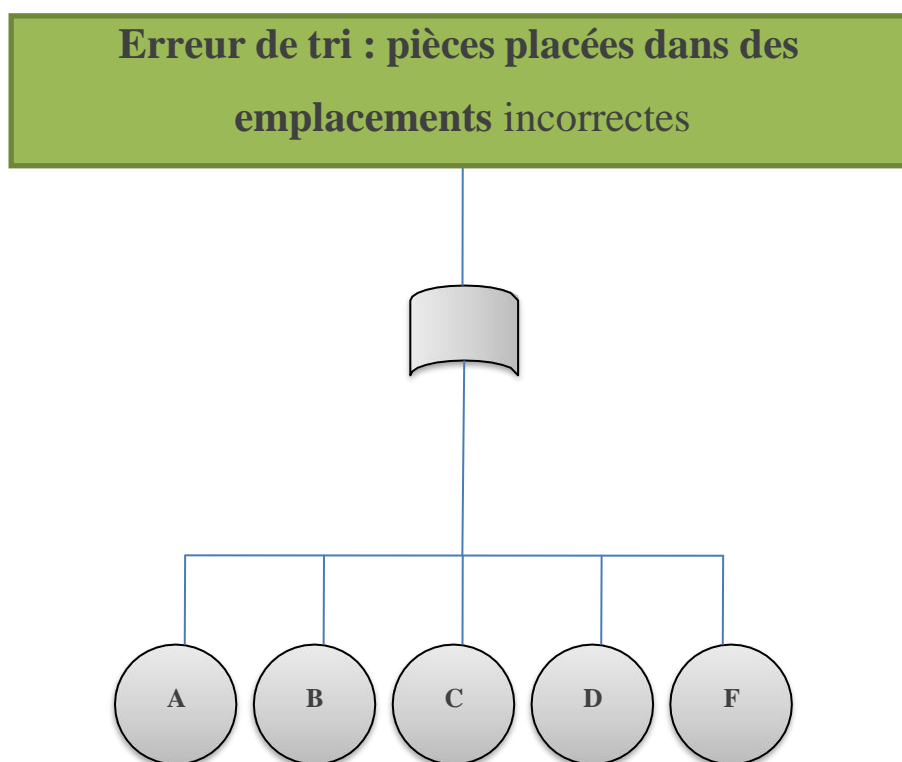


Figure III-12: L'arbre réduit de deuxième événement

#### III.1.4.4 Analyse de l'arbre défaillance de troisième l'évènement indésirable :

Nous avons identifié plusieurs points critiques affectant la fiabilité du système MPS 500, principalement liés aux erreurs de tri des pièces. Les causes principales sont des erreurs de détection des capteurs (B3 pour la couleur noire, B2 pour les pièces métalliques et 60B3 pour les pièces sur la palette) et des dysfonctionnements des composants mécaniques tels que les stoppeurs et les barrages. Ces problèmes peuvent entraîner des erreurs de tri significatives, car les événements indésirables (comme les pièces rouges, métalliques ou noires placées dans des emplacements incorrects) sont reliés par des portes logiques OÙ. Cela signifie que l'occurrence

de l'une de ces erreurs peut entraîner une défaillance. Par conséquent, la précision des capteurs et le bon fonctionnement des composants mécaniques sont cruciaux pour la fiabilité du système. Pour améliorer cette fiabilité, nous recommandons d'ajouter des capteurs redondants, de mettre en place une surveillance proactive et de réaliser des maintenances régulières. Malgré les vulnérabilités identifiées, ces interventions peuvent renforcer significativement la fiabilité du système MPS 500.

À travers l'analyse de la fiabilité de la station de manipulation et de production, en établissant des arbres de défaillances pour les deux premiers événements indésirables sur cette station, nous avons proposé un ensemble d'améliorations.

