



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

Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Filière : Génie Industriel

**Projet Fin d'études de Master**

Intitulé :

**Application de la méthode AMDEC afin d'établir un plan de  
maintenance dédié à un système de production.**

**Cas : Système MPS 500 du laboratoire MELT**

Présenté par :

Mourad BOUSSEROUEL

Salah Eddine BENKADDOUR

Devant le jury le 30 Juin 2019 :

Président            Mohamed BENNEKROUF            MCB            Université de Tlemcen

Encadrants            Abdelkader HADRI            MAA            Université de Tlemcen  
                                 Housseyn KAHOUADJI            MCB            Université de Tlemcen

Examineurs  
                                 Abderrahman BENSMAINE            MCB            Université de Tlemcen  
                                 Hakim Nadhir BESSENOUCI            MAA            Université de Tlemcen  
                                 Mohamed El Amine MKEDDER            ING            Université de Tlemcen

Année Universitaire : 2018/2019

# Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah qui nous a donné le pouvoir et la patience à terminer notre mémoire de fin d'études.

Nous remercions très chaleureusement l'ensemble des encadrants de notre travail Mr. Hadri Abdelkader et Mr. Kahouadji Housseyn qui nous ont permis de bénéficier de leurs expertises et qui étaient très généreux en répondant toutes nos questions, en nous expliquant ce que nous trouvions vague et en nous permettant l'accès au laboratoire *MELT*. Nous tenons à remercier aussi les responsables du laboratoire *MELT* surtout Mr. Mkedder Amine et Mme. Ghomri Latéfa... Les conseils qu'il nous ont prodigué, la patience, la confiance qu'il nous ont témoignés ont été déterminants dans la bonne conduite de ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous les enseignants et toutes les enseignantes durant les années de nos études, en particulier Mr. Miri Elhadi Sofiane et Mr. Belkaid Fayçal qui nous ont toujours supporté et donné des conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont aux membres de Jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci.

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail comme preuve de respect, de gratitude et de reconnaissance à mes chers parents qui ont éclairé mon chemin et m'ont encouragé et soutenu pendant mes études.

- ❖ A mes chers frères Abed, Mohammed, Nour Eddine, Alaa Eddine et Dhiya Eddine ;
- ❖ A mes chères sœurs H et S ;
- ❖ A toute ma famille, mes oncles, mes tentes, mes cousins et cousines ;
- ❖ A ceux qui m'aiment ;
- ❖ A mes amis El Hadj, M'hamed, Abdou, Salem, Oussama, Kacimo, Hakim, Mourad, Issam, Mohand, Wael, Hammouda, Abbès, Nabil, Mounir, Khoudir, Zaka...
- ❖ A tous mes collègues de la même promotion ;
- ❖ A mon bras droit et mon binôme Mourad BOUSSEROUEL ;

BENKADDOUR Salah Eddine

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail comme preuve de respect, de gratitude et de reconnaissance à mes chers parents qui ont éclairé mon chemin et m'ont encouragé et soutenu pendant mes études et toute ma vie.

- ❖ A mes chers frères Imad, Ghalib et Zakaria ;
- ❖ A toute ma famille, mes grandes mères, mes oncles, mes tentes, mes cousins et cousines ;
- ❖ A ceux qui m'aiment ;
- ❖ A mes amis Abderrahman "Salem", Belhacel Omar, Hakim, Oussama, Daouadji, Kacimo, Hammouda, Khoudir, Zaka, Housseem...
- ❖ A tous mes collègues de la même promotion et de la filière ;
- ❖ A mon bras droit et mon binôme Salah Eddine « Hadjoudj »;

BOUSSEROUEL Mourad

## ملخص

أصبحت أنظمة الإنتاج مهمة للغاية في الوقت الحاضر، إما من وجهة نظر الشركة أو العميل؛ لهذا السبب فإن جميع الشركات التي تسعى إلى إرضاء عملائها تعطي مجال سلامة العمليات اعتبارًا كبيرًا عند اتخاذ القرارات. في هذه المخطوطة، قدمنا طريقة AMDEC، التي تعد جزءًا من مجال سلامة العمليات والتي تهدف إلى وضع خطط الصيانة للأنظمة المختلفة، وقمنا بتطبيقها على حالة حقيقية وهي محطة إنتاج نظام MPS®500-FMS الموجود في مختبر MELT. بعد ذلك، اقترحنا إجراءات صيانة تصحيحية ووقائية لمساعدة مديري الصيانة على اتخاذ القرارات الصحيحة في حالة حدوث أعطال أو مشاكل فنية، أو حتى تحسين أداء هذا النظام. أخيرًا، قمنا بتطوير تطبيق ويب يجعل من السهل إنشاء جداول AMDEC وتصديرها كمستندات قابلة للقراءة والتحرير.

**الكلمات المفتاحية:** سلامة العمليات، AMDEC، MPS®500-FMS، الصيانة، اتخاذ القرارات، الأعطال، الأداء، تطبيق الويب.

## Résumé

Les systèmes de production sont devenus très importants de nos jours, soit de point de vue Entreprise ou Client ; c'est pour ça que toutes les entreprises cherchant à satisfaire leurs clients donnent à la sûreté de fonctionnement une grande considération dans la prise de décision. Dans ce manuscrit, nous avons introduit la méthode AMDEC, qui fait partie de la sûreté de fonctionnement et qui a pour but la création des plans de maintenance des différents systèmes, et nous l'avons appliqué sur un cas réel qui est la station de production du système MPS®500-FMS qui se trouve au niveau du laboratoire MELT. Par la suite, nous avons proposé des actions de maintenance correctives et préventives afin d'aider les ingénieurs responsables de la maintenance de prendre les bonnes décisions en cas de dysfonctionnements ou de problèmes techniques, voire améliorer la performance de ce système. Enfin, nous avons développé une application web qui facilite la création des tableaux AMDEC et de les exporter sous forme de documents lisibles et modifiables.

**Mots clés :** sûreté de fonctionnement, AMDEC, maintenance, MPS®500-FMS, prise de décision, dysfonctionnements, performance, application web.

## Abstract

Production systems have become very important nowadays, either from the point of view of a company or a customer; that is why all companies seeking to satisfy their customers give the field of Operations Safety a great consideration in decision-making. In this manuscript, we introduced the FMECA method, which is part of the Operations Safety field and which aims to create the maintenance plans of the different systems, and we applied it on a real case which is the production station of the MPS®500-FMS system located in the MELT laboratory. Subsequently, we have proposed corrective and preventive maintenance actions to help the maintenance managers to make the right decisions in case of malfunctions or technical problems, or even improve the performance of this system. Finally, we have developed a web application that makes it easy to create FMECA tables and export them as readable and editable documents.

**Keywords:** Operations Safety, FMECA, maintenance, MPS®500-FMS, decision-making, malfunctions, performance, web application.

# Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des acronymes

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)</b>	<b>3</b>
<b>I.1. Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Généralités</b>	<b>4</b>
<b>I.3. AMDE</b>	<b>7</b>
<b>I.4. AMDEC</b>	<b>7</b>
<b>I.5. La démarche AMDEC</b>	<b>11</b>
<b>I.6. Etat de l'art</b>	<b>17</b>
<b>I.7. Conclusion</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre II : MPS® 500-FMS du laboratoire MELT</b>	<b>19</b>
<b>II.1. Introduction</b>	<b>20</b>
<b>II.2. Le laboratoire MELT</b>	<b>20</b>
<b>II.3. Le système MPS®500-FMS</b>	<b>20</b>
<b>II.4. Les stations du MPS®500</b>	<b>24</b>
<b>II.5. Conclusion</b>	<b>34</b>
<b>Chapitre III : Application de la méthode AMDEC sur la station de production du système MPS® 500-FMS du laboratoire MELT</b>	<b>35</b>
<b>III.1. Introduction</b>	<b>36</b>
<b>III.2. Analyse fonctionnelle de la station de production</b>	<b>36</b>
<b>III.3. Tableaux AMDEC</b>	<b>39</b>
<b>III.4. Actions correctives et préventives</b>	<b>50</b>
<b>III.5. Conclusion</b>	<b>56</b>
<b>Chapitre IV : Plateforme de création et de visualisation des tableaux AMDEC pour le système MPS® 500-FMS</b>	<b>57</b>
<b>IV.1. Introduction</b>	<b>58</b>
<b>IV.2. Application WEB</b>	<b>58</b>
<b>IV.3. Langages utilisés</b>	<b>58</b>
<b>IV.4. Fiche technique de l'application</b>	<b>60</b>
<b>IV.5. Guide d'utilisation de l'application</b>	<b>60</b>
<b>IV.6. Conclusion</b>	<b>68</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>69</b>
<b>Références et bibliographie</b>	<b>70</b>
<b>Annexes</b>	<b>73</b>

## Liste des tableaux

<b>I.4.1.</b>	Les quatre questions de base de l'AMDEC	<b>9</b>
<b>I.5.1.</b>	Tableau AMDEC (Variation : AMDEC-produit/processus)	<b>12</b>
<b>I.5.2.</b>	Exemple de modes de défaillances et de causes possibles (Exemple du calculateur arithmétique)	<b>13</b>
<b>I.5.3.</b>	Exemple d'une grille d'évaluation de l'IPR	<b>14</b>
<b>I.5.4.</b>	Exemple d'une matrice de criticité (Notée de 1 à 4)	<b>14</b>
<b>II.3.1.</b>	Trois variations de systèmes <b>MPS@5XX</b>	<b>20</b>
<b>II.3.2.</b>	Les 3 parties d'une station automatisée	<b>21</b>
<b>II.4.1.</b>	Pré-actionneurs de la sous station de distribution	<b>25</b>
<b>II.4.2.</b>	Composants du magasin d'empilement de la station de distribution	<b>26</b>
<b>II.4.3.</b>	Composants de la station de production	<b>28</b>
<b>II.4.4.</b>	Les différentes mnémoniques présentes dans la station de production	<b>30</b>
<b>III.3.1.</b>	Grille d'évaluation utilisée pour l'analyse AMDEC	<b>40</b>
<b>III.3.2.</b>	Tableau AMDEC du composant « Robot Cartésien »	<b>41</b>
<b>III.3.3.</b>	Tableau AMDEC du composant « Table d'indexation »	<b>43</b>
<b>III.3.4.</b>	Tableau AMDEC du composant « Dispositif de contrôle »	<b>45</b>
<b>III.3.5.</b>	Tableau AMDEC du composant « Perceuse »	<b>46</b>
<b>III.3.6.</b>	Tableau AMDEC du composant « Moteur »	<b>47</b>
<b>III.3.7.</b>	Tableau AMDEC du composant « Distributeur d'énergie pneumatique »	<b>48</b>
<b>III.3.8.</b>	Classement et priorisation par criticité pour le traitement des défaillances	<b>50</b>
<b>III.4.1.</b>	Actions de maintenance corrective/préventive proposées	<b>51</b>
<b>IV.5.1.</b>	Explication des différentes parties de la barre de navigation	<b>62</b>
<b>IV.5.2.</b>	Explications des icônes	<b>64</b>

# Liste des figures

<b>I.2.1.</b>	Un diagramme qui synthétise les méthodes de maintenance selon la norme <b>NF X 60-000</b>	<b>4</b>
<b>I.2.2.</b>	Quelques modes de défaillance génériques	<b>6</b>
<b>I.5.1.</b>	Etapes principales de la démarche <b>AMDEC</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2.</b>	Exemple d'une analyse fonctionnelle d'un calculateur arithmétique simple (selon les fonctions)	<b>12</b>
<b>I.5.3.</b>	Diagramme qui résume l'évaluation de la criticité d'un mode de défaillance	<b>15</b>
<b>I.5.4.</b>	Exemple d'un histogramme	<b>16</b>
<b>I.5.5.</b>	Diagramme de PARETO	<b>16</b>
<b>II.3.1.</b>	Décomposition fonctionnelle d'un SAP	<b>21</b>
<b>II.3.2.</b>	Configuration 500 du MPS(r)	<b>21</b>
<b>II.3.3.</b>	Configuration 512 du MPS(r)	<b>21</b>
<b>II.3.4.</b>	Configuration 516 du MPS(r)	<b>22</b>
<b>II.3.5.</b>	Pupitre de commande	<b>22</b>
<b>II.3.6.</b>	API Siemens S7-300	<b>22</b>
<b>II.3.7.</b>	Un ensemble Effecteur-Actionneur (Table d'indexation et Moteur)	<b>22</b>
<b>II.4.1.</b>	MPS® 500-FMS en 3D	<b>24</b>
<b>II.4.2.</b>	Station de distribution (3D)	<b>24</b>
<b>II.4.3.</b>	Pupitre de la sous station de distribution	<b>25</b>
<b>II.4.4.</b>	Pré-actionneur électrique de la station de distribution	<b>25</b>
<b>II.4.5.</b>	Pré-actionneur pneumatique de la station de distribution	<b>25</b>
<b>II.4.6.</b>	Câbles et tubes de transmission d'énergie	<b>26</b>
<b>II.4.7.</b>	Magasin d'empilement	<b>26</b>
<b>II.4.8.</b>	Station d'usinage et de production (3D)	<b>27</b>
<b>II.4.9.</b>	Table d'indexation de la station de production	<b>28</b>
<b>II.4.10.</b>	Moteur de la table d'indexation de la station de production	<b>28</b>
<b>II.4.11.</b>	La perceuse de la station d'usinage	<b>29</b>
<b>II.4.12.</b>	Le dispositif de contrôle de perforation de la station d'usinage	<b>29</b>
<b>II.4.13.</b>	Station d'assurance qualité du système	<b>31</b>
<b>II.4.14.</b>	Sous station du robot manipulateur (à gauche) et Sous station d'assemblage (à droite)	<b>31</b>
<b>II.4.15.</b>	Station AS/RS (dépôt) du système	<b>32</b>
<b>II.4.16.</b>	Station de tri	<b>33</b>
<b>II.4.17.</b>	Partie non-assemblée du convoyeur	<b>33</b>
<b>III.2.1.</b>	Décomposition fonctionnelle du robot cartésien de la station de production	<b>36</b>
<b>III.2.2.</b>	Décomposition fonctionnelle de la table d'indexation	<b>37</b>
<b>III.2.3.</b>	Décomposition fonctionnelle de la perceuse	<b>38</b>
<b>III.2.4.</b>	Décomposition fonctionnelle du dispositif de contrôle	<b>39</b>
<b>IV.3.1.</b>	Un logo HTML proposé par W3C	<b>59</b>
<b>IV.3.2.</b>	Logo JS non-officiel	<b>59</b>
<b>IV.3.3.</b>	Un logo CSS non officiel	<b>59</b>
<b>IV.3.4.</b>	Logo de Bootstrap	<b>59</b>



## Liste des figures

<b>IV.3.5.</b>	Logo de PHP par Colin Viebrock	<b>59</b>
<b>IV.3.6.</b>	Logo de MySQL	<b>60</b>
<b>IV.5.1.</b>	Page de connexion de l'application	<b>61</b>
<b>IV.5.2.</b>	Barre de navigation	<b>61</b>
<b>IV.5.3.</b>	Fenêtre d'ajout d'un nouveau composant	<b>63</b>
<b>IV.5.4.</b>	Les stations du système MPS500 (prédéfinies)	<b>63</b>
<b>IV.5.5.</b>	Résultat lors d'ajout d'un nouveau composant	<b>64</b>
<b>IV.5.6.</b>	Fenêtre d'ajout d'un mode de défaillance	<b>64</b>
<b>IV.5.7.</b>	Page d'un mode de défaillance	<b>65</b>
<b>IV.5.8.</b>	Fenêtre d'ajout de cause possible	<b>65</b>
<b>IV.5.9.</b>	Résultat d'ajout d'une nouvelle cause possible	<b>66</b>
<b>IV.5.10.</b>	Fenêtre d'ajout d'un nouvel effet possible	<b>66</b>
<b>IV.5.11.</b>	Résultat d'ajout d'un nouvel effet	<b>66</b>
<b>IV.5.12.</b>	Vue globale d'un mode de défaillance (avec ses causes, effets, criticités...)	<b>67</b>
<b>IV.5.13.</b>	Résultat lors de l'exportation vers un document WORD	<b>68</b>

## Liste des acronymes

---

<b>Add</b>	Arbre de Défaillances
<b>AFNOR</b>	Association Française de Normalisation
<b>AMDE</b>	Analyse des Modes de Défaillances, leurs Effets
<b>AMDEC</b>	Analyse des Modes de Défaillances, leurs Effets et leur Criticité
<b>ASI</b>	Actuators Sensors Interface
<b>BDD</b>	Base Des Données
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>CSS</b>	Cascading Style Sheet
<b>DFA</b>	Design For Assembly
<b>ENS</b>	Evènement Non Souhaité
<b>FMEA</b>	Failure Modes, their Effects Analysis
<b>FMECA</b>	Failure Modes, their Effects and Criticality Analysis
<b>FMS</b>	Flexible Manufacturing System
<b>GAPT</b>	Guidelines for design work, Analysis of product features, Product design review and Team-building in design work
<b>GI</b>	Génie Industriel
<b>HTML</b>	HyperText Markup Language
<b>IA</b>	Intelligence Artificielle
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>ISO</b>	International Standards Organization
<b>IPR</b>	Indice de Priorité des Risques
<b>JS</b>	JavaScript
<b>LAMP</b>	Linux, Apache, MySQL, PHP
<b>MAFMA</b>	Multi-attribute failure mode analysis
<b>MAMP</b>	Macintosh, Apache, MySQL, PHP
<b>MELT</b>	Manufacturing Engineering Laboratory of Tlemcen
<b>M.Oe</b>	Matière d'oeuvre
<b>MDD</b>	Mode de défaillance
<b>MySQL</b>	My Structured Query Language

---

## Liste des acronymes

---

<b>MPS</b>	Modular Production System
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>PC</b>	Partie Commande
<b>PHP</b>	Preprocessor Hypertext (Origin. Personal Home Page)
<b>PO</b>	Partie Opérative
<b>PWA</b>	Progressive Web Application
<b>QFD</b>	Quality Function Deployment
<b>RdP</b>	Réseaux de Pétri
<b>SAP</b>	Système Automatisé de Production
<b>SdF</b>	Sureté de Fonctionnement
<b>TQM</b>	Total Quality Management
<b>UML</b>	Unified Modeling Language
<b>WAMP</b>	Windows, Apache, MySQL, PHP

---

# Introduction générale

Depuis la révolution industrielle en XIX<sup>ème</sup> siècle, les différentes industries ont évolué d'une façon exponentielle ; la productivité est devenue optimale vis-à-vis les fluctuations de la demande du client, les temps de livraison et de production ont amélioré, les techniques de conception et de fabrication ont tellement évolué qu'on peut trouver plusieurs pour le même type de produit ou de service, l'innovation continue d'avoir sa place dans les différents secteurs... De plus, avec l'éclat de l'utilisation d'Internet globalement par les individus aussi bien que par les différentes entreprises, les termes « **IoT** (Internet of Things) » et « industrie 4.0 » font leur apparition, et apportent beaucoup plus aux industries qu'on croyait. Les différents outils informatiques comme L'**IA** (Intelligence Artificielle) et l'industrie 4.0, qui permet aux machines et à certains composants électroniques de se communiquer entre eux, donnent aux industriels la possibilité d'aller plus loin avec leurs inventions et créations. Mais peut être une telle évolution n'aurait pas eu lieu sans l'aide du domaine de la sûreté de fonctionnement et de qualité qui assurent la bonne démarche des processus de production, la conception et la fabrication des produits, la bonne formalisation des documents et des suivis... En effet, il existe plusieurs normes qui qualifie un produit, un processus, une organisation... dans le but de satisfaire les clients et les assurer. Ceci a donné la sûreté de fonctionnement une très grande importance dans n'importe quel domaine puisqu'elle aide dans la bonne prise de décision. La sûreté de fonctionnement n'est pas un but en soi, mais un moyen ou un ensemble de moyens : des démarches, des méthodes, des outils et un vocabulaire, elle sert au premier plan à la « maîtrise des risques ».

Nous allons appliquer une des démarches de la sûreté de fonctionnement **AMDEC** sur le système de production modulaire **MPS® 500-FMS** du laboratoire **MELT** afin de mettre en place des plans d'actions de maintenance préventives et correctives.

**Festo Didactic** est parmi les sociétés qui ont adopté les outils de l'industrie 4.0. Elle propose une large gamme de systèmes d'apprentissage, de petits dispositifs sur table jusqu'à des usines-écoles complètes qui prennent en charge développement des compétences et l'acquisition des connaissances dans tous les aspects de la mécatronique et de l'automatisation. Le **MPS® 500-FMS** est un des systèmes développés par cette société, et se trouve au niveau du laboratoire **MELT**.

Dans le premier chapitre, nous allons introduire l'étude **AMDEC** en passant par des généralités, un bref historique, les domaines d'application, ses types et ses étapes. Puis, nous allons présenter quelques travaux en relation qui ont été fait avant de passer à une conclusion.

Le deuxième chapitre va présenter le système modulaire **MPS® 500-FMS** du laboratoire **MELT**. Nous allons le décrire en montrant son utilité pour former des ingénieurs en différents domaines, puis on va le décortiquer en sous-systèmes en définissant les fonctions de chaque composant de chaque station afin d'établir une décomposition fonctionnelle que nous allons utiliser plus tard dans l'analyse **AMDEC** de ce système.

Le troisième chapitre est une partie pratique qui a pour but l'application de la méthode *AMDEC* sur le système *MPS® 500-FMS* ; la finalité de ce travail est d'établir des plans de maintenance afin d'aider l'ingénieur responsable à la bonne prise de décision en cas de problèmes techniques du système. Nous allons donc utiliser les différentes informations et données des premiers chapitres théoriques.

Le dernier chapitre sera à propos d'une plateforme qu'on a créée afin d'aider l'ingénieur responsable de la maintenance du système *MPS® 500-FMS* à créer des tableaux basés sur des données fournies par l'analyse *AMDEC*. Ces tableaux pourront aider à résoudre les problèmes techniques que peut subir le système et d'archiver toutes les informations concernant les pannes et les défaillances sous forme d'un historique afin d'établir des plans de maintenance plus efficaces même si les responsables de la maintenance du système changent.

Enfin, nous allons achever notre travail par une conclusion générale qui va répondre à la problématique concernant l'application de l'*AMDEC* sur le système *MPS® 500-FMS* du laboratoire *MELT*, après nous présenterons les différentes difficultés que nous avons rencontrées en travaillant sur ce thème.

# **Chapitre I**

## **Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)**

## I.1 Introduction

Le monde industriel connaît une évolution continue dans les différents domaines et disciplines qu'il regroupe, parmi lesquelles on trouve la *SdF* (Sûreté de fonctionnement) et la gestion de la qualité totale qui utilisent une panoplie de méthodes et de techniques qui permettent le bon fonctionnement et la fiabilisation des installations industrielles, des produits et des processus, comme l'*AdD* (Arbre de défaillances<sup>1</sup>), chaînes de Markov<sup>2</sup>, *RdP* (Réseaux de Pétri<sup>3</sup>), la méthode *AMDEC*...

Ce chapitre introduit la méthode *AMDEC* « Analyse des Modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité » (Failure Modes, their Effects and Criticality Analysis, *FMECA*), des généralités et des termes pertinents, les domaines d'application de la méthode, les travaux en relation qui ont été faits...

## I.2 Généralités

Avant d'entamer directement la méthode *AMDEC*, il faut tout d'abord se familiariser avec la terminologie pertinente.

### I.2.1 Maintenance

Ensemble d'actions tendant à prévenir ou à corriger les dégradations d'un matériel afin de maintenir ou de rétablir sa conformité aux spécifications.

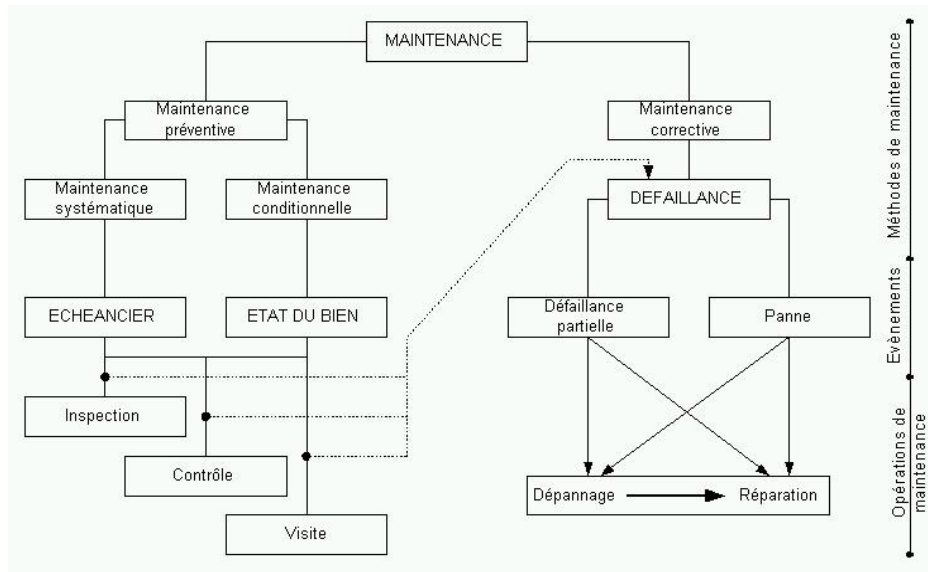


Figure I.2.1 Un diagramme qui synthétise les méthodes de maintenance selon la norme NF X 60-000

<sup>1</sup> On peut trouver une autre appellation pour ce terme : *Arbre des causes*.

<sup>2</sup> Une chaîne de Markov est employée en *SdF* pour les calculs de fiabilité et de disponibilité des systèmes techniques pour modéliser des successions de pannes, réparations, changements de configuration... [15].

