

**Titre:** Gestion des pièces de rechange  
Title:

**Auteur:** Isabelle Boyer  
Author:

**Date:** 2004

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Boyer, I. (2004). Gestion des pièces de rechange [Mémoire de maîtrise, École  
Citation: Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/7346/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/7346/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:** Diane Riopel, & André Langevin  
Advisors:

**Programme:** Non spécifié  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

GESTION DES PIÈCES DE RECHANGE

ISABELLE BOYER

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE INDUSTRIEL)

NOVEMBRE 2004

© Isabelle Boyer, 2004.



Library and  
Archives Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Published Heritage  
Branch

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file* *Votre référence*

*ISBN: 0-494-01290-0*

*Our file* *Notre référence*

*ISBN: 0-494-01290-0*

#### NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

#### AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

  
**Canada**

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

GESTION DES PIÈCES DE RECHANGE

présenté par : BOYER Isabelle

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. OUALI Mohamed Salah, ing. stag., Doctorat, président

Mme. RIOPEL Diane, ing., Docteure, membre et directrice de recherche

M. LANGEVIN André, Ph.D., membre et codirecteur

M. LEBLANC Pierre, ing., M.Sc., membre

À ma famille, mes amis, mon conjoint et ses enfants  
pour leur encouragement à persévérer  
dans la concrétisation de ce défi.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement les personnes suivantes qui ont grandement contribué au succès de ce projet :

Diane Riopel et André Langevin, mes directeurs de recherche, pour vos commentaires constructifs tout au long de l'évolution de ce projet;

Pierre Leblanc, chef de la maintenance chez Wyeth, qui a été constamment présent pour me « coacher » tout au long du projet et qui a accepté d'y prendre part dès le début. Merci également pour avoir accepté de faire partie du jury pour l'évaluation de ce mémoire;

Micheline Deslauriers, directrice de l'ingénierie chez Wyeth au début du projet, maintenant directrice de production, qui a cru en ce projet et qui a dégagé les fonds nécessaires pour développer et mettre en place ce projet;

Robert Landriault, pour son temps passé à me donner un aperçu de la gestion du magasin dès les débuts du projet ainsi que des précisions plus pointues durant tout le déroulement;

Louis-Gilles Gagnon, pour « l'encyclopédie » de connaissances qu'il a mis à ma disposition;

Jean-Pierre Normandeau, pour ses recherches et ses connaissances techniques;

Richard Huneault, pour son support dans le développement de la base de données Access;

Réjean Bisson, Micheline Deslauriers et Domenic Rigante pour leur soutien tout au long du projet;

et finalement, à toute l'équipe de maintenance et aux employés de production dans les micro-usines pour leurs diverses implications.

Un gros merci à vous tous !

## RÉSUMÉ

Ce travail de recherche porte sur la détermination des pièces de rechange à conserver en stock pour minimiser la durée des arrêts de production tout en minimisant les investissements nécessaires. La méthode proposée doit s'adapter à un contexte d'entreprise avec des caractéristiques particulières puisqu'elle a été développée et validée pour une entreprise spécifique. Parmi les caractéristiques les plus importantes, il y a le fait que l'entreprise possède près de 5,000 équipements et plus de 13,000 catégories de pièces en inventaire. Également, aucune information fiable sur l'historique de maintenance n'est disponible dû entre autre à l'implantation récente d'un nouveau système informatique. Heureusement, l'entreprise peut compter sur du personnel expérimenté au sein de l'entreprise mais par contre, ceux-ci possèdent l'information dans leur tête plutôt que dans une base de données. Finalement, l'auteure a bénéficié d'un grand nombre de ressources pour participer au projet. Spécifiquement, deux équipes de projets ont été impliquées et globalement, plus de 50 personnes, appartenant à tous les niveaux hiérarchiques de l'entreprise, ont collaboré de près ou de loin à ce projet.

Trois produits résultent de ce travail de recherche pour proposer une méthode permettant de déterminer les pièces de rechange à conserver en stock. Dans un premier temps, il faut appliquer une méthode d'évaluation de la criticité des équipements pour déterminer quels sont les équipements critiques dans l'entreprise. Dans un deuxième temps, il faut appliquer une méthode d'évaluation de la criticité des pièces de rechange. Cette évaluation permet d'établir quelles sont les pièces de rechange critiques parmi les équipements jugés critiques. Dans un troisième temps, il faut pouvoir gérer les pièces de rechange critiques et non-critiques efficacement pour s'assurer de pouvoir diminuer les coûts reliés aux arrêts de production. C'est pourquoi des règles de gestion des pièces de rechange sont proposées. L'ensemble de ces trois produits donne le résultat final de

cette recherche, soit une méthode globale de gestion des pièces de rechange. Les étapes de cette méthode globale se décomposent comme suit :

- 1) déterminer le but du magasin de maintenance;
- 2) définir les critères de criticité des équipements;
- 3) évaluer les équipements en fonction des critères;
- 4) prioriser / classifier les équipements en fonction des niveaux de criticité;
- 5) définir les critères de criticité des pièces de rechange;
- 6) évaluer les pièces de rechange en fonction des critères;
- 7) prioriser / classifier les pièces de rechange en fonction des niveaux de criticité;
- 8) établir la gestion des pièces de rechange en fonction des résultats.

Cette méthode a été validée en entreprise, tout d'abord avec l'aide d'un département pilote de 217 équipements et par la suite, sur la totalité des 982 équipements ciblés par la direction. Cette validation a permis de conclure que cette entreprise possède 19% d'équipements critiques et que moins de 5% des pièces de rechange sont critiques mais que plusieurs ne sont pas en stock actuellement.

Au départ, pour s'assurer d'avoir un sujet qui apporte une innovation dans le milieu scientifique, une revue de littérature a été effectuée sur le sujet. Pour ce faire, une recherche informatique à l'aide d'une combinaison de 23 mots-clé procurant plus de 55 recherches possibles a été effectuée dans 12 bases de données. Il en a résulté un tri de plus de 250 articles et livres dont près de 100 ont été jugés pertinents pour approfondir la recherche, procurant ainsi une bibliographie regroupant 40 ans de littérature sur le sujet, de 1963 à 2003.

Parmi les travaux les plus intéressants pour cette recherche, il y a les matrices de Lavina et Perruche [1996] et de Retailleau et Turcotte [1999] qui ont servi de point de départ pour la méthode d'évaluation des équipements critiques. Par la suite, Huiskonen [2002] a grandement contribué au niveau de l'évaluation des pièces de rechange. Finalement,

Dekker et al. [1996] et Gajpal et al. [1994] ont quant à eux contribué à l'aide de leur classification des équipements qui a également servi de base à la classification des pièces de rechange.

Le domaine des pièces de rechange n'a pas fait l'objet de recherches nombreuses selon la littérature recensée. Lorsque cela a été le cas, les auteurs se sont attardés soit sur les équipements critiques, soit sur les pièces de rechange critiques mais sans qu'aucun des auteurs n'ait proposé une méthode globale de gestion des pièces de rechange. C'est la principale contribution de ce mémoire qui comble les lacunes recensées dans la littérature. Finalement, puisque ce sujet en est encore à ses débuts et qu'il peut être exploité davantage, des pistes de recherche pour des travaux futurs sont également présentées.

## ABSTRACT

This research work aims to determine the spare parts needed to be kept in stock in order to minimize the duration of doynetime cost production as well as minimizing the necessary investments. The proposed method must adapt to the context of a company with particular characteristics since it was developed and validated for a specific company. Among the most important characteristics, note that the company has nearly 5,000 pieces of equipment and more than 13,000 categories of parts in inventory. Note also that no reliable information on maintenance history is available, due to among other things, the introduction of a new computer system. Fortunately, the company can count on experienced personnel, but on the other hand these employees have the information in their heads rather than in a data base. Finally, the author profited from a large number of resources; more specifically, two project teams were involved and overall, more than 50 people from all hierarchical levels of the company, collaborated from near or far on this project.

Three elements result from this research work, proposing a method which will allow to determine the spare parts to keep in stock. Initially, it is necessary to apply a method of evaluation of the criticality of the equipment, to determine the critical equipment in the company. Secondly, it is also essential to apply a method of evaluation of the criticality of the spare parts. This evaluation allows to select the critical spare parts among the equipment considered critical. Finally, it is necessary to be able to manage the critical and non-critical spare parts effectively, to ensure the ability of decreasing costs related to doynetime cost production. This is why rules for the management of the spare parts are proposed. Together, these three elements give the final result of this research, a global method of spare parts management.

The steps of this global method are the following:

- 1) Determine the goal of the maintenance storeroom;
- 2) Define the criteria of the equipment criticality;
- 3) Evaluate the equipment according to the criteria;
- 4) Prioritise / classify the equipment according to the criticality levels;
- 5) Define the criteria of criticality of the spare parts;
- 6) Evaluate the spare parts according to the criteria;
- 7) Prioritise / classify the spare parts according to the criticality levels;
- 8) Establish the management of spare parts according to the results.

This method was validated on site, primarily with the help of a pilot department, consisting of 217 pieces of equipment and thereafter on the totality of the 982 pieces of equipment targeted by the management. This validation made it possible to conclude that, this company has 19% of critical equipment and that less than 5% of spare parts are critical, however several of them are not currently in stock.

At the beginning, to make sure of having a subject that would bring innovation to the scientific community, a review of literature was carried out on the subject. With this intention, a computer search using 23 key words and obtaining more than 55 possible searches, was carried out in 12 databases. More than 250 articles and books were found, of which nearly 100 were considered relevant for further research, thus resulting in a bibliography gathering 40 years of literature on the subject, from 1963 to 2003.

Among the most interesting works for this research, there are the matrices of Lavina and Perruche (1996) and of Retailleau and Turcotte (1999) which were used as a starting point for the evaluation method of critical equipment. Thereafter, Huiskonen (2002) largely contributed to the level of the evaluation of spare parts. Finally, Dekker et al. (1996) and Gajpal et al. (1994) contributed to the classification of equipment, which was also used as a basis for the classification of spare parts.

The field of spare parts is not the subject of much research according to the listed literature. When that was the case, the authors focused their attention on either the critical equipment, or on the critical spare parts, but without any author proposing an global method of spare parts management. This is the main contribution of this master's thesis, which fills the gaps found in the literature. Finally, since this subject is still in its infancy and can be exploited more, avenues of research for future work are also presented.

**TABLE DES MATIÈRES**

<b>DÉDICACE .....</b>	<b>iv</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>v</b>
<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>xviii</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>xx</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>xxi</b>
<b>CHAPITRE 1 : INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Mise en situation.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Entreprise .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Mandat .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Contexte de travail .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Structure du mémoire.....</b>	<b>8</b>
<b>CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Introduction.....</b>	<b>9</b>

<b>2.2</b>	<b>Revue de littérature .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Gestion des pièces de rechange .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4</b>	<b>Définitions .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5</b>	<b>Équipements critiques et pièces de rechange critiques.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6</b>	<b>Critères de criticité et notion de niveaux de criticité .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7</b>	<b>Critères de criticité des équipements.....</b>	<b>17</b>
<b>2.8</b>	<b>Niveaux de criticité des équipements .....</b>	<b>19</b>
<b>2.9</b>	<b>Critères de criticité des pièces de rechange .....</b>	<b>21</b>
<b>2.10</b>	<b>Niveaux de criticité des pièces de rechange .....</b>	<b>23</b>
<b>2.11</b>	<b>Approches mathématiques et multicritère.....</b>	<b>25</b>
<b>2.12</b>	<b>« Reliability Centred Maintenance » (RCM).....</b>	<b>28</b>
<b>2.13</b>	<b>« Reliability-Centred Spares » (RCS) .....</b>	<b>29</b>
<b>2.14</b>	<b>AMDEC et « FMECA ».....</b>	<b>29</b>
<b>2.15</b>	<b>MAFMA .....</b>	<b>30</b>
<b>2.16</b>	<b>Méthode de hiérarchie multicritère ou « Analytical Hierarchy Process » (AHP).....</b>	<b>31</b>
<b>2.17</b>	<b>Théorie de l'utilité multiattribut (MAUT).....</b>	<b>32</b>
<b>2.18</b>	<b>Classification ABC .....</b>	<b>33</b>

<b>2.19 Méthodes existantes .....</b>	<b>34</b>
2.19.1 Équipements critiques .....	34
2.19.2 Pièces de rechange critiques.....	38
<b>2.20 Synthèse des méthodes.....</b>	<b>41</b>
<b>2.21 Documentation .....</b>	<b>42</b>
<b>2.22 Conclusion.....</b>	<b>44</b>
<b>CHAPITRE 3 : PROPOSITION D'UNE MÉTHODE GLOBALE DE GESTION DES PIÈCES DE RECHANGE.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Introduction.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Méthodologie .....</b>	<b>47</b>
3.2.1 Contexte .....	47
3.2.2 Objectif du magasin de maintenance .....	48
3.2.3 Étapes de la méthodologie .....	50
<b>3.3 Méthode pour établir la criticité des équipements.....</b>	<b>51</b>
3.3.1 Criticité des équipements .....	51
3.3.2 Origines de la matrice .....	52
3.3.3 Matrice originale PEMSEQ .....	52
3.3.4 Caractéristiques de la matrice développée .....	54
3.3.5 Matrice originale versus matrice proposée .....	55
3.3.6 Valeurs de criticité .....	56
3.3.7 Développement de la matrice de criticité des équipements .....	57
3.3.8 Matrice proposée.....	70
3.3.9 Calcul de la criticité .....	71
3.3.10 Classification par niveau de criticité.....	74

<b>3.4 Méthode pour établir la criticité des pièces de rechange.....</b>	<b>75</b>
3.4.1 Lien entre équipements critiques et pièces de rechange critiques.....	75
3.4.2 Expertise et documentation .....	75
3.4.3 Définition d'une pièce de rechange critique .....	77
3.4.4 Critères de criticité des pièces de rechange.....	80
3.4.5 Évaluation de la criticité des pièces de rechange .....	84
3.4.6 Niveaux de criticité des pièces de rechange.....	88
<b>3.5 Règles et stratégies de gestion des pièces de rechange .....</b>	<b>89</b>
<b>3.6 Conclusion.....</b>	<b>91</b>
<b>CHAPITRE 4 : VALIDATION .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>93</b>
<b>4.2 Validation de la méthode d'évaluation des équipements .....</b>	<b>93</b>
4.2.1 Équipe de projet .....	93
4.2.2 Choix de la micro-usine pilote .....	94
4.2.3 Validation de la méthode d'évaluation de la criticité des équipements .....	95
4.2.4 Résultats de criticité des équipements à l'aide de la matrice .....	96
4.2.5 Sommaire de l'application de la méthode de la criticité des équipements .....	99
<b>4.3 Validation de la méthode d'évaluation des pièces de rechange .....</b>	<b>101</b>
4.3.1 Équipe de projet .....	101
4.3.2 Validation de la méthode d'évaluation des pièces de rechange .....	101
4.3.3 Sommaire de l'application de la méthode de l'évaluation de la criticité des pièces de rechange.....	102
<b>4.4 Base de données Access.....</b>	<b>103</b>
<b>4.5 Étude de rentabilité.....</b>	<b>104</b>

<b>4.6 Difficultés rencontrées .....</b>	<b>106</b>
<b>4.7 Conclusion.....</b>	<b>107</b>
<b>chapitre 5 : conclusion .....</b>	<b>108</b>
<b>5.1 Contexte .....</b>	<b>108</b>
<b>5.2 Apport d'innovation .....</b>	<b>108</b>
<b>5.3 Contributions.....</b>	<b>109</b>
<b>5.4 Avantages de la méthode .....</b>	<b>110</b>
<b>5.5 Limites de l'approche .....</b>	<b>111</b>
<b>5.6 Pistes de recherche pour l'avenir.....</b>	<b>112</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>113</b>
<b>annexes .....</b>	<b>124</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Lien entre pièces de rechange - équipements.....	12
Tableau 2.2 : Synthèse des critères de criticité des équipements.....	18
Tableau 2.3 : Regroupement par familles de critères reliés aux équipements.....	19
Tableau 2.4 : Synthèse des classifications des équipements.....	20
Tableau 2.5 : Classification à trois niveaux de criticité des équipements.....	21
Tableau 2.6 : Synthèse des critères de criticité des pièces de rechange.....	21
Tableau 2.7 : Regroupement par familles de critères reliés aux pièces de rechange.....	23
Tableau 2.8 : Synthèse des classifications des pièces de rechange.....	23
Tableau 2.8 : Synthèse des classifications des pièces de rechange (suite).....	24
Tableau 2.9 : Classification à quatre niveaux de criticité des pièces de rechange.....	24
Tableau 2.10 : Synthèse des méthodes développées.....	41
Tableau 3.1 : Matrice originale PEMSEQ .....	53
Tableau 3.2 : Comparaison 1 : Matrice originale vs Matrice proposée .....	57
Tableau 3.3 : Comparaison 2 : Matrice originale vs Matrice proposée .....	59
Tableau 3.4 : Comparaison 3 : Matrice originale vs Matrice proposée .....	61
Tableau 3.5 : Comparaison 4 : Matrice originale vs Matrice proposée .....	62
Tableau 3.6 : Scénarios possibles pour le critère : « Maîtrise de l'entretien : pièces de rechange, documentation et expertise » .....	63
Tableau 3.7 : Comparaison 5 : Matrice originale vs Matrice proposée .....	67
Tableau 3.8 : Comparaison 6 : Matrice originale vs Matrice proposée .....	68
Tableau 3.9 : Comparaison 7 : Matrice originale vs Matrice proposée .....	69
Tableau 3.10 : Matrice proposée.....	70
Tableau 3.11 : Nombre de valeurs à zéro possible.....	74
Tableau 3.12 : Classification des niveaux de criticité des équipements .....	75
Tableau 3.13 : Étapes d'évaluation de la criticité des pièces de rechange.....	78
Tableau 3.14 : Matrice de criticité des pièces de rechange.....	85
Tableau 3.15 : Scénarios possibles de criticité des pièces de rechange .....	87

Tableau 3.16 : Classification proposée des niveaux de criticité des pièces de rechange.	88
Tableau 3.17 : Définitions de la classification proposée des niveaux de criticité et règles de gestion des pièces de rechange .....	89
Tableau 4.1 : Répartition des résultats de criticité des 182 équipements critiques.....	96
Tableau 4.2 : Répartition des équipements par micro-usines et au total.....	100

**LISTE DES FIGURES**

Figure 3.1 : Méthode globale de gestion des pièces de rechange .....51

**LISTE DES ANNEXES**

<b>ANNEXE 1 REGROUPEMENT PAR FAMILLE DES CRITÈRES DE CRITICITÉ DES ÉQUIPEMENTS .....</b>	<b>124</b>
<b>ANNEXE 2 CLASSIFICATIONS DES NIVEAUX DE CRITICITÉ DES ÉQUIPEMENTS .....</b>	<b>130</b>
<b>ANNEXE 3 REGROUPEMENT PAR FAMILLE DES CRITÈRES DE CRITICITÉ DES PIÈCES DE RECHANGE .....</b>	<b>133</b>
<b>ANNEXE 4 CLASSIFICATIONS DES NIVEAUX DE CRITICITÉ DES PIÈCES DE RECHANGE .....</b>	<b>139</b>

## CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

### 1.1 Mise en situation

Durant les années 1990 et encore aujourd'hui, il y a eu beaucoup de pression pour augmenter les retours sur investissements dans les entreprises. D'un côté, des efforts ont été faits pour augmenter les taux de production et améliorer la qualité. De l'autre côté, il y a eu de fortes pressions pour réduire le capital investi, incluant l'achat de pièces de rechange. On se retrouve avec un dilemme lorsque vient le temps de prendre une décision : à court terme, il est possible de couper grandement dans le stock, mais si on le fait n'importe comment, les conséquences à plus long terme pourraient être désastreuses pour la production.

De nos jours, on met de plus en plus d'importance sur la fiabilité des équipements. La pratique du juste-à-temps accentue davantage cette importance. Une panne d'équipement pour laquelle une pièce de rechange ne serait pas disponible peut arrêter un équipement ou même congestionner une ligne de production entière pendant quelques heures, des jours et même des semaines. Il est donc important de savoir pour une entreprise quelles pièces de rechange sont vraiment importantes à conserver dans le stock. Et pour ce faire, il est bon de savoir quels sont les équipements critiques, c'est-à-dire lesquels sont stratégiques pour l'entreprise et pour lesquels on ne peut pas se permettre d'attendre quelques heures, quelques jours ou quelques semaines pour les remettre en opération.

Des chercheurs ont affirmé que :

« Le problème de gestion de la maintenance dans les P.M.E manufacturières a fait l'objet de plusieurs investigations. Les enjeux stratégiques et économiques sont tels que les entreprises doivent trouver de nouvelles formules pour assurer une

maintenance adéquate de leur équipement en respectant les contraintes de coût et de disponibilité ». <sup>1</sup>

C'est le thème sur lequel ce mémoire de maîtrise a porté.

## 1.2 Entreprise

Wyeth, leader mondial dans son domaine, évolue dans le milieu pharmaceutique depuis 1860. Ses produits sont vendus dans plus de 140 pays, ils sont manufacturés dans des usines réparties sur les 5 continents et Wyeth emploie plus de 52,000 employés à travers le monde. Depuis mars 2002, l'appellation Wyeth désigne l'ensemble du groupe. Avant cette date, la maison-mère était connue sous le nom d'American Home Product (AHP).

La première usine à avoir été implantée à l'extérieur des États-Unis a été celle de Montréal en 1883. Depuis, elle a changé à maintes reprises de localisations et de dirigeants. En ce qui concerne la présente étude, l'usine concernée est située à l'angle du boulevard Marcel-Laurin et du boulevard Côte-Vertu à Ville St-Laurent. Elle emploie plus de 1200 employés non-syndiqués et entrepreneurs répartis dans les usines et les bureaux, représentant une superficie d'environ 650,000 pieds carrés. Cette usine se consacre principalement à la production et la distribution de produits pharmaceutiques pour les marchés canadiens, européens et asiatiques. Les marques les plus connues du grand public sont les vitamines Centrum, les comprimés Advil, les sirops Dimetapp, les hormones Premarin, les anovulants Triphasil, la crème Préparation H, etc.

## 1.3 Mandat

Dans un contexte de réduction des coûts reliés à la maintenance, l'entreprise s'est questionnée sur les pièces de rechange qui devraient être conservées en stock. Dans le

---

<sup>1</sup> Kaffel H./D'amours S./Ait-Kadi D., Une approche réseau pour la conception d'un système de gestion de la maintenance, 3<sup>ième</sup> congrès international de génie industriel, 1999, Volume I, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, Canada, page 564.

but de répondre à ce questionnement, un mandat a été confié pour déterminer les pièces de rechange à conserver en stock pour minimiser la durée des arrêts de production tout en minimisant les investissements nécessaires. Une méthode a été développée pour réaliser ce mandat.

Dans un premier temps, la méthode développée a permis de déterminer les équipements jugés critiques pour l'entreprise.

Dans un deuxième temps, il a fallu déterminer les pièces de rechange critiques appartenant aux équipements critiques ciblés.

Finalement, le projet s'est concentré sur les stratégies de gestion à adopter pour gérer ce type de pièces. Tout ceci dans le but de gérer les risques de pénuries efficacement tout en s'assurant de fournir le même niveau de service aux usagers.

#### **1.4 Contexte de travail**

Le stock de pièces de rechange de l'entreprise compte plus de 13,000 catégories de pièces différentes. Actuellement, plusieurs types de pièces sont conservées en stock. On y retrouve des pièces pour la maintenance préventive des équipements, des consommables (huiles, gants, lunettes de sécurité, etc.), des pièces pour des prototypes pour favoriser la culture d'amélioration continue au sein de l'entreprise, des pièces pour des projets et des excédentaires remises en stock suite à des projets et finalement, des pièces de rechange. Dans le cadre du projet, le but du magasin a dû être précisé par la direction pour donner une orientation générale au projet. Cependant, l'analyse du projet s'est limitée aux pièces de rechange seulement. Les autres types de pièces que contient le magasin n'ont pas fait l'objet d'une analyse.

Au moment où le projet a débuté, il y avait un total de 4860 équipements sur le site de St-Laurent. Dans le cadre du projet, seuls les équipements de production du bâtiment 17 (le bâtiment de production) ont été ciblés. Les équipements faisant partie par exemple des laboratoires et des départements de recherche et développement ont été retirés du projet pour trois raisons. La première, puisque l'intérêt de la direction était ciblé vers les équipements de production plutôt que les équipements de recherche. La deuxième, puisqu'il s'agissait d'équipements ayant des caractéristiques différentes et finalement, pour diminuer l'ampleur du projet. Donc, des 4860 équipements au total, 1220 correspondaient à des équipements de production du bâtiment 17. De ces 1220 équipements, un second tri a eu lieu pour ne conserver que des équipements servant directement à la production des produits. Des équipements comme les balances, les transpalettes, les chariots élévateurs, les chargeurs à batteries, etc., ont été éliminés du projet. Aucun équipement servant au bâtiment de production, comme le système de ventilation ou la salle des moteurs, n'a été analysé. Le projet a porté sur 982 équipements de production.

Le département de maintenance compte environ 50 employés de différents corps de métier et le département de l'ingénierie compte une trentaine d'ingénieurs. Plus spécifiquement, il y a trois employés qui travaillent dans le magasin de pièces, un chef d'équipement et un superviseur. Cependant, tous les employés de maintenance ainsi que les ingénieurs ont accès au magasin. La précision de l'information et de l'inventaire du stock dépendent de plusieurs personnes.

L'aménagement physique du magasin est considéré comme raisonnablement opérationnel. Selon l'opinion des gens en place, l'espace est restreint mais bien utilisé. Une caractéristique importante de cette entreprise est que plusieurs pièces de rechange ne sont pas physiquement au magasin. Elles peuvent être dans les coffres d'outil des employés de maintenance ou dans les armoires des différents départements de production. Cela cause beaucoup de problèmes puisque ce stock n'est pas répertorié

dans le système informatique et qu'on n'en connaît pas la teneur. Cela occasionne souvent un dédoublement de certaines pièces. Mais surtout, le fait que les pièces ne soient pas inventoriées ne permet à personne de savoir ce que possèdent les autres départements et parfois même, le département lui-même ne sait pas ce qu'il possède. Les frais supplémentaires engendrés par cette situation sont considérables selon la direction.

Wyeth a la chance d'avoir du personnel avec plusieurs années d'ancienneté au sein de l'entreprise pour participer au projet. Étant donné la récente implantation en janvier 2001 d'un système informatique spécialisé en maintenance (Computerized Maintenance Management System), les données disponibles dans l'entreprise sont incomplètes, peu fiables, difficilement reliables à des événements particuliers et parfois même inexistantes lorsque le projet a débuté en avril 2001. Le personnel a été indispensable à la réalisation du projet.

Les employés de maintenance de Wyeth ont une moyenne d'ancienneté élevée, un faible taux de roulement et maîtrisant beaucoup de compétences. L'entreprise met un accent particulier sur la formation des employés et le développement des compétences de chacun dans l'organisation. Tous les employés de maintenance sont polyvalents dans leurs tâches. Les mécaniciens, par exemple, ne sont pas spécialisés seulement sur un ou deux équipements. Ils le sont habituellement sur tous. Il y a une présence des gens de maintenance majoritairement de jour, mais également de soir et de nuit. Que ce soit physiquement ou sur appel s'il s'agit d'un événement plus particulier.

Auparavant, il y avait également un système informatique sous une plate-forme AS 400 mais qui est devenu désuet selon les responsables de l'ingénierie. Certaines informations concernant les pièces ont pu être transmises de ce système au nouveau système CMMS mais il n'y a pas d'historique qui a été transmis. L'entreprise a préféré se restreindre à l'inscription de données fiables.

De plus, aucun indicateur de performance n'avait été développé pour suivre de près la progression du magasin de maintenance. Par ailleurs, plus de 60% de la valeur du stock était inconnue au début du projet puisque la plupart des pièces n'avaient pas été réapprovisionnées depuis la mise en place du nouveau système CMMS. Aucune valeur ne leur était donc attribuée, ce qui empêchait le système de donner la valeur totale du stock. Cela a causé des problèmes à la direction pour se donner un objectif monétaire réaliste à atteindre.

Ce nouveau système informatique a un grand potentiel pour le futur. Cependant, selon les experts de l'entreprise, il n'est pas utilisé à son plein potentiel pour l'instant. Par exemple, l'entreprise a l'opportunité de pouvoir faire le lien entre chaque équipement et les pièces qui y sont rattachées, ce qui n'est pas fait pour l'instant et qui augmente le temps de recherche des employés lorsqu'un équipement de production est retiré ou bien quand on veut savoir sur combien d'équipements une pièce est utilisée par exemple. Cette étape n'a pas encore été complétée dans l'entreprise mais la direction y travaille.