### **III.2 Proposition des améliorations sur la station de production :**

- ✓ Mettre en place des seuils d'alarme adaptés permettant de prévenir en cas de dysfonctionnement imminent des composants clés comme la table de l'indiction, la perceuse, la machine M5
- ✓ Intégrer un système de suivi historique des événements et des défaillances pour analyser les tendances à long terme et prévoir les maintenances
- ✓ Prévoir des composants de rechange (redondants) pour ces éléments clés, tels que les moteurs 1M1, 1M2, 2M1, M2 et M1, les vérins 2M1 et 3M1, les capteurs 1B1, 1B2, 1B3, 2B1, 2B2, 3B1, Part-Av, B1 et B2
- ✓ Mettre en place des procédures de remplacement rapide des composants défaillants pour minimiser les temps d'arrêt.
- ✓ Surveiller étroitement l'état de ces composants redondants pour s'assurer de leur disponibilité en cas de besoin.
- ✓ Mettre en place une surveillance en temps réel des paramètres critiques tels que les vibrations, les températures, les courants, les vitesses, etc. des moteurs 1M1, 1M2, 2M1, M2 et M1 par le système de surveillance
- ✓ Utiliser des capteurs fiables et redondants pour surveiller ces paramètres clés et détecter rapidement tout écart par rapport aux valeurs normales et pour confirmer l'information ou commencer son travail si l'élément similaire s'arrête, en particulier pour les capteurs 1B1, 1B2, 1B3, 2B1, 2B2, 3B1, Part-Av, B1 et B2.
- ✓ En combinant un système de surveillance précis et l'utilisation de composants redondants pour les éléments les plus critiques, il est possible de réduire significativement les risques de dysfonctionnements et d'assurer une plus grande fiabilité globale du système de production. Cette approche permet de détecter

Chapitre III : Application de la méthode arbre de défaillance sur le système MPS 500 :  
résultats et analyse.

rapidement les problèmes, de les diagnostiquer avec précision et de disposer de solutions de rechange pour maintenir la continuité opérationnelle.

En examinant la fiabilité de la station de livraison, nous avons identifié et proposé un ensemble d'améliorations.

### **III.3 Les améliorations et les actions correctives proposées sur la station de livraison :**

#### **Améliorations du Système de Détection :**

- ✓ Assurer des vérifications régulières et un calibrage précis des capteurs de couleur pour une détection fiable des pièces.
- ✓ Utiliser des capteurs de haute qualité ou des technologies de détection avancées pour réduire les erreurs de classification.
- ✓ Installation des capteurs redondants pour surveiller en permanence les paramètres clés et détecter rapidement toute anomalie, assurant ainsi la continuité des opérations en cas de défaillance, et pour confirmer l'information ou commencer son travail si l'élément similaire s'arrête, en particulier

#### **Optimisation du Fonctionnement des Stoppeurs et Barrages :**

- ✓ Effectuer des entretiens réguliers des stoppeurs et barrages pour garantir leur bon fonctionnement.
- ✓ Ajuster les réglages des dispositifs pour assurer un guidage précis des pièces vers les bons emplacements.
- ✓ Prévoir des pièces de rechange supplémentaires pour les stoppeurs et barrages afin de minimiser les temps d'arrêt en cas de problème.

#### **Surveillance et Contrôle Qualité :**

- ✓ Mettre en place un système de surveillance continu pour détecter rapidement les erreurs de tri.
- ✓ Établir des procédures rigoureuses de contrôle qualité pour vérifier régulièrement la conformité des pièces triées.

Chapitre III : Application de la méthode arbre de défaillance sur le système MPS 500 :  
résultats et analyse.

- ✓ Installer des seuils d'alarme appropriés pour anticiper les dysfonctionnements imminents des composants clés tels que les stoppeurs, les barrages et les capteurs, assurant ainsi une production fluide et efficace

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons exploré comment utiliser la méthode de l'arbre de défaillance pour évaluer la fiabilité du système MPS500. En construisant des arbres de défaillance, nous avons pu identifier les principales raisons de dysfonctionnement, telles que les pièces non usinées et les erreurs de tri des pièces. Ces problèmes peuvent entraîner des interruptions dans la production et des retards dans les livraisons, soulignant ainsi l'importance d'appliquer des mesures correctives et préventives. En examinant les causes sous-jacentes des incidents indésirables, nous avons pu concevoir des solutions spécifiques visant à réduire les risques de panne et à maintenir la continuité de la production tout en préservant la qualité des produits. L'objectif de ce processus est de renforcer la fiabilité du système MPS500 et de minimiser les perturbations opérationnelles, garantissant ainsi une production régulière et fiable.