<sup>3</sup> À l'origine (1962) le réseau de Petri est un modèle abstrait et formel de circulation de l'information et du contrôle de processus. Le graphe du réseau décrit ses propriétés statiques, de manière similaire à la représentation par diagramme de flux d'un programme [16].

Selon le schéma précédent, il existe deux types principaux de maintenance : la maintenance préventive où les actions de maintenance sont préparées avant que le système subisse une panne, et la maintenance corrective qui se fait après qu'une panne arrive au système (actions de réparation).

### **I.2.2 La fonction**

Ensemble d'opérations concourant au même résultat et exécutées par une ressource ou un ensemble de ressources.

### **I.2.3 La défaillance**

Selon la norme *AFNOR 60-010X*, une défaillance c'est la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques. L'ensemble est indisponible suite à la défaillance [1].

En termes relatifs à la *SdF*, un produit, un système ou un ensemble est dit défaillant lorsque ses capacités fonctionnelles sont interrompues lors d'une panne, d'un arrêt dû à une action de sécurité d'un système interne ou d'une action manuelle. On peut aussi considérer un système comme défaillant si son rendement (ou bien sa performance) ne répond pas aux spécifications fonctionnelles de ce système en le comparant à un seuil minimal conventionnel ou prédéfini.

### **I.2.4 Modes de défaillance**

D'après BISCO.N.I, un mode de défaillance est « la manière par laquelle un système étudié ne va plus remplir sa fonction. A partir de l'analyse fonctionnelle on considère tous les écarts au fonctionnement du système : à chaque fonction non remplie ou mal remplie correspond un mode de défaillance » [2].

Une autre définition donnée par KELADA J. dit que « Le mode de défaillance est la façon dont un produit, un composant, un ensemble, un processus ou une organisation manifeste une défaillance ou s'écarte des spécification » [3].

Une fonction d'un système a 4 façons de ne pas être correctement effectuée (*Figure 1.2.2*) :

- **Plus de fonction** : la fonction cesse de se réaliser (*Mode 01*) ;
- **Pas de fonction** : la fonction ne se réalise au moment désiré (*Mode 02*) ;
- **Fonction dégradée** : la fonction ne se réalise pas comme prévu (*Mode 04*) ;
- **Fonction intempestive** : la fonction se réalise à un moment non désiré (*Mode 03*).



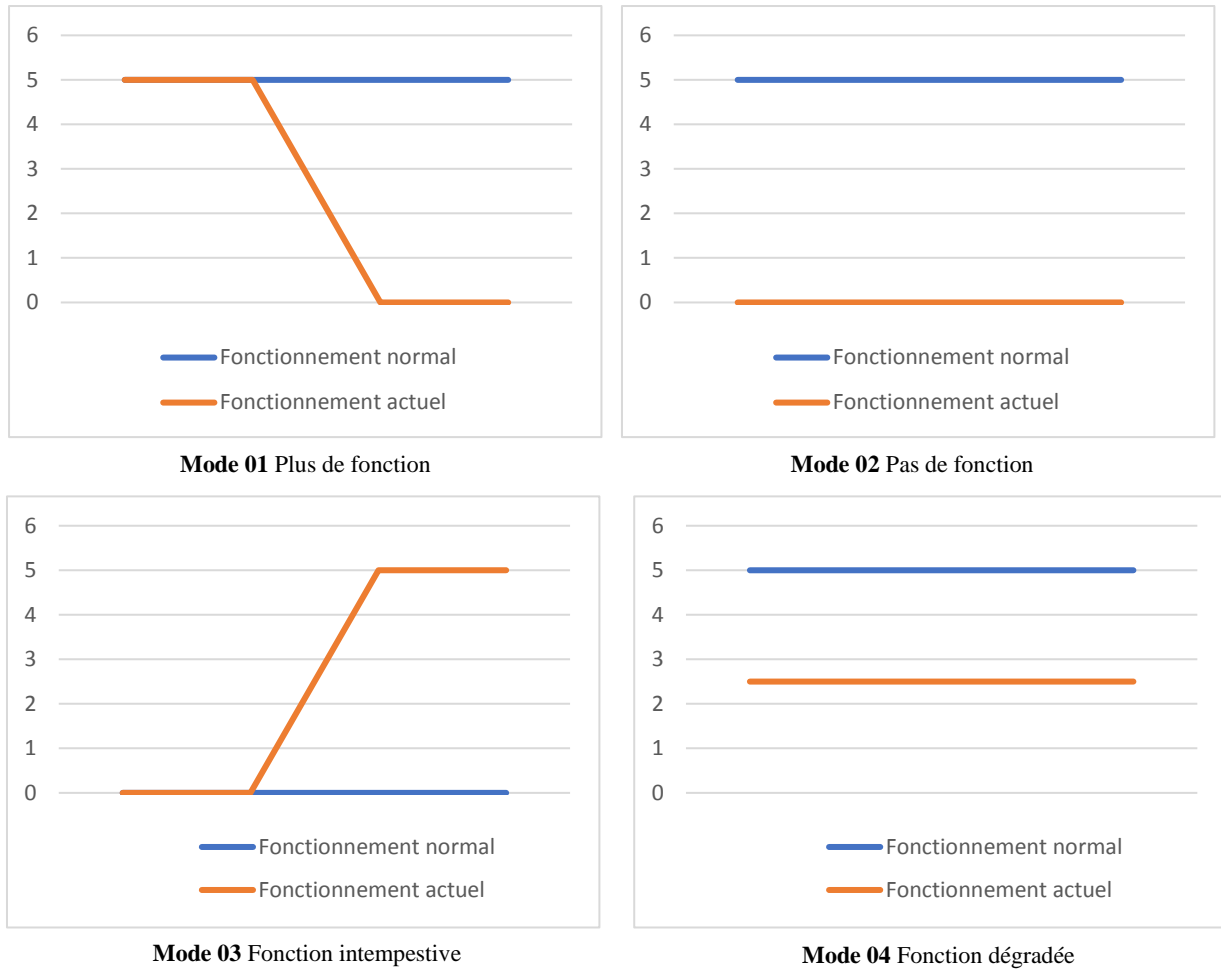


Figure I.2.2 Quelques modes de défaillance génériques

### I.2.5 Causes d'une défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance. Plusieurs causes peuvent être associées à un même mode de défaillance. Une même cause peut provoquer plusieurs modes de défaillance [4].

### I.2.6 Effet d'une défaillance

L'effet d'une défaillance est une conséquence subie par l'utilisateur. Il est associé au couple (mode-cause de défaillance) et correspond à la perception finale de la défaillance par l'utilisateur [4].

### I.2.7 Gestion des risques

Selon *ISO*, un risque est défini comme la « combinaison de la probabilité de la survenue d'un dommage et de sa gravité » ou la « combinaison de la probabilité d'un évènement et de ses

conséquences ». Une définition plus générale dit que le risque est « l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs »<sup>4</sup>.

Gérer le risque, c'est le contrôler afin de l'éliminer si possible, sinon de le réduire et de transférer l'impondérable c'est-à-dire le risque statistique inéluctable [5].

### I.3 AMDE

#### I.3.1 De quoi elle s'agit ?

L'*AMDE* est une méthode analytique qui procède d'une démarche inductive, qualitative et exhaustive. Elle permet d'étudier la fiabilité (ou son corollaire, la défaillance) du système à partir de l'étude des défaillances de ses composants [6].

L'analyse *AMDE* consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives.

#### I.3.2 Limites de l'AMDE

Bien que la méthode *AMDE* apporte des avantages à l'industrie, elle connaît plusieurs limites et inconvénients :

- Son application consomme un temps important ;
- Généralement, elle ne s'applique pas dès le début, donc elle ne contribue pas dans la prise de décision dans les premières phases (Conception);
- Elle ne prend pas en considération la relation entre les différentes défaillances que peut subir une entité du système ;
- On ne s'intéresse qu'à un seul mode de défaillance à la fois en faisant l'hypothèse que tout le reste du système fonctionne correctement ;
- On peut admettre que certains modes de défaillance ont des effets acceptables, et pour ceux-là, on considéra la conception comme convenable [6] ;
- C'est une méthode purement qualitative ;
- La notion d'hierarchisation se fait d'une manière intuitive ;

### I.4 AMDEC

L'*AMDE* ne peut pas traiter des systèmes complexes qui peuvent avoir de multiples défaillances, ce qui a donné naissance à de nouvelles techniques et méthodes, parmi lesquelles on trouve l'*AMDEC* qui est en réalité une méthode qui améliore l'*AMDE* en ajoutant la notion de criticité ayant pour but principal la hiérarchisation, le repère et le traitement préventif des risques les plus importants dans un système.

#### I.4.1 Définition

L'*AMDEC*, analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité, est un outil d'analyse performant qui permet de recenser de manière exhaustive les risques de dérive d'un processus, d'un produit ou d'un moyen de production. Elle s'inscrit dans la logique de maîtrise des risques ; sa finalité est de mettre en place des plans d'actions préventives visant à éliminer

---

<sup>4</sup> Ces définitions sont conformes aux guides *ISO* (2014, 2002 et 2009 respectivement)

ou réduire les risques liés à la sécurité de l'utilisateur, au non qualité, à la perte de productivité, à l'insatisfaction des clients... [7].

En d'autres termes, c'est une méthode systématique, participative et préventive permettant d'analyser un système en analysant les causes et les effets des défaillances qui peuvent affecter les composants de ce système.

#### I.4.2 Histoire et domaines d'application

Développée aux Etats Unis au début des années soixante par la *société McDonnell Douglas*, sur la base des premiers travaux relatifs à l'analyse des risques (pour l'aéronautique et le nucléaire militaire), l'*AMDE* consistait à mettre en place la liste des composants d'un produit et à collecter des informations sur les modes de défaillance, leurs fréquences ainsi que leurs effets. De plus, la méthode a été mis au point par la *NASA* sous le nom de *FMEA* pour évaluer l'efficacité d'un système [3].

Vers la fin des années soixante-dix, la méthode fut largement adoptée par *Toyota, Nissan, Ford, BMW, Volvo, Chrysler* et d'autres grands constructeurs d'automobiles.

En plus des domaines déjà mentionnés, la méthode est aussi appliquée dans les domaines suivants : mécanique, électronique, électrotechnique, chimie, informatique et plus récemment, on commence à s'y intéresser dans les services [3].

Dans les années 80, des constructeurs d'automobiles français ont exigé aux fournisseurs de composants, de machines et d'équipements de production des spécifications de fiabilité (sous forme de clauses dans les contrats). Ceci est établi par la réalisation d'une *AMDEC*.

Par la suite, les tableaux *AMDEC* avait été élaborés pour la fourniture des équipements de production, et utilisés dans d'autres secteurs. Mais comme les domaines diffèrent en termes de leurs applications, objectifs, procédés, bases clientèles, environnements internes et externes..., la méthode elle aussi peut s'appliquer différemment, ce qui a contribué à propager l'*AMDEC* en France [6].

Actuellement, cette méthode est vastement utilisée dans les différents secteurs, et est devenue très répandue parmi les méthodes de sureté de fonctionnement et la gestion de qualité ; en effet, plusieurs procédures définies dans le cadre d'une démarche qualité (norme *ISO 9000*, par exemple) incluent l'utilisation de l'*AMDEC* à différentes phases du développement des produits ou des procédés.

#### I.4.3 Objectif de l'AMDEC

Etant une démarche inductive <sup>5</sup>, l'*AMDEC* sert à identifier en premier temps les défaillances qui produisent des effets pouvant affecter un système et son fonctionnement. En

---

<sup>5</sup> Contrairement aux démarches déductives, une démarche inductive cherche les effets des *ENS* (évènement non souhaité)

plus, grâce à la notion de criticité, cette méthode permet de lister les modes de défaillances par priorité afin de les maîtriser.

Donc l'objectif principal de cette analyse c'est de garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un produit, d'un système ou d'un moyen de production [4].

#### I.4.4 Principe de la méthode

Puisque l'objectif de cette démarche est de décrire un plan d'actions préventives, il est nécessaire que ceux travaillant sur l'AMDEC aient un niveau de connaissances élevé sur le système étudié ; ceci va permettre de répondre aux quatre questions de base de l'AMDEC (voir Tableau 1).

Modes de défaillance	Effets possibles	Causes possibles	Plans de surveillance
Qu'est-ce qui pourrait aller mal ?	Quels pourraient être les effets ?	Quelles pourraient être les causes ?	Comment faire pour voir ça ?

Tableau I.4-1 Les quatre questions de base de l'AMDEC

En répondant à ces questions, l'équipe AMDEC essaye d'identifier les modes de défaillance qui peuvent se produire sur des équipements et de les hiérarchiser par leurs niveaux de criticité, puis de lister les conséquences et les causes sur les fonctions de base de ces équipements.

L'AMDEC n'est pas une fin en soi, mais un moyen permettant de déduire et de calculer les criticités (le trinôme : **Fréquence**, **Gravité** et **Non-Détection**) des différentes défaillances.

Si la criticité calculée ou déduite n'est pas acceptable, l'équipe commence à définir des plans de maintenance correctifs et/ou préventifs qui améliorent le système en diminuant la valeur de cette criticité, qui peut se faire en corrigeant la gravité nouvelle du mode de défaillance si possible, en modifiant son occurrence (fréquence) et en améliorant la probabilité de sa détection.

La section (I.5) donne plus de détails sur la démarche de cette méthode.

#### I.4.5 Aspects de l'AMDEC

En AMDEC, il existe deux aspects de base :

##### I.4.5.1 Aspect qualitatif

L'aspect qualitatif de l'analyse consiste à recenser les défaillances potentielles inhérentes aux fonctions du système étudié, à rechercher et à identifier les causes de ces défaillances ainsi que leurs effets sur les clients, les utilisateurs, l'environnement interne ou externe du système.

#### ***I.4.5.2 Aspect quantitatif***

L'aspect quantitatif de l'analyse consiste à évaluer les défaillances potentielles afin de les hiérarchiser. L'évaluation des défaillances s'effectue en calculant la criticité selon plusieurs critères : la gravité des effets, la fréquence d'apparition des causes, la capacité de détection des défaillances.

#### **I.4.6 Types de l'AMDEC**

Plusieurs types de l'*AMDEC* ont été présentés par la littérature, parmi lesquels on trouve les plus fréquemment utilisés :

##### ***I.4.6.1 AMDEC organisation***

La méthode dans ce cas s'applique dans tous les niveaux du système allant de la gestion et la production jusqu'au dernier niveau qui peut être l'organisation d'une opération élémentaire ou d'une tâche.

##### ***I.4.6.2 AMDEC produit***

Appelé aussi *AMDEC projet*, la méthode est appliquée spécifiquement au niveau de la partie de conception d'un produit ou bien d'un projet.

##### ***I.4.6.3 AMDEC composants***

Si on est en train de faire cette analyse sur un produit ayant plusieurs composants, on applique cette méthode.

##### ***I.4.6.4 AMDEC sécurité***

La démarche à ce point sert à garantir et assurer la sécurité du personnel responsable des équipements et des machines (opérateurs) dans la présence des différents risques.

##### ***I.4.6.5 AMDEC moyen***

Autrement dit *AMDEC système*. L'*AMDEC* va être appliquée sur les machines, les outils, les équipements, les logiciels, les systèmes de manutention et les différents systèmes internes.

##### ***I.4.6.6 AMDEC service***

Afin de répondre aux exigences des clients, il faut toujours vérifier la valeur ajoutée réalisée par le service tout en assurant que ce dernier ne produit pas de défaillances. C'est ici qu'on trouve l'utilité de l'*AMDEC service*.

##### ***I.4.6.7 AMDEC processus***

Elle s'applique aux processus de production afin de l'évaluer et de l'analyser en calculant les criticités des différents modes de défaillances.

Nous n'avons pas mentionné toutes les variations possibles de l'*AMDEC* mais les deux types les plus connus et utilisés sont *AMDEC produit* et *AMDEC procédé* [8]. Il est à noter que notre travail s'intéresse au type *AMDEC-moyen* qui a pour objet d'étude et d'analyse principaux les machines et les équipements d'un système.

## I.5 La démarche AMDEC

La méthode *AMDEC* peut être divisée en plusieurs étapes qui sont :

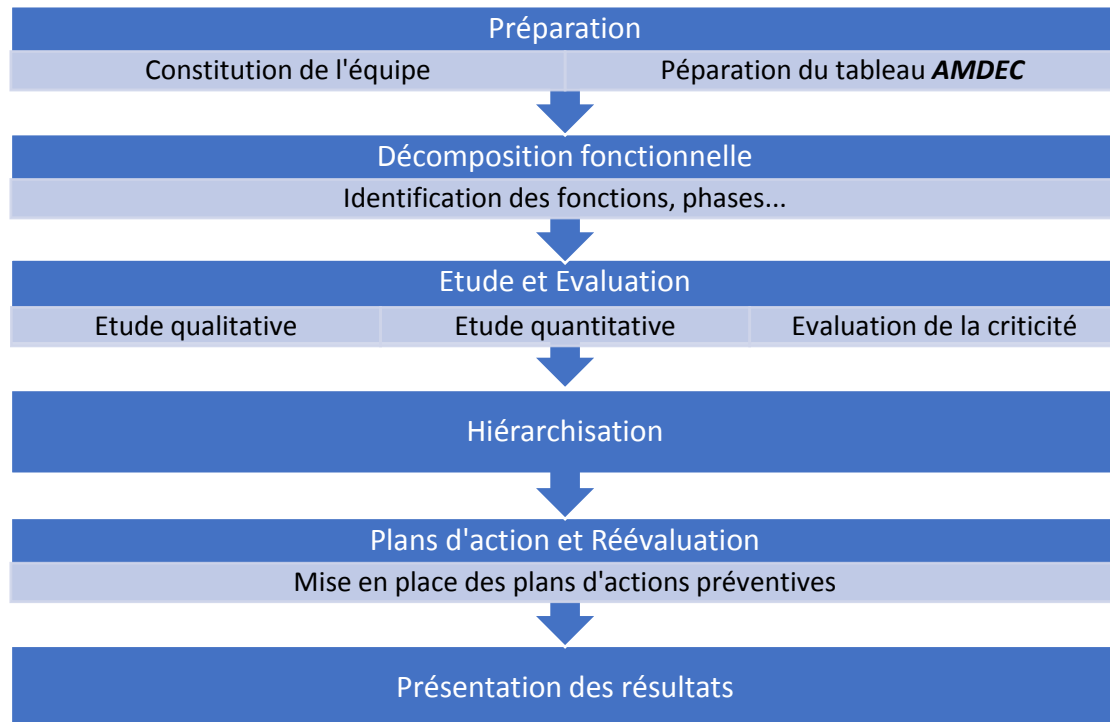


Figure I.5.1 Etapes principales de la démarche AMDEC

### I.5.1 Phase de préparation

#### I.5.1.1 Constitution de l'équipe

On commence par construire une équipe d'experts en différents domaines selon le type de l'étude *AMDEC* à réaliser. Le choix des membres de l'équipe est aussi basé sur l'expérience, les connaissances sur le système et la problématique étudiée, le niveau d'expertise dans la spécialité et la capacité de travailler en collaboration avec d'autres membres.

Ce groupe va être dirigé par un animateur qui doit être très bien formé pour la bonne conduite de l'équipe ; ceci est un facteur qui peut décider le succès de la méthode *AMDEC* appliquée.

Il est important de savoir que les bons résultats n'exigent pas que le nombre des membres de l'équipe soit grand, or il est préférable qu'il soit entre 4 et 6 vu que la méthode demande l'engagement total des membres et l'interaction entre eux [8].

#### I.5.1.2 Le tableau AMDEC

Après avoir constitué l'équipe idéal, le responsable est censé préparer le tableau *AMDEC* (Voir Tableau 2) qui contient plusieurs colonnes : le numéro ou l'identifiant de la pièce, la fonction de la pièce, ses modes de défaillance potentielle, les causes possibles, les conséquences possibles, l'évaluation contenant l'*IPR* (Indice de Priorité des Risques), les actions préventives et/ou correctives proposées ainsi que les résultats (lors d'une réévaluation).

Pièces, phases...	Modes de défaillance	Causes possibles	Effets potentiels	Evaluation				Actions préventives	Résultats			
				G	F	D	C		G'	F'	D'	C'

Tableau I.5-1 Tableau AMDEC (Variation : AMDEC-produit/processus)

## I.5.2 Décomposition fonctionnelle

### I.5.2.1 Identification des fonctions

C'est une phase très importante car il faut que toutes les fonctions du système sur lequel on applique cette étude soient listées avant de passer à l'évaluation. Dans ce cas, tous les membres de l'équipe doivent être présents pour vérifier que rien ne manque. Une fois la liste des fonctions est validée, on fait une analyse fonctionnelle pour classer ces fonctions en 3 classes principales :

- **Fonctions principales** : qui donnent au système global son rôle afin de satisfaire l'utilisateur ;
- **Fonctions contraintes** : qui interagissent avec l'environnement extérieur ;
- **Fonctions élémentaires** : qui représentent les fonctions des composants du système.

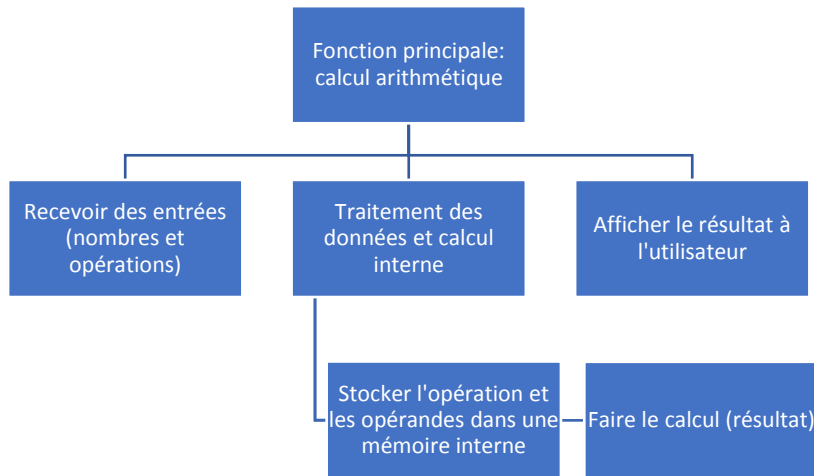


Figure I.5.2 Exemple d'une analyse fonctionnelle d'un calculateur arithmétique simple (selon les fonctions)

Dans cet exemple, le calculateur attend l'entrée des données qui vont être introduites par l'utilisateur ; une fois reçues, ces données sont passées à une unité de calcul interne qui enregistre les opérandes ainsi que les opérations effectuées, et qui fait le calcul arithmétique. Le résultat est ensuite affiché sur l'afficheur.

Notez bien que le déroulement des différentes activités et fonctions commence de la première fonction à gauche vers la dernière qui se trouve à la limite droite, et la description de chaque fonction est décrite selon une hiérarchie (du haut vers le bas).

### I.5.3 Etude et évaluation

#### I.5.3.1 Etude qualitative

Dans cette étape, l'équipe AMDEC commence par identifier les défaillances de chaque élément du système pour déterminer les différents modes de défaillance. Après, elle détermine les effets possibles relatifs à chaque mode ainsi que les causes les plus probables de ces défaillances.

La décomposition fonctionnelle aide cette étape à définir les causes en amont et les effets en aval.

Continuant avec l'exemple du calculateur arithmétique, on peut facilement trouver les modes de défaillance suivants grâce à l'analyse fonctionnelle :

Modes de défaillance	Causes possibles
<b>La non réception des données</b>	Défaillance des boutons Problème interne difficile à détecter
<b>L'incapacité à faire des calculs</b>	Unité de calcul affecté par la poussière
<b>Calculs erronés</b>	Problème au niveau de l'unité (indétectable)
<b>Pas d'affichage</b>	Afficheur cassé Afficheur défaillant Manque d'alimentation (énergie)

Tableau I.5-2 Exemple de modes de défaillances et de causes possibles (Exemple du calculateur arithmétique)

Bien que l'analyse qualitative apporte des biens dans cette démarche en décrivant les différentes défaillances, il est nécessaire d'avoir une valeur quantifiable pour faire une évaluation plus fiable et plus robuste ; ceci fait appel à l'étude quantitative.

#### I.5.3.2 Etude quantitative

La notion de criticité (appelée aussi **IPR**) fait apparition dans cette étape sous forme d'une estimation calculée selon certains critères. Une défaillance ayant une criticité importante a :

- Des conséquences graves ;
- Une probabilité d'occurrence (fréquence d'apparition) élevée ;
- Une faible détectabilité ;

La notation utilisée est :

- **G** la gravité des conséquences ou des effets sur le client ou l'utilisateur ;



- **F (ou O)** la fréquence d'apparition de la défaillance ;
- **D** la probabilité de la non-détection, qui est le risque qu'on ne peut pas détecter la défaillance ;
- **C (ou IPR)** qui est le produit de ces trois paramètres :  $C = G * F * D$

### I.5.3.3 Evaluation de la criticité

Il existe différentes grilles d'évaluations pour les différents domaines où on peut appliquer l'AMDEC, mais en général les paramètres sont notés de 1 à 10. Plus la note est élevée, plus sa sévérité est grande.

Notez que les critères utilisés ne sont pas limités à la fréquence, la gravité et la non-détection. Le groupe de travail peut en définir d'autres plus judicieux par rapport au problème traité.