Pour la réalisation du mandat, la direction a préféré utiliser des données qualitatives provenant de son personnel expérimenté plutôt que d'utiliser des données qui n'étaient pas considérées fiables par l'entreprise étant donné le peu d'historique que le nouveau système informatique pouvait contenir à ce moment. De plus, l'entreprise n'aurait pas pu bâtir un système d'information avec les anciennes données qui était à sa disposition puisque celles-ci n'étaient pas assez détaillées pour répondre adéquatement au mandat. On peut penser par exemple au manque d'information contenu sur un bon de travail et également au fait que les bons de travail n'étaient pas informatisés, donc disponible seulement sous un format papier. Ainsi, la direction ne tenait pas à dépouiller les données remontant à l'utilisation de l'ancien système informatique pour des contraintes de temps, d'argent et de manque d'informations précises.

Dans un système idéal, on aurait toutes les données financières concernant le coût d'une panne de production, toutes les données sur les historiques des pannes, toutes les informations pertinentes sur les équipements, les pièces, les manufacturiers, etc... Mais c'est rarement le cas dans la réalité et ce n'est pas le cas dans l'entreprise concernée. Dans un monde réel, il y a de l'information mais elle n'est pas toujours satisfaisante. Chez Wyeth, l'accès à une information précise est un des obstacles majeurs. Il a donc fallu prendre en compte cette contrainte et développer une méthode permettant tout de même d'être applicable concrètement dans l'entreprise. Wyeth prévoit améliorer son niveau d'information et surtout la qualité de l'information qu'elle recueille. La mise en place d'un système CMMS en fait preuve. Mais d'ici à ce que ce système fournisse des données qui pourront être considérées comme des données historiques fiables, le modèle proposé doit tenir compte de cette contrainte et de l'expansion possible par la suite pour exploiter les données.

Le mandat est de déterminer quelles pièces de rechange maintenir en stock pour réduire la durée des arrêts de production tout en minimisant les investissements nécessaires. L'enjeu derrière ceci est que tout peut se ramener à une question de coûts. Il y a un compromis à faire entre le coût des arrêts de production et le coût des pièces de rechange à garder en stock. Il s'agit donc de trouver une méthode applicable en entreprise et qui permet de faire une bonne gestion des risques associés aux arrêts de production et à la répartition de l'investissement en pièces de rechange que cela nécessite.

Pour réaliser ce mandat, l'auteure a pu compter sur une équipe de projet riche en expertises variées. Principalement, l'équipe de projet est composée de la directrice d'ingénierie, du chef de la maintenance, des deux superviseurs de maintenance, du superviseur du magasin, d'un magasinier et d'un mécanicien. En plus de ces personnes, certaines autorités de l'entreprise se sont jointes à l'équipe pour des aspects particuliers ou des approbations tels que le directeur d'usine, le directeur des finances, le directeur qualité, le directeur santé et sécurité. En plus, l'équipe de projet a pu compter sur la

collaboration de plusieurs employés de maintenance et d'usine pour récolter de l'information sur les équipements et les pièces et pour valider de l'information. Tous ces gens ont ainsi permis à l'entreprise et à l'auteure de mener à terme le mandat.

### **1.5 Structure du mémoire**

Le chapitre 1 présente un survol de ce qui a été écrit dans la littérature sur la maintenance en général et plus spécifiquement sur les pratiques qui se font actuellement pour identifier les pièces de rechange critiques ou les équipements critiques. Le chapitre 2 propose une méthode globale de gestion des pièces de rechange qui établit d'abord les équipements critiques et ensuite, les pièces de rechange critiques de ces équipements. Ce chapitre aborde également les règles de gestion pour gérer efficacement les pièces de rechange. Dans le chapitre 3, la validation de la méthode est décrite et les résultats sont présentés. Finalement, le chapitre 4 conclut en distinguant les contributions que cette méthode apporte à la littérature et propose des pistes de travaux futurs.

## CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE

### 2.1 Introduction

Le présent chapitre présente en premier lieu les différentes revues de littérature parues à ce jour sur le sujet concerné. En deuxième lieu, un aperçu sur la gestion des pièces de rechange est fait pour nous amener vers la définition des termes « critique » et « niveau de criticité ». Les deux sections suivantes mettent en relief les différents auteurs qui ont abordé le concept de pièces de rechange critiques et d'équipements critiques ainsi que le concept de critères de criticité. Ensuite, les avantages et désavantages des approches monocritère et multicritère seront étudiés. L'avant-dernière portion du chapitre est consacrée aux différentes méthodes proposées dans la littérature et la dernière partie traite de l'importance d'avoir une bonne documentation des équipements et des pièces de rechange en maintenance. Le tout se termine par une brève conclusion sur l'ensemble de la littérature.

On peut constater qu'il y a dans la littérature des éléments se rapportant au sujet traité mais qu'il n'y a pas un tout qui présente une méthode structurée pour déterminer les équipements critiques, les pièces de rechange critiques ainsi que les règles de gestion de ces pièces de rechange.

### 2.2 Revues de littérature

La maintenance est un domaine de recherche qui a été et qui est toujours étudié par plusieurs auteurs, sous différentes facettes. Quatre revues de la littérature ont été inventoriées.

La plus récente est celle de Kennedy et al. [2002]. Les auteurs donnent une mise à jour des différentes discussions sur les stocks de maintenance. L'état de l'art est divisé selon

plusieurs sujets comme les politiques de maintenance, l'âge de remplacement des pièces, les pièces désuètes, les pièces réparables, etc. Les méthodes proposées par les auteurs sur ces sujets sont brièvement présentées. Selon Kennedy et al [2002], deux revues de littérature ont été publiées avant la leur, soit celles de Pierskalla et Voelker [1976] et de Nahmias [1981].

La deuxième, celle de Pierskalla et Voelker [1976] est un sondage général sur les différents modèles en maintenance avec une brève discussion sur les modèles concernant la gestion des stocks. Cette revue de littérature est une mise à jour de ce qui a été fait dans le domaine depuis l'ouvrage réalisé par McCall [1965] et le livre sur la fiabilité écrit par Barlow et Prochan [1965].

La troisième revue de littérature, écrite par Nahmias [1981], résume la littérature sur la gestion des stocks lorsque les items peuvent être réparés. Aucune discussion concernant les pièces de rechange n'est abordée.

Une quatrième revue de littérature a été répertoriée, celle écrite par Dekker et Scarf [1998]. Elle discute principalement de l'impact des modèles d'optimisation dans les décisions en maintenance et aucune discussion concernant les pièces de rechange n'est abordée.

Comme l'ont noté Kennedy et al. [2002] dans leur état de l'art, aucun des ouvrages précédents ne s'est concentré sur les stocks de pièces de rechange en maintenance. Kennedy et al. [2002] ont approfondi ce sujet sans toutefois traiter du présent sujet : Comment sélectionner les pièces de rechange de maintenance à conserver en stock ?

### 2.3 Gestion des pièces de rechange

Selon Gajpal et al. [1994], la plupart des auteurs qui se sont intéressés jusqu'ici aux stocks de pièces de rechange se sont limités à la détermination des points de réapprovisionnement et des quantités à commander. Mais ils ont ciblé qu'un des besoins en maintenance était d'évaluer et de spécifier la criticité des pièces de rechange en stock pour garder en tête l'usage spécifique des pièces de rechange.

Selon Huiskonen [2001], les recherches sur les pièces de rechange portent principalement sur des modèles de gestion des stocks. Peu d'attention a encore été portée sur les caractéristiques de ces pièces de rechange. Huiskonen [2001] propose une méthode pour gérer les pièces de rechange de façon réaliste en entreprise. Cette méthode permet d'avoir une meilleure compréhension des différents types de contrôle des pièces de rechange selon différentes caractéristiques de contrôle opérationnel. Une bonne classification des pièces de rechange permettrait d'atteindre le principal objectif de tout système de gestion des stocks : avoir un niveau de service satisfaisant avec un minimum d'investissement en pièces de rechange et en coût administratif.

Des auteurs comme Huiskonen [2001] et Kennedy et al. [2002] reprochent le fait que, par le passé, les pièces de rechange étaient gérées comme les autres types de pièces. Janne Huiskonen [2001] a remarqué que, dans la littérature, la gestion des pièces de rechange est souvent considérée comme un cas spécial de la gestion des stocks avec quelques caractéristiques particulières, comme une demande très faible. Selon Kennedy et al. [2002], les pièces de rechange ne sont pas des produits en cours ou des produits finis qui seront vendus à des clients. Les politiques qui gouvernent les pièces de rechange devraient donc être différentes des celles qui gouvernent les autres types de stocks. Le tableau 2.1 permet de constater comment la gestion des pièces de rechange est en étroite relation avec la gestion des équipements.

Tableau 2.1 : Lien entre pièces de rechange - équipements

TYPE	PRODUITS EN COURS	PRODUITS FINIS	PIÈCES DE RECHANGE
<b>FONCTION</b>	Amoinrir les irrégularités du flot de production	Apporter une source de produits à livrer rapidement aux clients	Assister les employés de maintenance à garder l'équipement dans une condition opérationnelle
<b>POLITIQUES DE GESTION</b>	Cet inventaire peut augmenter ou diminuer selon la variation : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Du taux de production</li> <li>• De l'horaire de production</li> <li>• Des temps de mises en course</li> <li>• Du niveau de qualité</li> <li>• Etc.</li> </ul>	Mêmes politiques que pour les produits en cours	Étroitement liées à comment l'équipement est utilisé et comment il est maintenu
Tiré de : Kennedy et al. [2002]			

Les auteurs Dekker et al. [1998] ont été surpris de voir à quel point la criticité des équipements jouait un rôle mineur, autant en théorie qu'en pratique, dans la détermination des niveaux de stocks.

## 2.4 Définitions

Cette section présente différentes définitions retrouvées dans la littérature. Les termes pièces de rechange critiques, pièces de sécurité, équipements critique, criticité et niveaux de criticité seront définis.

Geurts et Moonen [1992] définissent une pièce de rechange critique ainsi : « C'est une pièce unique à l'équipement et essentielle à son opération ». Ils complètent leur

définition en ajoutant qu'une pièce de rechange critique peut être une pièce qui est dispendieuse, qui peut ne pas être utilisée durant la vie utile de l'équipement, mais qui vaut la peine d'avoir en stock vu les coûts associés à une panne éventuelle.

Il y a également Lyonnet [1988] qui propose une définition de « pièce de sécurité » , traduction française de « insurance parts ». Ces pièces de sécurité sont des pièces vitales pour l'entreprise qui interdit le risque de ne pas en disposer en cas de besoin. L'auteur estime qu'elles représentent 5% des stocks.

Dekker et al. [1998] ont quant à eux défini un équipement critique : « C'est un équipement important pour soutenir la production de façon sécuritaire et efficiente. »

Quant à Barry [1994], p. 281, il définit le mot « critique » comme suit:

« In the context of this paper, the designation « critical » is used to differentiate that which is vital to the prevention of a major event such as an uncontrolled emission, fire or explosion that poses serious danger to people, property or the environment. »<sup>2</sup>

On retrouve dans sa définition les critères de sécurité et d'environnement qui entourent la criticité d'un équipement. Ce ne sont pas les seuls critères qui font qu'un équipement est critique selon la littérature. Les principaux critères d'un équipement et d'une pièce critique seront présentés dans une section ultérieure.

Stoneham [1998] dans « The maintenance management and technology handbook » , définit la criticité selon le standard international BS 5760 comme « une combinaison de la sévérité et de la probabilité d'occurrence » .

---

<sup>2</sup> Traduction libre de l'auteur : Dans le contexte de cet article, la désignation du terme « critique » est utilisée pour différencier ce qui est vital pour la prévention d'un événement majeur comme une émission incontrôlée, un feu ou une explosion qui pourrait poser de sérieux dangers aux personnes, à la propriété et aux équipements ou à l'environnement.

Huiskonen [2001] définit la criticité d'une pièce comme ceci : « La criticité d'une pièce est en relation avec les conséquences causées par la défectuosité de cette pièce sur le processus de production dans le cas où la pièce n'est pas disponible à être installée immédiatement. »

Dekker et al. [1998] donnent une définition et un exemple de niveau de criticité. « Le niveau de criticité est fonction de l'utilisation de l'équipement et non de l'équipement lui-même ». Par exemple, une même sorte de pompe peut être considérée critique dans un département et pas dans un autre.

Retailleau et Turcotte [1999] utilisent plutôt le terme « criticité d'un équipement » pour évaluer l'importance de chaque équipement les uns par rapport aux autres. Ce terme a toutefois la même signification que Dekker et al. [1998] lorsqu'ils parlent de niveau de criticité.

Certains auteurs ont proposé une classification de niveaux de criticité, autant pour les pièces de rechange critiques que pour les équipements critiques. Ces classifications seront présentées ultérieurement. On entend ici par niveau de criticité l'importance d'un équipement critique ou d'une pièce critique par rapport à un autre.

En résumé, le terme criticité est utilisé pour déterminer si la pièce ou l'équipement est critique ou non. Le terme critique s'applique lorsqu'une pièce ou un équipement est considéré vital pour l'entreprise, ce qui interdit le risque de ne pas en disposer en cas de besoin. Par contre, il peut y avoir différents niveaux de criticité d'une pièce ou d'un équipement selon l'ampleur de l'importance de cette pièce ou équipement par rapport aux autres.

## 2.5 Équipements critiques et pièces de rechange critiques

En 1994, selon les auteurs Gajpal et al. [1994], il n'y a rien dans la littérature (anglo-saxonne) qui démontre que des chercheurs se sont penchés spécifiquement sur une méthode systématique et structurée d'évaluation de la criticité des équipements.

Cependant, en 1992, Yves Lavina proposait la méthode PIEU permettant d'établir la criticité d'un équipement à partir d'une matrice proposant différents critères tels que l'incidence de la panne sur les aspects économique, technique, environnemental et sécuritaire (P), l'importance de l'équipement pour la production (I), l'état de l'équipement (E) et le taux d'utilisation de l'équipement (U).

Depuis, quelques auteurs ont approfondi le concept de criticité des pièces de rechange et des équipements.

Chelbi et Aït-Kadi [2002] soulignent que la stratégie de base en maintenance veut que l'on remplace les pièces de rechange en cas de défectuosité ou à des périodes prédéterminées. Cependant, cette stratégie assume que toutes les ressources requises pour effectuer les remplacements sont disponibles immédiatement pour n'avoir aucun délai de production. Cette situation n'est pas nécessairement souhaitable pour tous les types de pièces de rechange étant donné le coût associé à ce choix. C'est pourquoi des auteurs comme Flores et al. [1988], Gajpal et al. [1994], Silver et al. [1998], Dekker et al. [1996], Huiskonen se sont penchés sur le fait en s'intéressant au concept de criticité des pièces de rechange.

Chelbi et Aït-Kadi [2001] affirment également que l'ordre d'assignation des différents bons de travail, correctifs ou préventifs, doit tenir compte des caractéristiques et de l'importance dudit équipement dans le système de production, surtout lorsque les équipements à entretenir sont en compétition par rapport à une ou plusieurs ressources.

Pour ce faire, il faut cependant savoir l'importance des équipements les uns par rapport aux autres. C'est pourquoi d'autres auteurs comme Lavina [1992], Ciliberti [1996], Stoneham [1998], Labib et al. [1998], Lavina et Perruche [1998], Retailleau et Turcotte [1999] et Huiskonen [2001] ont plutôt débuté leur recherche à partir du concept de criticité de l'équipement.

Cependant, à la lumière des éléments recueillis, aucun auteur n'a encore combiné les concepts des pièces de rechange critiques et d'équipements critiques jusqu'au point de développer une méthode permettant à une entreprise de développer et d'implanter cette méthode de façon réaliste pour différents types de pièces de rechange.

De plus, Chelbi et Aït-Kadi [2001] écrivent que l'élaboration du contenu des interventions de maintenance et la planification des ressources nécessaires aux travaux doivent tenir compte des caractéristiques et de l'importance des équipements dans le système de production. Mais une question se posait : « Quelle est la priorité de chaque équipement ? » Pour y répondre, les auteurs précédents se sont penchés sur une façon de déterminer cette criticité en développant une méthode pour classifier les équipements par ordre de priorité pour la maintenance en considérant un ensemble de critères.

Selon Labib et al. [1998], on ne devrait pas déterminer la criticité d'un équipement selon le fait qu'il reçoit plusieurs appels de maintenance. Peut-être que cet équipement n'est pas critique et ne vaut pas la peine qu'on s'y attarde trop ou y investisse trop d'argent. On ne devrait donc pas se demander : « Comment cet équipement précis pourrait être utilisé plus efficacement » mais plutôt : « Quel équipement devrait-on améliorer et comment ? ». On doit donc commencer par « faire la bonne chose » et ensuite seulement, « faire cette chose bien » .

## **2.6 Critères de criticité et notion de niveaux de criticité**

Pour « faire la bonne chose » , il faut d’abord déterminer ce que l’on veut évaluer. Plusieurs auteurs dans le domaine font référence aux termes « équipements critiques » ou « pièces de rechange critiques » mais sans mentionner comment ils sont arrivés à déterminer cette criticité. Par contre, d’autres auteurs ont élaboré divers critères de criticité pour les pièces de rechange et les équipements.

Certains auteurs ont également exploré la notion de niveaux de criticité en proposant une forme de classification des équipements et/ou des pièces de rechange une fois qu’ils ont été soumis aux critères de criticité.

Vous retrouverez dans les prochaines lignes une synthèse de ce que l’on retrouve dans la littérature sur les critères de criticité des équipements et leur niveau de criticité et ensuite sur les critères de criticité des pièces de rechange et leur niveau de criticité.

## **2.7 Critères de criticité des équipements**

L’information retrouvée dans la littérature sur les critères de criticité des équipements a été synthétisée dans le tableau ci-dessous. Pour ceux et celles intéressés à avoir les détails de cette analyse, vous trouverez l’information brute à l’annexe 1.

Tableau 2.2 : Synthèse des critères de criticité des équipements

<u>ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE</u>	
<b>NOMBRE D'ARTICLES RETRACÉS</b>	8 articles
<b>ANNÉES DE PARUTION</b>	Entre 1992 et 2001
<b>AUTEURS</b>	Lavina [1992]
	Ciliberti [1996]
	Labib et al.[1998]
	Lavina et Perruche [1998]
	Stoneham [1998]
	Retailleau et Turcotte [1999]
	Chelbi et Aït-Kadi [2001]
	Huiskonen [2001]
<b>NOMBRE DE CRITÈRES RETRACÉS</b>	36
<b>ÉTENDUE DU NOMBRE DE CRITÈRES</b>	Entre 1 et 9 critères par article
<b>MOYENNE DU NOMBRE DE CRITÈRES</b>	5 critères

Parmi les 36 critères retrouvés dans la littérature, certains sont identiques mais formulés différemment et d'autres sont similaires. Pour faciliter la compréhension des différents critères, un exercice a été réalisé pour regrouper les grandes familles de critères. Cela a également permis d'identifier les critères les plus souvent cités.

Le regroupement global par famille de critères est également présenté à l'annexe 1 .  
Ci-dessous, vous trouverez le tableau présentant un sommaire des différentes familles regroupées pour l'étude de ce projet.

Tableau 2.3 : Regroupement par familles de critères reliés aux équipements

<b>1. PRODUCTION</b>
Taux d'utilisation de l'équipement
Impact de la panne sur le processus
Existence d'une installation de secours
<b>2. MAINTENANCE</b>
Fréquence de la panne
État général de l'équipement
Coût de la maintenance
Pièces de rechange
Temps de réparation nécessaire
<b>3. QUALITÉ</b>
Impact sur la qualité
<b>4. GAMME</b>
Importance de la ligne de production dont fait partie l'équipement
<b>5. SANTÉ-SÉCURITÉ</b>
Impact sur la santé
Impact sur la sécurité
<b>6. ENVIRONNEMENT</b>
Impact sur l'environnement

## 2.8 Niveaux de criticité des équipements

Certains auteurs proposent une suite logique à l'application de leurs critères. Après l'étape d'évaluation des équipements en fonction des critères établis, ils classent les équipements en fonction de leur criticité, ce qu'on appellera niveau de criticité. Les deux prochains tableaux présentent une synthèse des informations retrouvées à ce sujet dans la littérature et les classifications de niveaux de criticité. L'information complète est disponible à l'annexe 2.

Tableau 2.4 : Synthèse des classifications des équipements

<u>ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE</u>	
<b>NOMBRE D'ARTICLES RETRACÉS</b>	5 articles
<b>ANNÉES DE PARUTION</b>	Entre 1992 et 2001
<b>AUTEURS</b>	Lavina [1992]
	Dekker et al. [1996]
	Lavina et Perruche [1998]
	Huiskonen, J. [2001]
	Auteur inconnu
<b>NOMBRE DE CLASSIFICATIONS RETRACÉES</b>	15
<b>ÉTENDUE DU NOMBRE DE NIVEAUX DE CLASSIFICATION</b>	Entre 2 et 4 niveaux par articles
<b>MOYENNE DU NOMBRE DE NIVEAUX</b>	3 niveaux

Tableau 2.5 : Classification à trois niveaux de criticité des équipements

<b>ÉQUIPEMENT VITAL (OU SUPER CRITIQUE OU DEGRÉ 1 OU CRITIQUE)</b>
Un équipement vital peut être considéré comme un équipement dont l'effet de la panne ne peut pas être toléré
<b>ÉQUIPEMENT ESSENTIEL (OU CRITIQUE OU DEGRÉ 2)</b>
Un équipement essentiel peut être considéré comme un équipement dont l'effet de la panne peut être toléré avec des arrangements temporaires
<b>ÉQUIPEMENT AUXILIAIRE (OU ORDINAIRE OU DEGRÉ 3 OU BANAL OU NON-CRITIQUE)</b>
Un équipement auxiliaire peut être considéré comme un équipement dont l'effet de la panne peut être toléré
*** Les définitions proviennent de Dekker et al. [1996]
<i>En italique : Autres terminologies utilisées par les auteurs cités dans le tableau 2.4</i>

## 2.9 Critères de criticité des pièces de rechange

L'information retrouvée dans la littérature sur les critères de criticité des pièces de rechange a été synthétisée dans le tableau ci-dessous. Pour ceux et celles intéressés à avoir les détails de cette analyse, vous trouverez l'information brute à l'annexe 3.

Tableau 2.6 : Synthèse des critères de criticité des pièces de rechange

<u>ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE</u>	<u>DESCRIPTION</u>
NOMBRE D'ARTICLES RETRACÉS	8 articles
ANNÉES DE PARUTION	Entre 1984 et 2001

Tableau 2.6 : Synthèse des critères de criticité des pièces de rechange (suite)

<u>ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE</u>	<u>DESCRIPTION</u>
<b>AUTEURS</b>	Boucly et Agus [1984]
	Flores et al. [1988]
	Geurts et Moonen [1992]
	Gaspal et al. [1994]
	Partovi et Hopton [1994]
	Silver et al. [1998]
	Chelbi et Aït-Kadi [2001]
	Huiskonen, J. [2001]
<b>NOMBRE DE CRITÈRES RETRACÉS</b>	34
<b>ÉTENDUE DU NOMBRE DE CRITÈRES</b>	Entre 1 et 14 critères par articles
<b>MOYENNE DU NOMBRE DE CRITÈRES</b>	4 critères

Parmi les 34 critères retrouvés dans la littérature, certains sont identiques mais formulés différemment et d'autres sont similaires. Pour faciliter la compréhension des différents critères, un exercice a été réalisé pour regrouper les grandes familles de critères. Cela a également permis d'identifier les critères les plus souvent cités.

Le regroupement global par familles de critères est également présenté à l'annexe 3. Ci-dessous, vous trouverez le tableau présentant un sommaire des huit différentes familles regroupées pour l'étude de ce projet.

Tableau 2.7 : Regroupement par familles de critères reliés aux pièces de rechange

<b>Critères reliés aux pièces de rechange</b>
1. Criticité de la pièce sur la production
2. Caractéristiques de la pièce
3. Quantité de pièces consommées
4. Valeur de la pièce de rechange
5. Coût de remplacement (en cas de panne ou mesure préventive)
6. Autres coûts à considérer (ex : coût engendré par commande, coût de stockage, ...)
7. Périodes à considérer (ex : délai de réapprovisionnement, point de commande, ...)
8. Probabilités diverses (ex : durée de vie des pièces, taux de défektivité, ...)

### 2.10 Niveaux de criticité des pièces de rechange

Certains auteurs proposent une suite logique à l'application de leurs critères. Après l'étape d'évaluation des pièces de rechange en fonction des critères établis, ils classent les pièces de rechange en fonction de leur criticité, ce qu'on appellera niveau de criticité. Les deux prochains tableaux présentent une synthèse des informations à ce sujet. L'information complète est disponible à l'annexe 4.

Tableau 2.8 : Synthèse des classifications des pièces de rechange

<u>ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE</u>	<u>DESCRIPTION</u>
<b>NOMBRE D'AUTEURS RETRACÉS</b>	3 auteurs
<b>ANNÉES DE PARUTION</b>	Entre 1988 et 1998

Tableau 2.8 : Synthèse des classifications des pièces de rechange (suite)

<u>ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE</u>	<u>DESCRIPTION</u>
AUTEURS	Flores et al. [1988]
	Gaspal et al. [1994]
	Silver et al. [1998]
NOMBRE DE CLASSIFICATIONS RETRACÉES	10
ÉTENDUE DU NOMBRE DE NIVEAUX DE CLASSIFICATION	Entre 3 et 4 niveaux par auteurs
MOYENNE DU NOMBRE DE NIVEAUX	3 niveaux

Tableau 2.9 : Classification à quatre niveaux de criticité des pièces de rechange

<b>PIÈCE VITALE (OU TYPE A OU TYPE AA)</b>
C'est une pièce qui, lors d'une rupture de pièce, causerait de grandes pertes financières et/ou de production***
<b>PIÈCE ESSENTIELLE (OU TYPE B OU TYPE BB)</b>
C'est une pièce qui, lors d'une rupture de pièce, causerait des pertes financières et/ou de production modérées***
<b>PIÈCE DÉSIRABLE (OU TYPE C OU TYPE CC)</b>
C'est une pièce qui, lors d'une rupture de pièce, causerait des pertes financières et/ou de production mineures mais qui à courte échéance, pourrait amener des pertes plus importantes***
<b>PIÈCE DÉSUÈTE (OU TYPE DD)</b>
<i>(Aucune définition proposée par l'auteur)</i>
*** Définitions de Gaspal et al.. [1994]
<i>En italique : Autres terminologies utilisées par les auteurs cités dans le tableau 2.8</i>

L'analyse précédente permet de constater que, dans la littérature, certains auteurs se sont penchés plus spécifiquement sur la notion d'équipements critiques ou de pièces de

rechange critiques en élaborant des critères précis ainsi que sur le concept de niveaux de criticité en établissant une classification pour déterminer le niveau d'importance de l'équipement.

### **2.11 Approches mathématiques et multicritère**

Diverses approches ont été utilisées par différents auteurs, certaines mathématiques, d'autres plus qualitatives.

D'un côté, une grande variété de modèles mathématiques ont été développés pour résoudre des problèmes de fiabilité en maintenance et de gestion des pièces de rechange. Entre autre, la revue d'état de l'art écrit par Kennedy et al. [2002] décrit bien plusieurs sujets abordés dans le domaine, comme les caractéristiques des pièces de rechange, les « repair kit », les stratégies de remplacement des pièces, les coût de rupture de stock, la désuétude des pièces, la localisation des pièces dans un site multi-entrepôt (« multi-échelon »), etc, mais sans toutefois parler de la façon de déterminer les pièces de rechange en maintenance en fonction de la criticité des équipements de production.

D'un autre côté, des approches dites qualitatives ont également été développées. Ces approches prônent l'utilisation de critères multiples (approche multicritère) contrairement à la plupart des approches mathématiques qui sont à critère unique (approche monocritère).

En ce qui concerne la criticité d'un équipement, certains auteurs tels que Lavina et Perruche [1998], Labib et al.[1998] et Chelbi et Aït-Kadi [2001], ont utilisé des critères quantitatifs tandis que Lavina [1992], Ciliberti [1996], Lavina et Perruche [1998], Retailleau et Turcotte [1999] et Chelbi et Aït-Kadi [2001] ont utilisé des critères qualitatifs. Quant à lui, Stoneham [1998] propose une approche pour déterminer la

criticité d'un équipement mais sans donner de façon précise comment évaluer les critères proposés .

En ce qui concerne la criticité d'une pièce de rechange, certains auteurs tels que Flores et al. [1988], Silver et al. [1998] et Chelbi et Aït-Kadi [2001] ont utilisé des critères quantitatifs tandis que Gajpal et al. [1994] ont utilisé des critères qualitatifs et Flores et al. [1988] et Huiskonen [2001] proposent des approches pour déterminer la criticité d'une pièce de rechange mais sans donner de façon précise comment évaluer les critères proposés.

Chelbi et Ait-Kadi [2001] ont écrit que les applications de l'approche multicritère retiennent de plus en plus l'attention des chercheurs et des praticiens à cause des limites des méthodes monocritère. Huiskonen [2001] souligne que les modèles mathématiques actuels sont difficilement applicables dans la réalité de tous les jours. Elle s'explique en affirmant que lorsqu'on relaxe les hypothèses d'un modèle pour le rendre plus réaliste, on augmente encore plus la complexité du modèle et on le rend plus difficile à comprendre et à appliquer pour le gestionnaire. De plus, Gajpal et al. [1994] ont écrit que l'analyse de la criticité par des méthodes seulement quantitatives est difficile et problématique, sans toutefois spécifier clairement son point de vue. Dans le même ordre d'idée, Alain Scharlig [1985] a écrit : «...une raison concrète pour laquelle l'optimisation « ne marche pas » en gestion, c'est qu'elle est par essence monocritère alors que la réalité est multicritère... ».