## **Conclusion générale**

L'utilisation de l'Arbre de Défaillances (AD) se justifie pleinement par sa capacité à visualiser et évaluer systématiquement les scénarios de défaillance. Cet outil permet de représenter graphiquement les différentes causes possibles d'une défaillance critique, en identifiant les relations logiques entre elles. Grâce à cette approche, nous pouvons non seulement identifier les défaillances potentielles, mais aussi mesurer leur impact sur le système MPS 500. Cela nous permet de développer des stratégies efficaces pour prévenir et corriger ces défaillances, contribuant ainsi à une meilleure gestion des risques.

Pour l'analyse fonctionnelle, nous adopterons la méthode FAST (Function Analysis System Technique). Cette méthode nous permet de modéliser en détail les fonctions du système MPS 500, en décomposant ses opérations en sous-fonctions plus simples et en identifiant les relations entre elles. En utilisant FAST, nous obtenons une vision claire des interactions et des interdépendances entre les composants du système. Cela facilite une évaluation plus précise de la fiabilité de chaque composant, ainsi que du système dans son ensemble.

En résumé, notre projet a pour objectif de réaliser une analyse approfondie de la fiabilité de production du système MPS 500 en utilisant l'Arbre de Défaillances comme principal outil d'analyse. Cette méthode nous permet de visualiser les scénarios de défaillance et de planifier des interventions correctives. La méthode FAST sera employée pour une analyse fonctionnelle détaillée, offrant une perspective holistique du système. Cela nous permettra de comprendre les interactions complexes au sein du système, d'identifier les points faibles et de proposer des améliorations concrètes.

En appliquant ces deux approches, nous visons à renforcer la résilience du système MPS 500 face aux défaillances potentielles, à optimiser sa performance globale et à réduire les risques associés. Ainsi, nous pourrions assurer une meilleure efficacité opérationnelle et une fiabilité accrue, répondant aux exigences de production de manière plus robuste et durable.

## Références bibliographiques :

- [1] : Mourrai, I. (2006), « Étude des systèmes de production automatisée soumis à des aléas » thèses de doctorat, université de Metz, France.
- [2] : Tahar Askri, « Automatismes Industriels », cours, université Batna 2.
- [3] : Guezzen, A.H. (2014). Modélisation du temps de cycle d'un système automatisé de stockage/déstockage (AS/RS) multi-allées et à racks glissants.
- [4] : « Structure d'un système automatisé », [http://foxi31.ovh.org/dl/2/ISI/04\)%20Structure%20d'un%20systeme%20automatise.pdf](http://foxi31.ovh.org/dl/2/ISI/04)%20Structure%20d'un%20systeme%20automatise.pdf)
- [5] BELHOCINE Mehdi (2021), « Etude et analyse de fonctionnement du système iCIM 3000 en utilisant les méthodes de la sureté de fonctionnement », mémoire de pfe, Université Abou Bekr-Belkaid-Tlemcen.
- [6] : Fournier, O. (2002). Conception de la commande d'un système automatisé de production : apport des graphes et de l'ordonnancement cyclique.
- [7] : Mohamed lamine BEYOUUD (2018), « Modélisation et Simulation d'un Système Industriel Automatisé Cas réel : le système MPS500 du laboratoire Productique MELT Université de Tlemcen, mémoire master » université de Tlemcen.
- [8] : BENYOUCEF, S., &Mebarka, N. O. U. R (2020), « Commande et supervision d'une station de livraison du système MPS500 via émulateur CIROS », Mémoire Master, Université de Tlemcen.
- [9] : Technique pour la formation et la science L'offre actuelle de Festo Didactic 2015/2016
- [10] : Automatisation industrielle, Systèmes d'apprentissage et services pour la formation technique FESTO.
- [11] : HARIDI, M. T., & MERDACI, S. (2018), « Etude et Supervision d'un Système MPS via Logiciel Wincc Flexible. Cas réel : le système MPS500 du laboratoire Productique MELT Université de Tlemcen », Mémoire Master, Université de Tlemcen.
- [12] : AMARA, Z., & DJELLOUL DAOUADJI, I.(2019), « Emulation pour la supervision: étude approfondis du système MPS500 du Festo didactique » , Mémoire Master, université de Tlemcen.
- [13] : Debernard, S. (1993). Contribution à la répartition dynamique de tâches entre opérateur et système automatisé : application au contrôle du trafic aérien.
- [14] : Rubicone, S. (2016). Réalisation d'un système automatisé pour l'unité de traitement et de récupération MEG Projet Jangkrik.
- [15] : Hedin, F., Schäring, P., & Skönnegård, P. (2015). Système de configuration automatique pour un pupitre d'opérateur.
- [16] : Alain GONZAGA (2004), « Les automates programmables industriels », PDF téléchargé du [www. geea.Org](http://www.geea.org).