Le tableau suivant est un exemple d'une grille d'évaluation :

Paramètre	Note sur 10		
	1	5	10
Fréquence F	Invraisemblable, rare...	Fréquent, probable...	Permanent
Gravité G	Pas grave (Mineure)	Majeure	Catastrophique
Non-détection	Facile à détecter	Relativement difficile à détecter (Exige un système de détection)	Indétectable

Tableau I.5-3 Exemple d'une grille d'évaluation de l'IPR

La matrice de criticité ci-dessous ne prend pas en compte toutes les possibilités. En réalité, puisqu'il existe 4 niveaux d'évaluation pour chaque paramètre, on aura  $4^3 = 64$  cas possibles, mais pour expliquer le niveau de tolérance de criticité, on a décidé d'illustrer que les 16 cas suivants :

		D			
		1	2	3	4
F	4	4	16	36	64
	3	3	12	27	48
	2	2	8	18	32
	1	1	2	9	16
		1	2	3	4
		G			

Tableau I.5-4 Exemple d'une matrice de criticité (Notée de 1 à 4)

Dans cet exemple,

- Les criticités qui se trouvent entre 1 et 8 (en vert dans le tableau 5) sont considérées négligeables, et on les laisse de côté (**Acceptables**) ;
- Les criticités entre 12 et 16 (en orange dans le tableau 5) sont moyennes ; dans ce cas on les considère **acceptables** mais on fait une investigation approfondie ;
- Les criticités supérieures à 16 (en rouge dans le tableau 5) ne sont pas tolérées. Il faut trouver des actions correctives et/ou préventives à mettre en œuvre et mettre obligatoirement en stock les composants ou organes.

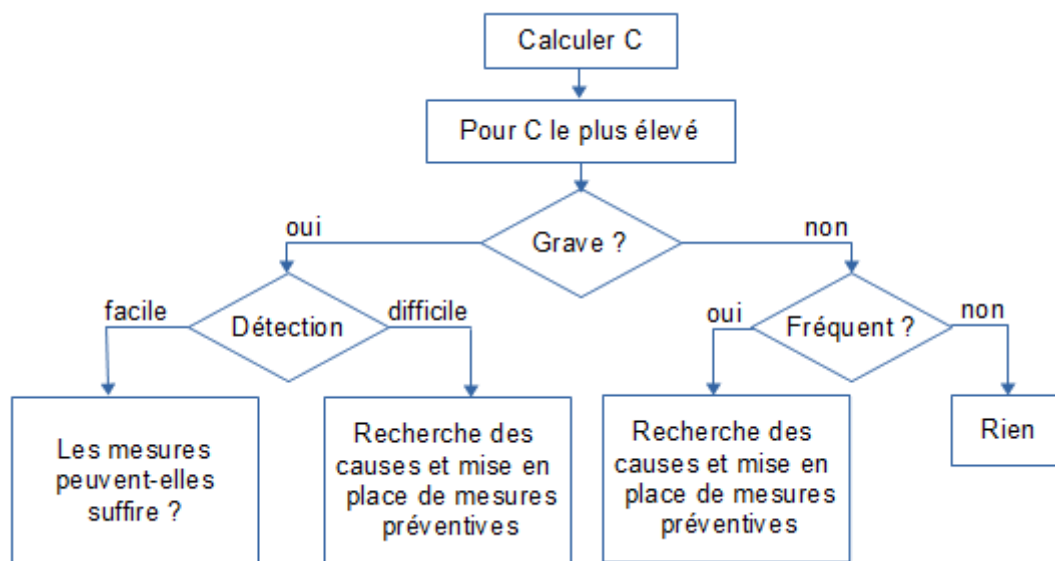


Figure I.5.3 Diagramme qui résume l'évaluation de la criticité d'un mode de défaillance [23]

#### I.5.4 Hiérarchisation

En simple termes, les modes de défaillance sont classés par ordre décroissant selon leurs criticités, et doivent ensuite être traités par cet ordre. Les actions préventives à mettre en place elles-aussi suivent le même ordre obtenu.

Parmi les méthodes qui simplifient ce processus (choix d'éléments prioritaires), on trouve :

- Le diagramme de **PARETO**<sup>6</sup> peut être utilisé pour sa simplicité et sa grande efficacité.
- L'histogramme, qui est un moyen rapide pour étudier la répartition d'une variable (dans ce cas l'**IPR**)

---

<sup>6</sup> Le diagramme **PARETO** s'agit d'un graphique à barres dont les valeurs sont classées dans un ordre décroissant. Il est utile pour identifier sur quelles causes agir en priorité pour améliorer de façon significative la situation. On évitera ainsi de gaspiller de l'énergie sur ce qui a peu d'impact [17].

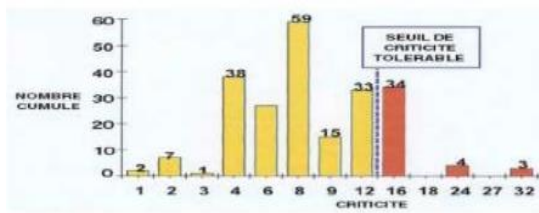


Figure I.5.4 Exemple d'un histogramme [24]

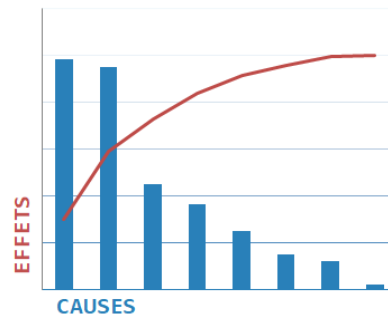


Figure I.5.5 Diagramme de PARETO [25]

L'utilisation de ces outils dépend du niveau de leur maîtrise et reste à la discrétion des membres de l'équipe *AMDEC*.

### I.5.5 Mise en place des plans d'actions

Le but principal de l'analyse *AMDEC*, après avoir mis en évidence les défaillances les plus critiques à travers la hiérarchisation, est d'établir un plan afin de traiter les problèmes identifiés.

Les actions mises en place sont classées en trois types :

- **Actions préventives** : ces actions permettent de prévenir la défaillance avant qu'elle ne se produise afin de l'empêcher de se produire. Ce type d'actions exige la planification<sup>7</sup>. La période d'application d'une action résulte de l'évaluation de la fréquence.
- **Actions correctives** : lorsque le problème n'est pas considéré comme critique, on agit au moment où il se présente. L'action doit alors être la plus courte possible pour une remise aux normes rapide.
- **Actions amélioratrices** : il s'agit en général de modifications de procédé ou de modifications technologiques du moyen de production destinées à faire disparaître totalement le problème. Le coût de ce type d'action n'est pas négligeable et on le traite comme un investissement.

Les actions, pour être efficaces, doivent faire l'objet d'un suivi : plan d'action, désignation d'un responsable de l'action, détermination d'un délai, détermination d'un budget, révision de l'évaluation après mise en place de l'action et retours des résultats.

Cette réévaluation consiste à calculer un nouvel indice de criticité de la même façon que la première évaluation, en prenant en compte les actions correctives, amélioratrices ou préventives prises. Cette nouvelle valeur de criticité est parfois appelée risque résiduel. L'objectif de cette réévaluation est de déterminer l'impact et l'efficacité des actions prises. Le nouvel indice de criticité doit donc être inférieur à sa valeur précédente.

<sup>7</sup> La planification est l'organisation dans le temps de la réalisation d'objectifs dans un domaine précis, avec différents moyens mis en œuvre et sur une durée (et des étapes) précise(s).

### I.5.6 Présentation des résultats

Une fois la dernière évaluation est faite, on commence à établir un bilan comportant toutes les informations précédentes sous forme d'un tableau *AMDEC* ;

Un tableau de synthèse doit être établi et doit contenir différentes informations comme les actions correctives et préventives pour chaque mode de défaillance possible, les responsables de chaque tâche à faire...

## I.6 Etat de l'art

Les différents travaux qui ont été faits afin de *développer* les méthodes *AMDE* et *AMDEC* vont être discutés dans cette section.

Hovmark et Norell (1994) ont mis en évidence le modèle *GAPT* (Guidelines for design work, Analysis of product features, Product design review and Team-building in design work) qui consiste à décrire l'utilisation de quelques outils de conception comme la conception pour assemblage (*DFA*, Design For Assembly), *AMDE* et le déploiement de la fonction de qualité (*QFD*, Quality Function Deployment) [9].

Braglia et Marcello (2003) ont développé *MAFMA* (Multi-attribute failure mode analysis), un nouvel outil d'analyse de la fiabilité et du mode de défaillance en intégrant les aspects conventionnels de la procédure d'*AMDEC* aux considérations économiques. Un quatrième critère est utilisé en plus de la gravité, la fréquence et la détectabilité ; c'est le coût attendu [10].

Teoh et Case (2004) ont proposé l'utilisation de la méthode *AMDE* dans le design conceptuel afin de minimiser les risques de défaillances coûteuses [11].

D'autres chercheurs ont utilisé *AMDE(C)* dans les processus de production et d'assemblage afin de les analyser, ce qui a permis de classer et de sélectionner les paramètres critiques dans ces processus. Voici quelques travaux pertinents :

Heising et Grenzbach (1989) ont fait une étude quantitative de la plateforme côtière de forage pétrolier *Ocean Ranger* qui a coulé le 15 Février 1982 dans la mer de Canada. Ils ont mis en place une analyse de risque incluant un tableau *AMDE*, un arbre de défaillances et une évaluation quantitative ainsi que des informations concernant les causes communes de défaillances des composants de la plateforme : l'analyse a pu être utilisée pour modéliser avec succès la défaillance du système et identifier une cause fréquente de cette défaillance [12].

Dale et Shaw (1990) ont conclu, grâce à une enquête par questionnaires sur l'utilisation de l'*AMDE* qui visaient l'industrie des automobiles du Royaume-Uni, qu'un grand nombre de fournisseurs commençaient à utiliser cette méthode seulement parce que leurs clients l'exigeaient par contrats ; mais, un certain nombre d'entre eux ont trouvé que l'*AMDE* facilitait leurs processus d'amélioration de la qualité, et ont décidé de l'adopter [13].

L'analyse de la conception des machines et des équipements est très importante avant de les acheter car leurs performances dans un système affectent les performances du système complet. Les travaux effectués dans ce domaine par divers chercheurs sont abordés dans cette section.

Jegadheesan et al. (2007) ont suggéré que *FMEA* était l'une des techniques les plus en vue dans le domaine de *TQM* (Total Quality Management, gestion de la qualité totale). Ils ont suggéré la mise en œuvre de la *FMEA* dans le secteur des services. Cette orientation de recherche a conduit à la conception d'un modèle amélioré, appelé « service modifié *FMEA* ». Sa mise en œuvre est examinée par une société de transport de passagers appartenant à l'État indien. Cet exercice permet de développer une table modifiée de *FMEA* de service et de déterminer la gravité des défaillances via la représentation de service et de coût perdus [14].

## **I.7 Conclusion**

La méthodologie d'analyse du mode de défaillance, des effets et de la criticité a pour objectif d'accroître la connaissance des risques et de prévenir les défaillances. Les avantages concrets de l'*AMDEC* sont offerts dans les différentes catégories. Dans la conception et le développement, cette analyse assure une fiabilité accrue, une meilleure qualité, des marges de sécurité plus élevées ainsi qu'une réduction des temps de développement et de re-conception. Elle aide aussi les opérations en apportant des plans de contrôle plus efficaces, une amélioration des exigences de test, de vérification et de validation, une maintenance préventive et prédictive améliorée, une analyse de la croissance de la fiabilité pendant le développement du produit et une diminution des déchets et des opérations sans valeur ajoutée (exploitation et fabrication sans gaspillage).

# **Chapitre II**

## **MPS® 500-FMS du laboratoire MELT**

## II.1 Introduction

Parmi les systèmes de production qui utilisent les outils et les techniques de l'automatisation, on trouve le système **MPS® 500-FMS** du laboratoire de recherche **MELT** de l'Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen. Ce système est développé par **FESTO-DIDACTIC** comme moyen d'apprentissage et de formation d'ingénieurs en différents domaines techniques. La codification 500 signifie que le système suit une certaine disposition des six stations qui composent le système et qui entourent le convoyeur.

## II.2 Le laboratoire MELT

Les informations suivantes ont été trouvées sur le site web officiel du laboratoire **MELT** de l'Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen [15].

### II.2.1 Présentation

Le **GI** (Génie Industriel), peu abordé au sein des universités, aura une importance capitale pour le développement de l'économie algérienne. Il est vrai que dans un monde industriel régi par la compétitivité, l'industrie algérienne ne peut continuer à fonctionner sans une optimisation de ses ressources et une automatisation de ses unités de production. L'activité de production est assujettie au changement constant dans la technologie et les connaissances humaines.

### II.2.2 Les objectifs

Le regroupement de compétences de 38 chercheurs venant de spécialités différentes (automatique, électronique, électrotechnique, informatique, physique...) tous formés à la productique, permettra de renforcer nos connaissances pour développer la validation des modèles mathématiques capables de traduire le comportement des systèmes réels.

Le développement de modèles, méthodes et techniques qui permettent l'amélioration et le développement des systèmes de production et de services par l'optimisation des ressources, la maximisation des profits et la minimisation des pertes.

Application des résultats obtenus (modélisation - optimisation - ordonnancement - pilotage...) à des cas concrets du tissu industriel et de services locaux, régionaux et nationaux.

La formation de chercheurs dans le domaine, par l'encadrement de masters et doctorats.

La diffusion des résultats scientifiques par l'organisation de conférences nationales et internationales, la participation à des rencontres nationales et internationales et les publications dans des revues, des livres... des résultats obtenus.

## II.3 Le système MPS® 500-FMS

### II.3.1 Systèmes Automatisés de Production

Un système de production est un système à caractère industriel ayant pour but de traiter une **M.Oe.** (Matière d'œuvre) pour lui apporter une valeur ajoutée de façon reproductible et rentable.

Un système de production répond au besoin d'élaborer des produits, de l'énergie ou de l'information à un coût rentable pour l'utilisateur du système [15].

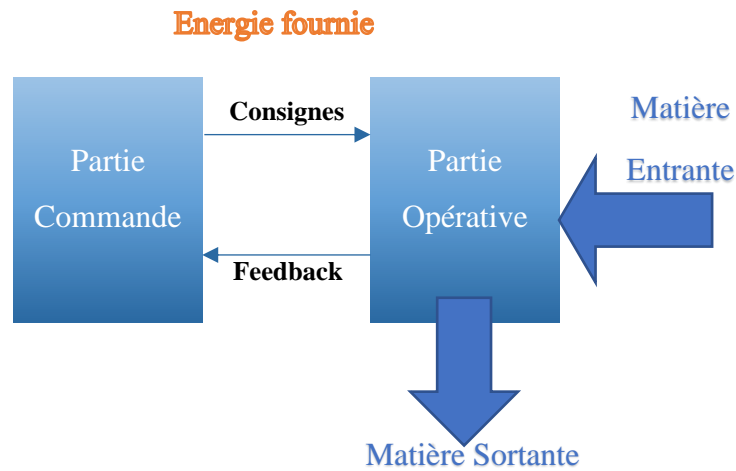




Figure II.3-1 Décomposition fonctionnelle d'un SAP

Le SAP est dit « automatisé » parce qu'il n'exige pas l'intervention humaine pour qu'il fonctionne ; les opérations sont gérées et exécutées grâce à des automates programmables industriels, des actionneurs, des effecteurs, des programmes intégrés...

### II.3.2 Description du MPS® 500-FMS

Il existe une panoplie de dispositions possibles des stations, ou des modules qui construisent un système **MPS®** ; en effet, plusieurs types de **MPS®** sont connus allant de la disposition codée **500** jusqu'à celle codée **5XX**. Dans le tableau suivant, 3 variations de systèmes **MPS®** sont présentées ;

Dénomination	Stations	Illustration
<b>MPS® 500-FMS</b>	<b>Réception, Usinage, Assurance qualité, Assemblage, AS/RS et Livraison</b>	 <p>Figure II.3-2 Configuration 500 du MPS(r)</p>
<b>MPS® 512-FMS</b>	<b>Système de transport à palettes FMF-F, Station de distribution, Station de contrôle, 2 stations de manipulation, Station d'usinage et Station de tri</b>	 <p>Figure II.3-3 Configuration 512 du MPS(r)</p>



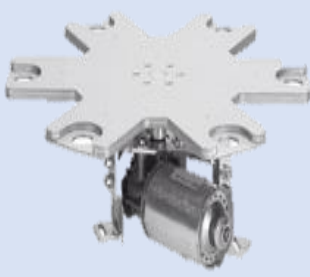


<p><b>MPS® 516-FMS</b></p>	<p><b>Système de transport à palettes FMF-F, Magasin de grande hauteur, Station de robotique avec station magasin, Station de distribution, Station de contrôle, 2 Stations de manipulation, Station d'usinage, Station de tri</b></p>	 <p><b>Figure II.3-4</b> Configuration 516 du MPS(r)</p>
----------------------------	--	--

**Tableau II.3-1** Trois variations de systèmes MPS®5XX

Nous allons nous intéresser par la disposition codée 500, puisque nous avons accès à ce système (**MPS® 500-FMS**) dans le laboratoire **MELT** ;

Le système comprend 6 stations principales, entourant un sous-système de transport de palettes (un convoyeur). Chacune de ces stations se compose de 3 parties de base :

Partie	Poste de contrôle	Partie commande	Partie exécutive
<p><b>Description</b></p>	<p>Il s'occupe du contrôle de la station à travers des <b>ordinateurs de bord</b> ou bien des <b>pupitres</b>.</p>	<p>Elle regroupe les différents éléments du système qui font la commande ; parmi lesquelles, on trouve les <b>APIs...</b></p>	<p>C'est la partie opérative contenant des composants et des éléments du système qui effectuent les différentes opérations d'usinage, de transport... On trouve parmi eux les <b>effecteurs</b> qui sont en contact direct avec les pièces et les <b>actionneurs</b> qui aident les effecteurs à compléter leurs rôles.</p>
<p><b>Exemples de composants</b></p>	 <p><b>Figure II.3-5</b> Pupitre de commande</p>	 <p><b>Figure II.3-6</b> API Siemens S7-300</p>	 <p><b>Figure II.3-7</b> Un ensemble Effecteur-Actionneur (Table d'indexation et Moteur)</p>

**Tableau II.3-2** Les 3 parties d'une station automatisée

### **II.3.3 Descriptions des composants principaux**

#### **II.3.3.1 Pupitre**

Le pupitre de commande peut démarrer, réinitialiser et arrêter la station qu'il contrôle à travers les boutons **Start** (en vert), **Reset** (en gris) et **Stop** (en rouge) respectivement.

#### **II.3.3.2 Automate Programmable Industriel**

L'Automate Programmable Industriel (**API**) est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogique ou numérique.

#### **II.3.3.3 Actionneur**

Un actionneur permet la transformation d'une énergie fournie en une forme physique utilisable par d'autres composants ; par exemple, l'énergie électrique fournie à un moteur permet à celui-ci d'effectuer le mouvement de rotation (forme mécanique) ;

#### **II.3.3.4 Pré-actionneur**

C'est un organe capable de réaliser la commande d'un actionneur. Il distribue à l'actionneur un courant fort, ou une pression d'air (pré-actionneur pneumatique), tout en étant commandé par un courant électrique faible provenant de la partie de commande.

#### **II.3.3.5 Capteur**

Un système qui permet d'obtenir une information sous forme électrique en général, d'une grandeur physique. On appelle **M** le mesurande c'est à dire la grandeur physique à mesurer et **S** la grandeur de sortie du capteur.

Ces composants et dispositifs sont reliés entre eux par des câbles (**RJ45**, **PROFIBUS**, **PROFINET**, **BUS CAN**, **BUS ASI**...) afin d'assurer la meilleure communication possible.

## II.4 Les stations du MPS® 500

Le figure ci-dessous représente la configuration **500** des systèmes **MPS®** ; c'est la même disposition utilisée pour le système du laboratoire **MELT**. Dans cette section, nous allons présenter chaque station, sa fonction principale, ses différents composants ainsi que leurs fonctionnements dans la station.

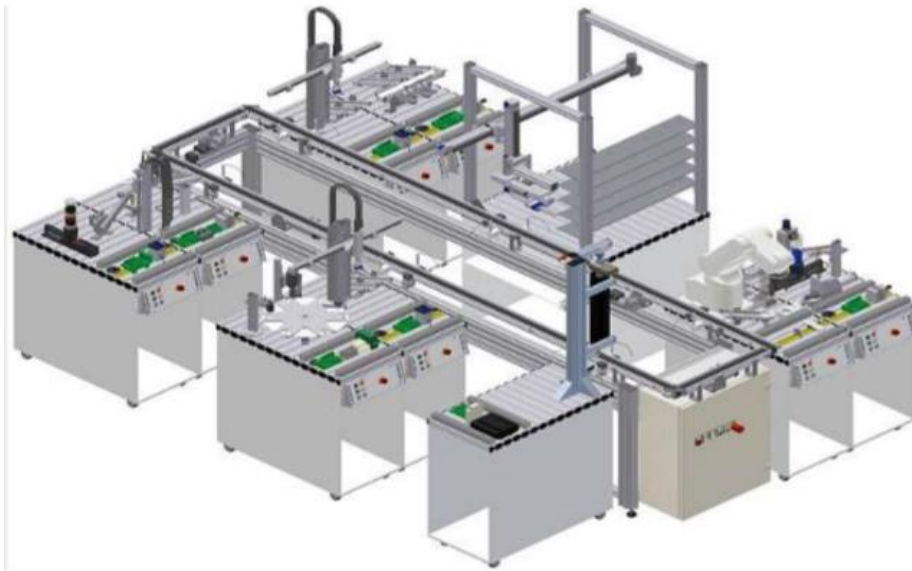


Figure II.4-1 MPS® 500-FMS en 3D [26]

### II.4.1 La station de distribution (Entrée)

#### II.4.1.1 Présentation

Le flux de travail commence à ce stage, où on trouve un magasin qui est rempli de matières premières qui vont être contrôlées, grâce à un sous-système de contrôle qui se sert d'un capteur optique, avant d'être transmises vers la station suivante ;

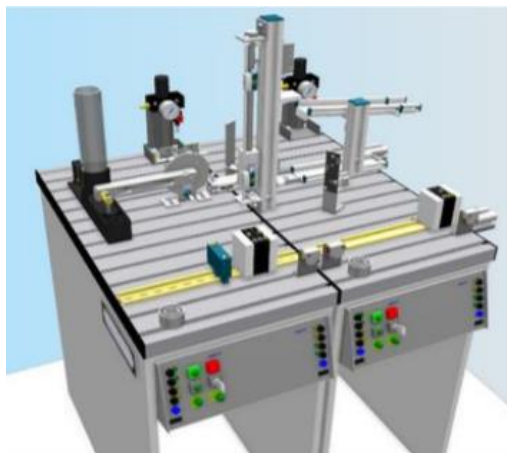


Figure II.4-2 Station de distribution (3D) [26]

### II.4.1.2 Pupitre

Dans la figure ci-dessous se présente le pupitre de cette sous station ; ce pupitre permet de démarrer la distribution des pièces à travers le bouton vert (*Start*), remettre la sous station à sa position initiale (réinitialisation) à travers le bouton gris (*Reset*) et d'arrêter la distribution par le bouton rouge (*Stop*).



Figure II.4-3 Pupitre de la sous station de distribution

### II.4.1.3 Pré-actionneurs

Codification	Dénomination	Type	Illustration
PA2	<i>Distributeur électrique</i>	<i>Pré-actionneur</i>	<p>Figure II.4-4 Pré-actionneur électrique de la station de distribution</p>
			<p>Il fournit de l'énergie électrique aux différents actionneurs électrique de la station de distribution (sous station de distribution).</p>
PA1	<i>Distributeur pneumatique</i>	<i>Pré-actionneur</i>	<p>Figure II.4-5 Pré-actionneur pneumatique de la station de distribution</p>
			<p>Il fournit de l'énergie pneumatique aux différents actionneurs pneumatiques de la station de distribution (sous station de distribution).</p>

Tableau II.4-1 Pré-actionneurs de la sous station de distribution

### II.4.1.4 Câblage

Il existe en général deux types de câble de distribution d'énergie : câbles électriques (*01* dans *Figure II.4.6*) et câbles/tubes pneumatiques (*02* dans *Figure II.4.6*), les premiers servent à

transmettre l'électricité aux différents composants électriques, et les derniers permettent de transmettre l'air comprimée vers les actionneurs pneumatiques comme les vérins.

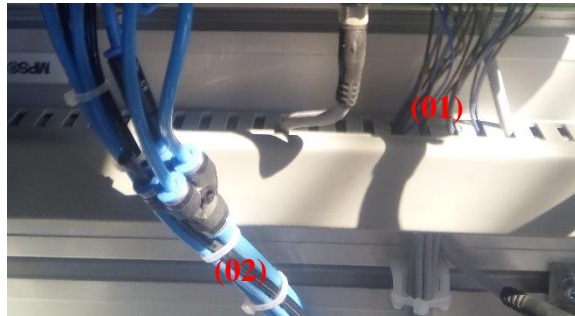


Figure II.4-6 Câbles et tubes de transmission d'énergie

### II.4.1.5 Magasin d'empilement

Ce magasin (*Figure II.4.7*) sert à stocker les pièces considérées comme matières premières qui peuvent être soit rouges, noires ou métalliques. Ces dernières sont stockées et empilées d'une façon manuelle afin de les traiter dans les différents processus du système. Le magasin peut avoir jusqu'à huit pièces (La face « *perforée* » vers le haut).