Selon les auteurs Gajpal et al. [1994], les modèles proposés dans la littérature font des hypothèses/suppositions qui ne reflètent pas toujours la vie « réelle » d'une usine. Dekker et al. [1996] admettent eux-mêmes dans leur conclusion qu'un inconvénient de leur méthode est qu'elle est trop complexe actuellement pour être appliquée de façon pratique en industrie.

Comme le souligne Labib et al. [1998], plusieurs départements interagissent avec la maintenance, comme la production, la finance, la qualité. Ces gens doivent gérer leur département avec des objectifs qui sont souvent conflictuels entre chaque département.

Par exemple, le point de vue de chaque département en fonction de la criticité :

- Maintenance = les machines ayant le plus grand nombre d'appel;
- Production = les machines qui brisent pour le plus longtemps;
- Finance = les machines qui coûtent le plus cher en pièces de rechange;
- Qualité = les machines qui produisent le plus de rebuts.

Ainsi, l'utilisation d'une méthode multicritère permet de tenir compte des objectifs de chacun.

De leur côté, Petrovic et al. [1990] soulignent que les données étant souvent incomplètes, inconsistantes, imprécises et incertaines dans un « vrai » système de stock de pièces de rechange qu'il est difficile, voire même impossible, de décrire le système par un modèle mathématique. Ils en viennent donc à la conclusion que pour déterminer les pièces de rechange, on doit se baser sur l'expertise et la connaissance des gens tout en combinant des données conventionnelles.

Selon Huiskonen [2001], même si les modèles permettent de faire de puissantes analyses, il n'en reste pas moins que l'on doit encore choisir les paramètres que le modèle va contrôler, prendre des décisions d'approvisionnement et penser aux différentes politiques pour différents types de pièces. Pour ce genre de décisions, la classification des pièces de rechange est plus importante que jamais.

Quant à elle, la revue de littérature de Dekker et Scarf [1998] fait état des avantages et des inconvénients d'utiliser une approche qualitative plutôt qu'une approche quantitative et inversement. Selon ces auteurs, le coût associé aux modèles d'optimisation est

souvent élevé. De plus, les modèles mathématiques sont difficilement opérationnels dus à leur complexité et aux données souvent manquantes dans l'entreprise. Par contre, les entreprises ont avantage à mieux structurer leur information. Dans ces circonstances, les méthodes qualitatives ont un rôle important à jouer. Cependant, les modèles d'optimisation peuvent offrir beaucoup plus que les modèles qualitatifs de part leur possibilité d'analyse de causes à effets ou leur simulation. C'est pourquoi les auteurs proposent comme conclusion de leur revue de littérature de s'attarder davantage dans le futur sur des méthodes qui pourront intégrer les approches quantitative et qualitative, comme le RCM (Reliability centred maintenance).

## **2.12 « Reliability Centred Maintenance » (RCM)**

Le RCM est une méthode structurée pour déterminer les besoins en maintenance pour des systèmes complexes. Selon Dekker et Scarf [1998], cette méthode est dérivée de l'approche utilisée dans les années 60 pour la maintenance aéronautique. À l'aide de cette méthode, la maintenance est basée sur l'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et sur les moyens de les prévenir. Cette méthode combine le quantitatif et le qualitatif. Dekker et Scarf [1998] sont d'opinion que le RCM est une technique utile pour structurer la maintenance et, lorsque c'est approprié, une optimisation peut être faite. Cependant, cette méthode est très technique et demande beaucoup d'information au sujet de l'équipement, de sa fiabilité, de son historique pour pouvoir analyser et prévenir les défaillances. Si un historique fiable n'est pas déjà en place sur les types de défaillances et leurs causes, cette méthode est longue à mettre sur pied avant d'être efficace. Mais une fois en place, elle permet de prévenir les défaillances. Elle ne permet pas de savoir quelle pièce conserver en stock, mais en sachant les équipements les plus problématiques ou les plus susceptibles d'être défaillants, cela donne une bonne indication sur les pièces de rechange qu'il faudrait conserver.

### 2.13 « Reliability-Centred Spares » (RCS)

L'organisation Infoscience [[www.infoscience.ca.uk/rcspaper.htm](http://www.infoscience.ca.uk/rcspaper.htm)] publie un article sur une méthode dérivée du RCM (Reliability-centered maintenance), le RCS (Reliability-centred Spares). On présente le RCS comme une méthode rationnelle pour déterminer le niveau de stock de pièces de rechange nécessaire pour supporter la maintenance et les opérations de production. On mentionne que le RCS détermine le niveau de stock de pièces de rechange à garder mais pas en se basant sur les recommandations des manufacturiers, ni sur un jugement subjectif de niveau de service mais selon les besoins des équipements et des opérations de maintenance que les stocks supportent. On mentionne dans l'article qu'il est donc essentiel de conserver les stocks adéquats pour couvrir la maintenance planifiée et non-planifiée. Mais quel est ce stock adéquat ? Le texte n'est malheureusement pas explicite à ce sujet.

### 2.14 AMDEC et « FMECA »

L'AMDEC est un acronyme signifiant l'Analyse des Modes de Défaillances, de leur Effets et leur Criticité. L'AMDEC provient d'un outil développé par l'armée américaine en 1949, le FMECA (Failure Mode and Effets Criticality Analysis) (MIL-STD-1629). Dans les années 50-60, la NASA a perfectionné l'outil. Le but de l'AMDEC est d'étudier, d'identifier, de prévenir et de réduire les risques de défaillances d'un système, d'un processus, d'un produit ou d'un équipement. L'AMDEC est une technique de prévention des problèmes potentiels en cherchant à éliminer les causes probables de défaillances qui peuvent survenir.

L'AMDEC repose sur un indice de criticité qui est composé comme ceci :

***Indice de criticité***

$$C = G \times O \times D$$

**G** = Gravité de l'effet

**O** = Probabilité d'occurrence / fréquence d'apparition

**D** = Probabilité de non-détection / risque de ne pas détecter la défaillance

Ainsi, en tenant compte de l'effet de gravité que peut avoir une défaillance d'un équipement ou d'une composante d'équipement, de la probabilité d'occurrence de cette défaillance et également de la probabilité de non-détection de cette défaillance, on peut établir un indice de criticité qui aide à prioriser la criticité d'un équipement ou d'une composante d'équipement. En 1988, la norme ISO faisait référence à cette méthode et QS9000 a pleinement appliqué cette méthode. Pour réaliser un tel exercice, des informations précises doivent être disponibles sur les équipements ainsi qu'un historique fiable.

## **2.15 MAFMA**

Braglia [2000], discute plutôt de la méthode MAFMA pour « Multi-Attribute failure mode analysis ». Cette méthode ressemble beaucoup à l'AMDEC mais utilise la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) en complément (combinaison de critères quantitatifs et qualitatifs) pour arriver à MAFMA. Les effets de chaque cause de défektivité sont évalués en fonction de :

### **4 critères de performance**

- Probabilité de défektivité
- Probabilité de non-détection de cette défektivité
- Gravité de la défektivité
- Coûts (approximatifs) engendrés par la défektivité

## 2.16 Méthode de hiérarchie multicritère ou « Analytical Hierarchy Process » (AHP)

Lorsque l'on fait référence à des méthodes multicritères, on fait généralement appel à la méthode AHP (Analytical hierarchy process) ou à une méthode similaire. La méthode AHP aide à résoudre des problématiques en utilisant plusieurs critères de décision plutôt qu'un critère unique. Cette méthode a été développée par M. Thomas L. Saaty. Il a entre autre publié un livre en 1982, intitulé "Decision making for leaders : The analytical hierarchy process for decisions in a complex world", expliquant l'approche AHP et il a plusieurs autres publications à son actif. Plusieurs autres auteurs ont repris l'essence de cette approche comme fondement de leur recherche. La méthode AHP peut se résumer en 3 principes: faire une hiérarchie du problème, déterminer les priorités et être consistant dans la logique des choix.

Cette méthode a comme avantage d'être applicable dans la plupart des domaines puisqu'il s'agit d'une matrice de décision. Par contre, elle a le désavantage d'être très générale. Aucun critère spécifique n'est présenté pour évaluer les pièces de rechange en maintenance. Il s'agit simplement d'une méthode de prise de décision une fois les critères élaborés. De plus, cette méthode peut être lourde à appliquer s'il y a plusieurs critères car il y a une comparaison entre chaque paire de critères. Par contre, cela amène une grande fiabilité des décisions obtenues. Des chercheurs comme Ramadhan et al. [1999], Gajpal et al. [1994], Barry [1994], Partovi et al. [1994], Labib [1998], ont utilisé ce type de méthode. Pour de plus amples renseignements sur cette méthode, consultez Saaty [1982].

Il y a aussi d'autres types d'approches multicritères qui ont été développées par des auteurs tels que Flores et al. [1988], Chelbi et Aït-Kadi [2001] mais qui n'utilisent pas les principes de la méthode AHP. Ces méthodes seront décrites dans la section « Méthodes existantes » .

Chelbi et Aït-Kadi [2001] ont remarqué que l'approche multicritère se retrouve dans la littérature entre autre dans des domaines comme le choix des équipements, l'aménagement, la sélection des sous-traitants, la planification de la production, la gestion de projets et l'ordonnancement, la gestion des stocks, le contrôle de la qualité, la maintenance, etc.

Il y a également dans la littérature des articles qui sont écrits concernant une problématique industrielle et qui répondent à un besoin précis d'une industrie. Par exemple, on peut noter des problématiques de pièces de rechange dans l'industrie pétrochimique (Dekker et al. [1996]), l'industrie automobile (Labib [1998]), dans le pavage des routes (Ramadhan et al. [1999]), etc.

### **2.17 Théorie de l'utilité multiattribut (MAUT)**

Edwards et Von Winterfeldt [1986], dans leur livre « Decision analysis and behavioural research », présente la méthode MAUT (multiattribute utility theory), considérée comme une méthode multicritère. C'est une méthode pour faciliter la mesure et les décisions dans les cas complexes où plusieurs critères sont en jeux. Les auteurs présentent un exemple concret avec un arbre de valeur des critères pour en faire une pondération et les grilles finales d'évaluation et de décisions. Cette méthode est très bien pour prendre une décision avec plusieurs critères. Par contre, lorsqu'on fait face à une situation où plusieurs critères sont égaux, la méthode perd de son efficacité à cause de l'ampleur du temps qu'elle prend. Roy [1985] et Vincke [1989] ont également utilisé cette méthode. Selon Vincke [1989] cette méthode est essentiellement d'inspiration anglo-saxonne et est largement utilisée aux Etats-Unis. Ils réfèrent les lecteurs intéressés aux excellents livres de Fishburn [1970] et Keeney et Raiffa [1976].

## 2.18 Classification ABC

Comme le souligne Huiskonen [2001], le modèle ABC est bien connu dans la littérature. Il a l'avantage d'être simple à analyser mais l'inconvénient, vu sa simplicité, de prendre un seul élément en considération. Il peut s'agir du coût de la pièce ou de son taux de roulement. Cette simplicité a poussé les chercheurs à suggérer différents types de classifications multi-dimensionnelles pour la gestion des pièces de rechange.

Partovi et Hopton [1994] tout comme Flores et al. [1988] ont défini une méthode à partir de la méthode ABC pour tenir compte également de la criticité des pièces. Pour Flores et al. [1988], la première étape était de classer les pièces selon leur criticité et la deuxième étape, de combiner la criticité des pièces avec le critère ABC (ratio Dollar-Usage) pour déterminer leur rang dans la classification ABC. Flores et al. [1988] mentionnent qu'il y a peu de références dans la littérature au sujet de la méthode ABC qui font le lien avec la notion de criticité des pièces.

La classification ABC des pièces est généralement basée sur un seul critère de décision. Par contre, en jumelant la notion de criticité des pièces à la classification ABC, on permet à cette méthode d'évaluation de passer de méthode à critère unique à une méthode multicritère.

Pour plusieurs items, il y a d'autres critères qui pourraient être importants à considérer et parfois même plus importants que la quantité ou le coût de la pièce. Par exemple, Partovi et Hopton [1994] et Flores et al. [1988] proposent la disponibilité de l'approvisionnement, le taux de désuétude, l'impact d'une rupture de stock sur la production, etc.

L'article de Flores et al. [1988] traite du besoin d'utiliser des critères multiples pour faire une bonne classification de la criticité des pièces et également, ils mentionnent le

manque de règles quant à l'utilisation des pièces une fois la classification établie. Par exemple, les auteurs dénoncent l'utilisation banale de phrase comme : « Gérer les pièces de type A de façon plus attentive » , « Passer moins de temps à gérer les pièces de type C » ... Mais en faisant quoi précisément ? Peu d'auteurs sont spécifiques sur comment on gère une pièce de type A, B ou C. Silver et al. [1998] présentent certaines règles de gestion pour la classification ABC. Flores et al. [1988] présentent quelques règles de gestion selon la classification mais tout au plus. La conclusion des essais en entreprises de services et manufacturières a été satisfaisante et la méthode est compréhensible par les superviseurs.

## **2.19 Méthodes existantes**

Comme il est mentionné précédemment, aucun auteur n'a encore développé un concept jusqu'au point de proposer une méthode permettant à une entreprise de développer et d'implanter une méthode réaliste afin de déterminer les équipements critiques et les pièces de rechange critiques d'une entreprise et les règles de gestion reliées à ces pièces de rechange. Par contre, voici une description sommaire des méthodes qui ont été développées jusqu'ici, soit en se concentrant sur la détermination des équipements critiques ou sur la détermination des pièces de rechange critiques.

### **2.19.1 Équipements critiques**

Ciliberti [1996] affirme qu'il est de plus en plus difficile d'implanter des programmes de maintenance d'envergure étant donné le personnel limité. Il devient donc important de déterminer les équipements critiques pour concentrer les efforts du personnel et les budgets là où c'est important pour l'entreprise. Il a donc développé une méthode permettant de maximiser la production et la qualité tout en demeurant concerné par l'impact sur la santé, la sécurité et l'environnement. On peut remarquer que Ciliberti [1996] a utilisé cinq critères de criticité pour élaborer sa méthode qui est bien structurée.

Ce sont de bons critères mais qui sont par contre très reliés au secteur de la pétrochimie. Ces critères ne sont donc pas transférables dans la plupart des entreprises, à moins de modifications. De plus, Ciliberti [1996] ne fait aucun lien avec les pièces de rechange.

Dekker et al. [1996] ont élaboré une méthode pour déterminer le niveau des stocks à partir de la criticité des équipements. Selon eux, la demande pour les pièces de rechange peut, dans certaines occasions, être classifiée selon une demande critique ou non-critique dépendamment de la criticité des équipements auxquels ils sont reliés. Cependant, ils partent simplement du fait qu'un équipement est critique ou non. Dekker et al. [2001] ainsi que Teunter et Klein [1999] ont développé des approches très similaires qui vont dans le même ordre d'idées. Ils n'élaborent pas sur la méthode d'identification des équipements critiques, mais ils font une relation directe entre un équipement critique et les pièces de rechange à conserver en stock. Dekker et al. [1996] font également une bonne classification des niveaux de criticité des équipements.

Lavina [1992] et Lavina et Perruche [1998] affirment que la première condition de maîtrise de la maintenance réside dans l'établissement d'un répertoire complet des équipements dans lequel sont repérés et identifiés sans ambiguïté ceux qui contribuent aux processus avec une incidence directe sur la qualité. Pour ce faire, ils proposent la méthode PIEU pour établir la criticité d'un équipement. P pour incidence des pannes, I pour importance, E pour état et U pour Taux d'utilisation. Ils ont présenté deux versions, l'une en 1992 et l'autre en 1998. Le principe de base demeure le même dans les deux méthodes. C'est simplement le façon de calculer le niveau de criticité d'un équipement qui a changé et le nombre de niveaux de classification de criticité qui est passé de 4 à 3. Cette méthode est relativement complète avec les quatre critères standard de criticité utilisés et la classification établie. Par contre, elle a un inconvénient majeur. L'équipement doit en premier lieu avoir une incidence sur la qualité du produit pour être considéré dans l'analyse. Sinon, il est éliminé. Ce qui limite donc plusieurs équipements de certaines entreprises. Par exemple, une entreprise voulant évaluer leur

équipement de transport, comme les chariots élévateurs, ne pourraient pas se servir de ce modèle tel quel. Également, on ne parle pas de relation avec les pièces de rechange critiques et la gestion de celles-ci.

Le modèle de Lavina et Perruche [1998] a servi de précurseur au modèle PEMSEQ développé par Retailleau et Turcotte [1999]. L'acronyme signifiant : P (Impact sur la production), E (État de l'équipement), M (Maintenabilité de l'équipement), S (Impact sur la sécurité), E (Impact sur l'environnement), Q (Impact sur la qualité). Selon les auteurs, l'analyse de criticité est la méthode pour orienter une politique de maintenance et se définir un degré de maintenance préventive adapté à la réalité de l'entreprise. Elle permet d'évaluer la criticité de chacun des équipements. Ce modèle a l'avantage d'être bien étoffé en terme de critères de criticité et également au niveau de sa classification de criticité. Par contre, il a entre autre l'inconvénient de ne pas décrire de façon précise la différence entre chaque niveau de criticité. Les auteurs utilisent des termes flous, comme par exemple « grave, moyen, faible », qui peuvent porter à confusion et laisser beaucoup de place à l'interprétation et donc à des résultats différents d'une personne à l'autre.

Chelbi et Aït-Kadi [2001] propose une méthode multicritère bien élaborée en 4 étapes simples pour classer les équipements par ordre de priorité pour la maintenance en considérant un ensemble de critères. À ce sujet, neuf critères sont utilisés, ce qui est tout de même le plus grand nombre de critères utilisés par les auteurs recensés et certains de ces critères sont assez complexes. De plus, l'analyse des équipements en fonction des critères se fait par une échelle de résultats de 1/3, 2/3 et 3/3. Toutefois, on ne sait pas exactement ce qu'est la différence entre chacune de ses notations. Il y a donc une grande place à l'interprétation. De plus, cette méthode a un avantage que les auteurs ont appelé « les conditions de non-admissibilité ». Par exemple, si un équipement est considéré un danger pour la sécurité, il devient automatiquement critique. Par contre, si deux équipements ont un tel statut, lequel devient prioritaire ??? Il y a donc une petite

lacune à ce sujet. Un des avantages de cette méthode réside dans le fait que l'auteur prévoit une façon de classer les équipements à partir de ces critères à l'aide d'information pertinente et de l'historique des équipements mais ils prévoient également une façon plus simple de classer les équipements si l'entreprise ne possède pas toute l'information nécessaire, comme c'est souvent le cas. Les auteurs ne font pas référence à la notion de criticité (seulement un rang de priorité pour chaque équipement ex : 1 à 15...). Également, il n'y a pas dans cette méthode un lien entre les équipements critiques et les pièces critiques. Finalement, la compilation des données est résolue à l'aide d'un logiciel informatique nommé PROMCALC. Ce logiciel a permis de faire des analyses de sensibilités et des tests de cohérence pour valider l'information sur les équipements mais demande toutefois une certaine connaissance du logiciel à l'interne et aussi sur les méthodes de surclassement de synthèse ce qui n'est pas nécessairement toujours évident.

Stoneham [1998] discute de différents sujets se rapportant aux pièces de rechange dans son « handbook » sur la maintenance. Une partie intéressante fait référence à certains critères de criticité des équipements. On y fait une distinction intéressante entre un équipement critique et un équipement dans une condition critique.

Labib et al. [1998] ont développé un système d'aide à la décision à l'aide de la méthode AHP. Leur démarche consiste en trois étapes : identifier les critères, prioriser les critères et finalement, définir la criticité des équipements. La démarche est bien structurée mais assez complexe et les critères sont très centrés sur la production. Cette méthode a l'avantage d'utiliser autant des critères quantitatifs que qualitatifs. Finalement, il n'y a pas de lien avec les pièces de rechange.

### 2.19.2 Pièces de rechange critiques

Huiskonen [2001] propose une méthode pour gérer les pièces de rechange de façon réaliste tout en tenant compte des caractéristiques particulières aux pièces de rechange. Des règles de gestion des pièces sont également abordées dans cet article. C'est la seule auteure qui a abordé ce point. Plusieurs points forts et certains points faibles sont à noter dans cet article. En premier lieu, quatre caractéristiques sont bien décrites pour déterminer les pièces critiques et elles sont schématisées dans un tableau convivial et simple à lire. En deuxième lieu, cet article met un gros accent pour simplifier les notions et s'assurer qu'elles soient applicables concrètement et facilement en entreprise. En troisième lieu, l'auteur a classifié la criticité des pièces et des équipements sans toutefois élaborer beaucoup sur les niveaux de criticité. Ensuite, il y a un lien, faible mais existant, qui est fait entre les équipements critiques et les pièces critiques. Un des seuls articles à faire un certain lien entre les deux notions. Finalement, on dénote qu'il y a une approche monocritère qui est utilisée pour évaluer la criticité des équipements. Il n'y a seulement que le temps de réparation de l'équipement qui est pris en compte lors de l'analyse.

Chelbi et Aït-Kadi [2001] propose une stratégie optimale de remplacement périodique et d'approvisionnement en pièces de rechange. Plusieurs méthodes de ce genre existent dans la littérature et ce n'est pas directement relié à l'étude du présent sujet puisqu'on n'y parle pas de pièces de rechange critique ou de criticité. Par contre, certains aspects sont intéressants à retenir à partir de cet article. Premièrement, le modèle propose de déterminer quand commander les pièces pour éviter les retards. Par contre, on ne parle pas de savoir quelles sont les pièces pour lesquelles on ne peut pas se permettre de retard. Cette méthode répond donc au "combien" de pièces commander et "quand" les commander mais ne répond pas à la question "quelles" pièces commander. Deuxièmement, cette méthode utilise 14 critères pour déterminer la période de remplacement. C'est à la fois très complet mais également très lourd comme

information à obtenir (ex : coûts précis, cycles, probabilité). La plupart des entreprises ne sont pas en mesure de fournir toute cette information et également de maîtriser les méthodes statistiques et les algorithmes. Troisièmement, le modèle ne tient compte que d'un seul type d'équipement ce qui est rarement le cas en entreprise lorsque l'on veut évaluer la criticité des pièces. Finalement, cet article ne fait pas de référence à la notion de criticité des pièces ou des équipements et il n'y a par conséquent pas de classification par niveaux de criticité.

Florès et al. [1988] ont défini une méthode à partir de la classification ABC pour tenir compte également de la criticité des pièces dans leur approche. Cette méthode est structurée en deux étapes. La première consiste à définir la criticité d'une pièce et la deuxième, à incorporer la criticité de la pièce avec la méthode ABC. C'est une bonne idée que de combiner l'analyse ABC avec la criticité mais puisque l'analyse ABC n'a qu'un seul critère, il semble plus simple d'évaluer la criticité à partir de certains critères et d'ajouter celui de la quantité de pièces consommées ou du coût de la pièce dans l'évaluation plutôt que de les comparer en parallèle. Les auteurs ont utilisé une matrice pour simplifier l'analyse des données et les combinaisons possibles ce qui est un bon moyen de simplifier les choses pour l'utilisation de la méthode. Les auteurs ne font pas de lien avec les équipements critiques et ne font pas référence à des niveaux de criticité pour les pièces de rechange critiques.

Partovi et Hopton [1994] utilisent également la classification ABC. Dans leur cas, la criticité de la pièce est utilisée comme un critère plutôt que comme un objectif à déterminer. Ce n'est donc pas le but de leur méthode de déterminer la criticité de la pièce pour savoir si on la garde. Cela permet seulement de savoir si on classe la pièce selon un type A,B ou C. De plus, on ne décrit pas comment évaluer ce critère. Finalement, il n'y a aucune référence aux équipements.

Dans leur livre, Silver et al. [1998] consacrent un chapitre à la méthode ABC et aux méthodes à utiliser pour gérer les pièces de type A.

Gajpal et al. [1994] utilisent la méthode AHP pour évaluer la criticité des pièces. Leur méthode présente de bons critères de criticité et une bonne classification de niveaux de criticité des pièces de rechange. Ils poussent donc leur approche un peu plus loin que certains auteurs en évaluant la criticité des pièces et en l'ordonnant selon une classification. Une étude dans 16 industries en Inde a permis de valider l'approche. L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait que la méthode AHP est complexe à appliquer et difficile à comprendre pour des non-initiés. Par contre, elle amène une justesse dans la comparaison de l'importance des critères les uns par rapport aux autres. Finalement, il n'y a que les pièces de rechange qui sont considérées; les équipements ne le sont pas.

Boucly et Ogus [1987] discutent dans leur livre le fait de maintenir ou pas en stock des pièces de sécurité. Deux critères sont pris en compte pour répondre à leur questionnement. En résumé, cela revient à dire que si le risque d'avarie est faible et que le coût de stockage est beaucoup plus élevé que le coût de la pièce, on ne stocke pas. Par contre, si le risque d'avarie est présent et que le coût de stockage est minime par rapport au coût de la pièce, on stocke la pièce. Il n'y a par contre aucun élément faisant référence au terme criticité ou à une classification quelconque que ce soit pour les pièces de rechange ou les équipements.

Geurts et Moonen [1992] donnent une définition de « pièce critique » et propose quelques critères pour évaluer une pièce critique mais ils ne vont pas plus loin. Ils ne proposent pas de méthode pour évaluer les pièces en fonction des critères qu'ils ont proposés et ne proposent aucune classification des pièces en fonction de leur niveau de criticité.

## 2.20 Synthèse des méthodes

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des différentes méthodes qui ont été analysées ci-haut. Vous retrouverez les divers éléments qui démontrent les avantages et les inconvénients de chaque méthode sous forme de tableau facilitant la comparaison.

Tableau 2.10 : Synthèse des méthodes développées

Aspects considérés / Auteurs	Ciliberti [1996]	Dekker et al. [1996]	Lavina [1992]	Lavina et Perruche [1998]	Retailleau et Turcotte [1999]	Chelbi et Aït-Kadi [2001]	Stoneham [1998]	Labib et al. [1998]	Huiskonen [2001]	Chelbi et Aït-Kadi [2001]	Florès et al. [1988]	Partovi et Hopton [1994]	Gajpal et al. [1994]	Boucly et Ogus [1987]	Geurts et Moonen [1992]
Notion de criticité	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		X
Critères de criticité des pièces									X	X	X		X	X	X
Critères de criticité des équipements	X		X	X	X	X	X	X	X						
Notion de niveaux de criticité		X	X	X	X				X				X		
Niveaux de criticité des pièces													X		
Niveaux de criticité des équipements		X	X	X	X										
Méthode multicritère pour les pièces									X		X		X		
Méthode multicritère pour les équipements	X		X	X	X	X		X							

Tableau 2.10 : Synthèse des méthodes développées (suite)

Aspects considérés / Auteurs	Ciliberti [1996]	Dekker et al. [1996]	Lavina [1992]	Lavina et Perruche [1998]	Retailleau et Turcotte [1999]	Chelbi et Aït-Kadi [2001]	Stoneham [1998]	Labib et al. [1998]	Huiskonen [2001]	Chelbi et Aït-Kadi [2001]	Florès et al. [1988]	Partovi et Hopton [1994]	Gajpal et al. [1994]	Boucly et Ogus [1987]	Geurts et Moonen [1992]
Méthode facilement applicable en entreprise			X	X					X		X				
Facilité d'obtention de l'information			X	X	X	X			X		X				
Lien entre les équipements critiques et les pièces critiques		X							X						
Règles de gestion									X					X	
Cheminement structurée de la méthode	X		X	X		X		X			X				

## 2.21 Documentation

Pour mettre en place une méthode efficace et réaliste, quelle qu'elle soit, une bonne documentation s'impose. Ce n'est malheureusement pas le cas dans la plupart des entreprises.

Certains auteurs parlent de l'importance d'avoir une bonne documentation dans l'entreprise au sujet des équipements et des pièces.

Par exemple, Barry [1994] dit dans son article qu'il est important d'avoir une bonne documentation des équipements pour :

- augmenter la sécurité des gens;
- augmenter la confiance envers les équipements;
- diminuer le temps des ingénieurs consacré à des problèmes récurrents;
- diminuer les arrêts de production.

Petrovic et al. [1990] soulignent que, les données étant toujours incomplètes, inconsistantes, imprécises et incertaines dans un « vrai » système de stock de pièces de rechange, qu'il est difficile, voire même impossible, de décrire le système par des modèles mathématiques.

Dekker et Scarf [1998] font référence aux données souvent manquantes dans l'entreprise. Par conséquent, les entreprises ont avantage à mieux structurer leur information.

Allen [1971] dans *Industrial Engineering Handbook* présente les informations que chaque entreprise devrait avoir sur les différents types de pièces pour permettre toutes les analyses possibles. Une seule information semble manquante, soit le lien entre chaque pièce et les équipements auxquels elle est rattachée. Ainsi, comme le souligne Brown [[www.newstandardinstitute.com](http://www.newstandardinstitute.com), consulté le 08-08-2001], la bonne approche est de « connecter » les pièces à leur équipement. Un des avantages relié à cette technique vient du fait que l'on sait quelles pièces sont désuètes lorsqu'on retire un équipement de la production.