- [17] : HASSAM Ahmed (2022) « Les pré actionnaires dans les systèmes automatisés de production (SAP) » cours, université Abou Baker Belkaid, Tlemcen
- [18] : HASSAM Ahmed (2022) « introduction aux systèmes automatisés de production » cours, université Abou Baker Belkaid, Tlemcen
- [19] :: Mémoire sur les station FESTO , <http://m.21-bal.com/law/6442/index.html>
- [20] : Zaytoon, J. (1993). Extension de l'analyse fonctionnelle à l'étude de la sécurité opérationnelle des systèmes automatisés de production
- [21] : Husson, J., Benzidia, S., & Bentahar, O. (2020). Cas IMANS : L'analyse fonctionnelle comme démarche structurante des besoins d'un projet système d'information : le cas d'un automate de distribution de médicaments dans un hôpital.
- [22] : Cosme, D.M. (2012). L'analyse fonctionnelle : méthodes de recherche des fonctions. *Métier* : responsable bureau d'étude/conception.
- [23] : [Claire Pagetti (2012), «*Module de sûreté de fonctionnement*», cours.][<https://www.onera.fr/sites/default/files/u490/cours.pdf>].
- [24] :Mme Aggabou Loubna 2020 « la sûreté de fonctionnement » [https://hs.univ-batna2.dz/sites/default/files/ihse/files/support de cours sie 205-1.pdf](https://hs.univ-batna2.dz/sites/default/files/ihse/files/support%20de%20cours%20sie%20205-1.pdf)].
- [25] : Marcel Chevalier, Robert Garnie, Bruno Lusson, novembre 2004 « la sûreté de fonctionnement »<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/techniques/660/660-gt12.pdf>.
- [26] :Sene, K. L. (2024, 11 janvier). AMDEC : analyse des défaillances en 5 étapes + exemples. Consulté à l'adresse <https://blog-gestion-de-projet.com/amdec/>
- [27] :[BOUSSAID Nessrine DAHMANI Khadidja « Analyse de dysfonctionnement de la station « production and handling » du Système MPS 500 en utilisant les méthodes de la sûreté de fonctionnement » mémoire de pfe2023 Université de Tlemcen
- [28] :[Joseph Kélada (1994), « L'AMDEC », cours, École des Hautes Études Commerciales. Annexe.]
- [29] :un mémoire Thème "Optimisation des causes des défaillances de but d'amélioration la rentabilité des machines : Application de la méthode AMDEC ".
- [30] :BOUBAKRI MOHAMED LAMINE & DJAIDJA OMAR ANAS(2017), « Une approche d'amélioration du service maintenance basée sur les réseaux des files d'attente», mémoire de pfe, Université Mohamed Boudiaf - M'sila.
- [31] : BELHOCINE Mehdi (2021), « Etude et analyse de fonctionnement du système iCIM 3000 en utilisant les méthodes de la sûreté de fonctionnement », mémoire de pfe, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.]
- [34] : BOUSSAID Nessrine DAHMANI Khadidja (2023), «Analyse de dysfonctionnement de la station « production and handling » du Système MPS 500 en utilisant

les méthodes de la sureté de fonctionnement», mémoire de pfe, Université Abou BekrBelkaid-Tlemcen.]