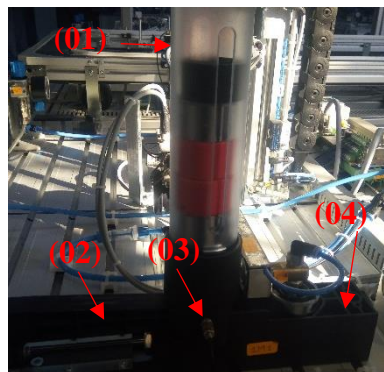


Figure II.4-7 Magasin d'empilement

Codification	Dénomination	Type	Illustration
	<i>Tube</i>	<i>Effecteur</i>	(01) dans la <i>Figure II.4.7</i>
	Permet l'empilement des pièces dans le magasin ; l'opérateur peut voir à travers ce tube qui est transparent ;		
	<i>Butée</i>	<i>Effecteur</i>	(04) dans la <i>Figure II.4.7</i>
	C'est la position où la matière première se présente afin d'être transmise plus tard par le bras ;		
1M1	<i>Vérin Oscillant</i>	<i>Effecteur-Actionneur</i>	(02) dans la <i>Figure II.4.7</i>

	Il permet de pousser les pièces du tube ( <b>position initiale</b> dans le magasin) vers la butée ; ceci se fait grâce à l'énergie pneumatique fournie par un pré-actionneur ( <i>PAI</i> ) ;		
<b>B4</b>	<i>Capteur de présence</i>	<i>Capteur</i>	(03) dans la <i>Figure II.4.7</i>
	Ce capteur capacitif permet de détecter le positionnement du vérin pour déterminer de quelle manière et vers quelle entrée (du vérin) doit le pré-actionneur ( <i>PAI</i> ) distribuer l'air comprimée ;		

Tableau II.4-2 Composants du magasin d'empilement de la station de distribution

#### II.4.1.6 Bras manipulateur rotatif

Ce bras qui fait le lien entre les deux sous-stations (contrôle et distribution) va transmettre la pièce qui se trouve dans la butée du magasin vers la sous-station de contrôle afin de rejeter les rebus avant le début de la production ; ces rebus sont alors empilés dans le buffer *CI* ;

Le contrôle se fait à l'aide d'une résistance qui donne des valeurs variables selon l'épaisseur de la pièce présente au niveau de l'ascenseur ; si ces valeurs sont conformes, la pièce est poussée par un vérin vers la palette en attente (à travers le convoyeur pneumatique) sinon elle est considérée comme rebus.

### II.4.2 La station d'usinage

#### II.4.2.1 Présentation

Cette station est composée de deux sous-stations. La station de manipulation qui vient juste après le convoyeur, et qui permet le transport des pièces de la palette vers la table d'indexation qui se trouve dans la deuxième sous-station. Celle-ci est responsable d'effectuer une opération de perçage grâce à une perceuse, et avant de remettre la pièce sur la palette, elle doit passer par un contrôle du perçage effectué.

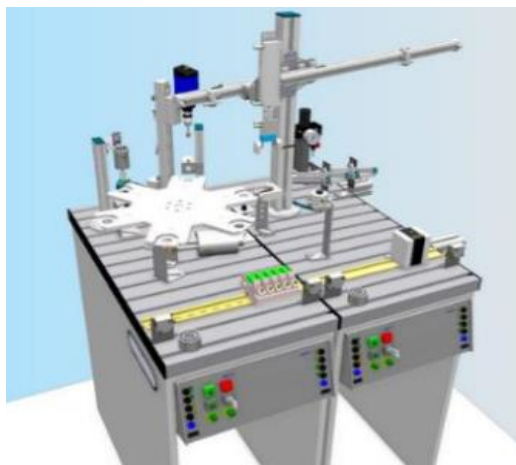




Figure II.4-8 Station d'usinage et de production (3D)  
[26]

### II.4.2.2 Pupitre, pré-actionneurs et câblage

Comme les autres stations, cette station se compose d'un pupitre de contrôle, d'un ensemble de distributeurs d'énergies pneumatiques et électriques et des câbles/tubes de transmission de ces énergies.

### II.4.2.3 Composants principaux

Le tableau suivant regroupe les différents éléments (Actionneurs, Pré-actionneurs, Effecteurs, Capteurs...) utilisés dans cette station :

Codifications associées	Dénomination	Type	Illustration
-	Table d'indexation	<b>Effecteur</b>	 <p><b>Figure II.4-9</b> Table d'indexation de la station de production</p>
	<p>La table d'indexation sert à préparer la matière d'œuvre pour le contrôle et l'usinage par la station de production. Elle accepte un nombre maximal de 6 pièces à la fois, mais dans cette installation, il ne peut y avoir que 2 pièces présentes successivement.</p>		
1M1	Moteur pas à pas	<b>Actionneur</b>	 <p><b>Figure II.4-10</b> Moteur de la table d'indexation de la station de production</p>
	<p>Le moteur sert à transformer l'énergie électrique fournie par les distributeurs électriques en énergie mécanique, dans ce cas le mouvement mécanique est une rotation d'environ 60° qui permet la transmission des pièces à usiner de la sous-station de contrôle vers celle de l'usinage.</p>		

3M1	Perceuse	<b>Effecteur</b>	 <p><b>Figure II.4-11</b> La perceuse de la station d'usinage</p>
	C'est le composant qui fait l'usinage sous forme de perçage sur la matière d'œuvre afin de la préparer pour l'assemblage.		
2M1	Dispositif de contrôle	<b>Effecteur</b>	 <p><b>Figure II.4-12</b> Le dispositif de contrôle de perforation de la station d'usinage</p>
	Ce dispositif contrôle la pièce avant de la passer à la perceuse pour l'usiner. Si le contrôle est positif, la pièce est usinée normalement, sinon elle passe vers le buffer des pièces non conforme.		
	Buffer	<b>Effecteur</b>	Image non disponible
	C'est un emplacement qui regroupe les pièces ayant un test négatif par le dispositif de contrôle, en d'autres termes c'est le buffer des pièces non conformes.		

**Tableau II.4-3** Composants de la station de production

En plus des composants principaux présentés dans le tableau ci-dessus, il existe d'autres composants dont la grande partie est occupé par des capteurs. Ces derniers sont présentés dans le tableau suivant.



<i>Mnémonique</i>	<i>Fonction</i>		
<i>Part_AV</i>	E0.0	E124.0	Pièce présente
<i>B2</i>	E0.1	E124.1	Pièce à usiner à la perceuse
<i>B1</i>	E0.2	E124.2	Pièce à usiner au dispositif de contrôle
<i>1B1</i>	E0.3	E124.3	Perceuse en haut
<i>1B2</i>	E0.4	E124.4	Perceuse en bas
<i>B3</i>	E0.5	E124.5	Plateau à indexation positionné
<i>B4</i>	E0.6	E124.6	Contrôle des orifices de perçage en ordre
<i>H1</i>	E1.0	E125.0	Touche START
<i>H2</i>	E1.1	E125.1	Touche STOP (contact à ouverture)
<i>H3</i>	E1.2	E125.2	Sélecteur automatique/manuel
<i>H4</i>	E1.3	E125.3	Touche mise en référence/RESET
<i>K1</i>	A0.0	A124.0	Perceuse, moteur activé
<i>K2</i>	A0.1	A124.1	Plateau à indexation, moteur activé
<i>K3</i>	A0.2	A124.2	Perceuse vers le bas
<i>K4</i>	A0.3	A124.3	Perceuse vers le haut
<i>M1</i>	A0.4	A124.4	Serrer la pièce à usiner.
<i>M2</i>	A0.5	A124.5	Contrôler la pièce à usiner
<i>M3</i>	A0.6	A124.6	Ejecter la pièce à usiner.

**Tableau II.4-4** Les différentes mnémoniques présentes dans la station de production

## II.4.3 La station d'assurance qualité

### II.4.3.1 Présentation

La station d'assurance qualité sert à vérifier la qualité de la pièce usinée juste avant qu'elle soit assemblée avec le reste des composants du produit final ; ceci se fait à l'aide d'une caméra équipée d'un programme de traitement d'image qui contient les informations et les données principales de la conformité du produit final.



Figure II.4-13 Station d'assurance qualité du système

#### II.4.3.2 Pupitre, pré-actionneurs et câblage

La station d'assemblage, tout comme le reste des stations se compose d'un pupitre de contrôle. La différence se trouve dans l'énergie utilisée dans cette station qui est l'énergie électrique, qui alimente la caméra de contrôle (1 dans la **figure II.4-13**).

#### II.4.3.3 Composants principaux

Les composants principaux de cette station est la caméra et son support. Le contrôle se fait sur la palette lors de son arrivée.

### II.4.4 La station d'assemblage

#### II.4.4.1 Présentation

La station d'assemblage, comme son nom l'indique sert à assembler les différentes parties qui composent le produit final ; ceci est fait grâce à un robot manipulateur très complexe qui a un grand espace de travail, et des mouvements translatifs et rotatifs.

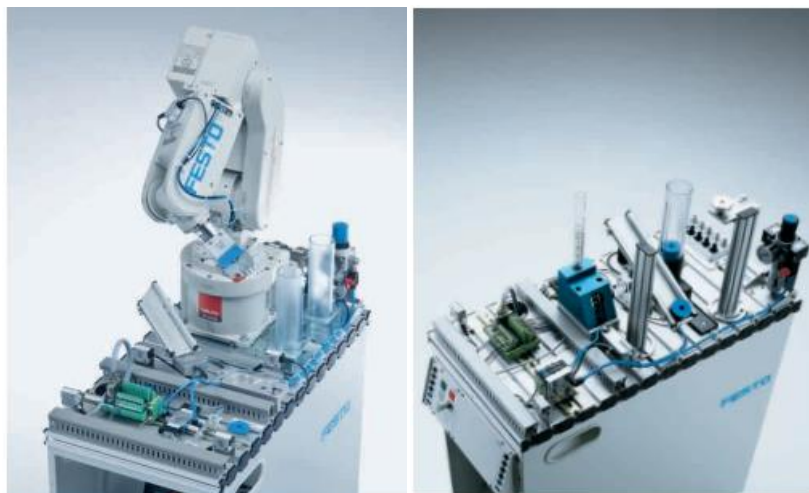


Figure II.4-14 Sous station du robot manipulateur (à gauche) et Sous station d'assemblage (à droite)

#### II.4.4.2 Pupitre, pré-actionneurs et câblage

Cette station elle-aussi se compose d'un pupitre de contrôle, d'un ensemble de distributeurs d'énergie électrique et des câbles de transmission de cette énergie.

#### II.4.5 La station AS/RS

##### II.4.5.1 Présentation

Cette station sert à stocker les pièces en cas de saturation de production au niveau de la station finale de tri et de livraison.

Cette station se sert d'un pupitre et de l'énergie électrique qui alimente les moteurs des axes horizontal (2 dans la **figure II.4-15**) et vertical (1 dans la **figure II.4-15**) de l'AS/RS. Cet ensemble regroupe les composants principaux de la station AS/RS en plus des emplacements des palettes (3 dans la **figure II.4-15**). Puisque les palettes sont relativement lourdes (par rapports au poids des pièces), les moteurs de nature électrique sont utilisés pour supporter leurs poids.

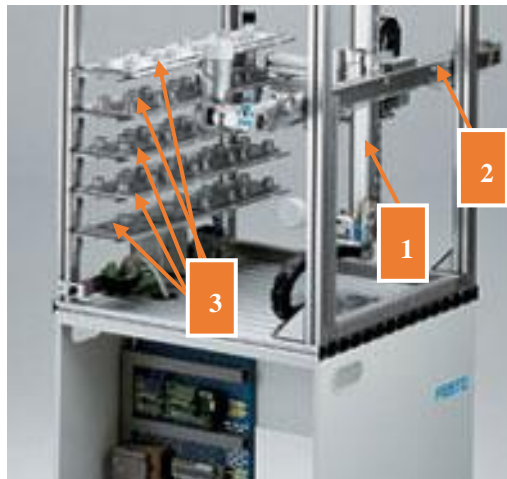


Figure II.4-15 Station AS/RS (dépot) du système

## II.4.6 La station de tri et de livraison

### II.4.6.1 Présentation

La station de tri, comme son nom l'indique, fait le tri par rapport à la nature et la couleur de la pièce présente lors du contrôle. Pour cela, il existe trois emplacements (Buffers) pour chaque type de pièce (Rouge, Noire ou métallique).

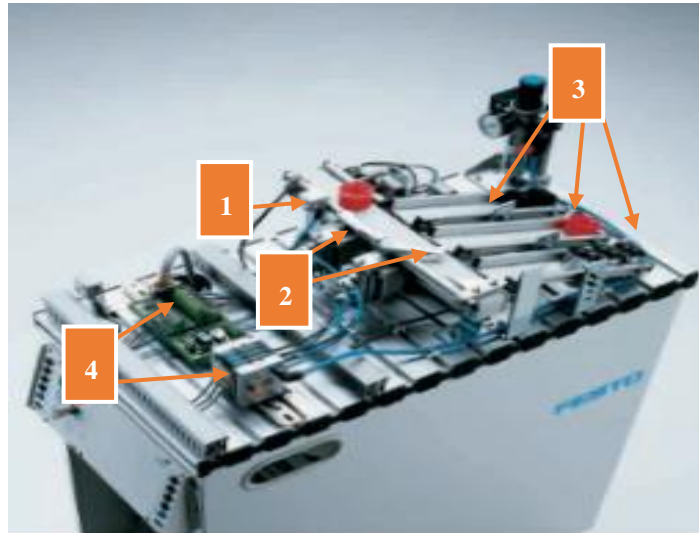


Figure II.4-16 Station de tri

### II.4.6.2 Pupitre, pré-actionneurs et câblage

La station de tri contient un pupitre et des pré-actionneurs (électrique et pneumatique, 4 dans la **figure II.4-16**) et des câbles électriques qui alimentent les différents composants de la station. Ces composants sont principalement des capteurs de présence (optique réflexe/barrage, 1 dans la **figure II.4-16**), des sélecteurs (2 dans la **figure II.4-16**) et des buffers/emplacements pour chaque type de pièce (3 dans la **figure II.4-16**).

## II.4.7 Convoyeur

Le convoyeur peut être considéré comme l'élément le plus important dans le système, car il assure la manutention (transport) des pièces sur des palette à travers les stations. En fait, le programme de commande dépend du convoyeur (plus précisément la partie de commande de cet élément qui est son API considéré Master, ou maître) pour que le système fonctionne normalement.



Figure II.4-17 Partie non-assemblée du convoyeur

## II.5 Conclusion

Ce chapitre avait pour but l'introduction du système *MPS500* et les différents composants qui l'entourent. Les composants ont été décrits ainsi que leurs fonctions de bases. Ces descriptions techniques vont être utiles pour établir une analyse fonctionnelle du système étudié, ce qui facilitera l'analyse *AMDEC* de chaque composant. Nous avons prioriser les deux premières stations au détriment de ce qui reste de système, car notre étude s'entoure d'une manière principale sur l'aspect « production » du système, en d'autres termes la station de production du *MPS500*.

Le chapitre suivant représentera le travail pratique qu'on a fait, qui est l'établissement des tableaux *AMDEC*, et des plans de maintenance correctives et préventives.

**Chapitre III**

**Application de la méthode AMDEC sur la  
station de production du système MPS®  
500-FMS du laboratoire MELT**

### III.1 Introduction

Après l'étude théorique approfondie de la méthode *AMDEC* et de ses caractéristiques, nous l'avons appliqué sur un cas réel qui est le système *MPS® 500-FMS* du laboratoire *MELT*. Ce dernier est un système de production qui se compose de plusieurs composants qui peuvent avoir différents types de défaillance, nous allons donc appliquer *AMDEC-moyen* (ou *AMDEC-machine*) afin d'établir des plans de maintenance préventives et correctives pour ces composants.

### III.2 Analyse fonctionnelle de la station de production

#### III.2.1 Décomposition fonctionnelle du robot cartésien

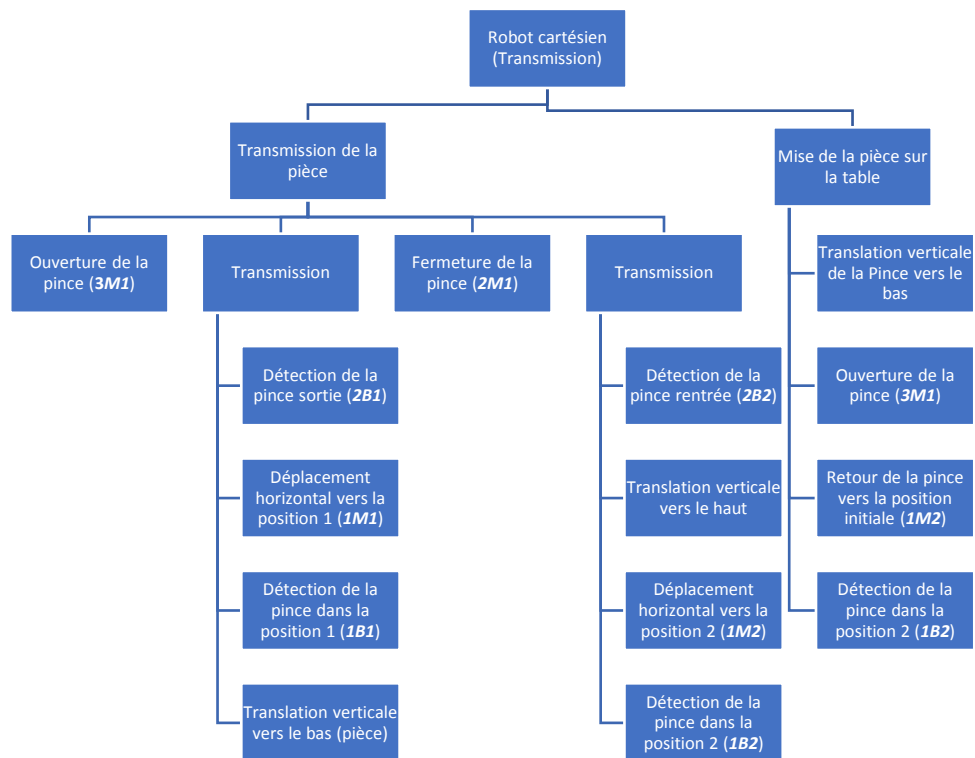


Figure III.2.1 Décomposition fonctionnelle du robot cartésien de la station de production

Le robot cartésien transmet la pièce présente sur la palette vers la table d'indexation. Avant la transmission, la pince est en état initial d'attente. Quand une palette arrive avec une pièce, la pince s'ouvre puis se dirige vers la position 1 (au-dessus de la palette), grâce à une translation horizontale du robot cartésien, puis vers le bas, grâce à une translation verticale de la pince du robot. Après son arrivée vers la pièce, la pince se ferme, puis se dirige vers le haut et retourne à la position initiale (au-dessus de la table de l'indexation). La mise de la pièce sur un slot libre se fait après que la pince se dirige vers le bas et s'ouvre pour libérer la pièce, puis elle retourne à sa position initiale.

Il est à noter que les codes introduits dans les différentes décompositions fonctionnelles (Par exemple : Ouverture de la pince **2M1**) sont présentés et expliqués dans le tableau des mnémoniques dans le deuxième chapitre (Tableau II.4.4) et dans l'**annexe C**.

### III.2.2 Décomposition fonctionnelle de la table d'indexation

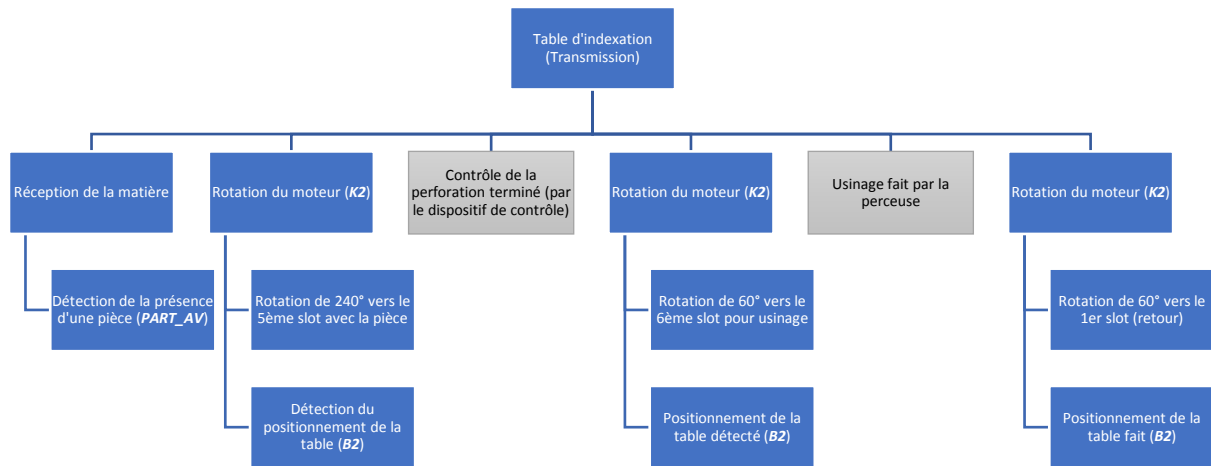


Figure III.2.2 Décomposition fonctionnelle de la table d'indexation

Le rôle de la table d'indexation commence juste après la réception d'une pièce de la part du robot cartésien. Cette table tourne grâce à un moteur qui assure le mouvement de rotation : chaque slot (emplacement de pièce) se trouve à  $60^\circ$  du slot suivant (il existe un total 6 slots). Une fois une pièce réservée un slot dans la table, elle est transmise vers la sous-station de contrôle qui se trouve dans le 5<sup>ème</sup> slot (ce qui exige une rotation de  $240^\circ$ ), et qui fait un contrôle de qualité de la perforation de la pièce. Puis, le moteur tourne encore une fois (une rotation de  $60^\circ$ ) pour que la pièce passe au 6<sup>ème</sup> slot ; c'est ici que l'usinage (perçage) sur la pièce se fait. La pièce usinée retourne au 1<sup>er</sup> slot, puis vers la palette grâce au robot cartésien.

Il est important de savoir qu'à chaque fois une rotation est faite par le moteur de la table d'indexation, le capteur de position B2 détecte ceci afin d'informer le programme directeur que la table est positionnée.

**Note** : les deux actions de contrôle et d'usinage (en arrière-plan gris dans la figure) ne sont pas des fonctions de la table d'indexation ; les automates utilisent des informations fournies par le dispositif de contrôle et de la perceuse quand l'opération de contrôle ou d'usinage est terminée afin d'actionner le moteur de la table d'indexation.



### III.2.3 Décomposition fonctionnelle de la perceuse

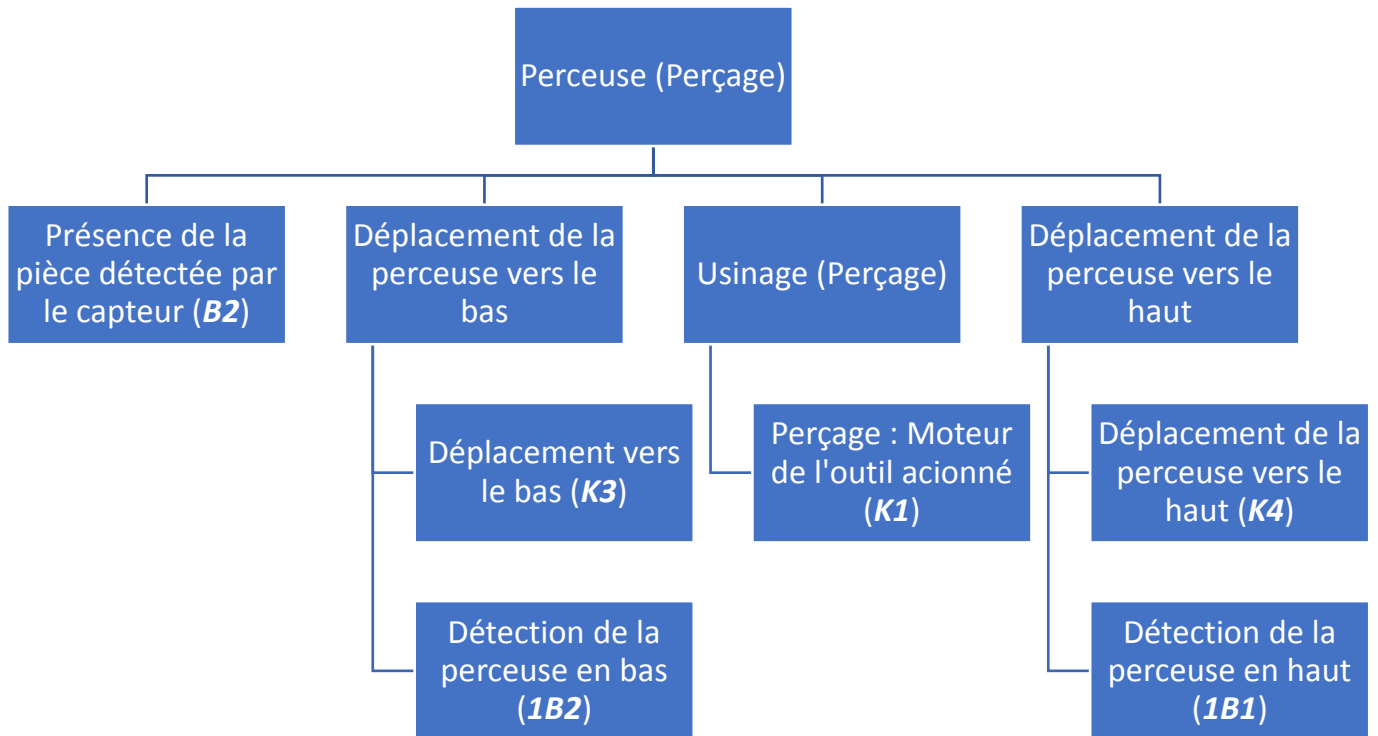


Figure III.2.3 Décomposition fonctionnelle de la perceuse

La perceuse ne peut commencer son travail de perçage jusqu'à ce qu'une pièce contrôlée se présente dans le 6<sup>ème</sup> slot de la table d'indexation. La perceuse se dirige vers le bas et prépare l'outil (dedans la perforation). Le moteur est actionné afin de faire le perçage. Une fois l'usinage est terminé, la perceuse retourne vers son état initial.