Petersen et Heine [2001] donnent dix conseils pour avoir un bon département de maintenance. Entre autre, ils mentionnent un bon avertissement en ce qui concerne le fait que l'on ne doit pas compter seulement sur la connaissance des gens sans rien

documenter. Comme ils disent si bien : « Un jour ou l'autre, on se fait prendre dans le détour ».

Ainsi, le manque d'information, les informations imprécises, le manque de structuration de l'information sont autant d'obstacles pour mettre en place une méthode fiable, facilement compréhensible et permanente dans le temps.

## **2.22 Conclusion**

Voici quelques conclusions pour résumer ce chapitre. Premièrement, Kennedy et al [2002] ont bien fait ressortir dans leur état de l'art qu'aucun des ouvrages précédents ne s'est concentré sur les stocks de pièces de rechange en maintenance. De plus, ils ont fait ressortir que les politiques qui gouvernent les pièces de rechange devraient être différentes des celles qui gouvernent les autres types de stocks.

Deuxièmement, les auteurs Dekker et al. [1998] ont été surpris de voir à quel point la criticité des équipements jouait un rôle mineur, autant dans la théorie que dans la pratique, dans la détermination des niveaux de stocks de pièces de rechange.

Par la suite, le fait que quelques auteurs ont abordé les concepts de criticité des pièces de rechange et des équipements a été présenté. En effet, aucun auteur n'a développé une méthode complète permettant à une entreprise de déterminer de façon simple et réaliste ces équipements critiques et les pièces critiques rattachées à ces équipements. De plus, une analyse des critères de criticité existants a permis de constater quels critères concernant les pièces de rechange et les équipements sont cités dans la littérature.

Différents points de vue concernant les approches monocritère et multicritère ont ensuite été abordés. La conclusion des différents points de vue prône l'utilisation de critères multiples contrairement à la plupart des approches mathématiques qui sont à critère

unique dans la gestion des pièces de rechange de maintenance. C'est pourquoi les auteurs Dekker et Scarf [1998] proposent comme conclusion de leur revue de littérature de s'attarder davantage dans le futur sur des méthodes qui pourront intégrer les approches quantitative et qualitative.

Les différentes approches retrouvées dans la littérature ont ensuite été brièvement exposées. Les principaux avantages et inconvénients de chacune des méthodes ont été présentés. On remarque qu'il y a des lacunes dans la littérature. Il y a des parcelles de méthodes présentées par différents auteurs mais il n'y a encore personne qui a proposé une méthode intégrant tous les éléments suivants comme il a été démontré dans le tableau synthèse des méthodes :

- notion de criticité;
- critères de criticité des pièces;
- critères de criticité des équipements;
- notion de niveaux de criticité;
- niveaux de criticité des pièces;
- niveaux de criticité des équipements;
- méthode multicritère pour les pièces;
- méthode multicritère pour les équipements;
- méthode facilement applicable en entreprise;
- facilité d'obtention de l'information;
- lien entre les équipements critiques et les pièces critiques;
- règles de gestion des pièces de rechange;
- cheminement structuré de la méthode.

Ces 13 éléments sont donc intégrés dans la méthode qui est présentée dans le prochain chapitre puisqu'ils sont considérés comme les avantages d'une méthode efficace et complète.

De plus, certains travaux d'auteurs sont retenus pour le développement d'une méthode globale. Entre autre, la matrice de Retailleau et Turcotte [1999] sert de point de départ pour le développement d'une méthode d'évaluation de la criticité des équipements. En ce qui a trait à l'évaluation de la criticité des pièces de rechange, c'est principalement Huiskonen [2001] qui est le point de départ de l'élaboration de la nouvelle méthode. Ensuite, Dekker et al. [1996] et Gajpal et al. [1994] sont à la base de la classification des niveaux de criticité des équipements et des pièces de rechange critiques. Enfin, Huiskonen [2001] sert de référence pour l'élaboration des règles de gestion des pièces de rechange critiques.

Finalement, une section du chapitre a fait mention de l'importance de posséder une documentation structurée pour les entreprises qui veulent mettre en place une méthode fiable et performante.

Au chapitre III, nous proposons une méthode simple et réaliste permettant dans un premier temps de déterminer les équipements critiques d'une entreprise et dans un deuxième temps, de cibler les pièces critiques rattachées à ces équipements. Finalement, une classification de niveaux de criticité est exposée.

## **CHAPITRE 3 : PROPOSITION D'UNE MÉTHODE GLOBALE DE GESTION DES PIÈCES DE RECHANGE**

### **3.1 Introduction**

La revue de littérature a témoigné de l'intérêt de certains auteurs concernant soit les équipements critiques, soit les pièces de rechange critiques. Le chapitre précédent a également expliqué les forces et faiblesses dans les méthodes proposées dans la littérature par différents auteurs. Mais surtout, la revue de littérature a démontré qu'aucun auteur retracé n'a proposé une méthode de sélection des pièces de rechange en développant une méthode d'évaluation des équipements critiques, des pièces de rechange critiques de ces équipements ainsi que des règles de gestion des pièces de rechange pour en faire une méthode structurée et globale. Le présent chapitre explique la méthodologie utilisée ainsi que les méthodes développées pour évaluer la criticité des équipements et des pièces de rechange ainsi que les règles de gestion de ces pièces de rechange.

### **3.2 Méthodologie**

#### **3.2.1 Contexte**

Les prochaines lignes mettent le lecteur dans le contexte de l'entreprise lors de la réalisation du mandat.

En premier lieu, la méthode doit s'adapter à plusieurs types d'équipements différents et un grand nombre d'équipements dans son ensemble, soit 982 équipements analysés. En ce qui à trait aux pièces de rechange, plus de 13,000 catégories de pièces différentes ont été recensées. La méthode développée doit être à la fois flexible sur la quantité et la

variété des équipements et des pièces de rechange tout en étant assez spécifique pour bien déterminer la criticité.

Dans un système idéal, l'entreprise posséderait toutes les données financières concernant le coût d'un arrêt de production, toutes les données sur les historiques des pannes, toutes les informations pertinentes sur les équipements, les pièces, les manufacturiers, etc... Mais c'est rarement le cas dans la réalité et ce n'est pas le cas dans l'entreprise concernée. Les données disponibles dans l'entreprise sont incomplètes, peu fiables, difficilement reliables à des événements particuliers et parfois même inexistantes.

Pour la réalisation du mandat, la direction a préféré utiliser des données qualitatives provenant de son personnel expérimenté plutôt que d'utiliser des données qui ne sont pas considérées fiables par l'entreprise étant donné le peu d'historique que le nouveau système informatique pouvait contenir à ce moment. De plus, la direction ne tient pas à dépouiller et comptabiliser les données remontant à l'utilisation de l'ancien système informatique pour des contraintes de temps, d'argent et de manque d'informations précises.

Ensuite, il s'agit d'une entreprise pharmaceutique où les normes de sécurité, de santé et d'environnement sont aussi importantes que l'aspect qualité ou productivité. Ces normes sont très pointues, observées et documentées dans l'entreprise.

Pour finaliser la remise en contexte, ajoutons en terminant que l'objectif du magasin de maintenance n'est pas défini spécifiquement.

### **3.2.2 Objectif du magasin de maintenance**

Tout comme Huiskonen [2001] le précise dans son article, l'équipe de projet de Wyeth pense que le principal objectif de tout système de gestion des stocks est d'atteindre un niveau de service satisfaisant avec un minimum de stock en pièces de rechange et en

coût administratif. Ainsi le point de départ est de déterminer l'objectif du magasin de maintenance au sein de l'entreprise. Pour ce faire, une rencontre avec les intervenants concernés a eu lieu. Autour de la table étaient présents la directrice de l'ingénierie, le chef de la maintenance, les deux superviseurs de la maintenance, le superviseur du magasin ainsi que l'auteure. Une seule question à l'ordre du jour : Quel est l'objectif de notre magasin de maintenance ?

*« L'objectif du magasin de maintenance de Wyeth est de maintenir en stock un stock de pièces critiques et/ou nécessaires à l'entretien préventif à court terme et/ou à l'amélioration des équipements dans l'optique de minimiser les arrêts de production pour rencontrer les objectifs financiers, client, sécurité et conformité de la compagnie. »*

Concrètement, le stock du magasin doit être composé de pièces :

- Critiques;

ou

- nécessaires à l'entretien préventif (à court terme seulement);

ou

- nécessaires à des prototypes d'amélioration continue pour ne pas freiner cette culture dans l'entreprise (mais seulement les items les plus courants comme des vérins, des valves, des minuteriers, etc.).

Le stock du magasin ne doit pas être composé de pièces :

- pour faire des mini-projets ou des contrats;
- nécessaires à l'entretien préventif à moyen et long terme.

Ces types de pièces ne sont pas conservés en stock puisque ce genre d'activité peut se planifier à l'avance.

Finalement, cet objectif a été validé par le directeur d'usine pour s'assurer que l'objectif du magasin correspond aux attentes de la production, principal client de l'ingénierie.

### **3.2.3 Étapes de la méthodologie**

Une fois l'objectif du magasin défini, l'entreprise est prête à poursuivre sa démarche.

La première étape de la méthodologie consiste à analyser en profondeur la matrice d'évaluation de la criticité des équipements élaborée par Retailleau et Turcotte [1999] qui est présenté au chapitre précédent.

La deuxième étape propose des modifications suite à cette analyse pour adapter la nouvelle matrice au contexte du présent projet.

La troisième étape permet de proposer une méthode pour évaluer la criticité des pièces de rechange.

Finalement, la dernière étape permet de conclure en proposant des règles de gestion des pièces de rechange.

Il y a donc trois produits résultant de ce travail de recherche, soit :

- une méthode d'évaluation de la criticité des équipements;
- une méthode d'évaluation de la criticité des pièces de rechange;
- des règles de gestion des pièces de rechange.

La figure ci-joint permet de représenter ces trois produits :

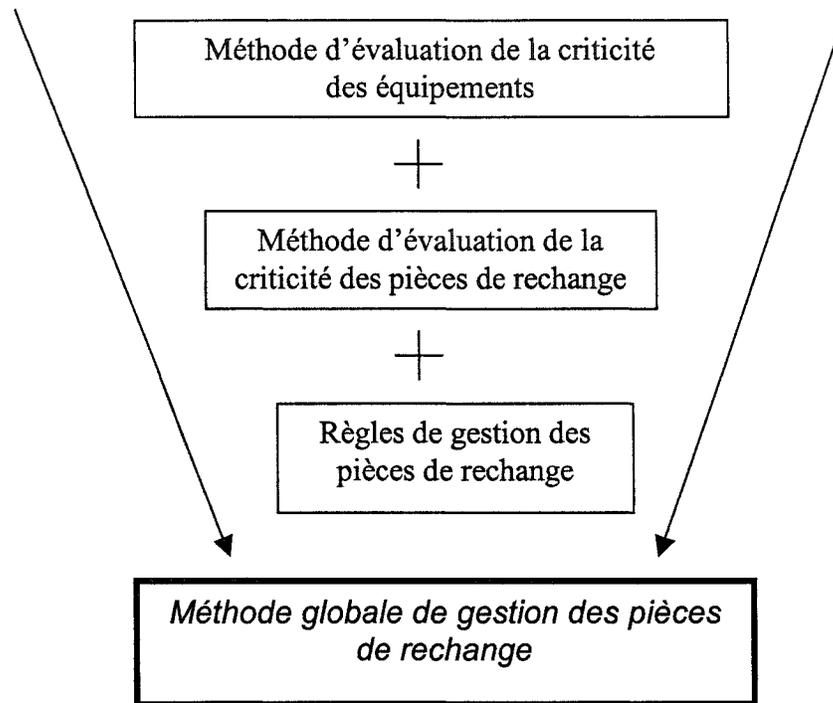


Figure 3.1 : Méthode globale de gestion des pièces de rechange

### 3.3 Méthode pour établir la criticité des équipements

#### 3.3.1 Criticité des équipements

Pour en arriver à rencontrer l'objectif du magasin de maintenance, c'est-à-dire, entre autre, à avoir les pièces critiques en stock pour minimiser les arrêts de production, il faut trouver une méthode pour déterminer les pièces critiques. Pour ce faire, le raisonnement premier est que pour déterminer les pièces critiques, il faut tout d'abord déterminer quels sont les équipements critiques. C'est pourquoi la méthode proposée a d'abord pris forme en développant une matrice permettant d'évaluer la criticité des équipements.

### 3.3.2 Origines de la matrice

Le modèle initial de la matrice provient d'une méthode de criticité qui a été développée par Bénédicte Retailleau et Yves L. Turcotte [1999] qui eux s'étaient basés sur la méthode de Lavina et Perruche [1998], qui est une version améliorée développée originalement en 1992 par Lavina et qui s'appelait la méthode PIEU telle que décrite dans la revue de littérature.

### 3.3.3 Matrice originale PEMSEQ

La matrice originale telle que représentée ci-contre est composée de six lignes et de quatre colonnes. Les lignes représentent les critères d'évaluation et les colonnes représentent la valeur que peut prendre chacun des critères, soit 0, 1, 2 ou 3. L'intérieur de la matrice est divisée en vingt-quatre cases ayant chacune une explication particulière permettant d'établir la criticité d'un équipement.

Tableau 3.1 : Matrice originale PEMSEQ

Critères	0	1	2	3
Impact sur la production (P)	Stratégique	Important	Acceptable	Négligeable
État général de l'Équipement (E)	À rénover	Mauvais état	Bonne condition	Excellente maîtrise
Maintenabilité de l'équipement (M)	Dépendance externe élevée	Maîtrise moyenne	Bonne maîtrise	Excellente maîtrise
Impact Sécurité (S)	Grave	Moyen	Faible	Aucun
Impact Environnement (E)	Grave	Moyen	Faible	Aucun
Impact Qualité (Q)	Retour client	Rebut	Reprise	Aucun

*Matrice de Turcotte et Retailleau, Journal industriel du Québec, Déc-Jan 1999*

La matrice est divisée en 6 grandes lignes qui représentent chacune un critère. Ces 6 lignes sont appelées « PEMSEQ », soit les lettres principales de l'acronyme. P pour Impact sur la production, É pour État général de l'équipement, M pour Maintenabilité de l'équipement, S pour Impact Sécurité, E pour Impact Environnement et Q pour Impact Qualité (Q).

Cependant, dans la matrice de Retailleau et Turcotte [1999], les définitions pour graduer la criticité des équipements sont vagues. C'est-à-dire que les 24 définitions dans les cases ne sont pas précises sur la terminologie employée et surtout, sur ce que veut dire ou représente le terme en question. Cela laisse ainsi place à interprétation, à confusion et surtout, à des résultats différents d'une personne à l'autre. Et c'est ainsi pour cinq des critères. Il n'y a que le critère sur la qualité qui est un peu plus précis dans sa définition en utilisant des termes comme « Retour client, Rebut, Reprise et Aucun ». Voici un

exemple qui donne une bonne idée de ce qu'on entend par définitions vagues. Dans l'exemple ci-dessous, pour le critère sur l'impact sur la production, que signifie un impact Stratégique ? un impact Important ? ou encore un impact Négligeable ?

Impact sur la production (P)	Stratégique	Important	Acceptable	Négligeable
------------------------------	-------------	-----------	------------	-------------

Ensuite, les définitions ne correspondent pas à la réalité de l'entreprise pour obtenir un résultat concret et fiable d'une personne à l'autre. L'entreprise avait déjà reçu une formation d'un consultant pour expliquer cette matrice mais ils n'ont pas été capable de la mettre en application le temps venu. D'après le chef de la maintenance, lui et ses employés n'ont pas su comment interpréter la matrice et comment l'adapter à leur environnement.

De plus, Retailleau et Turcotte [1999] utilisent quatre possibilités de valeur de criticité (0 à 3), ce qui fait quatre colonnes. Par contre, la distinction entre deux colonnes, par exemple la troisième colonne (valeur 2) et la quatrième colonne (valeur 3) ou la première colonne (valeur 0) et la deuxième (valeur 1) est très mince. Il a ainsi été jugé préférable d'unir ces deux colonnes pour éviter de faire une mince distinction.

Pour toutes ces raisons, des modifications ont été apportées à la matrice PEMSEQ originale pour en développer une adaptée à l'entreprise.

### 3.3.4 Caractéristiques de la matrice développée

En plus d'être plus spécifique sur les définitions pour évaluer la criticité des équipements, la matrice proposée doit comporter cinq caractéristiques déterminées par l'entreprise.

Les caractéristiques d'une matrice facilement utilisable pour Wyeth sont :

- être compréhensible pour les non-initiés; constante dans le temps;
- adaptable avec peu de modifications à d'autres secteurs de l'entreprise;
- refléter les particularités de la compagnie (critères de criticité);
- cibler les éléments critiques.

C'est en considérant ces caractéristiques que les cases intérieures de la matrice ont été redéfinies et adaptées pour bien représenter la réalité et les désirs de cette entreprise. Les prochaines lignes expliquent le raisonnement derrière ces cases de la matrice.

### **3.3.5 Matrice originale versus matrice proposée**

Entre la matrice originale et la matrice proposée, il y a des aspects qui ont été conservés, d'autres modifiés et certains éliminés.

Parmi les aspects conservés, il y a entre autre l'appellation générale PEMSEQ et les six critères d'évaluation de la criticité. Les cinq directeurs concernés de l'entreprise ont été rencontrés, soit ceux de l'ingénierie, la production, la qualité, la finance et celui de santé, sécurité et environnement. Le but de l'exercice est de valider la pertinence des six critères de la matrice PEMSEQ et de valider si l'importance de chacun de ces critères est égale et sinon, quelle pondération donner à chacun des critères. Les directeurs de l'entreprise ont été unanimes. Tous les critères sont aussi importants les uns que les autres. Par exemple, la production ne doit pas passer au détriment de la qualité ou encore, la qualité n'est pas plus importante que l'aspect santé, sécurité. La direction a tout mis sur un même pied d'égalité en ce qui concerne l'évaluation de la criticité des équipements.

Parmi les aspects modifiés, il y a entre autre les titres de certains des six critères ainsi que le nombre de valeur que peut prendre la criticité (colonnes de la matrice). Cet élément est expliqué dans la prochaine rubrique « Valeur de criticité ».

Finalement, il y a un aspect fondamental qui a été éliminé. Il s'agit de la terminologie utilisée dans la matrice originale et qui n'est pas assez spécifique. Une nouvelle terminologie et des définitions claires et précises ont été formulées pour combler cette lacune. Ces définitions ont été élaborées avec l'aide du chef de la maintenance, des deux superviseurs de maintenance ainsi que quelques employés pour s'assurer que les définitions ne laissent pas place à interprétation et qu'elles soient élaborées avec des termes familiers pour eux.

Tout au long de ce chapitre, la comparaison entre les deux matrices est présentée pour bien cibler les améliorations proposées avec la nouvelle matrice.

### **3.3.6 Valeurs de criticité**

La première modification majeure à la matrice originale a été de diminuer le nombre de valeurs de criticité possibles dans l'évaluation. On entend ici par valeur de criticité le nombre de possibilités que peut prendre le résultat de l'analyse de chaque critère de criticité. Par exemple, la matrice originale offre un choix de quatre valeurs de criticité, soit 0,1,2,3 et la matrice proposée offre trois valeurs de criticité, soit 0,1,2. La modification a été apportée dans le but de permettre de mieux cibler la criticité des équipements. Comme il a été mentionné précédemment, la distinction entre deux colonnes, par exemple la troisième colonne (valeur 2) et la quatrième colonne (valeur 3) intitulé « Faible impact » et « Aucun impact » ou la première colonne (valeur 0) et la deuxième (valeur 1) intitulé « Stratégique » et « Important », n'est pas évidente à distinguer. Il a ainsi été jugé préférable d'unir ces deux colonnes, c'est-à-dire de réduire de quatre valeurs à trois valeurs le résultat possible pour éviter de faire une mince distinction. De plus, étant donné que la classification des niveaux de criticité utilisée est

celle à trois niveaux, soit équipement vital, essentiel et auxiliaire, une méthode d'évaluation de la criticité des équipements à trois valeurs de criticité facilite l'évaluation des équipements. Cet aspect est davantage expliqué dans une section ultérieure.

Tableau 3.2 : Comparaison 1 : Matrice originale vs Matrice proposée

Critères	0	1	2	3
CRITÈRES	0	1	2	

Finalement, il faut faire attention de bien faire la distinction entre valeurs de criticité et niveaux de criticité. C'est la compilation du résultat des valeurs de criticité pour un équipement qui permet d'établir le niveau de criticité de cet équipement.

### 3.3.7 Développement de la matrice de criticité des équipements

#### P - Impact sur le calendrier de production

Pour cette ligne, les concepts « Stratégique, Important, Acceptable et Négligeable » de Retailleau et Turcotte [1999] ont été approfondis pour bien cibler ce que veut dire chacun de ces aspects pour l'entreprise étudiée. L'analyse a débuté en trouvant à quel niveau un équipement est critique en terme de production. Sont alors émergés le concept de goulot de production au niveau de la fabrication et le concept du nombre de quarts de travail moyen utilisé annuellement dans le département du conditionnement. Mais en bout de ligne, un goulot chez Wyeth se calcule en terme de taux d'utilisation. Un équipement utilisé à deux quarts de travail et moins n'est pas considéré comme un goulot puisqu'il y a encore au moins un quart de travail de production de disponible. Par contre, un équipement qui fonctionne à plus de deux quarts devient un goulot en terme de production. Les concepts de goulots et d'utilisation ont donc été combinés et

seulement l'appellation de quart de travail d'utilisation a été conservée puisqu'elle porte moins à ambiguïté que le terme goulot et est connue de tous les employés.

Un deuxième ajout a été fait dans cette ligne de la matrice. Il s'agit de la notion d'équipements de rechange. S'il y a un ou plusieurs équipements similaires et qu'ils ne sont pas tous utilisés à plein régime (trois quarts), il a été considéré qu'ils pouvaient servir pour dépanner le département en situation problématique le temps nécessaire pour que les pièces de rechange de l'équipement défectueux soient installées. Ainsi, le nombre de quart de travail d'utilisation et/ou le dépannage par un équipement de rechange ont été combinés pour refléter l'impact d'un arrêt sur le calendrier de production.

Pour compléter cette ligne, il s'agit de déterminer quel impact aurait la défektivité d'un équipement ou d'une pièce sur le calendrier de production suite à ce critère et quel est l'ensemble des équipements de rechange disponible.

Finalement, le nom de cette ligne a légèrement été modifié pour être plus précis. La ligne est passée du titre général « Impact sur la production » au titre plus spécifique « Impact sur le calendrier de production » .

Tableau 3.3 : Comparaison 2 : Matrice originale vs Matrice proposée

Impact sur la production (P)	Stratégique	Important	Acceptable	Négligeable
------------------------------	-------------	-----------	------------	-------------

<b>IMPACT SUR LE CALENDRIER DE PRODUCTION</b>  « P »	<b>Stratégique</b>  Utilisation annuelle moyenne de l'équipement sur plus de 2 quarts  ET Aucun équipement de rechange	<b>Acceptable</b>  Utilisation annuelle moyenne de l'équipement entre 1 et 2 quarts sans équipement de rechange  OU Plus de 2 quarts avec équipement de rechange	<b>Négligeable</b>  Utilisation annuelle moyenne de l'équipement en dessous d'un quart de travail avec ou sans équipement de rechange  OU Entre 1-2 quarts avec équipement de rechange
--	---	---	---

Pour une entreprise qui possède beaucoup d'information sur ces équipements, les mêmes notions de quart de travail d'utilisation et d'équipement de rechange peuvent être utilisées pour évaluer l'impact sur le calendrier de production, à condition que l'utilisation des équipements sur plus d'un quart de travail soit possible, par exemple avec du temps supplémentaire ou une équipe de travail de soir ou de nuit et qu'il y ait assez d'équipements pour en avoir certains comme équipement de rechange.

#### E - État général de l'équipement (E1)

Premièrement, cette ligne comprenait à l'origine quatre étapes de ce que l'on peut appeler un cycle de vie d'un équipement, soit, dans l'ordre décroissant, « À rénover, Mauvais état, Bonne condition et Neuf ». Dans la matrice proposée, les 4 étapes sont combinées en trois étapes en regroupant les deux premières et chacune de ces étapes (cases) a été définies. La catégorie « À rénover / Mauvais état » est la valeur de

criticité la plus élevée (0), « Bonne condition » représente la valeur de criticité moyenne (1) et « Neuf » est la valeur de criticité la plus faible (2). Des lignes directrices sont données dans la matrice pour aider à catégoriser les équipements selon ces trois valeurs. Par exemple, un équipement difficile d'ajustement et qui requiert de l'attention serait de criticité 0 et un équipement encore sous garantie serait de criticité 2. Dans une entreprise où les statistiques sur les défauts d'équipements sont disponibles, ces données pourraient être utilisées pour compléter cette portion de la matrice. Par exemple, le nombre d'heures de maintenance corrective effectué serait un bon critère.

Un deuxième sous-critère a été ajouté pour pondérer la catégorie « État général de l'équipement ». Il s'agit du taux de défauts de l'équipement. Les choix possibles étant 1/3 pour un taux de faible défauts, 2/3 pour un taux de défauts moyen et 3/3 pour un taux de défauts élevé. Les résultats de cet élément sont obtenus de façon subjective puisque l'information sur les historiques de défauts n'est pas disponible. Ainsi, un taux de défauts élevé représente un équipement défectueux régulièrement et qui est connu de tous, un équipement qui a un taux de défauts moyen brise à l'occasion et un équipement à taux de défauts faible brise très rarement. Les équipements ont été comparés les uns par rapport aux autres pour permettre l'évaluation de ce critère étant donné l'aspect qualitatif de l'évaluation. Pour une entreprise où l'historique des défauts est présente, le nombre de défauts par mois ou par année peut être un élément d'évaluation plus précis.

Les résultats obtenus par les équipements au sujet du niveau de défauts ont servi à alléger la valeur de criticité initialement obtenue selon le premier critère sur l'état de l'équipement. Par exemple, si un équipement obtient le nombre 1 comme valeur de criticité, puisqu'il est en « bonne condition », mais qu'il obtient 1/3 comme taux de défauts puisque cet équipement brise rarement, sa valeur de criticité est abaissée d'un niveau, soit la valeur 2. Cet élément a été tenu en compte puisque la plupart des équipements évalués sont dans la catégorie « Bonne condition » (puisque'ils ne sont ni

dans un état critique ni encore sous garantie) mais avec des taux de défektivité différents d'un équipement à l'autre.

Enfin, puisqu'il y a deux lettres « E » dans l'acronyme PEMSEQ, les codifications « E1 » et « E2 » leurs sont attribuées pour mieux les distinguer. Ainsi, la ligne « État général de l'équipement » étant le premier « E » de l'acronyme, « E1 » lui a été attribué.

Tableau 3.4 : Comparaison 3 : Matrice originale vs Matrice proposée

États général de l'Équipement (E)	À rénover	Mauvais état	Bonne condition	Excellente maîtrise
-----------------------------------	-----------	--------------	-----------------	---------------------

<b>ÉTAT GÉNÉRAL DE L'ÉQUIPEMENT</b>	<b>À rénover / Mauvais État</b>	<b>Bonne condition</b>	<b>Neuf</b>
	État critique/Mauvais rendement	État d'entretien préventif	Première année d'utilisation
	Difficile d'ajustement/Requiert attention	ET / OU	Sous garantie
<b>« E1 »</b>	Grosses réparations à effectuer	Taux de défektivité moyen (2/3)	ET / OU
	ET / OU		Faible taux de défektivité (1/3)
	Taux de défektivité élevé (3/3)		

#### M - Maîtrise de l'entretien : pièces de rechange, documentation et expertise

Cette ligne, qui s'appelait originalement « Maintenabilité de l'équipement », fait référence à deux éléments selon Retailleau et Turcotte [1999], soit les pièces de rechange et la documentation. Un troisième élément a été ajouté concernant l'expertise disponible puisque même si l'entreprise possède les pièces de rechange et la documentation, mais que personne n'est qualifiée pour faire la réparation, l'entreprise n'est pas davantage en maîtrise de ce critère. Le nom de la ligne a également été modifié pour en faciliter la compréhension en étant plus spécifique.

Pour la pièce de rechange, il faut évaluer si elle est en main, disponible facilement (livrée en moins de 12 heures) ou absente (plus de 12 heures). Pour la documentation, il faut évaluer si elle est en main, disponible facilement (en moins de 12 heures) ou absente (plus de 12 heures). Finalement, pour l'expertise, il faut évaluer s'il s'agit d'une expertise à l'interne, à l'externe (mais facilement accessible en cas d'urgence, ex : Canada, États-Unis) ou rare sur le marché (difficilement accessible, même en cas d'urgence, ex : Europe, Asie). Toutes ces données ont été quantifiées et approuvées par le chef de la maintenance pour s'assurer que cela reflète bien le niveau de service que la maintenance doit fournir à la production.