[35] : Margaux DUROEULX (2020), «Évaluation de la fiabilité des systèmes modélisés par arbres de défaillances grâce aux techniques de satisfiabilité », thèse Doctorat, Université de Lorraine.]

[36] :HORKOUS Younes et KHOUIDMI Ahmed(2021), « Diagnostic des pannes des machines par la technique de l'arbre de défaillance » », mémoire de pfe,Université Ibn Khaldoun de Tiaret.]

[38] : L'analyse des défaillances au niveau des Machines industrielles par les méthodes arbre de défaillance (Add). Année universitaire : 2019/2020.

Web bibliographique :

[32] :[[https://www.ensta-bretagne.fr/jaulin/master\\_cours\\_petri.pdf](https://www.ensta-bretagne.fr/jaulin/master_cours_petri.pdf) ]

[33] : <https://dspace.univ-eloued.dz/server/api/core/bitstreams/45970fc7-8ebc-4eb7-966a-1bf7af5af03/content>

[37]:[<http://stockage.univ-valenciennes.fr/VanderhaegenE-diag20080215/cours-en-ligne-web/co/8-2-2-MAC.html> ]

## Résumer

Ce mémoire a fourni une analyse de la fiabilité du système de production MPS 500 trouvé dans le laboratoire MELT Tlemcen en utilisant la méthode d'arbre de défaillance, où il a commencé à introduire le système et effectuer une analyse fonctionnelle en utilisant la méthode FAST, a ensuite passé en revue les concepts de fiabilité et de sécurité fonctionnelle. L'arbre de défaillances a été construit pour les événements indésirables majeurs et analysé pour arriver à des résultats qui ont montré de nombreux facteurs affectant la fiabilité du système, tels que les défaillances mécaniques, électriques et logicielles, tout en identifiant les principales faiblesses. La recherche a mis l'accent sur l'importance de la fiabilité du système comme facteur critique pour la réussite de tout système, l'investissement dans celui-ci peut fournir des avantages importants à long terme en termes de réduction des risques et d'amélioration du rendement, et cette méthode peut être appliquée à d'autres systèmes de production pour vérifier leur fiabilité et identifier les domaines d'amélioration.

**Mots clés :** Analyse fonctionnelle, FASTE Fiabilité, MPS 500, Arbre de défaillance (ADD),

## ملخص

قدمت هذه الأطروحة تحليلاً لموثوقية نظام إنتاج MPS 500 الموجود في مختبر MELT Tlemcen باستخدام طريقة عمود الفشل، حيث بدأ في تقديم النظام وإجراء التحليل الوظيفي باستخدام طريقة FAST، ثم مراجعة مفاهيم الموثوقية والسلامة الوظيفية. تم بناء شجرة الفشل للأحداث السلبية الكبرى وتم تحليلها للوصول إلى النتائج التي أظهرت العديد من العوامل التي تؤثر على موثوقية النظام، مثل الأعطال الميكانيكية والكهربائية والبرمجيات، مع تحديد نقاط الضعف الرئيسية. وقد أكدت البحوث أهمية موثوقية النظام كعامل حاسم لنجاح أي نظام، ويمكن للاستثمار فيه أن يوفر فوائد كبيرة طويلة الأجل من حيث الحد من المخاطر وتحسين الأداء، ويمكن تطبيق هذه الطريقة على نظم الإنتاج الأخرى للتحقق من موثوقيتها وتحديد مجالات التحسين

الكلمات المفتاحية: التحليل الوظيفي، FASTE الموثوقية، شجرة الفشل MPS 500

## Abstract

This thesis provided an analysis of the reliability of the MPS 500 production system found in the MELT Tlemcen laboratory using the failure column method, where it began to introduce the system and perform functional analysis using the FAST method, and then review the concepts of reliability and functional safety. The failure tree was built for major adverse events and analyzed to reach results that showed many factors affecting the reliability of the system, such as mechanical, electrical and software failures, while identifying key weaknesses. Research has underscored the importance of the system's reliability as a critical factor for the success of any system, in which investment can provide significant long-term benefits in terms of risk reduction and performance improvement, and this method can be applied to other production systems to verify their reliability and identify areas for improvement.

**Keywords:** Functional analysis, FAST, Reliability, MPS 500, Fault tree analysis