### III.2.4 Décomposition fonctionnelle du dispositif de contrôle

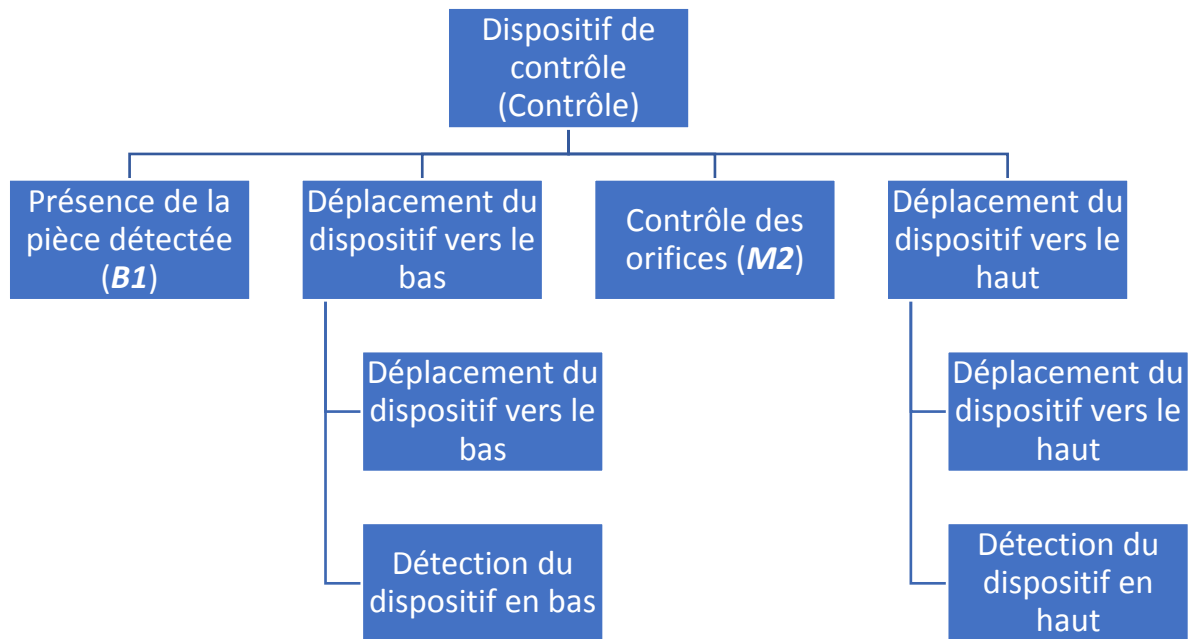


Figure III.2.4 Décomposition fonctionnelle du dispositif de contrôle

Le dispositif de contrôle fait le contrôle de la perforation de la pièce avant l'opération de perçage. Une fois une pièce est détectée dans le 5<sup>ème</sup> slot de la table d'indexation, le dispositif se dirige vers le bas pour commencer le contrôle. Quand la partie faisant le contrôle arrive au sein de la perforation, le dispositif fait un contrôle rapide de la perforation. Une fois cette opération est terminée, le dispositif retourne vers sa position initiale. La pièce passe vers le slot suivant si le contrôle est bon (Ceci est détecté par le capteur codé **B4**), sinon elle est envoyée vers un buffer des rebus.

Nous avons commencé notre travail par une analyse fonctionnelle de tous les éléments de la station de production qui est la première étape de la démarche **AMDEC**. La partie suivante présente l'ensemble des résultats obtenus à la fin de cette première étape de l'analyse.

### III.3 Tableaux AMDEC

Nous avons fait l'analyse **AMDEC** pour chaque composant/dispositif de la station de production étudié précédemment.

Pour la grille d'évaluation, nous avons utilisé une grille semblable à celle présentée dans le premier chapitre (Tableau I.5-4). Les valeurs des critères d'évaluation varient entre 1 et 4 qui veut dire que les criticités varient entre 1 et 64.

<b>Critère/ Valeur</b>	<b>DéTECTABILITÉ</b>	<b>FRÉQUENCE</b>	<b>GRAVITÉ</b>
<b>1</b>	Facile à détecter.	Presque jamais ; rare et invraisemblable ;	Mineure
<b>2</b>	Relativement facile à détecter, mais requiert la présence d'un opérateur	Quelque fois après une production continue ;	Moyenne
<b>3</b>	Difficile à détecter même avec la présence humaine.	Fréquent et Probable ;	Majeure
<b>4</b>	Indétectable.	Permanent ;	Catastrophique

**Tableau III.3-1** Grille d'évaluation utilisée pour l'analyse AMDEC

Pour la détectabilité, on a donné une valeur minimale de 1 sur 4 pour les pannes et les défaillances qui sont très faciles à détecter, soit par un moyen installé dans le système (par exemple des voyants) ou par des moyens manuels (par exemple, l'opérateur entend un son ou détecte le problème sans aucune difficulté). Les valeurs 2 et 3 sont généralement données aux problèmes qui sont relativement difficiles à détecter ; ce sont des problèmes qui exigent la présence d'un système de contremesure, ou des problèmes difficiles à voir même avec la présence des opérateurs humains. La valeur maximale est 4, dans ce cas le problème est considéré indétectable : En général, c'est pour les problèmes difficiles à détecter avec la technologie actuelle.

La fréquence est un critère qu'on a trouvé un peu difficile à valoriser puisqu'il a une relation directe avec le nombre d'occurrences de pannes, et ceci demande une expertise élevée et une très haute connaissance sur le système étudié. C'est pour ça que les valeurs utilisées dans cette analyse sont en fait des probabilités. Le choix d'une valeur est expliqué dans le tableau précédent.

La gravité a été graduée de 1 à 4 : la valeur minimale 1 est donnée pour les problèmes qui n'affectent pas la productivité, ni la qualité, ni la santé des opérateurs ou leur bien-être... La valeur 2 est donnée aux problèmes qui affectent la productivité ou la qualité : dans ce cas les pièces ne sont pas considérées de la haute gamme. La valeur 3 est donnée quand les pièces produites sont non conformes, quand il y a des arrêts de production ou une baisse majeure de productivité... la valeur maximale 4 est réservée pour les effets catastrophiques sur les pièces, moyens, opérateurs, ressources financières...

En utilisant cette grille d'évaluation, on a pu créer les tableaux *AMDEC* suivants :

**Note** : les différentes informations (modes de défaillance, causes et effets possibles...) introduites dans les tableaux AMDEC suivants ont été collectées à travers des séances de Brainstorming supportées par des recherches sur Internet vu que les composants de même type (par exemple : capteurs, actionneurs électriques ou pneumatiques...) ont une grande probabilité d'avoir les mêmes types de défaillance.

Le tableau AMDEC suivant concerne le premier composant de la station de production : « Le robot cartésien ».

Composant	Modes de défaillance	Non-Défectabilité	Causes possibles	Fréquence	Effets	Gravité	Criticité	Code	Criticité du MDD
<b>Robot Cartésien</b>	Pas de translation horizontale (ou vitesse réduite)	2	Poussières au niveau des tubes	2	Retard de production (arrêts possibles)	4	<b>16</b>	<b>B1</b>	<b>16</b>
			Fuites d'air	1	Retard de production (arrêts possibles)	4	<b>8</b>	<b>B2</b>	
			Position de la pince non détectée (Capteur défaillant)	2	Baisse de productivité	3	<b>12</b>	<b>B3</b>	

*Chapitre III : Application de la méthode AMDEC sur la station de production du système MPS® 500-FMS du laboratoire MELT*

Coincement lors de la translation	2	Usure / Problème au niveau des tubes pneumatiques	2	Déformation de pièces / non-conformité	4	<b>16</b>	<b>B4</b>	<b>16</b>
Coincement de la pièce lors de son prélèvement par la pince	2	Mauvais positionnement de la pince	2	Déformation de la pièce	3	<b>12</b>	<b>B5</b>	<b>12</b>
Pas de translation verticale (ou vitesse réduite)	2	Problème au niveau de l'axe	1	Baisse de productivité, (arrêts possibles)	4	<b>8</b>	<b>B6</b>	
		Capteur de présence défaillant (Problème de commande)	1	Baisse de productivité	3	<b>6</b>	<b>B7</b>	<b>8</b>

**Tableau III.3-2** Tableau AMDEC du composant "Robot Cartésien"

La collecte des informations n'a pas été faite que par des recherches sur Internet, mais aussi par des observations en temps réel sur le système : nous avons eu la chance de voir le système en marche pendant plusieurs séances (En plus, on a fait des travaux pratiques pendant un semestre en Master 1).

**Note** : La dernière colonne regroupe les criticités des modes de défaillance. Pour les modes de défaillances ayant plusieurs causes et effets (donc plusieurs valeurs de criticités), nous avons sélectionné la criticité maximale entre eux pour représenter la criticité du mode de défaillance : pour le premier MDD, on a les criticités suivantes 12, 8 et **16** ; et comme **16** est la plus grande valeur entre eux, elle est considérée « la criticité de ce MDD ».

Le tableau AMDEC suivant concerne le composant « table d'indexation ».

Composant	Modes de défaillance	Non-Défectabilité	Causes possibles	Fréquence	Effets	Gravité	Criticités	Code	Criticité du MDD	
<b>Table d'indexation</b>	Mauvais positionnement de la table lors de rotations	2	Moteur défaillant	2	Arrêt de production	4	<b>16</b>	<b>C1</b>		
			Mauvaise installation	1	Vitesse de production réduite	3	6	<b>C2</b>		
			Capteurs défaillants	2	Baisse de productivité	3	12	<b>C3</b>		<b>16</b>
					Rebus	2	8	<b>C4</b>		
			Problème de commande	2	Production de mauvaise qualité	2	8	<b>C5</b>		
	Rotation imprévue	2	Problème dans le programme directeur	2	Rebus et non-conformité	4	<b>16</b>	<b>C6</b>	<b>16</b>	

**Chapitre III : Application de la méthode AMDEC sur la station de production du système MPS® 500-FMS du laboratoire MELT**

Retour de pièce vers le premier slot (sans usinage)	2	Problème du programme directeur / API	2	Rebus et non-conformité	4	<b>16</b>	<b>C7</b>	<b>16</b>
Vibrations	2	Mauvaise installation / Usure	2	Rebus et production de mauvaise qualité	4	<b>12</b>	<b>C8</b>	<b>12</b>
Pas de rotation	1	Moteur non actionné (Pas d'énergie)	2	Arrêt temporaire de production	2	<b>4</b>	<b>C9</b>	
		Moteur non actionné (Problème de commande)	2	Arrêt de production	4	<b>8</b>	<b>C10</b>	<b>8</b>

**Tableau III.3-3** Tableau AMDEC du composant "Table d'indexation"

Nous n'avons pas inclus d'autres défaillances en relation avec le moteur dans ce tableau bien qu'il en existe plusieurs. Les moteurs, étant un des éléments qu'on peut trouver sur d'autres stations et composants, ont été étudiés séparément dans un autre tableau AMDEC.

Note : Nous avons attribué une valeur élevée de 3 sur 4 pour le dernier mode de défaillance « vibrations » : on parle ici des vibrations qui ne peuvent pas être détectées par l'œil (des petites vibrations), mais qui peuvent affecter la production.

Le tableau suivant concerne la grille du composant « Dispositif de contrôle ».

<b>Composant</b>	<b>Modes de défaillance</b>	<b>Non-Défectabilité</b>	<b>Causes possibles</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Effets</b>	<b>Gravité</b>	<b>Criticités</b>	<b>Code</b>	<b>Criticité du MDD</b>
<b>Dispositif de contrôle</b>	Mauvais Contrôle	4	Défaillance interne	2	Rebus et non-conformité	4	<b>32</b>	<b>D1</b>	
			Problème dans le programme directeur / API	2	Rebus et Pièces non conformes	3	<b>24</b>	<b>D2</b>	<b>32</b>
	Le détecteur ne descend pas	1	Capteur de présence défaillant	2	Baisse de productivité	3	6	<b>D3</b>	
			Problème dans le programme directeur / API	2	Arrêt de production (pour la maintenance)	4	<b>8</b>	<b>D4</b>	<b>8</b>

**Tableau III.3-4** Tableau AMDEC du composant "Dispositif de contrôle"

Nous allons maintenant introduire le tableau AMDEC du composant « Perceuse ».



*Chapitre III : Application de la méthode AMDEC sur la station de production du système MPS® 500-FMS du laboratoire MELT*

<b>Composant</b>	<b>Modes de défaillance</b>	<b>Non-Délectabilité</b>	<b>Causes possibles</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Effets</b>	<b>Gravité</b>	<b>Criticité</b>	<b>Code</b>	<b>Criticité du MDD</b>
<b>Perceuse</b>	Mauvais usinage	2	Outil défaillant	3	Rebus et pièces non conformes	3	<b>18</b>	<b>E1</b>	<b>18</b>
			Problème de commande (API)	2	Rebus et pièces non conformes	3	<b>12</b>	<b>E2</b>	
	L'outil descend mais pas d'usinage	2	Moteur de l'outil défaillant	2	Arrêt de production	4	<b>16</b>	<b>E3</b>	<b>16</b>
			Problème dans le programme directeur / API	2	Arrêt de production	4	<b>16</b>	<b>E4</b>	
	L'outil ne descend pas	1	Capteur de présence défaillant	2	Retard de production (Baisse de productivité)	3	6	<b>E5</b>	<b>8</b>
			Problème dans le programme directeur / API	2	Arrêt de production (pour la maintenance)	4	<b>8</b>	<b>E6</b>	

**Tableau III.3-5** Tableau AMDEC du composant "Perceuse"

**Note** : Pour la dernière entrée (Mauvais usinage), on a ajouté le cas où le programme de commande donne de fausses informations sur les paramètres d'usinage sur les pièces : par exemple, une pièce n'est considérée conforme que si la perforation est d'un diamètre de 5mm, mais les pièces produites ont des perforations d'un diamètre de 3mm dû à une erreur dans le programme de commande.

Le tableau AMDEC suivant concerne les différents moteurs du système.

Composant	Modes de défaillance	Non-Déteçtabilité	Causes possibles	Fréquence	Effets	Gravité	Criticité	Code	Criticité du MDD
Moteur(s)	Pas de rotation ou arrêt imprévu	3	Pas d'alimentation	1	Arrêt de la machine	4	12	F1	24
			Problème dans le programme directeur / API	2	Arrêt de la machine	4	24	F2	
			Défaillance interne	2	Arrêt de la machine	4	24	F3	
	Mauvaise vitesse	3	Mauvaise distribution d'énergie (Problème de commande)	2	Impact majeur sur les équipements et rebus	4	24	F4	24
	Rotation inversée ou imprévue	2	Mauvais câblage	2	Baisse de productivité ou rebus	4	16	F5	16

**Tableau III.3-6** Tableau AMDEC du composant "Moteur"

**Note :** Les composants de la station de production ont leurs propres moteurs pour qu'ils fonctionnent ; nous avons ajouté le tableau AMDEC précédent pour les défaillances communes que peuvent subir ces moteurs. Dans ce cas, on considère que seulement le composant ayant une relation avec un moteur « défaillant », est affecté par la défaillance : par exemple, si le moteur de l'outil d'usinage (de la perceuse) est actionné avec une mauvaise vitesse, cet outil va être détérioré et commence à produire des rebus sans affecter les autres composants de la station.

Le tableau suivant représente l'AMDEC des distributeurs d'énergie pour les composants pneumatique.

<b>Composant</b>	<b>Modes de défaillance</b>	<b>Non-Défectabilité</b>	<b>Causes possibles</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Effets</b>	<b>Gravité</b>	<b>Criticité</b>	<b>Code</b>	<b>Criticité du MDD</b>
<b>Ensemble de distribution d'énergie pneumatique</b>	Mauvais filtrage	4	Détérioration de la crépine	2	Détérioration d'équipement	3	<b>24</b>	<b>G1</b>	<b>24</b>
	Pas de débit	2	Blocage interne	2	Arrêt de production / baisse de productivité	4	<b>16</b>	<b>G2</b>	<b>16</b>
	Débit insuffisant	2	Tubes partiellement bouchés	2	Arrêt de production / Baisse considérable de productivité	4	<b>16</b>	<b>G3</b>	<b>16</b>
			Régulateur défaillant						
			Problème de lubrification	2	Baisse de productivité	3	<b>12</b>	<b>G4</b>	

*Chapitre III : Application de la méthode AMDEC sur la station de production du système MPS® 500-FMS du laboratoire MELT*

Supression	2	Régulateur défaillant	1	Arrêt de fonctionnement des équipements	4	<b>8</b>	<b>G5</b>	<b>16</b>
		Erreur humaine	2	Détérioration d'équipements	4	<b>16</b>	<b>G6</b>	
Fuites	2	Joints défectueux lors de vibrations	2	Baisse de productivité	3	<b>12</b>	<b>G7</b>	<b>12</b>
		Tubes endommagés	2	Baisse de productivité	3	<b>12</b>	<b>G8</b>	

**Tableau III.3-7** Tableau AMDEC du composant « Distributeur d'énergie pneumatique »

*Note* : Une des causes possibles pour la surpression peut être dû à une erreur humaine : puisqu'il existe des régulateurs de pression d'air au niveau des différents station, l'opérateur peut régler manuellement le débit de l'air distribué aux composants pneumatiques.

Nous avons fait une priorisation de modes de défaillances selon leurs criticités. Ceci permet de voir quels modes doit-on traiter en premier. Nous avons utilisé le même tableau présenté dans le premier chapitre pour faire cette priorisation (voir **Tableau I.5-4**).

Classe de criticité	De 1 à 9	De 10 à 20	Plus que 20
Priorité	<b>Criticités négligeables (Basse priorité)</b> : on peut négliger les défaillances ayant des valeurs de criticité de cette classe, mais ce n'est pas <b>recommandé</b> .	<b>Criticités tolérables (Priorité moyenne)</b> : dans ce cas on peut faire <b>une investigation approfondie</b> avant de décider quelles actions à prendre.	<b>Criticités intolérables (Haute priorité)</b> : dans ce cas la prise de décision doit être rapide, et les actions de maintenance doivent être appliquées en <b>urgence</b> .
Code dans les tableaux AMDEC	<b>B2, B6, B7, C2, C4, C5, C9, C10, D3, D4, E5, E6, G5</b>	<b>B1, B3, B4, B5, C1, C3, C6, C7, C8, E1, E2, E3, E4, F1, F5, G2, G3, G4, G6, G7, G8</b>	<b>D1, D2, F2, F3, F4, G1</b>

Tableau III.3-8 Classement et priorisation par criticité pour le traitement des défaillances

Après avoir établi les tableaux AMDEC pour les différents composants de la station de production, nous avons proposé quelques actions de maintenance dans la section qui suit.

### III.4 Actions correctives et préventives

Afin de préparer des plans de maintenance efficaces et robustes, nous avons présenté les différentes actions de maintenance correctives et/ou préventives pour chaque entrée dans les tableaux *AMDEC* introduit dans la section précédente. Pour cela, nous avons utilisé le champ « *Code* » afin d'éviter la répétition des données introduites dans ces tableaux.

Le tableau suivant contient certains abrégés et acronymes qu'on doit connaître ; *MC* (Maintenance corrective), *MPx* (Maintenance Préventive, *x* prend plusieurs valeurs : *T*, *S* et *A*, qui veulent dire Trimestrielle, Semestrielle et Annuelle respectivement), *PR* (Pièce de Rechange).

Le champ *Diff.* Représente la différence entre la criticité actuelle, et la criticité estimée après l'implémentation de l'action suggérée (le pourcentage représente le taux d'amélioration estimé).

Code	Action proposée	D	F	G	C	Diff.	Difficultés possibles
<b>B1</b>	MPT ; Vérification de l'état des composants pneumatiques et faire des nettoyages pour éliminer les poussières	2	1	2	4	12 (75.00%)	Exhaustive
<b>B2</b>	MPT ; Vérification de l'état des composants pneumatiques, et changer les tubes en cas de fuites	2	1	2	8	4 (50.00%)	Exhaustive
<b>B3</b>	MPS ; Vérification de l'état des capteurs après un certain temps d'utilisation	2	2	2	8	10 (55.55%)	Expertise requise, tâche exhaustive
	MC ; PR : Changement du capteur si on le trouve défaillant	2	1	1	2	16 (88.88%)	Coûteuse
<b>B4</b>	MPT ; Vérification totale de l'état des tubes lors de cette maintenance	2	1	2	4	12 (75.00%)	Exhaustive
	MC ; PR – Changement des tubes en cas de détérioration grave	2	1	1	2	14 (87.5%)	Coûteuse
<b>B5</b>	MPT ; Lors de cette maintenance vérifier le positionnement de la pince, car il peut qu'elle soit affectée après plusieurs utilisations	2	1	2	4	8 (66.66%)	Exhaustive
	MP ; Vérification de l'état des distributeurs d'énergie avant le démarrage du système	2	1	1	2	6 (75.00%)	Persévérance de l'opérateur requise
<b>B6</b>	MPT ; Vérification de l'état des dispositifs pneumatiques (distributeurs, tubes ...)	2	1	2	4	8 (66.66%)	Tâche exhaustive mais non répétitive
<b>B7</b>	MC ; PR : Changement des tubes en cas de détériorations graves (fuites, blocage interne...)	2	1	1	2	10 (83.33%)	Coûteuse
	MC ; PR : Changement du capteur de présence	2	1	1	2	10 (83.33%)	Coûts engendrés
<b>C1</b>	MPT ; Vérification du bobinage du moteur ; (changement des pièces défectueuses)	2	2	2	8	8 (50.00%)	Expertise requise, il peut y avoir des coûts engendrés

	MC ; PR : Changement du moteur de la table d'indexation	2	1	1	2	14 (87.5%)	Coûteuse
<b>C2</b>	MPT ; Vérifier l'installation et l'état des différents équipements régulièrement	2	1	2	4	2 (37.50%)	Exhaustive
<b>C3</b>	MC ; PR : changer le capteur de position	2	1	1	2	10 (83.33%)	Coûteuse
<b>C4</b>	MC ; PR : changer le capteur de position	2	1	1	2	6 (75.00%)	Coûteuse
<b>C5</b>	MC ; Debug, et re-vérification du programme de commande actuel	2	1	1	2	6 (75.00%)	Exhaustive, expertise requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation	2	1	1	2	6 (75.00%)	Coûteuse
<b>C6, C7</b>	MC ; Debug, et re-vérification du programme de commande actuel	2	2	2	8	8 (50.00%)	Expertise des domaines automatique et informatique
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation	2	1	1	2	14 (87.5%)	Coûteuse, Expertise requise
<b>C8</b>	MPS ; Vérification de l'état des composants après un certain temps d'utilisation, ainsi que leur position (Tracer leurs emplacements si c'est possible)	2	2	2	8	16 (66.66%)	Exhaustive
<b>C9</b>	MPT ; vérifier l'état des distributeurs d'énergie, et le câblage	1	1	1	1	4 (75.00%)	Exhaustive
<b>C10</b>	MC ; Debug, et re-vérification du programme de commande actuel	1	2	2	4	4 (50.00%)	Exhaustive ; expertise requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation	1	1	1	1	7 (87.50%)	Coûteuse
<b>D1</b>	MC ; PR : On doit changer le dispositif complètement	4	1	1	4	28 (87.5%)	Très coûteuse ; il peut être difficile de trouver la pièce de rechange

<b>D2</b>	MC ; Debug, et re-vérification du programme de commande actuel	3	1	2	6	18 (75.0%)	Expertise en programmation et en automatique requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation	3	1	1	3	21 (87.5%)	Coût et expertise requise
<b>D3</b>	Vérification de l'état de la sous-station précédente	1	2	1	2	4 (66.66%)	Tâche peut être exhaustive
<b>D4</b>	MC ; Debug, et re-vérification du programme de commande actuel	1	2	2	2	4 (66.66%)	Expertise en programmation et en automatique requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation	1	1	1	1	7 (87.5%)	Coût et expertise requise
<b>E1</b>	MC ; PR : Remplacer l'outil	2	2	2	8	10 (55.55%)	Coûts engendrés, difficulté de trouver la pièce
	MC ; PR : Remplacer le dispositif (perceuse) complètement	2	1	1	2	16 (88.88%)	Très coûteuse, peut être difficile de trouver le dispositif
<b>E2</b>	MC ; re-vérification du programme de commande actuel	2	1	1	2	10 (83.33%)	Exhaustive ; Expertise requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation du système	1	1	1	1	11 (91.66%)	Coûteuse
<b>E3</b>	MPT ; Vérification du bobinage du moteur ; (changement des pièces défectueuses)	2	2	1	4	12 (75.0%)	Coûts et expertise requise
	MC ; PR : Changement du moteur	2	1	1	2	14 (87.5%)	Très coûteuse
<b>E4</b>	MC ; re-vérification du programme de commande actuel	2	2	2	8	8 (50.0%)	Expertise en programmation et en automatique requise



	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation du système	2	1	1	2	14 (87.5%)	Coûteuse et expertise requise
<b>E5</b>	MC ; PR : Changement du capteur défaillant	1	1	1	1	5 (83.33%)	Coûts engendrés
<b>E6</b>	MC ; re-vérification du programme de commande actuel	1	2	2	4	4 (50.00%)	Expertise en programmation et en automatique requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation du système	1	1	1	1	7 (87.5%)	Coût et expertise requise
<b>F1</b>	Vérifier la source d'énergie et les câblages	3	1	2	6	6 (50.0%)	Tâche exhaustive et peut être dangereuse
<b>F2</b>	MC ; re-vérification du programme de commande actuel	3	2	2	12	12 (50.0%)	Expertise en programmation et en automatique requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation du système	3	1	1	3	21 (87.5%)	Coût et expertise requise
<b>F3</b>	MC ; PR : remplacer par un nouveau moteur	2	1	1	2	22 (91.66%)	Coûteuse
<b>F4</b>	MPT ; re-vérification du programme de commande actuel	2	1	1	2	22 (91.66%)	Exhaustive ; Expertise requise
	MC ; Installation d'un nouveau API, et reprogrammation du système	1	1	1	1	23 (95.83%)	Coûteuse
<b>F5</b>	MPT ; Vérification des câblages périodiquement	2	2	1	4	12 (75.0%)	Exhaustive
<b>G1</b>	MC ; PR : Changement de la crépine	1	1	1	1	5 (83.33%)	Coûteuse
<b>G2</b>	MC ; PR : changement d'accouplement	2	2	2	8	8 (50.00%)	Coûteuse
	MC ; PR : changement de joints	2	1	2	4	12 (75.00%)	Coûteuse

<b>G3</b>	MPT ; Vérification des niveaux de pression	2	1	2	4	12 (75.00%)	Expertise, exhaustive
<b>G4</b>	Former l'opérateur (domaine pneumatique)	2	2	1	4	8 (66.66%)	Coûteuse
<b>G5</b>	MC ; PR : Changement du régulateur	2	1	2	4	4 (50.00%)	Coûts engendrés
<b>G6</b>	Former (ou changer) l'opérateur (domaine pneumatique)	2	1	2	4	12 (75.00%)	Coûts engendrés
<b>G7</b>	MPT ; Vérification du niveau de pression à chaque utilisation	3	1	2	6	6 (50.00 %)	Exhaustive, expertise requise
	MPS ; Resserrer les accords	3	2	1	6	6 (50.00 %)	Expertise requise
	MC ; PR : Changement des joints, raccords...	3	1	1	3	9 (75.00%)	Coûteuse
<b>G8</b>	MC ; PR : Changement des tubes endommagés	2	1	1	2	10 (83.33%)	Coûteuse

**Tableau III.4-1** Actions de maintenance corrective/préventive proposées

Le tableau précédent représente les actions de maintenance que nous avons proposées. Pour chaque action proposée, on a introduit la nouvelle criticité estimée : l'action peut affecter une ou plusieurs critères, par exemple pour la défaillance notée **G7**, on a proposé le changement de certains matériels et composants qui est d'un côté une opération coûteuse, mais qui peut améliorer la criticité de 75%. Une autre action proposée pour cette défaillance est la maintenance préventive trimestrielle, qui n'est pas une opération coûteuse mais que peut être très exhaustive et qui améliore la criticité de 50%.