Puisqu'il y a trois éléments concernés dans ce critère, une grille a été développée avec toutes les possibilités (27) pour alléger la matrice. Il suffit d'évaluer la position de l'équipement selon les trois critères et de trouver la correspondance dans la grille pour déterminer la valeur de criticité. Cette grille, nommée « Scénarios de maîtrise de l'entretien », est présentée ci-dessous suite à la comparaison entre les deux matrices.

Tableau 3.5 : Comparaison 4 : Matrice originale vs Matrice proposée

Maintenabilité de l'équipement (M)	Dépendance externe élevée	Maîtrise moyenne	Bonne maîtrise	Excellente maîtrise
------------------------------------	---------------------------	------------------	----------------	---------------------

<b>Maîtrise de l'entretien:</b> <b>PIÈCES DE RECHANGE</b> <b>DOCUMENTATION</b> <b>EXPERTISE</b> <b>« M »</b>	<b>Dépendance technique</b>  (Voir scénarios possibles)	<b>Faible maîtrise</b>  (Voir scénarios possibles)	<b>Bonne maîtrise</b>  (Voir scénarios possibles)

Tableau 3.6 : Scénarios possibles pour le critère : « Maîtrise de l'entretien : pièces de rechange, documentation et expertise »

**SCÉNARIOS DE MAÎTRISE DE L'ENTRETIEN**

**LÉGENDE :**

0	Dépendance technique	2	Bonne maîtrise
1	Faible maîtrise		

**PdeR** : Pièce de rechange

**Absence de pièce de rechange**

<b>A</b>	PdeR absence Doc absente Expertise rare	0	<b>B</b>	PdeR absence * Doc disponible Expertise rare	0	<b>C</b>	PdeR absence Doc en main Expertise rare	0
----------	---	---	----------	--	---	----------	---	---

<b>D</b>	PdeR absence Doc absente Expertise à l'externe	0	<b>E</b>	PdeR absence Doc disponible Expertise à l'externe	1	<b>F</b>	PdeR absence Doc en main Expertise à l'externe	1
----------	--	---	----------	---	---	----------	--	---

<b>G</b>	PdeR absence Doc absente Expertise interne	1	<b>H</b>	PdeR absence Doc disponible Expertise interne	2	<b>I</b>	PdeR absence Doc en main Expertise interne	2
----------	--	---	----------	---	---	----------	--	---

**Pièce de rechange disponible sur le marché**

<b>J</b> ***	PdeR disponible Doc absente Expertise rare	0	<b>K</b>	PdeR disponible Doc disponible Expertise rare	1	<b>L</b>	PdeR disponible Doc en main Expertise rare	1
-----------------	--	---	----------	---	---	----------	--	---

<b>M</b>	PdeR disponible Doc absente Expertise à l'externe	1	<b>N</b>	PdeR disponible Doc disponible Expertise à l'externe	2	<b>O</b>	PdeR disponible Doc en main Expertise à l'externe	2
----------	---	---	----------	--	---	----------	---	---

P	PdeR disponible	2	Q	PdeR disponible	2	R	PdeR disponible	2
	Doc absente			Doc disponible			Doc en main	
	Expertise interne			Expertise interne			Expertise interne	

### Pièce de rechange en main

S ***	PdeR en main	0	T	PdeR en main	1	U	PdeR en main	2
	Doc absente			Doc disponible			Doc en main	
	Expertise rare			Expertise rare			Expertise rare	

V	PdeR en main	1	W	PdeR en main	1	X	PdeR en main	2
	Doc absente			Doc disponible			Doc en main	
	Expertise à l'externe			Expertise à l'externe			Expertise à l'externe	

Y	PdeR en main	2	Z	PdeR en main	2	ZZ	PdeR en main	2
	Doc absente			Doc disponible			Doc en main	
	Expertise interne			Expertise interne			Expertise interne	

\* « Disponible » voulant dire : Pouvant être livré dans un maximum de 12 heures ou pour le lendemain.

Voici les instructions pour se servir de cette grille.

Dans un premier temps, la grille a été répartie en trois situations. La première situation représente tous les cas où il y a absence de pièce de rechange (donc livraison impossible en moins de 12 heures). La deuxième situation représente tous les cas où la pièce de rechange est disponible sur le marché, soit à l'intérieur d'un délai de 12 heures. La troisième situation représente tous les cas où la pièce de rechange est en main, c'est-à-dire détenue à l'intérieur de l'entreprise.

Dans un deuxième temps, il faut analyser dans laquelle de ces situations l'entreprise se retrouve, soit pièce de rechange absente, disponible ou en main. Par la suite, il faut déterminer notre position face aux deux autres éléments : la documentation et l'expertise. Lorsque l'on a identifié notre position face aux trois éléments, il faut

retrouver ce triplet dans la grille et inscrire la valeur associée (0,1 ou 2) à ce triplet dans la matrice.

Maintenant, voici comment le raisonnement pour l'attribution des valeurs 0, 1 ou 2 à chaque triplet d'éléments est fait pour les 27 possibilités. Il y a deux prémices à ce raisonnement qui sont approuvées par le chef de la maintenance et les employés de maintenance. La première : Si on ne peut pas obtenir la pièce de rechange mais qu'on a de l'expertise et de la documentation, on peut réussir à fabriquer la pièce manquante. La deuxième : Si on a une pièce de rechange et de la documentation mais qu'on a pas l'expertise, un bon mécanicien pourra se débrouiller efficacement avec la pièce et la documentation pour faire la réparation.

Les prochaines lignes expliquent en détail le raisonnement appliqué pour faire l'élaboration de la grille. Seulement le raisonnement pour la première situation où il y a absence de pièces de rechange est démontré, les deux autres situations ayant été faites avec le même raisonnement.

Premièrement, lorsque la pièce de rechange est absente et qu'en plus la documentation est absente ou l'expertise est rare, l'entreprise éprouve une dépendance technique (valeur 0). Si la pièce de rechange est absente mais que l'expertise est disponible à l'externe et qu'il y a de la documentation disponible ou en main ou encore que la documentation est absente mais que l'expertise est disponible à l'interne, l'entreprise possède une faible maîtrise (valeur 1). Finalement, si la pièce de rechange est absente mais qu'il y a de la documentation disponible ou en main et de l'expertise à l'interne, l'entreprise possède une bonne maîtrise (valeur 2). Le reste de la grille a été développé avec le même raisonnement pour un total de 27 possibilités variant entre des valeurs de 0 à 2 pour venir compléter la matrice PEMSEQ.

Dans un autre type d'entreprise, ces trois éléments peuvent facilement être repris et adaptés. Par exemple, le nombre d'heures que représente une pièce disponible peut être ajusté à la réalité d'une autre entreprise si c'est plus ou moins de 12 heures. Si le raisonnement ou certains des trois éléments sont modifiés, la grille peut tout de même servir et être réaménagée en fonction des changements apportés. Si l'entreprise désire plutôt conserver deux éléments plutôt que trois, il est alors recommandé d'intégrer ces éléments directement dans la matrice PEMSEQ puisque les options possibles sont réduites à 9 possibilités.

### S - Impact sécurité

Originellement, cette ligne avait quatre valeurs de criticité soit grave, moyen, faible ou aucun. Aucune spécification n'est faite sur la façon d'évaluer et de différencier les quatre valeurs. Pour en améliorer la précision, la ligne a été modifiée.

Cette ligne a été développée en se basant sur les procédures et définitions internes de Wyeth concernant la sécurité. La ligne est définie en 2 volets sécurité mesurables : perte de temps (en jours) et dommages matériels (en \$).

Pour compléter cette ligne, il s'agit d'évaluer l'impact sur ces deux volets sécurité si une défektivité survenait à l'équipement. Par exemple, un équipement tel un élévateur de baril pourrait être très dommageable pour la sécurité des individus si le baril tombe sur un individu ou sur du matériel contrairement à une balance électronique qui ne peut avoir aucun impact sur la sécurité des individus si elle est défectueuse. Le seul impact sur la sécurité serait si la balance ne mesure pas adéquatement le bon poids d'un produit mais il y a des procédures de calibration des équipements en place et également d'autres postes de vérifications tout au long de la ligne de production des produits pour s'assurer qu'une telle défaillance soit détectée au besoin.

Tableau 3.7 : Comparaison 5 : Matrice originale vs Matrice proposée

Impact Sécurité (S)	Grave	Moyen	Faible	Aucun
---------------------	-------	-------	--------	-------

IMPACT SÉCURITÉ	Conséquences graves	Conséquences moyennes	Conséquences faibles ou nulles
« S »	Mortalité, incapacité permanente ou maladie de + de 3 jours ET / OU Dommages de + de 100,000\$	Maladie de moins de 3 jours ET / OU Dommages entre 5,000 et 100,000\$	Blessure ou maladie exigeant des premiers soins ET / OU Dommages moins de 5,000\$

Dans un autre type d'entreprise, on pourrait très bien reprendre le même type d'information. Les données en terme de perte de temps et de dommage matériel auraient simplement à être ajustées pour refléter le nouvel environnement.

#### E - Impact environnement (E2)

Originellement, cette ligne avait quatre valeurs de criticité soit grave, moyen, faible ou aucun. Aucune spécification n'est faite sur la façon d'évaluer et de différencier les quatre valeurs. La ligne a été modifiée pour être beaucoup plus spécifique lors de l'évaluation.

Au sujet de l'environnement, il faut déterminer où se situerait l'impact d'une déféctuosité. Les trois choix étant à l'intérieur du département, à l'intérieur de l'usine ou à l'extérieur de l'usine. Cet élément est un cas particulier qui se retrouve entre autre dans le domaine de la production de produits pharmaceutiques pour permettre d'éviter les risques de contamination. Les procédés étant cloisonnés les uns des autres, la délimitation de l'impact sur l'environnement est facilement identifiable.

Pour un autre type d'industrie, cet élément doit être révisé en fonction des normes environnementales qui s'appliquent. Certaines industries sont plus réglementées que d'autres, comme l'industrie pétrochimique par exemple, alors il y a une grande importance à bien définir les nouveaux paramètres.

Enfin, comme il a été mentionné plus haut, puisqu'il y a deux lettres « E » dans l'acronyme PEMSEQ, les codifications « E1 » et « E2 » leurs sont attribuées pour mieux les distinguer. Ainsi, la ligne « Impact sur l'environnement » étant le deuxième « E » de l'acronyme, « E2 » lui a été attribué.

Tableau 3.8 : Comparaison 6 : Matrice originale vs Matrice proposée

Impact Environnement (E)	Grave	Moyen	Faible	Aucun
-----------------------------	-------	-------	--------	-------

<b>IMPACT ENVIRONNEMENT « E2 »</b>	<b>Conséquences externes</b> Impact à l'extérieur des limites de l'usine (ex: Air, égouts,...)	<b>Conséquences internes</b> Impact à l'intérieur des limites de l'usine	<b>Conséquences locales ou nulles</b> Impact à l'intérieur du département
--	---	---	--

#### Q - Impact qualité

Originellement, cette ligne avait quatre valeurs de criticité soit retour client, rebut, reprise ou aucun. Ces spécifications manquent de précision et en plus, elles ne s'adaptent pas adéquatement à la méthode de fabrication et d'inspection dans un milieu pharmaceutique. La ligne a été modifiée pour être beaucoup plus précise et adaptée.

Au niveau de la qualité, il faut déterminer où se situe l'impact d'une défektivité. Les étapes d'inspection du produit sont évaluées pour savoir à quelle étape du processus la défektivité peut être détectée en fonction des différents contrôles établis tout au long du

processus. Les trois choix étant à l'intérieur du département (ou unité de production), à l'intérieur de l'usine (avant l'expédition hors de l'entreprise) ou à l'extérieur de l'usine (chez un distributeur ou un consommateur par exemple).

Là encore, la précision de ces termes est propre à chaque entreprise. Si ces termes ne conviennent pas à un autre type d'entreprise, elle peut redéfinir de quelle façon l'impact sur la qualité d'un produit est mesuré. Par exemple, il pourrait s'agir d'un impact monétaire en calculant le nombre d'étapes franchies tout au long de la chaîne avant de constater la non-qualité, etc.

Tableau 3.9 : Comparaison 7 : Matrice originale vs Matrice proposée

Impact Qualité (Q)	Retour client	Rebut	Reprise	Aucun
--------------------	---------------	-------	---------	-------

<b>IMPACT QUALITÉ</b>	<b>Conséquences externes</b>	<b>Conséquences internes</b>	<b>Conséquences locales ou nulles</b>
« Q »	Impact à l'extérieur de l'usine (ex: retour du client, intoxication)	Impact à l'intérieur de l'usine (ex: détecter dans un autre départ)	Impact à l'intérieur du département (ex: détecter dans le même départ)

### 3.3.8 Matrice proposée

Voici l'aspect de la matrice proposée suite aux différentes modifications apportées.

Tableau 3.10 : Matrice proposée

MATRICE DE CRITICITÉ			
CRITÈRES	0	1	2
<b>IMPACT SUR LE CALENDRIER DE PRODUCTION</b>  « P »	<b>Stratégique</b>  Utilisation annuelle moyenne de l'équipement sur plus de 2 quarts ET Aucun équipement de rechange	<b>Acceptable</b>  Utilisation annuelle moyenne de l'équipement entre 1 et 2 quarts sans équipement de rechange OU Plus de 2 quarts avec équipement de rechange	<b>Négligeable</b>  Utilisation annuelle moyenne de l'équipement en dessous d'un quart de travail avec ou sans équipement de rechange OU Entre 1-2 quarts avec équipement de rechange
<b>ÉTAT GÉNÉRAL DE L'ÉQUIPEMENT</b>  « E1 »	<b>À rénover / Mauvais État</b> État critique/Mauvais rendement Difficile d'ajustement/Requiert attention Grosses réparations à effectuer ET / OU Taux de défautuosité élevé (3/3)	<b>Bonne condition</b> État d'entretien préventif ET / OU Taux de défautuosité moyen (2/3)	<b>Neuf ou excellente condition</b> Première année d'utilisation Sous garantie ET / OU Faible taux de défautuosité (1/3)
<b>Maîtrise de l'entretien: PIÈCES DE RECHANGE DOCUMENTATION EXPERTISE</b>  « M »	<b>Dépendance technique</b>  (Voir scénarios possibles)	<b>Faible maîtrise</b>  (Voir scénarios possibles)	<b>Bonne maîtrise</b>  (Voir scénarios possibles)
<b>IMPACT SÉCURITÉ</b>  « S »	<b>Conséquences graves</b> Mortalité, incapacité permanente ou maladie de + de 3 jours ET / OU Dommages de + de 100,000\$	<b>Conséquences moyennes</b> Maladie de moins de 3 jours ET / OU Dommages entre 5,000 et 100,000\$	<b>Conséquences faibles ou nulles</b> Blessure ou maladie exigeant des premiers soins ET / OU Dommages moins de 5,000\$

Tableau 3.10 : Matrice proposée (suite)

MATRICE DE CRITICITÉ			
CRITÈRES	0	1	2
<b>IMPACT ENVIRONNEMENT</b> « E2 »	<b>Conséquences externes</b> Impact à l'extérieur des limites de l'usine (ex: Air, égouts,...)	<b>Conséquences internes</b> Impact à l'intérieur des limites de l'usine	<b>Conséquences locales ou nulles</b> Impact à l'intérieur du département
<b>IMPACT QUALITÉ</b> « Q »	<b>Conséquences externes</b> Impact à l'extérieur de l'usine (ex: retour du client, intoxication)	<b>Conséquences internes</b> Impact à l'intérieur de l'usine (ex:détecter dans un autre départ)	<b>Conséquences locales ou nulles</b> Impact à l'intérieur du département (ex: détecter dans le même départ)

### 3.3.9 Calcul de la criticité

Les prochaines lignes expliquent comment effectuer le calcul des différentes situations de la matrice pour en dégager le résultat de la criticité de chaque équipement.

Dans un premier temps, voici quelques lacunes dans la méthode de calcul de la criticité de Retailleau et Turcotte [1999]. Premièrement, la matrice originale propose de multiplier les résultats obtenus. Cependant, le piège de la multiplication vient du fait que si on a une seule valeur à zéro, le total obtenu est 0. Ainsi pour tous les équipements ayant obtenu zéro, il est difficile de les prioriser puisque tous les équipements ont obtenu le même résultat. Il faut retourner consulter l'analyse pour pouvoir en faire une différence en comparant chacun des résultats entre les équipements. Par exemple, un équipement ayant obtenu ces valeurs pour les six lignes (1, 2, 2, 0, 1, 2) a comme résultat de multiplication zéro (0). Un autre équipement ayant obtenu ces valeurs pour les six lignes (0, 0, 0, 1, 0, 1) a également un résultat de multiplication de zéro (0). Cependant, on peut facilement s'apercevoir que le deuxième équipement est plus critique que le premier puisqu'il a plusieurs valeurs à zéro. Mais en ne conservant que le résultat de la multiplication, on ne peut plus faire ce raisonnement aussi facilement par la

suite. De plus, toujours dans la matrice originale, si toutes les valeurs sont égales à 1, le résultat est égal à 1 en utilisant la multiplication. Finalement, on peut avoir des résultats considérables pouvant aller jusqu'à 729 lorsque l'on multiplie des valeurs égales à 1, 2 ou 3 (ex :  $3^6$ ). Pour conclure le tout, les auteurs proposent de déterminer un seuil de criticité comme par exemple lorsque le total est plus petit que 32 alors l'équipement est considéré critique.

Considérant ces faits, la nouvelle matrice propose une méthode de calcul de la criticité améliorée puisqu'elle additionne les résultats plutôt que de les multiplier. Cela a comme principal avantage de bien pouvoir cibler les priorités après un seul calcul. Par exemple, si l'on reprend les deux mêmes exemples vus précédemment, la méthode par addition donne un résultat de 8 pour le premier équipement (1, 2, 2, 0, 1, 2) et un résultat de 2 pour le deuxième équipement (0, 0, 0, 1, 0, 1). On remarque donc beaucoup plus aisément la différence de criticité entre ces deux équipements et cela, du premier coup. Voici les étapes à suivre ainsi que le raisonnement derrière cette façon de calculer la criticité.

Première étape : une addition est faite pour chacun des résultats des lignes de la matrice PEMSEQ. Cette addition peut avoir comme résultat possible un minimum de zéro si toutes les lignes sont de valeurs 0 (0,0,0,0,0,0) et un maximum de 12 si toutes les lignes sont de valeurs 2 (2,2,2,2,2,2). Par exemple, un équipement ayant comme valeurs (2,0,1,2,1,1) obtient 7 comme résultat.

Si l'un des équipements obtient au moins une valeur de criticité zéro pour n'importe laquelle des lignes PEMSEQ de la matrice, cet équipement est dès lors considéré comme critique puisque la matrice considère que le maillon le plus faible détermine le résultat en terme de criticité. Cette façon de procéder est similaire à la méthode utilisée par Chelbi et Ait-Kadi [2001] lorsqu'ils ont appliqué une notion de conditions de non-admissibilité tel que vu dans la revue de littérature.

Deuxième étape : il faut classifier les résultats. Voici la classification établie en collaboration avec le chef de la maintenance, les deux superviseurs de maintenance et l'auteur. L'évaluation globale d'un équipement ayant un résultat global compris entre 0 et 5 obtient un niveau de priorité 1 et est considéré comme un équipement vital pour l'entreprise. Cela se justifie par le fait que pour obtenir un résultat global entre 0 et 5, il doit obligatoirement y avoir au moins une valeur à zéro et le restant des valeurs sont des un (0,1,1,1,1) ou plus d'une valeur à zéro et une combinaison de valeurs 1 et 2 (ex : 0,0,1,2,2,0). Le nombre maximal de valeurs possibles à zéro est entre six et une possibilité. Par exemple, voici les deux extrêmes : (0,0,0,0,0,0) donne un résultat de zéro avec six valeurs à zéro et (0,1,1,1,1,1) donne un résultat de cinq avec une valeur à zéro. Cela veut dire que pour obtenir un résultat entre 0 et 5, il doit obligatoirement y avoir une valeur à zéro, contrairement aux prochaines catégories. C'est ce qui justifie la classification d'équipement vital.

L'équipement ayant un résultat global entre 6 et 8 obtient un niveau de priorité 2 et est considéré comme un équipement essentiel pour l'entreprise. Cela se justifie par le fait que pour obtenir un résultat global entre 6 et 8, le nombre maximal de valeurs possibles à zéro est entre trois et aucune possibilité. Par exemple, voici les deux extrêmes : (0,0,0,2,2,2) donne un résultat de six avec trois valeurs à zéro et (1,1,1,1,2,2) donne un résultat de huit avec aucune valeur à zéro.

Ensuite, l'équipement ayant un résultat global de 9 ou 10 obtient un niveau de priorité 3 et est considéré comme un équipement auxiliaire pour l'entreprise. Cela se justifie par le fait que pour obtenir un résultat global de 9 ou 10, le nombre maximal de valeurs possibles à zéro est entre une et aucune possibilité. Par exemple, voici les deux extrêmes : (0,1,2,2,2,2) donne un résultat de neuf avec une valeur à zéro et (1,1,2,2,2,2) donne un résultat de dix avec aucune valeur à zéro.

Ainsi, tous les équipements avec un résultat entre 0 et 10 sont considérés des équipements critiques mais avec un niveau de priorité différent tel que 1, 2 ou 3.

Finalement, les équipements qui obtiennent un résultat global de 11 ou 12 ne sont pas critiques pour l'entreprise puisque aucune des lignes n'a obtenu une valeur égale à 0. Les seuls résultats qui peuvent donner un résultat global de 11 ou 12 sur une addition sont (2,2,2,2,2,1) ou (2,2,2,2,2,2).

Le tableau suivant résume le nombre de valeurs à zéro possible d'être retrouvé dans chacune des catégories.

Tableau 3.11 : Nombre de valeurs à zéro possible

Catégories	Nombre de valeurs à zéro possible par catégorie
0 à 5	Entre 6 et obligatoirement 1
6 à 8	Entre 3 et aucune
9 à 10	Entre 1 et aucune
11 à 12	Aucune

### 3.3.10 Classification par niveau de criticité

La section précédente a permis de classer les équipements en fonction de leur résultat lors de l'analyse de la matrice. Voici un résumé de cette classification, repris en partie de Dekker et al [1996] :

Tableau 3.12 : Classification des niveaux de criticité des équipements

Résultats	Niveau de priorité	Équipement critique ?	Classification par niveau de criticité
0-5	Priorité 1	Critique	Équipement vital
6-8	Priorité 2	Critique	Équipement essentiel
9-10	Priorité 3	Critique	Équipement auxiliaire
11-12		Non-critique	Équipement non-critique

Les trois niveaux de criticité permettent de mettre l'accent sur les équipements considérés les plus importants pour débiter l'analyse de criticité des pièces de rechange. Pour ce faire, il faut suivre la méthode pour établir la criticité des pièces de rechange.

### 3.4 Méthode pour établir la criticité des pièces de rechange

#### 3.4.1 Lien entre équipements critiques et pièces de rechange critiques

Une fois que les équipements critiques sont identifiés, l'étape suivante est de déterminer les pièces critiques de ces équipements puisque ce n'est pas parce qu'un équipement est critique que toutes ses pièces de rechange sont critiques. C'est pourquoi il est important d'avoir une méthode d'évaluation de la criticité des pièces de rechange.

#### 3.4.2 Expertise et documentation

Comme il a été précisé dans l'introduction, l'entreprise pouvait compter sur une excellente expertise à l'interne mais sur très peu de données quantitatives ou de documentation pour faire son analyse de criticité. Voici l'expertise et les informations avec lesquelles le projet a pu être réalisé.

Pour déterminer la criticité des pièces de rechange, une équipe est créée. Les membres de cette équipe sont un mécanicien d'expérience avec plus de 25 années de métier, un magasinier d'expérience de plus de 40 ans de service, le chef de la maintenance ainsi que l'auteure. De plus, certains mécaniciens ont collaboré au projet en aidant l'équipe à évaluer certaines pièces de rechange particulières comme des pièces pour de nouveaux équipements avec une nouvelle technologie sur laquelle ils ont été formés ou encore sur des pièces spécifiques provenant d'Allemagne, etc. Cette équipe a analysé chaque pièce des équipements. C'est un processus qui semble fastidieux mais puisque certaines catégories d'équipements et de pièces reviennent fréquemment lorsqu'il s'agit de mécanique, d'hydraulique et de pneumatique, cela s'est fait relativement rapidement, soit environ un mois pour un total de 982 équipements.

Certaines informations ont été utilisées pour accomplir cette analyse. Entre autre :

- les historiques de commandes des pièces pour connaître le taux de roulement des pièces;
- la liste des pièces actuellement en stock (selon l'inventaire informatique);
- la recherche manuelle et visuelle des pièces actuellement en magasin puisque aucun lien entre les équipements et les pièces n'était possible;
- les bons de travail antérieurs disponibles (récente base de données de seulement 3 mois) pour voir quels genres de défauts sont survenues sur l'équipement;
- la documentation sur les pièces recommandées par le manufacturier (lorsque disponible);
- l'expérience du personnel technique sur les lignes de production;
- l'expérience du personnel de maintenance.

En plus de ces informations, l'équipe de projet a défini ce qu'est une pièce de rechange critique à l'aide d'une définition et de critères de criticité.

### 3.4.3 Définition d'une pièce de rechange critique

Pour s'assurer que l'équipe de projet travaille avec efficacité et ait le même niveau de compréhension et d'analyse, il a été nécessaire de se faire une définition de ce qu'on entend par une « pièce critique ». Voici la définition acceptée par l'équipe de projet et qui a également été validée par le directeur d'usine et la directrice d'ingénierie :

Dans le département de conditionnement, une pièce critique est définie comme étant une pièce dont le bris peut arrêter un équipement de production critique pour une durée supérieure à 24 heures pour un équipement utilisé sur deux quarts de travail et moins et pour une durée supérieure à 8 heures pour un équipement utilisé sur plus de deux quarts de travail. Dans le département de fabrication, une pièce critique est une pièce pouvant arrêter un équipement de production critique pour une durée supérieure à 4 heures.

Il est important de souligner que le concept de micro-arrêt, par exemple 4 arrêts de 1 heure dans une semaine, n'est pas considéré avoir le même niveau d'importance sur l'impact de la criticité qu'un arrêt de 4 heures consécutives. La direction de Wyeth considère qu'un arrêt de 1 heure est plus facilement récupérable en utilisant divers moyens tel que du temps supplémentaire par exemple. Par contre, un arrêt de 4 heures consécutives est beaucoup plus problématique à gérer et est ainsi considéré comme une situation critique.

Cependant, cette définition à elle seule n'est pas complète pour permettre de déterminer la criticité d'une pièce. En plus de cette définition quantitative qui sera considérée plus loin comme le critère de criticité principal pour déterminer la criticité d'une pièce de rechange, l'équipe de projet s'est dotée de trois autres critères de criticité, appelés critères secondaires. Le critère principal sert dans un premier temps à déterminer si, oui ou non, la pièce de rechange est potentiellement critique. Si elle n'est pas critique en fonction de la définition d'une pièce critique, le processus de détermination de la

criticité s'arrête immédiatement et la pièce est classée non-critique. Si la pièce est potentiellement critique selon la définition d'une pièce critique puisqu'elle dépasse le nombre d'heures permis, le processus de détermination de la criticité se poursuit à l'aide des trois critères secondaires. L'analyse de ces trois critères permet de conclure sur la criticité de la pièce et de finaliser la décision, soit comme une pièce critique soit comme une pièce non-critique. Le tableau suivant explique les étapes du raisonnement sous forme de schéma et dans la prochaine section, le critère principal et les critères secondaires sont expliqués en détail.