### **III.5 Conclusion**

Ce chapitre présente les résultats de notre travail pratique après l'application des différentes notions apprises dans les parties théoriques introduites dans les deux premiers chapitres. Nous avons commencé par décomposer le système étudié (la station de production du *MPS500*) fonctionnellement, ce qui a facilité de déterminer les failles possibles que peut subir chaque composant de ce système. Après cette analyse fonctionnelle, nous avons établi des tableaux *AMDEC* contenant des modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités. Enfin, nous avons introduit un tableau représentant les actions de correction et de prévention suggérées par nous-même. En faisant ce travail, nous avons rencontré plusieurs difficultés, parmi lesquelles on trouve le manque d'expérience et de connaissances sur le système : même avec une étude approfondie, il est très difficile de maîtriser n'importe quel système.

Après avoir appliqué l'*AMDEC*, nous avons acquis plusieurs compétences allant de l'expérience que nous avons eu, le privilège de travailler en équipe et de faire des séances de brainstorming permettant l'obtention des résultats plus fiables...

Le chapitre suivant va présenter notre deuxième travail pratique de plus, qui est sous forme d'une application web qui a pour but la création des *AMDEC* pour les composants de la station *MPS500* du laboratoire *MELT*.

**Chapitre IV**

**Plateforme de création et de visualisation**

**des tableaux AMDEC pour le système**

**MPS® 500-FMS**

## **IV.1 Introduction**

Les outils informatiques sont utilisés dans tous les domaines afin de faciliter et de simplifier les différentes tâches de calcul, de gestion... Il existe une grande variété de langages de programmation qui servent à créer ces outils, parmi lesquels on trouve **JAVA**, **PYTHON**, **C++**, **PHP**, **JS**... Quelques-uns sont plus utilisés dans le domaine de développement web comme **PHP**, et les autres dans d'autres domaines (Applications mobiles, programmes exécutables, **PWAs**...).

Nous avons décidé de créer une plateforme qui aide l'ingénieur de maintenance à prendre les bonnes décisions lors de problèmes techniques dans le système **MPS® 500-FMS** ; à travers les résultats obtenus par une démarche **AMDEC**, cette plateforme va lancer un diagnostic sous forme de questionnaires afin de proposer des solutions possibles.

Ce chapitre donne une présentation de l'application, les moyens et langages de programmation utilisés pour son développement et un bref guide de son installation et son utilisation.

## **IV.2 Application WEB**

Une application est dite **application web** parce qu'elle fonctionne dans le « **cloud** » (nuages). Ce type d'application peut fonctionner sans qu'elle soit installée sur l'ordinateur de l'utilisateur, mais ce dernier doit être en contact avec le serveur d'hôte de cette application ; Facebook est un exemple d'application web qui se trouve sur Internet ce qui exige à l'utilisateur d'être connecté sur Internet afin de l'utiliser ;

Pour une application web, tout ce que l'utilisateur a besoin d'avoir sur son appareil c'est un navigateur web (Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera...) qui doit préférablement être mis à jour.

Les applications Web sauvegardent les différentes informations sur des **BDDs** (bases de données) qui elles aussi se trouvent sur le cloud accompagnant l'application.

L'intérêt de développer une application web c'est dans le fait que :

- Elle est multiplateforme et peut être utilisée sur quasiment tout type d'appareil ;
- Elle ne nécessite pas une installation sur l'appareil où on l'utilise ;
- L'utilisateur gagne de l'espace sur son appareil puisque les informations sont stockées dans le cloud ;

## **IV.3 Langages utilisés**

Afin que notre plateforme soit utilisée sur n'importe quel appareil, nous avons utilisé les langages de programmation du développement web. Pour la partie **Frontend**, on a utilisé le Framework **Bootstrap (HTML, JS, CSS)** qui a été développé par **Twitter**, et pour la partie Backend, on a utilisé **PHP** pour les différents traitements et calculs et **MySQL** pour la gestion de la **BDD**.

### IV.3.1 HTML

**HTML** (HyperText Markup Language) est un langage de description (dit de marquage) de pages Web. Il permet de présenter les documents hypertextes destinés à être affichés sur le navigateur. Il s'agit d'un langage coté client (tout comme **CSS** et **JavaScript**). Il est supporté et développé par **W3C** (World Wide Web Consortium) [17].

### IV.3.2 Javascript

JavaScript est un langage de programmation qui permet d'implémenter des mécanismes complexes sur une page web. À chaque fois qu'une page web fait plus que simplement afficher du contenu statique — afficher du contenu mis à jour à des temps déterminés, des cartes interactives, des animations **2D/3D**, des menus vidéo défilants, etc... — JavaScript a de bonnes chances d'être impliqué. C'est la troisième couche des technologies standards du web, les deux premières sont **HTML** et **CSS** [18].

### IV.3.3 CSS

Le **CSS** (Cascading Style Sheet) est un langage informatique servant à décrire la présentation et le style d'un document **HTML** et **XML**. Datant des années 90, ce langage sert principalement au développement de sites web [19].

### IV.3.4 Bootstrap

**Bootstrap** est un Framework (Front-End Framework) développé par l'équipe du réseau social **Twitter**. Proposé en open source (sous licence MIT), ce Framework utilisant les langages **HTML**, **CSS** et **JavaScript** fournit aux développeurs des outils pour créer un site facilement. Ce Framework est pensé pour développer des sites avec un design responsive, qui s'adapte à tout type d'écran, et en priorité pour les smartphones. Il fournit des outils avec des styles déjà en place pour des typographies, des boutons, des interfaces de navigation et bien d'autres encore [20].

### IV.3.5 PHP

**PHP** (officiellement, ce sigle est un acronyme récursif pour **PHP** Hypertext Preprocessor) est un langage de scripts généraliste et Open Source, spécialement conçu pour le développement d'applications web. Il peut être intégré facilement au **HTML** [21].



Figure IV.3-1 Un logo HTML proposé par W3C



Figure IV.3-2 Logo JS non-officiel



Figure IV.3-3 Un logo CSS non officiel



Bootstrap

Figure IV.3-4 Logo de Bootstrap



Figure IV.3-5 Logo de PHP par Colin Viebrock

### IV.3.6 MySQL

*MySQL* est un serveur de bases de données relationnelles à source ouverte (Open Source). Ce serveur sert à sauvegarder les données dans des tables séparées plutôt que de tout rassembler dans une seule table.



Figure IV.3-6 Logo de MySQL

Cela améliore la rapidité, fiabilité et la flexibilité de l'ensemble. Les tables sont reliées par des relations définies, qui rendent possible la combinaison de données entre plusieurs tables durant une requête. Le *SQL* dans "*MySQL*" signifie "*Structured Query Language*" : le langage standard pour les traitements de bases de données [22].

### IV.4 Fiche technique de l'application

L'application va, dans un premier temps permettre la consultation des tableaux *AMDEC* du système *MPS©500-FMS*. Ceci exige que certains utilisateurs privilégiés puissent faire la saisie et les différentes modifications que peuvent subir le système et ses composants, c.-à-d. :

- Ajouter de nouveaux composants ;
- Editer des composants existants ;
- Ajouter les modes de défaillance, causes et effets ainsi que les valeurs G, F, D...
- Modifier certains paramètres (comme les trois facteurs Gravité, Fréquence, Non-déTECTABILITÉ) ;

L'application, dans un deuxième temps doit être capable de présenter les tableaux dans des documents lisibles, imprimables et modifiables sous forme de document *WORD* ...

Plus de détails ont été introduits sous forme de diagrammes *UML* (Unified Modeling Language) dans l'annexe C.

### IV.5 Guide d'utilisation de l'application

Nous allons maintenant expliquer comment utiliser l'application afin de préparer un tableau *AMDEC*, et pour cela on a choisi de créer les plans de maintenance de la station de production (les mêmes résultats du chapitre passé) :

#### IV.5.1 Installation

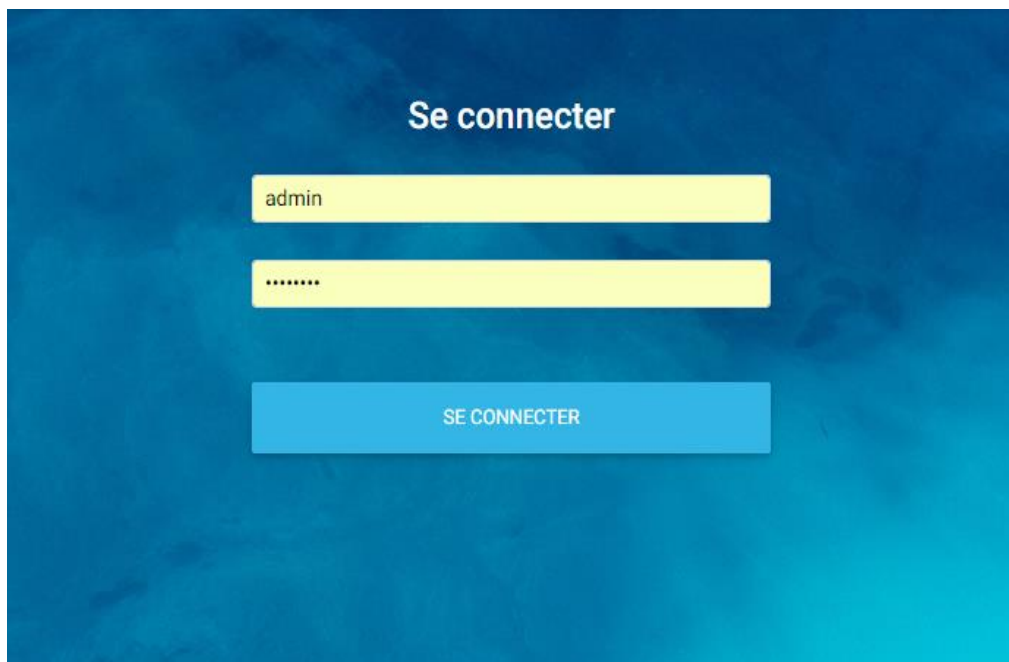
Comme cette application est basée sur le web, l'utilisateur doit installer l'environnement (un programme 'serveur' dans ce cas) sur son ordinateur. On recommande *WAMP* (Windows, Apache, MySQL, PHP) pour Windows, *LAMP* (Linux, Apache, MySQL, PHP) pour Linux

ou **MAMP** (Macintosh, Apache, MySQL, PHP) pour Macintosh... Il existe plusieurs autres alternatifs comme AppServ (C'est le programme serveur qu'on utilise pour ce guide).

L'installation de l'application pour Windows est expliquée dans l'**annexe B**.

### **IV.5.2 Connexion**

Pour assurer la sécurité et la confidentialité des informations, l'utilisateur doit se connecter afin d'utiliser l'application ; c'est-à-dire que seulement ceux ayant le privilège peuvent visualiser, étudier et utiliser les différentes fonctionnalités de l'application.



**Figure IV.5-1** Page de connexion de l'application

Afin de se connecter (pour la première fois), il suffit de saisir comme nom d'utilisateur **admin**, et le mot de passe **12345678** ;

### **IV.5.3 Navigation**

Afin de simplifier la navigation entre les différentes parties de cette application, nous avons intégré une barre de navigation fixe (Figure IV.5-2) ;



**Figure IV.5-2** Barre de navigation

Chaque bouton est expliqué dans le tableau qui suit:





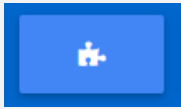

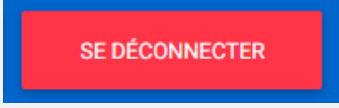
BOUTON	DESIGNATION/FONCTION
	<b>Paramètres et Configurations</b> : l'utilisateur peut apporter des changements à l'application parmi lesquels on trouve le changement de mot de passe...
	<b>Gestion de l'équipe</b> : à travers cette page, l'administrateur peut ajouter des membres de l'équipe <b>AMDEC</b> et assigné la responsabilité de chacun.
	<b>Stations et composants</b> : C'est la partie la plus importante en ce qui concerne la création des <b>AMDECs</b> . A travers cette page, l'administrateur peut ajouter des composants aux stations prédéfinies, modifier les différentes informations et valeurs des critères d'évaluation, ajouter et éditer les modes de défaillance, causes et effets pour chaque composants...
	<b>Exporter AMDEC</b> : Ce bouton permet l'exportation du tableau <b>AMDEC</b> (état actuel lors des derniers changements) en un document WORD qui peut être modifié par un éditeur convenable.
	<b>Déconnexion</b> : Comme son nom l'indique, ce bouton fameux sert à fermer la session (se déconnecter).

Tableau IV.5-1 Explication des différentes parties de la barre de navigation

#### IV.5.4 Ajout des composants, modes, causes et effets

Afin d'ajouter/éditer un composant, il suffit d'aller vers la page des stations/composants à travers le bouton correspondant (le 3<sup>ème</sup> dans le tableau ci-dessus).

La page qui va apparaître (Figure IV.5-3) contiendra une liste qui se compose de 6 entrées de bases ; chaque entrée représente une station du système global (**MPS500-FMS**).

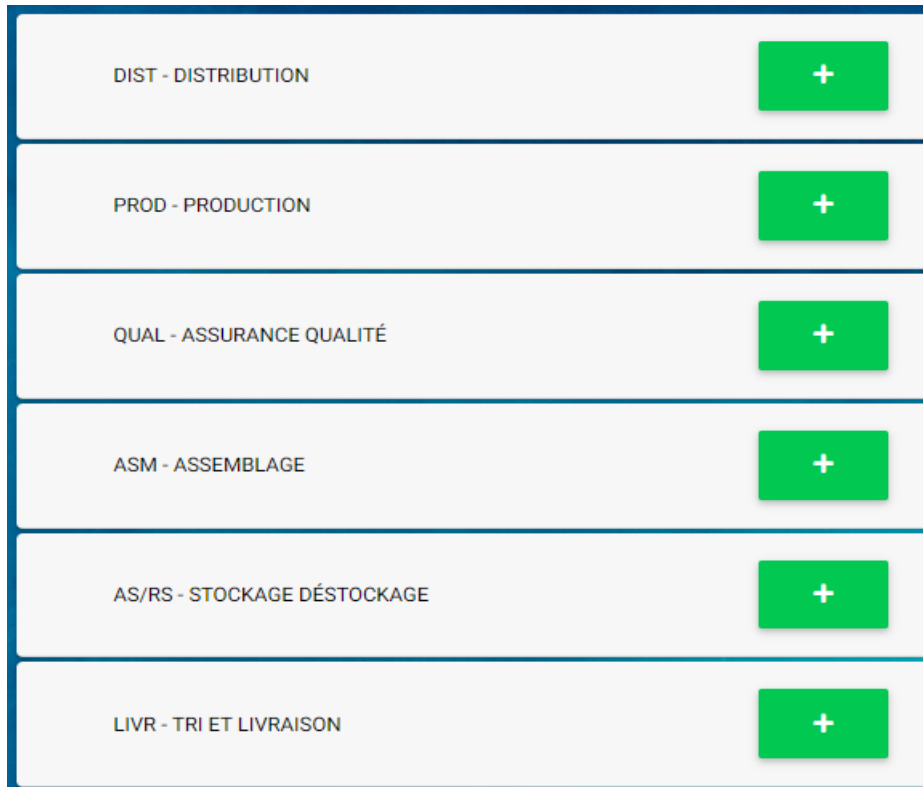


Figure IV.5-4 Les stations du système MPS500 (prédéfinies)

En cliquant sur une entrée (station), on peut visualiser les différents composants de cette station, et en cliquant sur le bouton d'ajout (en vert), on peut ajouter un nouveau composant à la station.

Nous allons maintenant créer un nouveau composant pour la station d'assurance qualité par exemple. Voici la fenêtre (en face) qui va apparaître en cliquant sur le bouton d'ajout (en vert).

Le champ **codification** permet de donner un code spécifique aux composants de la station ; et ainsi de suite pour le reste des champs...

Ajout d'un composant

Code de la station: QUAL      Nom de la station: Assurance Qualité

Codification \_\_\_\_\_

Nom du composant \_\_\_\_\_

Type du composant      Capteur

Fonction du composant \_\_\_\_\_

AJOUTER      ANNULER

Figure IV.5-3 Fenêtre d'ajout d'un nouveau composant

En ajoutant le composant « Caméra » (par exemple), nous allons avoir le résultat suivant :



**Figure IV.5-5** Résultat lors d'ajout d'un nouveau composant

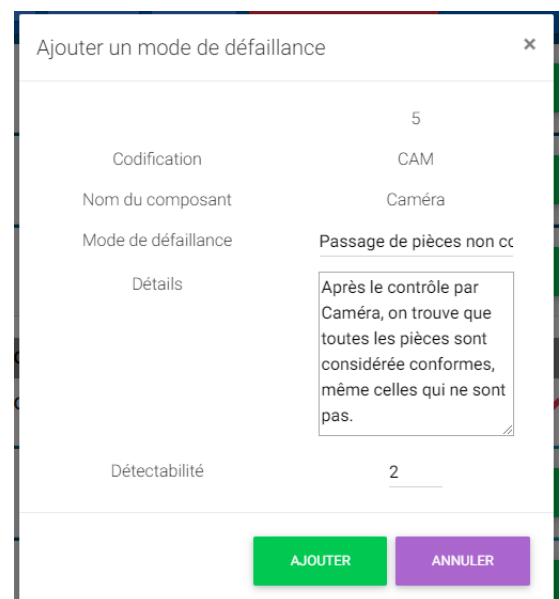
Voici quelques explications des icônes :

Icône	Signification/Fonction
	Ce bouton permet de visualiser les informations du composant avec plus de détails (liste des modes de défaillance, causes, effets ainsi que les critères d'évaluation...), voir <b>Figure IV.5-6</b> .
	Cette icône permet l'ajout de modes de défaillance, voir <b>Figure IV.5-6</b> .
	Ce bouton permet de modifier les informations du composant (Code, nom, type et fonction), voir <b>Figure IV.5-6</b> .

**Tableau IV.5-2** Explications des icônes

Pour ajouter un nouveau mode de défaillance, on clique sur le bouton jaune. La fenêtre ci-dessous va apparaître :

On continue avec l'exemple de la « Caméra ». Dans ce cas, on considère que le mode de défaillance s'agit du passage de toutes les pièces même les pièces non-conformes vers la station suivante. Nous avons introduits ces informations (Figure en face) ainsi qu'une valeur de non-défectabilité de 2 sur 10. Il est à noter que la valeur maximale que peut prendre ce champ est 10, et la valeur minimale est de 1.



**Figure IV.5-6** Fenêtre d'ajout d'un mode de défaillance

En ajoutant un nouveau mode de défaillance, nous allons être redirigés vers la page qui correspond à ce nouveau mode créé (Voir figure ci-dessous) :

Mode de défaillance	Après le contrôle par Caméra, on trouve que toutes les pièces sont considérées conformes, même celles qui ne sont pas.
Déteçtabilité	2
Criticité	0

Causes +

# Détails Fréquence Effets

Effets  

#Cause Détails Gravité Criticité

Figure IV.5-7 Page d'un mode de défaillance

On peut maintenant ajouter les causes possibles, ainsi que leurs effets sur le système et toutes les informations nécessaires pour établir une évaluation et pour faire le calcul automatique des criticités.

Pour illustrer, nous allons continuer notre exemple en ajoutant des causes et des effets. Pour ajouter une nouvelle cause, on clique sur le bouton (+) vert. La fenêtre suivante apparait :

Cause x

Cause Programme de traitement

Fréquence 3

AJOUTER ANNULER

Figure IV.5-8 Fenêtre d'ajout de cause possible

Nous avons considéré comme cause possible « Programme de traitement d'image obsolète », et ont donné une valeur de 3 sur 10 pour le paramètre d'occurrence (fréquence).

En ajoutant une nouvelle cause, elle va apparaître dans la liste des causes dans la page de mode de défaillance.



Causes				+
#	Détails	Fréquence	Effets	
6	Programme de traitement d'image obsolète	3		
Effets				+

Figure IV.5-9 Résultat d'ajout d'une nouvelle cause possible

On peut modifier les informations sur la cause en cliquant sur l'icône du stylo bleu ou la supprimer complètement en cliquant sur l'icône de suppression en rouge.

Maintenant, nous allons introduire les effets sur le système. Ceci se fait en cliquant sur le bouton (+) en vert qui est sur la même ligne de la cause (colonne **effets**).

Effet ×

---

Effet Rebus

Gravité 8

---

AJOUTER
ANNULER

Figure IV.5-10 Fenêtre d'ajout d'un nouvel effet possible

Voici le résultat lors d'ajout d'un nouvel effet :




Caméra (CAM)				
Mode de défaillance	Après le contrôle par Caméra, on trouve que toutes les pièces sont considérées conformes, même celles qui ne sont pas.			
Déteçtabilité	2			
Criticité	48			
Causes				+
#	Détails	Fréquence	Effets	
6	Programme de traitement d'image obsolète	3		
Effets				+
#Cause	Détails	Gravité	Criticité	
6	Rebus	8	48	

Figure IV.5-11 Résultat d'ajout d'un nouvel effet

Nous avons ajouté un deuxième effet pour démontrer que la criticité globale du mode de défaillance est choisie en calculant et comparant toutes les criticités, et en prenant la valeur la plus grande comme valeur globale (Voir la figure ci-dessous).



Figure IV.5-12 Vue globale d'un mode de défaillance (avec ses causes, effets, criticités...)

Il est à noter que l'icône de l'œil bleu (qui se trouve dans la même ligne de la cause) sert à filtrer les effets de la cause qui correspond. En cliquant sur cette icône, ses effets et seulement ses effets vont être affichés dans la liste des effets.

Pour afficher tout les effets de toutes les causes, on n'a qu'à cliquer sur le bouton de l'œil en vert.

#### IV.5.5 Exportation en fichier WORD/PDF

Afin d'exporter les informations sous forme de documents **PDF** et **WORD** qu'on peut lire, modifier ou imprimer, nous avons introduit le bouton d'exportation dans la barre de navigation ; il suffit donc qu'à cliquer sur celui-ci.

Continuant avec l'exemple de la caméra, voici le résultat lors de l'exportation en document **WORD** :

# AMDEC

Code	Composant	Fonction	Station	
CAM	Caméra	Grâce aux techniques de traitement d'image, la caméra	Assurance Qualité	
Modes de défaillance			Défectabilité	Criticité
Après le contrôle par Caméra, on trouve que toutes les pièces sont considérées conformes, même celles qui ne sont pas.			2	60
Causes			Fréquences	
Programme de traitement d'image obsolète			3	
Effets			Gravité	Criticité
Rebus			8	48
Arrêt de production			10	60

Figure IV.5-1 Résultat lors de l'exportation vers un document WORD

## IV.6 Conclusion

Nous avons commencé le développement d'une application qui a pour but principal de faciliter la création des tableaux *AMDEC* à travers une approche interactive et simplifiée.

Bien que l'application soit complète vis-à-vis son objectif principal (création des tableaux *AMDEC*), son objectif secondaire qui était planifié (faire des diagnostics) n'a pas été complété ce qui donne une opportunité à tous ceux qui sont intéressés d'aller plus loin avec ce travail, en appliquant l'*AMDEC* sur le reste du système, en améliorant les résultats introduits ici et en développant l'application si possible.

## **Conclusion générale**

Notre travail consistait d'appliquer, une des méthodes utilisées dans les domaines de sûreté de fonctionnement et de la qualité totale, l'*AMDEC* (Analyse des modes de défaillances, leurs effets et leurs criticités) dans un cas réel. Pour cela, nous avons choisi le système *MPS@500-FMS* qui se trouve dans le laboratoire *MELT*. Ce dernier est un système de production miniature qui, non seulement donne une idée générale sur le monde industriel mais qui utilise les dernières technologies de l'industrie 4.0 (APIs, capteurs, automatique...); c'est le système éducatif parfait pour un étudiant pour apprendre les différentes disciplines qui entourent le monde de l'industrie y inclus la sûreté de fonctionnement et la gestion de qualité.

Dans les deux premiers chapitres, nous avons introduit la méthode *AMDEC*, ses applications, son histoire et comment l'appliquer. Puis nous avons décrit le système *MPS500* d'une manière objective en décomposant quelques parties et en introduisant ses composants les plus pertinents à notre travail.

Le troisième chapitre représentait les résultats de l'application de la méthode *AMDEC* sur les composants de la station de production du système *MPS500*. Bien qu'on ait mis un travail pratique plus ou moins exhaustif dans cette partie, il y a beaucoup plus d'améliorations que peuvent être amenées afin d'avoir des résultats plus efficaces et plus fidèles. Il est à noter que ce qu'on a appliqué dans ce travail n'est qu'une des dérivations possibles de la méthode *AMDEC*. Il existe beaucoup plus de manières à faire une analyse *AMDEC* selon la littérature.

Le dernier chapitre est un travail qu'on a décidé de faire comme extra dans le but de développer une application ayant l'objectif de faciliter la création et la manipulation des tableaux *AMDEC*, voire créer un système de diagnostic des failles du système *MPS500*.

En finalité, nous avons pu proposer un plan d'actions de maintenance pour la station de production du système étudié. Nous avons rencontré des difficultés à cause du manque d'expertise dans différents domaines, mais nous avons pu remédier une grande partie de ce problème grâce à l'ingénieur responsable du système. Le travail demande un grand taux de réflexion, et des calculs exhaustifs afin de préparer un plan préliminaire, mais il peut être amélioré en considérant les résultats que nous avons obtenus comme un historique pour de prochaines analyses *AMDEC* sur le système *MPS500*.

On peut apporter plusieurs autres améliorations en faisant des analyses *AMDEC* sur les autres stations du système *MPS500*, en améliorant les résultats présents, en développant l'application présentée dans le dernier chapitre pour qu'elle puisse aider l'ingénieur responsable du système à faire des diagnostics.



## Références

- [1] A. T, Introduction au diagnostic des défaillances, Laboratoire A2SI-ESIEE-Paris, 2006.
- [2] B. I, Outils de quantification des modes de défaillance lors d'une analyse de risque, Institut national des sciences appliquées de Strasbourg, 2007.
- [3] K. J, l'AMDEC, École des Études Commerciales : Centre d'étude en qualité totale, 1994.
- [4] R. M, AMDEC – Moyen, base documentaire : méthodes de production dans le thème : Conception et Production et dans l'univers Génie industriel, 1999.
- [5] HERGON. E, ROUGER. Ph, GARNERIN. Ph., La prévention des défaillances du processus transfusionnel, Institut National de la Transfusion Sanguine.
- [6] F. J, «Pratique de l'AMDEC (Assurez la qualité et la sureté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés), Série Performance industrielle,» [En ligne]. Disponible: <https://www.dunod.com>. [Accès le 23 01 2019].
- [7] HERGON. E, CRESPEAU. H, ROUGER. Ph, Modes de défaillance du processus transfusionnel. Intérêt de l'analyse prévisionnelle de sureté de fonctionnement, Paris: Institut National de la Transfusion Sanguine,.
- [8] G. Landy, AMDEC Guide pratique.
- [9] Hovmark S., Norell M., The GAPT Model: Four Approaches to the Application of Design Tools, Journal of Engineering Design, 1994.
- [10] Braglia, Marcello, MAFMA: Multi-attribute failure mode analysis., International Journal of Quality & Reliability Management, 2000.
- [11] Teoh P.C., Case K., Modeling and reasoning for failure modes and effects analysis generation, Journal of Engineering Manufacture, 2004.
- [12] Heising C. D., Grenzebach, W. S. , The Ocean Ranger Oil Rig Disaster: A Risk Analysis, 1989.
- [13] Dale B. G., Shaw P., Failure mode and effects analysis in the U.K. motor industry: A state-of-the-art study, Quality and Reliability Engineering International, 1990.
- [14] Jegadheesan C., Arunachalam V.P., Devadasan S.R., Srinivasan P.S.S., Design and

- development of modified service failure mode and effects analysis model, 2007.
- [15] «MELT : Accueil,» 2011. [En ligne]. Disponible: <http://melt.univ-tlemcen.dz/>. [Accès le 22 2019].
- [16] elec13, «Les systèmes automatisés de production (S.A.P),» 3 5 2016. [En ligne]. Disponible: <https://elec13.wordpress.com/2016/05/03/les-systemes-automatisees-de-production-s-a-p/>. [Accès le 22 2019].
- [17] M. CHINY, «HTML C'est quoi?,» [En ligne]. Disponible: <https://www.chiny.me/html-c-est-quoi-3-1.php>. [Accès le 26 02 2019].
- [18] Eric-ciccotti, clamb, Dralyab, codingk8, TheStarrK, tonybengue, Idlus, «Qu'est-ce-que le Javascript? | MDN,» 11 10 2018. [En ligne]. Disponible: [https://developer.mozilla.org/fr/docs/Learn/JavaScript/First\\_steps/What\\_is\\_JavaScript](https://developer.mozilla.org/fr/docs/Learn/JavaScript/First_steps/What_is_JavaScript). [Accès le 26 02 2019].
- [19] G. Duhan, «C'est quoi le CSS? Comprendre en 3 minutes,» 12 09 2017. [En ligne]. Disponible: <https://myhappyagency.com/blog/cest-quoi-le-css/>. [Accès le 26 02 2019].
- [20] JournalDuNet, «Bootstrap : tutoriels et astuces,» 10 11 2016. [En ligne]. Disponible: <https://www.journaldunet.com/web-tech/developpeur/1159810-bootstrap/>. [Accès le 27 02 2019].
- [21] PHP.net, «Qu'est ce que PHP?,» [En ligne]. Disponible: <http://php.net/manual/fr/intro-what-is.php>. [Accès le 27 02 2019].
- [22] Futura, «Définition | MySQL | Futura Tech,» [En ligne]. Disponible: <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-mysql-4640/> [Accès le 07 04 2019].
- [23] Jackadit "AMDEC" [En ligne]. Disponible : <http://jackadit.com/index.php?page=indus1> [Accès le 06 02 2019].
- [24] La méthode AMDEC [En ligne]. Disponible : <https://www.slideshare.net/sabirsehli/la-mthode-amdec> [Accès le 14 03 2019]
- [25] Diagramme de Pareto : Définition / Méthode / Technique [En ligne]. Disponible : <https://www.commentprogresser.com/outilpareto.html> [Accès le 14 03 2019]

- [26] Y. ELGHAZI, A. YELLES CHAOUICHE, Mémoire de projet de fin d'études MASTER intitulé « Implémentation d'un Digital Twin des stations commandées par automates de la MPS500 » 2017, Université Aboubekt Belkaid de Tlemcen

## ANNEXES

## Annexe A

Le tableau suivant représente les mnémoniques et les codes donnés aux composants (capteurs, moteurs, effecteurs...) et les différentes actions qu'on peut trouver dans la sous-station de manipulation.

<i>Variable</i>	<i>Commentaire</i>
<i>Part_AV</i>	Pièce présente
<i>IB1</i>	Manipulation à la station en amont
<i>IB2</i>	Manipulation à la station aval
<i>IB3</i>	Manipulation à la position de tri
<i>2B1</i>	Pince sortie
<i>2B2</i>	Pince rentrée
<i>3B1</i>	La pièce à usiner n'est pas noire.
<i>IP_FI</i>	Station en aval libre
<i>S1</i>	Touche START
<i>S2</i>	Touche STOP (contact à ouverture)
<i>S3</i>	Sélecteur automatique/manuel
<i>S4</i>	Touche mise en référence/RESET
<i>Em_Stop</i>	COUPURE D'URGENCE déverrouillée
<i>IN4</i>	PRECEDING Station ready
<i>IN6</i>	Workpiece ready
<i>IN7</i>	Job requested
<i>IM1</i>	Manipulation vers la station en amont
<i>IM2</i>	Manipulation vers la station en aval
<i>2M1</i>	Sortir la pince
<i>3M1</i>	Ouvrir pince.
<i>P_N_FO</i>	Station occupée
<i>P1</i>	Voyant START allumé
<i>P2</i>	Voyant position de repos (Reset)
<i>P3</i>	Voyants (affectation individuelle, voir plus bas)
<i>OUT4</i>	Enable preceding station
<i>OUT6</i>	Enable subsequent station
<i>OUT7</i>	Station Ready
<i>Delay1</i>	Flag delay time1 expired
<i>F_Mat</i>	Part is not balck
<i>F_Start</i>	Start Flag
<i>Init_Bit</i>	Initialisation bit
<i>Init_Pos</i>	PickAlfa station in initial position
<i>RC_Reset</i>	Remote control reset
<i>RC_Start</i>	Remote control Start
<i>RC_Stop</i>	Remote control Stop
<i>Reset_Ok</i>	Reset succesfully completed

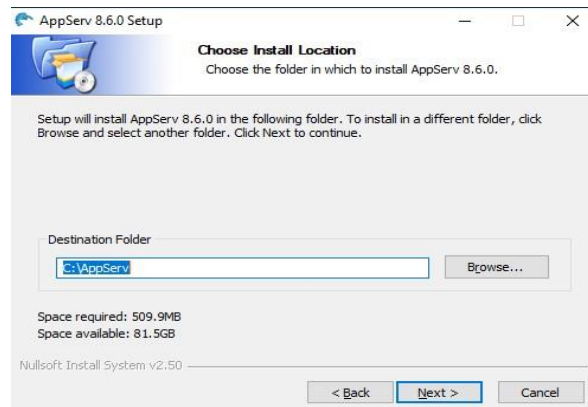
Voici les significations des codes donnés aux différents composants et actions qu'on peut trouver dans la sous-station d'usinage :

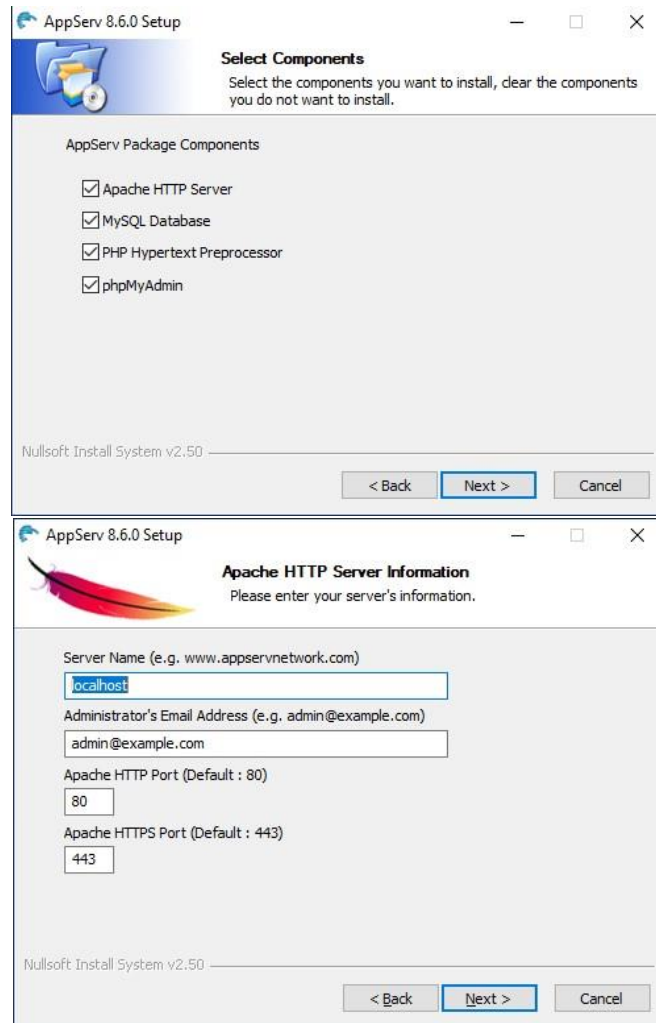
<i>Variable</i>	<b>Commentaire</b>
<i>Part_AV</i>	Pièce présente
<i>B2</i>	Pièce à usiner à la perceuse
<i>B1</i>	Pièce à usiner au dispositif de contrôle
<i>IB1</i>	Perceuse en haut
<i>IB2</i>	Perceuse en bas
<i>B3</i>	Plateau à indexation positionné
<i>B4</i>	Contrôle des orifices de perçage en ordre
<i>IP_FI</i>	Station en aval libre
<i>S1</i>	Touche START
<i>S2</i>	Touche STOP (contact à ouverture)
<i>S3</i>	Sélecteur automatique/manuel
<i>S4</i>	Touche mise en référence/RESET
<i>Em_Stop</i>	COUPURE D'URGENCE déverrouillée
<i>RC_Reset</i>	remote control reset
<i>RC_Start</i>	remote control start
<i>RC_Stop</i>	remote control stop
<i>F_Start</i>	Start flag
<i>Init_Bit</i>	Initialisation bit
<i>Init_Pos</i>	Processing station in initial position
<i>CycleEnd</i>	Cycle end
<i>Bad_P_Pos1</i>	Bad workpiece at Cheking drill hole
<i>Bad_P_Pos2</i>	Bad workpiece at drilling machine
<i>Bad_P_Pos3</i>	Bad workpiece at interchange point
<i>delay1</i>	Flag delay time 1 expired
<i>delay2</i>	Flag delay time 2 expired
<i>delay3</i>	Flag delay time 3 expired
<i>K1</i>	Perceuse, moteur activé
<i>K2</i>	Plateau à indexation, moteur activé
<i>K3</i>	Perceuse vers le bas
<i>K4</i>	Perceuse vers le haut
<i>M1</i>	Serrer la pièce à usiner.
<i>M2</i>	Contrôler la pièce à usiner
<i>M3</i>	Ejecter la pièce à usiner.
<i>IP_N_FO</i>	Station occupée
<i>P3</i>	Voyant pièce défectueuse
<i>P1</i>	Voyant START allumé
<i>P2</i>	Voyant position de repos (Reset)
<i>OUT6</i>	Station Ready for Workpiece
<i>OUT7</i>	Workpiece Ready

## Annexe B

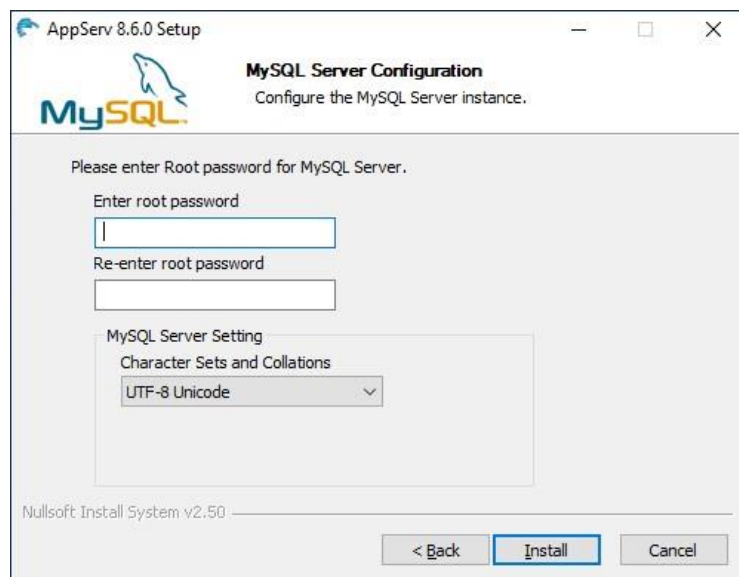
L'installation de notre application (et la plupart des applications web) demande un certain niveau d'expertise, mais ce n'est pas une opération difficile. Il suffit de suivre les instructions suivantes :

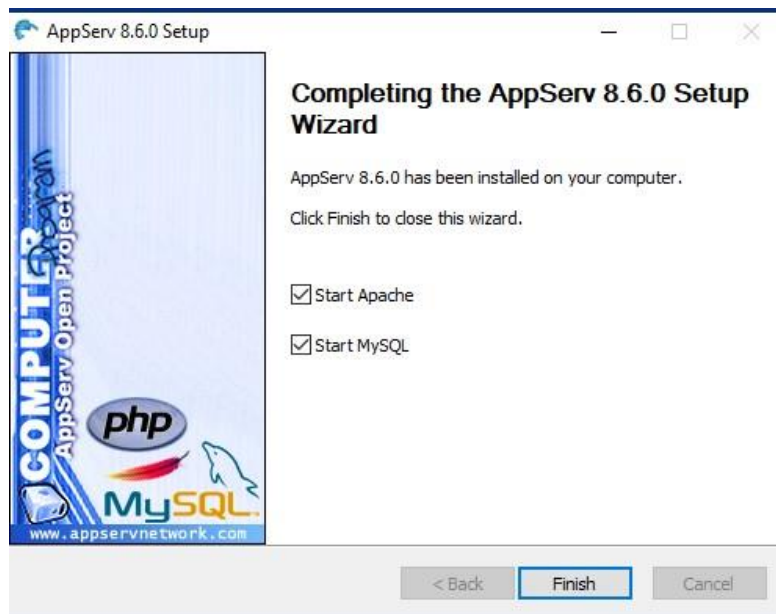
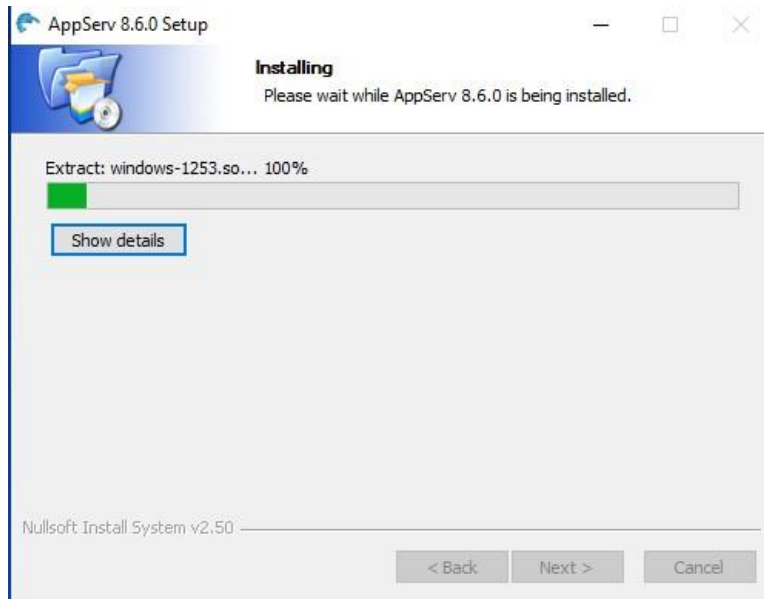
- Commencer par télécharger *AppServ* depuis ce lien : <https://www.appserv.org/download/> (Vous pouvez utiliser un autre serveur)
- Une fois téléchargé, ouvrir le fichier *Appserv-win32-8.X.X.exe*





- Entrer le mot de passe pour le serveur **MySQL** (par exemple : **31051995**), puis commencer l'installation ;





- Maintenant, démarrer le navigateur web (il est préférable qu'il soit Mozilla/Chrome/Opera), puis ouvrir le lien <http://localhost>



## The AppServ Open Project - 8.6.0 for Windows Now you running on **PHP 5.6.30**

 **phpMyAdmin Database Manager Version 4.6.6**  
 **PHP Information Version**

About AppServ Version 8.6.0 for Windows

AppServ is a merging open source software installer package for Windows includes :

- **Apache Web Server** Version **2.4.25**
- **PHP Script Language** Version **5.6.30 & 7.1.1**
- **MySQL Database** Version **5.7.17**
- **phpMyAdmin Database Manager** Version **4.6.6**

- [ChangeLog](#)
- [README](#)
- [AUTHORS](#)
- [COPYING](#)

**Official Site :** <http://www.AppServ.org>

**Hosting by :** <http://www.AppServHosting.com>

Change Language :  

 **Easy way to build Webserver, Database Server with AppServ :-)**



Bienvenue dans phpMyAdmin

Langue - *Language*

Français - French

Connexion 

Utilisateur :

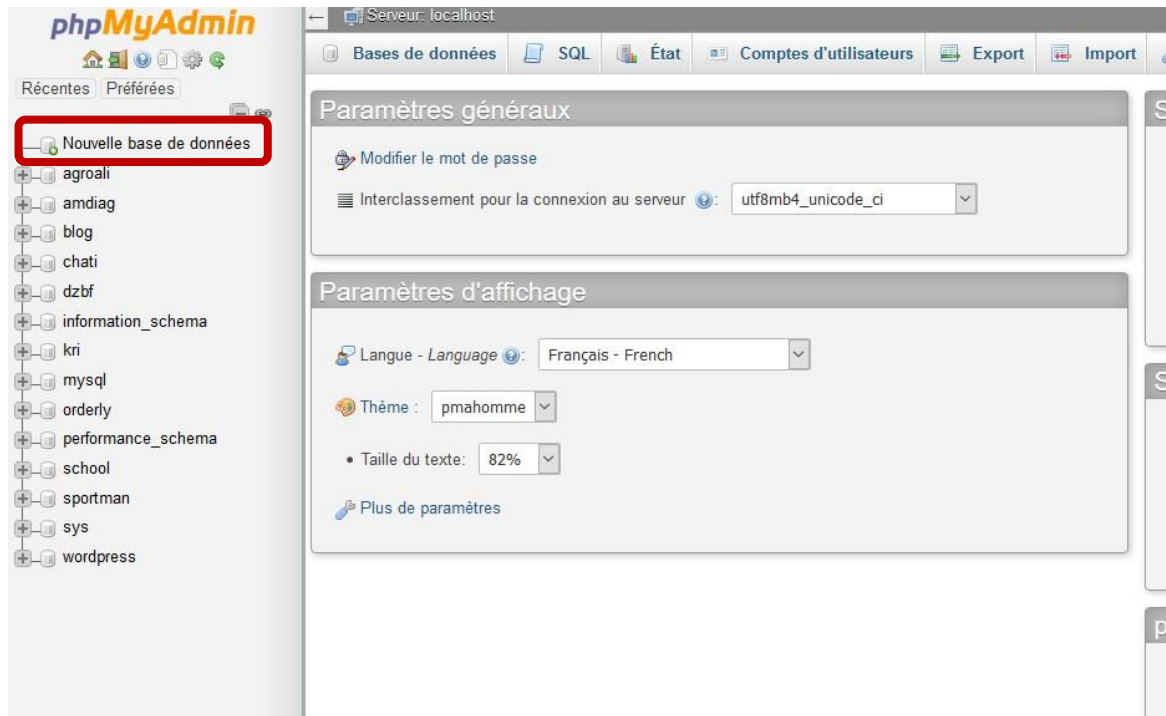
root

Mot de passe :

••••••••

Exécuter

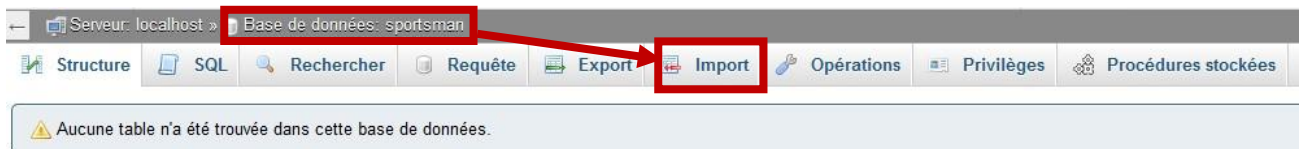
- Entrer les informations de login suivantes :
  - Utilisateur : **root**
  - Mot de passe : **31051995** (celui introduit dans l'installateur)
- Ajouter une nouvelle base de données,



Créer une base de données ⓘ

sportsman Interclassement **Créer**

- Donner un nom à la base de données (n'utiliser que des caractères alphanumériques, pas d'espaces et pas de caractères spéciaux)



- Sélectionner la base de données créée (dans ce cas c'est SPORTSMAN) puis cliquer sur *import*.
- Cliquer sur Parcourir, puis chercher le fichier de base de données (ayant l'extension .sql)



Seigneur: localhost » Base de données: sportsman

Structure SQL Rechercher Requête Export Import Opérations

## Importation dans la base de données «sportsman»

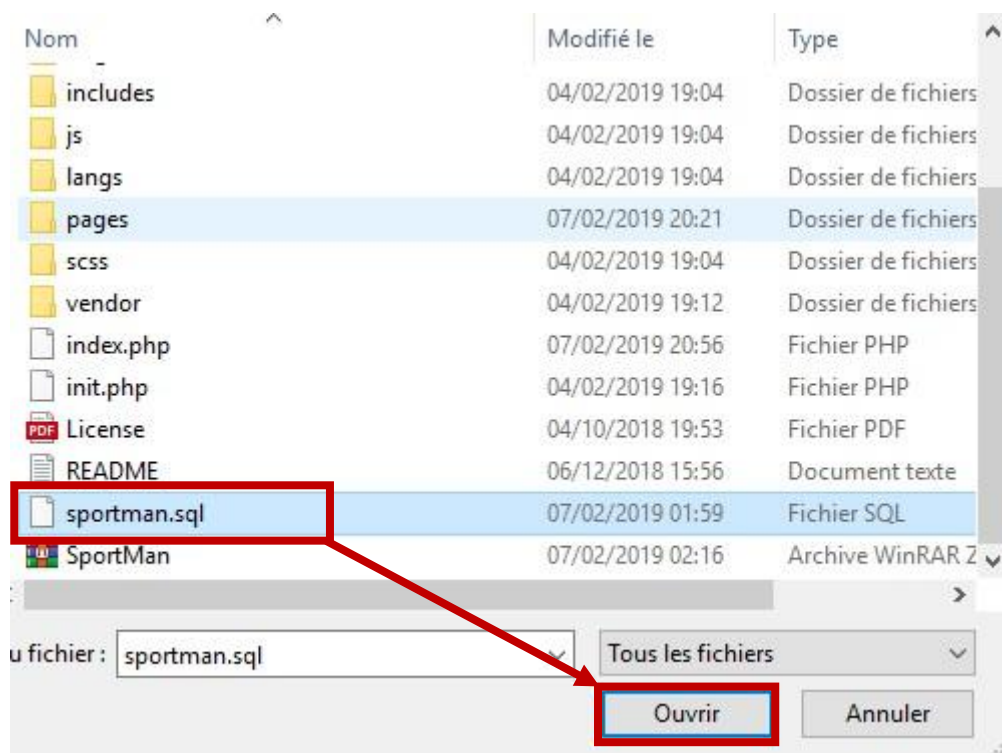
**Fichier à importer :**

Le fichier peut être comprimé (gzip, zip) ou non.  
Le nom du fichier comprimé doit se terminer par **[format].[compression]**. Exemple: **.sql.zip**

Parcourir : **Parcourir...** Aucun fichier sélectionné. (Taille maximum: 200Mio)

Vous pouvez également faire glisser et déposer un fichier sur n'importe quelle page.