Tableau 3.13 : Étapes d'évaluation de la criticité des pièces de rechange

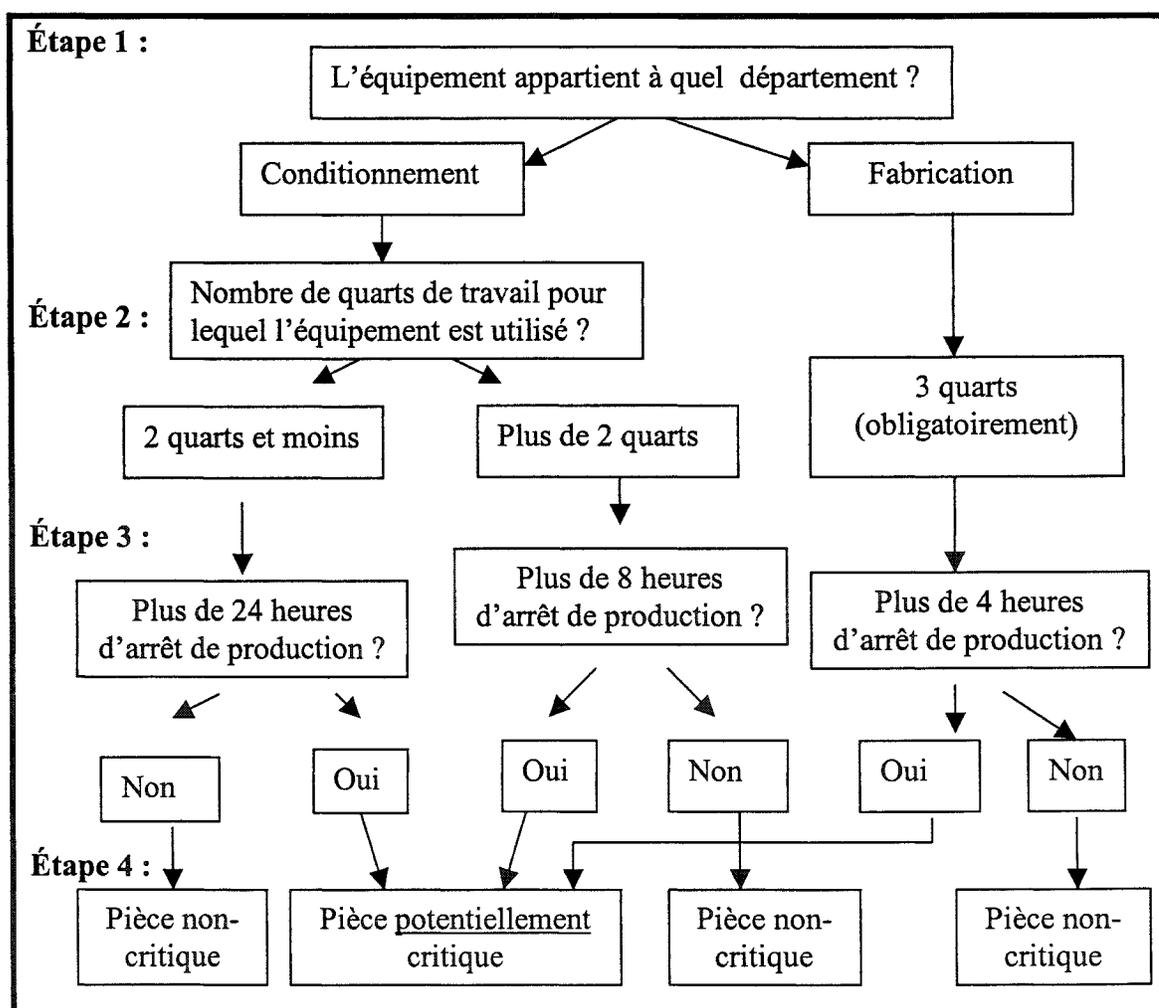
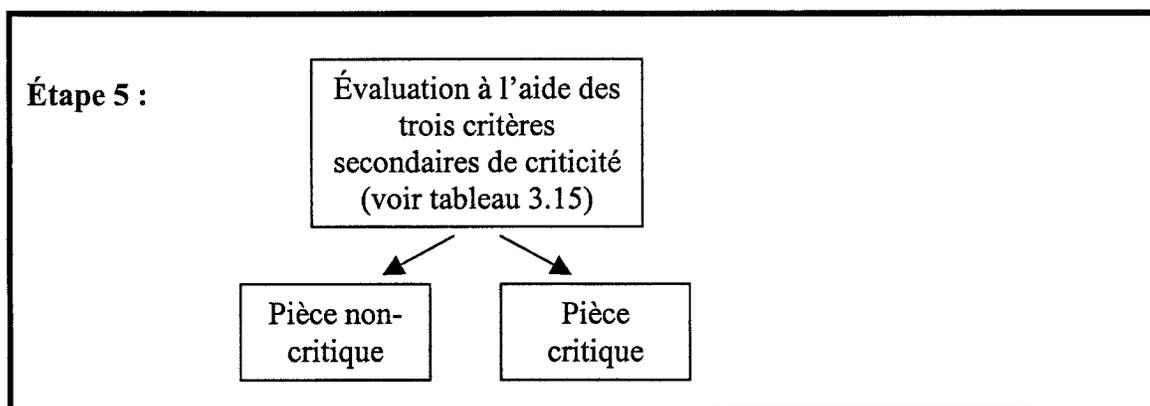


Tableau 3.13 : Étapes d'évaluation de la criticité des pièces de rechange (suite)



Voici l'interprétation de chacune des étapes mentionnées dans le schéma précédent.

À l'étape 1 : On doit identifier à quel département appartient l'équipement en panne qui cause un arrêt de production.

À l'étape 2 : On doit évaluer le nombre de quarts de travail durant lequel ou lesquels cet équipement est utilisé.

À l'étape 3 : On doit évaluer la durée estimée de l'arrêt de production si cette pièce est défectueuse.

À l'étape 4 : Si la durée estimée de l'arrêt de production n'est pas supérieure à la définition d'une pièce critique tel qu'établi à l'étape 3, la pièce n'est pas critique. L'analyse prend fin. Par contre, si la durée estimée de l'arrêt de production est supérieure à la définition d'une pièce critique mentionnée à l'étape 3, la pièce est potentiellement critique. L'analyse doit donc poursuivre avec l'étape 5.

À l'étape 5 : Si la pièce est jugée jusqu'ici potentiellement critique, on poursuit l'analyse de l'évaluation de la criticité à l'aide des trois critères secondaires. L'analyse de ces trois critères permet de conclure sur la criticité de la pièce et de finaliser la décision. Le résultat final de cette analyse est soit une pièce critique ou une pièce non-critique.

La prochaine section décrit ces trois critères secondaires qui viennent nuancer le critère principal.

#### **3.4.4 Critères de criticité des pièces de rechange**

Les quatre critères retenus dans la présente méthode sont les suivants :

Critère principal :

- l'impact d'un arrêt de production (en terme d'heures d'arrêt de production selon la définition d'une pièce critique).

Critères secondaires :

- le nombre d'équipements possédant cette pièce;
- la caractéristique de la pièce (spécifique ou générique);
- le risque de bris sur l'équipement.

Au chapitre précédent, le tableau 2.7 présente un regroupement de huit familles de critères reliés aux pièces de rechange répertoriées dans la littérature. Ce regroupement par familles de critères est fait pour permettre au lecteur de faire un rapprochement entre les 34 critères de divers auteurs recensés dans la littérature et qui sont sensiblement similaires. Pour une information globale, l'ensemble des 34 critères de criticité des pièces de rechange et regroupé en huit familles de critères est présenté à l'annexe 3. Rappelons que les différents auteurs ont utilisé en moyenne quatre critères dans la méthode qu'ils ont proposée, tout comme la présente méthode. Les prochains

paragraphes approfondissent chacune des familles de critères et justifient les quatre critères sélectionnés parmi tous les critères de toutes les familles pour développer la méthode proposée.

Famille de critères 1 : la première famille est « Criticité de la pièce sur la production ». Dans cette famille, des critères comme l'impact de la panne sur la production, les conséquences d'une panne et la disponibilité d'un autre moyen de production étaient proposés par les auteurs. Dans un premier temps, l'entreprise a élaboré sa définition d'une pièce critique en fonction du nombre d'heures d'arrêt d'un équipement de production critique que la défaillance d'une pièce peut causer. L'entreprise a ainsi mesuré l'impact d'une panne en terme d'heures plutôt qu'en terme de dollars par exemple. De plus, puisqu'une panne ne cause pas nécessairement un arrêt de la production, le terme « panne » est remplacé par le terme « arrêt de production » dans la méthode proposée. L'impact d'un arrêt de production est retenu comme critère principal de l'évaluation de criticité des pièces de rechange. De plus, en ce qui concerne la disponibilité d'un autre moyen de production, cet aspect a été analysé lors de l'évaluation des équipements. Une fois encore, il a été considéré par l'équipe de projet que le nombre d'équipements possédant cette pièce est un élément important de cette analyse. Le raisonnement est le suivant : si une pièce défectueuse sur un équipement est disponible sur un autre équipement qui n'est pas utilisé ou qui peut être temporairement arrêté, cette pièce peut être utilisée comme pièce de rechange. De plus, dans le contexte précis de Wyeth, le nombre d'équipements de réserve est considérable ce qui permet d'utiliser un équipement de rechange lors du bris d'une pièce. C'est pourquoi le critère du nombre d'équipements possédant la pièce est retenu comme l'un des trois critères secondaires déterminant la criticité d'une pièce.

Famille de critères 2 : la deuxième famille est « Caractéristiques de la pièce ». Cette catégorie a été retenue parce qu'une pièce spécifique peut devenir critique si elle est difficile à obtenir contrairement à une pièce générique qui peut s'obtenir et souvent par

plus d'un fournisseur. Le critère caractéristique de la pièce a été retenue comme l'un des trois critères secondaires.

Famille de critères 3 : la troisième famille est « Quantité de pièces consommées ». Selon l'équipe de projet, la quantité de pièces consommées n'a pas d'impact sur sa criticité. Que cette pièce soit utilisée fréquemment ou pas ne fait pas d'elle une pièce critique. L'important est de savoir l'impact si un bris survient. Cet aspect est évalué à l'aide de la famille 8.

Famille de critères 4 : la famille suivante est « Valeur de la pièce de rechange ». Selon l'équipe de projet, la valeur d'une pièce n'a pas d'impact sur sa criticité. Que cette pièce soit dispendieuse ou pas ne fait pas d'elle une pièce critique. La valeur d'une pièce est cependant importante à tenir en compte lorsque vient le temps d'élaborer les règles de gestion des pièces de rechange. Cette famille de critères n'a donc pas été retenue à ce stade-ci.

Famille de critères 5 : cette famille est : « Coûts de remplacement ». Par exemple, les coûts associés à une panne ou à un arrêt préventif. Dans le présent cas, l'entreprise a élaboré sa définition d'une pièce critique en fonction du nombre d'heures d'arrêt d'un équipement de production critique que la défaillance d'une pièce peut causer. Ainsi, plutôt que de fonctionner en terme de coûts en dollars, l'équipe de projet a tenu compte de cet aspect mais en terme de nombre d'heures. Cette famille n'est pas retenue puisque cet élément a déjà été tenu en compte dans la famille 1 : Criticité de la pièce sur la production.

Famille de critères 6 : la sixième famille est « Autres coûts à considérer ». Cette catégorie inclut entre autre les coûts de stockage, les coûts de détention d'une pièce, etc. Cet aspect est important. Par contre, l'équipe de projet n'a pas retenu cette famille de

critères pour les mêmes raisons que pour la famille de critère 4 : « Valeur de la pièce de rechange ».

Famille de critères 7 : cette famille est « Périodes à considérer ». Par exemple, les délais de réapprovisionnement, le point de commande, la période de remplacement préventif, etc. Le critère du délai de réapprovisionnement est important puisque si une pièce est longue à obtenir, l'impact sur la production sera important. Par contre, puisque la deuxième famille prend en compte les caractéristiques de la pièce, soit spécifique ou générique, le délai de réapprovisionnement est pris en compte puisque majoritairement, une pièce générique a un court délai de réapprovisionnement et une pièce spécifique a un délai plus élevé de réapprovisionnement. Également, il ne faut pas passer sous silence l'importance que prend la maintenance préventive pour s'assurer de diminuer les risques d'arrêt de production. Un travail d'équipe doit être fait avec le personnel de maintenance préventive pour assurer une cohérence avec les criticités déterminées. Par exemple, si une pièce est jugée critique, il faudra s'assurer de respecter l'échéancier de maintenance préventive prévu. Cet élément est pris en compte dans les stratégies de gestion. Il n'y a donc aucun élément de cette famille qui n'est retenu intégralement à ce stade-ci.

Famille de critères 8 : la dernière famille de critères est « Probabilités diverses » comme les durées de vie des pièces, les taux de défektivité passés et prévus, etc. Il y a beaucoup de ces probabilités qui nécessitent un bon historique sur les pièces de rechange et sur les équipements pour prévoir le nombre de remplacements par intervalle de temps, les probabilités de durée de vie, etc. Comme il a déjà été mentionné, ce genre de données n'est pas disponible dans l'entreprise. Pour pallier à cette situation, le critère sur le risque de bris d'une pièce est conservé comme l'un des trois critères secondaires et est évalué de façon qualitative par des mécaniciens d'expérience vu le manque d'information disponible pour utiliser une méthode statistique.

Ceci complète les explications sur le choix des quatre critères parmi toutes les familles recensées. La prochaine section permet d'évaluer concrètement les pièces de rechange par rapport à ces quatre critères.

### **3.4.5 Évaluation de la criticité des pièces de rechange**

Ainsi, l'équipe de projet, à l'aide de son expertise et des informations disponibles, s'est servie des deux éléments cités précédemment pour évaluer la criticité des pièces de rechange des équipements critiques.

- Le critère principal de criticité, c'est-à-dire la définition d'une pièce critique selon les départements
- Les trois critères secondaires de criticité

À l'aide de ces deux éléments, l'équipe a pu débiter son analyse de criticité sur les pièces de rechange à l'aide de la matrice qui suit. La première colonne indique le critère de criticité, la deuxième et la troisième colonnes le qualifient et la dernière colonne définit les qualificatifs utilisés pour rendre l'évaluation plus quantitative.

Tableau 3.14 : Matrice de criticité des pièces de rechange

Critères	Évaluation		Définitions
Critère principal			
Impact d'un arrêt de production (selon la définition d'une pièce de rechange critique)	Important (I)	Non-Critique (NC)	<u>Conditionnement</u> Important : Plus de 24 heures si 2 quarts et moins et plus de 8 heures si plus de 2 quarts Non-critique : Moins de 24 heures si 2 quarts et moins et moins de 8 heures si plus de 2 quarts <u>Fabrication</u> Important : Plus de 4 heures Non-critique : Moins de 4 heures
Critères secondaires			
Nombre d'équipements possédant cette pièce	Peu (P)	Nombreux (N)	Peu = 3 équipements et moins possédant la pièce <sup>3</sup> Nombreux = 4 équipements et plus possédant la pièce
Caractéristique de la pièce	Spécifique (S)	Générique (G)	Spécifique = fait sur mesure et/ou délai de livraison élevé Générique = pièce standard et/ou délai de livraison court

<sup>3</sup> Établi selon le chapitre 4 du livre « Le management de la maintenance » de Boucly et Ogus.

Tableau 3.14 : Matrice de criticité des pièces de rechange (suite)

Critères	Évaluation		Définitions
Critères secondaires			
Risque de bris	Élevé (E)	Faible (F)	Évaluer par les mécaniciens selon leur expérience de façon qualitative puisque les données ne sont pas disponibles. Ils se sont référés au taux de défectuosité de l'équipement de la matrice de criticité de l'équipement (Tableau 3.4). Dans le cas des pièces de rechange, les taux de 3/3 et 2/3 des équipements sont considérés comme élevés pour les pièces et le taux de 1/3 est considéré faible pour les pièces.

Tel que décrit dans le tableau 3.14, lorsque l'on détermine que la pièce est potentiellement critique en fonction du critère principal, on doit évaluer la criticité de la pièce à l'aide des trois autres critères secondaires, soit le nombre d'équipements possédant cette pièce, la caractéristique de la pièce et le risque de bris. Pour ce faire, voici un tableau décrivant les huit différentes possibilités ( $2^3$ ).

Tableau 3.15 : Scénarios possibles de criticité des pièces de rechange

Critères	Scénarios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Critère principal</b>								
Impact d'un arrêt de production	I	I	I	I	I	I	I	I
<b>Critères secondaires</b>								
Nombre d'équipements possédant cette pièce	P	N	P	P	P	N	N	N
Caractéristique de la pièce	S	G	S	G	G	S	G	S
Risque de bris	E	F	F	E	F	E	E	F
<b>Résultat de criticité</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>

Légende : C = Critique NC = Non-critique I = Important P= Peu N= Nombreux S=Spécifique  
G= Générique E= Élevé F= Faible

Prenons par exemple le scénario 4 qui a peu d'équipements similaires donc pas de possibilités de se dépanner à l'interne (situation critique), une pièce générique qui peut se trouver facilement (situation non-critique) et un risque de bris élevé (situation critique). L'équipe de projet a convenu que lorsque le risque de bris est élevé, une pièce est considérée critique même si c'est une pièce générique facile à se procurer. Il ne faut pas oublier que seules les pièces des équipements critiques sont analysées alors il ne faut pas perdre une minute lorsqu'un bris survient sinon il peut en coûter très cher à l'entreprise pour la perte de production. C'est le même genre de raisonnement qui est appliqué pour les huit scénarios.

### 3.4.6 Niveaux de criticité des pièces de rechange

La section précédente a permis d'évaluer la criticité des pièces de rechange. Suite à cette évaluation, une classification des niveaux de criticité des pièces de rechange est proposée pour poursuivre le développement d'une méthode globale d'évaluation.

Le tableau 2.9, présenté dans la revue de littérature, définit différentes classifications de niveaux de criticité des pièces de rechange. Le lecteur peut constater que les définitions ne sont pas précises. Une modification a alors été apportée pour définir de façon précise ce que veulent dire des termes comme « grandes pertes financières » ou « pertes modérées » ou encore « pertes mineures ». De plus, le terme « pièce désirée » est remplacé par « pièce auxiliaire » pour respecter le même format que la classification des équipements.

Finalement, une classification des niveaux de criticité des pièces de rechange est proposée au tableau 3.16, reprise en partie de Gajpal et al. [1994] et de Dekker et al. [1996] et adaptée pour la méthode proposée. Cette classification donne un aperçu rapide des quatre aspects suivants : le niveau de priorité de la pièce, sa criticité (s'il y a lieu), s'il faut conserver la pièce en stock et finalement, la classification générale de la pièce.

Tableau 3.16 : Classification proposée des niveaux de criticité des pièces de rechange

Niveau de Priorité	Pièce critique ?	Pièce à conserver en stock ?	Classification par niveau de criticité
1	Critique	Oui	Pièce vitale
2	Critique	Non	Pièce essentielle
3	Non-critique	Non	Pièce auxiliaire
4	Non-critique	Non	Pièce désuète

### 3.5 Règles et stratégies de gestion des pièces de rechange

Maintenant que les pièces de rechange critiques ont été identifiées et classifiées, il faut savoir les gérer adéquatement. Ainsi, ce n'est pas parce qu'une pièce de rechange est critique qu'il faut obligatoirement la conserver en stock. C'est pourquoi certaines règles de gestion sont établies pour permettre à l'entreprise de posséder les pièces importantes sans avoir un stock imposant en terme de dollars et de volume de pièces à supporter. Cette notion est jumelée à la classification de la pièce et permet de faire un tout suite à l'évaluation de la criticité.

Tableau 3.17 : Définitions de la classification proposée des niveaux de criticité et règles de gestion des pièces de rechange

<p><b>PIÈCE VITALE</b></p> <p>C'est une pièce qui, lors d'un bris de pièce, causerait un arrêt de production important, c'est-à-dire des pertes supérieures à :</p> <p><u>Conditionnement</u> Plus de 24 heures pour deux quarts et moins Plus de 8 heures pour plus de deux quarts</p> <p><u>Fabrication</u> Plus de 4 heures</p> <p>et qui est considérée critique selon l'évaluation des trois critères secondaires (c'est-à-dire les scénarios 1, 4 et 6 du tableau 3.15).</p> <p><u>Règle de gestion</u> : Cette pièce devra être conservée en stock pour minimiser la durée de l'arrêt de production.</p>
<p><b>PIÈCE ESSENTIELLE</b></p> <p>C'est une pièce qui, lors d'un bris de pièce, causerait un arrêt de production important, c'est-à-dire des pertes supérieures à :</p> <p><u>Conditionnement</u> Plus de 24 heures pour deux quarts et moins Plus de 8 heures pour plus de deux quarts</p> <p><u>Fabrication</u> Plus de 4 heures</p> <p>mais qui n'est pas considérée critique selon l'évaluation des trois critères secondaires (c'est-à-dire les scénarios 2, 3, 5, 7 et 8 du tableau 3.15).</p> <p><u>Règle de gestion</u> : Cette pièce n'a pas besoin d'être conservée en stock dans l'entreprise mais doit être disponible rapidement en cas de besoin. La section sur les règles et les stratégies de gestion donne des possibilités à ce sujet.</p>

Tableau 3.17 : Définitions de la classification proposée des niveaux de criticité et règles de gestion des pièces de rechange (suite)

<p><b>PIÈCE AUXILIAIRE</b></p> <p>C'est une pièce qui, lors de l'analyse du critère principal, est considérée comme non-critique dès le début de l'analyse.</p> <p><u>Règle de gestion</u> : Cette pièce n'a pas à être conservée en stock.</p>
<p><b>PIÈCE DÉSUÈTE</b></p> <p>Pièce qui n'est plus en usage.</p> <p><u>Règle de gestion</u> : Cette pièce doit être jetée ou vendue puisqu'elle n'est plus utile comme pièce de rechange et prend de l'espace d'entreposage inutilement.</p>

En plus des règles de gestion des pièces de rechange, quelques stratégies peuvent être utilisées pour diminuer le nombre de pièces à conserver en stock et pour améliorer les délais de réapprovisionnement. En voici quelques-unes :

Une pièce critique peut être conservée en stock chez le manufacturier ou le distributeur de la pièce pour une utilisation future par l'entreprise lorsque les délais de livraison sont acceptables. Lorsque le prix de la pièce est très élevé, l'entreprise peut faire un partenariat avec certaines autres entreprises susceptibles d'avoir besoin de cette même pièce et de partager les frais engendrés. Cela permet d'avoir une stratégie contre un éventuel risque de défaillance à moindre coût.

L'entreprise peut faire des recherches pour des fournisseurs alternatifs même s'ils ne sont pas en situation d'urgence. Cela peut servir de « roue de secours » en cas de panne et diminuer les coûts associés à l'arrêt de production lorsque l'on peut réagir rapidement.

Il faut bien gérer les stocks de pièces servant à la maintenance préventive des équipements. Ces pièces doivent être disponibles lorsque les entretiens sont planifiés.

Lorsque les stocks de pièces de maintenance préventive sont bien gérés, cela permet d'avoir une meilleure gestion des pièces de rechange puisque dans un premier temps, la maintenance préventive ne vient pas utiliser le stock des pièces de rechange pour une fonction qui ne leur est pas destinée à l'origine. En plus, une bonne utilisation de la maintenance préventive évite que l'on utilise prématurément des pièces de rechange ou pire encore, que l'on ait besoin de pièces de rechange que l'entreprise ne s'attendait pas à devoir remplacer de façon corrective.

Finalement, si une pièce brise régulièrement, il y a lieu d'approfondir la cause de la défaillance pour éviter que le problème ne survienne à nouveau et engendre des coûts et des désagréments inutiles.

### **3.6 Conclusion**

Dans le but de résumer ce chapitre, voici les étapes de la méthode proposée :

- 1) déterminer le but du magasin de maintenance;
- 2) définir les critères de criticité des équipements;
- 3) évaluer les équipements en fonction des critères;
- 4) prioriser / classifier les équipements en fonction des niveaux de criticité;
- 5) définir les critères de criticité des pièces de rechange;
- 6) évaluer les pièces de rechange en fonction des critères;
- 7) prioriser / classifier les pièces de rechange en fonction des niveaux de criticité;
- 8) établir la gestion des pièces de rechange en fonction des résultats.

Ces huit étapes sont générales et peuvent être appliquées dans d'autres types d'entreprises. Par contre, les définitions et la terminologie utilisées doivent être revues s'il s'agit de contextes différents.

En plus d'être plus spécifique sur les définitions pour évaluer la criticité des équipements, la matrice devait comporter cinq caractéristiques déterminées par l'entreprise. Les caractéristiques d'une matrice facilement utilisable pour Wyeth sont : être compréhensible pour les non-initiés; constante dans le temps; adaptable avec peu de modifications à d'autres secteurs de l'entreprise; refléter les particularités de la compagnie (critères de criticité); cibler les éléments critiques. L'ensemble de ces caractéristiques est respecté avec la nouvelle méthode proposée.

Ce chapitre a présenté une nouvelle méthode globale de gestion des pièces de rechange. Seulement le produit final de cette méthode est présenté dans ce chapitre. Les améliorations apportées par l'équipe tout au long du projet n'ont pas été présentées dans ce chapitre-ci. Par contre, le prochain chapitre démontre les résultats qu'une telle méthode peut apporter à une entreprise ainsi que les améliorations majeures qui ont mené à la version finale de la méthode proposée de gestion des pièces de rechange.

## CHAPITRE 4 : VALIDATION

### 4.1 Introduction

Le chapitre précédent a présenté les différentes étapes d'une méthode globale de gestion des pièces de rechange. Maintenant que ces différentes étapes ont été expliquées, le présent chapitre s'attarde sur la validation de la méthode globale au sein de l'entreprise. Les sujets suivants sont présentés : des informations sur les deux équipes de projet, le choix du département pilote pour évaluer la criticité des équipements, les résultats de l'application de la méthode de criticité des équipements et de la criticité des pièces de rechange, une analyse de rentabilité, les difficultés rencontrées et finalement, une conclusion sur la validation de la méthode globale.

### 4.2 Validation de la méthode d'évaluation des équipements

#### 4.2.1 Équipe de projet

Pour effectuer la validation de la méthode d'évaluation des équipements, plusieurs personnes ont collaborées. En plus de l'équipe initiale déjà présentée dans le chapitre précédent, les directeurs des six départements (aussi appelés micro-usines) se sont joints à l'équipe, en plus d'une vingtaine d'employés d'usine, le planificateur de la maintenance préventive et gestionnaire de la base de données des équipements et tout particulièrement les employés et le directeur de la micro-usine « pharma », qui a été choisie comme micro-usine pilote pour valider la méthode d'évaluation de la criticité des équipements. Cette équipe représente un point fort de l'analyse puisque plusieurs dizaines d'années d'ancienneté sont présentes au sein de l'équipe en plus d'une richesse importante d'expertises variées et de connaissance de l'entreprise.

#### 4.2.2 Choix de la micro-usine pilote

Dans un premier temps, l'équipe de projet a décidé de faire un projet pilote avec l'une des micro-usines pour permettre de valider la méthode proposée sur un petit nombre d'équipements, soit 217 équipements et ainsi, s'assurer de faire les ajustements nécessaires avant l'évaluation des 765 autres équipements ciblés, pour un total de 982 équipements analysés.

Pour faire le choix de cette micro-usine, l'équipe s'est dotée de certains critères de décision concernant la micro-usine pilote tels que :

- a) avoir des équipements similaires aux autres micro-usines ;
- b) ne pas contenir une trop grande quantité d'équipements pour permettre une validation et un réajustement rapide de la méthode proposée ;
- c) avoir des équipements facilement accessibles pour les visualiser au besoin ;
- d) avoir un historique de maintenance connu des employés techniques;
- e) avoir des procédés bien maîtrisés et connus des employés techniques.

Suite à l'établissement de ces éléments pour bien cibler la micro-usine pilote, les six micro-usines (Pharma, Vitamines, Liquide, OC, OTC et TAB) ont été analysées en fonction de ces éléments. Certaines micro-usines ont été éliminées rapidement puisqu'elles ne correspondent pas à ces éléments pour le choix d'une micro-usine pilote. Par exemple, le département des liquides comporte trop d'équipements pour faire un projet pilote. Ensuite, le département des OC (oral contraceptive) a des équipements trop difficiles à visualiser au besoin puisqu'ils sont dans des salles blanches nécessitant des uniformes réglementaires très spécifiques. Finalement, une partie de la ligne des Vitamines est trop récente pour en avoir une bonne maîtrise technique en plus de ne posséder qu'un faible historique de maintenance. Des trois micro-usines restantes (Pharma, OTC et TAB), c'est Pharma qui a les équipements les plus similaires aux

autres départements. C'est pourquoi le choix de l'équipe de projet s'est arrêté sur la micro-usine Pharma pour valider la méthode d'évaluation de la criticité des équipements. Le projet pilote a ainsi porté sur l'évaluation de 217 équipements.

#### **4.2.3 Validation de la méthode d'évaluation de la criticité des équipements**

La validation consiste à analyser chaque équipement de la micro-usine pilote avec la matrice développée et d'évaluer les résultats et les embûches possibles. Le projet pilote a entre autre permis de stabiliser le vocabulaire et les critères de criticité pour pouvoir proposer la version finale présentée au chapitre précédent. En ce qui concerne la durée du projet pilote, pour faire l'exercice préliminaire de valider la méthode d'évaluation de la criticité des équipements de la micro-usine Pharma et d'apporter les modifications nécessaires, cela a pris un mois.

Les principales modifications apportées pour en arriver au modèle présenté sont expliquées dans les lignes qui suivent. Premièrement, des ajustements de vocabulaires sont effectués dans la matrice pour utiliser des termes facilement compréhensibles par les employés. Deuxièmement, le premier critère de la matrice sur l'impact sur la production est modifié pour utiliser le terme quart de travail plutôt que le terme goulot de production, moins facile à saisir pour les employés. De plus, le deuxième critère de la matrice est également modifié avec un sous-critère pour pondérer la notion d'état d'équipement avec une notion de taux de défektivité de l'équipement pour compléter l'analyse de ce critère. Ensuite, la façon de compiler le calcul de la criticité avec une addition plutôt qu'une multiplication est revue telle qu'expliquée dans le chapitre précédent. Finalement, il y a amélioration au niveau de l'apparence visuelle du formulaire de collecte de donnée pour enregistrer toutes les informations pertinentes sur les équipements et les pièces de rechange.

Une fois la méthode stabilisée avec la micro-usine pilote, l'ensemble des 982 équipements a été analysé avec la version finale de la méthode d'évaluation de la criticité des équipements. Pour l'ensemble des 982 équipements (incluant les 217 équipements de la micro-usine pilote), l'analyse a duré près de cinq mois, mais à intervalles espacés.

#### 4.2.4 Résultats de criticité des équipements à l'aide de la matrice

Suite à l'application de la méthode d'évaluation de la criticité des équipements aux 982 équipements ciblés, 182 équipements ont été jugés critiques puisqu'ils ont obtenu au minimum un résultat de niveau de criticité 0 parmi l'un des six critères de la matrice PEMSEQ proposée (tableau 3.10) tel que décrit dans la section « Calcul de la criticité » du chapitre III. Pour les 182 équipements jugés critiques, le tableau 4.1 présente un résumé des résultats de criticité indiquant le pourcentage d'équipements ayant obtenu un niveau de criticité 0, 1 ou 2 selon le critère de la matrice. Par la suite, les prochaines lignes expliquent en détail cette répartition.

Tableau 4.1 : Répartition des résultats de criticité des 182 équipements critiques

CRITÈRES	NIVEAUX DE CRITICITÉ		
	0	1	2
P	96%	3%	1%
E	7%	13%	80%
M	0%	16%	84%
S	5%	1%	94%
E	0%	0%	100%
Q	2%	6%	92%

### P - Impact sur le délai de production

Comme le démontre le tableau 4.1, sur les 182 équipements jugés critiques parmi les 982 équipements, 176 équipements le sont puisque ce critère a reçu un niveau de criticité de 0, soit 96% des équipements critiques. Wyeth étant en bonne maîtrise dans les cinq autres critères, c'est principalement ce critère, celui sur l'impact sur le délai de production, qui a fait la différence sur la criticité. Ainsi, le grand nombre de quarts de travail pour lequel l'équipement est utilisé et la faible possibilité d'équipements de rechange jouent un rôle important dans la décision finale de criticité.

### E - État général de l'équipement (E1)

Sur l'ensemble des 182 équipements critiques, 7% ont été déclaré critiques suite aux niveaux de criticité 0 obtenus par ce critère. Deux sous-critères sont considérés pour ce critère : la condition de l'équipement et son niveau de défektivité. 80% des équipements critiques ont obtenu un niveau de criticité 2 puisque la plupart des équipements sont en bonnes conditions et ont un faible taux de défektivité. Par contre, dans un but préventif, les équipements avec un fort niveau de défektivité (3/3), et par conséquent un niveau de criticité 0, ont été répertoriés pour permettre à l'entreprise de les analyser de plus près et d'éviter des arrêts de production prévisibles.

### M - Maîtrise de l'entretien : pièces de rechange, documentation et expertise

Aucun équipement n'a été déclaré critique suite à l'évaluation de ce critère puisque l'entreprise possède une très bonne expertise à l'interne. La documentation au centre de documentation étant disponible dans seulement 50% des cas environ et n'ayant pas d'information dans le système informatique CMMS pour lier un équipement aux pièces s'y rattachant dans le magasin, c'est principalement l'expertise à l'interne qui fait que l'entreprise performe bien sur ce critère. Il est à noter qu'un transfert de connaissance

de l'expertise des anciens employés vers les nouveaux employés est essentiel pour maintenir ce positionnement dans le futur.

#### S - Impact sécurité

Sur l'ensemble des 182 équipements critiques, 5% ont été déclaré critiques suite aux niveaux de criticité 0 obtenus par ce critère. Les seuls équipements qui ont obtenu un niveau de criticité 0 sont les équipements comportant un risque de blessures graves, comme les élévateurs à baril. Les autres équipements sont dans des milieux très sécuritaires, reflétant ainsi la vision de Wyeth au sujet de la sécurité.

#### E - Impact environnement (E2)

Aucun équipement n'a été déclaré critique suite à l'évaluation de ce critère puisqu'aucun équipement n'est considéré pouvant avoir des conséquences internes ou externes sur l'environnement. Seulement de faibles probabilités de conséquences locales (départementales) sont possibles, mais pour la majorité des équipements, les possibilités de nuire à l'environnement sont nulles.

#### Q - Impact sur la qualité

Sur l'ensemble des 182 équipements critiques, seulement 2% ont été déclaré critiques suite aux niveaux de criticité 0 obtenus par ce critère. La raison est qu'aucun équipement n'est considéré comme pouvant affecter grandement la qualité du produit sans être détecté dans son département par les dispositifs de prévention. Ceux-ci sont installés tout au long de la chaîne de production pour éviter de telles répercussions.

#### 4.2.5 Sommaire de l'application de la méthode de la criticité des équipements

Suite à l'application de la matrice PEMSEQ pour chacun des 982 équipements, certaines statistiques sont compilées pour donner un aperçu des résultats de l'application de la méthode proposée. Un sommaire de ces résultats est d'abord présenté et ensuite, le tableau 4.2 présente l'information complète ainsi qu'une brève explication.

Dans l'ensemble :

- 982 équipements sont évalués
- 867 équipements sont actifs  
Un équipement actif est considéré comme un équipement qui est utilisé pour la fabrication ou le conditionnement d'un produit de façon fréquente.
- 115 équipements sont inactifs  
Un équipement inactif est considéré comme un équipement qui est soit inutilisé depuis plusieurs mois, soit utilisé de façon peu fréquente, soit au rebut ou vendu et qui n'a pas été retiré de la liste des équipements. Un équipement inactif est considéré comme un équipement non-critique.
- 182 équipements sont considérés critiques, soit 19%
- 800 équipements sont considérés non-critiques, soit 81%
- Le pourcentage d'équipements critiques varie de 0% à 35% selon le département.

En ce qui concerne la classification des équipements critiques, voici la répartition des priorités 1, 2 et 3 :

- 0,5% des équipements sont classés priorité 1 : « équipement vital »
- 15% des équipements sont classés priorité 2 : « équipement essentiel »
- 84,5% des équipements sont classés priorité 3 : « équipement auxiliaire »

Les informations et statistiques détaillées sont disponibles dans le tableau 4.2 :

Tableau 4.2 : Répartition des équipements par micro-usines et au total

RÉPARTITION DES ÉQUIPEMENTS	MICRO-USINES													
	PHARMA		OC		OTC		TAB		LIQ		VIT		TOTAL	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%
<b>A</b>														
Équipements évalués	217	100%	131	100%	111	100%	104	100%	266	100%	153	100%	982	100%
- Équipements actifs	202	93%	64	49%	104	94%	102	98%	245	92%	150	98%	867	88%
- Équipement inactifs	15	7%	67	51%	7	6%	2	2%	21	8%	3	2%	115	12%
<b>B</b>														
Équipements critiques	76	35%	7	5%	32	29%	0	0%	19	7%	48	31%	182	19%
Équipements non-critiques	141	65%	124	95%	79	71%	104	100%	247	93%	105	69%	800	81%
<b>C</b>														
Niveau de priorité 1	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%
Niveau de priorité 2	15	20%	1	14%	5	16%	0	0%	0	0%	6	13%	27	15%
Niveau de priorité 3	60	79%	6	86%	27	84%	0	0%	19	100%	42	88%	154	84%

La section A de ce tableau indique le nombre d'équipements évalués par micro-usine pour couvrir l'ensemble des 982 équipements analysés. De plus, la section A donne la répartition des équipements actifs et inactifs (tel qu'expliqué précédemment) par micro-usine.

La section B du tableau indique la répartition en nombre et en pourcentage d'équipements définis critiques et non-critiques par micro-usine.

La section C complète l'analyse en décortiquant les niveaux de priorité des équipements qui sont critiques dans la section B. Ainsi, sur les 182 équipements considérés critiques (19% des équipements évalués au total), la répartition entre une priorité 1, 2 ou 3 est indiquée en terme de nombre et de pourcentage.

## **4.3 Validation de la méthode d'évaluation des pièces de rechange**

### **4.3.1 Équipe de projet**

Une fois l'ensemble des équipements analysés, une nouvelle équipe de projet s'est réunie pour valider la méthode d'évaluation des pièces de rechange. Cette équipe est la même que pour l'élaboration de la méthode d'évaluation des pièces de rechange soit, un mécanicien d'expérience, un magasinier d'expérience, le chef de la maintenance et l'auteur.

### **4.3.2 Validation de la méthode d'évaluation des pièces de rechange**

Comme il a été question dans le chapitre précédent, l'évaluation de la criticité des pièces de rechange est analysée seulement sur les équipements déterminés critiques. Dans ce cas-ci, il s'agit d'un total de 182 équipements.

La validation consiste à analyser les pièces de rechange de vingt équipements parmi les 182 équipements. Ces équipements doivent avoir des particularités différentes (ex : pneumatique, hydraulique, mécanique, électronique,...) tels que un convoyeur, une balance, une cuve de fabrication, un mélangeur, une mouleuse, etc, pour permettre une meilleure validation. En effectuant l'analyse des pièces de ces vingt équipements, l'équipe a pu raffiner sa méthode d'évaluation de la criticité des pièces de rechange. Dans l'ensemble, l'analyse complète des pièces des 182 équipements critiques a duré plus d'un mois.

Les deux principales modifications apportées suite à la validation des pièces critiques sur vingt équipements sont les suivantes. Premièrement, l'équipe a précisé de façon quantitative la définition d'une pièce critique puisque la définition initiale stipulait qu'une pièce critique est une pièce qui, lors d'un bris, nuit à la production. Mais cela

n'est pas suffisant. Il faut être capable de le mesurer quantitativement de façon précise et sans ambiguïté pour les membres de l'équipe, ce qui s'est fait avec la définition proposée au chapitre précédent. Deuxièmement, les membres s'aperçoivent que trop de critères de criticité sont pris en compte au début de la validation ou portent à confusion. L'équipe a pu éliminer ou combiner des critères de criticité pour s'en tenir à ceux expliqués dans le chapitre précédent.

#### **4.3.3 Sommaire de l'application de la méthode de l'évaluation de la criticité des pièces de rechange**

Suite à l'analyse de l'ensemble des pièces de rechange des 182 équipements critiques, il y a des pièces spécifiques à conserver en stock et il y a des pièces génériques qui sont nécessaires à plusieurs équipements et dont il est préférable de conserver en stock une quantité minimale. Par exemple, des pièces spécifiques comme un cylindre métrique, une table de convoyeur, une lampe pilote sont considérées critiques. Pour les pièces génériques, il s'agit entre autre de pièces telles que des joints d'étanchéité, des valves, des cadrans, des porte-fusibles, des boîtes d'entraînement, des variateurs de vitesse, des têtes d'imprimante, des circuits imprimés, des transistors, etc.

Le nombre de pièces de rechange appartenant à l'ensemble des équipements critiques ne pouvant être chiffré précisément dans un temps raisonnable, l'équipe a estimé le pourcentage de pièces critiques ciblé lors de l'analyse. Ainsi, l'analyse démontre que moins de 5% des pièces de rechange des équipements sont considérées critiques. Il y a donc peu de pièces de rechange à conserver en stock, mais ces pièces doivent être déterminées avec précision.

Chez Wyeth, le constat sur les pièces actuellement en stock fait ressortir qu'il y a beaucoup de pièces de rechange conservées en stock mais que les pièces actuellement en stock ne sont pas nécessairement des pièces critiques. Il y a ainsi un exercice important

à faire pour s'assurer de mettre en stock les pièces critiques et de s'assurer pour les pièces non-critiques actuellement en stock, soit de les consommer au fur et à mesure et de ne plus les commander par la suite, soit de les vendre si elles ont une certaine valeur de revente ou encore, dans certains cas, de les jeter. Mais une chose est certaine, c'est que l'imposant niveau actuel de stock sera grandement diminué suite à cet exercice et conséquemment, les investissements nécessaires pour soutenir ce stock de pièces de rechange diminueront également.

Par conséquent, une fois que l'exercice de détermination de la criticité des pièces de rechange est effectué, la mise en stock des pièces critiques déterminées par la méthode globale doit se faire pour finaliser le projet et sa mise en œuvre. Cela permettra d'aller chercher tout l'impact positif qu'une telle méthode peut apporter à une entreprise en terme d'amélioration du niveau de service et de diminution des coûts financiers.

#### **4.4 Base de données Access**

Pour compiler et tenir un registre de tous les équipements et les pièces analysés, une base de données Access a été développée. Cette base de données permet d'entrer toute l'information pertinente sur les équipements et les pièces de rechange. Dans le cas présent, voici les aspects qui ont été considérés dans la construction de la base de données Access :

- nom de l'équipement;
- numéro de l'équipement;
- description sur l'équipement (département, nombre de quart, ...);
- valeur de criticité obtenue pour chacun des critères;
- résultats de criticité (somme des valeurs obtenues);
- classification de l'équipement selon le résultat obtenu;
- pièces de rechange potentiellement critiques;
- pièces de rechange critiques avec le scénario correspondant;

- classification de la pièce de rechange;
- règles de gestion associées à la pièce de rechange.

Cette base de donnée permet aussi de faire le suivi lorsque de nouveaux équipements sont achetés ou que des changements surviennent dans l'entreprise sur les paramètres utilisés (par exemple un département qui augmente d'un quart de travail ou un équipement qui devient problématique en terme de risque de bris, etc.). Une entreprise qui a un petit volume d'équipements à analyser n'est pas nécessairement obligée d'avoir un support informatique pour traiter l'information. Par contre, lorsque le volume est imposant, par exemple dans le cas présent de 982 équipements, la tâche aurait été très ardue sans un support informatique.

#### **4.5 Étude de rentabilité**

Maintenant que la matrice est développée et que la méthode globale est validée, il est intéressant d'estimer le coût de l'application de la méthode en plus de la rentabilité possible de l'application de cette méthode. Les chiffres suivants sont des approximations et/ou des hypothèses basées sur la présente application.

Le taux horaire de l'équipe de projet pour l'évaluation des équipements est estimé à 300\$/heure et le taux horaire de l'équipe de projet pour l'évaluation des pièces de rechange est estimé à 250\$/heure. Pour l'évaluation de près de 1000 équipements et des pièces de rechange pour près de 200 équipements jugés critiques, le coût global de l'évaluation s'élève à 75,000\$. Puisque ce montant est fonction du nombre d'équipements évalués, qui est imposant dans ce cas-ci, le coût de l'étude pour un nombre d'équipements moins imposant sera inférieur puisque la majeure partie des coûts est variable selon le temps de l'évaluation des équipements et des pièces de rechange. Par exemple, une entreprise de 200 équipements et d'environ 40 équipements critiques

(estimé selon le ratio de 20% d'équipements jugés critiques déterminé lors de la validation), le coût de l'étude pourrait être d'environ 25,000\$.

Voici ce qui donne un aperçu du coût de l'application d'une telle méthode. Maintenant, pour savoir si une telle méthode est rentable pour une entreprise, on doit estimer les économies dont l'entreprise bénéficiera. Pour appuyer cette partie de l'étude de rentabilité, la société internationale APICS (The American Production and Inventory Control Society) donne un outil précieux d'évaluation. Selon cette société, le coût moyen de détention de pièces de rechange équivaut à 38% du coût des stocks par année. Ce coût comprend entre autre le coût de la pièce, les intérêts payés sur l'argent investi en pièces de rechange, le coût de location ou d'amortissement de l'entrepôt de pièces, le coût de dommage ou la perte de pièces causé lors de mauvaises manipulations, d'un mauvais entreposage ou de désuétude, les heures effectuées pour maintenir le stock de pièces de rechange, le coût d'assurance du stock de pièces de rechange, etc.

Le but d'une étude de rentabilité est d'évaluer en combien de temps une entreprise récupérera le capital investi dans le projet. C'est ce qu'on appelle un délai de recouvrement de l'investissement. Dans une entreprise en croissance, il est préférable que ce délai de recouvrement sur investissement se fasse dans un délai de 1 à 2 ans. Pour les entreprises matures, ce délai peut aller jusqu'à 5 ans. Dans ce cas-ci, pour établir un estimé du délai, on se sert du coût de l'étude estimé à 75,000\$ et pourcentage du coût moyen de détention de pièces de rechange. Ainsi, pour rentabiliser l'investissement de 75,000\$ en l'espace d'un an, il faut diminuer le niveau de stock de 197,400\$. Dans le cas présent, tel que mentionner dans l'introduction, 60% du coût des stocks est inconnu puisqu'une valeur de 0\$ est donnée à chaque item qui n'a pas encore été commandé dans le nouveau système informatique. Approximativement, le montant du coût des stocks est de 700,000\$ sans ce 60% de pièces. Ainsi, il est réaliste de penser que le coût des stock est de beaucoup supérieur à 1,000,000\$. Pour le présent exercice, nous prendrons simplement ce chiffre. Ainsi, si l'on doit réduire l'inventaire de 197,400\$ sur un inventaire de 1 million de dollars, cela fait une réduction de 20% du

coût du stock. Dans ce genre d'exercice, il est aisé de réduire le coût des stocks de 10% à 30%. Les données ainsi apportées permettent de croire que ce projet serait largement rentabilisé dans la première année en plus de permettre ces économies de façon récurrente à chaque année.

En plus d'un délai de recouvrement de l'investissement rapide et d'économies récurrentes à chaque année, l'implantation de cette méthode devrait permettre de réduire les coûts liés à la diminution des arrêts de production. On peut ainsi prévoir que l'implantation de cette méthode est rentable et ce, avec un délai de recouvrement sur investissement très rapide.

#### **4.6 Difficultés rencontrées**

L'évaluation des pièces est plus difficile à réaliser que celle des équipements. Pour les équipements, peu importe qu'il s'agisse d'équipements pneumatiques, électroniques, mécaniques, etc., l'analyse est sensiblement la même et le degré de difficulté est similaire. De plus, lorsque l'équipe est composée de gens cumulant plusieurs années d'expérience dans le domaine, qui ont une bonne connaissance de l'entreprise et qui possèdent des expertises variées, mais aussi une équipe qui peut compter sur une méthode structurée, l'évaluation se complète bien.

Par contre, pour l'analyse des pièces critiques, l'exercice d'évaluation est fait avec méthode et structure mais ne peut pas être considéré fait avec autant de précision que les équipements. La grande difficulté de l'évaluation des pièces réside dans le nombre presque incalculable de pièces que peut contenir un seul équipement. Ainsi, l'équipe de projet des pièces a analysé une étendue de 1 à 21 pièces par équipement selon les pièces qui semblent être les plus importantes et en fonction des critères de criticité établis. La moyenne des pièces analysées par équipement se situe entre 2 et 5 pièces. De l'ensemble des pièces analysées, environ 5% sont considérées critiques, comme mentionné précédemment.

#### 4.7 Conclusion

La validation a permis de réaliser l'importance d'avoir des critères clairs compris de tous les membres de l'équipe et des paramètres initiaux bien établis par la direction (par exemples : le but du magasin et le tableau 3.15 concernant l'établissement des scénarios de pièces de rechange critiques). Cela permet de faciliter l'évaluation de la criticité des équipements et des pièces de rechange en obtenant un consensus au sein de l'équipe.

La validation effectuée en entreprise a démontré que la méthode globale de gestion des pièces de rechange proposée apporte des résultats concrets, fiables et rentables pour améliorer la gestion des pièces de rechange au sein de l'entreprise. Un des objectifs du mandat est de diminuer la durée des pannes de production et par conséquent, d'améliorer le niveau de service fourni par la maintenance aux autres départements; but atteint par l'application de la méthode proposée.

Résultats finaux : 19% des équipements sont critiques.

Moins de 5% des pièces de rechange sont critiques.

Finalement, cette validation démontre concrètement que peu de pièces de rechange sont critiques, mais qu'il est essentiel de les connaître et de les avoir en stock ou de savoir se les procurer rapidement pour diminuer les arrêts de production et réaliser toutes les économies potentielles que l'application d'une telle méthode peut procurer à une entreprise.

## CHAPITRE 5 : CONCLUSION

### 5.1 Contexte

Le stock de pièces de rechange est souvent important en terme monétaire et en terme de quantité dans une entreprise mais plusieurs entreprises ne possèdent pas réellement les pièces de rechange critiques nécessaires pour diminuer les coûts reliés aux arrêts de production. Ainsi, le projet a débuté avec un mandat ayant pour but de permettre une réduction du coût des stocks à supporter par l'entreprise tout en ayant les pièces de rechange critiques en stock.

Le contexte de l'entreprise est important à prendre en compte. Dans le cas présent, l'entreprise possède près de 1000 équipements à analyser et plus de 13,000 catégories de pièces de rechange différentes en stock. Un facteur très important est que l'entreprise possède très peu d'informations pertinentes sur les historiques de maintenance et aucune information statistique n'est disponible à l'aide d'une base de données. Le système informatique est récent et ne permet pas d'obtenir d'information fiable sur une longue période. Par contre, l'entreprise peut compter sur une très bonne expertise technique à l'interne. La contre-partie est que l'information est contenue dans la tête de ces personnes qui comptent plusieurs années d'expérience au sein de l'entreprise et non pas dans des registres ou dans une base de données, ce qui met l'entreprise dans une position précaire au sujet de l'information et de l'expertise. Finalement, la réalisation de ce mandat doit apporter une économie monétaire importante à l'entreprise. Tels sont les besoins et le contexte de l'entreprise dans laquelle le mandat a été réalisé.

### 5.2 Apport d'innovation

L'apport d'innovation de cette recherche est bien concret. Dans la littérature, aucune méthode existante ne comblait tous les aspects pour être considérée comme une méthode complète. Jusqu'à présent, il n'y avait que des parcelles de méthodes présentées par

différents auteurs. Le tableau 2.10 dans la revue de littérature démontre bien ces lacunes. La méthode la plus complète recensée jusqu'ici, celle de Huiskonen [2001], ne comblait que neuf des treize éléments mentionnés dans le tableau. La méthode développée combine tous ces éléments et se veut une méthode globale et structurée permettant de former un tout.

### 5.3 Contributions

La principale contribution est d'avoir développé une méthode globale d'évaluation des pièces de rechange. Globalement, comme la figure 3.1 du chapitre sur la méthodologie le démontre, cette méthode se compose de trois éléments, soit une méthode d'évaluation de la criticité des équipements, une méthode d'évaluation de la criticité des pièces de rechange et des règles de gestion des pièces de rechange.

Cette principale contribution a été rendue possible grâce au développement et à la combinaison d'étapes telles que :

- déterminer le but d'un magasin de maintenance;
- cibler les lacunes de la littérature;
- définir les critères de criticité des équipements;
- développer une méthode d'évaluation des équipements critiques;
- développer des niveaux de criticité pour classifier les équipements;
- définir les critères de criticité des pièces de rechange;
- développer une méthode d'évaluation des pièces de rechange critiques;
- développer des niveaux de criticité pour classifier les pièces;
- définir une gestion des pièces de rechange critiques et non-critiques.

En plus, la méthode globale de gestion des pièces de rechange proposée est, telle que demandé au départ par l'entreprise, compréhensible par des non-initiés, facilement applicable dans l'entreprise visée et surtout, elle apporte des résultats concrets, fiables et

rentables pour améliorer la gestion des pièces de rechange au sein de l'entreprise. Cette méthode devrait permettre entre autre de diminuer la durée des pannes de production et par conséquent, d'améliorer le niveau de service fourni par la maintenance aux autres départements.

Finalement, l'évaluation de l'ensemble des équipements de Wyeth démontre que peu de pièces de rechange sont critiques, mais qu'il est essentiel de les connaître et de les avoir en stock ou de savoir se les procurer rapidement pour diminuer les arrêts de production.

#### **5.4 Avantages de la méthode**

Pour conclure, l'application d'une telle méthode devrait permettre à une entreprise de bénéficier des avantages suivants :

- un délai de recouvrement de l'investissement rapide;
- une économie liée à la réduction du niveau des stocks récurrente chaque année;
- une détermination des équipements critiques;
- une détermination des pièces de rechange critiques;
- une diminution des temps d'arrêt de production;
- une diminution des coûts reliés aux arrêts de production;
- une diminution du risque lié à la fiabilité des équipements critiques;
- une augmentation du niveau de service offert aux clients internes;
- une amélioration de la performance du département de maintenance préventive;
- un établissement des règles de gestion des pièces de rechange;
- une formation d'une équipe de gens à l'interne pour bien maîtriser la méthode;
- une méthode systématique répondant au contexte de l'entreprise.

## 5.5 Limites de l'approche

La principale limite de cette méthode se situe au niveau de l'harmonisation dans d'autres contextes de travail, comme par exemple des entreprises de services possédant des équipements. Si une prochaine entreprise ciblée pour implanter la méthode a un contexte de travail très différent qui aurait un impact sur les critères de criticité soit des équipements, soit des pièces ou les deux, les moyens d'évaluation tels que la matrice PEMSEQ et les critères d'évaluation des pièces de rechange devront être modifiés pour s'adapter au nouveau contexte.

Parmi les autres limites, il y a le défi de maintenir la fiabilité des résultats dans le temps, ce qui demande d'avoir une excellente gestion à l'interne pour revoir les critères et les paramètres utilisés ainsi que l'évolution du contexte de l'entreprise. Ces aspects ont un impact sur l'évaluation de la criticité, comme par exemple le nombre de quarts de travail sur lesquels l'équipement est utilisé, le nombre d'équipements de rechange, le taux de défectuosité, etc, tous des aspects qui évoluent dans le temps.

Autant cette méthode peut s'adapter telle quelle à d'autres contextes sans modifications majeures, autant elle pourrait avoir à être modifiée pour rencontrer un autre contexte avec par exemple des types d'équipements différents, un but du magasin de maintenance différent, une façon de gérer le magasin de pièce différente, une autre façon d'établir la criticité d'une pièce de rechange ou encore des contraintes financières ayant des impacts différents sur les critères.

D'une façon ou d'une autre, lorsqu'une méthode est implantée dans une entreprise, elle ne peut pas être implantée telle quelle sans au préalable s'assurer qu'elle correspond à la philosophie de l'entreprise et il faut également l'adapter en conséquence, ne serait-ce que pour des modifications mineures qui l'enrichiront.

### **5.6 Pistes de recherche pour l'avenir**

Des travaux de recherche futures peuvent s'intégrer en amont et en aval de ce sujet. La revue de littérature a démontré que très peu d'auteurs ont traité de la gestion des pièces de rechange. Par exemple, aucune recherche n'a été faite pour faire un lien entre les pièces de rechange déterminées critiques et une gestion approfondie et détaillée des pièces ABC, ce qui peut être un excellent sujet de recherche. De plus, le développement d'une telle méthode pour un environnement où l'information sur les équipements et les pièces et les historiques de maintenance sont fiables ferait un bon sujet de recherche. Aussi, deux autres sujets pertinents seraient la détermination des facteurs qui influencent la validité du résultat et la manière de maintenir la composition du stock de pièces de rechange dans un état optimal pourraient faire l'objet de futurs travaux. Il y a ainsi place à d'autres travaux de recherche en exploitant le thème des pièces de rechange.

**BIBLIOGRAPHIE**

AGRELL, P.J. (1995). A multicriteria framework for inventory control. International Journal of Production Economics, 41, 59-70.

AIT-KADI, D., DIALLO, C., CHELBI, A. (2001). Spare parts identification and provisioning models. Proceeding of International Conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM 2001), 2, 1241-1250.

AIT-KADI, D., OUALI, M.-S., CHELBI, A. (1999). Modèle de simulation de stratégies de maintenance. 3 ième congrès international de génie industriel, Presses internationales Polytechnique, Montréal, III, 1577-1586.

ALLEN, R. (1971). Chapter 4 : Inventory management and control. Industrial Engineering Handbook. MAYNARD McGraw-Hill, 8.85-8.107.

ANONYME. ABC Analysis. [www.geocities.com/motorcity/downs/5233/abc.html](http://www.geocities.com/motorcity/downs/5233/abc.html), pages consultées le 30 juin 2002.

ANONYME. APICS Conference highlights benefits from four new inventory reduction tools. [http://www.ioma.com/nls/archives.shtml?irr\\_01\\_00](http://www.ioma.com/nls/archives.shtml?irr_01_00), pages consultées le 8 août 2002.

ANONYME. RCM - Reliability Centered Manintenance. [www.sintef.no/unit/indman/sipaa/prosjekt/rcm.html](http://www.sintef.no/unit/indman/sipaa/prosjekt/rcm.html), pages consultées le 30 juin 2002.

ANONYME. (1999). Reserving spare parts for critical demand. Graduate School/Research Institute system, Organisations and managment (SOM), University of Groningen, 33 p.

ARFI, T., LANKARANI, H.M. (1993). Reliability analysis for enhanced equipment operational performance. 2nd Industrial Engineering Research Conference Proceedings, Los Angeles, 242-246.

ATKINS, D., KATIRCIOGLU, K.K. (1995). Managing inventory for multiple customers requiring different levels of service. University of British Columbia, Working paper 94-msc-015.

BARRY, A.G. (1994). Management of Critical Equipment (Wellhead Systems). Society of Petroleum Engineers, 28769, 281-289.

BEASLEY, J.E. OR-Notes : Inventory control. <http://mscmga.ms.ic.ac.uk/jeb/or/invent.html>, pages consultées le 30 juin 2002.

BHARGAVA, R. (1992). On-site performance evaluation of critical components in a cogeneration plant. IGTI, 7 : 571-583.