Jeu de caractères du fichier : utf-8



Nom	Modifié le	Type
includes	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
js	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
langs	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
pages	07/02/2019 20:21	Dossier de fichiers
scss	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
vendor	04/02/2019 19:12	Dossier de fichiers
index.php	07/02/2019 20:56	Fichier PHP
init.php	04/02/2019 19:16	Fichier PHP
License	04/10/2018 19:53	Fichier PDF
README	06/12/2018 15:56	Document texte
<b>sportman.sql</b>	07/02/2019 01:59	Fichier SQL
SportMan	07/02/2019 02:16	Archive WinRAR Z

Le fichier : sportman.sql

Tous les fichiers

**Ouvrir** Annuler

- Sélectionner le fichier de base de données **sql** (par exemple, « sportman.sql »).

**Fichier à importer :**

Le fichier peut être comprimé (gzip, zip) ou non.  
Le nom du fichier comprimé doit se terminer par `.[format].[compression]`. Exemple: `.sql.zip`

Parcourir :  sportman.sql (Taille maximum: 200Mio)

Vous pouvez également faire glisser et déposer un fichier sur n'importe quelle page.

Jeu de caractères du fichier :  ▼

**Importation partielle :**

Permettre l'interruption de l'importation si la limite de temps configurée dans PHP est su

Ignorer ce nombre de requêtes (pour SQL), à partir du début :  ▼

**Autres options :**

Activer la vérification des clés étrangères

**Format :**

▼

**Options spécifiques au format :**

Mode de compatibilité SQL :  ▼

Ne pas utiliser `AUTO_INCREMENT` pour la valeur zéro

- Exécuter la requête et attendre jusqu'à ce que ce message apparaisse :

✓ L'importation a réussi, 23 requêtes exécutées. (sportman.sql)

- Maintenant, ouvrir le dossier `www`

📁 > Ce PC > Disque local (C:) > AppServ > www

- Créer un nouveau dossier (*Sportsman* par exemple)

📁 Sportsman

- Ouvrir le dossier créé et fait l'extraction de l'archive « `***.zip` » dans ce dossier. L'archive contient les fichiers nécessaires de l'application web.

Nom	Modifié le	Type
ajax	06/02/2019 21:08	Dossier de fichiers
css	04/02/2019 19:03	Dossier de fichiers
font	04/02/2019 19:03	Dossier de fichiers
img	06/02/2019 19:47	Dossier de fichiers
includes	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
js	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
langs	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
pages	06/02/2019 20:27	Dossier de fichiers
scss	04/02/2019 19:04	Dossier de fichiers
vendor	04/02/2019 19:12	Dossier de fichiers
index.php	07/02/2019 02:16	Fichier PHP
init.php	04/02/2019 19:16	Fichier PHP
License	04/10/2018 19:53	Fichier PDF
README	06/12/2018 15:56	Document texte
SportMan	07/02/2019 02:16	Archive WinRAR ZIP

- Ouvrir le fichier de configuration « includes/incl.configs.php » en utilisant un éditeur de texte comme Blocnotes/Notepad++...

class.users.php	04/02/2019 21:41	Fichier PHP
incl.configs.php	04/02/2019 19:17	Fichier PHP
incl.connect.php	01/02/2019 19:13	Fichier PHP
incl.functions.php	01/02/2019 22:13	Fichier PHP

- Changer le mot de passe et le nom de la base de données (le même mot de passe saisi lors de l'installation du serveur *APPServ*, et la même base de données récemment

```

incl.configs.php x Release Notes: 1.31.0
1 = <?php
2 =     $configs = array(
3 =         "title" => "SPORTMAN"
4 =     );
5
6 =     $db_hostname = "localhost";
7 =     $db_username = "root";
8 =     $db_password = "00000000";
9 =     $db_database = "sportman";
10
11 = >

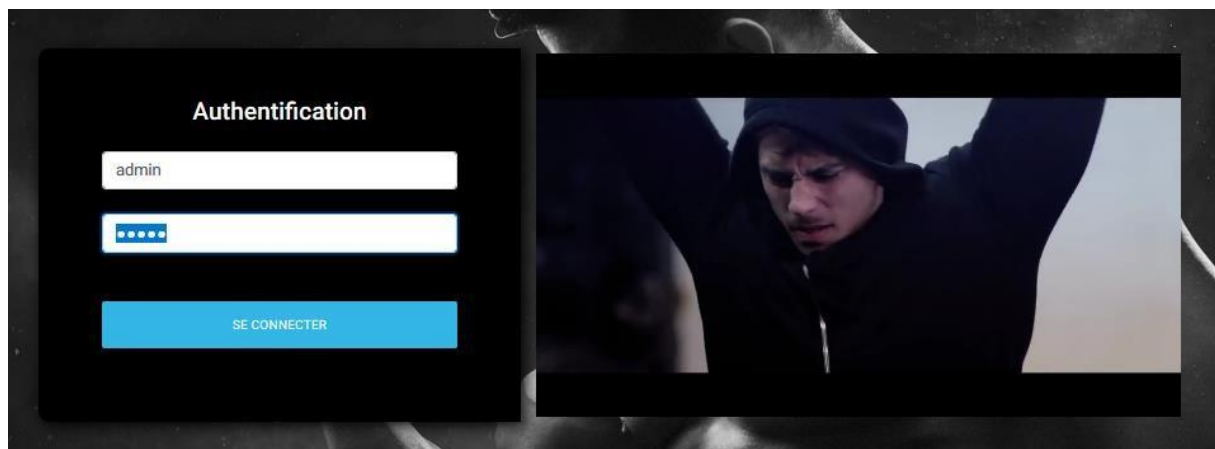
```

```
incl.configs.php • Release Notes: 1.31.0
1  <?php
2      $configs = array(
3          "title" => "SPORTSMAN"
4      );
5
6      $db_hostname = "localhost";
7      $db_username = "root";
8      $db_password = "31051995";
9      $db_database = "SPORTSMAN";
10
11  ?>
```

créée).

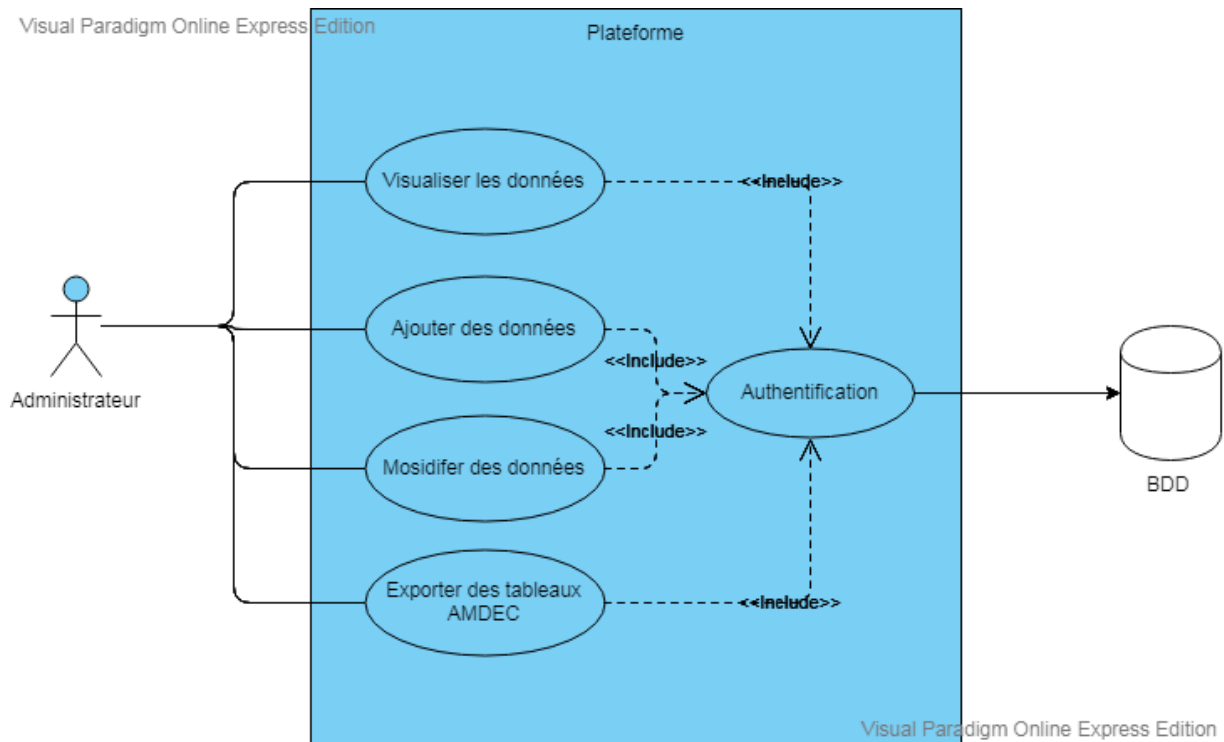
- Sauvegarder le fichier, puis visiter le lien <http://localhost/sportsman>
- L'application web est prête à être utilisée !

localhost/sportsman/

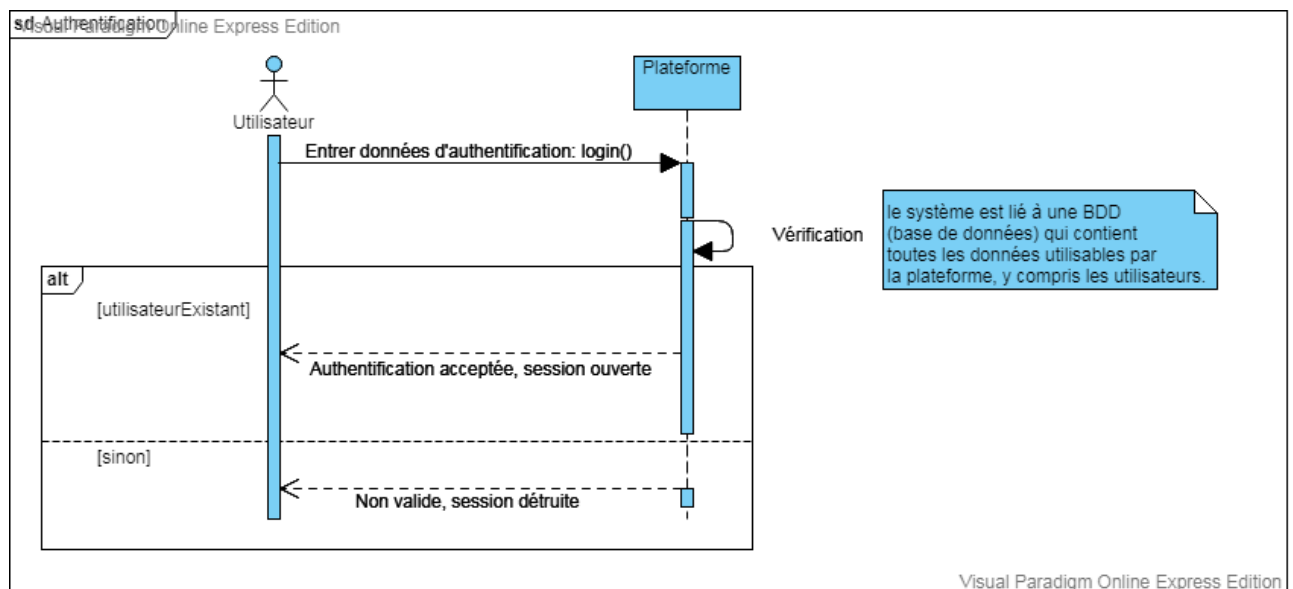


## Annexe C

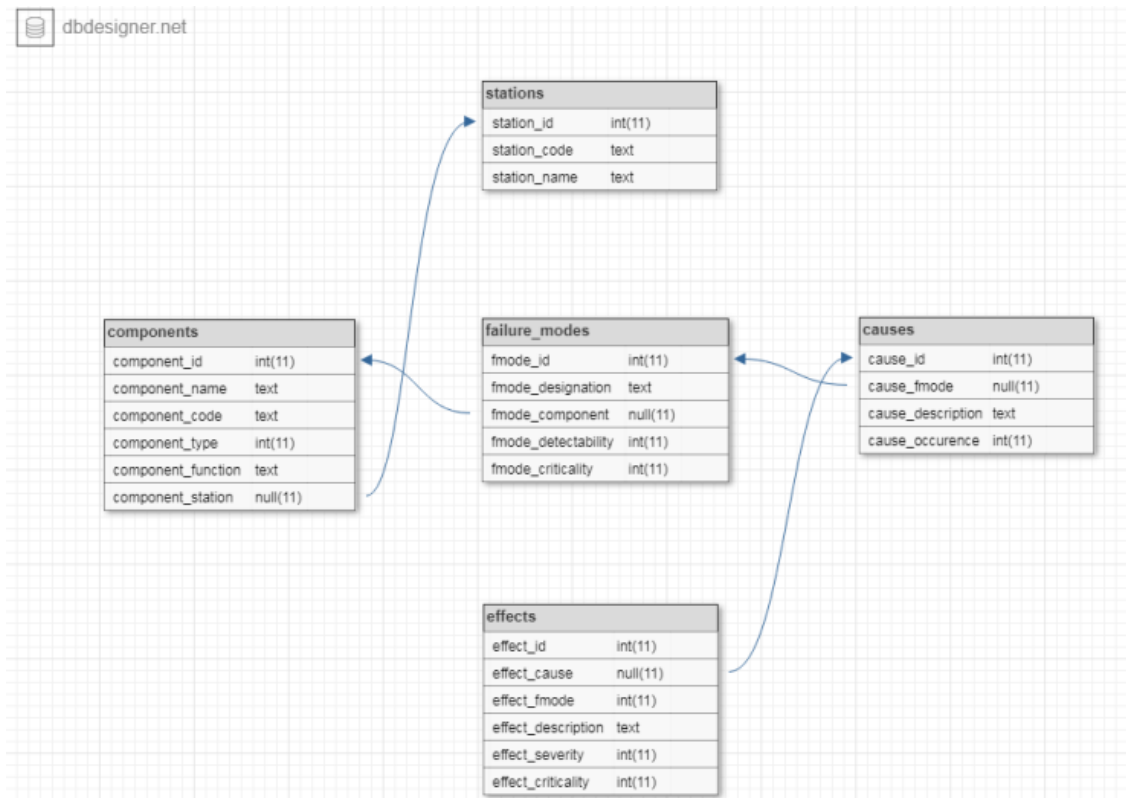
Dans cette section, nous avons introduit les diagrammes *UML* de base, utilisés pour le bon déroulement du développement de la plateforme de création et de visualisation des AMDEC présentée dans le quatrième chapitre.



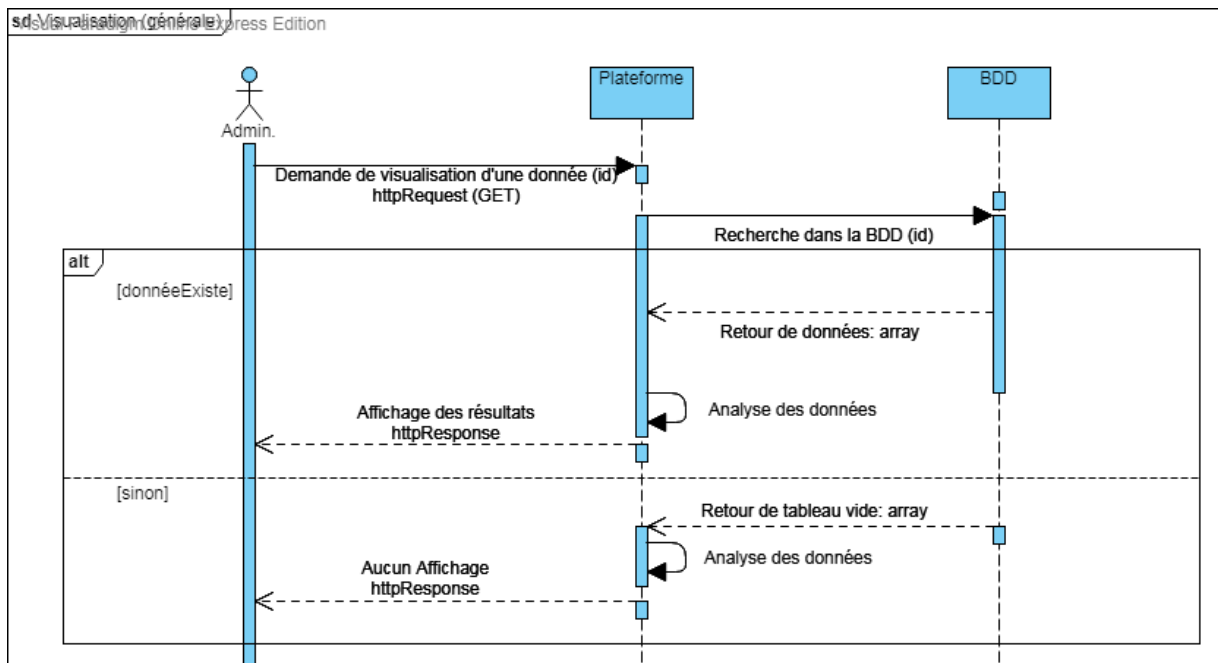
Le diagramme suivant représente le séquençage pour l'authentification de l'utilisateur :



L'administrateur ne peut utiliser cette plateforme qu'après avoir enregistré une session ; une authentification est donc requise. Pour s'authentifier (et pour n'importe quelle autre opération de visualisation, ajout, modification de données et d'exportation de tableaux), une base de données doit être créée et liée à la plateforme. La figure suivante présente le design de la base de données :

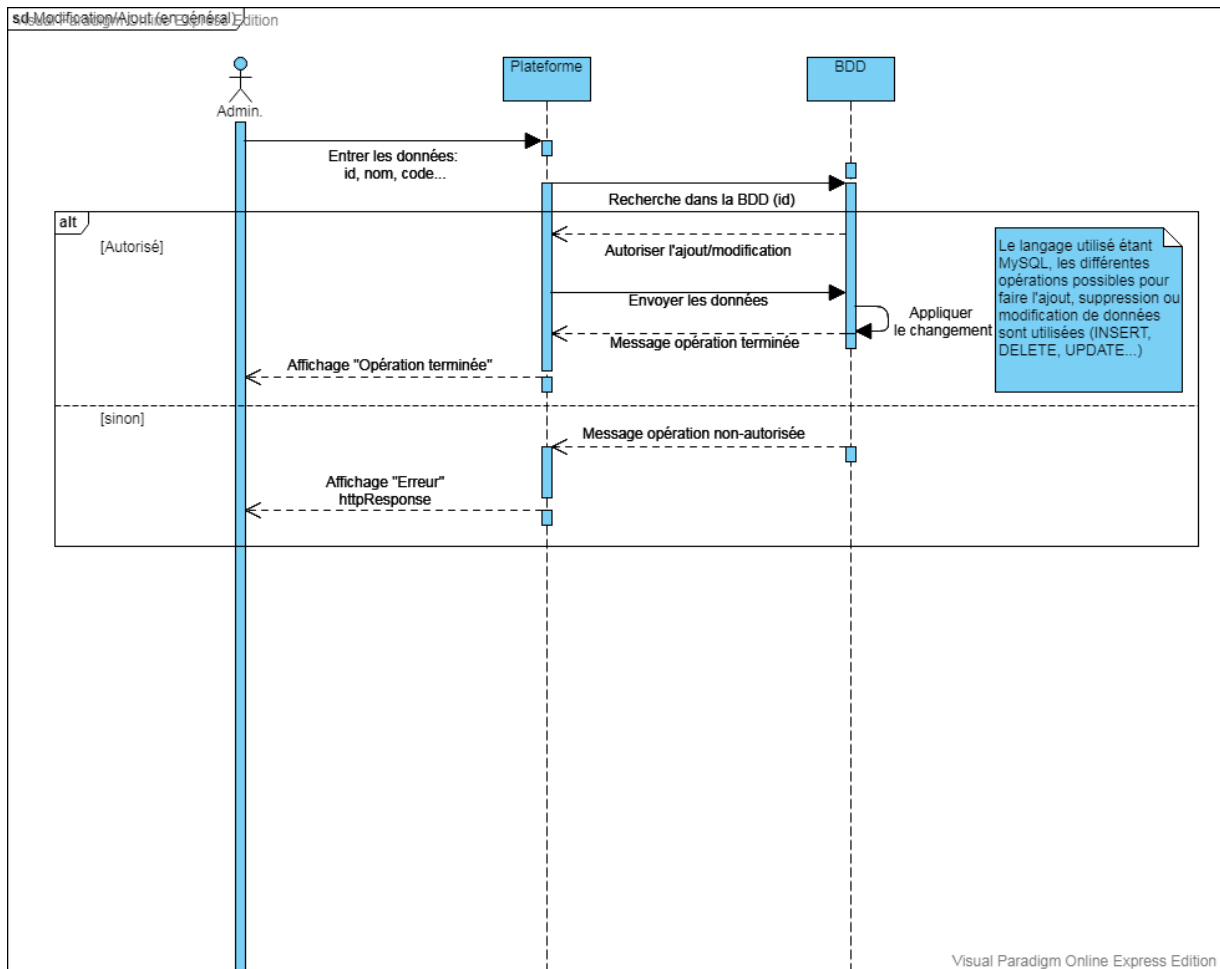


Le diagramme de séquence suivant représente le séquençement de visualisation de n'importe quelle donnée sur le système. Il est à noter que la visualisation se fait depuis la BDD grâce le champ primaire id (station\_id pour les stations, component\_id pour les composants... etc.) :





Les autres opérations que l'administrateur est autorisé à effectuer sont résumées dans le diagramme de séquençage suivant :



## Résumé

Les systèmes de production sont devenus très importants de nos jours, soit de point de vue Entreprise ou Client ; c'est pour ça que toutes les entreprises cherchant à satisfaire leurs clients donnent à la sûreté de fonctionnement une grande considération dans la prise de décision. Dans ce manuscrit, nous avons introduit la méthode AMDEC, qui fait partie de la sûreté de fonctionnement et qui a pour but la création des plans de maintenance des différents systèmes, et nous l'avons appliqué sur un cas réel qui est la station de production du système MPS@500-FMS qui se trouve au niveau du laboratoire MELT. Par la suite, nous avons proposé des actions de maintenance correctives et préventives afin d'aider les ingénieurs responsables de la maintenance de prendre les bonnes décisions en cas de dysfonctionnements ou de problèmes techniques, voire améliorer la performance de ce système. Enfin, nous avons développé une application web qui facilite la création des tableaux AMDEC et de les exporter sous forme de documents lisibles et modifiables.

**Mots clés :** sûreté de fonctionnement, AMDEC, maintenance, MPS@500-FMS, prise de décision, dysfonctionnements, performance, application web.

## Abstract

Production systems have become very important nowadays, either from the point of view of a company or a customer; that's why all companies seeking to satisfy their customers give the field of Operations Safety a great consideration in decision-making. In this manuscript, we introduced the FMECA method, which is part of the Operations Safety field and which aims to create the maintenance plans of the different systems, and we applied it on a real case which is the production station of the MPS@500-FMS system located in the MELT laboratory. Subsequently, we have proposed corrective and preventive maintenance actions to help the maintenance managers to make the right decisions in case of malfunctions or technical problems, or even improve the performance of this system. Finally, we have developed a web application that makes it easy to create FMECA tables and export them as readable and editable documents.

**Keywords:** Operations Safety, FMECA, maintenance, MPS@500-FMS, decision making, malfunctions, performance, web application

## ملخص

أصبحت أنظمة الإنتاج مهمة للغاية في الوقت الحاضر، إما من وجهة نظر الشركة أو العميل؛ لهذا السبب فإن جميع الشركات التي تسعى إلى إرضاء عملائها تعطي مجال سلامة العمليات اعتبارًا كبيرًا عند اتخاذ القرارات. في هذه المخطوطة، قدمنا طريقة AMDEC، التي تعد جزءًا من مجال سلامة العمليات والتي تهدف إلى وضع خطط الصيانة للأنظمة المختلفة، وقمنا بتطبيقها على حالة حقيقية وهي محطة إنتاج نظام MPS@500-FMS الموجود في مختبر MELT. بعد ذلك، اقترحنا إجراءات صيانة تصحيحية ووقائية لمساعدة مديري الصيانة على اتخاذ القرارات الصحيحة في حالة حدوث أعطال أو مشاكل فنية، أو حتى تحسين أداء هذا النظام. أخيرًا، قمنا بتطوير تطبيق ويب يجعل من السهل إنشاء جداول AMDEC وتصديرها كمستندات قابلة للقراءة والتحرير.

**الكلمات المفتاحية:** سلامة العمليات، MPS@500-FMS، AMDEC، الصيانة، اتخاذ القرارات، الأعطال، الأداء، تطبيق الويب.