BOUCLY, F., OGUS, A. (1987). Chapitre 4 : Détermination des articles à maintenir en stock. Le management de la maintenance : Évolution et mutation, Paris, Afnor gestion, 89-101.

BRAGLIA, M. (2000). MAFMA: multi-attribute failure mode analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, 17 (9), 1017-1033.

BROWN, M.V. Determining spare parts requirements using repair scenarios. <http://www.newstandardinstitute.com/articles/stock-store/index.html>, pages consultées le 8 août 2002.

BROWN, M.V. Take stock of your maintenance storerooms. <http://www.newstandardinstitute.com/articles/stock-store/index.html>, pages consultées le 8 août 2002.

- BUCHAL, R., MATHESON, L. (2000). Inventory Mangement. University of Western Ontario, Acétates 1-24.
- BUKCHIN, J., TZUR, M., JAFFE, M. (2002). Lot splitting to minimize average flow-time in a two-machine flow-shop. IIE Transactions, 34 (11), 953-970.
- BÜHRING, V., UHLEMANN, K.-D., WILHELM, K. (1990). Computer-aided disposition of the reserve of spare parts. Engineering Costs and Production Economics, 19 (1-3), 133-137.
- CHELBI, A., LIMAYEM, M. (1997). Improving multicriteria group decision making with automated decision guidance. IEEE, 1890-1895.
- CHELBI, A., AIT-KADI, D. (2001). Classement des équipements par ordre de priorité pour la maintenance : Une approche multicritère. Revue Internationale d'Ingénierie des Systèmes de Production Mécanique, 5, 39-46.
- CHELBI, A., AIT-KADI, D. (2002). Spare provisioning strategy for preventively replaced systems subjected to random failure. International Journal of Production Economics, 74 (1-3), 183-189.
- CHO, D.I., PARLAR, M. (1991). A survey of maintenance models for multi-unit systems. European Journal of Operational Research, 51,1-23.
- CILIBERTI, A.V. (1996). Criticality-based maintenance: Prioritizing maintenance activities for optimum equipment reliability. Safety Engineering and Risk Analysis, 6, 17-20.
- COHEN, M.A., ERNST, R. (1988). Multi-item classification and generic inventory stock control policies. Production and Inventory Management Journal, 6-8.
- DEKKER, R., HILL, R.M., KLEIJN, M.J., TEUNTER, R.H. (2001). On the (S-1,S) lost sales inventory model with priority demand classes. Naval Research, 1-24.

- DEKKER, R., KLEIJN, M.J., ROOIJ, P.J. (1996). A spare parts stocking policy based on equipment criticality. International Journal of Production Economics, 56-57, 69-77.
- DEKKER, R., SCARF, P.A. (1998). On the impact of optimisation models in maintenance decision making : A state of the art. Reliability Engineering & System Safety, 60 (2), 111-119.
- DEKKER, R. (1995). Integrating optimisation, priority setting, planning and combining of maintenance activities. European Journal of Operational Research, 82, 225-240.
- DHAKAR, T.S., SCHMIDT, C.P., MILLER, D.M. (1994). Base stock level determination for high cost low demand critical repairable spares. Computers & Operations Research, 21 (4), 411-420.
- DUNN, S. (1998). Reinventing the maintenance process: Towards zero downtime. Queensland Maintenance Conference, [www.maintenanceressources.com](http://www.maintenanceressources.com), 1-9.
- EKON, K.D., VILLENEUVE, L. (1999). Impact de la maintenance sur le rendement d'une cimenterie. 3ième congrès international de génie industriel. Presses internationales Polytechnique, Montréal, II, 1209-1217.
- FLORES, B.E., WHYBARK, C.D. (1988). Implementing multiple criteria ABC analysis. Engineering Costs and Production Economics, 15, 191-195.
- GAJPAL PRAKASH, P., GANESH, L.S., CHANDRASEKHARAN, R. (1994). Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. International Journal of Production Economics, 35, 293-297.
- GEURTS, J.H.J., MOONEN, J.M.C. (1992). On the robustness of insurance type spares provisioning strategies. Journal of the Operational Research Society, 43 (1), 43-51.
- HIATT, B.C. Best practices in maintenance. [www.tpmonline.com/articles\\_on\\_total\\_productive\\_maintenance/management/13steps.html](http://www.tpmonline.com/articles_on_total_productive_maintenance/management/13steps.html), pages consultées le 30 juin 2002.

HODSON, W.K. (1992).Chapter 7 : Evaluation technique. Maynard's Industrial Engineering Handbook. McGraw Hill, 7.38-7.43.

HUISKONEN, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. International Journal of Production Economics, 71, 125-134.

IOMA. Exclusive IRR survey : 10 most effective ways to reduce inventory now include technology. [http://www.ioma.com/nls/archives.shtml?irr\\_05\\_99](http://www.ioma.com/nls/archives.shtml?irr_05_99), pages consultées le 30 juin 2002)

IOMA. IRR Exclusive survey : Periodic reviews still top inventory reduction tool. [http://www.ioma.com/nls/archives.shtml?irr\\_01\\_99](http://www.ioma.com/nls/archives.shtml?irr_01_99), pages consultées le 30 juin 2002.

ISC. Introduction to RCS. <http://www.infoscience.co.uk/rcspaper.htm>, pages consultées le 30 juin 2002.

JARDINE, A.K.S. (1973). Maintenance, replacemeent, and reliability. Mairobi, Kenya, Pitman Publishing, 199 p.

JARVIS, C. B. Business Open Learning Archive: Management of inventory. <http://sol.brunel.ac.uk/~jarvis/bola/operations/stock/index.html>, pages consultées le 30 juin 2002.

JUNEAU, B., RETAILLEAU, B. (2000). La gestion des pièces de rechange. Journal industriel du Québec, mai, 58-59.

KAFFEL H., D'AMOURS S., AIT-KADI, D. (1999). Une approche réseau pour la conception d'un système de gestion de la maintenance. 3ième congrès international de génie industriel, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, I, 563-572.

- KANAWATY, G. (1996). Introduction à l'étude du travail. Genève, Suisse, Bureau International du Travail, 524 p.
- KECECIOGLU, D. (1995). Maintainability, availability & operational readiness engineering. New Jersey : Prentice Hall. 780 p.
- KENNEDY, W.J., PATTERSON, J.W., FREDENDALL, L.D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. International Journal of Production Economics, 76 (2), 201-215.
- KOSTIC, S., PENDIC, Z. (1990). Optimization of spare parts in a multilevel maintenance system. Engineering Costs and Production Economics, 20 (1), 93-99.
- LABIB, A.W., O'CONNOR, R.F., WILLIAMS, G.B. (1998). An effective maintenance system using the analytic hierarchy process. Integrated Manufacturing System, 9 (2), 87-98.
- LAVELY, R. (1996). Can you profit from improved inventory control? <http://www.asashop.org/autoinc/march/invntctr.html>, pages consultées le 30 juin 2002.
- LAVINA, Y. (1992). Chapitre 2: Les étapes de l'analyse de la maintenance. Audit de la maintenance, 53-71.
- LAVINA, Y. PERRUCHE, E. (1998). Chapitre 2: Repérer les biens à incidence directe sur la qualité. Maintenance et assurance de la qualité :. Guide pratique. ISO 9000, EAQF, 41-53.
- LEVITT, J. (1997). The handbook of maintenance management. New York : Industrial Press. 477 p.

LEWIS, B.T., TOW, L.M. (1973). Chapter III : Maintenance materials, labor, and equipment costs controls. Readings in maintenance management, Cahners Publishing Company Inc, Boston, 55-73.

LYONNET, P. (1988). Chapitre 5: Gestion des opérations de maintenance. La maintenance : Mathématiques et méthodes. Paris, Lavoisier, 173-189.

MATHESON, L., BUCHAL, R. Inventory Management. <http://hyperserver.engrg.uwo.ca/es492b/lectures/lect12/index.html>, pages consultées le 30 juin 2002.

MEHROTRA, A., NATRAJ, N.R., TRICK, M.A. (2001). Consolidating maintenance spares. Computational Optimization and Applications, 18, 251-272.

MILLER, G.J. (1997). Inventory accuracy in 60 days. Annual International Conference Proceedings (APICS), 401-406.

MOORE, R. (1996). Establishing an inventory management program. Plant Engineering, 113-116.

NAHMIAS, S. (1981). Managing repairable item inventory systems: A review. TIMS Studies in the Management Sciences, 16, 253-277.

OELTJENBRUNS, H., KOLARIK, W.J., SCHNADT-KIRSCHNER, R. (1995). Strategic planning in manufacturing systems - AHP application to an equipment replacement decision. International Journal of Production Economics, 38, 189-197.

PARTOVI, F.Y., HOPTON, W.E. (1994). The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems. Production and Inventory Management Journal, 35 (1), 13-19.

PÉRÈS, F., GRENOUILLEAU, J., PERRON, S. (2002). Modélisation du soutien logistique : application à la gestion des pièces de rechange d'un système spatial. Journal européen des systèmes automatisés, 32 (2), 299-325.

- PETERSEN, G., HEINE, C. (2001). Jumping in: The do's and don't of maintenance reliability. Paper Industry Management Association, 83 (3), 42-46.
- PETROVIC D., PETROVIC, R. (1992). SPARTA II: Further development in an expert system for advising on stocks of spare parts. International Journal of Production Economics, 24, 291-300.
- PFAFF, B. (1999). Count your parts. Institute of Industrial Engineers Solutions, 31 (12), 29-31.
- PIERSKALLA, W.P., VOELKER JOHN A. (1973). A survey of maintenance models : The control and surveillance of deteriorating systems. Naval Research Logistics Quaterly, 23, 353-388.
- RAMADHAN, R., WAHHAB, H., DUFFUAA, S. (1999). The use of an analytical hierarchy process in pavement maintenance priority ranking. Journal of quality in maintenance engineering, 5 (1), 25-39.
- RETAILLEAU, B., TURCOTTE, Y.L. (1999). L'analyse de criticité. Journal industriel du Québec, décembre-janvier, 14.
- ROY, B., BOUYSSOU, D. (1993). Aide multicritère d'aide à la décision: Méthodes et cas. Paris, Économica, 695 p.
- ROY, B. (1985). Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Paris : Economica. 423p.
- RUSTENBURG, W.D., VAN HOUTUM, G.J., ZIJM, W.H.M. (2001). Spare parts management at complex technology-based organizations: An agenda for research. International Journal of Production Economics, 71, 177-184.
- RUVELSON, D. (2000). Outside resources for inventory management save time and money. Intertec, 103 (7), 50-51.

- RUVELSON, D. (2000). Using MRO can cut storeroom expenses. Intertec, 150 (11), 45-47.
- SAATY, T.L. (1984). Chapitre 5: Établissement des priorités. Décider face à la complexité : une approche analytique multicritère d'aide à la décision, EME Editions Sociales Françaises, 77-96.
- SAATY, T.L. (1982). Decision making for leaders: The analytical hierarchy process for decisions in a complex world, Lifetime learning publications, California, 604 p.
- SCARF, H.E., GILFORD, D.M., SHELLY, M.W. (1963). Multistage inventory models and techniques, Standord University Press, California, 225 p.
- SCAWTHORN, C., JOHNSON, G.S., PORTER, K. (1999). Seismic reliability assessment of critical lifeline equipment. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph, 16, 207-216.
- SCHÄRLIG, A. (1985). Décider sur plusieurs critères. Chapitres 4, 8 et 10, Presses Polytechniques Romandes, Suisse, 304 p.
- SCHNEIDER, H., RINKS, D.B. (1989). Optimal policy surfaces for a multi-item inventory problem. European Journal of Operational Research, 39, 180-191.
- SCHWARZ, L.R. (1981). Studies in the management sciences. Multilevel production/inventory control systems: Theory and practice, TIMS Studies in the management sciences, North Holland, 398 p.
- SHEIKH, A.K., CALLOM, F.L., MUSTAFA, S.G. (1991). Strategies in spare parts management using a reliability engineering approach. Engineering Costs and Production Economics, 21 (1), 51-57.

SILVER, E.A., PYKE, D.F., PETERSON, R. (1998). Chapter 8 : Managing the most important (class A) inventories and Chapter 3.4.2 : ABC Method. Inventory management and production planning and scheduling. John Wiley & Sons., New York, 754 p.

SILVER, E.A., PYKE, D.F., PETERSON, R. (1998). Inventory management and production planning and scheduling, 3, 32-35.

SOCIÉTÉ D'EXPERT-CONSEILS PMT. (2003). Séminaire VA6, 32.

STONEHAM, D. (1998). The maintenance management and technology handbook, Elsevier Advanced Technology, Oxford, Angleterre, 390 p.

SUOMALA, P., SIEVÄNEN, M., PARANKO, J. (2002). The effects of customization on spare part business: A case study in the metal industry. International Journal of Production Economics, 79, 57-66.

THIBAUT, F., BEHARELLE, D., RIOUT, J. (1999). Assurance qualité en maintenance: Un outil pour exprimer sa fonction maintenance et créer ses procédures qualité. 3ième congrès international de génie industriel. Presses Internationales Polytechnique, Montréal, II, 1199-1208.

VAJDA, S. (...). Chapter IV: Replacement decisions. Topics in operational research : Maintenance, replacement, and reliability, 31-78.

VINCKE, P. (1989). Chapitre 4 : La théorie de l'utilité multiattribut (MAUT) et Chapitre 5 : Les méthodes de surclassement. L'aide multicritère à la décision. Université de Bruxelles, Éditions Ellipses, Belgique, 179 p.

WALKER, J. (1996). A graphical aid for the initial purchase of "insurance type" spares. Journal of the Operational Research Society, 47, 1296-1300.

WANG, H. (2002). A survey of maintenance policies of deteriorating systems. European Journal of Operational Research, 139 (3), 469-489.

WESTERKAMP, T.A. (1995). Inventory Control Strategies. <http://www.facilitiesnel.com/NS/NS3mh55.html>, pages consultées le 30 juin 2002.

WINTERFELDT, D.V., EDWARDS, W. (1986). Chapter 8 : Multiattribute utility theory ( MAUT). Decision analysis and behavioral research. University press, Cambridge, 259-313.

YOO, Y.K., KIM, K.-J., SEA, J. (2001). Optimal joint spare stocking and block replacement policy. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 18 (12), 906-909.

**ANNEXE 1**  
**REGROUPEMENT PAR FAMILLE DES CRITÈRES DE CRITICITÉ DES**  
**ÉQUIPEMENTS**

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
<b>PRODUCTION</b>					
	<b>Taux d'utilisation de l'équipement</b>				
Taux de marche	C'est le rapport du temps de marche de la machine sur le temps théorique disponible de production	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Goulot d'étranglement et/ou aspect qualité	Aspect portant sur le temps de cycle, le taux d'utilisation de l'équipement, etc.	Labib et al. 1998	X		
U	Taux d'utilisation de l'équipement	Lavina, Yves Perruche, Érick	X		
	<b>Impact de la panne sur le processus</b>				
P = Impact sur la production	0 à 4 selon l'importance des arrêts de production et des possibilités de sous-traitance	Retailleau et Turcotte, 1999		X PEM SEQ	
Criticité-production	Lorsqu'une panne cause des pertes ou des arrêts de production	Stoneham, Derek 1998			X
Processus	Impact de la panne sur le processus	Ciliberti, Albert 1996		X	
I	Importance de l'équipement pour la production	Lavina, Yves Perruche, Érick		X	

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Existence d'une installation de secours</b>				
Existence d'une installation de secours	Existe-t-il un autre équipement capable de remplacer efficacement (rapidement, même taux de production et qualité...) la machine considérée en cas de panne ?	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001		X	
Équipement de secours et/ou de remplacement	Y a-t-il une possibilité d'équipement de secours et/ou de remplacement	Ciliberti, Albert 1996		X	
<b>MAINTENANCE</b>					
	<b>Fréquence de la panne</b>				
Fréquence de la panne	C'est le nombre de fois que la machine tombe en panne durant une période donnée.	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001		X	
Fréquence des appels	Nombre d'appels de maintenance pour un équipement	Labib et al. 1998	X		
	État général de l'équipement				
E= État général de l'équipement	0 à 4 selon l'importance de l'état de l'équipement	Retailleau et Turcotte, 1999		X PEM SEQ	
E	État de l'équipement	Lavina, Yves Perruche, Érick 1998		X	

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Coût de la maintenance</b>				
Coût de la maintenance	Il s'agit d'affecter la part des dépenses de maintenance consacrée à la machine considérée	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X	?	
Moyenne des temps de réparation	C'est le rapport du temps total des réparations sur le nombre des réparations. Calcul fait à partir des données historiques ou de façon qualitative.	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X	X	
Durée des pannes	Durée des pannes en heures	Labib et al. 1998	X		
Temps de réparation	Temps de réparation nécessaire	Huikonen, Janne 2001	X		
P	Incidence des pannes sur l'aspect économique, technique, environnemental et sécuritaire.	Lavina, Yves Perruche, Érick 1998	X		
	<b>Pièces de rechange</b>				
M= Maîtrise de la technologie et logistique de la maintenance	0 à 4 selon l'importance de la maîtrise des pièces de rechange et de la documentation.	Retailleau et Turcotte, 1999		X PEM SEQ	
Coûts des pièces de rechange	Coût associé au réapprovisionnement d'une pièce	Labib et al. 1998	X		

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
<b>QUALITÉ</b>					
	<b>Impact sur la qualité</b>				
Taux de rejets	Pourcentage de pièces rejetées à cause d'une défectuosité résultant d'une défaillance de l'équipement.	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Taux de rebuts	Équipement est critique étant donné la qualité qu'il doit en résulter.	Stoneham, Derek. 1998			X
Q= Impact sur la qualité	0 à 4 selon l'importance des conséquences	Retailleau et Turcotte, 1999		X PEM SEQ	
Impact qualité	Un indice de qualité est considéré en calculant les conséquences sur la qualité du produit, les rebus et l'impact sur la sécurité	Lavina, Yves Perruche, Érick 1998	X		
<b>GAMME</b>					
	<b>Importance de la ligne dont fait partie l'équipement</b>				
Contribution à la gamme de produits	C'est le rapport du nombre de produits passant par la machine considérée, sur le nombre total de produits de la gamme.	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Importance de la ligne (ou de l'ensemble) dont fait partie l'équipement	Les critères d'évaluation peuvent être le volume des ventes, les profits, le client, etc. Quelle est l'importance du produit pour laquelle la machine est utilisée ?	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001		X	
Impératifs commerciaux	Équipement est critique étant donné les engagements qu'il doit livrer.	Stoneham, Derek. 1998			X

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
Utilisation de l'équipement	% d'utilisation de la ligne de production par le produit	Ciliberti, Albert 1996		X	
<b>SANTÉ- SÉCURITÉ</b>					
	<b>Impact sur la santé</b>				
Santé	Risques associés à la santé	Ciliberti, Albert 1996		X	
	<b>Impact sur la sécurité</b>				
Influence de la panne sur la sécurité des personnes	Si une panne survenait sur l'équipement, engendrait-elle un risque mortel, un risque de dommages élevé ou aucun risque	Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001		X	
S= Impact sur la sécurité	0 à 4 selon l'importance des conséquences	Retailleau et Turcotte, 1999		X PEM SEQ	
Criticité-sécurité	État d'un équipement qui pourrait résulter en une injure envers une personne, des dommages matériels importants ou d'autres conséquences inacceptables.	Stoneham, Derek. 1998			X
Sécurité	Risques associés à la sécurité	Ciliberti, Albert 1996		X	
P	Incidence des pannes sur l'aspect économique, technique, environnemental et sécuritaire.	Lavina, Yves Perruche, Érick 1998	X		

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
ENVIRONNEMENT					
	<b>Impact sur l'environnement</b>				
E=Impact sur l'environnement	0 à 4 selon l'importance des conséquences	Retailleau et Turcotte, 1999		X PEM SEQ	
Conséquences environnementales	Équipement est critique étant donné le caractère environnemental important qui l'entoure.	Stoneham, Derek. 1998			X
Environnement	Risques associés à l'environnement	Ciliberti, Albert 1996		X	
P	Incidence des pannes sur l'aspect économique, technique, environnemental et sécuritaire.	Lavina, Yves Perruche, Érick 1998	X		

**ANNEXE 2**  
**CLASSIFICATIONS DES NIVEAUX DE CRITICITÉ DES ÉQUIPEMENTS**

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Équipement vital</b>				
Équipement vital	Mentionne seulement que ce type de critère correspond à une demande critique de pièces	Dekker et al. 1996			X
Équipement super critique	Selon un calcul d'indice de criticité, CR=0 sur une possibilité de 256.	Lavina, Yves 1992	X PIEU		
Équipement super critique	Selon un calcul d'indice de criticité, CR=0 sur une possibilité de 81.	Lavina, Yves Perruche, Erick 1998	X PIEU		
Degré 1 de criticité d'équipement	La panne doit être corrigée immédiatement et les pièces doivent également être disponibles immédiatement.	Huiskonen, J. 2001			X
Équipement critique	Les effets de la panne ne peuvent pas être tolérés. La tolérance étant basée sur les objectifs de performance, la fonction que l'équipement occupe ainsi que sur les critères de sécurité et d'environnement.	Auteur inconnu	X AM DEC		
	<b>Équipement essentiel</b>				
Équipement essentiel	Mentionne seulement que ce type de critère correspond à une demande non-critique de pièces	Dekker et al. 1996			X

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
Équipement critique	Selon un calcul d'indice de criticité, CR est égal à 1 ou 2 sur une possibilité de 256.	Lavina, Yves 1992	X PIEU		
Équipement critique	Selon un calcul d'indice de criticité, CR est égal à 1 ou 2 sur une possibilité de 81.	Lavina, Yves Perruche, Erick 1998	X PIEU		
Degré 2 de criticité d'équipement	La panne peut être tolérée avec des arrangements temporaires durant que les pièces sont livrées dans une courte période de temps.	Huiskonen, J. 2001			X
	<b>Équipement auxiliaire</b>				
Équipement auxiliaire	Mentionne seulement que ce type de critère correspond à une demande non-critique de pièces	Dekker et al. 1996			X
Équipement ordinaire	Selon un calcul d'indice de criticité, CR est entre 3 et 24 sur une possibilité de 256.	Lavina, Yves 1992	X PIEU		
Équipement ordinaire	Selon un calcul d'indice de criticité, CR est plus grand que 3 sur une possibilité de 81.	Lavina, Yves Perruche, Erick 1998	X PIEU		
Équipement banal	Selon un calcul d'indice de criticité, CR est entre 25 et 256 sur une possibilité de 256.	Lavina, Yves 1992	X PIEU		

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
Degré 3 de criticité d'équipement	La panne n'est pas critique pour le processus ou l'équipement et elle peut être corrigée après une période de temps plus longue le temps que les pièces soient disponibles.	Huiskonen, J. 2001			X
Équipement non-critique	Les effets de la panne peuvent être tolérés. La tolérance étant basée sur les objectifs de performance, la fonction que l'équipement occupe ainsi que sur les critères de sécurité et d'environnement.	Auteur inconnu	X AM DEC		

**ANNEXE 3**  
**REGROUPEMENT PAR FAMILLE DES CRITÈRES DE CRITICITÉ DES**  
**PIÈCES DE RECHANGE**

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Criticité de la pièce sur la production</b>				
Criticality	« The criticality of a part is related to the consequences caused by the failure of a part on the process in case a replacement is not readily available, and hence it could be called as process criticality » .	Huiskonen, J. 2001			X
Impact de la panne	Impact de la panne sur la production	Flores et al 1988 et Partovi et Hopton 1994			X
Méthode alternative	Disponibilité d'un autre moyen de production si la pièce est défectueuse	Gajpal et al. 1994	X		
Conséquences d'une panne	Conséquences financières lors d'une panne de cette pièce si on ne l'a pas de disponible immédiatement	Geurts et Moonen 1992			X

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Caractéristiques de la pièce</b>				
Specificity	<p>-&gt; Standard parts are widely used by many users and hence also readily available from several.</p> <p>-User-specific parts are specifically tailored for and used by a particular user only. Supplier are unwilling to stock the special, low volume parts and the responsibility of availability and control remains with the user himself » .</p>	Huiskonen, J. 2001			X
Type de pièce requise	Pièce de type générique ou spécifique	Gajpal et al. 1994	X		
	<b>Quantité de pièces consommées</b>				
Demand pattern	<p>« Includes the aspects of volume and predictability.</p> <p>-Volume of demand as a control characteristic is related to the economies of scale of operations.</p> <p>-Predictability of demand is related to the failure process of a part and the possibilities to estimate failure patterns and rates by statistical means » .</p>	Huiskonen, J. 2001			X

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
Quantité annuelle et/ou volume d'utilisation	Provient de la méthode ABC (principe de Pareto)	Flores et al 1988 et Partovi et Hopton 1994	X		
	<b>Valeur de la pièce de rechange</b>				
Value of a part	-» High value makes stocking a non-attractive solution for any party in the logistics chain. -With low price items, the replenishment arrangements have to be efficient so that the administrative cost do not increase unreasonably in proportion to the value of the items themselves » .	Huiskonen, J. 2001			X
Volume en dollars	Nombre de dollars investis dans le stock pour chacune des pièces	Silver et al. 1998	X Paret o		
Coûts de la pièce	Provient de la méthode ABC ( principe de Pareto). Nombre de dollars investis dans le stock pour chacune des pièces	Flores et al. 1988 et Partovi et Hopton 1994	X		
Coût	Coût de la pièce	Geurts et Moonen 1992			X

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Coût de remplacement</b>				
The replacement cost at failure		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
The cost of a preventive replacement		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
	<b>Autres coûts à considérer</b>				
The order cost per cycle		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Holding cost		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Shortage cost		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Coût en capital.	Coût en capital. (disponibilité de financement)	Geurts et Moonen 1992			X
Coût annuel de stockage	Coût annuel de stockage exprimé en % du coût d'achat de la pièce considérée	Boucly et Ogus 1987	X		
	<b>Périodes à considérer</b>				
Disponibilité d'approvisionnement	Disponibilité d'approvisionnement auprès du fournisseur	Flores et al. 1998 Partovi et Hopton 1994			X

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
Délai de réapprovisionnement de la pièce	Délai de réapprovisionnement de la pièce (en jours, semaines ou mois)	Gajpal et al. 1994	X		
The preventive replacement period		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Ordering point		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Spares replenishment cycle		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
	<b>Probabilités diverses</b>				
The average number of replacements at failure within time interval (0,t)		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
The renewal density function		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
The probability density function associated with the equipment lifetime		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
The probability distribution fct associated with the equipment lifetime		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
The probability density function of the demand of spare parts during the lead-time		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
The probability distribution function of the demand of spare parts during the lead-time		Chelbi, A. Ait-Kadi, D. 2001	X		
Taux de désuétude	Taux de désuétude de la pièce	Flores et al 1988 et Partovi et Hopton 1994			X
Durée de vie	Durée de vie estimée de l'équipement	Geurts et Moonen 1992			X
Taux de défectuosité	Taux de défectuosité d'une pièce critique	Geurts et Moonen 1992			X
Risque d'avarie	Possibilité d'avarie pendant les n années prévues d'utilisation de l'équipement	Boucly et Ogus 1987	X		

**ANNEXE 4**  
**CLASSIFICATIONS DES NIVEAUX DE CRITICITÉ DES PIÈCES DE**  
**RECHANGE**

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Pièce vitale</b>				
Pièce vitale	Une rupture de pièce qui causerait de <u>grandes</u> pertes financières et/ou de production	Gajpal et al. 1994	X AHP		
Type A	20% des pièces représentent 80% des dollars investis dans le stock	Loi de Pareto Silver et al. 1998	X		
<b>Type AA</b>	Vient de la combinaison résultant de l'analyse ABC et d'une analyse de criticité. Les éléments venant de la matrice sont : A1, A2, B1.	Flores, Benito Whybark, Clay 1988	X		
	<b>Pièce essentielle</b>				
Pièce essentielle	Une rupture de pièce qui causerait des pertes financières et/ou de production modérées	Gajpal et al. 1994	X AHP		
Type B	30% des pièces représentent 15% des dollars investis dans le stock	Loi de Pareto Silver et al. 1998	X		
Type BB	Vient de la combinaison résultant de l'analyse ABC et d'une analyse de criticité. Les éléments venant de la matrice sont : A3, B2, C1.	Flores, Benito Whybark, Clay 1988	X		

Nom du critère	Définition ou Objectif	Auteur(s) + Année Publication	Évaluation Type Quantitatif	Évaluation Type Qualitatif	Évaluation Aucune
	<b>Pièce Désirable</b>				
Pièce Désirable	Une rupture de pièce qui causerait des pertes financières et/ou de production <u>mineures</u> mais qui à <u>courte échéance</u> , pourrait amener des pertes plus importantes.	Gajpal et al. 1994	X  AHP		
Type C	50% des pièces représentent 5% des dollars investis dans le stock	Loi de Pareto Silver et al. 1998	X		
Type CC	Vient de la combinaison résultant de l'analyse ABC et d'une analyse de criticité. Les éléments venant de la matrice sont : B3, C2, C3.	Flores, Benito Whybark, Clay 1988	X		
	<b>Pièce Désuète</b>				
Type DD	Pièces désuètes	Flores, Benito Whybark, Clay 1988		X	